Maria Alzira Beato de Oliveira Barros de Sá Ramalho

RESISTÊNCIA AO FOGO DE PILARES EM BETÃO ARMADO. ANÁLISE NUMÉRICA E EXPERIMENTAL E A SUA IMPLICAÇÃO NA PRÁTICA DO PROJETO EM PORTUGAL



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
FEUP

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor Professor João Lopes Porto, primeiro mentor dos meus projetos na área da segurança contra incêndio. À memória de um grande Homem e excelente Professor.

Ao Senhor Professor Miguel Chichorro Gonçalves, pela sua permanente disponibilidade e douta orientação. A uma verdadeira amizade.

À Mafalda e ao Aníbal, sem os quais este trabalho não existiria.

À Catarina, ao Francisco, à Mariana e ao Tomané, pelo seu permanente ….. amor.

Obrigada

RESUMO

A segurança dos edifícios em situação de incêndio foi negligenciada durante muitos anos. Na conceção estrutural só recentemente começou a ponderar-se a necessidade de considerar o dimensionamento das estruturas de modo a contemplar a ação devida ao fogo, constatando-se uma preocupação crescente em satisfazer estes requisitos, por parte dos projetistas de estruturas, essencialmente impulsionada pela introdução dos Eurocódigos Estruturais. As estruturas dos edifícios correntes em Portugal são, maioritariamente, constituídas por elementos estruturais em betão armado. O seu desempenho depende particularmente do comportamento dos pilares, podendo a perda de capacidade resistente ou de suporte destes elementos estruturais comprometer a estabilidade do edifício.

A consideração da situação de incêndio, na prática vulgar de dimensionamento dos pilares, consiste essencialmente numa *verificação* da resistência ao fogo requerida, depois de serem dimensionados à temperatura ambiente. Pretendeu-se com este trabalho contribuir para uma verificação eficaz, por parte dos projetistas, da resistência ao fogo dos pilares em betão armado, cujo comportamento é substancialmente afetado pelas elevadas temperaturas, e verificar que alterações à prática corrente do seu dimensionamento à temperatura normal poderiam ser propostas. Para tal, houve que analisar estatisticamente os pilares inseridos nas estruturas de edifícios correntes já licenciados. O estudo dos 14124 pilares inseridos nas estruturas de 63 edifícios criteriosamente selecionados de modo a serem representativos dos licenciados em Portugal permitiu, nomeadamente, identificar os valores mais correntes dos parâmetros de entrada nas tabelas apresentadas na EN 1992-1-2, possibilitando sinalizar os que mais frequentemente conduzem à não aplicabilidade de cada método. Permitiu ainda identificar as práticas de projeto a alterar de modo a minimizar os efeitos deste novo procedimento, comparar o desempenho ao fogo dos pilares de secção retangular com o dos pilares de secção circular, comparar a eficácia dos modelos apresentados sob a forma de tabelas, naquela norma, e apontar os que conduzem a resultados menos conservativos, para cada situação corrente. Desta análise estatística concluiu-se a necessidade de desenvolver um novo modelo também expedito em termos de facilidade de utilização, mas que conduzisse a resultados menos conservativos, sem preterir a segurança.

O novo modelo proposto consiste na consulta de diagramas de interação adimensionais N_{fi}/M_{fi}, desenhados de modo a contemplar os efeitos das imperfeições geométricas e os efeitos de segunda ordem, em situação de incêndio. Procurou-se reduzir o número de gráficos e torná-los abrangentes, de modo a que o método seja eficaz em termos de tempo de utilização, sem preterir as questões relacionadas com a segurança. Assim, estudou-se a variação dos diagramas adimensionais de interação $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ com a classe de resistência do betão, com o tipo de aço e constituição das armaduras e com as dimensões da secção transversal do pilar. Justificou-se a opção de se desenvolver um gráfico para cada valor da menor dimensão da secção transversal do pilar, b, e para cada valor da distância do eixo dos varões da armadura longitudinal à face mais próxima sujeita a incêndio, a. Apresentam-se os doze gráficos definitivos propostos, desenvolvidos para pilares com valores de b=20cm, b=25cm e b=30cm, valores da maior dimensão 20cm$\leq h \leq$50cm, e armaduras constituídas por varões Φ12, Φ16, Φ20 e Φ25, acompanhados de quadros indicativos da sua utilização. Aplicaram-se estes gráficos na verificação da resistência ao fogo dos pilares objeto deste estudo, analisando-se e comparando-se esses resultados com os obtidos utilizando os métodos tabelados, constatando-se que o modelo proposto conduz a resultados substancialmente menos conservativos.

Palavras-chave: Betão, Pilar, Resistência ao fogo, Eurocódigo, Métodos.

ABSTRACT

The safety of buildings in case of fire has been neglected for many years. In the structural design only recently started to weight the need to consider the structures' design in order to contemplate its behaviour in a fire situation, though there is a growing concern by the structure designers to meet these requirements, mainly driven by the introduction of Structural Eurocodes. The structures of the standard buildings in Portugal are mostly constituted by structural elements of reinforced concrete. Its performance depends on the particular behavior of the columns, and the loss of bearing capacity or support of these structural elements can compromise the building's stability.

The consideration of the fire situation, in the common practice of the concrete columns' design, essentially consists on a *verification* of the required fire resistance, after being designed to room temperature. It is intended with this work to contribute for an effective verification, by the designers, of the reinforced concrete columns' fire resistance, whose behavior is substantially affected by high temperatures, and to verify which changes could be proposed to the current practice of their design at normal temperature. For such, it was necessary to statistically analyze the columns embedded in structures of already licensed standard buildings. The study of 14124 columns inserted in the structures of 63 carefully selected buildings, so as to be representative of those licensed in Portugal, allowed to identify the most current values of the input parameters in the tables presented in EN 1992-1-2, permitting the signaling of those that more often lead to the non-application of each method. Allowed, also, to identify the design practices to modify in order to minimize the effects of this new procedure, to compare the fire performance of rectangular section columns with circular section columns, to compare the effectiveness of the models presented in form of tables, in that standard, and point out those that lead to less conservative results for each current situation. From this statistical analysis it was found the need to develop a new model also expeditious in terms of ease of use, but that lead to less conservative results, without overriding security.

The new model proposed consists in the consultation of adimensional interaction diagrams N_{fi}/M_{fi}, designed to take into account the effects of geometrical imperfections and second order effects, in fire situation. It sought to reduce the number of graphics and make them comprehensive, so that the method is effective in terms of time of use without pretermit security. Thus, it was studied the variation of adimensional interaction diagrams $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ with each concrete strength class, with the type of steel and the reinforcement constitution and with the dimensions of the columns' cross section. The option of developing one graphic for each value of the columns smallest cross-section dimension, b, and for each value of the distance from the axis of longitudinal reinforcement bars to the nearest face subjected to fire, a, was justified. Twelve proposed definitive graphics are presented, designed for columns with b=20cm, b=25cm and b=30 cm, larger dimension values of 20cm≤h≤50cm, and reinforcement constituted by bars Φ12, Φ16, Φ20 and Φ25, together with indicative tables for their use. These graphics were applied in the fire resistance verification of the columns examined in this study, analyzing and comparing the results with those obtained using the tabulated methods, noting that the proposed model leads to substantially less conservative results.

Keywords: Concrete, Column, Fire resistance, Eurocode, Methods.

RÉSUMÉ

Le comportement au feu des bâtiments a été négligé depuis plusieurs années. Dans la conception structurelle, récemment on a commencé à considérer le besoin de procéder au dimensionnement des structures des bâtiments comprenant l'action causée par le feu, en notant une préoccupation croissante des concepteurs de structures de satisfaire à ces exigences, principalement tirée par l'introduction des Eurocodes Structuraux. Les structures des bâtiments les plus courants au Portugal sont composées surtout par éléments en béton armé. Sa performance dépend notamment du comportement des poteaux, pouvant la perte de capacité résistante ou portante de ces éléments structurels compromettre la stabilité du bâtiment.

Examiner la situation d'incendie, à la pratique courante de dimensionnement des poteaux, consiste essentiellement d'une *vérification* de la résistance au feu exigée, après avoir être dimensionnés à température normale. Ce travail vise à contribuer pour une vérification efficace, par les concepteurs, de la résistance au feu des poteaux en béton armé, dont le comportement est sensiblement affecté par des températures élevées, et vérifier quels changements à la pratique courant du dimensionnement à température normale pourraient être proposés. A cet effet, il était nécessaire d'analyser statistiquement les poteaux insérés dans les structures des bâtiments déjà agréées. L'étude de 14124 poteaux insérés dans les structures de 63 bâtiments soigneusement sélectionnés de façon à être représentatif des agréées au Portugal a permis, notamment, identifier les valeurs plus courants des paramètres d'entrée dans les tableaux présentés à EN 1992-1-2, permettant signaler ceux qui fréquemment mènent à l'inapplicabilité de chaque méthode, identifier les pratiques de conception à changer afin de minimiser les effets de ce nouveau procédé, comparer la performance au feu des poteaux rectangulaires avec les poteaux circulaire, comparer l'efficacité des modèles présenté sous la forme de tableau, dans cette norme, et souligner ceux qui conduis a résultats moins conservative, pour chaque situation fréquente. Cette analyse statistique a démontré la nécessité de développer un nouveau modèle aussi expéditif en matière de facilité d'utilisation, mais qui conduit à des résultats moins conservative, sans compromettre la sécurité.

Le nouveau modèle proposé consiste en consulter des diagrammes d'interaction adimensionnelles N_{fi}/M_{fi}, définis tenu en compte les effets des imperfections géométriques et les effets du second ordre, en situation d'incendie. On a essayé de réduire le numéro de graphiques et de les rendre vaste, de sorte que la méthode soit efficace en matière du temps de l'utilisation, sans compromettre la sécurité. Ainsi, on a étudié la variation des diagrammes d'interaction adimensionnelles $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ avec la classe de résistance du béton, la classe de l'acier et la constitution des armatures, et avec les dimensions de la section droite des poteaux. On a justifié l'option de développer un graphique pour chaque valeur de la largeur de poteau, b, et pour chaque valeur de la distance de l'axe des armatures longitudinales au parement, a. Sont présentés douze graphiques, développés pour les poteaux avec la largeur b=20cm, b=25cm et b=30cm, hauteur 20cm≤h≤50cm et des armatures comprenant barres Φ12, Φ16, Φ20 et Φ25, avec des tableaux indicative de leur utilisation. La résistance au feu des poteaux objet de cette étude a été analysée en utilisant ces graphiques. On a comparé ces résultats avec les obtenus en utilisant les méthodes tabulées, constatant que le modèle proposé conduit à des résultats considérablement moins conservatrice.

Mots-Clés: Béton, Poteaux, Résistance au Feu, Eurocodes, Méthodes.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE FIGURAS xi

ÍNDICE DE QUADROS xxxiv

ABREVIATURAS E SIMBOLOGIA lvii

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1. Considerações iniciais 1.1

1.2. Objetivos 1.2

1.3. Metodologia seguida no desenvolvimento do trabalho 1.3

CAPÍTULO 2 – ESTADO DA ARTE

2.1. Introdução 2.1

2.2. Regulamentação portuguesa 2.2

2.2.1. Introdução 2.2

2.2.2. Utilizações-tipo 2.3

2.2.3. Categorias de risco 2.4

2.2.4. Escalões de resistência ao fogo 2.5

2.3. Normalização Europeia 2.6

2.3.1. Introdução 2.6

2.3.2. Métodos baseados em valores tabelados …… 2.9

2.3.2.1. Método A …….. 2.9

2.3.2.2. Método B …….. 2.11

2.3.2.3. Método C …….. 2.14

2.3.3. Métodos Simplificados …….. 2.15

2.3.3.1. Método da Isotérmica dos 500°C …….. 2.16

2.3.3.2. Método das Zonas …… 2.16

2.3.3.3. Método baseado na estimativa da curvatura …….. 2.18

2.3.4. Métodos Avançados …….. 2.19

2.4. Dimensionamento e avaliação da resistência ao fogo de pilares em betão armado ……... 2.20

2.4.1. Principais e mais recentes estudos desenvolvidos …….. 2.20

2.4.2. Programas de cálculo automático relevantes …….. 2.28

2.4.3. Estudos publicados e resultados relevantes …… 2.30

CAPÍTULO 3 – ANÁLISE DA RESISTÊNCIA AO FOGO DE PILARES EM BETÃO ARMADO - ENQUADRAMENTO DO ESTUDO

3.1. Apresentação dos projetos em análise …….. 3.1

3.1.1. Introdução ……. 3.1

3.1.2. Seleção dos projetos …….. 3.2

3.1.3. Descrição sumária de cada projeto ……. 3.4

3.1.4. Enquadramento estatístico ……. 3.13

3.1.4.1. Introdução …… 3.13

3.1.4.2. Enquadramento do ponto de vista da localização dos edifícios ……. 3.13

3.1.4.3. Enquadramento do ponto de vista do tipo de ocupação dos edifícios ……. 3.14

3.1.4.4. Enquadramento do ponto de vista da altura dos edifícios …….. 3.15

3.2. Análise dos projetos que serviram de base a este estudo ……... 3.18

3.2.1. Introdução ……. 3.18

3.2.2. Tipo de utilização e categoria de risco ……... 3.18

3.2.3. Exigências de resistência ao fogo …….. 3.24

3.3. Enquadramento estatístico dos pilares em betão armado nos projetos de edifícios em Portugal ……... 3.26

3.3.1. Introdução …… 3.26

3.3.2. Pilares de secção quadrangular …….. 3.27

3.3.3. Pilares de secção circular ……... 3.28

3.3.4. Pilares de secção retangular ……....……... 3.30

3.4. Enquadramento da metodologia para a definição dos escalões de resistência ao fogo face à regulamentação Portuguesa …….. 3.34

3.4.1. Introdução ……. 3.34

3.4.2. Consequências da aplicação da regulamentação portuguesa na definição dos escalões de resistência ao fogo …….. 3.36

3.4.3. Alguns exemplos de aplicação da regulamentação portuguesa à definição do escalão de resistência ao fogo de edifícios correntes ……..... 3.46

3.4.4. Estudo estatístico das consequências do agravamento dos escalões de Resistência ao fogo pela aplicação da regulamentação portuguesa …….. 3.48

3.5. Conclusões ……... 3.52

CAPÍTULO 4 – PARÂMETROS QUE MAIS AFETAM A CONFORMIDADE DOS PILARES EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO, QUANDO APLICADOS OS MÉTODOS TABELADOS

4.1. Introdução …… 4.1

4.2. Distribuição dos pilares pelos escalões de resistência ao fogo ……..... 4.4

4.3. Aplicação do Método A ……... 4.8

4.3.1. Introdução ……. 4.8

4.3.2. Pilares retangulares ……... 4.13

4.3.2.1. Considerando η_{fi} e o recobrimento com os valores de projeto ……. 4.13

4.3.2.2. Considerando η_{fi}=0,7 ……..... 4.23

4.3.2.3. Considerando o recobrimento mínimo apontado na EN 1992-1-1 e η_{fi} com os valores de projeto …… 4.26

4.3.3. Pilares circulares ……... 4.31

4.3.3.1. Considerando η_{fi} e o recobrimento com os valores de projeto …… 4.31

4.3.3.2. Considerando η_{fi}=0,7 ……... 4.33

4.3.3.3. Considerando o recobrimento mínimo apontado na EN 1992-1-1 e η_{fi} com os valores de projeto …… 4.34

4.4. Aplicação do Método B …… 4.35

4.4.1. Introdução ……. 4.35

4.4.2. Pilares retangulares …… 4.39

4.4.2.1. Considerando η_{fi} e o recobrimento com os valores de projeto …….. 4.39

4.4.2.2. Considerando η_{fi}=0,7 ……... 4.46

4.4.2.3. Considerando o recobrimento mínimo apontado na EN 1992-1-1 e η_{fi} com os valores de projeto …… 4.48

4.4.3. Pilares circulares …… 4.50

4.4.3.1. Considerando η_{fi} e o recobrimento com os valores de projeto ……. 4.50

4.4.3.2. Considerando η_{fi}=0,7 …… 4.51

4.4.3.3. Considerando o recobrimento mínimo apontado na EN 1992-1-1 e η_{fi} com os valores de projeto …… 4.53

4.5. Aplicação do Método C …… 4.55

4.5.1. Introdução ……. 4.55

4.5.2. Pilares retangulares …… 4.56

4.5.2.1. Considerando η_{fi} e o recobrimento com os valores de projeto …….. 4.56

4.5.2.2. Considerando η_{fi}=0,7 ……... 4.63

4.5.2.3. Considerando o recobrimento mínimo apontado na EN 1992-1-1 e η_{fi} com os valores de projeto …… 4.65

4.5.3. Pilares circulares …… 4.68

4.5.3.1. Considerando η_{fi} e o recobrimento com os valores de projeto ……. 4.68

4.5.3.2. Considerando η_{fi}=0,7 ……... 4.69

4.5.3.3. Considerando o recobrimento mínimo apontado na EN 1992-1-1 e η_{fi} com os valores de projeto 4.70

4.6. Comparação dos resultados obtidos pela aplicação dos três métodos que se apresentam sob a forma de tabelas 4.72

4.6.1. Pilares retangulares 4.72

4.6.2. Pilares circulares 4.75

4.7. Conclusões e recomendações aos projetistas 4.77

CAPÍTULO 5 – AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DA RESISTÊNCIA AO FOGO DE PILARES EM BETÃO ARMADO

5.1. Introdução 5.1

5.2. Equipamento de ensaio e modelo físico 5.2

5.2.1. Equipamento de ensaio 5.2

5.2.2. Corpo de prova e respetiva instrumentalização 5.4

5.3. Ensaio do pilar 5.6

5.3.1. Introdução 5.6

5.3.2. Resultados do ensaio e respetiva análise 5.6

5.4. Estudo comparativo dos resultados de diferentes ensaios levados a efeito no mesmo laboratório 5.12

5.4.1. Estudo comparativo de três pilares de secção transversal quadrangular com as mesmas dimensões 5.12

5.4.1.1. Análise experimental 5.13

5.4.1.2. Comparação da resistência ao fogo obtida nos ensaios experimentais com a determinada analiticamente recorrendo a diagramas de interação N_{fi}/M_{fi} 5.16

5.4.2. Estudo comparativo de sete pilares, três de secção transversal quadrangular e quatro de secção transversal circular 5.21

5.4.2.1. Caraterísticas dos pilares 5.21

5.4.2.2. Resultados dos ensaios e parâmetros pertinentes ao estudo 5.24

5.4.2.3. Comparação dos resultados dos ensaios com os obtidos analiticamente pela aplicação dos Métodos dos Valores Tabelados e dos Métodos Simplificados apontados na EN 1992-1-2 …… 5.28

5.5. Conclusões ……... 5.36

CAPÍTULO 6 – DESENVOLVIMENTO DOS DIAGRAMAS DE INTERAÇÃO N_{fi}/M_{fi} EM FLEXÃO COMPOSTA

6.1. Introdução …… 6.1

6.2. Diagramas de interação $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ em flexão composta …… 6.2

6.2.1. Introdução ……. 6.2

6.2.2. Quantificação dos esforços resistentes $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ ……... 6.3

6.2.2.1. Limites das extensões no betão e no aço. Coeficientes de redução das caraterísticas mecânicas do aço …… 6.3

6.2.2.2. Expressões para a quantificação dos parâmetros intervenientes no desenho dos diagramas $N_{Rd,fi}/ M_{Rd,fi}$ ……... 6.7

6.2.2.3. Desenho dos diagramas $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ ……. 6.11

6.2.3. Comparação dos diagramas de interação N_{Rd}/M_{Rd} à temperatura normal e em situação de incêndio …….. 6.22

6.3. Diagramas de interação $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$ …….. 6.33

6.3.1. Introdução ……. 6.33

6.3.2. Quantificação do momento de cálculo atuante, $M_{Ed,fi}$ …… 6.34

6.3.2.1. Cálculo do momento de primeira ordem, $M_{0Ed,fi}$ …….. 6.35

6.3.2.2. Cálculo dos parâmetros intervenientes na majoração do momento $M_{0Ed,fi}$ ... 6.36

6.3.3. Efeito das caraterísticas das vigas de travação no desenho dos diagramas de interação $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$ ……. 6.38

6.3.4. Variação dos diagramas $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$ com a classe de resistência do betão ……. 6.40

6.3.5. Comparação dos diagramas de interação N_{Ed}/M_{Ed} à temperatura normal e em situação de incêndio …….. 6.42

6.4. Conclusões ……... 6.53

CAPÍTULO 7 – METODOLOGIA PROPOSTA PARA A VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO FOGO DE PILARES EM BETÃO ARMADO

7.1. Introdução …… 7.1

7.2. Variação dos diagramas adimensionais de interação $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ com a classe de resistência do betão, com o tipo de aço e com a secção transversal do pilar 7.2

7.2.1. Introdução …… 7.2

7.2.2. Variação dos diagramas de interação fixando a classe de resistência do betão e a constituição das armaduras ……... 7.3

7.2.3. Variação dos diagramas de interação fixando a secção transversal e a constituição das armaduras e fazendo variar o tipo de aço dessas armaduras …….. 7.5

7.2.4. Variação dos diagramas de interação fixando a secção transversal e o tipo de aço e fazendo variar a classe de resistência do betão ……. 7.8

7.3. Composição dos gráficos adimensionais de interação $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ …… 7.9

7.3.1. Introdução ……. 7.9

7.3.2. Metodologia adotada para o desenho dos gráficos definitivos. Aplicação exemplificativa na construção do Gráfico 11 …… 7.10

7.4. Gráficos definitivos …….. 7.20

7.4.1. Gráficos definitivos propostos ……... 7.20

7.4.2. Metodologia a adotar para a aplicação dos gráficos …….. 7.33

7.5. Aplicação dos Gráficos definitivos na verificação da resistência ao fogo dos pilares analisados ……..... 7.34

7.5.1. Introdução ……. 7.34

7.5.2. Aplicação dos Gráficos definitivos aos pilares com b=200mm ……. 7.34

7.5.3. Resultados da aplicação dos gráficos propostos aos pilares com b=200mm, b=250mm e b=300mm ……... 7.45

7.6. Comparação dos resultados obtidos pela aplicação dos métodos tabelados com os resultantes da utilização dos gráficos propostos ……. 7.51

7.7. Conclusões ……... 7.53

CAPÍTULO 8 – CONCLUSÕES E PERSPETIVAS DE DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

8.1. Conclusões ……... 8.1

8.2. Propostas para desenvolvimentos futuros ……. 8.5

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ……... R1

ANEXO A3.1 – CÁLCULO DO EFETIVO DAS UTILIZAÇÕES-TIPO INSERIDAS NOS EDIFÍCIOS ANALISADOS

A3.1.1. Introdução …….. A3.1.1

A3.1.2. Cálculo do efetivo …….. A3.1.3

ANEXO A3.2 – CÁLCULO DA DENSIDADE DE CARGA DE INCÊNDIO

A3.2.1. Introdução …….. A3.2.1

A3.2.2. Expressões para o cálculo da densidade de carga de incêndio modificada ……. A3.2.2

A3.2.3. Densidade de carga de incêndio dos edifícios analisados …….. A3.2.4

A3.2.3.1. Introdução …….. A3.2.4

A3.2.3.1. Cálculo da densidade de carga de incêndio …… A3.2.5

ANEXO A3.3 – DEFINIÇÃO DOS ESCALÕES DE RESISTÊNCIA AO FOGO DOS EDIFÍCIOS ESTUDADOS

A3.3.1. Introdução …….. A3.3.1

A3.3.2. Escalões de resistência ao fogo dos edifícios analisados …… A3.3.2

ANEXO A3.4 – CARATERÍSTICAS DOS PILARES ANALISADOS

A3.4.1. Introdução …….. A3.4.1

A3.4.2. Fator de redução, η_{fi} ……... A3.4.2

A3.4.3. Nível de carregamento à temperatura normal, n ……. A3.4.3

A3.4.4. Taxa mecânica de armaduras, ω …… A3.4.3

A3.4.5. Quadros …….. A3.4.4

ANEXO A4 – APLICAÇÃO DOS MÉTODOS QUE SE APRESENTAM SOB A FORMA DE TABELAS

A4.1. Tabelas para a aplicação do Método C ……. A4.1

A4.2. Resultados da aplicação do Método A, do Método B e do Método C aos pilares analisados …… A4.17

A4.3. Comparação dos resultados obtidos pela aplicação dos três métodos …….. A4.21

A4.3.1. Pilares retangulares …….. A4.21

A4.3.2. Pilares circulares …….. A4.26

ANEXO A6 – DIAGRAMAS DE INTERAÇÃO N_{fi}/M_{fi}

A6.1. Introdução ……. A6.1

A6.2. Diagramas de interação $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ em flexão composta ……. A6.1

A6.2.1. Introdução …….... A6.1

A6.2.2. Expressões para o desenho dos diagramas de interação para cada um dos domínios das extensões ……... A6.2

A6.2.3. Expressões para o desenho dos diagramas de interação para armaduras constituídas por seis varões ……. A6.7

A6.2.4. Expressões para o desenho dos diagramas de interação para armaduras constituídas por oito varões ……. A6.7

A6.2.5. Expressões para o desenho dos diagramas de interação para armaduras constituídas por dez varões …….. A6.8

A6.2.6. Comparação dos diagramas N_{Rd}/M_{Rd} à temperatura ambiente e em situação de incêndio ……... A6.9

A6.2.7. Aplicação prática ……. A6.13

A6.3. Diagramas de interação $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$ ……... A6.21

ANEXO A7 – DESENVOLVIMENTO DOS GRÁFICOS PROPOSTOS E VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO FOGO DOS PILARES

A7.1. Introdução ……. A7.1

A7.2. Diagramas de interação $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ …….. A7.1

A7.2.1. Diagramas de interação correspondentes aos pilares com armadura Φ12-Φ6 …. A7.1

A7.2.2. Desfasamento das curvas N/M desenhadas para armaduras em aço S400 e em aço S500, fixando a secção transversal e a constituição da armadura ……. A7.2

A7.2.3. Desenho dos gráficos definitivos ……. A7.4

A7.2.3.1. Diagramas de interação que serviram de base para o desenho do Gráfico 1 ……..... A7.10

A7.2.3.2. Diagramas de interação que serviram de base para o desenho do Gráfico 2 ……..... A7.11

A7.2.3.3. Diagramas de interação que serviram de base para o desenho do Gráfico 3 ……..... A7.12

A7.2.3.4. Diagramas de interação que serviram de base para o desenho do Gráfico 4 ……..... A7.13

A7.2.3.5. Diagramas de interação que serviram de base para o desenho do Gráfico 5 ……..... A7.14

A7.2.3.6. Diagramas de interação que serviram de base para o desenho do Gráfico 6 ……..... A7.15

A7.2.3.7. Diagramas de interação que serviram de base para o desenho do Gráfico 7 ……..... A7.16

A7.2.3.8. Diagramas de interação que serviram de base para o desenho do Gráfico 8 ……..... A7.17

A7.2.3.9. Diagramas de interação que serviram de base para o desenho do Gráfico 9 ……..... A7.18

A7.2.3.10. Diagramas de interação que serviram de base para o desenho do Gráfico 10 …….. A7.19

A7.2.3.11. Diagramas de interação que serviram de base para o desenho do Gráfico 12 …….. A7.20

A7.3. Aplicação dos Gráficos definitivos aos pilares com b=250mm e b=300mm …… A7.21

A7.4. Resultados da aplicação dos gráficos propostos aos pilares com b=200mm, b=250mm e b=300mm ……. A7.42

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Figura 1.1 - Perda da estabilidade de um edifício em S. João da Madeira, 1986, por perda da capacidade de carga de dois pilares, devido a elevado assentamento das fundações ……...……... 1.2

CAPÍTULO 2 – ESTADO DA ARTE

Figura 2.1 - Verificação da resistência ao fogo de elementos estruturais em betão armado: Métodos de cálculo alternativos ……..... 2.8

CAPÍTULO 3 – ANÁLISE DA RESISTÊNCIA AO FOGO DE PILARES EM BETÃO ARMADO - ENQUADRAMENTO DO ESTUDO

Figura 3.1 - Zonas sísmicas de Portugal continental …….. 3.4

Figura 3.2 - Edifícios licenciados em Portugal continental, em 2008, considerando as cinco regiões indicadas no boletim do Instituto Nacional de Estatística (INE, 2009) 3.14

Figura 3.3 - Edifícios licenciados em Portugal continental, em 2008, considerando-o dividido em três grandes zonas: Zona Norte, Zona Centro e Zona da região de Lisboa, Alentejo e Algarve …… 3.14

Figura 3.4 - Percentagem de processos analisados por utilização-tipo …… 3.15

Figura 3.5 - Distribuição dos edifícios licenciados em 2008 pelos diferentes tipos de ocupação 3.17

Figura 3.6 - Comparação percentual dos edifícios licenciados em 2008, excetuando os de habitação unifamiliar, com os analisados neste estudo ……. 3.17

Figura 3.7 - Comparação entre as percentagens de edifícios analisados e os licenciados em 2008 para habitação coletiva, considerando as respetivas alturas ……. 3.18

Figura 3.8 - Categorias de risco dos edifícios analisados da UT I "Habitacionais" e da UT IV "Escolares" ……... 3.24

Figura 3.9 - Escalões de resistência ao fogo em cada utilização-tipo ……. 3.25

Figura 3.10 - Distribuição percentual das 114 utilizações-tipo incluídas nos processos analisados, pelos escalões de resistência ao fogo …….……. 3.25

Figura 3.11 - Percentagens de pilares inseridos em cada escalão de resistência ao fogo ……. 3.26

Figura 3.12 - Secção transversal dos pilares analisados ……. 3.27

Figura 3.13 - Percentagens de pilares correspondentes a cada secção quadrangular, considerando o universo dos pilares quadrangulares ……. 3.28

Figura 3.14 - Percentagens de pilares correspondentes a cada secção quadrangular, considerando a totalidade dos pilares analisados …….. 3.28

Figura 3.15 - Percentagens de pilares correspondentes a cada secção circular, considerando o universo dos pilares circulares …….. 3.29

Figura 3.16 - Percentagens de pilares correspondentes a cada secção circular, considerando a totalidade dos pilares analisados ……... 3.29

Figura 3.17 - Proporção entre os pilares que se apresentam com um número de repetições a que corresponde uma percentagem ≥1% ou <1%, calculada considerando o número de pilares retangulares ……. 3.30

Figura 3.18 - Percentagens de pilares retangulares, calculadas considerando o universo dos pilares retangulares ……... 3.32

Figura 3.19 - Percentagens de pilares retangulares, calculadas considerando o universo de todos os pilares analisados ……. 3.33

Figura 3.20 - Percentagens de pilares por valor da menor dimensão da secção transversal ….. 3.33

Figura 3.21 - Algumas dimensões e percentagens dos pilares inseridos no item "Outras" secções …….. 3.34

Figura 3.22 - Dimensões e percentagens dos pilares mais representativos inseridos no item "Outras" secções ……... 3.34

Figura 3.23 - Corte esquemático ilustrativo da alteração do escalão de resistência ao fogo, R, em edifícios de habitação coletiva (UT I), pela aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE (2008) ……. 3.47

Figura 3.24 - Corte esquemático ilustrativo da alteração da resistência ao fogo, R, em edifícios hoteleiros (UT VII), pela aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE (2008) 3.47

Figura 3.25 - Corte esquemático ilustrativo da alteração da resistência ao fogo, R, em edifícios administrativos (UT III), pela aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE (2008) …… 3.48

Figura 3.26 - Resistência ao fogo R180 - Percentagens de pilares previstos, considerando ou não a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do DL 220/2008 (RJ-SCIE, 2008) …… 3.50

Figura 3.27 - Resistência ao fogo R120 - Percentagens de pilares previstos, considerando ou não a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do DL 220/2008 (RJ-SCIE, 2008) …… 3.50

Figura 3.28 - Resistência ao fogo R90 - Percentagens de pilares previstos, considerando ou não a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do DL 220/2008 (RJ-SCIE, 2008) …… 3.51

Figura 3.29 - Resistência ao fogo R60 - Percentagens de pilares previstos, considerando ou não a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do DL 220/2008 (RJ-SCIE, 2008) …… 3.51

Figura 3.30 - Resistência ao fogo R30 - Percentagens de pilares previstos, considerando ou não a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do DL 220/2008 (RJ-SCIE, 2008) …… 3.51

Figura 3.31 - Percentagens de pilares em cada escalão de resistência ao fogo: (a) Considerando a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do DL 220/2008 (RJ-SCIE, 2008); (b) Não considerando a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do DL 220/2008 (RJ-SCIE, 2008) ……. 3.52

CAPÍTULO 4 – PARÂMETROS QUE MAIS AFETAM A CONFORMIDADE DOS PILARES EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO, QUANDO APLICADOS OS MÉTODOS TABELADOS

Figura 4.1 - Organigrama do desenvolvimento do Subcapítulo 4.3, correspondente à aplicação do Método A ……. 4.3

Figura 4.2 - Organigrama do desenvolvimento do Subcapítulo 4.3, correspondente à aplicação do Método B …….. 4.3

Figura 4.3 - Organigrama do desenvolvimento do Subcapítulo 4.3, correspondente à aplicação do Método C …….. 4.3

Figura 4.4 - Distribuição dos 14124 pilares pelos escalões de resistência ao fogo: (a) Pilares de secção retangular (13238); (b) Pilares de secção circular (886) …….. 4.5

Figura 4.5 - Distribuição das secções transversais dos13238 pilares retangulares pelos escalões de resistência ao fogo ……..... 4.5

Figura 4.6 - Secções transversais dos13238 pilares retangulares em cada escalão de resistência ao fogo …….. 4.5

Figura 4.7 - Distribuição das secções transversais dos pilares circulares pelos escalões de resistência ao fogo ……. 4.6

Figura 4.8 - Secções transversais dos pilares circulares em cada escalão de resistência ao fogo 4.6

Figura 4.9 - Distribuição dos 12243 pilares retangulares pelos escalões de resistência ao fogo 4.7

Figura 4.10 - Distribuição das secções transversais dos 12243 pilares retangulares pelos escalões de resistência ao fogo …….. 4.7

Figura 4.11 - Variação do fator de redução η_{fi} em função da relação de carregamento $Q_{k,1}/G_k$ considerando a Figura 2.1 da EN 1991-1-2 (EC1-1-2, 2010) e os valores previstos nos projetos analisados …….. 4.10

Figura 4.12 - Distribuição percentual das utilizações-tipo pelos diferentes valores de η_{fi} ……. 4.10

Figura 4.13 - Distribuição percentual das utilizações-tipo pelos diferentes valores de η_{fi}, para ψ_1=0,5, ψ_1=0,7 e ψ_1=0,9 ……... 4.10

Figura 4.14 - Distribuição percentual das utilizações-tipo previstas nos 63 edifícios analisados pelos diferentes valores de η_{fi}, para ψ_1=0,5 …… 4.11

Figura 4.15 - Distribuição percentual das utilizações-tipo previstas nos 63 edifícios analisados pelos diferentes valores de η_{fi}, para ψ_1=0,7 …… 4.11

Figura 4.16 - Distribuição percentual das utilizações-tipo previstas nos 63 edifícios analisados pelos diferentes valores de η_{fi}, para ψ_1=0,9 …… 4.11

Figura 4.17 - Resultado da aplicação do Método A aos pilares retangulares analisados …… 4.14

Figura 4.18 - Parâmetros que limitam a aplicabilidade do Método A. Percentagens calculadas considerando os 4686 pilares aos quais o método não é aplicável …… 4.14

Figura 4.19 - Parâmetros que limitam a aplicabilidade do Método A. Percentagens calculadas considerando os 12243 pilares analisados ……. 4.15

Figura 4.20 - Parâmetros que provocam a não conformidade pela aplicação do Método A. Percentagens calculadas considerando os 5869 pilares que não verificam …… 4.15

Figura 4.21 - Parâmetros que provocam a não conformidade pela aplicação do Método A. Percentagens calculadas considerando os 12243 pilares analisados ……. 4.16

Figura 4.22 - Resultado da aplicação do Método A, por escalão de resistência ao fogo. Percentagens calculadas considerando o número de pilares retangulares no escalão de resistência ao fogo correspondente …….. 4.16

Figura 4.23 - Resultado da aplicação do Método A, por escalão de resistência ao fogo. Percentagens calculadas considerando os 12243 pilares retangulares analisados …….. 4.17

Figura 4.24 - Parâmetros que conduzem à não aplicabilidade e à não conformidade dos pilares pela aplicação do Método A …….. 4.19

Figura 4.25 - Pilares que verificam a resistência ao fogo pela aplicação do Método A ……. 4.19

Figura 4.26 - Resultado da aplicação do Método A aos pilares retangulares analisados, considerando η_{fi}=0,7 ……. 4.23

Figura 4.27 - Parâmetros que conduzem à não conformidade dos pilares retangulares pela aplicação do Método A, considerando: (a) η_{fi} calculado para cada projeto; (b) η_{fi}=0,7 …….. 4.24

Figura 4.28 - Pilares que não verificam a resistência ao fogo aplicando o Método A, considerando η_{fi} de projeto e η_{fi}=0,7, para cada escalão de resistência ao fogo e para cada valor da menor dimensão do pilar …….. 4.25

Figura 4.29 - Parâmetros que conduzem à não conformidade dos pilares e que são afetados pela simplificação do valor de η_{fi}: (a) Parâmetro a_{min}; (b) Parâmetro b_{min}; (c) Parâmetros a_{min} e b_{min} em simultâneo …….. 4.26

Figura 4.30 - Resultado da aplicação do Método A aos pilares retangulares analisados, considerando η_{fi} de projeto e o recobrimento mínimo regulamentar ……. 4.29

Figura 4.31 - Parâmetros que conduzem à não conformidade dos pilares retangulares em situação de incêndio aplicando o Método A, considerando: (a) O recobrimento previsto em projeto; (b) O recobrimento mínimo regulamentar …… 4.29

Figura 4.32 - Parâmetros que conduzem à não conformidade dos pilares e que são afetados pelo recobrimento das armaduras: (a) Parâmetro a_{min}; (b) Parâmetro b_{min}; (c) Parâmetros a_{min} e b_{min} em simultâneo …….. 4.30

Figura 4.33 - Resultado da aplicação do Método A aos pilares circulares analisados ……. 4.31

Figura 4.34 - Resultado da aplicação do Método A aos pilares circulares analisados em cada escalão de resistência ao fogo, para cada valor do diâmetro ……. 4.31

Figura 4.35 - Parâmetros que limitam a aplicabilidade do Método A: (a) Percentagens calculadas considerando os 194 pilares aos quais o método não é aplicável; (b) Percentagens calculadas considerando os 886 pilares analisados …… 4.32

Figura 4.36 - Parâmetros que provocam a não conformidade pela aplicação do Método A: (a) Percentagens calculadas considerando os pilares que não verificam; (b) Percentagens calculadas considerando todos os pilares analisados …… 4.32

Figura 4.37 - Resultado da aplicação do Método A aos pilares circulares analisados: (a) Considerando η_{fi} de projeto; (b) Considerando η_{fi}=0,7 …… 4.33

Figura 4.38 - Parâmetros que conduzem à não conformidade dos pilares circulares pela aplicação do Método A: (a) Considerando η_{fi} calculado para cada projeto; (b) Considerando η_{fi}=0,7 ……... 4.33

Figura 4.39 - Variação da percentagem de pilares que não verificam a_{min}, considerando η_{fi} de projeto e η_{fi}=0,7 ……. 4.34

Figura 4.40 - Resultado da aplicação do Método A aos pilares circulares analisados: (a) Considerando o recobrimento de projeto; (b) Considerando o recobrimento mínimo regulamentar ……... 4.34

Figura 4.41 - Comparação das percentagens dos parâmetros que conduzem à não conformidade dos pilares circulares em situação de incêndio, pela aplicação do Método A: (a) Considerando o recobrimento previsto em projeto; (b) Considerando o recobrimento mínimo regulamentar …….. 4.35

Figura 4.42 - Variação da percentagem de pilares que não verificam a_{min}, pela aplicação do Método A, considerando o recobrimento de projeto (c_{proj}) e o recobrimento mínimo (c_{min}) ……. 4.35

Figura 4.43 - Distribuição dos pilares retangulares pelos diferentes intervalos de *n* ……. 4.37

Figura 4.44 - Distribuição percentual dos pilares retangulares pelos intervalos de *n*, para cada valor da menor dimensão da sua secção transversal ……. 4.38

Figura 4.45 - Distribuição dos pilares circulares pelos diferentes intervalos de *n* ……. 4.38

Figura 4.46 - Distribuição percentual dos pilares circulares pelos intervalos de *n*, para cada valor de diâmetro da sua secção transversal ……. 4.39

Figura 4.47 - Resultado da aplicação do Método B aos pilares retangulares analisados …… 4.39

Figura 4.48 - Parâmetros que limitam a aplicabilidade do Método B: Percentagens calculadas considerando os 5607 pilares aos quais o método não é aplicável …… 4.40

Figura 4.49 - Parâmetros que limitam a aplicabilidade do Método B: Percentagens calculadas considerando os 12243 pilares analisados …… 4.40

Figura 4.50 - Parâmetros que provocam a não conformidade pela aplicação do Método B: (a) Percentagens calculadas considerando os pilares que não verificam; (b) Percentagens calculadas considerando os 12243 pilares analisados …… 4.40

Figura 4.51 - Resultado da aplicação do Método B, por escalões de resistência ao fogo. Percentagens calculadas considerando o número de pilares retangulares no escalão de resistência ao fogo correspondente …….. 4.41

Figura 4.52 - Parâmetros que conduzem à não aplicabilidade e à não conformidade dos pilares pela aplicação do Método B …….. 4.43

Figura 4.53 - Pilares que verificam a resistência ao fogo pela aplicação do Método B …….. 4.43

Figura 4.54 - Resultado da aplicação do Método B aos pilares retangulares analisados: (a) Considerando η_{fi} de projeto; (b) Considerando η_{fi}=0,7 …… 4.46

Figura 4.55 - Parâmetros que conduzem à não conformidade dos pilares retangulares pela aplicação do Método B: (a) Considerando η_{fi} calculado para cada projeto; (b) Considerando η_{fi}=0,7 …….. 4.47

Figura 4.56 - Pilares que não verificam a resistência ao fogo aplicando o Método B, considerando η_{fi} de projeto e η_{fi}=0,7, para cada escalão de resistência ao fogo e para cada valor da menor dimensão do pilar …….. 4.47

Figura 4.57 - Resultado da aplicação do Método B aos pilares retangulares analisados, considerando: (a) η_{fi} e o recobrimento de projeto; (b) η_{fi} de projeto e o recobrimento mínimo regulamentar …….. 4.48

Figura 4.58 - Comparação das percentagens dos parâmetros que conduzem à não conformidade dos pilares retangulares em situação de incêndio aplicando o Método B: (a) Considerando o recobrimento previsto em projeto; (b) Considerando o recobrimento mínimo regulamentar …….. 4.49

Figura 4.59 - Método B: Comparação entre as percentagens de pilares que não verificam a_{min} quando se considera o recobrimento de projeto e o recobrimento mínimo regulamentar …….... 4.49

Figura 4.60 - Método B: Comparação entre as percentagens de pilares que não verificam b_{min} e a_{min} quando se considera o recobrimento de projeto e o recobrimento mínimo regulamentar ……. 4.49

Figura 4.61 - Resultado da aplicação do Método B aos pilares circulares analisados …… 4.50

Figura 4.62 - Resultado da aplicação do Método B aos pilares circulares analisados em cada escalão de resistência ao fogo, para cada valor do diâmetro …… 4.50

Figura 4.63 - Parâmetros que limitam a aplicabilidade do Método B: (a) Percentagens calculadas considerando os 404 pilares aos quais o método não é aplicável; (b) Percentagens calculadas considerando os 886 pilares analisados …… 4.51

Figura 4.64 - Parâmetros que provocam a não conformidade pela aplicação do Método B: (a) Percentagens calculadas considerando os pilares que não verificam; (b) Percentagens calculadas considerando todos os pilares analisados …… 4.51

Figura 4.65 - Resultado da aplicação do Método B aos pilares circulares analisados: (a) Considerando η_{fi} de projeto; (b) Considerando η_{fi}=0,7 ……. 4.52

Figura 4.66 - Parâmetros que conduzem à não conformidade dos pilares circulares pela aplicação do Método B: (a) Considerando η_{fi} calculado para cada projeto; (b) Considerando η_{fi}=0,7 ……... 4.52

Figura 4.67 - Aplicação do Método B aos pilares circulares considerando η_{fi} de projeto e η_{fi}=0,7. Variação percentual de pilares que não verificam: (a) a_{min}; (b) b_{min} e a_{min} em simultâneo …… 4.53

Figura 4.68 - Resultado da aplicação do Método B aos pilares circulares analisados: (a) Considerando o recobrimento de projeto; (b) Considerando o recobrimento mínimo regulamentar ……... 4.53

Figura 4.69 - Comparação das percentagens dos parâmetros que conduzem à não conformidade dos pilares circulares em situação de incêndio, pela aplicação do Método B: (a) Considerando o recobrimento previsto em projeto; (b) Considerando o recobrimento mínimo regulamentar …….. 4.54

Figura 4.70 - Variação da percentagem de pilares que não verificam a_{min}, pela aplicação do Método B, considerando o recobrimento de projeto (c_{proj}) e o recobrimento mínimo (c_{min}) ……. 4.54

Figura 4.71 - Resultado da aplicação do Método C aos pilares retangulares analisados …… 4.56

Figura 4.72 - Parâmetros que limitam a aplicabilidade do Método C. Percentagens calculadas considerando os 3699 pilares aos quais o método não é aplicável …… 4.57

Figura 4.73 - Parâmetros que limitam a aplicabilidade do Método C. Percentagens calculadas considerando os 12243 pilares analisados …… 4.57

Figura 4.74 - Parâmetros que provocam a não conformidade pela aplicação do Método C: (a) Percentagens calculadas considerando os pilares que não verificam; (b) Percentagens calculadas considerando os 12243 pilares analisados …… 4.58

Figura 4.75 - Resultado da aplicação do Método C, por escalões de resistência ao fogo. Percentagens calculadas considerando o número de pilares retangulares no escalão de resistência ao fogo correspondente …….. 4.58

Figura 4.76 - Parâmetros que conduzem à não aplicabilidade e à não conformidade dos pilares pela aplicação do Método C ……. 4.60

Figura 4.77 - Pilares que verificam a resistência ao fogo pela aplicação do Método C ……. 4.60

Figura 4.78 - Resultado da aplicação do Método C aos pilares retangulares analisados: (a) Considerando η_{fi} de projeto; (b) Considerando η_{fi}=0,7 ……. 4.64

Figura 4.79 - Parâmetros que conduzem à não conformidade dos pilares retangulares pela aplicação do Método C: (a) Considerando η_{fi} calculado para cada projeto; (b) Considerando η_{fi}=0,7 …….. 4.64

Figura 4.80 - Parâmetros que conduzem à não aplicabilidade do Método C aos pilares retangulares analisados: (a) Considerando η_{fi} calculado para cada projeto; (b) Considerando η_{fi}=0,7 …….. 4.64

Figura 4.81 - Pilares que não verificam a resistência ao fogo aplicando o Método C, considerando η_{fi} de projeto e η_{fi}=0,7, para cada escalão de resistência ao fogo e para cada valor da menor dimensão do pilar …….. 4.65

Figura 4.82 - Resultado da aplicação do Método C aos pilares retangulares analisados: (a) Considerando η_{fi} e o recobrimento de projeto; (b) Considerando η_{fi} de projeto e o recobrimento mínimo regulamentar …… 4.66

Figura 4.83 - Comparação das percentagens dos parâmetros que conduzem à não conformidade dos pilares retangulares em situação de incêndio aplicando o Método C: (a) Considerando o recobrimento previsto em projeto; (b) Considerando o recobrimento mínimo regulamentar …….. 4.66

Figura 4.84 - Método C: Comparação entre as percentagens de pilares que não verificam a_{min} quando se considera o recobrimento de projeto e o recobrimento mínimo regulamentar ……. 4.67

Figura 4.85 - Método C: Comparação entre as percentagens de pilares que não verificam b_{min} e a_{min} quando se considera o recobrimento de projeto e o recobrimento mínimo regulamentar ……. 4.67

Figura 4.86 - Resultado da aplicação do Método C aos pilares circulares analisados …… 4.68

Figura 4.87 - Resultado da aplicação do Método B aos pilares circulares analisados em cada escalão de resistência ao fogo, para cada valor do diâmetro ……. 4.68

Figura 4.88 - Parâmetros que limitam a aplicabilidade do Método C: (a) Percentagens calculadas considerando os 359 pilares aos quais o método não é aplicável; (b) Percentagens calculadas considerando os 886 pilares analisados …… 4.69

Figura 4.89 - Parâmetros que provocam a não conformidade pela aplicação do Método B: (a) Percentagens calculadas considerando os pilares que não verificam; (b) Percentagens calculadas considerando todos os pilares analisados …… 4.69

Figura 4.90 - Resultado da aplicação do Método C aos pilares circulares analisados: (a) Considerando η_{fi} de projeto; (b) Considerando η_{fi}=0,7 …….. 4.70

Figura 4.91 - Parâmetros que conduzem à não conformidade dos pilares circulares pela aplicação do Método C: (a) Considerando η_{fi} calculado para cada projeto; (b) Considerando η_{fi}=0,7 …….. 4.70

Figura 4.92 - Resultado da aplicação do Método C aos pilares circulares analisados: (a) Considerando o recobrimento de projeto; (b) Considerando o recobrimento mínimo regulamentar ……..... 4.71

Figura 4.93 - Comparação das percentagens dos parâmetros que conduzem à não conformidade dos pilares circulares em situação de incêndio, pela aplicação do Método C: (a) Considerando o recobrimento previsto em projeto; (b) Considerando o recobrimento mínimo regulamentar …….. 4.71

Figura 4.94 - Aplicação do Método C aos pilares circulares considerando o recobrimento de projeto (c_{proj}) e o recobrimento mínimo regulamentar (c_{min}). Variação da percentagem de pilares que não verificam: (a) a_{min}; (b) b_{min} e a_{min} em simultâneo ……. 4.72

Figura 4.95 - Resultados da aplicação dos três métodos aos pilares retangulares analisados, considerando o fator de redução do nível de carregamento, η_{fi}, e o recobrimento, c_{nom}, com os valores de projeto …….. 4.73

Figura 4.96 - Resultados da aplicação dos três métodos aos pilares retangulares analisados, considerando η_{fi} de projeto e η_{fi}=0,7 ……. 4.73

Figura 4.97 - Resultados da aplicação dos três métodos aos pilares retangulares analisados, considerando η_{fi} de projeto e, no cálculo de a, o recobrimento de projeto, c_{proj}, e o recobrimento mínimo, c_{min} …….. 4.74

Figura 4.98 - Resultados da aplicação dos três métodos aos pilares retangulares analisados, considerando o fator de redução do nível de carregamento, η_{fi}, com os valores de projeto e o recobrimento mínimo regulamentar …… 4.74

Figura 4.99 - Resultados da aplicação dos três métodos aos pilares circulares analisados, considerando o fator de redução do nível de carregamento, η_{fi}, e o recobrimento, c_{nom}, com os valores de projeto …….. 4.75

Figura 4.100 - Resultados da aplicação dos três métodos aos pilares circulares analisados, considerando η_{fi} de projeto e η_{fi}=0,7 ……. 4.76

Figura 4.101 - Resultados da aplicação dos três métodos aos pilares circulares analisados, considerando η_{fi} de projeto e, no cálculo de a, o recobrimento de projeto, c_{proj}, e o recobrimento mínimo, c_{min} …….. 4.76

Figura 4.102 - Resultados da aplicação dos três métodos aos pilares circulares analisados, considerando o fator de redução do nível de carregamento, η_{fi}, com os valores de projeto e o recobrimento mínimo regulamentar …… 4.77

CAPÍTULO 5 – AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DA RESISTÊNCIA AO FOGO DE PILARES EM BETÃO ARMADO

Figura 5.1 - Fotografia ilustrativa de elementos que constituem o forno do Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas da FCTUC ……. 5.2

Figura 5.2 - Esquema do equipamento de ensaio do Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas da FCTUC ……... 5.3

Figura 5.3 - Equipamento de ensaio: (a) Posicionamento do macaco hidráulico; (b) Transdutores de deslocamento inferiores; (c) Transdutores de deslocamento superiores ……... 5.3

Figura 5.4 - Pormenores do forno e posicionamento das ligações dos termopares: (a) Interior do forno e posicionamento das ligações dos termopares; (b) Resistências elétricas e posicionamento da ligação dos termopares intermédios; (c) Posicionamento da ligação dos termopares intermédios no exterior do forno …….. 5.3

Figura 5.5 - Fotografia do pilar e esquema da sua instrumentalização …… 5.4

Figura 5.6 - Instrumentalização do pilar: (a) Ligações dos termopares nas Secções 1, 2 e 3; (b) Ligação dos termopares na Secção 2; (c) Ligação dos termopares na Secção 3 ……..... 5.5

Figura 5.7 - Ligações dos transdutores e dos termopares ao equipamento de leitura: (a) Ecrã para visualização dos resultados e painel de monitorização; (b) Painel de monitorização ……... 5.5

Figura 5.8 - Ligações do pilar ensaiado: (a) Ligação inferior ao pórtico de imobilização; (b) Ligação superior ao pórtico de imobilização; (c) Ligação do cilindro com a célula de carregamento ……... 5.5

Figura 5.9 - Desenvolvimento da temperatura no forno e da curva ISO 834 (1975), em função do tempo ……... 5.6

Figura 5.10 - Registo instantâneo de alguns momentos do ensaio: (a) Início do ensaio; (b) Momento da ocorrência da força de restrição máxima; (c) Momento em que o esforço axial volta a apresentar sensivelmente o valor inicial ……. 5.7

Figura 5.11 - Forças de restrição em função do tempo: (a) Desenvolvimento das forças de restrição; (b) Razão entre as forças desenvolvidas devido à restrição e o valor da carga inicial …….. 5.7

Figura 5.12 - Curva ISO 834 (1975), desenvolvimento da temperatura no forno e desenvolvimento das temperaturas no pilar: (a) Na Secção 1; (b) Na Secção 2; (c) Na Secção 3 …….. 5.8

Figura 5.13 - Fotografias ilustrativas do destacamento explosivo do betão: (a) Pilar imediatamente após a abertura do forno; (b) Zona com a armadura incandescente; (c) Arrefecimento à temperatura ambiente; (d) Pilar depois do arrefecimento …… 5.8

Figura 5.14 - Desenvolvimento das temperaturas na Secção 1, curva ISO 834 (1975) e desenvolvimento da temperatura no forno ……..……... 5.9

Figura 5.15 - Desenvolvimento das temperaturas na Secção 2, curva ISO 834 (1975) e desenvolvimento da temperatura no forno ……..... 5.9

Figura 5.16 - Desenvolvimento das temperaturas na Secção 3, curva ISO 834 (1975) e desenvolvimento da temperatura no forno ……..... 5.9

Figura 5.17 - Variação da temperatura ao longo do pilar, em função do tempo: (a) No varão da armadura longitudinal; (b) Nas cintas …….. 5.11

Figura 5.18 - Variação da temperatura ao longo do pilar, em função do tempo: (a) Na face; (b) A um quarto da secção transversal; (c) No centro da secção transversal …. 5.11

Figura 5.19 - Variação da temperatura no varão em função do tempo, na Secção 1, na Secção 2 e na Secção 3 ……. 5.12

Figura 5.20 - Variação, no tempo, da razão entre a força máxima verificada no decorrer do ensaio e o valor da carga inicial, para cada um dos três pilares …… 5.14

Figura 5.21 - Diagramas de interação $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ desenhados considerando a aplicação do Método da Isotérmica dos 500ºC, limites do Domínio 5 e representação dos pilares ensaiados: (a) Pilar P1; (b) Pilar P2; (c) Pilar P3 …….. 5.17

Figura 5.22 - Diagramas de interação $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ desenhados considerando a aplicação do Método da Isotérmica dos 500ºC e do Método das Zonas, e representação dos pilares ensaiados: (a) Pilar P1; (b) Pilar P2; (c) Pilar P3 …….. 5.19

Figura 5.23 - Diagramas de interação $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ desenhados considerando a aplicação do Método da Isotérmica dos 500ºC e do Método das Zonas, diagramas de interação $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$, e representação dos pilares ensaiados: (a) Pilar P1; (b) Pilar P2; (c) Pilar P3 ……. 5.19

Figura 5.24 - Diagramas de interação $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$ desenhados considerando a aplicação do Método da Isotérmica dos 500ºC e do Método das Zonas, e representação dos pilares ensaiados: (a) Pilar P1; (b) Pilar P2; (c) Pilar P3 …… 5.20

Figura 5.25 - Aumento percentual da esbelteza em situação de incêndio, nos escalões R60, R90 e R120, em relação à temperatura ambiente, considerando os pilares em estruturas não contraventadas e contraventadas …… 5.26

Figura 5.26 - Razão entre o esforço normal resistente determinado considerando as vigas de travação com diferentes alturas e vãos e o esforço normal resistente determinado considerando uma viga de travação com 50cm de altura e um vão de 5,0m …….. 5.27

Figura 5.27 - Razão entre o esforço normal resistente, lido no decorrer do ensaio e determinado recorrendo ao Método da Isotérmica dos 500ºC aos 60, 90 e 120 minutos, e a carga inicial aplicada, P_0 …… 5.29

Figura 5.28 - Variação percentual da razão entre o esforço normal resistente calculado recorrendo ao Método da Isotérmica dos 500ºC, $N_{Rd,fi,c}$, e o lido no decorrer do ensaio, $N_{Rd,fi,e}$, aos 60, 90 e 120 minutos …….. 5.30

CAPÍTULO 6 – DESENVOLVIMENTO DOS DIAGRAMAS DE INTERAÇÃO N_{fi}/M_{fi} EM FLEXÃO COMPOSTA

Figura 6.1 - Diagramas de interação dos esforços resistentes $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ e dos esforços atuantes $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$ …….. 6.2

Figura 6.2 - Representação esquemática da relação tensões-extensões em aços para betão armado ……..... 6.4

Figura 6.3 - Variação do coeficiente de redução $k_s(\theta)$ do valor caraterístico da resistência do aço, f_{yk}, em armaduras tracionadas ou comprimidas, da tensão limite de proporcionalidade, $f_{sp,\theta}$ e do módulo de elasticidade $E_{s,\theta}$ (Classe N e aço laminado a quente) ……... 6.6

Figura 6.4 - Representação esquemática dos domínios das extensões admissíveis em estado limite último para o aço e para o betão, na situação da armadura se encontrar no interior da secção útil de betão ……. 6.6

Figura 6.5 - Representação esquemática dos domínios das extensões admissíveis em estado limite último para o aço e para o betão, na situação da armadura se encontrar no exterior da secção útil de betão ……. 6.7

Figura 6.6 - Representação esquemática da distribuição das armaduras longitudinais consideradas no estudo ……. 6.8

Figura 6.7 - Representação dos domínios D2 a D7 no gráfico dos diagramas de interação N_{fi}/M_{fi} 6.8

Figura 6.8 - Ilustração da metodologia adotada para o cálculo da área útil num pilar com secção transversal de 300x300mm^2 no escalão R60: (a) Identificação da área em excesso e (b) Definição de a_{500} ……. 6.16

Figura 6.9 - Ilustração da metodologia adotada para o cálculo da área útil num pilar com secção transversal de 300x300mm^2 no escalão R90: (a) Identificação da área em excesso e (b) Definição de a_{500} ……. 6.16

Figura 6.10 - Ilustração da metodologia adotada para o cálculo da área útil num pilar com secção transversal de 300x300mm^2 no escalão R120: (a) Identificação da área em excesso e (b) Definição de a_{500} …… 6.17

Figura 6.11 - Espessura da camada de betão danificada, a_{500}, definida para as secções transversais dos pilares estudados, para os escalões R60, R90 e R120 ……. 6.18

Figura 6.12 - Redução percentual da área da secção transversal de betão, para os escalões R60, R90 e R120 …… 6.19

Figura 6.13 - Ilustração das duas situações distintas de posicionamento de varões para a leitura de temperaturas ……. 6.20

Figura 6.14 - Redução das propriedades mecânicas do aço dos varões da armadura longitudinal, em função da temperatura: (a) Valores reduzidos de $f_{sp,\theta}$ e (b) Valores reduzidos de $f_{sy,\theta}$ ……. 6.21

Figura 6.15 - Redução das propriedades mecânicas do aço dos varões da armadura longitudinal, em função da temperatura: (a) Valores reduzidos de $E_{s,\theta}$ e (b) Valores reduzidos de $\varepsilon_{sp,\theta}$ …….. 6.21

Figura 6.16 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e em situação de incêndio, para as secções: (a) 20x20-4*Φ*12, *a*=47mm e (b) 20x40-4*Φ*12, *a*=47mm ……. 6.24

Figura 6.17 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e em situação de incêndio, para as secções: (a) 25x25-4*Φ*12, *a*=47mm, (b) 25x25-4*Φ*16, *a*=49mm e (c) 25x25-4*Φ*25, *a*=55mm …… 6.25

Figura 6.18 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e em situação de incêndio, para as secções: (a) 25x40-4*Φ*12, *a*=47mm e (b) 25x40-4*Φ*16, *a*=49mm ……. 6.25

Figura 6.19 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e em situação de incêndio, para as secções: (a) 30x30-4*Φ*12, *a*=47mm e (b) 30x30-4*Φ*25, *a*=55mm ……. 6.25

Figura 6.20 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e em situação de incêndio, para as secções: (a) 30x40-4*Φ*12, *a*=47mm e (b) 30x40-4*Φ*25, *a*=55mm ……. 6.26

Figura 6.21 - Extensões admissíveis para o betão e para o aço numa secção quadrada de 30x30cm^2 à temperatura ambiente (diagrama a preto) e em situação de incêndio, no escalão R60, (diagrama a azul) …… 6.27

Figura 6.22 - Extensões admissíveis para o betão e para o aço numa secção retangular de 30x40cm^2 à temperatura ambiente (diagrama a preto) e em situação de incêndio, no escalão R60, (diagrama a azul) ……. 6.27

Figura 6.23 - Extensões admissíveis para o betão e para o aço numa secção retangular de 30x40cm^2 à temperatura ambiente (diagrama a preto) e em situação de incêndio, no escalão R120, (diagrama a azul) …….. 6.28

Figura 6.24 - Alinhamentos considerados para o cálculo dos aumentos percentuais dos esforços normais resistentes no escalão R60 relativamente aos correspondentes à temperatura ambiente, na secção de 30x40cm^2 com armadura constituída por 4*Φ*12-*Φ*6 …….. 6.32

Figura 6.25 - Variação dos diagramas de interação $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$ em função das dimensões da secção transversal e vão das vigas de travação: (a) Pilar de 20x20cm^2-4*Φ*12-*Φ*6 e vigas com *b*=20cm, no escalão R60 e (b) Pilar de 30x30cm^2-4*Φ*12-*Φ*6 e vigas com *b*=30cm, no escalão R120 ……. 6.39

Figura 6.26 - Variação dos diagramas de interação $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$ em função das dimensões da secção transversal e vão das vigas de travação: (a) Pilar de 30x30cm^2-4*Φ*12-*Φ*6 e vigas com *b*=30cm, no escalão R60 e (b) Pilar de 30x30cm^2-4*Φ*25-*Φ*8 e vigas com *b*=30cm, no escalão R60 …….. 6.39

Figura 6.27 - Variação dos diagramas adimensionais de interação $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$ em função das classes de resistência mecânica do betão, para pilares no escalão R60: (a) Pilar de 20x20cm^2 com armadura 4Φ12-Φ6, (b) Pilar de 30x30cm^2 com armadura 4Φ12-Φ6 e (c) Pilar de 30x30cm^2 com armadura 4Φ25-Φ8 ……. 6.41

Figura 6.28 - Variação da discrepância entre os diagramas adimensionais de interação $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$ utilizando os betões C25/30 e C50/60, em função das classes de resistência ao fogo, para um pilar de 20x20 cm^2 com armadura constituída por 4Φ12-Φ6: (a) No escalão R60, (b) No escalão R90 e (c) No escalão R120 …. 6.41

Figura 6.29 - Variação da discrepância entre os diagramas adimensionais de interação $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$ utilizando os betões C25/30 e C50/60, em função das classes de resistência ao fogo, para um pilar de 30x30 cm^2 com armadura constituída por 4Φ25-Φ8: (a) No escalão R60, (b) No escalão R90 e (c) No escalão R120 …. 6.42

Figura 6.30 - Diagramas de interação N/M adimensionais, à temperatura ambiente e no escalão R60, para duas secções com armadura constituída por 4Φ12-Φ6, e dimensões: (a) 25x25cm^2 e (b) 30x40cm^2 …… 6.42

Figura 6.31 - Diagramas de interação N/M adimensionais, à temperatura ambiente e nos escalões R60, R90 e R120, para três secções com armadura constituída por 4Φ12-Φ6, e dimensões: (a) 20x20cm^2, (b) 20x30 cm^2 e (c) 20x40cm^2 …… 6.43

Figura 6.32 - Diagramas de interação N/M adimensionais, à temperatura ambiente e nos escalões R60, R90 e R120, para três secções com armadura constituída por 4Φ16-Φ6, e dimensões: (a) 20x20cm^2, (b) 20x30 cm^2 e (c) 20x40cm^2 ……. 6.44

Figura 6.33 - Diagramas de interação N/M adimensionais, à temperatura ambiente e nos escalões R60, R90 e R120, para três secções com armadura constituída por 4Φ20-Φ6, e dimensões: (a) 20x20cm^2, (b) 20x30 cm^2 e (c) 20x40cm^2 ……. 6.44

Figura 6.34 - Diagramas de interação N/M adimensionais, à temperatura ambiente e nos escalões R60, R90 e R120, para duas secções com armadura constituída por 4Φ25-Φ8, e dimensões: (a) 20x30cm^2 e (b) 20x40 cm^2 ……... 6.44

Figura 6.35 - Diagramas de interação N/M adimensionais, à temperatura ambiente e nos escalões R60, R90 e R120, para três secções com armadura constituída por 4Φ12-Φ6, e dimensões: (a) 25x25cm^2, (b) 25x30 cm^2 e (c) 25x40cm^2 ……. 6.45

Figura 6.36 - Diagramas de interação N/M adimensionais, à temperatura ambiente e nos escalões R60, R90 e R120, para três secções com armadura constituída por 4Φ16-Φ6, e dimensões: (a) 25x25cm^2, (b) 25x30 cm^2 e (c) 25x40cm^2 ……. 6.45

Figura 6.37 - Diagramas de interação N/M adimensionais, à temperatura ambiente e nos escalões R60, R90 e R120, para três secções com armadura constituída por 4Φ20-Φ6, e dimensões: (a) 25x25cm^2, (b) 25x30 cm^2 e (c) 25x40cm^2 ……. 6.45

Figura 6.38 - Diagramas de interação N/M adimensionais, à temperatura ambiente e nos escalões R60, R90 e R120, para três secções com armadura constituída por 4Φ25-Φ8, e dimensões: (a) 25x25cm^2, (b) 25x30 cm^2 e (c) 25x40cm^2 ……. 6.46

Figura 6.39 - Diagramas de interação N/M adimensionais, à temperatura ambiente e nos escalões R60, R90 e R120, para duas secções com armadura constituída por 4Φ12-Φ6, e dimensões: (a) 30x30cm^2 e (b) 30x40 cm^2 …… 6.46

Figura 6.40 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e nos escalões R60, R90 e R120, para duas secções com armadura constituída por 4*Φ*16-*Φ*6, e dimensões: (a) 30x30cm^2 e (b) 30x40 cm^2 …… 6.46

Figura 6.41 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e nos escalões R60, R90 e R120, para duas secções com armadura constituída por 4*Φ*20-*Φ*6, e dimensões: (a) 30x30cm^2 e (b) 30x40 cm^2 …… 6.47

Figura 6.42 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e nos escalões R60, R90 e R120, para duas secções com armadura constituída por 4*Φ*25-*Φ*8, e dimensões: (a) 30x30cm^2 e (b) 30x40 cm^2 …… 6.47

Figura 6.43 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e nos escalões R60, R90 e R120, para duas secções com armadura constituída por 6*Φ*12-*Φ*6, e dimensões: (a) 20x50cm^2 e (b) 20x60 cm^2 …… 6.47

Figura 6.44 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e nos escalões R60, R90 e R120, para duas secções com armadura constituída por 6*Φ*16-*Φ*6, e dimensões: (a) 20x50cm^2 e (b) 20x60 cm^2 …… 6.48

Figura 6.45 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e nos escalões R60, R90 e R120, para duas secções com armadura constituída por 6*Φ*20-*Φ*6, e dimensões: (a) 20x50cm^2 e (b) 20x60 cm^2 …… 6.48

Figura 6.46 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e nos escalões R60, R90 e R120, para duas secções com armadura constituída por 6*Φ*25-*Φ*8, e dimensões: (a) 20x50cm^2 e (b) 20x60 cm^2 …… 6.48

Figura 6.47 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e nos escalões R60, R90 e R120, para duas secções com armadura constituída por 6*Φ*12-*Φ*6, e dimensões: (a) 25x50cm^2 e (b) 25x60 cm^2 …… 6.49

Figura 6.48 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e nos escalões R60, R90 e R120, para duas secções com armadura constituída por 6*Φ*16-*Φ*6, e dimensões: (a) 25x50cm^2 e (b) 25x60 cm^2 …… 6.49

Figura 6.49 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e no escalão R120, para duas secções com armadura constituída por 6*Φ*20-*Φ*6, e dimensões: (a) 25x50cm^2 e (b) 25x60 cm^2 …… 6.49

Figura 6.50 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e nos escalões R60, R90 e R120, para duas secções com armadura constituída por 6*Φ*12-*Φ*6, e dimensões: (a) 30x50cm^2 e (b) 30x60 cm^2 …… 6.50

Figura 6.51 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e nos escalões R60, R90 e R120, para duas secções com armadura constituída por 6*Φ*16-*Φ*6, e dimensões: (a) 30x50cm^2 e (b) 30x60 cm^2 …… 6.50

CAPÍTULO 7 – METODOLOGIA PROPOSTA PARA A VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO FOGO DE PILARES EM BETÃO ARMADO

Figura 7.1 - Diagramas de interação adimensionais $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ para o escalão R60, considerando o betão C25/30: (a) Para a=47mm (armadura 4Φ12 - Φ6) e (b) Para a=55mm (armadura 4Φ25 - Φ8) ……. 7.3

Figura 7.2 - Diagramas de interação adimensionais $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ para o escalão R60, considerando o betão C50/60: (a) Para a=47mm (armadura 4Φ12 - Φ6) e (b) Para a=55mm (armadura 4Φ25 - Φ8) ……. 7.3

Figura 7.3 - Diagramas de interação adimensionais $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ para o escalão R120, considerando o betão C50/60: (a) Para a=47mm (armadura 4Φ12 - Φ6) e (b) Para a=55mm (armadura 4Φ25 - Φ8) ……. 7.4

Figura 7.4 - Diagramas de interação adimensionais $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ para o escalão R60, considerando o betão C25/30: (a) Para a=47mm (armadura 6Φ12 - Φ6) e (b) Para a=55mm (armadura 6Φ25 - Φ8) ……. 7.4

Figura 7.5 - Diagramas de interação adimensionais $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ para o escalão R60, considerando o betão C25/30: (a) Para a=47mm (armadura 8Φ12 - Φ6) e (b) Para a=55mm (armadura 8Φ25 - Φ8) ……... 7.4

Figura 7.6 - Comparação entre as curvas constituintes dos diagramas adimensionais N/M para pilares no escalão R60, considerando as armaduras em aço S400 e S500, para as secções: (a) 20x20-4Φ12-Φ6, a=47mm e (b) 25x25-4Φ25-Φ8, a=55mm … 7.6

Figura 7.7 - Comparação entre as curvas constituintes dos diagramas adimensionais N/M para pilares no escalão R60, considerando as armaduras em aço S400 e S500, para as secções: (a) 30x50-10Φ12-Φ6, a=47mm e (b) 30x50-10Φ25-Φ8, a=55mm 7.6

Figura 7.8 - Comparação entre as curvas constituintes dos diagramas adimensionais N/M para pilares no escalão R120, considerando as armaduras em aço S400 e S500, para as secções: (a) 20x20-4Φ12-Φ6, a=47mm e (b) 25x25-4Φ25-Φ8, a=55mm … 7.7

Figura 7.9 - Comparação entre as curvas constituintes dos diagramas adimensionais N/M para pilares no escalão R120, considerando as armaduras em aço S400 e S500, para as secções: (a) 30x50-10Φ12-Φ6, a=47mm e (b) 30x50-10Φ25-Φ8, a=55mm 7.7

Figura 7.10 - Diagramas de interação adimensionais N/M correspondentes a pilares no escalão R60 com armaduras em aço S400, fazendo variar a classe de resistência do betão normal, para as secções: (a) 20x20-4Φ12-Φ6, a=47mm e (b) 20x40-4Φ12-Φ6, a=47mm ……... 7.8

Figura 7.11 - Diagramas de interação adimensionais N/M correspondentes a pilares no escalão R60 com armaduras em aço S400, fazendo variar a classe de resistência do betão normal, para as secções: (a) 30x30-4Φ12-Φ6, a=47mm e (b) 40x40-4Φ12-Φ6, a=47mm …….. 7.8

Figura 7.12 - Diagramas de interação adimensionais N/M correspondentes a pilares no escalão R60 com armaduras em aço S400, fazendo variar a classe de resistência do betão normal, para as secções: (a) 25x25-4Φ25-Φ8, a=55mm e (b) 40x40-4Φ25-Φ8, a=55mm ……... 7.9

Figura 7.13 - Diagramas de interação adimensionais $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ correspondentes às secções consideradas no Gráfico 11 e indicadas no Quadro 7.2, para os escalões R60, R90 e R120 …… 7.12

Figura 7.14 - Diagramas de interação adimensionais $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ correspondentes às secções consideradas no Gráfico 11, com a identificação das curvas tomadas como base para o desenho das definitivas …….. 7.13

Figura 7.15 - Processo de definição das Curvas 14 a 19 do Gráfico 11: (a) Diagramas de interação correspondentes às secções indicadas na legenda e (b) Composição das curvas definitivas ……..... 7.14

Figura 7.16 - Curvas 14 a 19 do Gráfico 11 …… 7.14

Figura 7.17 - Processo de definição das Curvas 7 a 13 do Gráfico 11 …… 7.16

Figura 7.18 - Curvas 7 a 13 do Gráfico 11 ……. 7.16

Figura 7.19 - Processo de definição das Curvas 1 a 6 do Gráfico 11 ……. 7.18

Figura 7.20 - Curvas 1 a 6 do Gráfico 11 …… 7.18

Figura 7.21 - Gráfico para a verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*12-*Φ*6. Válido para as secções indicadas no Quadro 7.4 …….. 7.21

Figura 7.22 - Gráfico para a verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*16-*Φ*6. Válido para as secções indicadas no Quadro 7.5 …….. 7.22

Figura 7.23 - Gráfico para a verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*20-*Φ*6. Válido para as secções indicadas no Quadro 7.6 …….. 7.23

Figura 7.24 - Gráfico para a verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*25-*Φ*8. Válido para as secções indicadas no Quadro 7.7 …….. 7.24

Figura 7.25 - Gráfico para a verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*12-*Φ*6. Válido para as secções indicadas no Quadro 7.8 …….. 7.25

Figura 7.26 - Gráfico para a verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*16-*Φ*6. Válido para as secções indicadas no Quadro7.9 …… 7.26

Figura 7.27 - Gráfico para a verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*20-*Φ*6. Válido para as secções indicadas no Quadro 7.10 ……. 7.27

Figura 7.28 - Gráfico para a verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*25-*Φ*8. Válido para as secções indicadas no Quadro 7.11 ……..... 7.28

Figura 7.29 - Gráfico para a verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*12-*Φ*6. Válido para as secções indicadas no Quadro 7.12 ……. 7.29

Figura 7.30 - Gráfico para a verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*16-*Φ*6. Válido para as secções indicadas no Quadro 7.13 ……. 7.30

Figura 7.31 - Gráfico para a verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*20-*Φ*6. Válido para as secções indicadas no Quadro 7.14 ……. 7.31

Figura 7.32 - Gráfico para a verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*25-*Φ*8. Válido para as secções indicadas no Quadro 7.15 ……. 7.32

Figura 7.33 - Aplicação do Gráfico 1: verificação da resistência ao fogo dos pilares analisados com *b*=20cm e armadura constituída por *Φ*12-*Φ*6: (a) No escalão R60, (b) No escalão R90 e (c) No escalão R120 …… 7.41

Figura 7.34 - Aplicação do Gráfico 2: verificação da resistência ao fogo dos pilares analisados com *b*=20cm e armadura constituída por *Φ*16-*Φ*6: (a) No escalão R60, (b) No escalão R90 e (c) No escalão R120 …… 7.42

Figura 7.35 - Aplicação do Gráfico 3: verificação da resistência ao fogo dos pilares analisados com *b*=20cm e armadura constituída por *Φ*20-*Φ*6: (a) No escalão R60, (b) No escalão R90 e (c) No escalão R120 …… 7.43

Figura 7.36 - Aplicação do Gráfico 4: verificação da resistência ao fogo dos pilares analisados com *b*=20cm e armadura constituída por *Φ*25-*Φ*8: (a) No escalão R60, (b) No escalão R90 e (c) No escalão R120 …… 7.44

Figura 7.37 - Resultado da aplicação dos gráficos definitivos aos pilares com *b*=20cm, no escalão R60 ……... 7.47

Figura 7.38 - Resultado da aplicação dos gráficos definitivos aos pilares com *b*=20cm, no escalão R90 ……... 7.47

Figura 7.39 - Resultado da aplicação dos gráficos definitivos aos pilares com *b*=20cm, no escalão R120 ……. 7.47

Figura 7.40 - Resultado da aplicação dos gráficos definitivos aos pilares com *b*=25cm, no escalão R60 ……... 7.48

Figura 7.41 - Resultado da aplicação dos gráficos definitivos aos pilares com *b*=25cm, no escalão R90 ……... 7.48

Figura 7.42 - Resultado da aplicação dos gráficos definitivos aos pilares com *b*=25cm, no escalão R120 ……. 7.48

Figura 7.43 - Resultado da aplicação dos gráficos definitivos aos pilares com *b*=30cm, no escalão R60 ……... 7.48

Figura 7.44 - Resultado da aplicação dos gráficos definitivos aos pilares com b=30cm, no escalão R90 ..... 7.49

Figura 7.45 - Resultado da aplicação dos gráficos definitivos aos pilares com b=30cm, no escalão R120 ..... 7.49

Figura 7.46 - Resultados da aplicação dos gráficos propostos aos pilares analisados 7.50

Figura 7.47 - Pilares analisados que verificam a resistência ao fogo pela aplicação dos gráficos propostos 7.50

Figura 7.48 - Resultados da aplicação dos métodos que se apresentam na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) sob a forma de tabelas e dos gráficos propostos nesta dissertação, na verificação da resistência ao fogo dos 7204 pilares com b=20cm, b=25cm e b=30cm 7.52

Figura 7.49 - Pilares que verificam a resistência ao fogo quando se utilizam os métodos que se apresentam na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) sob a forma de tabelas e os gráficos propostos nesta dissertação 7.52

ANEXO A4 – APLICAÇÃO DOS MÉTODOS QUE SE APRESENTAM SOB A FORMA DE TABELAS

Figura A4.1 - Resultado da aplicação do Método A aos pilares retangulares analisados, por escalão de resistência ao fogo e por valor da menor dimensão, considerando η_{fi} e c_{nom} com os valores de projeto A4.18

Figura A4.2 - Resultado da aplicação do Método B aos pilares retangulares analisados, por escalão de resistência ao fogo e por valor da menor dimensão, considerando η_{fi} e c_{nom} com os valores de projeto A4.19

Figura A4.3 - Resultado da aplicação do Método C aos pilares retangulares analisados, por escalão de resistência ao fogo e por valor da menor dimensão, considerando η_{fi} e c_{nom} com os valores de projeto A4.20

Figura A4.4 - Escalão R30 - Percentagem de pilares retangulares que não verificam a_{min} e b_{min} e a_{min} em simultâneo pela aplicação do Método A, do Método B e do Método C, para cada valor da menor dimensão da secção transversal, considerando o recobrimento de projeto, c_{proj} e o recobrimento mínimo, c_{min} A4.21

Figura A4.5 - Escalão R60 - Percentagem de pilares retangulares que não verificam a_{min} e b_{min} e a_{min} em simultâneo pela aplicação do Método A, do Método B e do Método C, para cada valor da menor dimensão da secção transversal, considerando o recobrimento de projeto, c_{proj} e o recobrimento mínimo, c_{min} A4.21

Figura A4.6 - Escalão R90 - Percentagem de pilares retangulares que não verificam a_{min} e b_{min} e a_{min} em simultâneo pela aplicação do Método A, do Método B e do Método C, para cada valor da menor dimensão da secção transversal, considerando o recobrimento de projeto, c_{proj} e o recobrimento mínimo, c_{min} A4.22

Figura A4.7 - Escalão R120 - Percentagem de pilares retangulares que não verificam a_{min} e b_{min} e a_{min} em simultâneo pela aplicação do Método A, do Método B e do Método C, para cada valor da menor dimensão da secção transversal, considerando o recobrimento de projeto, c_{proj} e o recobrimento mínimo, c_{min} .. A4.22

Figura A4.8 - Escalão R180 - Percentagem de pilares retangulares que não verificam a_{min} e b_{min} e a_{min} em simultâneo pela aplicação do Método A, do Método B e do Método C, para cada valor da menor dimensão da secção transversal, considerando o recobrimento de projeto, c_{proj} e o recobrimento mínimo, c_{min} .. A4.22

Figura A4.9 - Pilares retangulares que verificam a resistência ao fogo, por valor da menor dimensão da secção transversal, considerando a aplicação do Método A, do Método B e do Método C, tomando o fator de redução com os valores de projeto e o recobrimento mínimo regulamentar ……. A4.23

Figura A4.10 - Pilares retangulares que não verificam a resistência ao fogo considerando a aplicação do Método A, do Método B e do Método C, tomando o fator de redução com os valores de projeto e o recobrimento mínimo regulamentar …. A4.24

Figura A4.11 - Pilares retangulares aos quais o Método A, o Método B e o Método C não são aplicáveis, considerando o fator de redução com os valores de projeto e o recobrimento mínimo regulamentar …….. A4.25

Figura A4.12 - Pilares circulares que verificam a resistência ao fogo considerando a aplicação do Método A, do Método B e do Método C, tomando o fator de redução com os valores de projeto e o recobrimento mínimo regulamentar …….. A4.26

Figura A4.13 - Pilares circulares que não verificam a resistência ao fogo considerando a aplicação do Método A, do Método B e do Método C, tomando o fator de redução com os valores de projeto e o recobrimento mínimo regulamentar …. A4.27

Figura A4.14 - Pilares circulares aos quais o Método A, o Método B e o Método C não são aplicáveis, considerando o fator de redução com os valores de projeto e o recobrimento mínimo regulamentar …….. A4.28

ANEXO A6 – DIAGRAMAS DE INTERAÇÃO N_{fi}/M_{fi}

Figura A6.1 - Representação esquemática dos limites das extensões no aço e no betão, para o domínio 1 …….. A6.3

Figura A6.2 - Representação esquemática dos limites das extensões no aço e no betão, para o domínio 2 …….. A6.3

Figura A6.3 - Representação esquemática dos limites das extensões no aço e no betão, para o domínio 3 …….. A6.4

Figura A6.4 - Representação esquemática dos limites das extensões no aço e no betão, para o domínio 4 …….. A6.4

Figura A6.5 - Representação esquemática dos limites das extensões no aço e no betão, para o domínio 5 …….. A6.5

Figura A6.6 - Representação esquemática dos limites das extensões no aço e no betão, para o domínio 6 …….. A6.5

Figura A6.7 - Representação esquemática dos limites das extensões no aço e no betão, para o domínio 7 …….. A6.6

Figura A6.8 - Representação esquemática da secção transversal de um pilar com armadura constituída por seis varões ……. A6.7

Figura A6.9 - Representação esquemática da secção transversal de um pilar com armadura constituída por oito varões ……. A6.8

Figura A6.10 - Representação esquemática da secção transversal de um pilar com armadura constituída por dez varões ……. A6.9

Figura A6.11 - Diagrama de interação $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ e domínios das extensões determinados como se mostra nos Quadros A6.33 a A6.47, para um pilar de 30x50 cm2 com armadura constituída por 10Φ25 - Φ8, em betão C50/60 e aço S400, no escalão R90 ……... A6.20

Figura A6.12 - Diagramas de interação $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$, $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ e domínios das extensões, para um pilar de 30x50cm^2 com armadura constituída por 10Φ25 - Φ8, em betão C50/60 e aço S400, no escalão R90 …….. A6.23

ANEXO A7 – DESENVOLVIMENTO DOS GRÁFICOS PROPOSTOS E VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO FOGO DOS PILARES

Figura A7.1 - Diagramas de interação correspondentes às secções transversais indicadas no Quadro 6.7(a) do Capítulo 6, para R60, betão C50/60 e aço S400 …… A7.2

Figura A7.2 - Comparação entre as curvas constituintes dos diagramas adimensionais *N*/*M* para pilares no escalão R60, considerando as armaduras em aço S400 e S500, para as secções: (a) 30x30-4Φ12-Φ6, *a*=47mm e (b) 30x30-4Φ25-Φ8, *a*=55mm ……..... A7.3

Figura A7.3 - Comparação entre as curvas constituintes dos diagramas adimensionais *N*/*M* para pilares no escalão R90, considerando as armaduras em aço S400 e S500, para as secções: (a) 30x30-4Φ12-Φ6, *a*=47mm e (b) 30x30-4Φ25-Φ8, *a*=55mm …… A7.3

Figura A7.4 - Comparação entre as curvas constituintes dos diagramas adimensionais *N*/*M* para pilares no escalão R120, considerando as armaduras em aço S400 e S500, para as secções: (a) 30x30-4Φ12-Φ6, *a*=47mm e (b) 30x30-4Φ25-Φ8, *a*=55mm …… A7.3

Figura A7.5 - Diagramas de interação correspondentes às secções previstas com *b*=200mm e armadura constituída por varões Φ12-Φ6, para a construção do Gráfico 1 ….. A7.10

Figura A7.6 - Diagramas de interação correspondentes às secções previstas com *b*=200mm e armadura constituída por varões Φ16-Φ6, para a construção do Gráfico 2 ….. A7.11

Figura A7.7 - Diagramas de interação correspondentes às secções previstas com *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*20-*Φ*6, para a construção do Gráfico 3 ….. A7.12

Figura A7.8 - Diagramas de interação correspondentes às secções previstas com *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*25-*Φ*8, para a construção do Gráfico 4 ….. A7.13

Figura A7.9 - Diagramas de interação correspondentes às secções previstas com *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*12-*Φ*6, para a construção do Gráfico 5 ….. A7.14

Figura A7.10 - Diagramas de interação correspondentes às secções previstas com *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*16-*Φ*6, para a construção do Gráfico 6 ….. A7.15

Figura A7.11 - Diagramas de interação correspondentes às secções previstas com *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*20-*Φ*6, para a construção do Gráfico 7 ….. A7.16

Figura A7.12 - Diagramas de interação correspondentes às secções previstas com *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*25-*Φ*8, para a construção do Gráfico 8 ….. A7.17

Figura A7.13 - Diagramas de interação correspondentes às secções previstas com *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*12-*Φ*6, para a construção do Gráfico 9 ….. A7.18

Figura A7.14 - Diagramas de interação correspondentes às secções previstas com *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*16-*Φ*6, para a construção do Gráfico 10 …. A7.19

Figura A7.15 - Diagramas de interação correspondentes às secções previstas com *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*25-*Φ*8, para a construção do Gráfico 12 …. A7.20

Figura A7.16 - Aplicação do Gráfico 5: verificação da resistência ao fogo dos pilares analisados com *b*=25cm e armadura constituída por *Φ*12-*Φ*6 …….. A7.24

Figura A7.17 - Aplicação do Gráfico 6: verificação da resistência ao fogo dos pilares analisados com *b*=25cm e armadura constituída por *Φ*16-*Φ*6 ……. A7.26

Figura A7.18 - Aplicação do Gráfico 7: verificação da resistência ao fogo dos pilares analisados com *b*=25cm e armadura constituída por *Φ*20-*Φ*6 …….. A7.28

Figura A7.19 - Aplicação do Gráfico 8: verificação da resistência ao fogo dos pilares analisados com *b*=25cm e armadura constituída por *Φ*25-*Φ*8 …….. A7.29

Figura A7.20 - Aplicação do Gráfico 9: verificação da resistência ao fogo dos pilares analisados com *b*=30cm e armadura constituída por *Φ*12-*Φ*6 …….. A7.31

Figura A7.21 - Aplicação do Gráfico 10: verificação da resistência ao fogo dos pilares analisados com *b*=30cm e armadura constituída por *Φ*16-*Φ*6 …….. A7.35

Figura A7.22 - Aplicação do Gráfico 11: verificação da resistência ao fogo dos pilares analisados com *b*=30cm e armadura constituída por *Φ*20-*Φ*6 …….. A7.38

Figura A7.23 - Aplicação do Gráfico 12: verificação da resistência ao fogo dos pilares analisados com *b*=30cm e armadura constituída por *Φ*25-*Φ*8 …….. A7.41

Figura A7.24 - Percentagens de pilares com *b*=20cm, no escalão R60, que verificam a resistência ao fogo quando utilizados os gráficos propostos ……. A7.42

Figura A7.25 - Percentagens de pilares com *b*=20cm, no escalão R90, que verificam a resistência ao fogo quando utilizados os gráficos propostos …… A7.42

Figura A7.26 - Percentagens de pilares com *b*=20cm, no escalão R120, que verificam a resistência ao fogo quando utilizados os gráficos propostos …… A7.43

Figura A7.27 - Percentagens de pilares com *b*=25cm, no escalão R60, que verificam a resistência ao fogo quando utilizados os gráficos propostos …… A7.43

Figura A7.28 - Percentagens de pilares com *b*=25cm, no escalão R90, que verificam a resistência ao fogo quando utilizados os gráficos propostos …… A7.43

Figura A7.29 - Percentagens de pilares com *b*=25cm, no escalão R120, que verificam a resistência ao fogo quando utilizados os gráficos propostos …… A7.43

Figura A7.30 - Percentagens de pilares com *b*=30cm, no escalão R60, que verificam a resistência ao fogo quando utilizados os gráficos propostos …… A7.44

Figura A7.31 - Percentagens de pilares com *b*=30cm, no escalão R90, que verificam a resistência ao fogo quando utilizados os gráficos propostos …… A7.44

Figura A7.32 - Percentagens de pilares com *b*=30cm, no escalão R120, que verificam a resistência ao fogo quando utilizados os gráficos propostos …… A7.44

ÍNDICE DE QUADROS

CAPÍTULO 2 – ESTADO DA ARTE

Quadro 2.1 - Utilizações-tipo preconizadas no RJ-SCIE …… 2.3

Quadro 2.2 - Espaços e condições em que se aplicam exclusivamente as disposições previstas para a utilização-tipo do edifício onde se inserem ……. 2.4

Quadro 2.3 - Classificação dos locais de risco …… 2.4

Quadro 2.4 - Utilizações-tipo dos edifícios e correspondentes fatores de risco …….. 2.5

Quadro 2.5 - Resistência ao fogo padrão mínima de elementos estruturais de edifícios …… 2.6

Quadro 2.6 - Síntese da normalização Europeia ……. 2.7

Quadro 2.7 - Valores de b_{min} e de a_{min} para pilares de secção retangular ou circular considerando a aplicação do Método A dos Valores Tabelados …….. 2.11

Quadro 2.8 - Valores de b_{min} e de a_{min} para pilares de secção retangular ou circular considerando a aplicação do Método B dos Valores Tabelados, para R30 ….. 2.12

Quadro 2.9 - Valores de b_{min} e de a_{min} para pilares de secção retangular ou circular considerando a aplicação do Método B dos Valores Tabelados, para R60 ….. 2.13

Quadro 2.10 - Valores de b_{min} e de a_{min} para pilares de secção retangular ou circular considerando a aplicação do Método B dos Valores Tabelados, para R90 ….. 2.13

Quadro 2.11 - Valores de b_{min} e de a_{min} para pilares de secção retangular ou circular considerando a aplicação do Método B dos Valores Tabelados, para R120 … 2.14

Quadro 2.12 - Condições de aplicabilidade das tabelas previstas na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) para o Método C …… 2.15

CAPÍTULO 3 – ANÁLISE DA RESISTÊNCIA AO FOGO DE PILARES EM BETÃO ARMADO - ENQUADRAMENTO DO ESTUDO

Quadro 3.1 - Distribuição dos processos analisados por zonas sísmicas ……... 3.3

Quadro 3.2 - Utilização-tipo prevista para cada um dos edifícios analisados ……. 3.5

Quadro 3.3 - Características dos edifícios da utilização-tipo I – Habitacionais ……. 3.6

Quadro 3.4 - Características dos edifícios da utilização-tipo II – Estacionamentos …….. 3.7

Quadro 3.5 - Características dos edifícios da utilização-tipo III – Administrativos …….. 3.7

Quadro 3.6 - Características dos edifícios da utilização-tipo IV – Escolares (Com UT VI) ….. 3.8

Quadro 3.7 - Características dos edifícios da utilização-tipo IV – Escolares (Com UT XI) ….. 3.8

Quadro 3.8 - Características dos edifícios da utilização-tipo IV – Escolares (Com UT III e UT XII) ……. 3.9

Quadro 3.9 - Características dos edifícios da utilização-tipo V - Hospitalares e lares de idosos 3.10

Quadro 3.10 - Características dos edifícios da utilização-tipo VI - Espetáculos e reuniões públicas ……. 3.10

Quadro 3.11 - Características dos edifícios da utilização-tipo VII - Hoteleiros e restauração … 3.11

Quadro 3.12 - Características dos edifícios da utilização-tipo VIII - Comerciais e gares de transportes ……. 3.11

Quadro 3.13 - Características dos edifícios da utilização-tipo IX - Desportivos e de lazer …… 3.12

Quadro 3.14 - Características dos edifícios da utilização-tipo X - Museus e galerias de arte … 3.12

Quadro 3.15 - Características dos edifícios da utilização-tipo XI - Bibliotecas e arquivos …… 3.12

Quadro 3.16 - Características dos edifícios da utilização-tipo XII - Industriais, oficinas e armazéns ……... 3.13

Quadro 3.17 - Número de processos analisados por utilização-tipo …….. 3.15

Quadro 3.18 - Categorias de risco previstas no RJ-SCIE …… 3.19

Quadro 3.19 - Processos por utilização-tipo – UT I …… 3.20

Quadro 3.20 - Processos por utilização-tipo – UT I (continuação) a UT IV …….. 3.21

Quadro 3.21 - Processos por utilização-tipo – UT IV (continuação) a UT XII ……. 3.22

Quadro 3.22 - Distribuição dos pilares quadrangulares analisados pelas diferentes secções …. 3.28

Quadro 3.23 - Distribuição dos pilares circulares analisados pelas diferentes secções …….. 3.29

Quadro 3.24 - Pilares com repetições de secção ≥ 1% no universo dos pilares retangulares …. 3.30

Quadro 3.25 - Pilares com repetições de secção < 1% no universo dos pilares retangulares …. 3.31

Quadro 3.26 - Definição da categoria de risco condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º13º do RJ-SCIE (2008) para os edifícios da UT I – Habitacionais …….. 3.41

Quadro 3.27 - Definição da categoria de risco condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º13º do RJ-SCIE (2008) para os edifícios da UT II – Estacionamentos …… 3.42

Quadro 3.28 - Definição da categoria de risco condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º13º do RJ-SCIE (2008) para os edifícios da UT III – Administrativos …… 3.42

Quadro 3.29 - Definição da categoria de risco condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º13º do RJ-SCIE (2008) para os edifícios da UT IV – Escolares ……. 3.43

Quadro 3.30 - Definição da categoria de risco condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º13º do RJ-SCIE (2008) para os edifícios da UT V – Hospitalares e lares de idosos 3.44

Quadro 3.31 - Definição da categoria de risco condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º13º do RJ-SCIE (2008) para os edifícios da UT VI – Espetáculos e reuniões públicas ……. 3.44

Quadro 3.32 - Definição da categoria de risco condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º13º do RJ-SCIE (2008) para os edifícios da UT VII – Hoteleiros e restauração …. 3.44

Quadro 3.33 - Definição da categoria de risco condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º13º do RJ-SCIE (2008) para os edifícios da UT VIII – Comerciais e gares de transporte …….. 3.45

Quadro 3.34 - Definição da categoria de risco condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º13º do RJ-SCIE (2008) para os edifícios da UT IX – Desportivos e de lazer ……. 3.45

Quadro 3.35 - Definição da categoria de risco condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º13º do RJ-SCIE (2008) para os edifícios da UT X – Museus e galerias de arte …. 3.45

Quadro 3.36 - Definição da categoria de risco condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º13º do RJ-SCIE (2008) para os edifícios da UT XI – Bibliotecas e arquivos …….. 3.46

Quadro 3.37 - Definição da categoria de risco condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º13º do RJ-SCIE (2008) para os edifícios da UT XII – Industriais, oficinas e armazéns ……... 3.46

Quadro 3.38 - Percentagens de pilares com a resistência ao fogo reduzida pela "não aplicação" do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE (2008), para cada valor da sua menor dimensão ……... 3.49

CAPÍTULO 4 – PARÂMETROS QUE MAIS AFETAM A CONFORMIDADE DOS PILARES EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO, QUANDO APLICADOS OS MÉTODOS TABELADOS

Quadro 4.1 - Distribuição dos 13238 pilares retangulares previstos em projeto pelos escalões de resistência ao fogo, para cada valor da menor dimensão da secção transversal ……. 4.4

Quadro 4.2 - Distribuição dos 886 pilares circulares pelos escalões de resistência ao fogo, para cada valor do diâmetro da secção transversal …… 4.4

Quadro 4.3 - Distribuição dos 12243 pilares retangulares estudados pelos escalões de resistência ao fogo, para cada valor da menor dimensão da secção transversal 4.7

Quadro 4.4 - Valores de η_{fi} mais frequentes para cada utilização tipo e valor de ψ_1 ……. 4.12

Quadro 4.5 - Valores de b_{min} e de a_{min} para pilares de secção retangular ou circular, considerando a aplicação do Método A dos Valores Tabelados …….. 4.13

Quadro 4.6 - Resultado da aplicação do Método A aos pilares retangulares, por escalão de resistência ao fogo …… 4.16

Quadro 4.7 - Valores percentuais dos parâmetros que conduzem à não aplicabilidade e à não conformidade dos pilares pela aplicação do Método A …… 4.18

Quadro 4.8 - Pilares retangulares que não verificam a resistência ao fogo, considerando η_{fi} de projeto e η_{fi}=0,7, para cada escalão de resistência ao fogo e para cada valor da menor dimensão do pilar …….. 4.24

Quadro 4.9 - Recobrimento mínimo, $c_{min,b}$, para os requisitos de aderência …….. 4.27

Quadro 4.10 - Classes de exposição ambiental …….. 4.27

Quadro 4.11 - Classes de exposição indicativas da resistência do betão …… 4.28

Quadro 4.12 - Recobrimentos mínimos e nominais para um período de vida de projeto de 50 anos ……... 4.28

Quadro 4.13 - Pilares retangulares que não verificam a resistência ao fogo, considerando o recobrimento de projeto (c_{proj}) e o recobrimento mínimo (c_{min}) no cálculo de a, para cada escalão de resistência ao fogo e valor da menor dimensão do pilar 4.30

Quadro 4.14 - Valores de b_{min} e de a_{min} para pilares de secção retangular ou circular considerando a aplicação do Método B dos Valores Tabelados …… 4.37

Quadro 4.15 - Valores percentuais dos parâmetros que conduzem à não aplicabilidade e à não conformidade dos pilares pela aplicação do Método B …… 4.42

Quadro 4.16 - Exemplo de seleção do quadro a utilizar na aplicação do Método C …….. 4.56

Quadro 4.17 - Quadros previstos na EN 1992-1-2 para a aplicação do Método C ……. 4.56

Quadro 4.18 - Resultados da aplicação do Método C aos pilares retangulares analisados, por escalão de resistência ao fogo e para cada valor de menor dimensão da secção transversal ……. 4.59

Quadro 4.19 - Comparação dos resultados obtidos pela aplicação dos três métodos aos pilares retangulares, considerando η_{fi} de projeto e η_{fi}=0,7 …… 4.73

Quadro 4.20 - Comparação das percentagens de pilares retangulares que verificam a resistência ao fogo pela aplicação dos três métodos, considerando c_{min} e c_{proj} .. 4.74

Quadro 4.21 - Percentagens de pilares que não verificam a resistência ao fogo, por não serrem observados a_{min}, e b_{min} e a_{min} em simultâneo ……. 4.75

Quadro 4.22 - Comparação dos resultados obtidos pela aplicação dos três métodos aos pilares circulares, considerando η_{fi} de projeto e η_{fi}=0,7 ……... 4.76

Quadro 4.23 - Comparação das percentagens de pilares circulares que verificam a resistência ao fogo pela aplicação dos três métodos, considerando c_{min} e c_{proj} …… 4.76

Quadro 4.24 - Identificação do método tabelado mais eficaz na verificação da resistência ao fogo de pilares retangulares em betão armado …….. 4.79

Quadro 4.25 - Identificação do método tabelado mais eficaz na verificação da resistência ao fogo de pilares circulares em betão armado …….. 4.79

CAPÍTULO 5 – AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DA RESISTÊNCIA AO FOGO DE PILARES EM BETÃO ARMADO

Quadro 5.1 - Temperaturas observadas no momento do destacamento explosivo do betão e temperaturas máximas registadas (momento em que o ensaio é dado por concluído) ……. 5.10

Quadro 5.2 - Caraterísticas dos pilares quadrangulares comparados ……. 5.13

Quadro 5.3 - Temperatura nos varões ……. 5.13

Quadro 5.4 - Tempo de resistência ao fogo e forças de restrição máximas observadas nos ensaios …….. 5.15

Quadro 5.5 - Temperatura no eixo dos varões, valores de $k_s(\theta)$ e redução de $k_s(\theta)$ e de $A_s.f_{sy,\theta}$ por minuto de duração do ensaio …….. 5.16

Quadro 5.6 - Caraterísticas dos pilares quadrangulares e dos pilares circulares comparados …. 5.22

Quadro 5.7 - Resultados do ensaio: carga inicial aplicada, tempo de resistência ao fogo, escalão de resistência ao fogo e esforço normal resistente lido aos 60, 90 e 120 minutos 5.24

Quadro 5.8 - Coeficientes de esbelteza dos pilares analisados, λ, à temperatura ambiente e em situação de incêndio, considerados em estruturas não contraventadas e contraventadas …….. 5.26

Quadro 5.9 - Esforço normal resistente lido no decorrer do ensaio e determinado pelo Método da Isotérmica dos 500ºC aos 60, 90 e 120 minutos …….. 5.28

Quadro 5.10 - Razão entre o esforço normal resistente, lido no decorrer do ensaio e determinado recorrendo ao Método da Isotérmica dos 500ºC aos 60, 90 e 120 minutos, e a carga inicial aplicada, P_0 …….. 5.28

Quadro 5.11 - Razão entre o esforço normal resistente calculado recorrendo ao Método da Isotérmica dos 500ºC, $N_{Rd,fi,c}$, e o lido no decorrer do ensaio, $N_{Rd,fi,e}$, aos 60, 90 e 120 minutos ……... 5.30

Quadro 5.12 - Resultados da aplicação dos diferentes métodos aos pilares ensaiados, considerados em estruturas não contraventadas …… 5.32

Quadro 5.13 - Resultados da aplicação dos diferentes métodos aos pilares ensaiados, considerados em estruturas não contraventadas …… 5.33

Quadro 5.14 - Resultados obtidos por Martins, A. M. B., Rodrigues, J. P. C. (2010) para o tempo de resistência ao fogo dos pilares P1 e P3 e escalões de resistência ao fogo correspondentes ……..... 5.35

CAPÍTULO 6 – DESENVOLVIMENTO DOS DIAGRAMAS DE INTERAÇÃO N_{fi}/M_{fi} EM FLEXÃO COMPOSTA

Quadro 6.1 - Modelo matemático para as relações tensões-extensões de aços para betão armado …….. 6.4

Quadro 6.2 - Quadros e expressões da EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) aplicáveis para definir $k_s(\theta)$ em armaduras ordinárias da Classe N …….. 6.5

Quadro 6.3 - Domínios das extensões e expressões correspondentes para a quantificação da profundidade do eixo neutro …….. 6.9

Quadro 6.4 - Expressões para o cálculo das extensões e das tensões no aço, para cada domínio 6.9

Quadro 6.5 - Expressões para o cálculo de x, y, $\varepsilon_{s,fi}$ e $\sigma_s(\theta)$ …… 6.10

Quadro 6.6 - Expressões para o cálculo de $N_{Rd,fi}$, S_y, e e $M_{Rd,fi}$ …… 6.10

Quadro 6.7 - Geometria e constituição das armaduras das secções para as quais se desenharam os diagramas de interação. Armaduras longitudinais constituídas por: (a) - Φ12 e (b) Φ16 …… 6.13

Quadro 6.8 - Geometria e constituição das armaduras das secções para as quais se desenharam os diagramas de interação. Armaduras longitudinais constituídas por Φ20 e por Φ25 …… 6.14

Quadro 6.9 - Distância da face do pilar à isotérmica dos 500ºC, a'_{500}, e distância aproximada da face do pilar ao ponto de tangência com a isotérmica, para os escalões R30, R60, R90 e R120 ……... 6.17

Quadro 6.10 - Exemplo de cálculo de a_{500}, de b_{fi} e de h_{fi} para um pilar de 300x300mm^2 no escalão R90 ……... 6.18

Quadro 6.11 - Caraterísticas das secções transversais de betão para pilares nos escalões R60, R90 e R120 …… 6.19

Quadro 6.12 - Temperaturas no eixo dos varões de canto ……... 6.20

Quadro 6.13 - Temperaturas no eixo dos varões dispostos nas faces ……. 6.20

Quadro 6.14 - Comparação dos valores de ε_{sp} e de f_{sy} à temperatura ambiente e à temperatura lida para a=55mm e escalão R60, nos varões dispostos nas faces dos pilares 6.22

Quadro 6.15 - Caraterísticas das secções transversais dos pilares objeto da comparação da resistência à temperatura normal e em situação de incêndio ……. 6.23

Quadro 6.16 - Variação dos coeficientes de redução das caraterísticas mecânicas do aço nas secções tomadas como exemplo, caraterizadas no Quadro 6.15 …….. 6.29

Quadro 6.17 - Limites dos parâmetros definidores dos domínios considerados no cálculo dos esforços resistentes …… 6.29

Quadro 6.18 - Extensões no aço, ε'_s e ε_s, à temperatura normal e em situação de incêndio, na secção de 25x25cm^2 e armadura 4Φ12-Φ6, para a mesma profundidade do eixo neutro, x ……. 6.30

Quadro 6.19 - Extensões no aço, ε'_s e ε_s, à temperatura normal e em situação de incêndio, na secção de 30x40cm^2 e armadura 4Φ12-Φ6, para a mesma profundidade do eixo neutro, x ……..... 6.30

Quadro 6.20 - Variação percentual da razão entre as extensões no aço das armaduras no escalão R60 e as extensões à temperatura normal, na secção de 25x25cm^2 e na secção de 30x40cm^2, ambas com armadura constituída por 4Φ12-Φ6 ……. 6.31

Quadro 6.21 - Esforços normais resistentes à temperatura ambiente e no escalão R60, para valores iguais dos correspondentes momentos resistentes, numa secção de 30x40cm^2 e armadura 4Φ12-Φ6 …… 6.32

CAPÍTULO 7 – METODOLOGIA PROPOSTA PARA A VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO FOGO DE PILARES EM BETÃO ARMADO

Quadro 7.1 - Identificação dos gráficos propostos para a verificação da resistência ao fogo de pilares em betão armado com a menor dimensão da secção transversal b=200mm, b=250mm e b=300mm …… 7.10

Quadro 7.2 - Secções consideradas para o desenho do Gráfico 11, aplicável aos pilares com o valor da menor dimensão b=300mm, recobrimento de 35mm, armadura longitudinal principal Φ20 e cintas Φ6 ……. 7.11

Quadro 7.3 - Curvas definitivas adotadas para os diferentes diagramas de interação, a utilizar na verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão *b*=300mm, recobrimento de 35mm, armadura longitudinal principal *Φ*20 e cintas *Φ*6, que constituem o Gráfico 11 ……. 7.19

Quadro 7.4 - Dimensões da secção transversal e constituição da armadura dos pilares cuja resistência ao fogo pode ser verificada pela aplicação do Gráfico 1, Figura 7.21, para *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*12-*Φ*6 ……. 7.21

Quadro 7.5 - Dimensões da secção transversal e constituição da armadura dos pilares cuja resistência ao fogo pode ser verificada pela aplicação do Gráfico 2, Figura 7.22, para *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*16-*Φ*6 ..... 7.22

Quadro 7.6 - Dimensões da secção transversal e constituição da armadura dos pilares cuja resistência ao fogo pode ser verificada pela aplicação do Gráfico 3, Figura 7.23, para *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*20-*Φ*6 ….... 7.23

Quadro 7.7 - Dimensões da secção transversal e constituição da armadura dos pilares cuja resistência ao fogo pode ser verificada pela aplicação do Gráfico 4, Figura 7.24, para *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*25-*Φ*8 ….... 7.24

Quadro 7.8 - Dimensões da secção transversal e constituição da armadura dos pilares cuja resistência ao fogo pode ser verificada pela aplicação do Gráfico 5, Figura 7.25, para *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*12-*Φ*6 ……. 7.25

Quadro 7.9 - Dimensões da secção transversal e constituição da armadura dos pilares cuja resistência ao fogo pode ser verificada pela aplicação do Gráfico 6, Figura 7.26, para *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*16-*Φ*6 ……. 7.26

Quadro 7.10 - Dimensões da secção transversal e constituição da armadura dos pilares cuja resistência ao fogo pode ser verificada pela aplicação do Gráfico 7, Figura 7.27, para *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*20-*Φ*6 ……. 7.27

Quadro 7.11 - Dimensões da secção transversal e constituição da armadura dos pilares cuja resistência ao fogo pode ser verificada pela aplicação do Gráfico 8, Figura 7.28, para *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*25-*Φ*8 ……. 7.28

Quadro 7.12 - Dimensões da secção transversal e constituição da armadura dos pilares cuja resistência ao fogo pode ser verificada pela aplicação do Gráfico 9, Figura 7.29, para *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*12-*Φ*6 ……. 7.29

Quadro 7.13 - Dimensões da secção transversal e constituição da armadura dos pilares cuja resistência ao fogo pode ser verificada pela aplicação do Gráfico 10, Figura 7.30, para *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*16-*Φ*6 7.30

Quadro 7.14 - Dimensões da secção transversal e constituição da armadura dos pilares cuja resistência ao fogo pode ser verificada pela aplicação do Gráfico 11, Figura 7.31, para *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*20-*Φ*6 …… 7.31

Quadro 7.15 - Dimensões da secção transversal e constituição da armadura dos pilares cuja resistência ao fogo pode ser verificada pela aplicação do Gráfico 12, Figura 7.32, para *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*25-*Φ*8 ……. 7.32

Quadro 7.16 - Resultados da aplicação do Gráfico 1 aos pilares analisados no escalão R60, com *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*12 - *Φ*6 (Gráfico (a) da Figura 7.33) ……... 7.35

Quadro 7.17 - Resultados da aplicação do Gráfico 1 aos pilares analisados no escalão R90, com *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*12 - *Φ*6 (Gráfico (b) da Figura 7.33) ……... 7.35

Quadro 7.18 - Resultados da aplicação do Gráfico 1 aos pilares analisados no escalão R120, com *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*12 - *Φ*6 (Gráfico (b) da Figura 7.33) …….. 7.36

Quadro 7.19 - Resultados da aplicação do Gráfico 2 aos pilares analisados no escalão R60, com *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*16 - *Φ*6 (Gráfico (a) da Figura 7.34) …….. 7.36

Quadro 7.20 - Resultados da aplicação do Gráfico 2 aos pilares analisados no escalão R90, com *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*16 - *Φ*6 (Gráfico (b) da Figura 7.34) …….. 7.37

Quadro 7.21 - Resultados da aplicação do Gráfico 2 aos pilares analisados no escalão R120, com *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*16 - *Φ*6 (Gráfico (c) da Figura 7.34) …….. 7.38

Quadro 7.22 - Resultados da aplicação do Gráfico 3 aos pilares analisados no escalão R60, com *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*20 - *Φ*6 (Gráfico (a) da Figura 7.35) ……... 7.39

Quadro 7.23 - Resultados da aplicação do Gráfico 3 aos pilares analisados no escalão R90, com *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*20 - *Φ*6 (Gráfico (b) da Figura 7.35) …….. 7.39

Quadro 7.24 - Resultados da aplicação do Gráfico 3 aos pilares analisados no escalão R120, com *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*20 - *Φ*6 (Gráfico (c) da Figura 7.35) …….. 7.39

Quadro 7.25 - Resultados da aplicação do Gráfico 4 aos pilares analisados no escalão R60, com *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*25 – *Φ*8 (Gráfico (a) da Figura 7.36) …….. 7.40

Quadro 7.26 - Resultados da aplicação do Gráfico 4 aos pilares analisados no escalão R90, com *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*25 – *Φ*8 (Gráfico (b) da Figura 7.36) …….. 7.40

Quadro 7.27 - Resultados da aplicação do Gráfico 4 aos pilares analisados no escalão R120, com *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*25 – *Φ*8 (Gráfico (c) da Figura 7.36) …….. 7.40

Quadro 7.28 - Pilares que verificam a resistência ao fogo pela aplicação do Gráfico 1 ……. 7.41

Quadro 7.29 - Pilares que verificam a resistência ao fogo pela aplicação do Gráfico 2 …… 7.42

Quadro 7.30 - Pilares que verificam a resistência ao fogo pela aplicação do Gráfico 3 …… 7.43

Quadro 7.31 - Pilares que verificam a resistência ao fogo pela aplicação do Gráfico 4 ……. 7.44

Quadro 7.32 - Resultados da aplicação dos gráficos propostos aos pilares analisados …….. 7.50

ANEXO A3.1 – CÁLCULO DO EFETIVO DAS UTILIZAÇÕES-TIPO INSERIDAS NOS EDIFÍCIOS ANALISADOS

Quadro A3.1.1 - Utilizações-tipo em que o efetivo é um fator de risco …… A3.1.2

Quadro A3.1.2 - Cálculo do efetivo - Processo P2 …….. A3.1.3

Quadro A3.1.3 - Cálculo do efetivo - Processo P4 - UT I "Habitacionais" …… A3.1.3

Quadro A3.1.4 - Cálculo do efetivo - Processo P8 - UT IV "Escolares" …… A3.1.4

Quadro A3.1.5 - Cálculo do efetivo - Processo P10 - UT XI "Bibliotecas e Arquivos" ……. A3.1.5

Quadro A3.1.6 - Cálculo do efetivo - Processo P11 - UT I "Habitacionais" …….. A3.1.5

Quadro A3.1.7 - Cálculo do efetivo - Processo P12 - UT IV "Escolares" ……. A3.1.6

Quadro A3.1.8 - Cálculo do efetivo - Processo P13 - UT VII "Hoteleiros e restauração" ……. A3.1.6

Quadro A3.1.9 - Cálculo do efetivo - Processo P14 - UT I "Habitacionais" ……. A3.1.7

Quadro A3.1.10 - Cálculo do efetivo - Processo P15 - UT X "Museus e galerias de arte" …… A3.1.7

Quadro A3.1.11 - Cálculo do efetivo - Processo P18 - UT VIII "Comerciais e gares de transporte" ……... A3.1.8

Quadro A3.1.12 - Cálculo do efetivo - Processo P24 - UT VII "Hoteleiros e restauração" ….. A3.1.9

Quadro A3.1.13 - Cálculo do efetivo - Processo P26 - UT IV "Escolares" …… A3.1.10

Quadro A3.1.14 - Cálculo do efetivo - Processo P29 - UT IV "Escolares" …… A3.1.11

Quadro A3.1.15 - Cálculo do efetivo - Processo P30 - UT IV "Escolares" …….. A3.1.12

Quadro A3.1.16 - Cálculo do efetivo - Processo P31 - UT IV "Escolares" …… A3.1.13

Quadro A3.1.17 - Cálculo do efetivo - Processo P32 - UT IV "Escolares" …… A3.1.13

Quadro A3.1.18 - Cálculo do efetivo - Processo P33 - UT IV "Escolares" …… A3.1.14

Quadro A3.1.19 - Cálculo do efetivo - Processo P34 - UT IV "Escolares" …… A3.1.15

Quadro A3.1.20 - Cálculo do efetivo - Processo P35, Edifício principal - UT V "Hospitalares e lares de idosos" ……. A3.1.16

Quadro A3.1.21 - Cálculo do efetivo - Processo P36 - UT IV "Escolares" …… A3.1.18

Quadro A3.1.22 - Cálculo do efetivo - Processo P37 - UT III "Administrativos" ……..... A3.1.18

Quadro A3.1.23 - Cálculo do efetivo - Processo P39 - UT VIII "Comerciais e gares de transporte" ……..... A3.1.20

Quadro A3.1.24 - Cálculo do efetivo para a UT III - Processo P41 - UT XII "Industriais, oficinas e armazéns" ……..... A3.1.21

Quadro A3.1.25 - Cálculo do efetivo para a UT III - Processo P42 - UT XII "Industriais, oficinas e armazéns" ……..... A3.1.21

Quadro A3.1.26 - Cálculo do efetivo - Processos P43 e P44 - UT III "Administrativos" ……. A3.1.22

Quadro A3.1.27 - Cálculo do efetivo - Processo P47 - UT IV "Escolares" …… A3.1.22

Quadro A3.1.28 - Cálculo do efetivo - Processo P48 - UT IX "Desportivos e de lazer" …… A3.1.23

Quadro A3.1.29 - Cálculo do efetivo - Processo P49 - UT V "Hospitalares e lares de idosos" A3.1.23

Quadro A3.1.30 - Cálculo do efetivo - Processo P50 - UT VI "Espetáculos e reuniões públicas" A3.1.24

Quadro A3.1.31 - Cálculo do efetivo - Processo P51 - UT IV "Escolares" …… A3.1.25

Quadro A3.1.32 - Cálculo do efetivo - Processo P52 - UT VI "Espetáculos e reuniões públicas" A3.1.26

Quadro A3.1.33 - Cálculo do efetivo - Processos P61 e P62 - UT III "Administrativos" …….. A3.1.27

ANEXO A3.2 – CÁLCULO DA DENSIDADE DE CARGA DE INCÊNDIO

Quadro A3.2.1 - Cálculo da densidade de carga de incêndio modificada - Processo 10 …… A3.2.6

Quadro A3.2.2 - Cálculo da carga de incêndio modificada correspondente aos constituintes combustíveis em cada laboratório - Processo 12 ……. A3.2.6

Quadro A3.2.3 - Cálculo da densidade de carga de incêndio modificada - Processo 12 …… A3.2.8

Quadro A3.2.4 - Cálculo da carga de incêndio nos laboratórios, por piso (compartimento corta-fogo) - Processo 26 …….. A3.2.9

Quadro A3.2.5 - Cálculo da densidade de carga de incêndio modificada - Processo 26 …… A3.2.10

Quadro A3.2.6 - Cálculo da carga de incêndio nos laboratórios, por piso (compartimento corta-fogo) - Processo 29 …….. A3.2.10

Quadro A3.2.7 - Cálculo da densidade de carga de incêndio modificada - Processo 29 …… A3.2.11

Quadro A3.2.8 - Cálculo da carga de incêndio nos laboratórios, por piso (compartimento corta-fogo) - Processo 30 …….. A3.2.11

Quadro A3.2.9 - Cálculo da densidade de carga de incêndio modificada - Processo 30 …… A3.2.13

Quadro A3.2.10 - Cálculo da carga de incêndio nos laboratórios, por piso (compartimento corta-fogo) - Processo 31 …… A3.2.13

Quadro A3.2.11 - Cálculo da densidade de carga de incêndio modificada - Processo 31 …….. A3.2.14

Quadro A3.2.12 - Cálculo da carga de incêndio nos laboratórios, por piso (compartimento corta-fogo) - Processo 32 …… A3.2.15

Quadro A3.2.13 - Cálculo da densidade de carga de incêndio modificada - Processo 32 ……. A3.2.15

Quadro A3.2.14 - Cálculo da carga de incêndio nos laboratórios, por piso (compartimento corta-fogo) - Processo 33 …… A3.2.16

Quadro A3.2.15 - Cálculo da densidade de carga de incêndio modificada - Processo 33 ……. A3.2.16

Quadro A3.2.16 - Cálculo da carga de incêndio nos laboratórios, por piso (compartimento corta-fogo) - Processo 34 …… A3.2.17

Quadro A3.2.17 - Cálculo da densidade de carga de incêndio modificada - Processo 34 ……. A3.2.17

Quadro A3.2.18 - Cálculo da carga de incêndio nos laboratórios, por piso (compartimento corta-fogo) - Processo 36 …… A3.2.19

Quadro A3.2.19 - Cálculo da densidade de carga de incêndio modificada - Processo 36 ……. A3.2.19

Quadro A3.2.20 - Cálculo da densidade de carga de incêndio modificada no compartimento de armazenamento de materiais no piso (-1) - Processo 38 ……. A3.2.21

Quadro A3.2.21 - Cálculo da carga de incêndio nos laboratórios, por piso (compartimento corta-fogo) - Processo 38 …… A3.2.21

Quadro A3.2.22 - Cálculo da densidade de carga de incêndio modificada - Processo 38 …….. A3.2.22

ANEXO A3.3 – DEFINIÇÃO DOS ESCALÕES DE RESISTÊNCIA AO FOGO DOS EDIFÍCIOS ESTUDADOS

Quadro A3.3.1 - Resistência ao fogo padrão mínima de elementos estruturais de edifícios ….. A3.3.1

Quadro A3.3.2 - Definição do escalão de resistência ao fogo. Ocupação principal - UT I – Habitacionais. Outras ocupações - UT II – Estacionamentos e UT VIII – Comerciais e gares de transporte …… A3.3.4

Quadro A3.3.3 - Definição do escalão de resistência ao fogo. Ocupação principal - UT I – Habitacionais. Outras ocupações - UT II – Estacionamentos – P19, P45, P46, P53 a P56 …… A3.3.5

Quadro A3.3.4 - Definição do escalão de resistência ao fogo. Ocupação principal - UT I – Habitacionais. Outras ocupações - UT II – Estacionamentos – P57 a P60 A3.3.6

Quadro A3.3.5 - Definição do escalão de resistência ao fogo. Ocupação exclusiva - UT I – Habitacionais ……... A3.3.6

Quadro A3.3.6 - Definição do escalão de resistência ao fogo. Ocupação exclusiva - UT II – Estacionamentos …….. A3.3.7

Quadro A3.3.7 - Definição do escalão de resistência ao fogo. Ocupação principal - UT III – Administrativos. Outras ocupações - UT XII – Industriais, oficinas e armazéns …….. A3.3.7

Quadro A3.3.8 - Definição do escalão de resistência ao fogo. Ocupação principal - UT III – Administrativos. Outras ocupações - UT II – Estacionamentos …….. A3.3.8

Quadro A3.3.9 - Definição do escalão de resistência ao fogo. Ocupação principal - UT IV – Escolares. Outras ocupações - UT VI – Espetáculos e reuniões públicas … A3.3.9

Quadro A3.3.10 - Definição do escalão de resistência ao fogo. Ocupação principal - UT IV – Escolares. Outras ocupações - UT XII – Industriais, oficinas e armazéns ... A3.3.10

Quadro A3.3.11 - Definição do escalão de resistência ao fogo. Ocupação exclusiva - UT IV – Escolares …….. A3.3.11

Quadro A3.3.12 - Definição do escalão de resistência ao fogo. Ocupação principal - UT IV – Escolares. Outras ocupações - UT III – Administrativos e UT XII – Industriais, oficinas e armazéns ……... A3.3.11

Quadro A3.3.13 - Definição do escalão de resistência ao fogo. Ocupação principal - UT IV – Escolares. Outras ocupações - UT XI – Bibliotecas e arquivos e UT XII – Industriais, oficinas e armazéns ……... A3.3.12

Quadro A3.3.14 - Definição do escalão de resistência ao fogo. Ocupação principal - UT V – Hospitalares e lares de idosos. Outras ocupações - UT VII – Hoteleiros e restauração ……... A3.3.12

Quadro A3.3.15 - Definição do escalão de resistência ao fogo. Ocupação exclusiva - UT V – Hospitalares e lares de idosos …….. A3.3.13

Quadro A3.3.16 - Definição do escalão de resistência ao fogo. Ocupação exclusiva – UT VI – Espetáculos e reuniões públicas …….. A3.3.13

Quadro A3.3.17 - Definição do escalão de resistência ao fogo. Ocupação principal - UT VII - Hoteleiros e restauração. Outras ocupações - UT II – Estacionamentos …. A3.3.14

Quadro A3.3.18 - Definição do escalão de resistência ao fogo. Ocupação exclusiva – UT VII – Hoteleiros e restauração ……... A3.3.14

Quadro A3.3.19 - Definição do escalão de resistência ao fogo. Ocupação principal - UT VIII – Comerciais e gares de transporte. Outras ocupações - UT VI – Espetáculos e reuniões públicas e UT II – Estacionamentos …… A3.3.15

Quadro A3.3.20 - Definição do escalão de resistência ao fogo. Ocupação principal - UT VIII – Comerciais e gares de transporte. Outras ocupações - UT II – Estacionamentos …….. A3.3.15

Quadro A3.3.21 - Definição do escalão de resistência ao fogo. Ocupação exclusiva - UT IX – Desportivos e de lazer …….. A3.3.16

Quadro A3.3.22 - Definição do escalão de resistência ao fogo. Ocupação exclusiva - UT X – Museus e galerias de arte …… A3.3.16

Quadro A3.3.23 - Definição do escalão de resistência ao fogo. Ocupação exclusiva - UT XI – Bibliotecas e arquivos …….. A3.3.17

Quadro A3.3.24 - Definição do escalão de resistência ao fogo. Ocupação exclusiva - UT XII – Industriais, oficinas e armazéns …… A3.3.17

Quadro A3.3.25 - Definição do escalão de resistência ao fogo. Ocupação principal - UT XII – Industriais, oficinas e armazéns. Outras ocupações - UT III – Administrativos ……... A3.3.18

ANEXO A3.4 – CARATERÍSTICAS DOS PILARES ANALISADOS

Quadro A3.4.1 - Valores de η_{fi} correspondentes às utilizações-tipo previstas em cada projeto analisado …….. A3.4.4

Quadro A3.4.2 - Exemplo de quadro organizado para cada processo …… A3.4.6

Quadro A3.4.3 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados. Menor dimensão b = 0,15m; Escalão resistência ao fogo R60 ……. A3.4.7

Quadro A3.4.4 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados. Menor dimensão b = 0,15m; Escalão resistência ao fogo R90 ……. A3.4.7

Quadro A3.4.5 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados. Menor dimensão b = 0,15m; Escalão resistência ao fogo R120 …….. A3.4.7

Quadro A3.4.6 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados. Menor dimensão b = 0,20m; Escalão resistência ao fogo R30 …… A3.4.8

Quadro A3.4.7 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados. Menor dimensão b = 0,20m; Escalão resistência ao fogo R60 ……. A3.4.9

Quadro A3.4.8 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados. Menor dimensão b = 0,20m; Escalão resistência ao fogo R90 …… A3.4.11

Quadro A3.4.9 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados. Menor dimensão b = 0,20m; Escalão resistência ao fogo R120 …….. A3.4.16

Quadro A3.4.10 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados. Menor dimensão b = 0,25m; Escalão resistência ao fogo R30 ……. A3.4.17

Quadro A3.4.11 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados. Menor dimensão b = 0,25m; Escalão resistência ao fogo R60 ……. A3.4.18

Quadro A3.4.12 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados. Menor dimensão b = 0,25m; Escalão resistência ao fogo R90 ……. A3.4.20

Quadro A3.4.13 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,25m; Escalão resistência ao fogo R120 …….. A3.4.22

Quadro A3.4.14 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,30m; Escalão resistência ao fogo R60 ……. A3.4.23

Quadro A3.4.15 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,30m; Escalão resistência ao fogo R90 …….. A3.4.27

Quadro A3.4.16 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,30m; Escalão resistência ao fogo R120 …… A3.4.30

Quadro A3.4.17 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,35m; Escalão resistência ao fogo R60 ……. A3.4.32

Quadro A3.4.18 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,35m; Escalão resistência ao fogo R90 ……. A3.4.33

Quadro A3.4.19 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,35m; Escalão resistência ao fogo R120 …….. A3.4.33

Quadro A3.4.20 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,40m; Escalão resistência ao fogo R60 …… A3.4.34

Quadro A3.4.21 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,40m; Escalão resistência ao fogo R90 ……. A3.4.35

Quadro A3.4.22 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,40m; Escalão resistência ao fogo R120 …….. A3.4.37

Quadro A3.4.23 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,45m; Escalão resistência ao fogo R60 ……. A3.4.44

Quadro A3.4.24 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,45m; Escalão resistência ao fogo R90 ……. A3.4.45

Quadro A3.4.25 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,45m; Escalão resistência ao fogo R120 ……. A3.4.47

Quadro A3.4.26 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,50m; Escalão resistência ao fogo R60 ……... A3.4.47

Quadro A3.4.27 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,50m; Escalão resistência ao fogo R90…… A3.4.48

Quadro A3.4.28 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,50m; Escalão resistência ao fogo R120 ……. A3.4.50

Quadro A3.4.29 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,55m; Escalão resistência ao fogo R90 ……... A3.4.52

Quadro A3.4.30 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,55m; Escalão resistência ao fogo R120 ……. A3.4.53

Quadro A3.4.31 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão b = 0,60m; Escalão resistência ao fogo R90 ……... A3.4.53

Quadro A3.4.32 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão b = 0,60m; Escalão resistência ao fogo R120 ……. A3.4.54

Quadro A3.4.33 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão b = 0,65m; Escalão resistência ao fogo R90 ……... A3.4.54

Quadro A3.4.34 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão b = 0,65m; Escalão resistência ao fogo R120 ……. A3.4.55

Quadro A3.4.35 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão b = 0,70m; Escalão resistência ao fogo R90 ……... A3.4.55

Quadro A3.4.36 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão b = 0,70m; Escalão resistência ao fogo R120 ……. A3.4.55

Quadro A3.4.37 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão b = 0,75m; Escalão resistência ao fogo R120 ……. A3.4.56

Quadro A3.4.38 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão b = 0,75m; Escalão resistência ao fogo R180 ……. A3.4.56

Quadro A3.4.39 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão b = 0,80m; Escalão resistência ao fogo R120 ……. A3.4.56

Quadro A3.4.40 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão b = 0,80m; Escalão resistência ao fogo R180 ……. A3.4.56

Quadro A3.4.41 - Caraterísticas dos pilares circulares analisados.
Escalão resistência ao fogo R30 …..... A3.4.57

Quadro A3.4.42 - Caraterísticas dos pilares circulares analisados.
Escalão resistência ao fogo R60 …….. A3.4.57

Quadro A3.4.43 - Caraterísticas dos pilares circulares analisados.
Escalão resistência ao fogo R90 …….. A3.4.58

Quadro A3.4.44 - Caraterísticas dos pilares circulares analisados.
Escalão resistência ao fogo R120 …… A3.4.58

ANEXO A4 – APLICAÇÃO DOS MÉTODOS QUE SE APRESENTAM SOB A FORMA DE TABELAS

Quadro A4.1 - Dimensões mínimas e distâncias ao eixo para pilares em betão armado; secção retangular e circular. Taxa mecânica de armadura ω=0,1. Momento de primeira ordem baixo: e=0,025b com $e \geq$10mm. Quadro C1 do EC2-1-2 … A4.2

Quadro A4.2 - Dimensões mínimas e distâncias ao eixo para pilares em betão armado; secção retangular e circular. Taxa mecânica de armadura ω=0,1. Momento de primeira ordem moderado: e=0,25b com e≤100mm. Quadro C2 do EC2-1-2 ……... A4.3

Quadro A4.3 - Dimensões mínimas e distâncias ao eixo para pilares em betão armado; secção retangular e circular. Taxa mecânica de armadura ω=0,1. Momento de primeira ordem elevado: e=0,5b com e≤200mm. Quadro C3 do EC2-1-2 .. A4.4

Quadro A4.4 - Dimensões mínimas e distâncias ao eixo para pilares em betão armado; secção retangular e circular. Taxa mecânica de armadura ω=0,500. Momento de primeira ordem baixo: e=0,025b com e≥10mm. Quadro C4 do EC2-1-2 … A4.5

Quadro A4.5 - Dimensões mínimas e distâncias ao eixo para pilares em betão armado; secção retangular e circular. Taxa mecânica de armadura ω=0,500. Momento de primeira ordem moderado: e=0,25b com e≤100mm. Quadro C5 do EC2-1-2 ……... A4.6

Quadro A4.6 - Dimensões mínimas e distâncias ao eixo para pilares em betão armado; secção retangular e circular. Taxa mecânica de armadura ω=0,500. Momento de primeira ordem elevado: e=0,5b com e≤200mm. Quadro C6 do EC2-1-2 .. A4.7

Quadro A4.7 - Dimensões mínimas e distâncias ao eixo para pilares em betão armado; secção retangular e circular. Taxa mecânica de armadura ω=1,0. Momento de primeira ordem baixo: e=0,025b com e≥10mm. Quadro C7 do EC2-1-2 … A4.8

Quadro A4.8 - Dimensões mínimas e distâncias ao eixo para pilares em betão armado; secção retangular e circular. Taxa mecânica de armadura ω=1,0. Momento de primeira ordem moderado: e=0,25b com e≤100mm. Quadro C8 do EC2-1-2 ……... A4.9

Quadro A4.9 - Dimensões mínimas e distâncias ao eixo para pilares em betão armado; secção retangular e circular. Taxa mecânica de armadura ω=1,0. Momento de primeira ordem elevado: e=0,5b com e≤200mm. Quadro C9 do EC2-1-2 .. A4.10

Quadro A4.10 - Escolha conservativa da tabela a utilizar, entre a C1 e a C4 ……. A4.11

Quadro A4.11 - Escolha conservativa da tabela a utilizar, entre a C2 e a C5 ……. A4.12

Quadro A4.12 - Escolha conservativa da tabela a utilizar, entre a C3 e a C6 ……. A4.13

Quadro A4.13 - Escolha conservativa da tabela a utilizar, entre a C4 e a C7 …… A4.14

Quadro A4.14 - Escolha conservativa da tabela a utilizar, entre a C5 e a C8 ……. A4.15

Quadro A4.15 - Escolha conservativa da tabela a utilizar, entre a C6 e a C9 ……. A4.16

ANEXO A6 – DIAGRAMAS DE INTERAÇÃO N_{fi}/M_{fi}

Quadro A6.1 - Domínio 2 - Expressões para o cálculo de x, y, ε_s e σ_s ……. A6.3

Quadro A6.2 - Domínio 2 - Expressões para o cálculo de $N_{Rd,fi}$, S_y, e e $M_{Rd,fi}$ ……. A6.3

Quadro A6.3 - Domínio 3 - Expressões para o cálculo de x, y, ε_s e σ_s A6.4

Quadro A6.4 - Domínio 3 - Expressões para o cálculo de $N_{Rd,fi}$, S_y, e e $M_{Rd,fi}$ A6.4

Quadro A6.5 - Domínio 4 - Expressões para o cálculo de x, y, ε_s e σ_s A6.4

Quadro A6.6 - Domínio 4 - Expressões para o cálculo de $N_{Rd,fi}$, S_y, e e $M_{Rd,fi}$ A6.5

Quadro A6.7 - Domínio 5 - Expressões para o cálculo de x, y, ε_s e σ_s A6.5

Quadro A6.8 - Domínio 5 - Expressões para o cálculo de $N_{Rd,fi}$, S_y, e e $M_{Rd,fi}$ A6.5

Quadro A6.9 - Domínio 6 - Expressões para o cálculo de x, y, ε_s e σ_s A6.6

Quadro A6.10 - Domínio 6 - Expressões para o cálculo de $N_{Rd,fi}$, S_y, e e $M_{Rd,fi}$ A6.6

Quadro A6.11 - Domínio 7 - Expressões para o cálculo de x, y, ε_s e σ_s A6.6

Quadro A6.12 - Domínio 7 - Expressões para o cálculo de $N_{Rd,fi}$, S_y, e e $M_{Rd,fi}$ A6.6

Quadro A6.13 - Expressões para a quantificação dos parâmetros relacionados com a armadura a meia face, A_{s2} A6.7

Quadro A6.14 - Expressões para a quantificação de $N_{Rd,fi}$ e $N_{Rd,fi}.e_1$ em secções constituídas por oito varões A6.8

Quadro A6.15 - Expressões para a quantificação dos parâmetros relacionados com as armaduras dispostas nas faces correspondentes à maior dimensão do pilar, A_{s2} e A_{s3} A6.9

Quadro A6.16 - Extensões no aço, ε'_s e ε_s, correspondentes à profundidade do eixo neutro, x, à temperatura ambiente e no escalão R60, para um pilar com 25x25cm^2 e armadura 4Φ12-Φ6, no Domínio 3 ..... A6.10

Quadro A6.17 - Extensões no aço, ε'_s e ε_s, correspondentes à profundidade do eixo neutro, x, à temperatura ambiente e no escalão R60, para um pilar com 25x25cm^2 e armadura 4Φ12-Φ6, no Domínio 4 ..... A6.10

Quadro A6.18 - Extensões no aço, ε'_s e ε_s, correspondentes à profundidade do eixo neutro, x, à temperatura ambiente e no escalão R60, para um pilar com 25x25cm^2 e armadura 4Φ12-Φ6, no Domínio 5 ..... A6.10

Quadro A6.19 - Extensões no aço, ε'_s e ε_s, correspondentes à profundidade do eixo neutro, x, à temperatura ambiente e no escalão R60, para um pilar com 25x25cm^2 e armadura 4Φ12-Φ6, no Domínio 6 ..... A6.11

Quadro A6.20 - Extensões no aço, ε'_s e ε_s, correspondentes à profundidade do eixo neutro, x, à temperatura ambiente e no escalão R60, para um pilar com 25x25cm^2 e armadura 4Φ12-Φ6, no Domínio 7 ..... A6.11

Quadro A6.21 - Extensões no aço, ε'_s e ε_s, correspondentes à profundidade do eixo neutro, x, à temperatura ambiente e no escalão R60, para um pilar com 30x40cm^2 e armadura 4Φ12-Φ6, no Domínio 3 ..... A6.11

Quadro A6.22 - Extensões no aço, ε'_s e ε_s, correspondentes à profundidade do eixo neutro, x, à temperatura ambiente e no escalão R60, para um pilar com 30x40cm^2 e armadura 4Φ12-Φ6, no Domínio 4 …….. A6.12

Quadro A6.23 - Extensões no aço, ε'_s e ε_s, correspondentes à profundidade do eixo neutro, x, à temperatura ambiente e no escalão R60, para um pilar com 30x40cm^2 e armadura 4Φ12-Φ6, no Domínio 5 ……. A6.12

Quadro A6.24 - Extensões no aço, ε'_s e ε_s, correspondentes à profundidade do eixo neutro, x, à temperatura ambiente e no escalão R60, para um pilar com 30x40cm^2 e armadura 4Φ12-Φ6, no Domínio 6 …….. A6.12

Quadro A6.25 - Extensões no aço, ε'_s e ε_s, correspondentes à profundidade do eixo neutro, x, à temperatura ambiente e no escalão R60, para um pilar com 30x40cm^2 e armadura 4Φ12-Φ6, no Domínio 7 …….. A6.13

Quadro A6.26 - Coeficientes de redução do módulo de elasticidade, E_s, da tensão de cedência, f_{sy}, e da tensão limite de proporcionalidade, f_{sp}, à temperatura ambiente e para os escalões R60 e R120, em pilares com armadura constituída por varões 4Φ12-Φ6, a=47mm …….. A6.13

Quadro A6.27 - Caraterísticas do pilar ……... A6.14

Quadro A6.28 - Cálculo das dimensões da secção transversal reduzida do pilar …… A6.14

Quadro A6.29 - Cálculo da redução das caraterísticas mecânicas do aço nos varões de canto .. A6.14

Quadro A6.30 - Cálculo da redução das caraterísticas mecânicas do aço nos varões nas faces A6.15

Quadro A6.31 - Quantificação dos parâmetros auxiliares a, b e c para os varões de canto …… A6.15

Quadro A6.32 - Quantificação dos parâmetros auxiliares a, b e c para os varões nas faces …… A6.15

Quadro A6.33 - Desenvolvimento do cálculo de $N_{Rd,fi}$ e de $M_{Rd,fi}$ para o desenho dos diagramas de interação. Domínio 2, A_{s4} e A_{s1} ……. A6.15

Quadro A6.34 - Desenvolvimento do cálculo de $N_{Rd,fi}$ e de $M_{Rd,fi}$ para o desenho dos diagramas de interação. Domínio 2, A_{s2} e A_{s3} ……. A6.16

Quadro A6.35 - Desenvolvimento do cálculo de $N_{Rd,fi}$ e de $M_{Rd,fi}$ para o desenho dos diagramas de interação. Domínio 2 …….. A6.16

Quadro A6.36 - Desenvolvimento do cálculo de $N_{Rd,fi}$ e de $M_{Rd,fi}$ para o desenho dos diagramas de interação. Domínio 3, A_{s4} e A_{s1} …… A6.16

Quadro A6.37 - Desenvolvimento do cálculo de $N_{Rd,fi}$ e de $M_{Rd,fi}$ para o desenho dos diagramas de interação. Domínio 3, A_{s2} e A_{s3} …… A6.17

Quadro A6.38 - Desenvolvimento do cálculo de $N_{Rd,fi}$ e de $M_{Rd,fi}$ para o desenho dos diagramas de interação. Domínio 3 …….. A6.17

Quadro A6.39 - Desenvolvimento do cálculo de $N_{Rd,fi}$ e de $M_{Rd,fi}$ para o desenho dos diagramas de interação. Domínio 4, A_{s4} e A_{s1} …… A6.17

Quadro A6.40 - Desenvolvimento do cálculo de $N_{Rd,fi}$ e de $M_{Rd,fi}$ para o desenho dos diagramas de interação. Domínio 4, A_{s2} e A_{s3} …… A6.18

Quadro A6.41 - Desenvolvimento do cálculo de $N_{Rd,fi}$ e de $M_{Rd,fi}$ para o desenho dos diagramas de interação. Domínio 4 ……... A6.18

Quadro A6.42 - Desenvolvimento do cálculo de $N_{Rd,fi}$ e de $M_{Rd,fi}$ para o desenho dos diagramas de interação. Domínios 5 e 6, A_{s4} e A_{s1} …… A6.18

Quadro A6.43 - Desenvolvimento do cálculo de $N_{Rd,fi}$ e de $M_{Rd,fi}$ para o desenho dos diagramas de interação. Domínios 5 e 6, A_{s2} e A_{s3} …… A6.19

Quadro A6.44 - Desenvolvimento do cálculo de $N_{Rd,fi}$ e de $M_{Rd,fi}$ para o desenho dos diagramas de interação. Domínios 5 e 6 …… A6.19

Quadro A6.45 - Desenvolvimento do cálculo de $N_{Rd,fi}$ e de $M_{Rd,fi}$ para o desenho dos diagramas de interação. Domínio 7, A_{s4} e A_{s1} …… A6.19

Quadro A6.46 - Desenvolvimento do cálculo de $N_{Rd,fi}$ e de $M_{Rd,fi}$ para o desenho dos diagramas de interação. Domínio 7, A_{s2} e A_{s3} …… A6.20

Quadro A6.47 - Desenvolvimento do cálculo de $N_{Rd,fi}$ e de $M_{Rd,fi}$ para o desenho dos diagramas de interação. Domínio 7 ……... A6.20

Quadro A6.48 - Cálculo da inclinação representativa das imperfeições, θ_i …… A6.21

Quadro A6.49 - Cálculo do comprimento efetivo, l_0, da esbelteza, λ e da excentricidade devida às imperfeições geométricas, e_i ……... A6.21

Quadro A6.50 - Cálculo da taxa geométrica das armaduras, ρ, do coeficiente dependente da distribuição dos momentos de primeira e de segunda ordem, β, e da rigidez à flexão dos varões da armadura longitudinal, $E_{s,\theta}.I_s$ …… A6.21

Quadro A6.51 - Cálculo do coeficiente de fluência, $\varphi(\infty,t_0)$, e do coeficiente de fluência efetivo, φ_{ef} ……..... A6.22

Quadro A6.52 - Cálculo do momento atuante em situação de incêndio, $M_{Ed,fi}$ …….. A6.22

ANEXO A7 – DESENVOLVIMENTO DOS GRÁFICOS PROPOSTOS E VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO FOGO DOS PILARES

Quadro A7.1 - Valores do esforço normal reduzido, ν_{fi}, e do momento fletor reduzido, μ_{fi}, para os diferentes domínios das extensões, nos pilares com b=300-Φ20-Φ6 no escalão R60, para o desenho dos diagramas de interação representados na Figura 7.13 …….. A7.4

Quadro A7.2 - Valores do esforço normal reduzido, ν_{fi}, e do momento fletor reduzido, μ_{fi}, para os diferentes domínios das extensões, nos pilares com b=300-Φ20-Φ6 no escalão R90, para o desenho dos diagramas de interação representados na Figura 7.13 …….. A7.6

Quadro A7.3 - Valores do esforço normal reduzido, ν_{fi}, e do momento fletor reduzido, μ_{fi}, para os diferentes domínios das extensões, nos pilares com b=300-Φ20-Φ6 no escalão R120, para o desenho dos diagramas de interação representados na Figura 7.13 …….. A7.8

Quadro A7.4 - Curvas definitivas adotadas para os diferentes diagramas de interação, a utilizar na verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão b=200mm, recobrimento de 35mm, armadura longitudinal principal Φ12 e cintas Φ6, que constituem o Gráfico 1 …….. A7.10

Quadro A7.5 - Curvas definitivas adotadas para os diferentes diagramas de interação, a utilizar na verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão b=200mm, recobrimento de 35mm, armadura longitudinal principal Φ16 e cintas Φ6, que constituem o Gráfico 2 …….. A7.11

Quadro A7.6 - Curvas definitivas adotadas para os diferentes diagramas de interação, a utilizar na verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão b=200mm, recobrimento de 35mm, armadura longitudinal principal Φ20 e cintas Φ6, que constituem o Gráfico 3 …… A7.12

Quadro A7.7 - Curvas definitivas adotadas para os diferentes diagramas de interação, a utilizar na verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão b=200mm, recobrimento de 35mm, armadura longitudinal principal Φ25 e cintas Φ8, que constituem o Gráfico 4 …….. A7.13

Quadro A7.8 - Curvas definitivas adotadas para os diferentes diagramas de interação, a utilizar na verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão b=250mm, recobrimento de 35mm, armadura longitudinal principal Φ12 e cintas Φ6, que constituem o Gráfico 5 …….. A7.14

Quadro A7.9 - Curvas definitivas adotadas para os diferentes diagramas de interação, a utilizar na verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão b=250mm, recobrimento de 35mm, armadura longitudinal principal Φ16 e cintas Φ6, que constituem o Gráfico 6 …… A7.15

Quadro A7.10 - Curvas definitivas adotadas para os diferentes diagramas de interação, a utilizar na verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão b=250mm, recobrimento de 35mm, armadura longitudinal principal Φ20 e cintas Φ6, que constituem o Gráfico 7 …….. A7.16

Quadro A7.11 - Curvas definitivas adotadas para os diferentes diagramas de interação, a utilizar na verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão b=250mm, recobrimento de 35mm, armadura longitudinal principal Φ25 e cintas Φ8, que constituem o Gráfico 8 …….. A7.17

Quadro A7.12 - Curvas definitivas adotadas para os diferentes diagramas de interação, a utilizar na verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão b=300mm, recobrimento de 35mm, armadura longitudinal principal Φ12 e cintas Φ6, que constituem o Gráfico 9 …….. A7.18

Quadro A7.13 - Curvas definitivas adotadas para os diferentes diagramas de interação, a utilizar na verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão b=300mm, recobrimento de 35mm, armadura longitudinal principal Φ16 e cintas Φ6, que constituem o Gráfico 10 …… A7.19

Quadro A7.14 - Curvas definitivas adotadas para os diferentes diagramas de interação, a utilizar na verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão *b*=300mm, recobrimento de 35mm, armadura longitudinal principal *Φ*25 e cintas *Φ*8, que constituem o Gráfico 12 ……. A7.20

Quadro A7.15 - Resultados da aplicação do Gráfico 5 aos pilares analisados no escalão R60, com *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*12 - *Φ*6 ……. A7.21

Quadro A7.16 - Resultados da aplicação do Gráfico 5 aos pilares analisados no escalão R90, com *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*12 - *Φ*6 ……. A7.21

Quadro A7.17 - Resultados da aplicação do Gráfico 5 aos pilares analisados no escalão R120, com *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*12 - *Φ*6 ……. A7.23

Quadro A7.18 - Pilares que verificam a resistência ao fogo pela aplicação do Gráfico 5 …….. A7.24

Quadro A7.19 - Resultados da aplicação do Gráfico 6 aos pilares analisados no escalão R60, com *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*16 - *Φ*6 ……. A7.25

Quadro A7.20 - Resultados da aplicação do Gráfico 6 aos pilares analisados no escalão R90, com *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*16 - *Φ*6 ……. A7.25

Quadro A7.21 - Resultados da aplicação do Gráfico 6 aos pilares analisados no escalão R120, com *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*16 - *Φ*6 ……. A7.25

Quadro A7.22 - Pilares que verificam a resistência ao fogo pela aplicação do Gráfico 6 ……. A7.26

Quadro A7.23 - Resultados da aplicação do Gráfico 7 aos pilares analisados no escalão R60, com *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*20 - *Φ*6 ……. A7.27

Quadro A7.24 - Resultados da aplicação do Gráfico 7 aos pilares analisados no escalão R90, com *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*20 - *Φ*6 ……. A7.27

Quadro A7.25 - Resultados da aplicação do Gráfico 7 aos pilares analisados no escalão R120, com *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*20 - *Φ*6 ……. A7.27

Quadro A7.26 - Pilares que verificam a resistência ao fogo pela aplicação do Gráfico 7 …….. A7.28

Quadro A7.27 - Resultados da aplicação do Gráfico 8 aos pilares analisados no escalão R60, com *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*25 - *Φ*8 ……. A7.28

Quadro A7.28 - Resultados da aplicação do Gráfico 8 aos pilares analisados no escalão R90, com *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*25 - *Φ*8 ……. A7.29

Quadro A7.29 - Resultados da aplicação do Gráfico 8 aos pilares analisados no escalão R120, com *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*25 - *Φ*8 ……. A7.29

Quadro A7.30 - Pilares que verificam a resistência ao fogo pela aplicação do Gráfico 8 ……. A7.30

Quadro A7.31 - Resultados da aplicação do Gráfico 9 aos pilares analisados no escalão R60, com *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*12 - *Φ*6 ……. A7.30

Quadro A7.32 - Resultados da aplicação do Gráfico 9 aos pilares analisados no escalão R90, com *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*12 - *Φ*6 ……. A7.30

Quadro A7.33 - Resultados da aplicação do Gráfico 9 aos pilares analisados no escalão R120, com *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*12 - *Φ*6 ……. A7.30

Quadro A7.34 - Pilares que verificam a resistência ao fogo pela aplicação do Gráfico 9 …… A7.31

Quadro A7.35 - Resultados da aplicação do Gráfico 10 aos pilares analisados no escalão R60, com *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*16 - *Φ*6 ……. A7.32

Quadro A7.36 - Resultados da aplicação do Gráfico 10 aos pilares analisados no escalão R90, com *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*16 - *Φ*6 ……. A7.33

Quadro A7.37 - Resultados da aplicação do Gráfico 10 aos pilares analisados no escalão R120, com *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*16 - *Φ*6 ……. A7.34

Quadro A7.38 - Pilares que verificam a resistência ao fogo pela aplicação do Gráfico 10 …… A7.35

Quadro A7.39 - Resultados da aplicação do Gráfico 11 aos pilares analisados no escalão R60, com *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*20 - *Φ*6 ……. A7.36

Quadro A7.40 - Resultados da aplicação do Gráfico 11 aos pilares analisados no escalão R90, com *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*20 - *Φ*6 ……. A7.36

Quadro A7.41 - Resultados da aplicação do Gráfico 11 aos pilares analisados no escalão R120, com *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*20 - *Φ*6 ……. A7.37

Quadro A7.42 - Pilares que verificam a resistência ao fogo pela aplicação do Gráfico 11 …… A7.38

Quadro A7.43 - Resultados da aplicação do Gráfico 12 aos pilares analisados no escalão R60, com *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*25 - *Φ*8 ……. A7.39

Quadro A7.44 - Resultados da aplicação do Gráfico 12 aos pilares analisados no escalão R90, com *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*25 - *Φ*8 ……. A7.39

Quadro A7.45 - Resultados da aplicação do Gráfico 12 aos pilares analisados no escalão R120, com *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*25 - *Φ*8 ……. A7.40

Quadro A7.46 - Pilares que verificam a resistência ao fogo pela aplicação do Gráfico 12 …… A7.41

ABREVIATURAS E SIMBOLOGIA

ABREVIATURAS

ABAQUS	Programa comercial de elementos finitos – Em conversão para SIMULIA
CONFIRE	Programa para a análise estrutural de pilares sujeitos a incêndio desenvolvido por Nils Erik Forsén, Multiconsult AS, Oslo
CR	Categoria de risco
FCTUC	Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
INE	Instituto Nacional de Estatística
ISO	International Organization for Standardization
RGEU	Regulamento Geral das Edificações Urbanas
RJ-SCIE	Regime Jurídico de Segurança contra Incêndios em Edifícios
RSA	Regulamento de Segurança e Ações
RSCIEH	Regulamento de Segurança Contra Incêndios em Edifícios de Habitação
RT-SCIE	Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios
SAFIR	"Safety Fire Resistance". Programa baseado no método dos elementos finitos para análise térmica e estrutural desenvolvido por Franssen
SCIE	Segurança contra incêndio em edifícios
SimFIRb	"Simplified FIre Resistance – beam" - Programa de avaliação da capacidade de carga de pilares sujeitos a incêndio desenvolvido por Miguel Gonçalves
SimFIRc	"Simplified FIre Resistance – column" - Programa de avaliação da capacidade de carga de pilares sujeitos a incêndio desenvolvido por Miguel Gonçalves

SLS	Estado limite de utilização
STRUCT	Programa de análise de estruturas sujeitas a incêndio e que funciona em conjunto com TEMP, desenvolvido por Terro
TCD Tempcalc-Design	Conjunto de programas baseado no método dos elementos finitos para análise térmica e estrutural desenvolvido por Anderberg
TEMP	Programa de análise térmica desenvolvido por Terro
ULS	Estado limite último
UT	Utilização-tipo
VULCAN	Programa de análise por elementos finitos e modelação tridimensional do comportamento das estruturas desenvolvido na Universidade de Sheffield

SIMBOLOGIA

$1/r0$	Curvatura inicial
$1/r$	Curvatura
a	Distância do eixo dos varões da armadura longitudinal à face mais próxima sujeita a incêndio
a, b, c,	Parâmetros auxiliares para o cálculo da tensão e do módulo tangente no aço, a elevadas temperaturas
a’	Camada de betão danificada, calculada pelo Método da Isotérmica dos 500°C ou pelo Método das Zonas
a_{500}	Camada de betão danificada, calculada pelo Método da Isotérmica dos 500°C
a'_{500}	Distância da face do pilar à isotérmica dos 500ºC
a_m	Valor médio de a para armaduras com diâmetros diferentes na mesma fiada e/ou em mais de uma fiada
a_{min}	Distância mínima do eixo dos varões da armadura principal à face mais próxima sujeita a incêndio
a_z	Camada de betão danificada, calculada pelo Método das Zonas
A_b	Área bruta de um piso ou fracção
A_c	Área da secção transversal de betão
A_{cu}	Área útil da secção de betão

A_{cy}	Área da zona comprimida do betão
A_s	Área da secção transversal dos varões da armadura longitudinal. Área de armadura em tração.
A'_s	Área de armadura em compressão
A_{s1}, A_{s2}, A_{s3}, A_{s4},	Área de cada camada de armadura disposta ao longo da maior dimensão da secção transversal do pilar
A_u	Área útil de um piso ou fracção
b	Menor dimensão da secção transversal do pilar
b_{fi}	Menor dimensão da secção transversal reduzida do pilar
b_{min}	Valor mínimo da menor dimensão da secção transversal dos pilares
b_v	Largura da viga
c	Recobrimento das armaduras. Coeficiente dependente da distribuição da curvatura
c_0	Coeficiente que depende da distribuição do momento de primeira ordem
C_i	Coeficiente adimensional de combustibilidade do constituinte combustível (i)
c_{min}	Recobrimento mínimo das armaduras
$c_{min,b}$	Recobrimento mínimo das armaduras para os requisitos de aderência
$c_{min,dur}$	Recobrimento mínimo das armaduras relativo às condições ambientais
c_{nom}	Recobrimento nominal das armaduras
d	Altura útil da secção transversal
d_{fi}	Altura útil da secção reduzida
e	Excentricidade de primeira ordem. Excentricidade em relação ao centro de gravidade da secção transversal do pilar
e_1	Excentricidade de $N_{Rd,fi}$ em relação ao eixo da armadura de tração
e_2	Excentricidade devida aos efeitos de segunda ordem
e_i	Excentricidade devida aos efeitos das imperfeições geométricas
e_{max}	Valor máximo da excentricidade de primeira ordem
E_{cd}	Valor de cálculo do módulo de elasticidade do betão
E_{cm}	Módulo de elasticidade secante do betão

E_s	Módulo de elasticidade em regime elástico linear, à temperatura ambiente
$E_{s,\theta}$	Módulo de elasticidade em regime elástico linear, em função da temperatura
EI	Rigidez de flexão de um elemento comprimido
f_{cd}	Valor de cálculo da tensão de rotura do betão à compressão
$f_{sp,\theta}$	Tensão limite de proporcionalidade do aço, em função da temperatura
f_{yd}	Valor de cálculo da tensão de cedência à tração do aço das armaduras
$f_{sy,\theta}$	Tensão de cedência do aço, em função da temperatura
G_k	Valor caraterístico das ações permanentes
h	Altura de uma utilização-tipo. Maior dimensão da secção transversal do pilar
h_{fi}	Maior dimensão da secção transversal reduzida
h_i	Altura de armazenagem da zona de armazenamento (i)
h_v	Altura da viga
H_i	Poder calorífico inferior do constituinte combustível (i)
i	Raio de giração mínimo da secção transversal do pilar
I_c	Momento de inércia da secção transversal de betão, em relação ao seu centro de gravidade
I_s	Momento de inércia das armaduras, em relação ao centro de gravidade da área útil do betão
k_1	Flexibilidade relativa do encastramento parcial da extremidade 1 do pilar. Coeficiente que depende da classe de resistência do betão
k_2	Flexibilidade relativa do encastramento parcial da extremidade 2 do pilar. Coeficiente que depende do esforço normal e da esbelteza
K_c	Coeficiente que toma em conta os efeitos nomeadamente da fendilhação, da fluência, da taxa geométrica das armaduras, da esbelteza
K_r	Fator de correção dependente do esforço normal
K_s	Coeficiente que toma em conta a contribuição das armaduras
$k_s(\theta)$	Coeficiente de redução das caraterísticas mecânicas do aço, em função da temperatura
K_φ	Fator de correção dependente da fluência

l	Altura livre de um elemento comprimido, entre ligações de extremidade
l_0	Comprimento efetivo do pilar à temperatura normal
$l_{0,fi}$	Comprimento efetivo do pilar em situação de incêndio
l_v	Vão da viga
M_0	Momento inicial
M_2	Momento nominal de segunda ordem
M_{0Ed}	Momento de primeira ordem, incluindo o efeito de imperfeições geométricas
$M_{0Ed,fi}$	Momento fletor atuante em situação de incêndio
M_{0Eqp}	Momento fletor de primeira ordem na combinação de ações quase-permanente
M_{Ed}	Momento fletor atuante à temperatura normal
$M_{Ed,fi}$	Momento fletor atuante em situação de incêndio
M_i	Massa do constituinte combustível (i)
M_{fi}	Momento fletor em situação de incêndio
M_{Rd}	Valor de cálculo do momento fletor resistente, à temperatura normal
$M_{Rd,fi}$	Momentos resistente de cálculo, em situação de incêndio
$M'_{Rd,fi}$	Momento resistente em relação à armadura de tração, em situação de incêndio
n	Nível de carregamento à temperatura normal
N	Número de compartimentos corta-fogo de toda a utilização-tipo
$N_{0Ed,fi}$	Esforço normal atuante em situação de incêndio
N_a	Número de zonas de atividades distintas, englobando a totalidade do compartimento corta-fogo
N_{ar}	Número de zonas de armazenamento distintas, englobando todo o compartimento corta-fogo
N_B	Carga de encurvadura baseada na rigidez nominal
N_c	Número de constituintes combustíveis presentes no compartimento
N_{Ed}	Esforço normal atuante à temperatura normal
$N_{Ed,fi}$	Valor de cálculo do esforço normal em situação de incêndio

N_{fi}	Esforço normal em situação de incêndio
N_{Rd}	Valor de cálculo da resistência do pilar à temperatura normal, incluindo os efeitos de segunda ordem
$N_{Rd,fi}$	Esforço normal resistente em situação de incêndio
P_0	Carga inicial aplicada a um pilar em ensaio experimental
$P_{máx}$	Força de restrição máxima
q_k	Valor frequente da ação variável sobrecarga
q_s	Densidade de carga de incêndio modificada
q_{sk}	Densidade de carga de incêndio modificada de cada compartimento corta-fogo (k)
q_{vi}	Densidade de carga de incêndio por unidade de volume relativa à zona de armazenamento (i)
$Q_{k,1}$	Valor caraterístico da ação variável de base da combinação
R	Capacidade resistente do pilar sujeito a incêndio
R_{ai}	Coeficiente adimensional de ativação do constituinte combustível (i)
S	Área útil do compartimento corta-fogo
S_i	Área afeta à zona de atividade (i), englobando todo o compartimento corta-fogo
S_k	Área útil de cada compartimento corta-fogo (k), considerando toda a utilização-tipo
S_y	Momento estático da secção comprimida do betão em relação ao eixo da armadura tracionada
v_c	Varões dispostos nos cantos da secção transversal
v_f	Varões dispostos na face da secção transversal
x	Profundidade do eixo neutro
y	Altura da zona comprimida do betão
α_h	Coeficiente de redução relativo ao comprimento ou à altura
α_m	Coeficiente de redução relativo ao número de elementos
β	Coeficiente que depende da distribuição dos momentos de primeira e de segunda ordem
Δc_{dev}	Margem de cálculo para as tolerâncias de execução, no cálculo do recobrimento nominal das armaduras

$\Delta c_{dur,add}$	Redução do recobrimento mínimo das armaduras no caso de proteção adicional
$\Delta c_{dur,st}$	Redução do recobrimento mínimo das armaduras no caso de utilização de aço inoxidável
$\Delta c_{dur,\gamma}$	Margem de segurança para o cálculo do recobrimento mínimo das armaduras
ε_c	Extensão no betão à temperatura normal
ε_{cu}	Extensão limite última no betão à temperatura normal
ε_s	Extensão no aço à temperatura normal. Extensão no aço das armaduras tracionadas
ε'_s	Extensão no aço das armaduras comprimidas
$\varepsilon_{s,fi}$	Extensão no aço em situação de incêndio
$\varepsilon_{sp,\theta}$	Extensão no aço correspondente a uma tensão limite de proporcionalidade em função da temperatura
$\varepsilon_{st,\theta}$	Extensão de cedência a temperaturas elevadas
$\varepsilon_{su,\theta}$	Extensão última a temperaturas elevadas
$\varepsilon_{sy,\theta}$	Extensão correspondente à tensão de cedência, em função da temperatura
φ_{ef}	Coeficiente de fluência efetivo
$\varphi_{(\infty,t0)}$	Valor final do coeficiente de fluência
Φ	Diâmetro dos varões da armadura principal. Diâmetro dos pilares de secção circular
Φ_n	Diâmetro equivalente para varões agrupados
γ_{CE}	Coeficiente de redução do módulo de elasticidade secante do betão
γ_G	Coeficiente parcial relativo às ações permanentes
$\gamma_{Q,1}$	Coeficiente parcial relativo à ação variável de base da combinação
λ	Esbelteza do pilar à temperatura normal
λ_{fi}	Esbelteza do pilar em situação de incêndio
μ	Valor reduzido do momento fletor à temperatura ambiente
μ_{fi}	Grau de utilização em situação de incêndio. Valor reduzido do momento fletor em situação de incêndio
ν	Valores reduzidos do esforço normal à temperatura ambiente

ν_{fi}	Valores reduzidos do esforço normal em situação de incêndio
η_{fi}	Fator de redução do valor de cálculo do nível de carregamento em situação de incêndio
ψ_0	Coeficiente para a determinação do valor de combinação de uma ação variável
ψ_1	Coeficiente para a determinação do valor frequente de uma ação variável
ψ_2	Coeficiente para a determinação do valor quase-permanente de uma ação variável
ψ_{fi}	Coeficiente de combinação para os valores frequentes ou quase-permanente representados, respetivamente, por $\psi_{1,1}$ ou $\psi_{2,1}$
θ	Rotação dos elementos que se opõem à rotação para o momento fletor *M*. Temperatura no eixo do varão
θ_0	Valor básico da inclinação correspondente à deformação devida às imperfeições geométricas
θ_i	Inclinação correspondente à deformação devida às imperfeições geométricas
ρ	Taxa geométrica de armaduras
$\sigma_s(\theta)$	Tensão nas armaduras em função da temperatura. Tensão reduzida no aço das armaduras tracionadas, à temperatura θ
$\sigma'_s(\theta)$	Tensão reduzida no aço das armaduras comprimidas, à temperatura θ
ω	Taxa mecânica de armaduras

1
INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A segurança dos edifícios em situação de incêndio foi descurada, durante muitos anos, quer pelos técnicos intervenientes na regulamentação e na conceção dos projetos, quer pela comunidade em geral. Em Portugal, até 1990 e com a entrada em vigor do Regulamento de Segurança Contra Incêndios em Edifícios de Habitação (RSCIEH, 1990), a regulamentação sobre esta matéria era escassa, com regras e conceitos pouco precisos, apontados num único capítulo no Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU, 1951).

Os incêndios de grandes proporções que ocorreram essencialmente nas últimas décadas, em diferentes países, afetando grandes núcleos urbanos e edifícios de grande altura, vieram alertar para a necessidade de uma maior intervenção nesta área. Nomeadamente na conceção estrutural, começou a ponderar-se a necessidade de considerar o dimensionamento das estruturas de modo a contemplar, de forma mais eficaz, a ação devida ao fogo, minorar as suas consequências sociais e económicas e viabilizar a recuperação dos edifícios após a ocorrência de um incêndio. A verificação da resistência das estruturas em situação de incêndio é, pois, uma prática relativamente recente, constatando-se uma preocupação crescente em satisfazer este requisito, por parte dos projetistas de estruturas, e aprofundar o conhecimento nesta área, por parte dos que sentem que muito há, ainda, a fazer para melhorar a eficácia e tornar mais célere a aplicação de métodos já facultados, nomeadamente nos Eurocódigos Estruturais, recente normalização europeia para a conceção e o dimensionamento estrutural. Foram estes princípios que motivaram o desenvolvimento da presente dissertação, na área que há muito suscitou a curiosidade da autora. Já em 1991, aquando da entrada em vigor do RSCIEH (1990), estudou as repercussões construtivas, económicas e na prática corrente da conceção dos projetos de arquitetura, consequentes da aplicação desta regulamentação (Ramalho, M. A., 1994). Selecionaram-se os pilares, para tema desta dissertação, por serem os elementos estruturais que mais influenciam a estabilidade global dos edifícios, e em betão armado, pelo facto das estruturas dos edifícios correntes, em Portugal, serem concebidas neste material estrutural e pelo facto de não haver ainda suficiente informação no sentido de proporcionar, aos projetistas de estruturas, mecanismos satisfatoriamente eficazes para a verificação da resistência ao fogo destes elementos estruturais.

1.2. OBJETIVOS

As estruturas que garantem a estabilidade dos edifícios correntes são, maioritariamente, constituídas por elementos estruturais em betão armado. O desempenho destas estruturas, quando submetidas às diferentes combinações das ações no decorrer da sua vida útil, depende particularmente do comportamento dos pilares, podendo a perda de capacidade resistente ou de suporte, destes elementos estruturais, comprometer a estabilidade do edifício, como pode ser observado na Figura 1.1. Em situação de incêndio, o comportamento dos pilares é substancialmente afetado pelas elevadas temperaturas, não só pela degradação das caraterísticas mecânicas do betão e do aço das armaduras, mas também pelos efeitos dessas temperaturas relacionados com a dilatação térmica que, sendo impedida pela estrutura circundante, provoca esforços adicionais potenciados pelo aumento da esbelteza, e consequente agravamento da encurvadura.



Figura 1.1 - Perda da estabilidade de um edifício em S. João da Madeira, 1986, por perda da capacidade de carga de dois pilares, devido a elevado assentamento das fundações.

A consideração da situação de incêndio, na prática vulgar de dimensionamento dos pilares, consiste essencialmente numa *verificação* da resistência ao fogo requerida. Efetivamente, nas situações correntes, estes elementos estruturais são dimensionados considerando as ações permanentes e as ações variáveis combinadas de modo a serem verificados os estados limites últimos de resistência e de encurvadura, com um recobrimento das armaduras definido essencialmente em função da exposição ambiental.

Neste sentido, os engenheiros projetistas de estruturas correntes carecem de ferramentas que permitam efetuar uma verificação da resistência ao fogo rápida e eficaz dos pilares dimensionados, e não de modelos matemáticos complexos e de morosa aplicação, modelos estes essenciais à investigação e ao dimensionamento ao fogo de elementos em situações particulares. É por necessitarem de proceder a esta verificação num curto período de tempo, que frequentemente recorrem aos métodos propostos sob a forma de tabelas na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), métodos estes que conduzem frequentemente a resultados substancialmente conservativos, como se comprovará em capítulo próprio desta dissertação.

Sendo um propósito deste trabalho verificar as consequências da introdução dos Eurocódigos Estruturais à prática corrente de dimensionamento de pilares em betão armado em Portugal e, portanto, direcionada ao exercício dos engenheiros projetistas de estruturas de edifícios correntes, procura-se proporcionar, a estes técnicos, informação que lhes permita selecionar adequadamente o método de verificação mais eficaz.

O objetivo fundamental desta dissertação é contribuir para que os projetistas de estruturas de edifícios correntes possam proceder eficazmente à verificação da resistência ao fogo dos pilares em betão armado, em termos de tempo gasto nessa verificação, recorrendo a ferramentas que conduzam a resultados pouco conservativos, sem preterir a segurança.

1.3. METODOLOGIA SEGUIDA NO DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Pretendendo-se com este trabalho contribuir, como referido, para uma verificação eficaz, por parte dos projetistas, da resistência ao fogo dos pilares em betão armado e verificar que alterações à prática corrente do seu dimensionamento à temperatura normal poderiam ser propostas, houve que analisar estatisticamente os pilares inseridos nas estruturas de edifícios correntes já licenciados, para poder identificar as situações mais frequentes e poder analisar os parâmetros intervenientes neste processo.

O tratamento estatístico foi de substancial importância permitindo, nomeadamente, definir a distribuição dos pilares pelos escalões de resistência ao fogo, identificar os valores mais correntes dos parâmetros de entrada nas tabelas apresentadas na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), identificar as práticas de projeto a alterar de modo a minimizar os efeitos da verificação da resistência ao fogo, comparar o desempenho ao fogo dos pilares de secção retangular com o dos pilares de secção circular, comparar a eficácia dos modelos apresentados sob a forma de tabelas, disponíveis naquela norma, e comparar a eficácia destes modelos com o novo modelo proposto nesta dissertação.

Tomando em consideração os objetivos essenciais desta dissertação, organizou-se o desenvolvimento da matéria a tratar sequencialmente, inserindo-a criteriosamente nos seguintes capítulos:

Capítulo 1 - Introdução

> No presente capítulo justifica-se a motivação da escolha do tema, apresentam-se os objetivos essenciais que serviram de base à definição das linhas orientadoras do desenvolvimento do trabalho e mostra-se a metodologia seguida no processo de pesquisa com vista a atingir esses objetivos.

Capítulo 2 - Estado da arte

> Neste capítulo apresenta-se a regulamentação portuguesa e a normalização europeia que serviriam de base à matéria a tratar, mostrando-se de forma mais desenvolvida as partes essenciais de modo a permitir a sua fácil compreensão. Na sequência de exaustiva pesquisa, apontam-se os estudos científicos publicados mais pertinentes relacionados com a matéria a desenvolver nesta dissertação, o comportamento em situação de incêndio e a avaliação da resistência ao fogo de pilares em betão armado, focando o comportamento do betão e do aço das armaduras a elevadas temperaturas, a análise térmica e mecânica das secções e das estruturas durante o incêndio, a análise das secções após um incêndio e programas de cálculo automático relevantes, retendo-se as conclusões apresentadas por alguns dos autores sobre os tópicos relevantes para o desenvolvimento do presente trabalho.

Capítulo 3 - Análise da resistência ao fogo de pilares em betão armado - enquadramento do estudo

Apresenta-se, neste capítulo, a metodologia seguida para a seleção criteriosa dos edifícios a analisar, de modo a corresponderem a uma amostra representativa dos licenciados em Portugal. Para a validação desta amostra, constituída por sessenta e três edifícios, estuda-se o seu enquadramento estatístico do ponto de vista da localização dos edifícios, do tipo de ocupação e da sua altura, recorrendo aos dados estatísticos disponibilizados pelo Instituto Nacional de Estatística (INE, 2009). Expõem-se as razões da escolha das regiões onde se inserem esses edifícios, contemplando a uniformização de critérios de dimensionamento e de redução de variáveis, no âmbito deste trabalho. Desenvolvem-se os procedimentos para a análise dos edifícios, de modo a definir as categorias de risco de incêndio e os escalões de resistência ao fogo correspondentes às utilizações-tipo neles inseridas. Analisa-se a distribuição percentual dos escalões de resistência ao fogo em cada utilização-tipo e a distribuição percentual das 114 utilizações-tipo incluídas nos projetos analisados, pelos escalões de resistência ao fogo.

Ainda neste capítulo mostra-se o enquadramento estatístico dos pilares de betão armado inseridos nas estruturas dos edifícios objeto do estudo, nomeadamente do ponto de vista da forma (quadrangular, retangular e circular) e das dimensões das secções transversais. Alerta-se para as consequências da aplicação da regulamentação portuguesa na definição das categorias de risco dos edifícios de utilização mista e, consequentemente, dos respetivos escalões de resistência ao fogo, nomeadamente a resultante do articulado do n.º5 do Art.º13º do D.L.220/2008, RJ-SCIE (2008). Este ponto foi recentemente alterado, com novo texto dado no Decreto-Lei nº 224/2015, de 9 de Outubro, D.L. n.º 224 (2015), não surgindo, agora, dúvidas na sua interpretação.

Complementam este capítulo os seguintes anexos:

Anexo A3.1 - Cálculo do efetivo das utilizações-tipo inseridas nos edifícios analisados
Anexo A3.2 - Cálculo da densidade de carga de incêndio
Anexo A3.3 - Definição dos escalões de resistência ao fogo dos edifícios estudados
Anexo A3.4 - Caraterísticas dos pilares analisados

Capítulo 4 - Parâmetros que mais afetam a conformidade dos pilares em situação de incêndio, quando aplicados os métodos tabelados

Neste capítulo desenvolve-se a aplicação dos métodos baseados em valores tabelados, Método A, Método B e Método C, na verificação da resistência ao fogo dos pilares objeto deste estudo. Analisa-se a distribuição dos pilares retangulares e dos pilares circulares pelos escalões de resistência ao fogo, assim como a distribuição das suas secções transversais, para cada valor da menor dimensão da secção transversal, nos pilares retangulares, e para cada valor do diâmetro, nos pilares circulares. Para a aplicação dos métodos tabelados consideram-se os parâmetros de projeto, necessários para a verificação da sua aplicabilidade e para a entrada nas correspondentes tabelas, quando disponíveis, determinando-se os que não se encontram expressos. Tratam-se estatisticamente os valores destes parâmetros, com o intuito de identificar os mais frequentes.

Aplicam-se os métodos tabelados considerando diferentes cenários:

- Utilizando o fator de redução do nível de carregamento, η_{fi}, com os valores determinados para cada projeto e o recobrimento das armaduras, c_{nom}, com os valores previstos em projeto;

- Utilizando a simplificação conservativa sugerida na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), η_{fi}=0,7, e o recobrimento das armaduras, c_{nom}, com os valores de projeto;

- Utilizando η_{fi} com os valores de projeto e o recobrimento das armaduras com os valores mínimos determinados recorrendo ao disposto na EN 1992-1-1 (EC2-1-1, 2010), na EN 206-1 (2007) e na E 464 (2007).

Comparam-se os resultados obtidos pela aplicação de cada um dos métodos tabelados (Método A, Método B e Método C) aos pilares de secção retangular e aos pilares de secção circular, considerando estes cenários. Analisando os resultados, estuda-se a eficácia de cada um dos métodos e compara-se o desempenho, em situação de incêndio, dos pilares retangulares com o dos pilares circulares. Dirigido aos projetistas de estruturas, apresentam-se algumas recomendações em termos de prática de projeto, e apontam-se os métodos que conduzem a resultados menos conservativos, para cada situação corrente.

Complementa este capítulo o seguinte anexo:

Anexo A4 - Aplicação dos métodos que se apresentam sob a forma de tabelas

Capítulo 5 - Avaliação experimental da resistência ao fogo de pilares em betão armado

A avaliação experimental da resistência ao fogo dos elementos estruturais e, em particular, dos pilares, é do maior interesse, pelo que se estudam e comparam, neste capítulo, os resultados de alguns ensaios levados a efeito no Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, com restrição da dilatação térmica devida ao seu aquecimento e com a carga aplicada axialmente. A importância desta matéria é realçada por Franssen, J. M., Dotreppe, J. C. (2003), ao salientarem que os modelos numéricos dependem dos ensaios experimentais para a sua validação, enquanto os métodos simplificados são baseados na experiência adquirida pela aplicação dos modelos numéricos, devendo conduzir a resultados que estejam de acordo com os obtidos em ensaios experimentais. Referem, ainda, que a verificação da resistência ao fogo das estruturas não é simples, essencialmente para os pilares. Estuda-se o comportamento ao fogo de um pilar ensaiado pela autora da presente dissertação, analisando, nomeadamente, o tempo de resistência ao fogo, o desenvolvimento das temperaturas no forno, no betão e nas armaduras, observado no decorrer do ensaio, os valores das temperaturas no momento em que ocorreu o destacamento explosivo do betão, e o desenvolvimento das forças de restrição. Compara-se o comportamento ao fogo de sete pilares, três de secção transversal quadrangular, onde se encontra incluído o ensaiado pela autora, e quatro de secção circular. Considerando estes pilares, analisa-se e compara-se a relação entre o tempo de resistência ao fogo e o nível de carregamento, comparam-se os valores dos esforços axiais lidos no decorrer dos ensaios com os determinados analiticamente recorrendo ao Método da Isotérmica dos 500ºC, e comparam-se os valores da esbelteza determinados em situação de incêndio, com os calculados à temperatura normal, considerando os pilares inseridos em estruturas contraventadas e não contraventadas. Utilizam-se os Métodos dos Valores Tabelados

(Método A e Método B) e os Métodos Simplificados (Método C, Método da Isotérmica dos 500ºC e Método das Zonas) para verificar a resistência ao fogo dos sete pilares, classificados nos escalões de resistência ao fogo definidos de acordo com o tempo de resistência ao fogo observado nos respetivos ensaios, e analisam-se os resultados. Comparam-se, ainda, para dois dos pilares quadrangulares, os resultados da aplicação de alguns destes métodos com os obtidos por outros autores que recorreram a metodologias distintas no processo de verificação da resistência ao fogo destes mesmos pilares.

Capítulo 6 - Desenvolvimento dos diagramas de interação N_{fi}/M_{fi} em flexão composta

No presente capítulo apresenta-se a metodologia seguida para o desenvolvimento de um novo método, que se propõe nesta dissertação, para a verificação da resistência ao fogo de pilares em betão armado, e que consiste na consulta de diagramas de interação adimensionais desenhados em situação de incêndio, N_{fi}/M_{fi}. Aponta-se a geometria e a constituição das armaduras das secções que se constatou serem as mais frequentes, na análise estatística desenvolvida no Capítulo 3, e para as quais se pretende desenhar os referidos diagramas de interação. Recorrendo ao estudo levado a efeito no Capítulo 4, no que concerne à distribuição dos pilares pelos escalões de resistência ao fogo, decide-se desenhar os diagramas para os escalões R60, R90 e R120, onde se insere o significativamente maior número de pilares.

Indica-se o procedimento seguido para o desenho dos diagramas de interação $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$, entre esforços normais e de flexão estabelecidos para estados limites últimos de resistência, considerando extensões limites para o betão e para o aço. Mostram-se detalhadamente as opções de cálculo seguidas no decorrer do processo de desenvolvimento destes diagramas, nomeadamente do método utilizado para determinar a secção útil em situação de incêndio, das definições das extensões no betão e no aço limites dos diferentes domínios e dos coeficientes de redução das caraterísticas mecânicas do aço das armaduras devidos às elevadas temperaturas. Analisam-se e comparam-se os resultados obtidos para alguns dos parâmetros envolvidos neste processo, nomeadamente a espessura da camada de betão danificada, a redução da área da secção transversal e a redução das propriedades mecânicas do aço, para cada escalão de resistência ao fogo. Comparam-se os diagramas de interação N_{Rd}/M_{Rd} à temperatura normal e em situação de incêndio, correspondentes a algumas secções particulares.

Mostra-se o procedimento de cálculo para o desenho dos diagramas adimensionais de interação dos esforços atuantes em situação de incêndio, $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$, considerando os efeitos das imperfeições geométricas e os efeitos de segunda ordem, e analisa-se as consequências da variação da altura da secção transversal e do vão das vigas de travação no desenho destes diagramas. Estuda-se também a variação dos diagramas $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$ com a classe de resistência do betão e a variação dos diagramas N_{Ed}/M_{Ed} à temperatura normal e em situação de incêndio, ambos os estudos em função das dimensões da secção transversal dos pilares, da constituição das suas armaduras e do escalão de resistência ao fogo.

Complementa este capítulo o seguinte anexo:

Anexo A6 - Diagramas de interação N_{fi}/M_{fi}

Capítulo 7 - Metodologia proposta para a verificação da resistência ao fogo de pilares em betão armado

Neste capítulo apresentam-se os procedimentos que conduziram aos desenhos dos diagramas adimensionais que se propõem como uma nova metodologia para a verificação da resistência ao fogo dos pilares em betão armado, assim como as simplificações assumidas, sem preterir as questões relacionadas com a segurança. Procurando-se reduzir o número de gráficos e torná-los abrangentes, de modo a que o método seja eficaz em termos de tempo de utilização, começa por se estudar a variação dos diagramas adimensionais de interação $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ com a classe de resistência do betão, com o tipo de aço das armaduras e com as dimensões da secção transversal e constituição das armaduras do pilar. Justifica-se a opção de se desenvolverem doze gráficos de consulta, um gráfico para cada valor da menor dimensão da secção transversal do pilar, *b*, e para cada valor da distância do eixo dos varões da armadura longitudinal à face mais próxima sujeita a incêndio, *a*, parâmetro este que depende da espessura do recobrimento das armaduras, *c*, e do seu diâmetro. Mostra-se detalhadamente a metodologia adotada para o desenho dos gráficos definitivos, exemplificando-se com a sua aplicação na construção de um dos gráficos e remetendo para anexo a aplicação na construção dos restantes. Apresentam-se os gráficos definitivos propostos, acompanhados de quadros indicativos da sua utilização. Aplicam-se os gráficos definitivos para proceder à verificação da resistência ao fogo dos pilares com valores da menor dimensão *b*=20cm, *b*=25cm e *b*=30cm, inseridos nas estruturas dos sessenta e três edifícios analisados, apresentados no Capítulo 3 desta dissertação, pilares estes já objeto da verificação da resistência ao fogo considerando a aplicação dos métodos tabelados, no estudo desenvolvido no Capítulo 4. Estudam-se os resultados obtidos pela aplicação desta nova metodologia e comparam-se esses resultados considerando os escalões de resistência ao fogo, os valores da menor dimensão da secção transversal dos pilares e a constituição das armaduras. Comparam-se os resultados obtidos utilizando a nova metodologia proposta nesta dissertação, com os resultantes da utilização dos métodos tabelados, analisando-se as discrepâncias observadas em cada escalão de resistência ao fogo.

Complementa este capítulo o seguinte anexo:

Anexo A7 - Desenvolvimento dos gráficos propostos para a verificação da resistência ao fogo de pilares

Capítulo 8 - Conclusões e desenvolvimentos futuros

Desenvolvidos os temas objeto desta dissertação apontam-se, neste último capítulo, as conclusões que foram sendo retidas no decorrer do estudo das diferentes matérias e formulam-se as conclusões finais pertinentes. Apresentam-se, também, perspetivas de desenvolvimentos futuros no que se refere à investigação nesta área, alguns dos quais a autora pretende trabalhar a curto prazo.

2

ESTADO DA ARTE

2.1. INTRODUÇÃO

A verificação da resistência das estruturas em situação de incêndio é uma prática relativamente recente, constatando-se uma preocupação crescente em satisfazer este requisito, por parte dos projetistas de estruturas, e aprofundar o conhecimento nesta área, por parte dos que sentem que muito há, ainda, a fazer para melhorar a eficácia e tornar mais célere a aplicação de métodos já facultados, nomeadamente na normalização europeia nesta área, desenvolver métodos de cálculo automático expeditos, assim como investigar o comportamento dos materiais e das estruturas, quando submetidos a temperaturas elevadas.

O estabelecimento de objetivos e de diretrizes, num projeto de investigação, deve ser precedido pela pesquisa de legislação e normalização existente na área objeto do estudo, assim como trabalhos realizados e investigação desenvolvida sobre a matéria.

Neste capítulo desenvolve-se uma avaliação do estado da arte sobre o dimensionamento ao fogo de estruturas em betão armado, focando-se a pesquisa num dos seus elementos constituintes, os pilares, por serem os elementos estruturais selecionados para objeto da presente dissertação.

Focar-se-á a regulamentação portuguesa sobre segurança contra incêndio, a recente normalização europeia relacionada com a resistência ao fogo das estruturas e alguns procedimentos de cálculo desenvolvidos com base nos métodos aí apontados, assim como os estudos, desenvolvidos na área do dimensionamento e da avaliação da resistência ao fogo de pilares em betão armado, que se consideraram pertinentes para os objetivos desta dissertação.

2.2. REGULAMENTAÇÃO PORTUGUESA

2.2.1. INTRODUÇÃO

Em Portugal, até 1990 e com a entrada em vigor do Regulamento de Segurança Contra Incêndios em Edifícios de Habitação (RSCIEH, 1990), a regulamentação de segurança contra incêndios em edifícios era escassa, com regras e conceitos dispersos e pouco precisos. Até àquela data e não havendo regulamentação específica, observava-se o estipulado no único capítulo dedicado a esta matéria no Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU, 1951). Anterior a este, o Regulamento de Salubridade das Edificações Urbanas (1903), foi o primeiro regulamento geral a incluir, nas suas disposições globais, a exigência das chaminés deverem ser construídas com materiais incombustíveis. A entrada em vigor e consequente aplicação do RSCIEH (1990) teve significativas repercussões construtivas e económicas, acarretando, também, consideráveis alterações à prática corrente de conceção dos projetos de arquitetura, como foi constatado pela autora, no trabalho que desenvolveu no âmbito do seu Mestrado (Ramalho, M. A., 1994).

Nas três primeiras décadas do Século XX verificou-se um importante movimento migratório da população do interior do País para os dois maiores centros urbanos, Lisboa e Porto. Como consequência da grande concentração de pessoas daí resultante, observou-se uma evolução rápida da construção em áreas de implantação reduzidas e, assim, a construção de edifícios de maior altura. As Câmaras Municipais daquelas duas cidades, pressionadas por essa situação, tomaram a iniciativa de prever, na sua regulamentação referente ao licenciamento das construções urbanas, medidas para aumentar a segurança e reduzir o risco de incêndio nas áreas dos respetivos concelhos. Para tal, foi aprovado o Regulamento Geral da Construção Urbana para a cidade de Lisboa (1930) e, no Porto, o Regulamento Sobre Construção Civil na Parte Referente à Defesa contra Incêndios (1944).

Posteriormente, foram publicadas as Recomendações Técnicas para Habitação Social (1985), com carácter obrigatório apenas para este tipo de edifícios, onde são estipuladas disposições mais específicas de segurança contra incêndios, essencialmente no que se refere aos caminhos de evacuação.

Apesar da expressiva evolução da regulamentação a partir de 1990 com a publicação do já referido regulamento e sucessivamente de outros aplicáveis a distintos tipos de ocupação, como parques de estacionamento cobertos, edifícios hospitalares, edifícios administrativos, edifícios escolares, estabelecimentos comerciais, recintos de espetáculos e divertimentos públicos, constatava-se haver ainda um número significativo de edifícios para cujas utilizações não se previam, ainda, quaisquer recomendações na área em estudo, aplicando-se apenas o estipulado no capítulo III do Título V do RGEU (1951).

Como pode constatar-se, havia uma profusão de regulamentos e diplomas específicos e aplicáveis a cada tipo de edifício, dispersos por diversa legislação de valor hierárquico e normativo distinto, que dificultava a sua interpretação e aplicação. Essencialmente devido a este facto, as entidades competentes consideraram pertinente repensar num modelo diferente para a regulamentação nesta área. O novo Regime Jurídico de Segurança contra Incêndio em Edifícios (RJ-SCIE, 2008), abreviadamente designado por RJ-SCIE, veio colmatar muitas das lacunas e os inconvenientes, sumariamente referidos, da anterior legislação vigente.

No dia 1 de Janeiro de 2009 entraram em vigor o já citado Regime Jurídico de Segurança contra Incêndios em Edifícios (RJ-SCIE, 2008), promulgado pelo Decreto-Lei n.º 220/2008, de 12 de

Novembro e o Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios (RT-SCIE, 2008), publicado na Portaria n.º 1532/2008, de 29 de Dezembro. Foi, também, publicado o Despacho n.º 2074/2009 (Despacho, 2009), que estipula os critérios técnicos para determinação da densidade de carga de incêndio modificada. Estes três documentos legislativos constituem o núcleo da estrutura regulamentar da segurança contra incêndio atual, tendo o mérito de reunir a regulamentação dispersa até essa data. Entre outros documentos legislativos complementares salienta-se a Portaria n.º 64/2009 (Portaria, 2009), que estabelece o regime de credenciação para emissão de pareceres, realização de vistorias e de inspeções das condições de segurança contra incêndio em edifícios, como estipula o RJ-SCIE (2008).

Recentemente foi publicado o D.L. n.º 224 (2015), diploma que procede à primeira alteração ao Regime Jurídico RJ-SCIE (2008), clarificando o articulado e corrigindo erros ou gralhas de alguns dos artigos, sem alterar, no entanto, os aspetos basilares da legislação em vigor.

2.2.2. UTILIZAÇÕES-TIPO

No Regime Jurídico de Segurança contra Incêndio em Edifícios (RJ-SCIE, 2008), os edifícios são classificados, considerando o seu tipo de ocupação dominante, em doze utilizações-tipo, UT I a XII. Apresentam-se, no Quadro 2.1, as utilizações-tipo previstas neste diploma.

Quadro 2.1 - Utilizações-tipo preconizadas no RJ-SCIE (2008).

UT I	Habitacionais
UT II	Estacionamentos
UT III	Administrativos
UT IV	Escolares
UT V	Hospitalares e lares de idosos
UT VI	Espetáculos e reuniões públicas
UT VII	Hoteleiros e restauração
UT VIII	Comerciais e gares de transportes
UT IX	Desportivos e de lazer
UT X	Museus e galerias de arte
UT XI	Bibliotecas e arquivos
UT XII	Industriais, oficinas e armazéns

Atendendo ao seu uso, os edifícios podem ser de utilização exclusiva, se integram uma única utilização-tipo, ou de utilização mista, quando integram diversas utilizações-tipo. Ainda de acordo com o citado Regime Jurídico, quando num edifício classificado numa dada utilização-tipo, se integram espaços classificáveis noutras utilizações-tipo, aplicam-se a estes espaços exclusivamente as disposições gerais e as específicas da utilização-tipo onde se inserem, sempre que estes espaços apresentem as caraterísticas que se resumem no Quadro 2.2, elaborado tomando em consideração a Nota Técnica Complementar NT-01 da Autoridade Nacional de Proteção Civil (Nota Técnica, 2013).

Quadro 2.2 - Espaços e condições em que se aplicam exclusivamente as disposições previstas para a utilização-tipo do edifício onde se inserem.

Utilização dos espaços	Caraterísticas
- Atividades administrativas - Arquivo documental - Armazenamento	• Necessários à atividade da entidade exploradora • Gestão da entidade exploradora das utilizações-tipo III a XII • Não estejam normalmente acessíveis ao público • Área bruta de cada espaço ≤ 10% da área bruta total (UTIII a UTVII, UTIX e XI) • Área bruta de cada espaço ≤ 20% da área bruta total (UTVIII, UTX e XII)
- Reunião - Culto religioso - Conferências, palestras ou ações de formação - Atividades desportivas - Atividades de lazer - Estabelecimentos de restauração e bebidas	• Gestão da entidade exploradora das utilizações-tipo III a XII • Efetivo ≤ 200 pessoas, em edifícios • Efetivo ≤ 1000 pessoas, ao ar livre
- Espaços comerciais - Oficinas - Bibliotecas - Salas de exposições - Postos médicos, de socorros e de enfermagem	• Gestão da entidade exploradora das utilizações-tipo III a XII • Área útil ≤ 200 m^2
- Recolha de veículos e reboques em edifícios	• Área útil ≤ 200 m^2

2.2.3. CATEGORIAS DE RISCO

Todos os locais dos edifícios e dos recintos, com exceção dos espaços interiores de cada fogo e das vias horizontais e verticais de evacuação, são classificados, de acordo com a natureza do risco, em seis classes. Estas classes são identificadas no Artigo 10.º do Regime Jurídico de Segurança contra Incêndios em Edifícios (RJ-SCIE, 2008) como locais de risco de A, B, C, D, E e F, sendo especificadas, neste artigo, as caraterísticas do risco inerente a cada uma dessas classes. No Quadro 2.3 indica-se a natureza do risco correspondente a cada local.

Quadro 2.3 - Classificação dos locais de risco.

Local de risco	Natureza do risco
Local de risco A	Local que não apresenta riscos especiais
Local de risco B	Local acessível ao público ou ao pessoal afeto ao estabelecimento, com um efetivo superior a 100 pessoas ou um efetivo de público superior a 50 pessoas
Local de risco C	Local que apresenta riscos agravados de eclosão e de desenvolvimento de incêndio devido, quer às atividades nele desenvolvidas, quer às caraterísticas dos produtos, materiais ou equipamentos nele existentes, designadamente à carga de incêndio
Local de risco D	Local de um estabelecimento com permanência de pessoas acamadas ou destinado a receber crianças com idade não superior a seis anos ou pessoas limitadas na mobilidade ou nas capacidades de perceção e reação a um alarme
Local de risco E	Local de um estabelecimento destinado a dormida, em que as pessoas não apresentem as limitações indicadas nos locais de risco D
Local de risco F	Local que possua meios e sistemas essenciais à continuidade de atividades sociais relevantes, nomeadamente os centros nevrálgicos de comunicação, comando e controlo

Nos edifícios e recintos, cada uma das doze utilizações-tipo identificadas no ponto anterior, é classificada, em matéria de risco de incêndio, numa de quatro categorias, 1.ª, 2.ª, 3.ª e 4.ª, respetivamente risco reduzido, risco moderado, risco elevado e risco muito elevado, definidas em função de fatores de risco inerentes ao tipo de ocupação.

O RJ-SCIE (2008) define, nos quadros I a X do Anexo III, os fatores de risco e os seus limites, para cada utilização-tipo. No Quadro 2.4 indicam-se as utilizações-tipo e os fatores de risco previstos no citado diploma, assinalando-se os que são condicionantes para a definição da categoria de risco, em cada tipo de ocupação.

Quadro 2.4 - Utilizações-tipo dos edifícios e correspondentes fatores de risco.

Utilizações-tipo / Fatores de risco	UT I	UT II	UT III	UT IV	UT V	UT VI	UT VII	UT VIII	UT IX	UT X	UT XI	UT XII
Altura da UT	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Número de pisos abaixo do plano de referência	x	x				x	x	x	x		x	x
Área bruta coberta / ao ar livre		x										
Efetivo			x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Efetivo em locais de risco D ou E				x	x		x					
Efetivo ao ar livre						x			x			
Locais de risco D e/ou E com saídas independentes diretas ao exterior				x	x		x					
Densidade de carga de incêndio modificada											x	x
Densidade de carga de incêndio modificada ao ar livre												x

Nota: UT I - Habitacionais; UT II - Estacionamentos; UT III - Administrativos; UT IV - Escolares; UT V - Hospitalares e lares de idosos; UT VI - Espetáculos e reuniões públicas; UT VII - Hoteleiros e restauração; UT VIII - Comerciais e gares de transportes; UT IX - Desportivos e de lazer; UT X - Museus e galerias de arte; UT XI - Bibliotecas e arquivos; UT XII - Industriais, oficinas e armazéns.

É estipulado, no ponto 5 do Artigo 13.º deste Regime Jurídico, que os edifícios e os recintos de utilização mista são classificados na categoria de risco mais elevada das respetivas utilizações-tipo, independentemente da área ocupada por cada uma dessas utilizações.

2.2.4. ESCALÕES DE RESISTÊNCIA AO FOGO

A capacidade resistente dos elementos estruturais, em situação de incêndio, é determinada considerando o escalão de resistência ao fogo que lhe é requerido.

O Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios, (RT-SCIE, 2008), no ponto 1 do Artigo 15.º, "Resistência ao fogo de elementos estruturais", refere que "*os elementos estruturais de edifícios, consoante o seu tipo, devem possuir uma resistência ao fogo que garanta as suas funções de suporte de cargas, de isolamento térmico e de estanquidade durante todas as fases de combate ao incêndio, incluindo o rescaldo, ou, em alternativa, devem possuir a resistência ao fogo padrão mínima indicada no quadro IX*", quadro este que consta no corpo do artigo. O Quadro 2.5 abaixo apresentado constitui a reprodução desse quadro.

O escalão de resistência ao fogo padrão dos elementos estruturais é definido, como pode constatar-se pela leitura deste quadro, em função da categoria de risco, para cada utilização-tipo.

Quadro 2.5 - Resistência ao fogo padrão mínima de elementos estruturais de edifícios.

Utilizações-tipo	Categoria de risco				Função do elemento estrutural
	1.ª	2.ª	3.ª	4.ª	
I, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X	R 30	R 60	R 90	R 120	Apenas suporte
	REI 30	REI 60	REI 90	REI 120	Suporte e compartimentação
II, XI, XII	R 60	R 90	R 120	R 180	Apenas suporte
	REI 60	REI 90	REI 120	REI 180	Suporte e compartimentação

2.3. NORMALIZAÇÃO EUROPEIA

2.3.1. INTRODUÇÃO

A normalização europeia para a conceção e o dimensionamento de estruturas é constituída pelos Eurocódigos Estruturais, normas de aplicação obrigatória nos países da União Europeia, tendo sido revogada, na maior parte dos países, qualquer outra legislação em vigor nos Estados-Membros, sobre a matéria aí versada. Em Portugal estas normas ainda não estão oficialmente em vigor, apesar de serem divulgadas e adotadas há muitos anos quer pelas instituições de ensino superior, quer pelos profissionais ligados à área em questão.

Em muitos países de outros continentes, como os da América Latina e Áfrico-Lusófonos, a nova regulamentação nesta área, em desenvolvimento ou já em vigor, está a ser ou foi elaborada em consonância com estas normas.

Os Eurocódigos colmatam uma lacuna na legislação nacional, nomeadamente do ponto de vista da informação relativa às características e comportamento de alguns materiais estruturais. Inovadora é a parte que se refere ao tratamento das estruturas para lhes conferir a adequada resistência ao fogo, para os diversos materiais, diferentes elementos estruturais e situações.

Estas Normas Europeias são constituídas por dez documentos encontrando-se cada um, com exceção da EN 1990, dividido em diversas partes, conforme a matéria tratada. No quadro 2.6 indicam-se as designações dos dez Eurocódigos, o número de partes que constitui cada um deles e dá-se ênfase à Parte 1-2 que trata, em sete destes documentos, das disposições a observar para a verificação da resistência ao fogo das estruturas constituídas pelos diferentes materiais.

No âmbito desta dissertação, estudo da resistência ao fogo de pilares em betão armado, trabalhar-se-á essencialmente com o Eurocódigo 2 - *Projeto de estruturas de betão; Parte 1-2*: *Regras gerais - Verificação da resistência ao fogo* (EC2-1-2, 2010), complementada com a *Parte 1-1*: *Regras gerais e regras para edifícios* (EC2-1-1, 2010), com o Eurocódigo 0 - *Bases para o projeto de estruturas* (EC0, 2009), e o Eurocódigo 1 - *Ações em estruturas; Parte 1-2: Ações gerais - Ações em estruturas expostas ao fogo* (EC2-1-2, 2010).

Muitos investigadores têm analisado a evolução da regulamentação europeia de segurança contra incêndios, nos últimos anos, e trabalhado no desenvolvimento de ferramentas expeditas para a sua aplicação, considerando diferentes níveis de complexidade e, consequentemente, de graus de rigor, adequados às exigências específicas de cada edifício.

Quadro 2.6 - Síntese da normalização Europeia.

Norma Europeia	Título	Conteúdo	Número de partes	Parte 1-2
EN 1990	Eurocódigo 0 (EC0)	Bases para o cálculo de estruturas	1	-
EN 1991	Eurocódigo 1 (EC1)	Ações em estruturas	10	Ações em estruturas expostas ao fogo
EN 1992	Eurocódigo 2 (EC2)	Projeto de estruturas de betão	4	Regras gerais - verificação da resistência ao fogo
EN 1993	Eurocódigo 3 (EC3)	Projeto de estruturas de aço	20	Regras gerais - verificação da resistência ao fogo
EN 1994	Eurocódigo 4 (EC4)	Projeto de estruturas mistas	3	Regras gerais - verificação da resistência ao fogo
EN 1995	Eurocódigo 5 (EC5)	Projeto de estruturas de madeira	3	Regras gerais - verificação da resistência ao fogo
EN 1996	Eurocódigo 6 (EC6)	Projeto de estruturas de alvenaria	4	Regras gerais - verificação da resistência ao fogo
EN 1997	Eurocódigo 7 (EC7)	Projeto geotécnico	2	-
EN 1998	Eurocódigo 8 (EC8)	Projeto de estruturas resistentes aos sismos	6	-
EN 1999	Eurocódigo 9 (EC9)	Projeto de estruturas de alumínio	5	Regras gerais - verificação da resistência ao fogo

A EN 1991-1-2 (EC1-1-2, 2010) fundamenta os modelos de cálculo para a quantificação das ações térmicas e mecânicas sobre estruturas expostas ao fogo. São apresentadas metodologias para a definição de diferentes curvas de incêndio a considerar na análise da estrutura. De acordo com o explícito nesta norma, na combinação das ações a adotar no dimensionamento das estruturas, o cenário de incêndio deve ser considerado como uma ação de acidente, não combinada com qualquer outra ação excecional.

No Eurocódigo 2, Parte 1-2 (EC2-1-2, 2010) são sugeridos os métodos para a verificação da resistência ao fogo de estruturas em betão armado que a seguir se esquematizam e que se expõem nos subcapítulos seguintes, assim como os procedimentos de cálculo sintetizados na Figura 2.1. Os procedimentos de projeto são apresentados por ordem crescente de complexidade da sua aplicação.

Métodos de verificação:

Análise global da estrutura
Análise de partes da estrutura
Análise de elementos individuais
Ensaios de resistência ao fogo

Procedimentos de projeto:

- Soluções de projeto baseadas em valores tabelados:

  - Métodos dos Valores Tabelados

    Método A (para pilares)
    Método B (para pilares)

  - Método baseado na estimativa da curvatura (Método Simplificado)

    Método C (para pilares) - Anexo C da EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010)

- Soluções de projeto baseadas no cálculo analítico:

- Métodos simplificados de cálculo:

  Método da Isotérmica dos 500ºC
  Método das Zonas
  Método baseado na estimativa da curvatura

- Métodos avançados de cálculo

A observação da Figura 2.1 permite constatar que, para o cálculo ou para a verificação da resistência ao fogo de elementos estruturais de betão armado, considerando os métodos previstos na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), a aplicação dos métodos que se apresentam sob a forma de tabela (Método A, Método B e Método C), só é possível numa análise por elementos, os métodos simplificados podem ser utilizados numa análise por elementos ou numa análise de partes da estrutura, e a análise global da estrutura só pode ser feita aplicando os modelos avançados de cálculo.

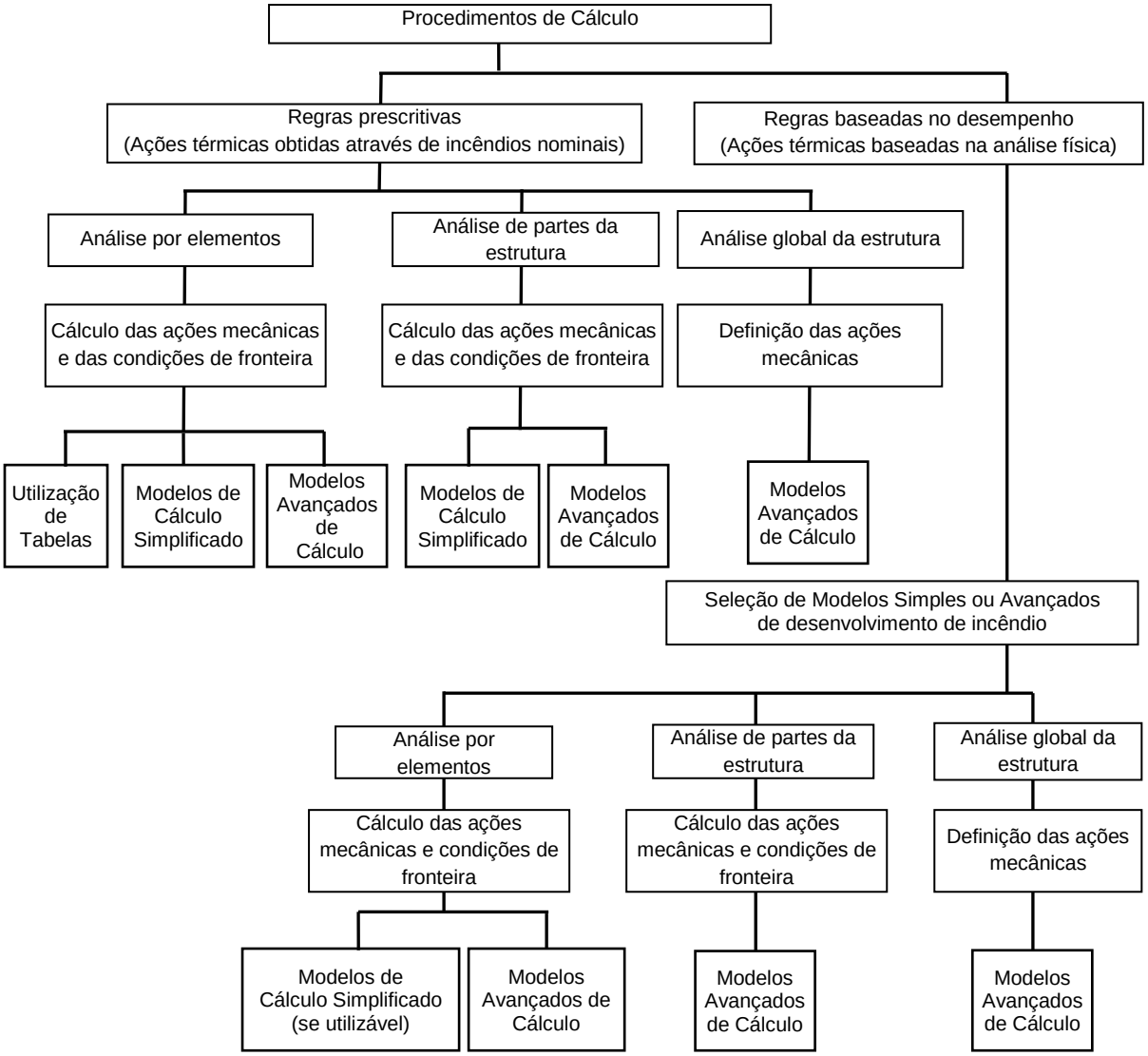


Figura 2.1 - Verificação e cálculo da resistência ao fogo de elementos estruturais em betão armado: Métodos de cálculo alternativos.

2.3.2. MÉTODOS BASEADOS EM VALORES TABELADOS

Os Métodos dos Valores Tabelados consistem na verificação dos valores mínimos das dimensões das secções transversais dos elementos estruturais e das distâncias dos eixos das armaduras longitudinais às faces mais próximas sujeitas a incêndio, por consulta direta de tabelas que constam na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010). Para os pilares, estes métodos são aplicáveis apenas quando estes elementos se encontram inseridos em estruturas contraventadas e as soluções de projeto foram baseadas numa análise por elemento. São sugeridos dois métodos de avaliação da resistência ao fogo de pilares: O Método A e o Método B. O Método C é um Método Simplificado baseado na estimativa da curvatura, apresentado também sob a forma de tabelas na referida norma, pelo que a sua utilização é semelhante à dos Métodos dos Valores Tabelados.

Os valores que constam das tabelas foram desenvolvidos apenas para a exposição ao incêndio padrão ISO 834 (1975) numa base empírica, confirmados pela avaliação experimental de ensaios de resistência ao fogo, e resultam de pressupostos conservativos para os elementos estruturais mais comuns. Os referidos valores correspondem à utilização de betão de massa volúmica normal (2000 kg/m^3 a 2600 kg/m^3), fabricado com agregados siliciosos. Se na fabricação do betão forem utilizados agregados calcários, as dimensões mínimas da secção transversal apresentadas nas tabelas poderão ser reduzidas de 10%.

A distância do eixo das armaduras principais ao paramento mais próximo exposto ao incêndio é determinada de modo a que, para um determinado tempo de resistência ao fogo, a temperatura crítica nas armaduras seja de 500°C. A esta temperatura crítica, o aço atinge a tensão de cedência quando as ações, em situação de incêndio, atingem 70% do seu valor à temperatura ambiente.

2.3.2.1. MÉTODO A

O Método A permite definir a menor dimensão da secção transversal dos pilares, b_{min}, e a distância do eixo dos varões da armadura principal à face mais próxima sujeita a incêndio, a_{min}, para cada escalão de resistência ao fogo, em função da exposição do pilar e do fator μ_{fi}, que traduz o grau de utilização em situação de incêndio. Aplica-se quando as secções estão submetidas essencialmente a esforço axial em estruturas contraventadas, para valores limitados da área de armadura, A_s, comprimento efetivo $l_{0,fi}$ e excentricidade de primeira ordem, e, estes últimos em situação de incêndio. Tomou-se $\mu_{fi} = \eta_{fi}$, sendo η_{fi} definido como o fator de redução do valor de cálculo do nível de carregamento em situação de incêndio.

Os parâmetros que condicionam a aplicação deste método são, pois, os seguintes:

- Quantidade de armadura:

$$A_s < 0{,}04 A_c \tag{2.1}$$

- Excentricidade de primeira ordem em situação de incêndio, igual à de cálculo à temperatura normal:

$$e = M_{0Ed,\,fi} / N_{0Ed,\,fi} \qquad e \le e_{\max} \tag{2.2}$$

Com

$$e_{\max} = 0{,}15b \quad ou \quad e_{\max} = 0{,}15h \tag{2.3}$$

- Comprimento efetivo do pilar em situação de incêndio, igual ao comprimento efetivo à temperatura normal:

$$l_{0,\,fi} \le 3m \tag{2.4}$$

Na tabela disponível para a aplicação deste método, as dimensões mínimas da secção do pilar e as distâncias mínimas do eixo da armadura longitudinal à face exposta, são definidas em função do escalão de resistência ao fogo (de R30 a R240), da exposição (pilar exposto em mais de um lado ou de um só lado) e do grau de utilização em situação de incêndio, μ_{fi} (previsto entre 0,2 e 0,7).

O grau de utilização em situação de incêndio, μ_{fi}, toma em conta as combinações das ações, a resistência à compressão e à flexão do pilar, incluindo os efeitos de segunda ordem, sendo determinado pela Expressão (2.5):

$$\mu_{fi} = \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Rd}} \tag{2.5}$$

Sendo:

$N_{Ed,fi}$ Valor de cálculo do esforço normal em situação de incêndio;

N_{Rd} Valor de cálculo da resistência do pilar à temperatura normal, incluindo os efeitos de segunda ordem e uma excentricidade inicial igual à de $N_{Ed,fi}$;

Como simplificação conservativa, pode utilizar-se o fator de redução η_{fi} em vez de μ_{fi}:

$$\mu_{fi} = \eta_{fi} \tag{2.6}$$

Sendo

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}} \tag{2.7}$$

O Quadro 2.7 corresponde à tabela que consta na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) para a verificação da resistência ao fogo de pilares aplicando o Método A, tendo-se acrescentado linhas com a indicação de valores de a_{min} correspondentes a larguras mínimas (b_{min}) correntes, ambos obtidos por interpolação linear, e omitido a coluna μ_{fi} = 0,2, por não ser aplicável aos projetos de edifícios correntes, nomeadamente aos analisados nesta dissertação, que apresentam valores de $\eta_{fi} > 0{,}5$ qualquer que seja o tipo de utilização dos espaços.

Quadro 2.7 - Valores de b_{min} e de a_{min} para pilares de secção retangular ou circular considerando a aplicação do Método A dos Valores Tabelados.

Resistência ao fogo padrão	Largura mínima do pilar b_{min} [mm] Distância do eixo dos varões à face exposta a_{min} [mm]					
	Pilar exposto em mais de um lado				Pilar exposto de um só lado	
	μ_{fi}=0,5		μ_{fi}=0,7		μ_{fi}=0,7	
	b_{min}	a_{min}	b_{min}	a_{min}	b_{min}	a_{min}
R30	200	25	200	32	155	25
R60	200	36	250	46	155	25
	250	33,5	300	43		
	300	31	350	40		
R90	300	45	350	53	155	25
	350	41,5	400	46,5		
	400	38	450(*)	40		
R120	350(*)	45	350(*)	57	175	35
	400(*)	42,5	400(*)	54		
	450(*)	40	450(*)	51		
R180	350(*)	63	450(*)	70	230	55

$\mu_{fi} = \eta_{fi}$
(*) - Mínimo 8 varões

2.3.2.2. MÉTODO B

O Método B, à semelhança do método anterior, permite definir o valor mínimo da menor dimensão da secção transversal dos pilares, b_{min}, e a distância mínima do eixo dos varões da armadura principal à face mais próxima sujeita a incêndio, a_{min}, para cada escalão de resistência ao fogo, em função da taxa mecânica de armaduras, ω e do nível de carregamento à temperatura normal, n. É aplicável apenas a pilares de estruturas contraventadas, para valores limitados da excentricidade de primeira ordem e da esbelteza, ambos em situação de incêndio.

Os parâmetros que condicionam a aplicação deste método são:

- Excentricidade de primeira ordem em situação de incêndio:

$$e = \frac{M_{0Ed,fi}}{N_{0Ed,fi}} \tag{2.8}$$

Com valores máximos:

$$e \leq 0{,}25b$$

$$e_{max} = 100mm$$

- Esbelteza do pilar em situação de incêndio, igual à esbelteza à temperatura normal:

$$\lambda_{fi} = l_{0,fi}/i \quad (\lambda_{fi} \leq 30) \tag{2.9}$$

A menor dimensão, b_{min}, e a distância ao eixo mínima, a_{min}, são definidas, para cada escalão de resistência ao fogo, em função da taxa mecânica de armaduras, ω (variando entre 0,100 e 1,000) e do nível de carregamento, n, à temperatura normal (previsto entre 0,15 e 0,7). Estes dois parâmetros são obtidos pelas Expressões (2.10) e (2.11).

$$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}} \tag{2.10}$$

$$n = \frac{N_{0Ed,\,fi}}{0{,}7(A_c f_{cd} + A_s f_{yd})} \tag{2.11}$$

De acordo com o referido na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), os valores apontados no quadro que permite definir b_{min} e a_{min} (Quadro 5.2b desta norma) contemplam o esforço normal e o momento fletor de primeira ordem, introduzidos recorrendo às Expressões (2.11) e (2.8), bem como os efeitos de segunda ordem.

Conforme indicado na norma mencionada no parágrafo anterior, $N_{0Ed,fi}$ pode ser considerado igual a $0{,}7N_{0Ed}$ (η_{fi}=0,7). Para o estudo que se apresenta nesta dissertação, η_{fi} foi calculado para todos os projetos analisados. Os Quadros 2.8 a 2.11 foram desenvolvidos a partir do Quadro 5.2b atrás referido, acrescentando-se linhas para valores intermédios de ω, de b_{min} e de a_{min}, obtidos por interpolação linear, para a verificação da resistência ao fogo de pilares no escalão R30, R60, R90 e R120, respetivamente, os mais frequentes nos edifícios correntes.

Quadro 2.8 - Valores de b_{min} e de a_{min} para pilares de secção retangular ou circular considerando a aplicação do Método B dos Valores Tabelados, para R30.

Resistência ao fogo padrão	Taxa mecânica de armaduras	Largura mínima do pilar b_{min} [mm] Distância do eixo dos varões à face exposta a_{min} [mm]							
		n = 0,15		n = 0,3		n = 0,5		n = 0,7	
	ω	b_{min}	a_{min}	b_{min}	a_{min}	b_{min}	a_{min}	b_{min}	a_{min}
R30	0,100	150	25,0	150	25,0	200	30,0	300	30,0
						250	25,0	350	25,0
	0,200	150	25,0	150	25,0	188	28,8	275	30,0
						225	25,0	325	25,0
	0,300	150	25,0	150	25,0	175	27,5	250	30,0
						200	25,0	300	25,0
	0,400	150	25,0	150	25,0	163	26,3	225	30,0
						175	25,0	275	25,0
	0,500	150	25,0	150	25,0	150	25,0	200	30,0
								250	25,0
	0,600	150	25,0	150	25,0	150	25,0	200	30,0
								260	25,0
	0,700	150	25,0	150	25,0	150	25,0	200	30,0
								270	25,0
	0,800	150	25,0	150	25,0	150	25,0	200	30,0
								280	25,0
	0,900	150	25,0	150	25,0	150	25,0	200	30,0
								290	25,0
	1,000	150	25,0	150	25,0	150	25,0	200	30,0
								300	25,0

Quadro 2.9 - Valores de b_{min} e de a_{min} para pilares de secção retangular ou circular considerando a aplicação do Método B dos Valores Tabelados, para R60.

Resistência ao fogo padrão	Taxa mecânica de armaduras	Largura mínima do pilar b_{min} [mm] Distância do eixo dos varões à face exposta a_{min} [mm]							
		n = 0,15		n = 0,3		n = 0,5		n = 0,7	
	ω	b_{min}	a_{min}	b_{min}	a_{min}	b_{min}	a_{min}	b_{min}	a_{min}
R60	0,100	150	30,0	200	40,0	300	40,0	500	25,0
		200	25,0	300	25,0	500	25,0		
	0,200	150	28,8	188	38,8	288	38,8	463	28,8
		188	25,0	275	25,0	463	25,0	513	25,0
	0,300	150	27,5	175	37,5	275	37,5	425	32,5
		175	25,0	250	25,0	425	25,0	525	25,0
	0,400	150	26,3	163	36,3	263	36,3	388	36,3
		163	25,0	225	25,0	388	25,0	538	25,0
	0,500	150	25,0	150	35,0	250	35,0	350	40,0
				200	25,0	350	25,0	550	25,0
	0,600	150	25,0	150	34,0	240	36,0	340	42,0
				200	25,0	360	25,0	560	26,0
	0,700	150	25,0	150	33,0	230	37,0	330	44,0
				200	25,0	370	25,0	570	27,0
	0,800	150	25,0	150	32,0	220	38,0	320	46,0
				200	25,0	380	25,0	580	28,0
	0,900	150	25,0	150	31,0	210	39,0	310	48,0
				200	25,0	390	25,0	590	29,0
	1,000	150	25,0	150	30,0	200	40,0	300	50,0
				200	25,0	400	25,0	600	30,0

Quadro 2.10 - Valores de b_{min} e de a_{min} para pilares de secção retangular ou circular considerando a aplicação do Método B dos Valores Tabelados, para R90.

Resistência ao fogo padrão	Taxa mecânica de armaduras	Largura mínima do pilar b_{min} [mm] Distância do eixo dos varões à face exposta a_{min} [mm]							
		n=0,15		n=0,3		n=0,5		n=0,7	
	ω	b_{min}	a_{min}	b_{min}	a_{min}	b_{min}	a_{min}	b_{min}	a_{min}
R90	0,100	200	40,0	300	40,0	500	50,0	550	40,0
		250	25,0	400	25,0	550	25,0	600	25,0
	0,200	188	38,8	275	41,3	450	48,8	538	42,5
		238	25,0	375	25,0	550	25,0	600	28,8
	0,300	175	37,5	250	42,5	400	47,5	525	45,0
		225	25,0	350	25,0	550	25,0	600	32,5
	0,400	163	36,3	225	43,8	350	46,3	513	47,5
		213	25,0	325	25,0	550	25,0	600	36,3
	0,500	150	35,0	200	45,0	300	45,0	500	50,0
		200	25,0	300	25,0	550	25,0	600	40,0
	0,600	200	25,0	200	44,0	290	44,0	500	50,0
		200	25,0	300	25,0	550	25,0	600	41,0
	0,700	200	25,0	200	43,0	280	43,0	500	50,0
		200	25,0	300	25,0	550	25,0	600	42,0
	0,800	200	25,0	200	42,0	270	42,0	500	50,0
		200	25,0	300	25,0	550	25,0	600	43,0
	0,900	200	25,0	200	41,0	260	41,0	500	50,0
		200	25,0	300	25,0	550	25,0	600	44,0
	1,000	200	25,0	200	40,0	250	40,0	500	50,0
		200	25,0	300	25,0	550	25,0	600	45,0

Quadro 2.11 - Valores de b_{min} e de a_{min} para pilares de secção retangular ou circular considerando a aplicação do Método B dos Valores Tabelados, para R120.

Resistência ao fogo padrão	Taxa mecânica de armaduras	Largura mínima do pilar b_{min} [cm]							
		Distância do eixo dos varões à face exposta a_{min} [cm]							
		n=0,15		n=0,3		n=0,5		n=0,7	
	ω	b_{min}	a_{min}	b_{min}	a_{min}	b_{min}	a_{min}	b_{min}	a_{min}
R120	0,100	250	50,0	400	50,0	550	25,0	550	60,0
		350	25,0	550	25,0	550	25,0	600	45,0
	0,200	238	48,8	375	48,8	525	31,3	538	60,0
		338	25,0	550	25,0	563	25,0	600	46,3
	0,300	225	47,5	350	47,5	500	37,5	525	60,0
		325	25,0	550	25,0	575	25,0	600	47,5
	0,400	213	46,3	325	46,3	475	43,8	513	60,0
		313	25,0	550	25,0	588	25,0	600	48,8
	0,500	200	45,0	300	45,0	450	50,0	500	60,0
		300	25,0	550	25,0	600	25,0	600	50,0
	0,600	200	44,0	290	46,0	450	49,0	520	60,0
		290	25,0	520	25,0	600	26,0	600	52,0
	0,700	200	43,0	280	47,0	450	48,0	540	60,0
		280	25,0	490	25,0	600	27,0	600	54,0
	0,800	200	42,0	270	48,0	450	47,0	560	60,0
		270	25,0	460	25,0	600	28,0	600	56,0
	0,900	200	41,0	260	49,0	450	46,0	580	60,0
		260	25,0	430	25,0	600	29,0	600	58,0
	1,000	200	40,0	250	50,0	450	45,0	600	60,0
		250	25,0	400	25,0	600	30,0	600	60,0

2.3.2.3. MÉTODO C

O Método C consiste na aplicação de tabelas desenvolvidas considerando a estimativa da curvatura dos pilares em situação de incêndio, baseando-se num cálculo analítico de complexidade e tempo de aplicação semelhante aos restantes métodos simplificados (Método da Isotérmica dos 500°C e Método das Zonas). É recomendada a sua aplicação no estudo de pilares em estruturas contraventadas para os quais o comportamento estrutural seja significativamente influenciado por efeitos de segunda ordem em situação de incêndio. É um método aplicável a pilares com largura até 600mm, valor da esbelteza até 80 e nível de carregamento, à temperatura normal, até 0,7.

São apresentadas, no Anexo C da EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), nove tabelas que permitem, de forma expedita, definir a menor dimensão da secção transversal dos pilares, b_{min}, e a distância do eixo dos varões da armadura principal à face mais próxima sujeita a incêndio, a_{min}, para cada escalão de resistência ao fogo, em função da esbelteza, λ, e do nível de carregamento à temperatura normal, n, calculados, respetivamente, pelas expressões (2.9) e (2.11).

As tabelas são organizados para três valores da taxa mecânica de armadura, ω, determinada pela expressão (2.10) e diferentes valores de excentricidade, e, obtida pela aplicação da expressão (2.8).

Com o objetivo de facilitar a apresentação da aplicabilidade de cada uma das nove tabelas, organizou-se o Quadro 2.12. Para cada valor da taxa mecânica da armadura, ω, (0,100, 0,500 e 1,000) são apresentados três quadros correspondentes a diferentes ordens de grandeza do momento

de primeira ordem: momento de primeira ordem baixo (e=0,025b com $e \geq$ 10mm), momento de primeira ordem moderado (e=0,25b com $e \leq$ 100mm) e momento de primeira ordem elevado (e=0,5b com $e \leq$ 200mm).

Não é explícito, no corpo do Anexo C desta norma, se é permitida apenas a interpolação linear entre as diferentes colunas de cada um dos quadros, ou também entre colunas dos diversos quadros. Neste estudo considerou-se unicamente a interpolação linear entre as diferentes linhas e colunas de cada um dos quadros. No Anexo A4 desta dissertação apresentam-se as nove tabelas que constam na referida norma, assim como quadros que facilitam a sua aplicação para valores intermédios de ω.

Quadro 2.12 - Condições de aplicabilidade das tabelas previstas na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) para o Método C.

Tabela	ω	e	
C.1	0,100	0,025b	≥10mm
C.2		0,25b	≤100mm
C.3		0,5b	≤200mm
C.4	0,500	0,025b	≥10mm
C.5		0,25b	≤100mm
C.6		0,5b	≤200mm
C.7	1,000	0,025b	≥10mm
C.8		0,25b	≤100mm
C.9		0,5b	≤200mm

2.3.3. MÉTODOS SIMPLIFICADOS

Os métodos simplificados de cálculo para avaliar a resistência ao fogo dos elementos estruturais de betão armado, apresentados na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), baseiam-se na redução da secção transversal do betão em situação de incêndio, remanescendo as partes consideradas à temperatura ambiente, reduzindo-se as propriedades mecânicas do aço das armaduras em função da temperatura. Assim, para a sua aplicação, é necessário conhecer os perfis de temperaturas na secção e as alterações das propriedades mecânicas dos materiais constituintes do betão armado (betão e armadura) com o aumento da temperatura. Podem ser considerados os efeitos de segunda ordem.

No Anexo A desta norma constam perfis de temperatura para diferentes escalões de resistência ao fogo, aplicáveis a diferentes elementos estruturais, que podem ser utilizados para determinar as temperaturas nos eixos dos varões da armadura e nas secções transversais do betão constituído por agregados siliciosos, considerando a exposição ao fogo padrão. Os perfis são conservativos para a maior parte dos outros tipos de agregados, nomeadamente os calcários e os basálticos.

A verificação da resistência ao fogo dos elementos estruturais, pela aplicação destes métodos, consiste na comprovação de que a resistência de projeto, em situação de incêndio, é superior à ação de projeto, para o escalão de resistência ao fogo requerido:

$$N_{Ed,fi} \leq N_{Rd,fi} \tag{2.12}$$

Nesta dissertação foram sempre considerados os efeitos das imperfeições geométricas e os efeitos de segunda ordem, no cálculo dos esforços máximos atuantes em situação de incêndio.

São sugeridos três métodos simplificados de cálculo: o Método da Isotérmica dos 500ºC, o Método das Zonas e o Método C – Anexo C da EN1992-1-2 (EC2-1-2, 2010). Apresenta-se, a seguir, uma descrição sumária de cada um destes métodos.

2.3.3.1. MÉTODO DA ISOTÉRMICA DOS 500°C

O Método da Isotérmica dos 500ºC consiste na redução da secção transversal resistente do elemento estrutural, por não se considerar a área de betão afetada por temperaturas superiores a 500ºC. A espessura da zona afetada de betão, a_{500}, é igual à profundidade média da isotérmica dos 500ºC na zona de compressão da secção transversal. Assume-se que a restante parte do betão da secção, submetida a temperaturas inferiores a 500ºC, apresenta a mesma resistência que à temperatura ambiente, mantendo-se, assim, as suas propriedades mecânicas (tensão de rotura e módulo de elasticidade). Considera-se a redução das propriedades mecânicas do aço das armaduras em função da temperatura.

Este método foi desenvolvido para estruturas expostas ao incêndio padrão ISO 834 (1975) ou qualquer outro regime de aquecimento que provoque campos de temperatura similares no elemento exposto ao fogo, nomeadamente os correspondentes às curvas de incêndio paramétricas. É válido para secções com a largura mínima indicada no Anexo B da EN1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), definida em função do escalão de resistência ao fogo, para a exposição ao fogo padrão, ou da densidade de carga de incêndio, para a exposição ao fogo paramétrico.

O cálculo da resistência de uma secção transversal de betão armado em situação de incêndio, pela aplicação deste método, efetuar-se-á seguindo os seguintes procedimentos:

- Definir a isotérmica de 500°C para a exposição ao fogo padrão ou ao fogo paramétrico requerida;

- Calcular a largura, b_{fi}, a altura, h_{fi} e uma nova altura efetiva, d_{fi}, da secção transversal útil, excluindo o betão exterior à isotérmica de 500°C;

- Definir a temperatura no eixo dos varões da armadura principal, recorrendo aos perfis de temperatura que constam no Anexo A da norma acima referida ou em literatura conceituada para o efeito. Os varões que não fiquem incluídos na secção transversal reduzida de betão podem ser considerados no cálculo da capacidade resistente última da secção transversal exposta ao fogo;

- Determinar a resistência reduzida da armadura, devido à temperatura, aplicando coeficientes de redução, $k_s(\theta)$, aos valores caraterísticos da resistência, f_{yk}, coeficientes estes definidos nesta norma tomando em consideração o tipo de esforço a que a armadura se encontra submetida (tração ou compressão) e os limites das extensões ($\varepsilon_{s,fi} < 2\%$ ou $\varepsilon_{s,fi} \geq 2\%$). De forma semelhante se determina o valor do módulo de elasticidade ou módulo tangente reduzido, $E_{s,\theta}$, correspondente à temperatura θ;

- Calcular a capacidade resistente última do elemento estrutural, utilizando os métodos de cálculo convencionais para a secção transversal reduzida considerada à temperatura normal e adotando a resistência dos varões da armadura principal reduzida, como se indica no ponto anterior;

- Comparar a capacidade resistente última da secção com o valor de cálculo da ação, Expressão (2.12) ou, em alternativa, a resistência ao fogo calculada com a resistência ao fogo requerida.

2.3.3.2. MÉTODO DAS ZONAS

O Método das Zonas, à semelhança do que acontece no Método da Isotérmica dos 500ºC, também se baseia na redução da secção transversal resistente do elemento estrutural, por não se considerar a área de betão afetada pelas elevadas temperaturas. É um método mais trabalhoso que o descrito no ponto anterior, mas que conduz a resultados mais rigorosos, como se poderá constatar em capítulos desta dissertação onde se aplicam estes dois métodos, quer no cálculo da resistência ao fogo de pilares quer na verificação da sua conformidade em situação de incêndio. A sua aplicação é recomendada para a avaliação de secções de reduzidas dimensões e pilares esbeltos.

Este método é aplicável a estruturas consideradas expostas a qualquer curva de incêndio totalmente desenvolvido. No entanto, na EN1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) são apenas facultados elementos para a exposição à curva de incêndio padrão.

A secção transversal do elemento estrutural é reduzida de acordo com a distribuição da resistência, dependente do campo de temperaturas em várias zonas duma parede exposta ao incêndio em ambos os lados, equivalente ao elemento em análise. A secção transversal é dividida em zonas paralelas de igual espessura (elementos retangulares), no mínimo de 3, calculando-se os valores médios da temperatura, da tensão de compressão do betão e do módulo de elasticidade (se necessário), para cada uma dessas zonas. A secção resistente é correspondente à secção reduzida, ignorando-se a espessura da zona afetada pelas elevadas temperaturas, a_z, nos bordos da peça. Assume-se que o betão remanescente de uma secção retangular tem as suas faces paralelas aos bordos da peça expostos ao incêndio.

Aplicando este método, o cálculo da resistência ao fogo de uma secção transversal de betão armado efetuar-se-á seguindo os seguintes procedimentos:

- Dividir a meia espessura da parede, exposta ao incêndio de ambos os lados, num número mínimo de três zonas paralelas de igual espessura;

- Calcular a temperatura no centro de cada zona e a meia espessura da parede;

- Determinar o correspondente coeficiente de redução da resistência à compressão do betão, $k_c(\theta_i)$ e $k_c(\theta_M)$, considerando os gráficos facultados nesta norma;

- Calcular o coeficiente de redução médio para a secção em estudo, $k_{c,m}$;

- Calcular a largura da zona danificada, a_z;

- Definir a temperatura no eixo dos varões da armadura principal, recorrendo aos perfis de temperatura que constam no Anexo A desta norma ou em literatura conceituada para o efeito. Os varões que não fiquem incluídos na secção transversal reduzida de betão podem ser considerados no cálculo da capacidade resistente última da secção transversal exposta ao fogo;

- Determinar a resistência reduzida da armadura, devido à temperatura, aplicando coeficientes de redução, $k_s(\theta)$, aos valores caraterísticos da resistência, f_{yk}, coeficientes estes definidos nesta norma tomando em consideração o tipo de esforço a que a armadura se encontra submetida (tração ou compressão) e os limites das extensões ($\varepsilon_{s,fi} < 2\%$ ou $\varepsilon_{s,fi} \geq 2\%$). De forma semelhante se determina o valor do módulo de elasticidade ou módulo tangente reduzido, $E_{s,\theta}$, correspondente à temperatura θ;

- Calcular a capacidade resistente última do elemento estrutural, utilizando os métodos de cálculo convencionais para a secção transversal reduzida considerada à temperatura normal e adotando a resistência dos varões da armadura principal reduzida, como se indica no ponto anterior;

- Comparar a capacidade resistente última da secção com o valor de cálculo da ação, expressão (2.12) ou, em alternativa, a resistência ao fogo calculada com a resistência requerida.

Como pode constatar-se, os últimos quatro pontos são comuns aos dois métodos. Efetivamente, a diferença entre estes métodos consiste apenas na metodologia de cálculo da zona afetada devido às elevadas temperaturas, para a definição da secção útil do betão.

2.3.3.3. MÉTODO BASEADO NA ESTIMATIVA DA CURVATURA

A EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) sugere, no ponto 4.2 "*Método de cálculo simplificado*", a aplicação de um método das zonas, o método baseado na estimativa da curvatura, apresentado no ponto B.3 do Anexo B da mesma norma, para a análise de secções de pilares, tomados como elementos isolados em estruturas contraventadas, cujo comportamento estrutural seja significativamente afetado pelos efeitos de segunda ordem em situação de incêndio. A utilização deste método conduz a processos de cálculo mais complexos e morosos que os anteriores métodos simplificados

Casos existem em que os efeitos de segunda ordem são significativos para os pilares em situação de incêndio, embora o seu efeito possa ser desprezado à temperatura normal. Efetivamente, a conjugação da deterioração das camadas exteriores do elemento estrutural devida às temperaturas elevadas, com a redução do módulo de elasticidade nas camadas interiores, resulta na diminuição da rigidez destes elementos.

A metodologia de cálculo para a verificação da resistência ao fogo de uma secção transversal de betão armado, pela aplicação deste método, é a seguinte:

- Definir as curvas isotérmicas para a situação de exposição ao fogo especificada, ao fogo padrão ou ao fogo paramétrico;

- Dividir a secção transversal em zonas com uma temperatura média aproximada de 20°C, 100°C, 200°C, 300°C, …, até 1100°C;
- Determinar a largura w_{ij}, a área A_{cij} e as coordenadas do centro de cada zona x_{ij} e y_{ij};
- Definir a temperatura no eixo dos varões da armadura principal, recorrendo aos perfis de temperatura que constam no Anexo A desta norma ou em literatura conceituada para o efeito;
- Determinar o diagrama momentos-curvaturas para $N_{Ed,fi}$, utilizando, para cada varão e para cada zona de betão, o diagrama tensões-extensões aplicável;
- Calcular o momento resistente último, $M_{Rd,fi}$, para $N_{Ed,fi}$, utilizando os métodos convencionais de cálculo, e o momento nominal de segunda ordem, $M_{2,fi}$, para a curvatura correspondente ao momento resistente último;
- Calcular o momento resistente último de primeira ordem, $M_{0Rd,fi}$, para a exposição ao fogo requerida e $N_{Ed,fi}$, como a diferença entre $M_{Rd,fi}$ e $M_{2,fi}$ já calculados;
- Comparar $M_{0Rd,fi}$ com $M_{0Ed,fi}$ para verificar a conformidade do pilar em situação de incêndio.

Para facilitar a aplicação deste método são apresentados, no Anexo C da EN1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), nove quadros que permitem, de forma expedita, definir a menor dimensão da secção transversal dos pilares, b_{min}, e a distância mínima do eixo dos varões da armadura principal à face mais próxima sujeita a incêndio, a_{min}, para cada escalão de resistência ao fogo. A aplicação do método recorrendo à consulta de tabelas, foi descrito no subcapítulo 2.3.2.3 desta dissertação.

2.3.4. MÉTODOS AVANÇADOS

Os métodos de cálculo avançados permitem uma análise substancialmente mais realista do comportamento das estruturas expostas ao fogo quando comparados com os restantes métodos, já descritos, apontados na EN1992-1-2 (EC2-1-2, 2010). A utilização destes modelos de cálculo são permitidos em Portugal, como é expresso no Anexo Nacional NA da referida norma, desde que sejam devidamente validados e justificados, nomeadamente no que se refere aos parâmetros adotados, ao método de cálculo utilizado e a eventuais comparações com outros modelos.

A aplicação desta metodologia de cálculo pode ser considerada não só numa análise por elementos, campo de aplicabilidade dos métodos tabelados e dos métodos simplificados, mas também de partes da estrutura ou na análise global da estrutura, como se esquematiza na Figura 2.1. Pode ser considerada qualquer curva de aquecimento, desde que sejam conhecidas as propriedades dos materiais para a gama de temperaturas aplicável e para a taxa de aquecimento considerada.

A utilização dos métodos de cálculo avançados inclui duas fases de cálculo distintas:

- O estudo do desenvolvimento e da distribuição das temperaturas no interior dos elementos estruturais com base nos princípios e pressupostos da teoria de transferência de calor, considerando a discretização da sua secção transversal: o modelo de análise da resposta térmica;

- O estudo do comportamento mecânico da estrutura ou de qualquer parte desta, considerando o efeito das elevadas temperaturas, definidas no modelo de análise da resposta térmica, nas propriedades mecânicas dos materiais: o modelo de resposta mecânica.

A aplicação dos métodos de cálculo avançados pressupõe a utilização de programas de cálculo automático sofisticados, já que o estudo é desenvolvido considerando a discretização das secções transversais em fibras, para cada uma das quais se define a temperatura e se estuda a correspondente resposta mecânica dos materiais, recorrendo a métodos de elementos finitos. É considerada a não linearidade geométrica dos elementos, substancialmente pertinente na análise de estruturas em situação de incêndio.

2.4. DIMENSIONAMENTO E AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO FOGO DE PILARES EM BETÃO ARMADO

2.4.1. PRINCIPAIS E MAIS RECENTES ESTUDOS DESENVOLVIDOS

Estudos sobre o efeito das elevadas temperaturas no comportamento do betão e as consequências dos incêndios nas estruturas em betão remontam, pelo menos, a 1922 (Lea, F.C., 1922). No entanto, a necessidade de introduzir esses conceitos na prática corrente de dimensionamento das estruturas e de analisar a sua resistência ao fogo, é um conceito recente. Constata-se que tem havido uma preocupação crescente, nas últimas décadas, no sentido de estudar o comportamento dos materiais estruturais quando sujeitos a elevadas temperaturas, e o dos elementos estruturais quando inseridos em estruturas sujeitas a incêndio.

Têm sido desenvolvidos estudos de comparação dos resultados obtidos para a resistência ao fogo dos elementos estruturais pela aplicação de diversos modelos e métodos numéricos de cálculo, entre os obtidos em diferentes ensaios experimentais com diferentes níveis de sofisticação, e entre os resultados obtidos pela aplicação de métodos analíticos e os resultantes de ensaios experimentais. É, também, preocupação crescente, o desenvolvimento de programas de cálculo automático que facilitem a verificação da conformidade dos elementos estruturais em situação de incêndio.

Constatou-se, ao pesquisar o estado da arte, que os estudos desenvolvidos sobre o comportamento ao fogo de pilares, elementos estruturais a tratar nesta dissertação, são maioritariamente correspondentes a pilares metálicos e pilares mistos de aço e betão, sendo comparativamente escassos os trabalhos sobre o comportamento ao fogo de pilares em betão armado.

A importância atribuída à necessidade de estudar o comportamento das estruturas em situação de incêndio tem vindo a aumentar em Portugal, como pode constatar-se pela evolução da legislação nesta

área, tema abordado no Subcapítulo 2.2, assim como pelo crescente desenvolvimento de trabalhos científicos que tratam este tema.

A adesão de Portugal às Comunidades Europeias, em 1986, e a consequente integração no Comité Europeu de Normalização (CEN), em muito contribuiu para o desenvolvimento da legislação portuguesa no âmbito da conceção e do dimensionamento das estruturas dos edifícios. Significativamente notório, é o exponencial desenvolvimento na área da verificação ao fogo das estruturas, a partir da década de 90.

A verificação da resistência ao fogo das estruturas é uma preocupação recente dos projetistas e da comunidade científica, como se foi referindo em tópicos anteriores. No entanto, esta matéria começou a ser objeto de estudos mais aprofundados, em alguns países, duas a três décadas antes de começarem a ser objetivamente tratados e desenvolvidos em Portugal. Com o objetivo de enquadrar o estudo que se desenvolve nesta dissertação, apresentam-se, nos subcapítulos seguintes, alguns dos trabalhos mais pertinentes publicados nesta área, essencialmente no que concerne ao cálculo e à verificação da resistência ao fogo de pilares em betão armado.

Os estudos publicados, relacionados com a área da segurança contra incêndio de pilares em betão, incidem sobre diversos temas. Referem-se, a seguir, alguns desses estudos, com o intuito de ilustrar a abrangência dos temas abordados por diversos investigadores. Para melhor contextualização, consideraram-se inseridos em grupos, de acordo com a matéria versada. Os trabalhos relacionados com o tema mais específico de resistência ao fogo de pilares em betão armado serão tratados nos subcapítulos 2.4.2 e 2.4.3.

- <u>Comportamento do betão armado a elevadas temperaturas</u>

Até meados da década de 70, o conhecimento do comportamento mecânico do betão armado a elevadas temperaturas era muito limitado, sendo a avaliação da distribuição das tensões, em elementos de betão armado sujeitos a elevadas temperaturas, baseada em teorias do seu comportamento elástico (Anderberg, Y., 2008). Foi nesta década que começaram a surgir estudos mais aprofundados sobre esta matéria, nomeadamente os da autoria de Schneider, U. (1973), na Alemanha, de Thelanderson, S. (1974) e de Anderberg, Y. e Thelanderson, S. (1976), na Suécia. Referencia-se, a seguir, alguma da investigação levada a efeito.

- ❖ Comportamento do betão de resistência normal

  - Chang, W.T. *et al*. (1994), analisaram os efeitos das temperaturas superiores a 1000ºC nas propriedades físicas do betão normal, estudando amostras recolhidas após um incêndio real.

  - Li, L., Purkiss. J. (2005) propuseram um novo modelo para o diagrama tensões-extensões no betão, em função da temperatura, concluindo que se tornava mais eficaz, do ponto de vista da segurança e para elevadas temperaturas, que o proposto na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), para elementos estruturais sujeitos a esforços axiais elevados.

  - Arioz, O., (2007) estudou, em ensaios experimentais, os efeitos das elevadas temperaturas, variando entre 200ºC e 1200ºC, com uma taxa de aquecimento de

20ºC/min e um arrefecimento de 2ºC/min, nas propriedades físicas e mecânicas de betões com diferentes composições.

- ❖ Comportamento do betão de alta resistência

  - Husem, M. (2006), recorrendo a ensaios experimentais ao fogo, estudou e comparou a variação das tensões desenvolvidas em provetes de betão de resistência normal e de betão de alta resistência, em função do tipo de arrefecimento.

- ❖ Comportamento do aço das armaduras

  - Elghazouli, A.Y. *et al*. (2009), investigaram a influência das elevadas temperaturas nas propriedades mecânicas do aço para armaduras, ensaiando ao fogo varões com diâmetros *Φ*6, *Φ*8 e *Φ*10 milímetros. Verificaram o efeito da variação da temperatura no desenvolvimento do diagrama tensões-extensões.

  - Neves, I. C. *et al*. (1996) avaliaram, recorrendo a ensaios experimentais, as caraterísticas mecânicas de varões em aço para armaduras em betão armado e pré-esforçado, depois de submetidos a elevadas temperaturas.

- ❖ Pilares com armadura em aço inox

  - Gernay, T., Franssen, J. M. (2011) estudaram analiticamente o comportamento ao fogo de uma viga e de uma laje em betão com armadura em aço inox, e verificaram o impacto económico resultante da utilização deste tipo de armadura.

- ❖ Comportamento do betão reforçado com fibras

  - Hertz, K.D., Sorensen L.S. (2005) concluíram, no seu estudo baseado em ensaios de provetes cilíndricos, que a utilização de fibras de polipropileno incorporadas no betão previnem o seu destacamento explosivo, mesmo quando se impõe a restrição da dilatação térmica do provete.

  - Haddad, R.H. *et al*. (2008) verificaram, em ensaios ao fogo de provetes de betão armado de alta resistência e com agregados de basalto, a influência da aderência das armaduras constituídas por varões de diâmetro *Φ* 20mm, pela incorporação de fibras na composição do betão, essencialmente a temperaturas superiores a 400ºC.

  - Balázs, G. L. e Lublóy, E. (2012) ensaiaram ao fogo provetes de betão de alta resistência, com as mesmas caraterísticas geométricas, com incorporação de fibras de propileno, com incorporação de fibras de aço e sem incorporação de fibras. Verificaram os efeitos da incorporação das fibras na fendilhação e na tensão residual depois do arrefecimento.

- ❖ Comportamento do betão constituído por diferentes tipos de agregados

  - Netinger, I. *et al*. (2011) compararam a resistência ao fogo de provetes de betão normal de agregados correntes, com a de provetes de betão de agregados potencialmente resistentes ao fogo (agregados desenvolvidos a elevadas temperaturas, como a diábase, escória de aço, tijolos e telhas).

  - Marques, A.M. *et al*. (2013) estudaram os efeitos da exposição a elevadas temperaturas do betão com agregados de borracha reciclada. Para tal, procederam ao ensaio de provetes cúbicos e cilíndricos constituídos por betão com agregado de borracha reciclada, considerando diferentes percentagens de borracha incorporada e três valores máximos da temperatura. Santos, C. C. e Rodrigues, J. P. C. (2013) levaram a efeito ensaios experimentais para verificar a resistência à compressão do betão com agregados reciclados de borracha de pneu, quando sujeito a elevadas temperaturas.

- ❖ Destacamento explosivo do betão

  - Hertz, K.D. (2003) foi dos primeiros investigadores a estudar o risco do destacamento explosivo do betão. No artigo agora referenciado, apresentou um estudo sobre a probabilidade de ocorrência deste fenómeno em função da composição do betão e apontou recomendações aos projetistas no sentido da redução deste risco.

  - Zhang, H.L., Davie, C.T. (2013) apresentaram um modelo matemático que permite apurar as implicações da pressão nos poros (para betões com permeabilidade e teor de humidade distintos) e das tensões térmicas induzidas, em situação de incêndio, no destacamento explosivo do betão.

  - Jansson, R. (2013) apresentou, em Tese de Doutoramento, um estudo sobre as causas do destacamento explosivo do betão e os fatores que mais influenciam a possibilidade da sua ocorrência.

- ❖ Propriedades mecânicas do betão após o incêndio

  - Santos, C. C. *et al*. (2010) estudaram, com base em ensaios experimentais ao fogo de provetes em betão, a influência do processo de arrefecimento utilizado na resistência à compressão residual do betão.

- <u>Análise térmica e mecânica das secções durante o incêndio</u>

- ❖ Pilares em betão armado de secção transversal retangular e circular

  - Referenciados nos subcapítulos seguintes.

❖ Pilares em betão armado de secção transversal não tradicional

- Wu, B., Xu, Y. (2009) investigaram o comportamento ao fogo de pilares de secção transversal em forma de +, considerando a restrição axial e restrição rotacional devidas ao aquecimento, recorrendo a um programa de cálculo automático desenvolvido pelo segundo autor.

- Xu, Y., Wu, B. (2009) compararam a resistência ao fogo de pilares com secção transversal quadrangular e em forma de L, T, +, para diferentes níveis de carregamento, recorrendo a ensaios experimentais à escala natural, com resultados validados numericamente.

❖ Destacamento explosivo do betão

- Ali, F. A. *et al*. (2001 e 2004) desenvolveram um estudo sobre os efeitos do nível de carregamento do pilar e da taxa de aquecimento do forno no comportamento ao fogo de pilares em betão normal e em betão de alta resistência, nomeadamente no que concerne ao destacamento explosivo do betão.

- Morita, T. *et al*. (2000) estudaram os efeitos de diferentes parâmetros no risco do destacamento explosivo do betão, tais como a relação água/cimento, a idade do betão no momento da exposição ao fogo, a percentagem de armadura e a adição de fibras de polipropileno.

❖ Pilares em betão pré-esforçado

- Neves, I. C. *et al*. (1994) desenvolveram investigação no sentido de analisar a influência da percentagem de aço na evolução das temperaturas em secções de betão armado e pré-esforçado.

❖ Pilares em betão reforçados com fibras

- Kodur, V. K.R. *et al*. (2006) estudaram a resistência ao fogo de pilares de secção quadrangular e circular reforçados com fibras de polímeros, em ensaios ao fogo à escala natural. Verificaram, também, o efeito do envolvimento desses pilares com uma camada de material isolante.

- Rodrigues, J. P. C. *et al*. (2010) analisaram o comportamento ao fogo, em ensaio experimental com restrição da dilatação térmica, de quatro pilares em betão armado, três com incorporação de fibras de aço de modo a que a percentagem final de armadura permanecesse constante (varões e varões + fibras em aço). O objetivo foi verificar as consequências da substituição da armadura longitudinal por armadura em fibras de aço.

- Bamonte, P. *et al*. (2008) estudaram e compararam a influência de diferentes composições para os betões, incluindo o reforço com fibras, no seu

comportamento a elevadas temperaturas, e o comportamento ao fogo de elementos estruturais constituídos pelos betões estudados submetidos a esforços axiais e momentos fletores, analisando o comportamento de pilares.

❖ Pilares mistos em aço e betão

- Al-Khaleefi, A. M. *et al*. (2002) desenvolveram um modelo computacional de redes neurais para definir a resistência ao fogo de pilares tubulares em aço preenchidos com betão, validado por comparação com resultados obtidos em ensaios experimentais disponíveis.

- Yu, J.-T. *et al*. (2007) ensaiaram ao fogo pilares em betão armado reforçados com perfis I em aço, e compararam os resultados obtidos nesses ensaios com os decorrentes de uma análise numérica não linear.

- Korzen, M. *et al*. (2009) compararam os resultados obtidos em ensaios experimentais ao fogo, com restrição da dilatação térmica, de pilares em aço e pilares mistos aço/betão, nomeadamente a sua resistência ao fogo e o efeito da variação do grau de restrição no desempenho desses pilares.

- Tao, Z., Yu, Q. (2012) ensaiaram ao fogo, à escala natural e com restrição da dilatação térmica, pilares em betão armado reforçados com perfis I em aço, e estudaram a influência do tempo de exposição ao fogo, da espessura do recobrimento do perfil, da resistência do betão e da composição da armadura transversal, no esforço residual de ligação entre o perfil em aço e o betão.

- Myllyrnaki, J., Baroudi, D. (2000) desenvolveram um método numérico simplificado para verificar a resistência ao fogo de pilares metálicos tubulares, circulares e quadrangulares, preenchidos com betão. No estudo, compararam as resistências ao fogo dos diferentes pilares, considerando o betão de enchimento com ou sem armadura.

- Uesugi, H. *et al*. (1997) analisaram, recorrendo a ensaios experimentais ao fogo, a perda de capacidade de carga de pilares tubulares preenchidos com betão, pelo facto de ficarem submetidos, no decorrer do incêndio, não só a esforços axiais, mas também a esforços devidos à flexão decorrente da deformação das vigas a que estão ligados.

- Yin, J. *et al*. (2006) compararam o comportamento ao fogo de pilares metálicos tubulares preenchidos com betão, de secção transversal circular e de secção transversal quadrangular.

❖ Pilares em betão de alta resistência

- Kodur, V.K.R. *et al*. (2006) desenvolveram um programa de cálculo para verificar o comportamento ao fogo de pilares em betão armado de alta resistência, validado pela comparação dos resultados obtidos com os resultantes de ensaios experimentais à escala natural.

- Chung, J. H. *et al*. (2006) estudaram, recorrendo a um programa de cálculo automático de análise por elementos finitos, o desenvolvimento das tensões na secção transversal de pilares em betão armado de alta resistência, devidas ao aquecimento rápido em situações de incêndio severo.

❖ Pilares em betão protegidos com isolante e reabilitação de pilares após o incêndio

- Chowdhury, E. U. *et al*. (2007) analisaram o comportamento de pilares circulares em betão armado reforçados com fibras, em situação de incêndio, e compararam os resultados obtidos em ensaios experimentais com os resultantes da avaliação numérica.

- Cree, D. *et al*. (2012) analisaram e compararam a resistência ao fogo de um pilar circular e de um pilar quadrangular, ambos em betão armado, reforçados com fibras e envolvidos por proteção ao fogo.

- Yaqub, M., Bailey, C. G. (2011) e Yaqub, M. *et al*. (2011) quantificaram a capacidade de carga axial de pilares em betão armado após um incêndio, de secção circular na primeira referência e de secção quadrangular na segunda, depois de reparados com fibras de vidro ou fibras de carbono, recorrendo a ensaios experimentais à escala natural.

❖ Análise das secções após um incêndio

- Cioni, P. (2001) apresentou um método analítico para avaliar os danos causados por incêndios nos elementos estruturais em betão armado, analisando as alterações químicas irreversíveis dos componentes do betão. Os resultados foram validados por ensaios levados a efeito em estruturas de edifícios após a ocorrência de um incêndio.

- Bingöl, F., Gül, R. (2009) estudaram o efeito do processo utilizado para o arrefecimento do betão na tensão de aderência residual entre os varões da armadura longitudinal e o betão, em ensaios experimentais de provetes.

- Chen, Y. H. *et al*. (2009) determinaram a capacidade de carga residual de pilares em betão armado de secção transversal retangular, após a exposição ao fogo padrão duas horas e quatro horas, recorrendo a ensaios experimentais à escala natural, considerando as cargas iniciais aplicadas sem excentricidade e com excentricidade.

- Suhaendi, S. L., Horiguchi, T. (2005) verificaram as caraterísticas mecânicas de provetes em betão armado de alta resistência reforçados com fibras de polipropileno ou com fibras de aço, depois de submetidos a elevadas temperaturas.

- Tao, Z. *et al*. (2011) ensaiaram ao fogo, à escala natural, pilares tubulares em aço de secção circular e quadrangular, preenchidos com betão, e estudaram a ligação entre o tubo de aço e o núcleo de betão depois da exposição ao fogo padrão.

- Cree, D. *et al*. (2013) estudaram a tensão residual do betão depois de submetidos ao incêndio padrão, substituindo os agregados do betão por materiais reciclados. Apresentaram, também, no artigo aqui referenciado, uma compilação de estudos versando esta área.

- Lourenço, L. *et al*. (2008) e Yang, H. *et al*. (2009) apresentaram uma metodologia que permite verificar as propriedades mecânicas do betão após exposição a elevadas temperaturas, pela propagação de ondas ultrassónicas, (ultrasonic pulse velocity, UPV).

- Dimia, M. S. *et al*. (2011) analisaram o colapso de pilares em betão armado durante e após a fase de arrefecimento, estudando o efeito dos parâmetros que mais influenciam a ocorrência desse colapso.

- <u>Análise térmica e mecânica das estruturas</u>

❖ Comportamento da estrutura em situação de incêndio

- Bailey, C. (2002) desenvolveu um estudo onde analisou o comportamento da estrutura de um edifício em situação de incêndio, construído para o efeito com elementos estruturais em betão armado de resistência normal e de alta resistência e dimensionados para uma resistência ao fogo de 60 minutos. Recomendou que a estrutura fosse considerada como um todo, em situação de incêndio, para prevenir o colapso.

- Mostafaei, H. (2013) estudou o comportamento da estrutura de um edifício em situação de incêndio, combinando, em corpo de prova constituído por um edifício de 6 pisos com estrutura em betão armado, ensaios experimentais ao fogo de pilares, com simulações numéricas recorrendo a programa de cálculo.

- Duthinh, D. *et al*. (2008) apresentaram duas interfaces que complementam o software já disponível para a análise térmica das estruturas, em situação de incêndio, permitindo quantificar a transferência de temperatura entre elementos estruturais contíguos, assim como a transferência de esforços entre esses elementos, permitindo uma análise global da estrutura.

❖ Modelos de desenvolvimento da temperatura nos compartimentos durante o incêndio

- Du, Y. e Li G. (2012), analisando as distribuições das temperaturas registadas em ensaios ao fogo, à escala real, de edifícios de grandes dimensões em planta e elevada altura, propuseram uma nova curva paramétrica temperatura-tempo, em substituição da ISO 834 (1975).

- Lennon, T., Moore, D. (2003) compararam as curvas temperatura-tempo obtidas em ensaios experimentais realizados no edifício Cardington, em incêndios de compartimento, com as curvas apontadas na EN 1991-1-2

(EC1-1-2, 2010). O modelo de desenvolvimento das curvas temperatura-tempo proposto tomou em consideração as condições de ventilação do compartimento e as propriedades térmicas dos revestimentos.

- Gottfried, J. S., Rein, G. (2012) apresentaram, nos dois artigos referenciados, uma nova metodologia que permite analisar a estrutura considerando cenários de incêndio mais consonantes com os incêndios reais, em espaços de grandes dimensões, constituindo uma alternativa aos tradicionais métodos que contemplam uma constante variação das temperaturas com o tempo de desenvolvimento do incêndio, qualquer que seja a área do espaço.

2.4.2. PROGRAMAS DE CÁLCULO AUTOMÁTICO RELEVANTES

O desenvolvimento de programas de cálculo automático para simulação de situações de incêndio e verificação e/ou dimensionamento das estruturas tem sido objeto de crescente atenção por parte dos investigadores e projetistas, essencialmente nas últimas décadas. Constata-se, no entanto, que a credibilidade dos resultados destes modelos, em muitas situações, não é eficazmente comprovada, carecendo de validação. A comprovação e a validação dos modelos numéricos de cálculo automático deve ser apresentada e devidamente documentada pelos seus autores. Esta matéria foi tema de ponderação no "International FORUM of fire research directors" (Gritzo, L. A. *et al*. 2005), que considerou ser indispensável para a fiabilidade dos modelos, não obstante ter reconhecido o acréscimo de esforço e de custo inerentes a essa validação.

Pela análise da literatura disponível constatou-se que os programas de cálculo automático para a análise das estruturas em betão armado, em situação de incêndio, são, na sua generalidade, baseados no Método dos Elementos Finitos e desenvolvidos utilizando métodos de análise ao fogo sofisticados, semelhantes aos Métodos de Cálculo Avançados apontados na EN1992-1-2 (EC2-1-2, 2010). São programas pouco expeditos como ferramenta de projeto, essencialmente em edifícios correntes, sendo desenvolvidos maioritariamente como instrumento de apoio a projetos de investigação. Referem-se, a seguir, alguns dos programas desenvolvidos, com frequente utilização em estudos científicos publicados.

- Anderberg, Y. (1991), enquanto consultor da FSD (Fire Safety Design AB) desenvolveu um pacote de programas designado por " **TCD**, **Tempcalc-Design**" que permite a análise ao fogo das estruturas. Este software foi validado pela comparação com inúmeros resultados experimentais realizados desde 1985, quando a primeira versão do pacote "PC Tempcalc" de análise térmica foi lançado.

  O TCD é constituído por um módulo de análise térmica, o **Super-Tempcalc**, que se interliga com um módulo de análise mecânica, o **Fire Design**. O primeiro módulo desenvolve, recorrendo ao Método dos Elementos Finitos, a análise térmica não linear, em regime transiente, incorporando as propriedades térmicas dos materiais variáveis com a temperatura, na solução das equações diferenciais de transferência de calor por convecção e por radiação, em função do tempo. O segundo módulo permite analisar, recorrendo a uma base de dados que contém as caraterísticas mecânicas dos materiais em função da temperatura, a capacidade de carga dos elementos estruturais em situação de incêndio.

O Super-Tempcalc V.5 (Anderberg, Y., 1997) foi desenvolvido em ambiente Matlab, com geração automática de elementos finitos e interface gráfica compatível com o sistema operacional Windows.

- Terro, M. J. (1998) desenvolveu dois programas que se complementam na análise tridimensional de estruturas de betão armado sujeitas a incêndio: o programa **TEMP** que define a distribuição da temperatura nos elementos estruturais e o programa **STRUCT** que, com base nessa informação, procede à análise do comportamento da estrutura. Este programa é inserido num pacote designado LUSAS (London University Stress Analysis System).

- Franssen, J. M. (2003) desenvolveu o programa **SAFIR**, na Universidade de Liège, para a análise do comportamento das estruturas à temperatura ambiente ou a elevadas temperaturas, baseado no anterior, também da sua autoria, CEFICOSS. O SAFIR é um programa que utiliza o Método dos Elementos Finitos com modelação não linear e métodos de cálculo avançados na análise térmica, podendo ser considerado no estudo de estruturas uni, bi ou tridimensionais. A análise ao fogo das estruturas pela aplicação deste software começa pela sua análise térmica, segue-se a análise torsional, aplicável a situações particulares e, por último, a análise mecânica estrutural a elevadas temperaturas, para determinar a resposta da estrutura quando sujeita a ações estáticas e térmicas. Este programa tem vindo a ser atualizado pelo seu autor (Franssen J.M. 2007) e por diferentes investigadores, nomeadamente Gernay, T. (2011), supervisionados por Franssen e complementado com ferramentas de processamento, como a desenvolvida por Jennings, T.M. (2009).

- Os programas **ABAQUS** e **DIANA** são programas comercializados que podem ser utilizados para estudar o comportamento ao fogo das estruturas, tendo sido desenvolvidos, no entanto, para o dimensionamento à temperatura normal (Wang, Y. C., 2002). São aplicáveis essencialmente a estruturas em aço ou mistas em aço e betão.

- O **Vulcan,** programa de análise por elementos finitos e modelação tridimensional do comportamento das estruturas, projeto da Universidade de Sheffield, Inglaterra, foi desenvolvido para a análise de estruturas mistas aço/betão e estruturas em aço, em situação de incêndio (Najjar, S.R., Burgess, I.W., 1996). Têm sido desenvolvidas e validadas aplicações para elementos estruturais em betão armado, nomeadamente para lajes (Huang, Z. *et al*. 2003) e para vigas e pilares (Huang, Z. *et al*. 2006).

- Holmberg, S. e Anderberg, Y. (1993) desenvolveram dois programas: o **TASEF-2**, para a análise da resposta térmica da estrutura e o **CONFIRE** para a sua análise estrutural. Este último foi desenvolvido pelo Método dos Elementos Finitos, utilizando uma formulação geométrica não linear. Os programas foram aprovados pelo "Department of Fire Safety Engineering, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden".

- Gonçalves, M. C. R. (2007) desenvolveu dois modelos numéricos: o **SimFIRb** (Simplified Fire Resistance-beam) e o **SimFIRc** (Simplified Fire Resistance-column), em Fortran 90, concebidos para uma eventual utilização conjunta com o modelo SAFIR. O primeiro permite determinar o momento resistente último de vigas e lajes submetidas a esforço axial e momento fletor, em situação de incêndio; o segundo permite avaliar a capacidade resistente de pilares em flexão composta, em situação de incêndio, e para efeitos de segunda ordem muito significativos. É utilizado o Método dos Elementos Finitos e considerada a não linearidade geométrica. Para o seu desenvolvimento, recorre aos métodos simplificados apontados na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), obtendo resultados muito semelhantes aos determinados pela aplicação do SAFIR, modelo que utiliza métodos avançados de cálculo na análise térmica das secções. Para os pilares em betão armado, foi constatado que a diferença dos valores

obtidos foi pouco significativa, considerando pilares com diferentes comprimentos, diferente armadura longitudinal e recobrimento, para os diferentes escalões de resistência ao fogo (Gonçalves, M.C. *et al*. 2009 e Goncalves, M.C. e Rodrigues, J.P.C. 2010).

Outros investigadores desenvolveram programas utilizando avançadas técnicas de modelagem por elementos finitos e não linearidade geométrica, requerendo, muitos deles, validação mais abrangente. Destacam-se Becker, J. M. e Bresler, B. M. (1977), Lie, T. T. e Irwin, R. J. (1993), Kodur, V. K. R. e Lie, T. T. (1996), Zha, X. X. (2003), Cai, J. *et al*. (2003), Bratina, S. *et al*. (2005), Capua, D. e Mari, A. R. (2007), Chen, S. *et al*. (2007), Yao, Y.e Hai, T.K. (2009) e Tondini, N. *et al*. (2012).

Guimarães, N.B.T. (2010) e Gonçalves, M.C. *et al*. (2011) apresentaram uma aplicação numérica, o SiFiRe, para a verificação automática da resistência ao fogo de elementos estruturais em betão. É uma ferramenta que permite aos projetistas procederem à verificação ao fogo das estruturas de forma expedita, em elementos estruturais sujeitos a diferentes tipos de esforços: flexão simples, esforço axial simples, flexão composta e flexão desviada. Para este último esforço, a ferramenta é inovadora no que concerne à análise expedita ao fogo. O programa de cálculo utiliza os Métodos Tabelados e os Métodos Simplificados apontados na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010).

2.4.3. ESTUDOS PUBLICADOS E RESULTADOS RELEVANTES

Em Portugal, os estudos desenvolvidos e publicados sobre a resistência ao fogo de pilares incidem maioritariamente sobre pilares em aço ou pilares mistos constituídos por aço e betão, tratados essencialmente do ponto de vista da análise de resultados observados em ensaios experimentais, efetuados no Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Para os pilares em aço, salientam-se os trabalhos desenvolvidos por Cabrita Neves (Neves, I. C. *et al*. 1994, 1996, 2002), na Universidade Técnica de Lisboa, por Correia Rodrigues (Rodrigues, J. P. C., 2001), na Universidade de Coimbra e por Paulo Vila Real (Real, P. J. V., 2003), na Universidade de Aveiro. Relativamente aos pilares mistos em aço e betão, considera-se pertinente referir os trabalhos desenvolvidos por Pires, T. A. C. (2013), Correia, A. M. e Rodrigues, J. P. C. (2003), Pires, T. A. C. *et al*. (2013).

No decorrer da pesquisa efetuada constatou-se haver uma preocupação crescente das entidades envolvidas na área do projeto de edifícios, no sentido da homogeneização e convergência de normas e critérios para a conceção e dimensionamento das estruturas, nos diferentes países. No que concerne à segurança dos edifícios em situação de incêndio, apurou-se que a metodologia seguida para a verificação da resistência ao fogo dos elementos estruturais em betão armado assenta nos mesmos princípios fundamentais, notando-se, nos debates que ocorrem em eventos sobre este tema, que as preocupações e os objetivos são semelhantes, nomeadamente no que respeita ao desenvolvimento de metodologias de análise baseadas no desempenho, em alternativa aos métodos prescritivos, como sugerido por Phan, L. (2004), Hietanen, T. (2004) e Harada, K. (2004).

Os pilares em betão armado, objeto da presente dissertação, apresentam, nas situações correntes, secção transversal circular ou retangular. Em capítulos seguintes apresenta-se o estudo estatístico realizado

tomando como base projetos de estabilidade de edifícios já construídos, representativos dos licenciados em Portugal, que refletem as caraterísticas geométricas mais frequentes destes elementos estruturais. Foram desenvolvidos alguns trabalhos específicos para pilares circulares, com o objetivo essencial de comparar o comportamento ao fogo de pilares com esta seção transversal, cada vez mais frequente, com os de secção transversal retangular.

A avaliação da resistência ao fogo de pilares em betão armado deve abranger dois aspetos fundamentais:

- Do ponto de vista da resistência, a definição do diagrama de interação *N-M* da secção transversal, tendo em conta os efeitos significativos das elevadas temperaturas no comportamento não-linear dos materiais.
- Do ponto de vista das ações, a consideração da não-linearidade geométrica destes elementos estruturais, quando submetidos a altas temperaturas.

A metodologia mais precisa para definir e avaliar o comportamento global de uma estrutura de betão armado no decorrer de um incêndio, até ao colapso, é a que recorre à aplicação de métodos de cálculo avançados, contabilizando a variação da temperatura nas secções transversais dos elementos estruturais durante o incêndio e a sua influência na deterioração da resistência mecânica dos materiais. Para pilares em betão armado, outros parâmetros não menos relevantes são considerados nestas simulações numéricas avançadas, como os efeitos indiretos que as elevadas temperaturas induzem nestes elementos, devido ao alongamento térmico das vigas e aos momentos fletores de segunda ordem (efeitos de segunda ordem) gerados, fatores de significativo impacto no dimensionamento ao fogo de pilares sujeitos a elevados esforços axiais (Gonçalves, M.C., 2007, Xavier, H.F. *et al*. 2010 e Faria, R. *et al*. 2010).

A aplicação complexa destes métodos de cálculo avançados não é eficaz como ferramenta de utilização habitual, pelos engenheiros projetistas, para a verificação ao fogo das estruturas correntes. Assim, recorrem frequentemente a métodos de cálculo mais simples, pela aplicação dos Métodos Tabelados ou dos Métodos Simplificados apontados na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) com diferentes níveis de precisão e complexidade, quase sempre aplicáveis a elementos estruturais isolados.

Os trabalhos de investigação publicados na área da resistência ao fogo de pilares em betão armado são versados num sentido académico e científico, na busca do conhecimento mais aprofundado nesta área, ou orientados para o projeto, no sentido de proporcionar ao projetista de estruturas ferramentas eficientes e expeditas para o dimensionamento ao fogo destes elementos estruturais.

Tan, H.T. e Tang, C.Y. (2002, 2004) propuseram um método desenvolvido pela aplicação da fórmula de Rankine (fórmula convencional aplicável a elementos à temperatura ambiente) para determinar a resistência ao fogo de pilares em betão armado, adaptando esta fórmula de modo a considerar os efeitos das elevadas temperaturas nas propriedades mecânicas do betão e do aço das armaduras. Consideraram este método como mais eficaz, para os projetistas de estruturas, em substituição dos Métodos Tabelados. Compararam os resultados assim obtidos, para a sua validação, com os resultantes de ensaios experimentais ao fogo de 76 pilares, considerando a aplicação de cargas concêntricas e excêntricas. Concluíram que a aplicação daquela fórmula conduziu a resultados precisos e consistentes, ligeiramente conservativos.

Faria, R. e Teixeira, L. (2013) questionaram a aplicação do método simplificado sugerido no Anexo B.3 da EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), o método baseado na estimativa da curvatura, no que concerne à avaliação dos efeitos de segunda ordem. Constatando que os valores máximos a considerar para as

extensões nas fibras mais deformadas das secções transversais do betão não são devidamente explicitados naquela norma, o que afeta o processo de quantificação dos momentos de segunda ordem, em situação de incêndio, analisaram duas hipóteses para os valores daquelas extensões e validaram-nas comparando os resultados com os obtidos pela aplicação do SAFIR, modelo de cálculo avançado.

Num primeiro cenário, consideraram o valor clássico de 3,5‰ para a extensão máxima nas fibras comprimidas do betão, para a posição do eixo neutro no interior da secção. Num segundo cenário, consideraram uma compatibilização mais refinada de todas as extensões na secção, modelo proposto por Meda, A., *et al*. (2002), processo que conduziu a valores máximos das extensões nas fibras comprimidas do betão muito superiores a 3,5‰, atingindo cerca de 40‰ na simulação que desenvolveram.

Utilizaram estes dois cenários de extensões na verificação da resistência ao fogo de dois pilares com secções transversais distintas, utilizando o método simplificado da estimativa da curvatura e aplicaram o SAFIR, programa que utiliza métodos de cálculo avançados, para determinar a resistência ao fogo dos mesmos pilares. Tomando por base os resultados obtidos pela aplicação deste último programa, concluíram que o primeiro cenário para as extensões conduziu a valores muito reduzidos dos momentos fletores de segunda ordem, e que o segundo cenário conduziu a resultados, para a resistência ao fogo dos pilares, compatíveis com os obtidos pela aplicação daquele programa. Concluíram, também, que em pilares de betão armado em situação de incêndio, os efeitos de segunda ordem são significativamente condicionantes da sua resistência e que, para comprimentos de encurvadura correntes, os momentos fletores de segunda ordem podem atingir valores correspondentes a cerca de 50% dos momentos fletores de primeira ordem.

Martins e Rodrigues (2010) realizaram, em Coimbra, ensaios experimentais ao fogo de pilares em betão armado de secção quadrangular, com restrição da dilatação térmica, com o aquecimento do forno seguindo a curva de incêndio padrão ISO 834 (1975). Analisaram os efeitos da taxa mecânica de armaduras, da esbelteza do pilar, do nível de restrição, do nível de carregamento e da excentricidade da carga, no comportamento ao fogo desses pilares. Concluíram essencialmente o seguinte:

- Com o aumento da taxa mecânica de armaduras aumentou a resistência ao fogo dos pilares, sendo esse aumento mais significativo para os pilares de menor secção transversal;

- Com o aumento do grau de restrição, o acréscimo da resistência ao fogo dos pilares, quando se aumentou a taxa mecânica de armaduras, foi ligeiramente menos significativo;

- A utilização de varões de grande diâmetro contrariou o efeito benéfico do aumento da taxa mecânica de armaduras, pelo que recomendam a aplicação de mais varões com menor diâmetro, distribuídos uniformemente pela periferia do pilar;

- O aumento da esbelteza conduziu à redução significativa da resistência ao fogo dos pilares, tendo sido essa redução mais significativa para os pilares com menor taxa mecânica de armaduras;

- O grau de restrição da dilatação térmica não afetou significativamente a resistência ao fogo dos elementos ensaiados;

- O aumento do nível de carregamento provocou uma significativa redução da capacidade resistente dos pilares, tendo ocorrido o destacamento explosivo do betão para os níveis de carregamento mais elevados;

- Nos pilares com cargas excêntricas, os métodos de cálculo correntes utilizados para determinar o esforço normal atuante conduziram a valores conservativos, o que levou a que fosse observada uma resistência ao fogo nesses pilares maior que a verificada nos pilares ensaiados com carga concêntrica;

- Nos pilares com cargas excêntricas, os valores percentuais das forças de restrição, relativamente às cargas iniciais aplicadas, foram superiores às observadas para os pilares com cargas concêntricas.

Como expectável, é comprovado, nos trabalhos desenvolvidos por diferentes autores, com base em ensaios experimentais ou recorrendo a processos de cálculo analítico (Gonçalves, M. C. R., 2007), que é fundamental considerar, no dimensionamento ao fogo dos pilares, a restrição da sua dilatação térmica provocada pela estrutura envolvente. Os efeitos da variação do grau de restrição, devida à variação das dimensões da secção transversal das vigas adjacentes ao pilar e à variação dos vãos dessas vigas quando sujeitas, também, a elevadas temperaturas, não foram ainda suficientemente analisados.

De acordo com a EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), os pilares podem ser dimensionados ao fogo como elementos isolados, desde que inseridos em estruturas contraventadas. No entanto, Xavier, H.F. *et al*. (2010), Faria, R. *et al*. (2010) e Xavier, H.F.B. (2009), constataram que, a elevadas temperaturas, o alongamento das vigas pode provocar deslocamentos nas extremidades dos pilares e, consequentemente, um acréscimo de momento fletor e o desenvolvimento de esforço transverso nos seus topos, o que pode levar à rotura por corte, do pilar, como constataram Taerwe, L. (2007) e Mostafaei, H. (2009) pela observação de incêndios reais. Bailey, C. (2002) desenvolveu um estudo sobre o comportamento das estruturas em betão armado no decorrer de um incêndio, estudo este baseado em ensaio ao fogo realizado num edifício à escala real, com a estrutura em betão armado, construído para o efeito. Foi observado, nesse ensaio, um deslocamento lateral significativo dos pilares periféricos, devido à expansão térmica das lajes aquecidas. Sobre esta matéria foi recomendado, em estudo apresentado no "International Forum of fire research directors" Grosshandler, W. L. (2003), que os ensaios fossem realizados considerando componentes adicionais que permitissem uma melhor aproximação ao comportamento dos elementos estruturais inseridos nas estruturas dos edifícios. Este procedimento, segundo o autor, não se repercutiria significativamente quer no custo, quer na operacionalidade dos testes.

Constatou-se, em ensaios experimentais (Martins, A. M. B., Rodrigues, J. P. C., 2009, 2010 e Lie, T. T., Lin, T. D., 1986) e em estudos analíticos (Ramalho, M. A., Gonçalves, M. C. R., 2013a), que a variação do grau de restrição não altera significativamente a resistência ao fogo dos pilares, quando se considera a estrutura envolvente a frio, isto é, quando se considera o impedimento da dilatação do pilar sujeito a elevadas temperaturas, mas não se consideram os efeitos da restrição térmica das vigas que nele apoiam.

Sadaoui, A. *et al*. (2013) desenvolveram um modelo de elementos finitos capaz de analisar a evolução da restrição térmica em pilares de betão armado, desde o pré-aquecimento até ao colapso, quando inseridos em estruturas de betão armado sujeitas a cenários de incêndio naturais ou paramétricos. Este modelo permite, também, investigar os efeitos do grau de restrição no comportamento ao fogo dos pilares. Considerados cinco valores diferentes para o grau de restrição (0, 5%, 20%, 50% e 100%), constataram que, para cenários de incêndio severos, a resistência ao fogo dos pilares aumentava

significativamente com o grau de restrição, entre os 10 minutos e os 35 minutos de exposição. Verificaram também, que:

- Os métodos convencionais de análise da resistência ao fogo, baseados numa exposição ao fogo padrão, podem não ser conservativos quando a fase final da curva de incêndio for semelhante à do cenário de um incêndio severo como o considerado no estudo;

- O aumento do nível de carregamento traduziu-se na diminuição significativa da resistência ao fogo dos pilares, em cenários de incêndio reais;

- O aumento do coeficiente de esbelteza e da excentricidade da carga aplicada levaram à redução significativa da resistência ao fogo dos pilares esbeltos. A redução da rigidez à flexão potenciou a encurvadura destes elementos estruturais quando sujeitos às forças axiais de restrição;

- Os critérios de falha convencionais, baseados na rotura do betão e na cedência do aço, podem não ser conservativos para alguns cenários de incêndio.

Bamonte, P. e Lo Monte, F. (2010) compararam modelos de cálculo disponíveis em literatura publicada sobre o comportamento ao fogo de pilares, por serem os elementos estruturais mais vulneráveis às deformações devidas à restrição da dilatação térmica. Consideraram dois grupos de modelos: os modelos explícitos, onde a extensão transiente, ε_{tr}, e a extensão de fluência, ε_{creep}, são introduzidas como fatores independentes da extensão mecânica, ε_{σ}, e da extensão térmica, ε_{th} e os modelos implícitos, onde todas as componentes da extensão são implícitas numa única, com exceção da extensão térmica. Os modelos desenvolvidos por Anderberg, Y. e Thelanderson, S. (1976), por Terro, M. J. (1998) e o recente modelo de Schneider, U. *et al*. (2008) pertencem ao primeiro grupo, enquanto o modelo proposto na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) é o mais conhecido modelo implícito.

Os tempos de resistência ao fogo (critério R), obtidos pela aplicação dos diferentes modelos, foram comparados tomando como referência os resultados de ensaios experimentais disponíveis em literatura publicada ($R_{analítico}/R_{ensaio}$). Constataram que os resultados obtidos pela aplicação dos três modelos explícitos foram os mais conservativos (a razão atrás apontada é, respetivamente, 0,78, 0,77 e 0,85), foram caraterizados por uma grande deformabilidade da estrutura e por valores reduzidos do tempo de resistência ao fogo. O modelo proposto pela EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) foi o que conduziu a resultados menos conservativos ($R_{analítico}/R_{ensaio}$=0,92) e a uma menor deformabilidade da estrutura. Concluíram, assim, que a comparação dos resultados mostrava claramente que a utilização de modelos precisos que incluam todas as componentes da extensão total, implicitamente ou explicitamente, possibilitavam uma avaliação conservativa dos pilares em betão armado em situação de incêndio, em termos de deslocamentos e tempo de resistência ao fogo.

Tan, H.K. e Nguyen, T.T. (2012) desenvolveram um modelo analítico simples para determinar as forças de restrição induzidas por elevadas temperaturas, nos pilares em betão armado sujeitos a cargas excêntricas. O modelo tomou em consideração os efeitos da excentricidade da carga aplicada, do nível de carregamento, da restrição térmica axial, das propriedades térmicas dos materiais, do destacamento do betão e da extensão transiente em situação de incêndio. As propriedades mecânicas do betão a elevadas temperaturas foram definidas de acordo com a EN 1992-1-2, que considera a extensão transiente incorporada de forma implícita. O desenvolvimento analítico foi efetuado recorrendo ao

programa SAFIR e o modelo foi validado por comparação com os resultados de ensaios experimentais realizados com restrição da dilatação térmica.

Deduziram que os modelos de análise numérica que negligenciem o efeito do destacamento do betão, conduziram a valores excessivos das forças de restrição. Segundo os autores, esta sobrevalorização foi devida ao facto de serem consideradas as propriedades mecânicas do betão a elevadas temperaturas conforme previsto na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), onde as extensões transientes são implicitamente consideradas. Efetivamente, a extensão transiente é variável quando a temperatura aumenta e se mantém constante o esforço atuante, e mantém-se constante com o aumento da tensão a uma temperatura constante (constitui uma extensão adicional que ocorre durante um aquecimento não estacionário de peças sujeitas a carregamento constante). Nos pilares com restrição axial da dilatação térmica, a tensão aumenta quando a temperatura aumenta, sendo essa a razão apontada, nesse estudo, para a discrepância entre os valores resultantes do estudo analítico e os obtidos nos ensaios experimentais.

Outros autores evidenciaram, nos seus trabalhos, a influência da extensão transiente na verificação da resistência ao fogo dos elementos estruturais, e a eventual necessidade de considerar os modelos explícitos naquela avaliação.

Li, L. e Purkiss. J. (2005) e Gernay, T. e Franssen, J.M. (2012a, 2012b) apresentaram modelos numéricos desenvolvidos para a verificação da estabilidade estrutural interna do betão a elevadas temperaturas, constatando que a extensão transiente foi um fator preponderante. Mindeguia, J.C. *et al*. (2006) constataram também esse facto, em ensaios experimentais de provetes de betão normal. Nesses ensaios, verificaram que a extensão transiente foi superior para betões com agregados siliciosos do que para betões com agregados calcários.

O pilar é um elemento estrutural considerado, nas situações correntes, como inserido num pórtico contido num plano que contém, também, as ações a que esse pórtico fica submetido. Assim, é dimensionado para resistir ao esforço axial e ao momento fletor que atuam nesse plano e, portanto, à flexão simples. Em situação de incêndio, no entanto, há que tomar em consideração as excentricidades de carregamento devidas ao tipo de exposição ao fogo e ao destacamento do betão, que podem ocorrer em duas direções ortogonais: a direção do pórtico que contém o pilar e a direção perpendicular a esta. Nestas situações, o pilar fica submetido à flexão desviada.

Raut, N. e Kodur, V. (2010) desenvolveram um modelo macroscópico de elementos finitos para o dimensionamento ao fogo de pilares em betão armado sujeitos à flexão desviada, com excentricidades devidas ao eventual destacamento localizado do betão e, em pilares de canto, à exposição assimétrica ao fogo, isto é, em três lados, em dois lados adjacentes ou num só lado. A validação do modelo não pôde ser efetuada recorrendo à comparação com resultados obtidos em ensaios experimentais realizados nas condições de exposição previstas (nos ensaios realizados conhecidos a exposição ao fogo é nos quatro lados), pelo que os autores recorreram aos ensaios realizados por Lie, T.T. e Woolerton, J.L. (1988) e por Kodur, V.R. *et al*. (2005), com excentricidade de carga aplicada.

Law, A.H. (2010a) e Law, A. e Gillie, M. (2010b) propuseram uma nova metodologia para calcular secções à flexão desviada, considerando um método que se baseia na sua rigidez de corte tangente. Para tal, desenvolveram diagramas de interação *M*/*N* para secções sujeitas a elevadas temperaturas, tal como Caldas, R. B. *et al*. (2010), em modelo numérico validado. Law (2010) concluiu também, na sua dissertação, que a aplicação do Método da Isotérmica dos 500ºC conduz a resultados não conservativos,

por se considerar, na sua aplicação, um núcleo de betão à temperatura ambiente. Também Goncalves, M.C. e Rodrigues, J.P.C. (2007a) constataram esse facto, no estudo que se referencia.

O objetivo do engenheiro de estruturas é garantir o desempenho dos edifícios, inclusive em situação de incêndio. A análise numérica de uma estrutura sujeita a incêndio deve compreender três fases:

- Estabelecer a evolução da temperatura dos gases nos compartimentos de incêndio, definindo curvas temperatura-tempo;

- Proceder à análise térmica para definir a distribuição das temperaturas nas secções transversais dos elementos estruturais;

- Efetuar a análise mecânica para avaliar o comportamento da estrutura quando sujeita a elevadas temperaturas.

No que concerne aos pilares em betão armado sujeitos a incêndio, Gonçalves, M.C. (2007) formulou algumas recomendações para a prática de projeto, de forma a minimizar os efeitos desfavoráveis de alguns dos parâmetros mais condicionantes do seu desempenho. Para tal, recorreu à simulação numérica de elementos finitos, da sua autoria, o programa SimFIRc, validado pela comparação dos resultados com os obtidos utilizando o SAFIR (Franssen, J. M., 2003), para analisar o comportamento ao fogo de pilares com secção transversal de 300x300mm^2, fazendo variar a percentagem de armadura longitudinal e o diâmetro dos varões que a constitui, a espessura do recobrimento, a altura dos pilares, a excentricidade da carga axial atuante no seu topo e a exposição ao incêndio (nos quatro lados ou em metade da secção). Conclui que:

- Essencialmente em pilares esbeltos, os efeitos da não linearidade geométrica, a elevadas temperaturas, foram substancialmente mais importantes que à temperatura ambiente;

- A altura do pilar e, consequentemente, a sua esbelteza, foi o parâmetro que mais condicionou o comportamento dos pilares em situação de incêndio, pois potenciou os momentos de segunda ordem. Quanto mais elevados aqueles parâmetros, menor a resistência ao fogo;

- A taxa mecânica de armaduras foi um parâmetro muito condicionante da resistência ao fogo dos pilares. Como expectável, aumentando aquela taxa aumentou significativamente a resistência ao fogo. No entanto, este efeito, apesar de significativo na fase inicial do incêndio, foi insignificante aos 120 minutos. A diferenciação das caraterísticas resistentes do aço para extensões superiores ou inferiores a 0,02% foi mais significativa nas secções com maior taxa mecânica de armadura;

- O efeito da distribuição da armadura pela secção transversal contribuiu para o aumento da ductilidade do pilar e, portanto, o período de tempo que demorou o desenvolvimento da sua deformação, ajudando a prever a proximidade da rotura;

- A espessura do recobrimento foi um parâmetro que afetou a definição da temperatura nos varões da armadura longitudinal. Quanto maior a espessura do recobrimento, menor a temperatura. No entanto, há que ponderar o efeito positivo do aumento do recobrimento com o seu efeito desfavorável na resistência à flexão e no destacamento superficial ou explosivo do betão;

- A excentricidade da carga axial teve um efeito substancialmente penalizador na resistência ao fogo dos pilares, pelo que deve ser, na medida do possível, minimizada;

- O aquecimento diferencial dos elementos estruturais vizinhos de um pilar introduziu, nesse pilar, momentos fletores não desprezáveis. Para minimizar esse efeito e a consequente não linearidade geométrica, recomendou uma eficaz compartimentação corta-fogo e a definição de juntas de dilatação;

- O Método baseado na estimativa da curvatura, Método Simplificado apontado no Anexo B.3 da EN 1992-1-2, conduziu a resultados significativamente diferentes dos obtidos pela aplicação do modelo SAFIR, pelo que o autor recomendou a utilização de modelos baseados no método da rigidez nominal (EC2-1-1, 2010);

- Pela análise de sensibilidade da fluência, constatou que este parâmetro foi pouco influente nos resultados obtidos para a resistência ao fogo dos pilares, já que o efeito redutor das caraterísticas resistentes e elásticas do betão (E_{cd}) foi prevalecente, a elevadas temperaturas.

Numa análise prescritiva, as curvas temperatura-tempo utilizadas são as indicadas em normas, como as curvas de incêndio padrão, nomeadamente a ISO 834 (1975), a ASTM (2007), a BS-476 (1987), a curva de hidrocarbonetos, essencialmente utilizada no estudo de edifícios industriais com manipulação de produtos químicos, ou outras curvas, como as descritas nos trabalhos desenvolvidos por Khoury, G.A. (2000) e por Silva, V. P. e Costa, C.N. (2006). Como pode constatar-se, as curvas de incêndio padrão representam apenas a fase de propagação (ou de crescimento) do incêndio e a fase do seu desenvolvimento completo, não contemplando a fase de decaimento ou extinção.

Numa abordagem baseada no desempenho, o desenvolvimento das curvas temperatura-tempo é mais consonante com o incêndio real, sendo consideradas não só as fases de aquecimento e de desenvolvimento completo, mas também a fase de arrefecimento, durante a qual a temperatura dos gases no compartimento vai diminuindo, até atingir a temperatura ambiente. Modelar o comportamento da estrutura durante estas três fases e comparar os resultados com os obtidos numa análise prescritiva, é matéria que deve suscitar o interesse dos investigadores, como reflete Fletcher, I.A. *et al*. (2007).

Gernay, T. e Dimia, M.S. (2013) desenvolveram um modelo de cálculo analítico para a análise ao fogo de pilares em betão armado, considerando curvas naturais de incêndio e incluindo a fase de arrefecimento no seu desempenho. Como realçaram no seu trabalho, as zonas da secção transversal do elemento estrutural próximas da superfície apresentaram uma descida de temperatura logo após a temperatura do gás no compartimento ser inferior à dessas superfícies. No entanto, nas zonas centrais, pôde ainda verificar-se, nesse momento, um aumento da temperatura, sendo esse efeito tardio mais significativo em secções cheias. O mesmo fenómeno já tinha sido observado por Jau, W.C. e Huang, K.L. (2008) em ensaios experimentais. A análise numérica desenvolvida, aplicada a pilares de betão armado submetidos a cargas concêntricas, aquecidos em três lados, mostrou que o colapso durante a fase de arrefecimento é possível e, mais preocupante, o colapso é ainda possível algumas horas depois do incêndio completamente extinto.

Estes autores concluíram que as situações mais críticas correspondem a incêndios de curta duração e para pilares pouco esbeltos (pilares curtos e/ou de elevada área de secção transversal). Verificaram que o modelo adotado para a análise das propriedades mecânicas do betão teve uma significativa influência nos resultados obtidos. Comparando os valores determinados pela aplicação dos modelos explícitos e dos modelos implícitos, puderam constatar que a ocorrência de colapso durante ou após a fase de

arrefecimento foi mais frequentemente previsível quando aplicaram o modelo de extensões transientes explícitas do que quando aplicaram o modelo de extensões implícitas. Também, na fase de arrefecimento, as simulações numéricas que utilizaram o modelo explícito conduziram a resultados mais conducentes com os obtidos nos ensaios experimentais A incorporação implícita dos efeitos da extensão transiente na parcela correspondente à extensão mecânica, como no modelo apontado na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) pode conduzir a resultados não seguros, quando são considerados cenários naturais de incêndio.

Também Li, Y.H. e Franssen, J.M. (2011) concluíram, no seu estudo, que há uma adicional perda de capacidade de carga durante o arrefecimento, isto é, entre o momento em que ocorre a temperatura máxima, até ao momento em que a temperatura no compartimento é igual à temperatura ambiente.

Foi comprovado por Bamonte, P. e Lo Monte, F. (2010) que os modelos implícitos conduziram a resultados bastante precisos na modelação do comportamento de pilares em betão armado sujeitos ao incêndio padrão. No entanto, a sua validade para simular o comportamento do betão e, portanto, destes elementos estruturais, durante a fase de arrefecimento, foi questionada. Efetivamente, as extensões transientes, que se desenvolveram apenas durante a fase inicial do aquecimento em elementos submetidos a um carregamento constante, foram irreversíveis. Também, foi comprovado por Law, A.H. e Gillie, M. (2008) que considerar as extensões transientes implicitamente pode acarretar significativas implicações no cálculo do Módulo de Young do betão, na fase de arrefecimento.

A resposta estrutural definida para a fase de arrefecimento pode ser significativamente diferente quando são utilizados modelos explícitos ou modelos implícitos para a extensão transiente, pois, nos segundos, é assumido que a tensão transiente é recuperada durante o arrefecimento e, portanto, não é considerada no cálculo, enquanto nos modelos explícitos esta extensão continua a ser incluída como uma parcela independente, na quantificação da extensão total.

A análise da tensão residual de pilares em betão armado depois da ocorrência de um incêndio é matéria de significativa importância, nomeadamente na avaliação de danos e reparação e/ou reforço destes elementos estruturais. Jau, W.C. e Huang, K.L. (2008) estudaram o comportamento de pilares de canto com secção transversal de 300x450mm^2 depois da ocorrência de um incêndio, considerando-os submetidos à flexão desviada, a assimetria de exposição ao fogo padrão e a durações de exposição de 2h e 4h. Constataram que:

- A temperatura no interior da secção transversal continuou a aumentar 2 a 3 horas depois de terminado o ensaio;

- Exposições ao fogo com a duração de 2h e 4h levaram a rácios de resistência residual de 67% e 57%, respetivamente;

- A diminuição de 10% na resistência residual foi devida exclusivamente ao aumento de 2h no tempo de exposição ao fogo, pois os restantes parâmetros não foram alterados;

- Quer a redução da taxa mecânica das armaduras, quer o aumento da espessura do recobrimento (que leva à diminuição da área do núcleo central de betão), conduziram à redução dos rácios da resistência residual;

- Quanto maior a área do núcleo central da secção transversal do pilar, maior a tensão residual após a exposição a elevadas temperaturas.

Os pilares circulares são cada vez mais correntes em estruturas aparentes. Com o objetivo de analisar a influência da forma circular da secção transversal dos pilares em betão armado no seu comportamento ao fogo, Franssen, J. M. e Dotreppe, J. C. (2003) ensaiaram quatro pilares de secção circular com o diâmetro Φ 300mm, dois com armadura longitudinal constituída por varões Φ 12 e dois por varões Φ 20, na Universidade de Liège. Pretendiam investigar essencialmente a eventual ocorrência do destacamento explosivo do betão e verificar se os métodos de cálculo desenvolvidos para os pilares retangulares seriam válidos para os pilares circulares. Compararam os resultados obtidos nos ensaios experimentais com os determinados pela aplicação de dois métodos analíticos: um correspondente ao Método A apontado na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) e um método anteriormente desenvolvido pelos mesmos autores (Dotreppe, J. C. *et al*.1999). Concluíram fundamentalmente que:

- A forma circular da secção não previne o destacamento superficial do betão, que ocorre nos cantos dos pilares retangulares. Este facto foi verificado, também, nos ensaios experimentais levados a efeito por Rodrigues, J.P.C. *et al*. (2012);

- O diâmetro dos varões da armadura longitudinal não teve qualquer influência no destacamento superficial do betão;

- À semelhança do que se verifica nos pilares retangulares, o aumento do nível de carregamento conduziu a uma redução substancial da resistência ao fogo;

- Os dois métodos analíticos utilizados conduziram a resultados do lado da segurança mas conservativos, que foram considerados aceitáveis pelos autores. Para os quatro pilares, a razão entre o esforço normal resistente máximo determinado pela aplicação dos métodos analíticos e o obtido nos ensaios variou entre 0,81 e 0,70 quando utilizado o primeiro método e entre 0,79 e 0,50 quando utilizado o segundo método. A discrepância de valores foi maior nos pilares em que o nível de carregamento era mais elevado.

Já em 1991 Lie, T.T., Celikkol, B. (1991) desenvolveram um modelo para o cálculo da resistência ao fogo de pilares circulares de betão armado de agregados siliciosos, e validaram-no comparando os resultados com os obtidos em ensaios experimentais. Este modelo foi desenvolvido de modo a poderem ser introduzidos diferentes valores para os parâmetros mais significativos, como o nível de carregamento, o diâmetro da secção transversal, o comprimento do pilar, o tipo de betão e do aço e a taxa mecânica das armaduras.

Ramalho, M. A. *et al*. (2012) constataram, pelos resultados obtidos em ensaios experimentais e pela aplicação de modelos numéricos utilizando os Métodos dos Valores Tabelados e os Métodos Simplificados apontados na EN 1992-1-2, que os pilares de secção transversal circular apresentavam melhor desempenho, em situação de incêndio, que os pilares de secção quadrangular.

3

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA AO FOGO DE PILARES EM BETÃO ARMADO - ENQUADRAMENTO DO ESTUDO

3.1. APRESENTAÇÃO DOS PROJETOS EM ANÁLISE

3.1.1. INTRODUÇÃO

A verificação do desempenho dos edifícios, nomeadamente do ponto de vista da sua segurança contra incêndios, tem sido objeto de crescente preocupação, não só pela comunidade em geral, mas essencialmente pela comunidade científica. A Parte 1-2 dos Eurocódigos versa o cálculo da resistência ao fogo dos elementos estruturais constituídos pelos diferentes materiais, com exceção do Eurocódigo 7 (EC7, 2010), Projeto geotécnico e do Eurocódigo 8 (EC8, 2010), Projeto de estruturas para resistência aos sismos.

Como referido por Pina, C., Pontífice, P. (2008), os Eurocódigos Estruturais constituem documentos de referência a utilizar para:

- ∴ Comprovação da conformidade das obras com as Exigências Essenciais da Diretiva dos Produtos de Construção, em particular com as Exigências Essenciais n.º1 (Resistência mecânica e estabilidade) e n.º2 (Segurança ao fogo).
- ∴ Determinação das características dos produtos de construção estruturais que se referem àquelas exigências e que façam parte da informação que acompanha a marcação CE daqueles produtos.
- ∴ Elaboração de cadernos de encargos para a execução de obras de construção e prestação de serviços de engenharia.

Um dos objetivos do presente estudo consiste em verificar que implicações advêm da introdução da nova regulamentação, portuguesa e europeia, na prática de dimensionamento de pilares em betão armado.

Constata-se haver alguma dificuldade, por parte dos projetistas de estruturas, na implementação destas normas europeias de conceção e projeto, nomeadamente nas estruturas em betão armado.

Na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) são apontados alguns métodos para a verificação da resistência ao fogo dos elementos estruturais que constituem aquelas estruturas, tendo sido descritos sumariamente no capítulo anterior os aplicáveis na verificação da resistência ao fogo de pilares, apresentando-se a sua descrição mais pormenorizada e a sua aplicação no capítulo seguinte.

O dimensionamento do ponto de vista da segurança contra incêndio dos elementos estruturais e, assim, dos pilares, é feito em função do escalão de resistência ao fogo requerido para cada utilização-tipo inserida no edifício, definida de acordo com a legislação nacional aplicável, isto é, com o Regime Jurídico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios (RJ-SCIE, 2008), o Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios (RT-SCIE, 2008) e os Critérios Técnicos para Determinação da Densidade de Carga de Incêndio (Despacho, 2009). Importa, pois, para o desenvolvimento do trabalho, começar por analisar os projetos criteriosamente selecionados, definir o escalão de resistência ao fogo a observar e verificar a conformidade ao fogo dos pilares que constituem as estruturas destes edifícios.

3.1.2. LISTA DE PROJETOS

Selecionaram-se, para análise, sessenta e três projetos de edifícios predominantemente no Norte do país, de modo a que as suas ocupações se inserissem nas doze utilizações-tipo e nas quatro categorias de risco previstas no Regime Jurídico de Segurança contra Incêndio em Edifícios (RJ-SCIE, 2008).

A opção de analisar projetos de edifícios licenciados essencialmente no Norte foi tomada pelas razões que a seguir se expõem.

- Por questões de uniformização de critérios de dimensionamento e de redução de variáveis, no âmbito deste trabalho, consideraram-se projetos de edifícios localizados apenas nas zonas de menor sismicidade, definidas no Regulamento de Segurança e Ações (RSA, 1983), como zonas sísmicas C e D. Na Figura 3.1 são identificadas as quatro zonas sísmicas previstas naquele documento. A distribuição dos processos por zonas sísmicas pode ser observada no Quadro 3.1.
- Ainda por questões de uniformização de critérios de dimensionamento e de redução do número de variáveis, consideraram-se apenas edifícios licenciados na zona norte do país, pois os inertes que entram na sua composição serão, predominantemente, siliciosos.
  Sendo o comportamento ao fogo dos elementos estruturais em betão armado dependente da composição do betão, nomeadamente do tipo de inertes, estudando elementos estruturais de edifícios licenciados no norte, onde os inertes são predominantemente siliciosos, na composição do betão considerar-se-ão, apenas, este tipo de inertes.

Quadro 3.1 - Distribuição dos processos analisados por zonas sísmicas.

Identificação do processo	Localização	Zonas sísmicas	
		C	D
P1	S. João da Madeira	x	-
P2	S. João da Madeira	x	-
P3	Feira	-	x
P4	Feira	-	x
P5	Feira	-	x
P6	Feira	-	x
P7	S. João da Madeira	x	-
P8	Porto	-	x
P9	Vila Nova de Gaia	-	x
P10	Porto	-	x
P11	Oliveira de Azeméis	x	-
P12	Porto	-	x
P13	Porto	-	x
P14	Porto	-	x
P15	Porto	-	x
P16	Porto	-	x
P17	Porto	-	x
P18	Porto	-	x
P19	Porto	-	x
P20	Albergaria-a-Velha	x	-
P21	Ovar	x	-
P22	Albergaria-a-Velha	x	-
P23	Montemor-o-Velho	x	-
P24	S. João da Madeira	x	-
P25	Porto	-	x
P26	Porto	-	x
P27	Porto	-	x
P28	Porto	-	x
P29	Porto	-	x
P30	Porto	-	x
P31	Porto	-	x
P32	Porto	-	x
P33	Porto	-	x
P34	Porto	-	x
P35	Feira	-	x
P35.A1/A2	Feira	-	x
P36	Porto	-	x
P37	Porto	-	x

Identificação do processo	Localização	Zonas sísmicas	
		C	D
P38	Porto	-	x
P39	Vila Nova de Gaia	-	x
P40	Porto	-	x
P41	S. João da Madeira	x	-
P42	S. João da Madeira	x	-
P43	Vila Nova de Gaia	-	x
P44	Vila Nova de Gaia	-	x
P45	Vila Nova de Gaia	-	x
P46	Vila Nova de Gaia	-	x
P47	S. João da Madeira	x	-
P48	S. João da Madeira	x	-
P49	Porto	-	x
P50	S. João da Madeira	x	-
P51	S. João da Madeira	x	-
P52	Vila Nova de Gaia	-	x
P53	Vila Nova de Gaia	-	x
P54	Vila Nova de Gaia	-	x
P55	Vila Nova de Gaia	-	x
P56	Vila Nova de Gaia	-	x
P57	Vila Nova de Gaia	-	x
P58	Vila Nova de Gaia	-	x
P59	Vila Nova de Gaia	-	x
P60	Vila Nova de Gaia	-	x
P61	Vila Nova de Gaia	-	x
P62	Vila Nova de Gaia	-	x

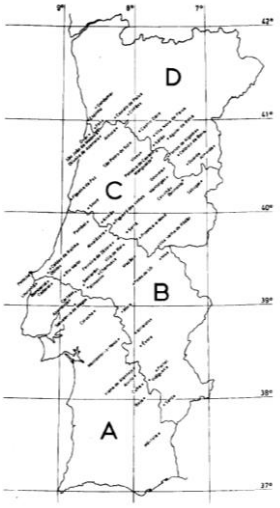


Figura 3.1 - Zonas sísmicas de Portugal continental.

Como pode constatar-se pela análise do quadro anterior, dos sessenta e três projetos analisados 24,2% estão inseridos na zona sísmica C e 75,8% na zona sísmica D. Salienta-se que os processos são identificados de Processo P1 a Processo P62, sendo que no Processo P35 estão incluídos dois edifícios, identificados por P35 e P35.A1/A2.

3.1.3. DESCRIÇÃO SUMÁRIA DE CADA PROJETO

No âmbito deste trabalho e como já referido, foram analisados sessenta e três projetos de edifícios, selecionados de forma a constituírem amostra representativa dos licenciados em Portugal continental, enquadrando as utilizações-tipo e as categorias de risco previstas na regulamentação de segurança contra incêndio em edifícios (SCIE).

Optou-se por apresentar a descrição sumária dos projetos sob a forma de quadros, para permitir uma mais rápida consulta das características de cada um, considerando os parâmetros que os caraterizam do ponto de vista do estudo do seu comportamento em situação de incêndio, conforme a recente legislação portuguesa sobre a matéria, já identificada e tratada no capítulo anterior. Estes parâmetros correspondem aos fatores de risco indicados no RJ-SCIE (2008) para cada utilização-tipo, e permitem definir a categoria de risco e o correspondente escalão de resistência ao fogo. Indica-se, também, se os edifícios são de utilização exclusiva ou mista, conforme integrem uma única ou diversas utilizações-tipo, mostrando-se, para estas situações, as caraterísticas de cada utilização-tipo neles inserida.

A referida descrição dos projetos é apresentada em quadros sucessivos, desde o Quadro 3.3, para a "UT I - Habitacionais" até ao Quadro 3.16, para a "UT XII - Industriais, oficinas e armazéns". Atendendo a que estes quadros são organizados por utilização-tipo, elaborou-se o Quadro 3.2 que a seguir se apresenta, permitindo identificar o tipo de utilização principal correspondente a cada processo e, assim, facilitar a consulta de elementos no decorrer desta dissertação.

Para o preenchimento de alguns desses quadros houve que determinar o efetivo de acordo com os índices indicados no RT-SCIE (2008), apresentando-se o cálculo respetivo no Anexo A3.1, e a densidade de carga de incêndio modificada conforme os "Critérios Técnicos para Determinação da Densidade de Carga de Incêndio" (Despacho, 2009), cujo desenvolvimento se apresenta no Anexo A3.2. Uma descrição mais pormenorizada de cada projeto é apresentada no Subcapítulo 3.4 desta dissertação.

Quadro 3.2 - Utilização-tipo prevista para cada um dos edifícios analisados.

Identificação do processo	Tipo de ocupação principal	Tipo de utilização	
		Exclusiva	Mista
P1	UT I		•
P2	UT I		•
P3	UT I	•	
P4	UT I		•
P5	UT I		•
P6	UT I	•	
P7	UT I		•
P8	UT IV		•
P9	UT I		•
P10	UT XI	•	
P11	UT I		•
P12	UT IV		•
P13	UT VII	•	
P14	UT I		•
P15	UT X	•	
P16	UT VII		•
P17	UT I		•
P18	UT VIII		•
P19	UT I		•
P20	UT IV	•	
P21	UT I	•	
P22	UT IV	•	
P23	UT I	•	
P24	UT VII		•
P25	UT III	•	
P26	UT IV		•
P27	UT II	•	
P28	UT III	•	
P29	UT IV		•
P30	UT IV		•
P31	UT IV		•
P32	UT IV		•
P33	UT IV		•
P34	UT IV		•
P35	UT V		•
P35.A1/A2	UT XII	•	
P36	UT IV		•
P37	UT III		•
P38	UT XII	•	
P39	UT VIII		•
P40	UT I	•	
P41	UT XII		•
P42	UT XII		•
P43	UT III		•
P44	UT III		•
P45	UT I		•
P46	UT I		•
P47	UT IV		•
P48	UT IX	•	
P49	UT V	•	
P50	UT VI	•	
P51	UT IV		•
P52	UT VI	•	
P53	UT I		•
P54	UT I		•
P55	UT I		•
P56	UT I		•
P57	UT I		•
P58	UT I		•
P59	UT I		•
P60	UT I		•
P61	UT III		•
P62	UT III		•

Quadro 3.3 - Características dos edifícios da utilização-tipo I – Habitacionais.

Número do processo	UT I - Habitacionais										Outras UT																							
											UT II - Estacionamentos														UT VIII – Comerciais e gares de transporte										
	Tipo de utilização		Altura da UT I [m]				Nº de pisos ocupados pela UT I abaixo do plano de referência				Altura da UT II [m]				Área bruta ocupada pela UT II [m^2]				Nº de pisos ocupados pela UT II abaixo do plano de referência				Altura da UT VIII [m]				Nº de pisos ocupados pela UT VIII abaixo do plano de referência				Efetivo da UT VIII			
	Exclusiva	Mista	≤9	≤28	≤50	>50	≤1	≤3	≤5	>5	≤9	≤28	≤28	>28	≤3200	≤9600	≤32000	>32000	≤1	≤3	≤5	>5	≤9	≤28	≤28	>28	0	≤1	≤2	>2	≤100	≤1000	≤5000	>5000
P 1		•		11,63			1				0				183,5				1															
P 2		•			37,39			3			0				1237,8					3			0				0					225		
P 3	•		5,13				0																											
P 4		•		17,70				2			0				291,5				1				0					1				248		
P 5		•	7,80				1				0				234,6				1															
P 6	•		5,35				0																											
P 7		•		17,10			1				0				398,0				1															
P 9		•	5,70				1				0				364,0				1															
P 11		•		15,85				2			0				1672,0					2			0				0					492		
P 14		•			29,50			3			0				1539,1					3			3,5					1				302		
P 17		•			31,10			3			0					3340				3														
P 19		•	7,13				1				0				294,7				1															
P 21	•		9,00				0																											
P 23	•		3,10				0																											
P 40	•		4,70				0																											
P45		•		27,90				2			0						22060			3														
P46		•		27,65				2			0						22153			3														
P53		•		27,65				2			0						22153			3														
P54		•		27,90				2			0						22060			3														
P55		•		26,90				2			0						22258			3														
P56		•		27,90				2			0						20186			2														
P57		•		26,80				2			0						21257			2														
P58		•		26,75				2			0						20655			2														
P59		•		27,65				2			0						21883			3														
P60		•		27,35				2			0						22348			3														

Quadro 3.4 - Características dos edifícios da utilização-tipo II – Estacionamentos.

Número do processo	Tipo de utilização		UT II- Estacionamentos											
			Altura da UT II [m]				Área bruta ocupada pela UT II [m^2]				Número de pisos ocupados pela UT II abaixo do plano de referência			
	Exclusiva	Mista	≤9	≤28	≤28	>28	≤3200	≤9600	≤32000	>32000	≤1	≤3	≤5	**>5**
P27	●		0				1323				1			

Quadro 3.5 - Características dos edifícios da utilização-tipo III – Administrativos.

Número do processo	Tipo de utilização		UT III- Administrativos								Outras UT																			
											UT II – Estacionamentos												UT XII – Industriais, oficinas e armazéns							
			Altura da UT III [m]				Efetivo da UT III				Altura da UT II [m]				Área bruta ocupada pela UT II [m^2]				Nº de pisos ocupados pela UT II abaixo do plano de referência				Carga de incêndio modificada da UT XII [MJ/m^2]				Nº de pisos ocupados pela UT XII abaixo do plano de referência			
	Exclusiva	Mista	≤9	≤28	≤50	>50	≤100	≤1000	≤5000	>5000	≤9	≤28	≤28	>28	≤3200	≤9600	≤32000	>32000	≤1	≤3	≤5	>5	≤500	≤5000	≤15000	>15000	0	≤1	≤1	>1
P25	●		8,7					347																						
P28	●		7,0					191																						
P37		●			28,3				1332														20,5				0			
P43		●		27,9					1581		0						22060			2										
P44		●		26,9					1639		0						21959			3										
P61		●		27,3					1495		0						22193			3										
P62		●		27,5					1536		0						22080			2										

Quadro 3.6 - Características dos edifícios da utilização-tipo IV – Escolares (Com UT VI).

Número do processo	Tipo de utilização		UT IV - Escolares													Outras UT											
																UT VI – Espetáculos e reuniões públicas											
			Altura da UT IV [m]				Efetivo da UT IV									Altura da UT VI [m]				Nº de pisos ocupados pela UT VI abaixo do plano de referência				Efetivo da UT VI			
							Efetivo				Efetivo em locais de risco D ou E																	
	Exclusiva	Mista	≤9	≤9	≤28	>28	≤100	(*) ≤500	≤1500	>1500	≤25	≤100	≤400	>400		≤9	≤28	≤28	>28	0	≤1	≤2	>2	≤100	≤1000	≤5000	>5000
P8		●			15,5					7723	0						15,5			0					498		
P20	●		0					143					130														
P22	●			4,3				315			24																
P51		●		4,3				703			0					4,3					1				378		
(*) - Onde não existam locais de risco D ou E estes limites máximos podem aumentar 50%																											

Quadro 3.7 - Características dos edifícios da utilização-tipo IV – Escolares (Com UT XI).

Número do processo	UT IV - Escolares																Outras UT																							
																	UT XII – Industriais, oficinas e armazéns								UT XI – Bibliotecas e arquivos																
	Tipo de utilização		Altura da UT IV [m]				Efetivo da UT IV										Carga de incêndio modificada da UT XII [MJ/m^2]				Nº de pisos ocupados pela UT XII abaixo do plano de referência				Altura da UT XI [m]				Nº de pisos ocupados pela UT XI abaixo do plano de referência				Efetivo da UT XI				Carga de incêndio modificada da UT XI [MJ/m^2]			
							Efetivo				Efetivo em locais de risco D ou E																															
	E	M	≤9	≤9	≤28	>28	≤100	(*) ≤500	(*) ≤1500	>1500	≤25	≤100	≤400	>400			≤500	≤5000	≤15000	>15000	0	≤1	≤1	>1	≤9	≤28	≤28	>28	0	≤1	≤2	>2	≤100	≤500	≤1500	>1500	≤5000	≤50000	≤150000	>150000
P47		●			13,7				1692		0						74,4				0					13,7			0				54				710,1			
(*) - Onde não existam locais de risco D ou E estes limites máximos podem aumentar 50%																																							

Quadro 3.8 - Características dos edifícios da utilização-tipo IV – Escolares (Com UT III e UT XII).

Número do processo	UT IV - Escolares														Outras UT													
															UT XII – Industriais, oficinas e armazéns								UT III - Administrativos							
	Tipo de utilização		Altura da UT IV [m]				Efetivo da UT IV								Carga de incêndio modificada da UT XII [MJ/m^2]				Nº de pisos ocupados pela UT XII abaixo do plano de referência				Altura da UT III [m]				Efetivo da UT III			
							Efetivo				Efetivo em locais de risco D ou E																			
	Exclusiva	Mista	≤9	≤9	≤28	>28	≤100	(*) ≤500	(*) ≤1500	>1500	≤25	≤100	≤400	>400	≤500	≤5000	≤15000	>15000	0	≤1	≤1	>1	≤9	≤28	≤50	>50	≤100	≤1000	≤5000	>5000
P12		•			18,6				942		0				174,8				0											
P26		•			15,0			609			0				192,7				0											
P29		•			15,0				781		0				153,5				0											
P30		•			14,0				934		0				376,1				0											
P31		•			10,0				898		0				281,0					1										
P32		•			15,4				769		0				420,5					1										
P33		•			11,5			434			0					568,9			0											
P34		•			10,5			213			0					573,9			0											
P36		•		4,1				287			0				429,4					1			4,1				50			

(*) - Onde não existam locais de risco D ou E estes limites máximos podem aumentar 50%

Quadro 3.9 - Características dos edifícios da utilização-tipo V - Hospitalares e lares de idosos.

Número do processo	Tipo de utilização		UT V – Hospitalares e lares de idosos												Outras UT											
															UT VII – Hoteleiros e restauração											
			Altura da UT V [m]				Efetivo da UT V								Altura da UT VII [m]				Efetivo da UT VII							
							Efetivo				Efetivo em locais de risco D ou E								Efetivo				Efetivo em locais de risco E			
	Exclusiva	Mista	≤9	≤9	≤28	>28	≤100	≤500	≤1500	>1500	≤25	≤100	≤400	>400	≤9	≤9	≤28	>28	≤100	≤500	≤1500	>1500	≤50	≤200	≤800	>800
P35		•				29,0				6448				1270			22,4				1041		0			
P49	•		4,1						1478				263													

Quadro 3.10 - Características dos edifícios da utilização-tipo VI - Espetáculos e reuniões públicas.

Número do processo	Tipo de utilização		UT VI – Espetáculos e reuniões públicas											
			Altura da UT VI [m]				Nº de pisos ocupados pela UT VI abaixo do plano de referência				Efetivo da UT VI			
	Exclusiva	Mista	≤9	≤28	≤28	>28	0	≤1	≤2	>2	≤100	≤1000	≤5000	>5000
P50	•			12,0				1				931		
P52	•		4,2					1				431		

Quadro 3.11 - Características dos edifícios da utilização-tipo VII - Hoteleiros e restauração.

Número do processo	Tipo de utilização		UT VII – Hoteleiros e restauração												Outras UT											
															UT II – Estacionamentos											
			Altura da UT VII [m]				Efetivo da UT VII								Altura da UT II [m]				Área bruta ocupada pela UT II [m^2]				Nº de pisos ocupados pela UT II abaixo do plano de referência			
							Efetivo				Efetivo em locais de risco E															
	Exclusiva	Mista	≤9	≤9	≤28	>28	≤100	≤500	≤1500	>1500	≤50	≤200	≤800	>800	≤9	≤28	≤28	>28	≤3200	≤9600	≤32000	>32000	≤1	≤3	≤5	>5
P13	•				9,8				805		0															
P16		•			13,8				561			160			0				880,5					2		
P24		•			22,4					1518			251		0					4334,6				2		

Quadro 3.12 - Características dos edifícios da utilização-tipo VIII - Comerciais e gares de transportes.

Número do processo	UT VIII – Comerciais e gares de transportes														Outras UT																							
															UT II – Estacionamentos														UT VI - Espetáculos e reuniões públicas											
	Tipo de utilização		Altura da UT VIII [m]				Nº de pisos ocupados pela UT VIII abaixo do plano de referência				Efetivo da UT VIII				Altura da UT II [m]				Área bruta ocupada pela UT II [m^2]				Nº de pisos ocupados pela UT II abaixo do plano de referência				Altura da UT VI [m]				Nº de pisos ocupados pela UT VI abaixo do plano de referência				Efetivo da UT VI			
	E	M	≤9	≤28	≤28	>28	0	≤1	≤2	>2	≤100	≤1000	≤5000	>5000	≤9	≤28	≤28	>28	≤3200	≤9600	≤32000	>32000	≤1	≤3	≤5	>5	≤9	≤28	≤28	>28	0	≤1	≤2	>2	≤100	≤1000	≤5000	>5000
P18		•		24,0						3				13962		18,0						36400,0		2				24,0			0						1126	
P39		•				30,5				6				16028	0							32752,3				6												

Quadro 3.13 - Características dos edifícios da utilização-tipo IX - Desportivos e de lazer.

Número do processo	Tipo de utilização		UT IX – Desportivos e de lazer											
			Altura da UT IX [m]				Nº de pisos ocupados pela UT IX abaixo do plano de referência				Efetivo da UT IX			
	Exclusiva	Mista	≤9	≤28	≤28	>28	0	≤1	≤2	>2	≤100	≤1000	≤5000	>5000
P48	•			9,8			0					868		

Quadro 3.14 - Características dos edifícios da utilização-tipo X
Museus e galerias de arte.

Número do processo	Tipo de utilização		UT X – Museus e galerias de arte							
			Altura da UT X [m]				Efetivo da UT X			
	Exclusiva	Mista	≤9	≤28	≤28	>28	≤100	≤500	≤1500	>1500
P15	•		4,2							1875

Quadro 3.15 - Características dos edifícios da utilização-tipo XI - Bibliotecas e arquivos.

Número do processo	Tipo de utilização		UT XI – Bibliotecas e arquivos															
			Altura da UT XI [m]				Nº de pisos ocupados pela UT XI abaixo do plano de referência				Efetivo da UT XI				Carga de incêndio modificada da UT XI [MJ/m^2]			
	Exclusiva	Mista	≤9	≤28	≤28	>28	0	≤1	≤2	>2	≤100	≤500	≤1500	>1500	≤5000	≤50000	≤150000	>150000
P10	•			25,8			0						1062			9579,4		

Quadro 3.16 - Características dos edifícios da utilização-tipo XII - Industriais, oficinas e armazéns.

Número do processo	UT XII – Industriais, oficinas e armazéns										Outras UT							
											UT III - Administrativos							
	Tipo de utilização		Carga de incêndio modificada da UT XII [MJ/m^2]				Número de pisos ocupados pela UT XII abaixo do plano de referência				Altura da UT III				Efetivo da UT III			
	Exclusiva	Mista	≤500	≤5000	≤15000	>15000	0	≤1	≤1	>1	≤9	≤28	≤50	>50	≤100	≤1000	≤5000	>5000
P35.A1/A2	●			1753,5			0											
P38	●			797,4				1										
P41		●				29216,4	0				3,5				94			
P42		●			7852,2		0				6,5					200		

Como já referido, o efetivo foi determinado de acordo com os índices indicados no "Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios" (RT-SCIE, 2008), apresentando-se o procedimento e os cálculos no Anexo A.3.1, e a densidade de carga de incêndio modificada foi determinada de acordo com o estipulado nos "Critérios Técnicos para Determinação da Densidade de Carga de Incêndio" (Despacho, 2009), como se mostra no Anexo A.3.2.

3.1.4. ENQUADRAMENTO ESTATÍSTICO

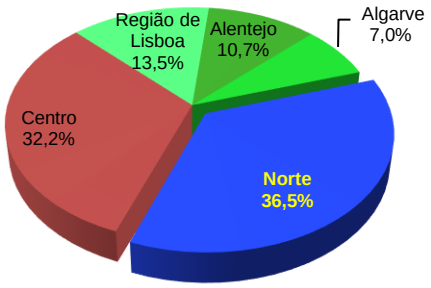
3.1.4.1. INTRODUÇÃO

Os sessenta e três projetos de edifícios analisados foram selecionados criteriosamente, de modo a que correspondessem a uma amostra representativa dos licenciados em Portugal. Para validação daquela amostra proceder-se-á, então, à comparação entre os edifícios selecionados e os licenciados em Portugal em 2008, ano correspondente à publicação, pelo Instituto Nacional de Estatística, dos últimos sensos sobre esta matéria, à data da elaboração desta fase do trabalho.

3.1.4.2. ENQUADRAMENTO DO PONTO DE VISTA DA LOCALIZAÇÃO DOS EDIFÍCIOS

De acordo com as estatísticas do Instituto Nacional de Estatística (INE, 2009), em 2008 o parque habitacional português foi estimado em 3,4 milhões de edifícios, 35,0% dos quais se situa no Norte, 31,2% no Centro, na região de Lisboa 12,5% e nas restantes regiões 21,3% (não incluindo as ilhas).

Dos 26 090 edifícios licenciados no mesmo ano, em Portugal continental, 9515 (36,5%) são no Norte, com 408 (5,4%) no Grande Porto, 8389 (32,2%) no Centro, 3535 (13,5%) na região de Lisboa, com 1973 (7,6%) na Grande Lisboa, 2788 (10,7%) no Alentejo e 1863 (7,1%) no Algarve. A Figura 3.2 mostra esta distribuição.

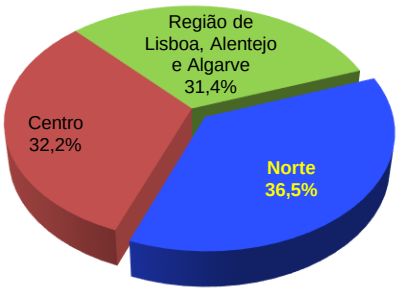


Zonas do País	Edifícios licenciados em 2008
Norte	9515
Centro	8389
Região de Lisboa	3535
Alentejo	2788
Algarve	1863
Total	26090

Figura 3.2 - Edifícios licenciados em Portugal continental, em 2008, considerando as cinco regiões indicadas no boletim do Instituto Nacional de Estatística (INE, 2009).

Considerou-se, ainda, Portugal continental dividido em três grandes zonas (Zona Norte, Zona Centro, e Zona que engloba a região de Lisboa, o Alentejo e o Algarve), para realçar o objetivo do enquadramento do ponto de vista da localização dos edifícios em análise. Como se pode observar na Figura 3.3, no referido ano cerca de 37% dos edifícios foram licenciados na zona Norte, 32% no Centro e 31% na região de Lisboa, Alentejo e Algarve.

Neste gráfico, as percentagens obtiveram-se considerando a soma dos edifícios licenciados na região de Lisboa, Alentejo e Algarve e não a soma das percentagens correspondentes às partes que a constituem, já que estas últimas, indicadas na Figura 3.2, foram sujeitas a arredondamento.



Zonas do País	Edifícios licenciados em 2008
Norte	9515
Centro	8389
Região de Lisboa, Alentejo e Algarve	8186
Total	26090

Figura 3.3 - Edifícios licenciados em Portugal continental, em 2008, considerando-o dividido em três grandes zonas: Zona Norte, Zona Centro e Zona da região de Lisboa, Alentejo e Algarve.

Constata-se que, do ponto de vista do número de edifícios licenciados, a zona Norte, onde se inserem os edifícios objeto deste estudo, é a mais representativa.

3.1.4.3. ENQUADRAMENTO DO PONTO DE VISTA DO TIPO DE OCUPAÇÃO DOS EDIFÍCIOS

Os edifícios em análise têm ocupações diversas, inseridas nas utilizações-tipo estabelecidas no parágrafo n.º1 do artigo 8.º do RJ-SCIE (2008) e são de utilização exclusiva ou mista, conforme integrem uma única ou diversas utilizações-tipo, de acordo com as definições indicadas no parágrafo n.º2 do mesmo artigo. A descrição sumária de cada projeto, do ponto de vista dos parâmetros enquadradores nas categorias de risco da atual legislação de SCIE, foi apresentada no subcapítulo 3.1.3 deste trabalho.

Dos edifícios selecionados, 40% são habitacionais, 22% escolares e os demais 38% são distribuídos pelas dez restantes utilizações-tipo, conforme indicado no Quadro 3.17 e na Figura 3.4.

Quadro 3.17 - Número de processos analisados por utilização-tipo.

Utilização - Tipo	Número de processos
UT I - Habitacionais	25
UT II - Estacionamentos	1
UT III - Administrativos	7
UT IV - Escolares	14
UT V - Hospitalares e lares de idosos	2
UT VI - Espetáculos e reuniões públicas	2
UT VII - Hoteleiros e restauração	3
UT VIII - Comerciais e gares de transportes	2
UT IX - Desportivos e de lazer	1
UT X - Museus e galerias de arte	1
UT XI - Bibliotecas e arquivos	1
UT XII - Industriais, oficinas e armazéns	4

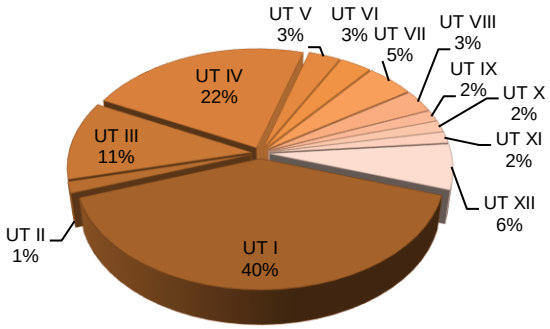


Figura 3.4 - Percentagem de processos analisados por utilização-tipo.

Optou-se por analisar um maior número de edifícios de habitação já que, também de acordo com os quadros estatísticos publicados no documento do I.N.E. (2009) atrás identificado, 79,8% dos 26090 edifícios licenciados em 2008 são para habitação familiar e os restantes 20,2% para os outros tipos de utilização aí estudados, isto é, "Agricultura e pesca", "Indústria", "Turismo", "Outros serviços" e "Outros destinos".

Não obstante os edifícios escolares corresponderem, naquelas estatísticas, a uma pequena parcela do parque edificável, estudaram-se catorze projetos, 22% do total, já que se considera ser uma situação atual, uma vez que se encontra em curso um processo de reabilitação e requalificação do parque escolar.

3.1.4.4. ENQUADRAMENTO DO PONTO DE VISTA DA ALTURA DOS EDIFÍCIOS

Inseridos na Utilização-Tipo I "Habitacionais", 32,0% dos edifícios estudados são de altura igual ou inferior a 9m, 56,0% de altura igual ou inferior a 28m e 12,0% de altura igual ou inferior a 50m. No Quadro 27 da publicação "Estatísticas da Construção e Habitação 2008" (INE, 2009) são quantificados os edifícios licenciados em construções novas para habitação familiar, segundo o número de pavimentos. Aí, "pavimento" é definido como cada um dos planos habitáveis ou utilizáveis do edifício, qualquer que

seja a sua relação com o nível do terreno. As caves, subcaves e águas furtadas, habitáveis ou utilizáveis, são consideradas pavimentos.

A altura da utilização-tipo é definida, no RJ-SCIE (2008), como "a diferença de cota entre o plano de referência e o pavimento do último piso acima do solo, suscetível de ocupação por essa utilização-tipo" e plano de referência "o plano de nível, à cota de pavimento do acesso destinado às viaturas de socorro, medida na perpendicular a um vão de saída direta para o exterior do edifício". Apenas com o propósito de comparação estatística entre os edifícios analisados e os licenciados, considera-se a seguinte relação aproximada entre o número de pavimentos e a altura do edifício:

1 a 4 pavimentos ---------- $h \leq 9$m
5 a 10 pavimentos ---------- $h \leq 28$m
+ 10 pavimentos ---------- $h \leq 50$m e $h > 50$m

Ainda no Quadro 27 da referida publicação é indicada a seguinte distribuição dos 20807 projetos de edifícios licenciados para habitações em 2008, conforme o número de pisos:

1 a 4 pavimentos ---------- 19934 projetos licenciados - 95,8%
5 a 10 pavimentos ---------- 804 projetos licenciados - 3,9%
+ 10 pavimentos ---------- 69 projetos licenciados - 0,3%

Considerando a relação aproximada, atrás referida, entre o número de pavimentos e a altura do edifício, pode inferir-se a percentagem de edifícios licenciados em função da sua altura:

$h \leq 9$m ---------- 19934 projetos licenciados - 95,8%
$h \leq 28$m ---------- 804 projetos licenciados - 3,9%
$h \leq 50$m e h > 50m ------- 69 projetos licenciados - 0,3%

Constando, na publicação do INE (2009), que nos 19934 projetos licenciados com $h \leq 9$m estão incluídos 18883 correspondentes a moradias, conclui-se que restam 1051 edifícios de habitação coletiva licenciados neste escalão de altura. Não sendo feitas exigências relativamente à resistência ao fogo dos elementos estruturais de edifícios afetos à Utilização-Tipo I "habitacionais" da 1.ª categoria de risco destinados a habitação unifamiliar, como estipula o RT-SCIE (2008), retirar-se-ão, do universo dos edifícios licenciados para habitações, os correspondentes a moradias.

Os dois gráficos que a seguir se apresentam traduzem estes dados estatísticos. Da Figura 3.5, que mostra a distribuição dos edifícios licenciados em 2008 pelos diferentes tipos de ocupação, salienta-se que a grande maioria corresponde a habitações unifamiliares e apenas 7,4% a habitação coletiva. As outras ocupações, como "Agricultura e pesca", "Indústria", "Turismo", "Outros serviços" e "Outros destinos", têm uma representatividade de 20,2%.

Evidencia-se que, dos 26090 edifícios licenciados em Portugal em 2008, apenas 1929 são de habitação coletiva, 5278 correspondem a tipos de ocupação diversos, e 18883 são moradias (habitação unifamiliar).

Edifícios licenciados em 2008		
Tipo de ocupação	Número de edifícios	%
Moradias	18883	72,4
Habitação coletiva	1929	7,4
Outros	5278	20,2
Totais	26090	100,0

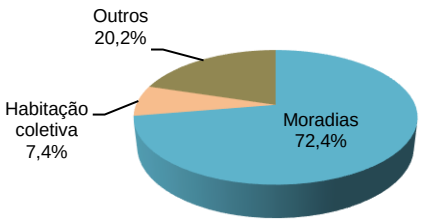


Figura 3.5 - Distribuição dos edifícios licenciados em 2008 pelos diferentes tipos de ocupação.

Comparam-se, na Figura 3.6, os edifícios licenciados em 2008 com os analisados neste estudo, para habitação coletiva e para outros tipos de ocupação. A percentagem de edifícios estudados, para habitação coletiva, é superior à dos licenciados e é menor para os outros tipos de utilização. Salienta-se que no grupo destes são inseridos edifícios que não requerem a verificação detalhada da segurança contra incêndios nos termos do RT-SCIE (2008), não sendo possível, a partir dos elementos publicados, definir a percentagem exata correspondente a cada tipo de ocupação.

Edifícios licenciados em 2008			Edifícios analisados		
Tipo de ocupação	Número de edifícios	%	Tipo de ocupação	Número de edifícios	%
Habitação coletiva	1929	26,8	Habitação coletiva	25	39,7
Outros	5278	73,2	Outros	38	60,3
Total	7207	100	Total	63	100

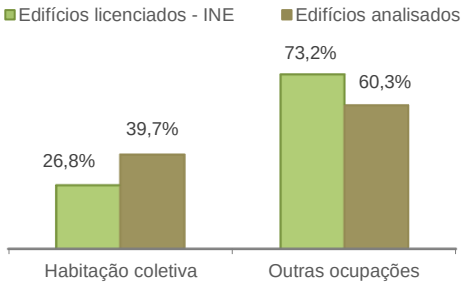


Figura 3.6 - Comparação percentual dos edifícios licenciados em 2008, excetuando os de habitação unifamiliar, com os analisados neste estudo.

Retomando o estudo da distribuição dos edifícios conforme a sua altura, considerem-se os 1929 projetos licenciados de habitação coletiva. Destes, 54,6% correspondem a edifícios com $h \leq 9$m, 41,8% apresentam $h \leq 28$m e 3,6% têm a altura $h \leq 50$m e $h > 50$m. Dos edifícios da "UT I – Habitacionais" analisados neste estudo, 32,0% têm $h \leq 9$m, 56,0% $h \leq 28$m e 12,0% $h \leq 50$m. Na Figura 3.7 comparam-se as percentagens dos edifícios analisados e dos licenciados em 2008 para habitação coletiva, tomando em consideração as respetivas alturas.

De notar que se deu ênfase a edifícios de maior altura pelo facto de lhes corresponder um maior risco de incêndio e, assim, se exigir maior resistência ao fogo, com o consequente agravamento em termos do dimensionamento dos elementos estruturais que os constituem.

Não se comparam as alturas ou outras características dos edifícios inseridos nas restantes utilizações-tipo, já que essa informação não é disponibilizada pelo Instituto Nacional de Estatística (INE, 2009).

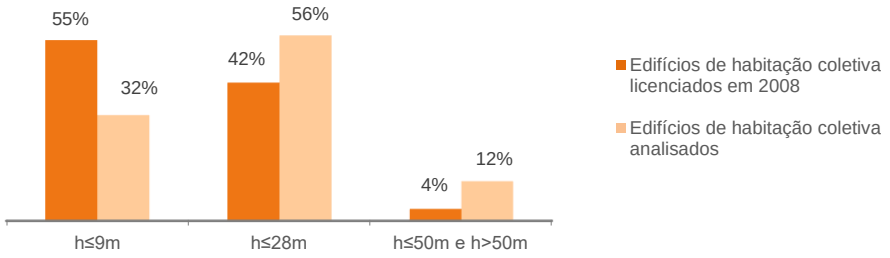


Figura 3.7 - Comparação entre as percentagens de edifícios analisados e os licenciados em 2008 para habitação coletiva, considerando as respetivas alturas.

3.2. ANÁLISE DOS PROJETOS QUE SERVIRAM DE BASE A ESTE ESTUDO

3.2.1. INTRODUÇÃO

Para dimensionar ao fogo as estruturas dos edifícios, há que determinar o escalão de resistência ao fogo, isto é, como consta nas normas europeias e regulamentação vigentes, o período de tempo durante o qual uma estrutura, uma parte da estrutura ou um elemento estrutural desempenha as funções pretendidas (função de suporte de cargas e/ou função de compartimentação) para um nível de carga específico, quando sujeita a uma definida situação de incêndio. A especificação deste período de tempo (definição da classe de resistência ao fogo) é feita de acordo com o estipulado, sobre essa matéria, na regulamentação de cada país. Em Portugal, como já referido, esta regulamentação é constituída por três diplomas, o Regime Jurídico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios (RJ-SCIE, 2008), o Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios (RT- SCIE, 2008) e os Critérios Técnicos para Determinação da Densidade de Carga de Incêndio (Despacho, 2009).

A análise dos projetos que servirão de base ao estudo em curso terá que começar por versar, então, a definição da categoria de risco, em função dos fatores de risco inerentes a cada utilização-tipo.

3.2.2. TIPO DE UTILIZAÇÃO E CATEGORIA DE RISCO

No RJ-SCIE (2008), os edifícios ou as partes que os constituem são classificados, considerando o tipo de ocupação principal, em doze utilizações-tipo, UT I a UT XII. Podem ser de utilização exclusiva ou de utilização mista, se integram uma única utilização-tipo ou diversas. São também contempladas quatro categorias de risco de incêndio: 1.ª categoria a 4.ª categoria, de risco reduzido a risco muito elevado, como se indica no Quadro 3.18. Estas categorias são definidas em função dos fatores de risco inerentes ao tipo de ocupação. Os espaços que constituem os edifícios e recintos podem, ainda, ser classificados de acordo com a natureza do risco, sendo previstos seis locais de risco distintos, de A a F.

Quadro 3.18 - Categorias de risco previstas no RJ-SCIE (2008).

Categorias de risco	
1.ª Categoria	Risco reduzido
2.ª Categoria	Risco moderado
3.ª Categoria	Risco elevado
4.ª Categoria	Risco muito elevado

As utilizações-tipo previstas no RJ-SCIE (2008) e os correspondentes fatores de risco são indicados no Quadro 2.4 do Capítulo 2, assinalando-se os que são condicionantes para a definição da categoria de risco, em cada tipo de ocupação. No Quadro 2.3 do mesmo capítulo assinala-se a classificação dos locais de risco, definida em função da natureza do risco inerente a cada um desses locais. O escalão de resistência ao fogo padrão dos elementos estruturais é definido em função da categoria de risco, para cada utilização-tipo, como se ilustra no Quadro 2.5 do referido capítulo, transcrito do RT-SCIE (2008).

É estipulado, no Artigo 12.º do RJ-SCIE (2008), que as utilizações-tipo inseridas em cada edifício sejam classificadas em categorias de risco, definidas em função de fatores de risco inerentes ao tipo de ocupação. Considerando os fatores de risco de cada edifício, indicados nos Quadros 3.3 a 3.16, definiram-se os correspondentes escalões de resistência ao fogo, por consulta direta do Quadro 2.5.

No Anexo A3.3 apresentam-se quadros que mostram a definição do escalão de resistência ao fogo em função da categoria de risco e dos fatores de risco, para cada utilização-tipo de cada um dos edifícios analisados. Nesses quadros, os valores dos parâmetros correspondentes aos fatores de risco, para cada situação, são assinalados pelo sombreamento da correspondente célula.

Foram analisados sessenta e três projetos de edifícios que, conforme o seu tipo de ocupação principal, se classificaram e inseriram nas doze utilizações-tipo (conforme indicado no Quadro 3.17), com a distribuição que se pode verificar pela consulta dos Quadros 3.19, 3.20 e 3.21. Para melhor enquadrar o conjunto de processos examinados indica-se, também nestes quadros, se a utilização dos edifícios é exclusiva ou mista. Nesta última situação, apontam-se as utilizações-tipo que se integram no edifício, a categoria de risco definida para cada uma dessas utilizações-tipo e a correspondente resistência ao fogo preconizada no Quadro IX do RT-SCIE (2008), transcrito no Quadro 2.5 desta dissertação. Indica-se também a categoria de risco do edifício, estabelecida de acordo com o estipulado no parágrafo n.º5 do Art.º13º do RJ-SCIE (2008).

Quadro 3.19 - Processos por utilização-tipo – UT I.

Utilização-tipo	Número do processo	Tipo de ocupação		Categoria de risco da UT	Resistência ao fogo	Categoria de risco do edifício
		Exclusiva	Mista UT integradas			
UT I Habitacionais	P1	-	UT I "Habitacionais"	2.ª	R60	2.ª
			UT II "Estacionamentos"	1.ª	R60	
	P2	–	UT I "Habitacionais"	3.ª	R90	3.ª
			UT II "Estacionamentos"	2.ª	R90	
			UT VIII "Comerciais e gares de transporte"	2.ª	R90	
	P3	√	–	1.ª	R30	1.ª
	P4	–	UT I "Habitacionais"	2.ª	R60	2.ª
			UT II "Estacionamentos"	1.ª	R60	
			UT VIII "Comerciais e gares de transporte"	2.ª	R60	
	P5	–	UT I "Habitacionais"	1.ª	R30	1.ª
			UT II "Estacionamentos"	1.ª	R60	
	P6	√	–	1.ª	R30	1.ª
	P7	–	UT I "Habitacionais"	2.ª	R60	2.ª
			UT II "Estacionamentos"	1.ª	R60	
	P9	–	UT I "Habitacionais"	1.ª	R30	1.ª
			UT II "Estacionamentos"	1.ª	R60	
	P11	–	UT I "Habitacionais"	2.ª	R60	2.ª
			UT II "Estacionamento"	2.ª	R90	
			UT VIII "Comerciais e gares de transporte"	2.ª	R60	
	P14	–	UT I "Habitacionais"	3.ª	R90	3.ª
			UT II "Estacionamento"	2.ª	R90	
			UT VIII "Comerciais e gares de transporte"	2.ª	R90	
	P17	–	UT I "Habitacionais"	3.ª	R90	3.ª
			UT II "Estacionamentos"	2.ª	R90	
	P19	–	UT I "Habitacionais"	1.ª	R30	1.ª
			UT II "Estacionamentos"	1.ª	R60	
	P21	√	–	1.ª	R30	1.ª
	P23	√	–	1.ª	R30	1.ª
	P40	√	–	1.ª	R30	1.ª
	P45	–	UT I "Habitacionais"	2.ª	R60	3.ª
			UT II "Estacionamentos"	3.ª	R120	
	P46	–	UT I "Habitacionais"	2.ª	R60	3.ª
			UT II "Estacionamentos"	3.ª	R120	
	P53	-	UT I "Habitacionais"	2.ª	R60	3.ª
			UT II "Estacionamentos"	3.ª	R120	
	P54	-	UT I "Habitacionais"	2.ª	R60	3.ª
			UT II "Estacionamentos"	3.ª	R120	
	P55	-	UT I "Habitacionais"	2.ª	R60	3.ª
			UT II "Estacionamentos"	3.ª	R120	
	P56	-	UT I "Habitacionais"	2.ª	R60	3.ª
			UT II "Estacionamentos"	3.ª	R120	
	P57	-	UT I "Habitacionais"	2.ª	R60	3.ª
			UT II "Estacionamentos"	3.ª	R120	
	P58	-	UT I "Habitacionais"	2.ª	R60	3.ª
			UT II "Estacionamentos"	3.ª	R120	

Quadro 3.20 - Processos por utilização-tipo – UT I (continuação) a UT IV.

Utilização-tipo	Número do processo	Tipo de ocupação		Categoria de risco da UT	Resistência ao fogo	Categoria de risco do edifício
		Exclusiva	Mista UT integradas			
UT I Habitacionais	P59	-	UT I "Habitacionais"	2.ª	R60	3.ª
			UT II "Estacionamentos"	3.ª	R120	
	P60	-	UT I "Habitacionais"	2.ª	R60	3.ª
			UT II "Estacionamentos"	3.ª	R120	
UT II Estacionamentos	P27	√	–	1.ª	R60	1.ª
UT III Administrativos	P25	√	–	2.ª	R60	2.ª
	P28	√	–	2.ª	R60	2.ª
	P37	–	UT III "Administrativos"	3.ª	R90	3.ª
			UT XII "Industriais, oficinas e armazéns"	1.ª	R60	
	P43	–	UT III "Administrativos"	3.ª	R90	3.ª
			UT II "Estacionamentos"	3.ª	R120	
	P44	–	UT III "Administrativos"	3.ª	R90	3.ª
			UT II "Estacionamentos"	3.ª	R120	
	P61	-	UT III "Administrativos"	3.ª	R90	3.ª
			UT II "Estacionamentos"	3.ª	R120	
	P62	-	UT III "Administrativos"	3.ª	R90	3.ª
			UT II "Estacionamentos"	3.ª	R120	
UT IV Escolares	P8	–	UT IV "Escolares"	4.ª	R120	4.ª
			UT VI "Espetáculos e reuniões públicas"	2.ª	R120	
	P12	–	UT IV "Escolares"	3.ª	R90	3.ª
			UT XII "Industriais, oficinas e armazéns"	1.ª	R90	
	P20	√	–	3.ª	R90	3.ª
	P22	√	–	2.ª	R60	2.ª
	P26	–	UT IV "Escolares"	3.ª	R90	3.ª
			UT XII "Industriais, oficinas e armazéns"	1.ª	R90	
	P29	–	UT IV "Escolares"	3.ª	R90	3.ª
			UT XII "Industriais, oficinas e armazéns"	1.ª	R90	
	P30	–	UT IV "Escolares"	3.ª	R90	3.ª
			UT XII "Industriais, oficinas e armazéns"	2.ª	R90	
	P31	–	UT IV "Escolares"	3.ª	R90	3.ª
			UT XII "Industriais, oficinas e armazéns"	2.ª	R90	
	P32	–	UT IV "Escolares"	3.ª	R90	3.ª
			UT XII "Industriais, oficinas e armazéns"	2.ª	R90	
	P33	–	UT IV "Escolares"	3.ª	R90	3.ª
			UT XII "Industriais, oficinas e armazéns"	2.ª	R90	
	P34	–	UT IV "Escolares"	3.ª	R90	3.ª
			UT XII "Industriais, oficinas e armazéns"	2.ª	R90	

Quadro 3.21 - Processos por utilização-tipo – UT IV (continuação) a UT XII.

Utilização-tipo	Número do processo	Tipo de ocupação		Categoria de risco da UT	Resistência ao fogo	Resistência ao fogo
		Exclusiva	Mista UT integradas			
UT IV Escolares	P36	–	UT IV "Escolares"	2.ª	R60	2.ª
			UT III "Administrativos"	1.ª	R60	
			UT XII "Industriais, oficinas e armazéns"	2.ª	R90	
	P47	–	UT IV "Escolares"	3.ª	R90	3.ª
			UT XII "Industriais, oficinas e armazéns"	2.ª	R90	
			UT XI "Bibliotecas e arquivos"	1.ª	R90	
	P51	–	UT IV "Escolares"	2.ª	R60	2.ª
			UT VI "Espetáculos e reuniões públicas"	2.ª	R60	
UT V Hospitalares e lares de idosos	P35.1	–	UT V "Hospitalares e lares de idosos"	4.ª	R120	4.ª
			UT VII "Hoteleiros e restauração"	3.ª	R120	
	P49	√	–	3.ª	R90	3.ª
UT VI Espetáculos e reuniões públicas	P50	√	–	2.ª	R60	2.ª
	P52	√	–	2.ª	R60	2.ª
UT VII Hoteleiros e restauração	P13	√	–	3.ª	R90	3.ª
	P16	–	UT VII "Hoteleiros e restauração"	3.ª	R90	3.ª
			UT II "Estacionamento"	2.ª	R90	
	P24	–	UT VII "Hoteleiros e restauração"	4.ª	R120	4.ª
			UT II "Estacionamento"	2.ª	R120	
UT VIII Comerciais e gares de transportes	P18	–	UT VIII "Comerciais e gares de transporte"	4.ª	R120	4.ª
			UT II "Estacionamentos"	4.ª	R180	
			UT VI "Espetáculos e reuniões públicas"	3.ª	R120	
	P39	–	UT VIII "Comerciais e gares de transporte"	4.ª	R120	4.ª
			UT II "Estacionamentos"	4.ª	R180	
UT IX Desportivos e de lazer	P48	√	–	2.ª	R60	2.ª
UT X Museus e galerias de arte	P15	√	–	4.ª	R120	4.ª
UT XI Bibliotecas e arquivos	P10	√	–	3.ª	R120	3.ª
UT XII Industriais, oficinas e armazéns	P35.2	√	–	2.ª	R90	2.ª
	P38	√	–	2.ª	R90	2.ª
	P41	–	UT III "Administrativos"	1.ª	R30	4.ª
			UT XII "Industriais, oficinas e armazéns"	4.ª	R180	
	P42	–	UT III "Administrativos"	2.ª	R60	3.ª
			UT XII "Industriais, oficinas e armazéns"	3.ª	R120	

Em situações particulares de alguns dos processos, o escalão de resistência ao fogo que consta nos Quadros 3.19, 3.20 e 3.21 não corresponde ao indicado no Quadro IX do RT-SCIE (2008) para a correspondente categoria de risco. Efetivamente, houve que ponderar, nos edifícios de utilização mista, os escalões definidos para todas as utilizações-tipo neles integradas. Na verificação da resistência ao fogo dos pilares, a definição das dimensões mínimas da secção transversal é dependente do escalão de resistência ao fogo requerido, aumentando aquelas dimensões do menor escalão para o maior. Assim, sempre que o escalão de resistência ao fogo definido para uma utilização-tipo num dado piso é inferior à definida para o piso superior no mesmo alinhamento, considera-se naquele piso inferior o escalão do piso superior. Destacam-se, a seguir, as situações em que tal ocorre, tendo sido assinaladas com preenchimento a cinza, nos Quadros 3.19, 3.20 e 3.21, as células correspondentes aos escalões definidos nos termos atrás referidos.

- Processos P2 e P14 – UT VIII "Comerciais", 2.ª categoria de risco, a que corresponde o escalão R60 → espaços comerciais entre dois pisos classificados no escalão R90 ⇒ UT VIII – R90.

- Processo P8 – UT VI "Espetáculos e reuniões públicas", 2.ª categoria de risco, a que corresponde o escalão R60 → salas de reuniões públicas entre pisos da UT IV classificada no escalão R120 ⇒ UT VI – R120.

- Processos P12, P26, P29 e P30 – Laboratórios (UT XII), 1.ª categoria de risco, a que corresponde o escalão R60 → laboratórios distribuídos por diferentes zonas em cada piso, desaprumados nos vários pisos da UT IV classificada no escalão R90 ⇒ UT XII – R90.

- Processo P18 – Salas de cinema (UT VI), 3.ª categoria de risco, a que corresponde o escalão R90 → salas de cinema adjacentes (com pilares em comum) a espaços da UT VII classificados no escalão R120 ⇒ UT II – R120.

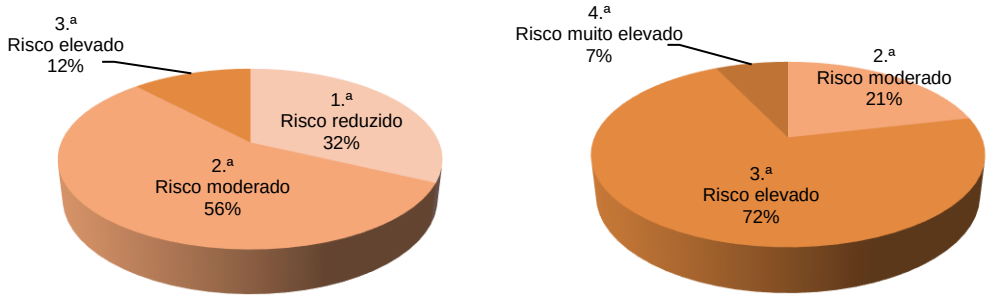
- Processo P24 – Estacionamentos (UT II), 2.ª categoria de risco, a que corresponde o escalão R90 → sob pisos classificados no escalão R120 ⇒ UT II – R120.

- Processos P35.1 – Restaurantes e bares (UT VII), 3.ª categoria de risco, a que corresponde o escalão R90 → restaurantes e bares distribuídos pelos diferentes pisos da UT V classificada no escalão R120, em alinhamentos em altura distintos ⇒ UT VII – R120.

- Processos P36 – Serviços Administrativos (UT III), 1.ª categoria de risco, a que corresponde o escalão R30 → Secretarias e outros serviços administrativos em zonas diferentes em cada piso, nos diversos pisos da UT IV classificada no escalão R60 ⇒ UT III – R60. Neste edifício, os laboratórios (UT XII) encontram-se aprumados.

- Processo P47 – Arquivos (UT XII), 1.ª categoria de risco, a que corresponde o escalão R60 → arquivos em pisos inferiores aos da UT IV classificada no escalão R90 ⇒ UT XII – R90.

Para as duas utilizações-tipo com maior número de processos analisados (UT I e UT IV) elaboraram-se os Gráficos a) e b) apresentados na Figura 3.8, que representam a distribuição dos edifícios destas duas utilizações-tipo pelas diferentes categorias de risco.



a) - UT I "Habitacionais"

b) - UT IV "Escolares"

Figura 3.8 - Categorias de risco dos edifícios analisados da UT I "Habitacionais" e da UT IV "Escolares"

Os edifícios estudados incluídos na Utilização-Tipo I "Habitacionais" distribuem-se pelas três primeiras categorias de risco preconizadas no citado Regime Jurídico (RJ-SCIE, 2008), correspondendo 32 % à 1.ª categoria (risco reduzido), 56 % à 2.ª categoria (risco moderado) e 12 % à 3.ª categoria (risco elevado), como se encontra expresso no Gráfico a) da Figura 3.8.

Relativamente aos edifícios analisados da Utilização-Tipo IV "Escolares", não foi estudado qualquer edifício da 1.ª categoria de risco, pelo facto do efetivo ultrapassar, mesmo para alturas inferiores a 9m, o valor máximo estipulado no Quadro IV do Anexo III do RJ-SCIE (2008) para este fator de risco, isto é, 100 pessoas. Na 2.ª categoria (risco moderado), inserem-se 21% dos projetos, na 3.ª categoria (risco elevado), 72% e na 4.ª categoria (risco muito elevado), 7%, como se pode observar no Gráfico b) da Figura 3.8.

Conclui-se, pois, que mais de metade dos edifícios habitacionais estudados apresentam um risco de incêndio moderado e que a grande maioria dos edifícios escolares analisados apresentam um risco de incêndio elevado.

3.2.2. EXIGÊNCIAS DE RESISTÊNCIA AO FOGO

Definiram-se os escalões de resistência ao fogo correspondentes aos tipos de ocupação previstos em cada um dos processos analisados, considerando-se os edifícios de utilização exclusiva e os de utilização mista. Verificou-se um total de 114 utilizações-tipo nos sessenta e três projetos (correspondente ao somatório do número de utilizações-tipo de todos os edifícios, sendo que nos de utilização exclusiva há apenas uma UT e nos de utilização mista há pelo menos duas UT). Constatou-se, como pode ser observado no gráfico da Figura 3.9, que só os tipos de ocupação correspondentes à UT I – "Habitacionais" e à UT III – " Administrativos" apresentam o escalão R30 (32% da UT I e 9% da UT III) e apenas nas ocupações referentes à UT II – "Estacionamentos" e à UT XII – "Industriais, oficinas e armazéns", se verifica o escalão R180 (7% da UT II e 7% da UT XII).

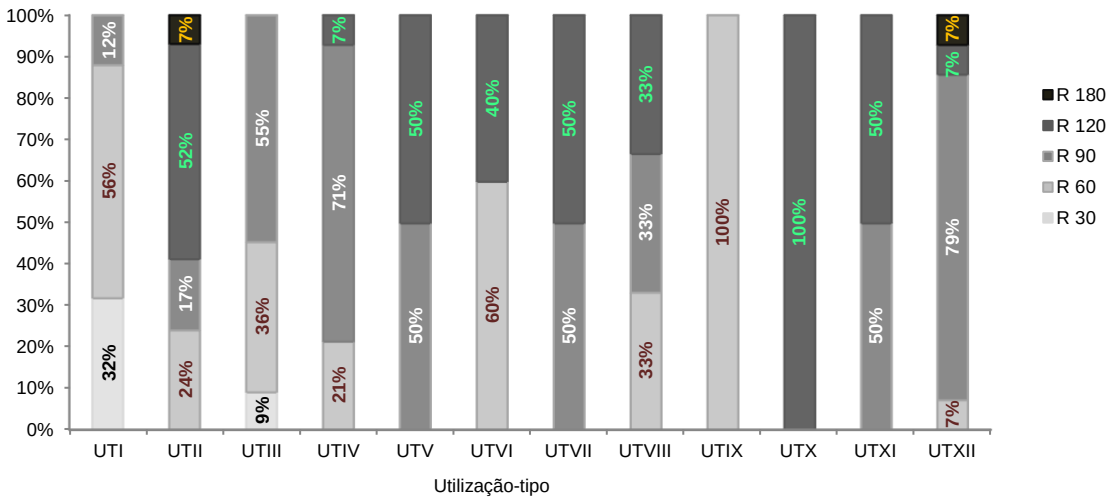


Figura 3.9 - Escalões de resistência ao fogo em cada utilização-tipo.

Na Figura 3.10 mostra-se a distribuição percentual da totalidade das utilizações-tipo (114) inseridas nos sessenta e três projetos analisados (com ocupação exclusiva e mista), pelos escalões de resistência ao fogo. Constata-se que é no escalão R90 que se insere o maior número de utilizações-tipo (36%), seguindo-se as utilizações-tipo no escalão R60 (31%) e no escalão R120 (23%). São em percentagem substancialmente inferior (menos de metade) as utilizações-tipo no escalão R30 (8%) e R180 (3%).

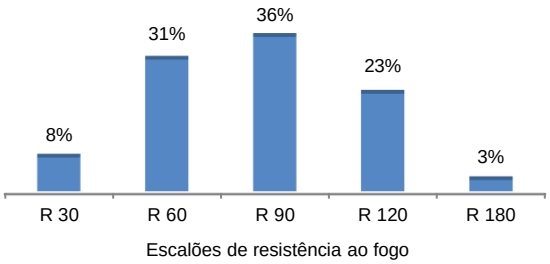


Figura 3.10 - Distribuição percentual das 114 utilizações-tipo incluídas nos processos analisados, pelos escalões de resistência ao fogo.

A comparação da distribuição das percentagens das utilizações-tipo pelos escalões de resistência ao fogo é aqui apresentada unicamente com o intuito de se ficar com a perceção, tomando por base esta amostra que se considera representativa dos edifícios licenciados em Portugal, do panorama geral sobre esta matéria. No entanto, no âmbito deste trabalho, é significativamente mais importante e eficaz a comparação da percentagem de pilares em cada escalão de resistência ao fogo, já que o número de pilares por edifício varia entre 15 e 1605, considerando os sessenta e três processos estudados.

Pela análise dos projetos de estabilidade dos edifícios analisados constatou-se que o número total de pilares inseridos nas correspondentes estruturas é de 14124. Considere-se a distribuição destes pilares pelos escalões de resistência ao fogo, representada na Figura 3.11. Constata-se que é no escalão R90 que se inserem mais pilares (35%), seguindo-se os escalões R120 (30%) e R60 (27%), sendo em percentagens significativamente inferiores os pilares nos escalões R180 (4%) e R30 (3%).

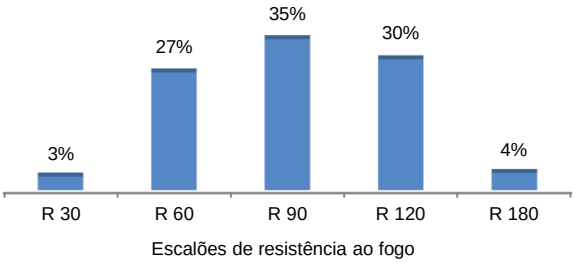


Figura 3.11 - Percentagens de pilares inseridos em cada escalão de resistência ao fogo.

Comparando os gráficos das Figuras 3.10 e 3.11 pode concluir-se que a tendência é semelhante, do ponto de vista da distribuição pelos escalões de resistência ao fogo, quando se considera o número de utilizações-tipo ou o número de pilares. No entanto, apesar da discrepância de valores não ser significativa para o escalão R90, menos 1% em termos de pilares, são significativas as disparidades correspondentes às percentagens referentes aos escalões R60, R30 e R120 verificando-se, quando se passa das utilizações-tipo para os pilares, uma diminuição de 4% na percentagem do escalão R60, uma diminuição de 5% na percentagem do escalão R30 e um aumento de 7% na percentagem do escalão R120.

Como já referido, é mais interessante, para o estudo em desenvolvimento, considerar a distribuição dos pilares pelos escalões de resistência ao fogo já que, dependendo a verificação da conformidade destes elementos estruturais, em situação de incêndio, do escalão de resistência ao fogo requerida, a partir desta distribuição poderá avaliar-se, quantitativamente, as consequências da introdução da Parte 1-2 do Eurocódigo 2 (EC2-1-2, 2010) à prática corrente de dimensionamento de pilares em betão armado em Portugal.

3.3. ENQUADRAMENTO ESTATÍSTICO DOS PILARES DE BETÃO ARMADO NOS PROJETOS DE EDIFÍCIOS EM PORTUGAL

3.3.1. INTRODUÇÃO

Analisaram-se os projetos de estabilidade dos edifícios correspondentes aos sessenta e três processos analisados e retirou-se a informação disponível referente aos elementos que serviram de base ao dimensionamento dos pilares. Esta informação encontra-se organizada e compilada em quadros, de modo a facilitar a aplicação dos diversos métodos de verificação da resistência ao fogo apontados na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), e são inseridos no Anexo A3.4, Quadros A3.4.3 a A3.4.44.

Foi organizado um quadro para cada processo estudado, indicando-se as referências, sem identificação, dos autores dos projetos de arquitetura e de estabilidade e dos programas de cálculo automático utilizados. Registou-se, também, a localização do edifício, o tipo de ocupação, o recobrimento das armaduras, a categoria de risco de incêndio e a resistência ao fogo definidas de acordo com o estipulado no RJ-SCIE (2008) e no RT-SCIE (2008). Retiveram-se as características geométricas dos pilares (secção transversal em betão e armaduras em aço) e os elementos que serviram de base ao seu dimensionamento, nomeadamente o comprimento, o comprimento efetivo nas duas direções ortogonais, o esforço axial e o momento fletor também nas duas direções ortogonais. O tipo de betão previsto nos

projetos de estabilidade varia entre as classes C16/20 e C30/37 e o aço é A400 NR ou A500NR. Atendendo a que estes quadros são, na sua maioria, muito extensos e de difícil leitura quando reduzidos à formatação desta dissertação, sendo a informação mais pertinente neles inserida apresentada em quadros distintos, conforme a matéria a tratar, apresenta-se a título de exemplo, o Quadro A3.4.2 no Anexo A3.4, correspondente a um dos processos analisados.

Pode constatar-se, pela consulta da primeira coluna daqueles quadros, que os sessenta e três processos analisados têm como autores dos projetos de arquitetura trinta e quatro arquitetos, como autores dos correspondentes projetos de estabilidade trinta engenheiros civis, e o dimensionamento das estruturas foi desenvolvido recorrendo a vinte e nove programas de cálculo automático distintos.

Procedeu-se ao tratamento estatístico da informação contida nestes quadros no sentido de verificar quais as dimensões mais características para cada tipo de secção, quadrangular, retangular e circular.

Nesta dissertação dá-se a designação de "pilar" ao troço deste elemento estrutural compreendido entre vigas de pisos consecutivos pois, para uma mesma prumada, os esforços apresentam valores diferentes e as secções transversais, o tipo de ocupação dos espaços onde se inserem e a resistência ao fogo são, frequentemente, diversas.

Foi retida informação de 14124 pilares. Destes, 9841 (70%) são de secção retangular, 3397 (24%) de secção quadrangular e 886 (6%) de secção circular, como pode ver-se na Figura 3.12.

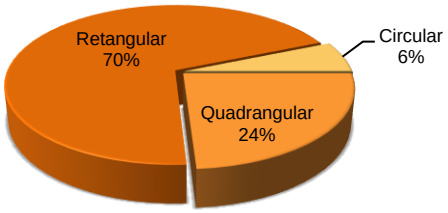


Figura 3.12 - Secção transversal dos pilares analisados.

Elaboraram-se gráficos correspondentes a cada um dos tipos de secção (retangular, quadrangular e circular) com o intuito de verificar o número de pilares previstos para cada uma das dimensões da secção transversal.

Pela observação das Figuras 3.13 à 3.22 pode apurar-se quais as dimensões das secções transversais mais utilizadas nos processos estudados. Nas Figuras 3.13, 3.15 e 3.18 as percentagens são calculadas considerando a razão entre o número de pilares com uma determinada secção e o número total de pilares com esse tipo de secção (quadrangular, circular ou retangular), e nos Gráficos 3.14, 3.16, 3.19, 3.21 e 3.22 a percentagem é calculada considerando a razão entre o número de pilares com uma determinada secção e o número total de pilares analisados.

3.3.2. PILARES DE SECÇÃO QUADRANGULAR

Os três mil trezentos e noventa e sete pilares quadrangulares distribuem-se por treze secções distintas, cujas dimensões variam de cinco centímetros, de 20x20cm^2 a 80x80cm^2, conforme assinalado no Quadro 3.22.

Para os pilares quadrangulares, verifica-se que a secção transversal mais utilizada é de 75x75cm^2, correspondendo a 26,0% dos pilares quadrangulares e 6,2% da totalidade de pilares analisados, seguindo-se a de 40x40cm^2 (17,0% dos pilares quadrangulares e 4,1% da totalidade de pilares analisados), 25x25cm^2 (16,2% dos pilares quadrangulares e 3,9% da totalidade de pilares analisados) e 30x30cm^2 (13,2% dos pilares quadrangulares e 3,2% da totalidade de pilares analisados). Esta distribuição dos pilares é apresentada nos gráficos das Figuras 3.13 e 3.14, o primeiro considerando o universo dos 3397 pilares quadrangulares para o cálculo da percentagem e o segundo o universo dos 14124 pilares analisados.

Os pilares de secção 75x75cm^2 são previstos essencialmente em edifícios comerciais de grande desenvolvimento em planta, grandes vãos e elevada altura.

Quadro 3.22 - Distribuição dos pilares quadrangulares analisados pelas diferentes secções.

Secção do pilar	20x20	25x25	30x30	35x35	40x40	45x45	50x50	55x55	60x60	65x65	70x70	75x75	80x80	Número total de pilares
Número de pilares	223	549	447	28	576	103	308	23	72	113	16	882	57	3397

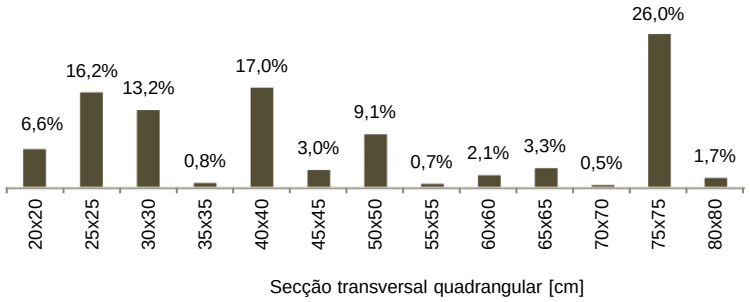


Figura 3.13 - Percentagens de pilares correspondentes a cada secção quadrangular, considerando o universo dos pilares quadrangulares.

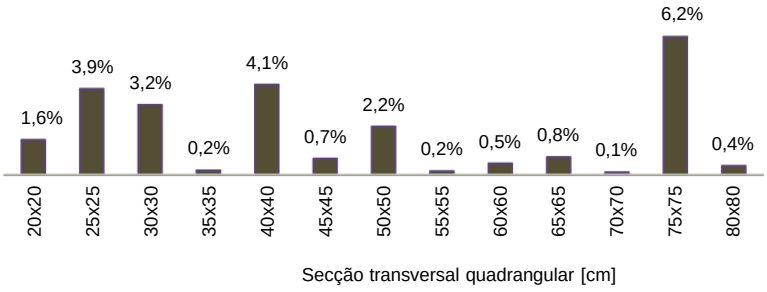


Figura 3.14 - Percentagens de pilares correspondentes a cada secção quadrangular, considerando a totalidade dos pilares analisados.

3.3.3. PILARES DE SECÇÃO CIRCULAR

Os pilares circulares não são inseridos em paredes. A secção circular, prevista em oitocentos e oitenta e seis pilares, seis por cento dos previstos nas estruturas dos edifícios estudados, varia de cinco

centímetros entre os diâmetros *Φ*25cm e *Φ*80cm, passando depois para o diâmetro *Φ*100cm. O número de pilares por cada uma destas secções é indicado no Quadro 3.23.

Constata-se que o diâmetro mais utilizado é o de 50cm (24,6% dos pilares de secção circular e 1,54% de todos os pilares analisados), seguindo-se o de 40cm (23,8% dos pilares de secção circular e 1,49% dos pilares analisados), o de 65cm (16,3% dos pilares de secção circular e 1,02% dos pilares analisados) e o de 30cm (8,7% dos pilares de secção circular e 0,55% dos pilares analisados). Nas Figuras 3.15 e 3.16 apresenta-se a distribuição percentual, pelos diferentes diâmetros, dos pilares de secção transversal circular previstos nas estruturas dos edifícios objeto deste estudo, considerando, para o cálculo das percentagens, o número total dos pilares de secção circular, no primeiro, e o número total de pilares estudados, no segundo.

Os pilares com diâmetro *Φ*65cm são previstos essencialmente em edifícios escolares e em edifícios comerciais, em zonas de pé-direito duplo e os de diâmetro *Φ*100cm, nos dois pisos inferiores de um edifício comercial.

Quadro 3.23 - Distribuição dos pilares circulares analisados pelas diferentes secções.

Diâmetro do pilar	*Φ* 25	*Φ* 30	*Φ* 35	*Φ* 40	*Φ* 45	*Φ* 50	*Φ* 55	*Φ* 60	*Φ* 65	*Φ* 70	*Φ* 75	*Φ* 80	*Φ* 100	Número total de pilares
Número de pilares	18	77	8	211	6	218	37	57	144	29	4	12	65	886

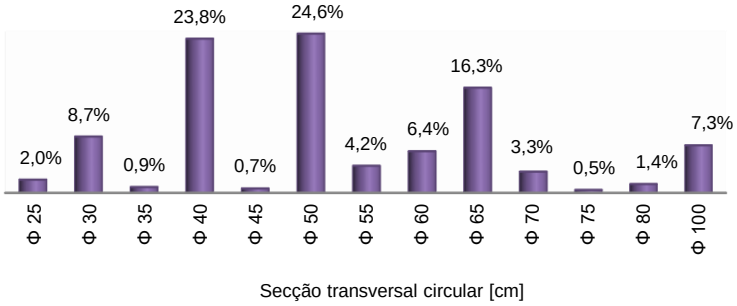


Figura 3.15 - Percentagens de pilares correspondentes a cada secção circular, considerando o universo dos pilares circulares.

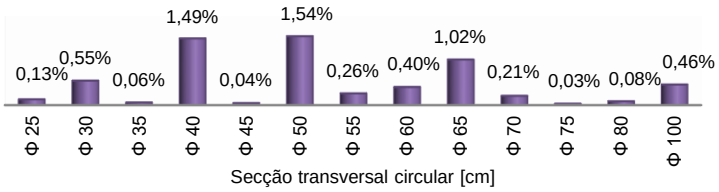


Figura 3.16 - Percentagens de pilares correspondentes a cada secção circular, considerando a totalidade dos pilares analisados.

3.3.4. PILARES DE SECÇÃO RETANGULAR

Relativamente aos nove mil oitocentos e quarenta e um pilares de secção retangular, constatou-se haver cento e quarenta e uma secções transversais diferentes, identificadas nos quadros seguintes.

Cerca de 25% dos pilares retangulares (Figura 3.17) apresentam uma secção transversal pouco representativa, com percentagem, calculada considerando apenas este tipo de secção, inferior à unidade. Na Figura 3.21 apresenta-se uma perspetiva deste cenário.

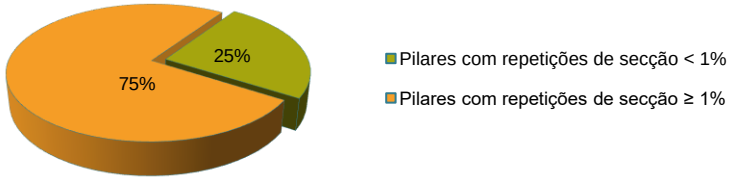


Figura 3.17 - Proporção entre os pilares que se apresentam com um número de repetições a que corresponde uma percentagem ≥1% ou <1%, calculada considerando o número de pilares retangulares.

Nos Quadros 3.24 e 3.25 indica-se, para cada uma das secções transversais, o número de pilares analisados. Pretende-se, com estes quadros, expor a ordem de grandeza absoluta dos pilares previstos nas estruturas dos edifícios selecionados para este estudo, para cada secção transversal.

Com base nestes quadros, e à semelhança do efetuado para as secções transversais quadrangulares e circulares, elaboraram-se também gráficos para aferir a ordem de grandeza relativa dos pilares inseridos em cada secção. Assim, as Figuras 3.18 e 3.19 representam as percentagens de pilares retangulares de cada secção, calculadas considerando o universo dos pilares retangulares, no primeiro gráfico, e o universo de todos os pilares analisados, no segundo.

Quadro 3.24 - Pilares com repetições de secção ≥ 1% no universo dos pilares retangulares.

Secção do pilar		Número de pilares
Menor Dimensão [cm]	Maior Dimensão [cm]	
15	60	156
20	30	219
	40	370
	60	1092
	70	256
25	30	100
	60	370
	70	126
	80	107
	110	108
30	40	412
	50	255
	60	229
	65	112
	70	601
30	75	158
	80	205
	90	268
	95	116
	100	107
35	90	170
40	50	532
	60	131
	95	158
	120	156
50	60	100
	70	124
	100	152
75	120	533
Número total de pilares		7423

Quadro 3.25 - Pilares com repetições de secção < 1% no universo dos pilares retangulares.

Secção do Pilar		Número de pilares
Menor Dimensão [cm]	Maior Dimensão [cm]	
15	30	6
	45	2
	50	17
	70	2
20	24	8
	25	39
	29	21
	35	23
	45	6
	50	96
	55	2
	80	23
	85	8
	90	12
	95	4
	100	58
	105	8
	110	4
	115	16
	120	34
	130	51
	140	2
	150	1
	210	11
	280	11
	300	13
	370	11
25	35	55
	40	49
	45	11
	50	26
	55	1
	65	55
	75	50
	85	10
	90	46
	95	22
	100	74
	105	8
	120	60
	125	28
	130	3
	150	1
	300	5
	410	11
	500	1
	620	44
30	35	39
	45	57
	55	4
	85	60
	110	13

Secção do Pilar		Número de pilares
Menor Dimensão [cm]	Maior Dimensão [cm]	
30	115	36
	120	68
	125	6
	130	4
	145	16
	150	7
	155	32
	170	2
35	40	32
	45	6
	50	8
	60	44
	80	4
	95	82
	100	44
	105	24
	115	6
	120	24
40	45	10
	55	12
	65	7
	70	21
	80	8
	85	4
	90	76
	100	67
	105	22
	110	30
	115	14
	125	13
	130	8
	140	2
45	50	20
	55	30
	60	11
	70	31
	75	15
	90	4
	95	34
	100	12
	110	6
50	55	2
	65	11
	95	22
	130	4
	140	6
55	95	16
	100	20
	110	28
60	65	8
	70	3
	80	27

Quadro 3.25 (continuação) - Pilares com com repetições de secção < 1% no universo dos pilares retangulares.

Secção do Pilar		Número de pilares
Menor Dimensão [cm]	Maior Dimensão [cm]	
60	90	18
	100	18
	140	12
	150	21
	170	56
78,5	80	2
80	90	8
Número total de pilares		2418

Para melhor identificar as dimensões geométricas mais representativas das secções transversais dos pilares desprezaram-se, nos gráficos das Figuras 3.18 e 3.19, as que se apresentavam com uma percentagem inferior a um, determinada por arredondamento à unidade. De modo a que esta situação não se repercutisse no universo dos pilares analisados e não conduzisse a resultados, em termos percentuais de secções repetidas, menos válidos, consideraram-se estes pilares inseridos no item "Outras" secções. A Figura 3.21 permite observar a percentagem de pilares de cada uma das secções transversais incluídas naquele item.

Examinando os dois primeiros gráficos referidos, Figura 3.18 e Figura 3.19, constata-se que a secção mais utilizada é a de 20x60cm^2, correspondendo a 11,1% dos pilares retangulares e 7,7% de todos os pilares analisados, seguindo-se a secção de 30x70cm^2, correspondendo a 6,1% dos pilares retangulares e 4,3% dos pilares analisados.

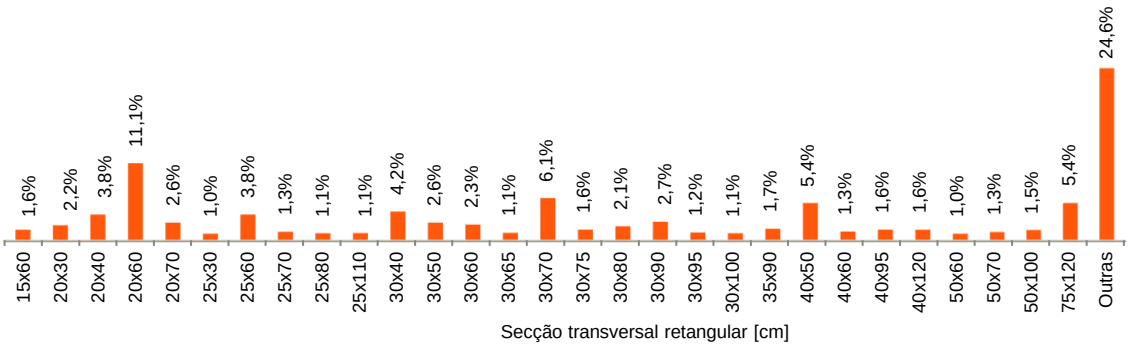


Figura 3.18 - Percentagens de pilares retangulares, calculadas considerando o universo dos pilares retangulares.

Os pilares com secções transversais menos representativas, inseridos em "Outras", correspondem a 24,6% dos pilares retangulares, Figura 3.18, (na Figura 3.17 o valor indicado é 25%, correspondente ao arredondamento às unidades) e 17,1% de todos os pilares estudados, Figura 3.19.

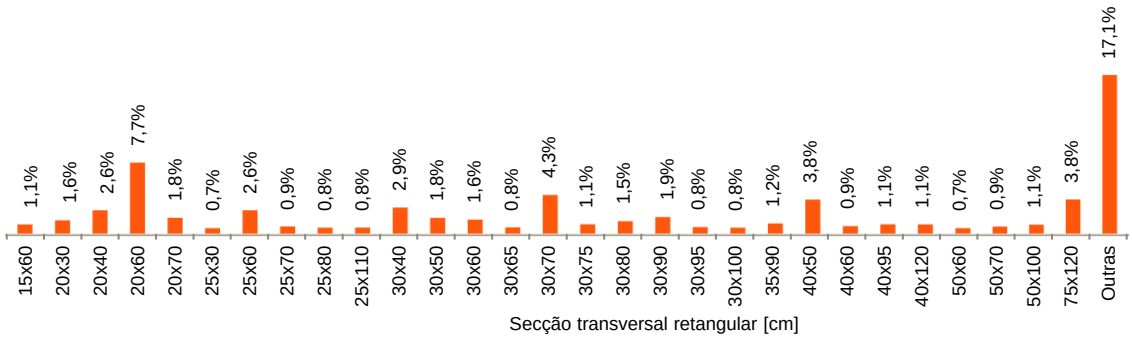


Figura 3.19 - Percentagens de pilares retangulares, calculadas considerando o universo de todos os pilares analisados.

Para a verificação da resistência ao fogo de pilares em betão armado, a EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) prevê, entre outros, os Métodos dos Valores Tabelados. Pela aplicação destes métodos, é indicado o valor mínimo da menor dimensão dos pilares para cada escalão de resistência ao fogo, b_{min}. É, então, de todo o interesse para este trabalho, verificar as percentagens de pilares retangulares correspondentes a cada valor de menor dimensão da sua secção transversal.

A Figura 3.20 representa as percentagens de pilares previstos para os diferentes valores de menor dimensão da secção transversal, considerando o universo dos pilares analisados e o dos pilares retangulares. A menor dimensão mais utilizada é a que corresponde a 30cm (25% dos pilares retangulares e 17,4% de todos os pilares), seguindo-se a de 20cm (19,7% dos pilares retangulares e 13,7% de todos os pilares). Estes valores de menores dimensões são considerados, nos projetos de estabilidade, essencialmente por razões arquitetónicas, já que os de 30cm ficam embebidos nas paredes exteriores e os de 20cm nas paredes interiores.

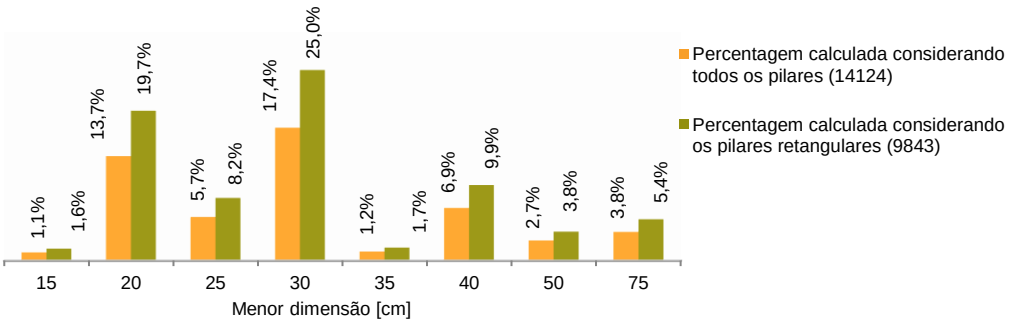


Figura 3.20 - Percentagens de pilares por valor da menor dimensão da secção transversal.

Na Figura 3.21 são indicadas as secções transversais menos representativas, referentes às que apresentam uma percentagem inferior à unidade, no universo dos pilares retangulares. Correspondem às incluídas no item "Outras" secções, nas Figuras 3.18 e 3.19.

O objetivo deste gráfico é apenas evidenciar o elevado número de secções transversais diferentes, não sendo possível, do ponto de vista gráfico, identificar as dimensões de todas.

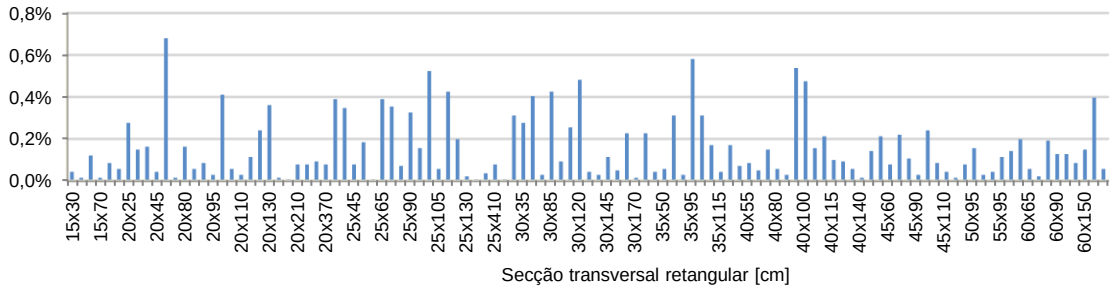


Figura 3.21 - Algumas dimensões e percentagens dos pilares inseridos no item “Outras” secções.

Constatando-se haver uma grande profusão de secções distintas, oitenta secções, elaborou-se a Figura 3.22 onde se incluíram apenas as que se apresentavam com uma percentagem superior a 0,10%, mas inferior a 1,0%. Salienta-se que estas percentagens são determinadas considerando os 14124 pilares analisados.

Os pilares inseridos nestes dois gráficos, não sendo representativos em número, caracterizam, alguns, situações correspondentes a exigências de maior resistência ao fogo, a desfavoráveis níveis de carregamento e à utilização de betões de resistência mais elevada. Estes aspetos revestem-se de todo o interesse quando se proceder à análise numérica da verificação da resistência ao fogo destes elementos estruturais por aplicação dos métodos apontados na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010).

Destas secções, a mais representativa é a de 20x50, correspondendo a 0,68% dos pilares que constituem as estruturas dos edifícios selecionados para este estudo.

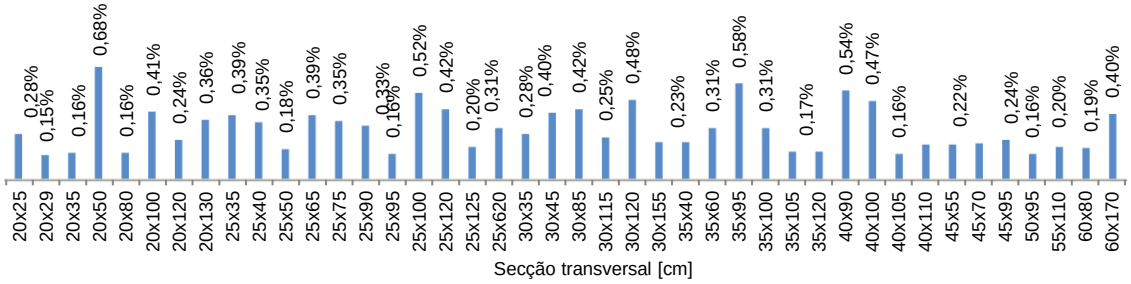


Figura 3.22 - Dimensões e percentagens dos pilares mais representativos inseridos no item “Outras” secções.

3.4. ENQUADRAMENTO DA METODOLOGIA PARA A DEFINIÇÃO DOS ESCALÕES DE RESISTÊNCIA AO FOGO FACE À REGULAMENTAÇÃO PORTUGUESA

3.4.1. INTRODUÇÃO

No Artigo 12.º do RJ-SCIE (2008) é estipulado que as utilizações-tipo inseridas em cada edifício sejam classificadas conforme o respetivo risco de incêndio, em função de fatores de risco inerentes ao tipo de ocupação, na primeira categoria (risco reduzido), segunda categoria (risco moderado), terceira categoria (risco elevado) ou quarta categoria (risco muito elevado).

Pela consulta do Quadro IX do RT-SCIE (2008), pode definir-se a resistência ao fogo padrão mínima dos elementos estruturais de um edifício, em função da respetiva categoria de risco. Antecede imediatamente este quadro, inserido no parágrafo n.º 1 do Art.º15.º, o texto que passa a citar-se: "*Consoante o seu tipo, os elementos estruturais de edifícios devem possuir uma resistência ao fogo que garanta as suas funções de suporte de cargas, de isolamento térmico e de estanquidade durante todas as fases de combate ao incêndio, incluindo o rescaldo, ou, em alternativa, devem possuir a resistência ao fogo padrão mínima indicada no Quadro IX abaixo*:"

A designação da utilização-tipo correspondente a um edifício de utilização mista é atribuída considerando o tipo de ocupação principal. No parágrafo n.º2 do Art.º8.º do mesmo regulamento é determinado que, para este tipo de edifícios, devem ser respeitadas as condições técnicas gerais e específicas definidas para cada utilização-tipo nele integrada. Refere, também, que os espaços inseridos numa dada utilização-tipo, com usos distintos daquela, de dimensões e efetivo que não ultrapassem os valores fixados no parágrafo n.º3 do referido artigo, deverão ser tratados considerando as disposições gerais e as específicas da utilização-tipo onde se inserem.

A definição do escalão de resistência ao fogo de uma utilização-tipo é efetuada em função da sua categoria de risco. Nos edifícios de utilização mista, o parágrafo n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE (2008), referindo que "Os edifícios e os recintos de utilização mista são classificados na categoria de risco mais elevada das respetivas utilizações-tipo, independentemente da área ocupada por cada uma dessas utilizações" suscita algumas dúvidas no que concerne à definição da categoria de risco de cada uma das utilizações-tipo neles inseridas, no âmbito da definição do respetivo escalão de resistência ao fogo. Efetivamente, o articulado deste parágrafo pode conduzir às seguintes interpretações:

- É definida a categoria de risco de cada utilização-tipo inserida no edifício, classifica-se o edifício na categoria de risco mais elevada daquelas UT e define-se o escalão de resistência ao fogo de cada UT considerando a categoria de risco do edifício.

- É definida a categoria de risco de cada utilização-tipo inserida no edifício, classifica-se o edifício na categoria de risco mais elevada daquelas UT e define-se o escalão de resistência ao fogo de cada UT considerando a respetiva categoria de risco.

Para facilitar a identificação de cada uma destas interpretações, no decorrer deste trabalho, a primeira interpretação é identificada como "Considerando a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE" e a segunda como "Não considerando a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE".

No estudo desenvolvido nesta dissertação tomou-se por base a segunda interpretação, por se considerar a mais adequada à matéria tratada, isto é, ao processo de dimensionamento ao fogo de pilares em betão armado. Nos subcapítulos seguintes apresenta-se o desenvolvimento e as consequências da aplicação daquelas duas interpretações para a disposição regulamentar em causa, com o intuito de justificar a opção tomada neste trabalho e de salientar a necessidade da revisão do articulado dessa disposição, que carece de esclarecimento no âmbito da sua aplicabilidade.

Constata-se, como ficou já percetível nos Quadros 3.19, 3.20 e 3.21, que a aplicação da primeira interpretação do disposto no parágrafo n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE (2008) acarreta, por vezes, um agravamento substancial do escalão de resistência ao fogo, inconsistente com o espírito e o articulado deste regulamento no que concerne à matéria aqui tratada. Na análise mais detalhada dos edifícios inseridos em cada utilização-tipo que a seguir se faz, assinalam-se estas situações. Apresentam-se, no

Anexo A3.3, os Quadros A3.3.2 a A3.3.25 com a indicação dos fatores de risco condicionantes da definição da categoria de risco de cada utilização-tipo de todos os edifícios analisados, e os escalões de resistência ao fogo determinados "Considerando a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE" e "Não considerando a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE".

Para melhor ilustrar as características de cada edifício e as consequências da aplicação desta disposição regulamentar, organizaram-se quadros resumo (Quadros 3.26 a 3.37) que se apresentam nas páginas seguintes, um para cada utilização-tipo.

3.4.2. CONSEQUÊNCIAS DA APLICAÇÃO DA REGULAMENTAÇÃO PORTUGUESA NA DEFINIÇÃO DOS ESCALÕES DE RESISTÊNCIA AO FOGO

Relativamente a esta matéria, considera-se ser de interesse tecer os comentários que se seguem. Observem-se os Quadros 3.26 a 3.37 e os que constam no Anexo A3.3.

UT I – Habitacionais – Quadro 3.26 – Vinte e cinco edifícios, sendo cinco de utilização exclusiva e os restantes de utilização mista. Os primeiros são todos de altura inferior a 9m e, dos segundos, três são de altura inferior a 9m, catorze de altura inferior a 28m e três de altura inferior a 50m.

Aplicação do n.º5 do Art.º13º do D.L.220/2008, RJ-SCIE (2008):

Verifica-se que, para os edifícios de utilização mista com altura $h \leq 9$m, processos P5, P9 e P19, nenhuma das utilizações-tipo é condicionante da resistência ao fogo nos termos deste ponto em análise, por serem classificadas na 1.ª categoria de risco.

Nos processos P2 e P14 verifica-se o agravamento do escalão de resistência ao fogo dos pilares correspondentes aos espaços comerciais, que passou de R60 para R90, pelo facto destes espaços se encontrarem entre dois pisos classificados no escalão R90, não havendo, pois, influência da aplicação da referida disposição regulamentar.

Nos processos P1, P4 e P7, correspondentes a edifícios de altura $9\text{m} < h \leq 28\text{m}$ e P2, P14 e P17, com $28\text{m} < h \leq 50\text{m}$, a resistência ao fogo dos pilares na zona de estacionamento é agravada pela existência da parte habitacional, passando da 1.ª categoria de risco para a 2.ª e, assim, de R60 para R90 nos primeiros, e da 2.ª categoria para a 3.ª e consequentemente de R90 para R120, nos segundos. Esta situação deve-se ao facto desses estacionamentos serem sempre enterrados e privativos dos utilizadores do edifício, apresentando áreas reduzidas.

Nos processos P45, P46, P53 a P56 e P57 a P60 é condicionante o estacionamento, por apresentar um grande desenvolvimento em planta e em dois pisos, abrangendo a cave e a subcave de quatro edifícios. A Utilização-Tipo I

"Habitacionais", classificada na 2.ª categoria de risco, passa para a 3.ª e a resistência ao fogo, de R60 para R90.

UT II – Estacionamentos – Quadro 3.27 - Estudou-se um edifício de utilização exclusiva e vinte e oito situações de estacionamentos inseridos em edifícios de utilização mista: vinte na UT I "Habitacionais", quatro na UT III "Administrativos" dois na UT VII "Hoteleiros e restauração" e dois na UT VIII "Comerciais e gares de transporte".

Aplicação do n.º5 do Art.º13º do D.L.220/2008, RJ-SCIE (2008):

No edifício de utilização exclusiva, processo P27, não é aplicável esta disposição regulamentar. Nos de utilização mista, as consequências da sua aplicação são indicadas e comentadas nas observações das utilizações-tipo onde se inserem.

UT III – Administrativos – Quadro 3.28 - Sete edifícios estudados, dois de utilização exclusiva, processos P25 e P28, e cinco de utilização mista, processos P37, P43, P44, P61 e P62.

Estudaram-se, também, três situações com este tipo de ocupação em edifícios de utilização mista, um na UT IV "Escolares", processo P36 e dois na UT XII "Industriais, oficinas e armazéns", processos P41 e P42.

Aplicação do n.º5 do Art.º13º do D.L.220/2008, RJ-SCIE (2008):

No edifício de utilização mista correspondente ao processo P37, existe um laboratório no último piso com 240,2m², área pouco superior a 200m^2, limite fixado na alínea c) do n.º3 do Art.º8.º do RJ-SCIE (2008) para que tenha que ser considerada como uma utilização-tipo distinta. A carga de incêndio modificada é de 20,43 MJ/m^2, substancialmente inferior aos 500 MJ/m^2, limite da 1.ª categoria de risco. Esta utilização-tipo é, pois, classificada na 1.ª categoria de risco.

Condicionado pela categoria de risco da UT III, o laboratório passou da 1.ª categoria de risco e, assim, de uma resistência ao fogo R60, para a 3.ª, a que corresponde a resistência R120. Neste edifício de nove pisos, nos oito pisos destinados à UT III deverá ser considerada a resistência ao fogo R90 e, no último piso, onde está instalado o laboratório, a resistência R120. Constata-se, assim, que a aplicação do estipulado nesta disposição regulamentar se repercute num agravamento substancial da resistência ao fogo exigida a um dos nove pisos deste edifício.

Nos restantes processos indicados no Quadro 3.28 a aplicação desta disposição regulamentar não tem qualquer repercussão, já que as utilizações tipo inseridas no edifício são classificadas na mesma categoria de risco.

As consequências da aplicação desta disposição regulamentar à UT III, quando inserida em edifícios de utilização mista com ocupação predominante diversa,

processos P36, P41 e P42, são indicadas nas observações das utilizações-tipo onde se inserem.

UT IV – Escolares – Quadro 3.29 - Catorze edifícios, dois de utilização exclusiva com altura menor que 9m e doze de utilização mista, um com altura menor que 9m e dez com altura menor que 28m.

Aplicação do n.º5 do Art.º13º do D.L.220/2008, RJ-SCIE (2008):

No processo P8, os dois auditórios (UT VI) passariam da 2.ª categoria de risco (R60) para a 4.ª (R120). Não há, no entanto, influência da aplicação da disposição regulamentar em causa, já que a resistência ao fogo calculada para a UT IV é também R120 e os auditórios são dispostos entre pisos desta utilização-tipo, devendo ser considerado, por este motivo, o mesmo escalão de resistência ao fogo.

No processo P36 não há alteração da categoria de risco para as utilizações "escolares" e " industriais, oficinas e armazéns" pela aplicação do n.º5 do Art.º13º do D.L.220/2008 (2008), pois ambas são da 2.ª categoria de risco. No entanto, os escalões de resistência ao fogo correspondentes são diferentes, sendo R60 para a primeira e R90 para a segunda UT. Uma vez que os espaços destinados a laboratórios se encontram aprumados nos diversos compartimentos corta-fogo, as duas utilizações-tipo podem ser consideradas com escalões diferentes.

Ainda no processo P36, os espaços inseridos na UT III "Administrativos", classificados na 1.ª categoria de risco (R30), considerar-se-iam na 2.ª categoria (R60) pela aplicação da disposição regulamentar em causa. Atendendo a que os espaços administrativos se encontram-se distribuídos pela parte do edifício correspondente à UT IV (R60), há que considerar o mesmo escalão, R60, para esses espaços. Assim, a alteração do escalão de resistência ao fogo, nesta situação, não é uma consequência da aplicação daquela disposição regulamentar.

Nos restantes edifícios com laboratórios (UTXII), processos P12, P26, P29, P30, P31, P32, P33, P34, P47, verifica-se a alteração da categoria de risco daquela utilização-tipo, passando da 1.ª ou 2.ª (respetivamente R60 ou R90), para a 3.ª (R120). Em consequência deste agravamento, pelo facto dos espaços destinados a laboratórios não se encontrarem alinhados em altura, deverá ser considerada a resistência ao fogo R 120 em todos os pilares, traduzindo-se no aumento desta resistência, que era de 90 minutos para a UT IV.

Relativamente à UT XI "Bibliotecas e arquivos", processo P47, verifica-se o agravamento da categoria de risco, que passa da 2.ª (R90), para a 3.ª (R120), refletindo esta alteração da resistência ao fogo a aplicação do n.º5 do Artº13º do já referido Decreto-Lei.

UT V - Hospitalares e lares de idosos – Quadro 3.30 - Um edifício de utilização exclusiva, com altura inferior a 9m e um de utilização mista, com altura maior que 28m.

Aplicação do n.º5 do Art.º13º do D.L.220/2008, RJ-SCIE (2008):

No processo P35.1, pela aplicação desta disposição regulamentar verifica-se que a UT VII, correspondente a refeitórios, definida da 3.ª categoria em função dos correspondentes fatores de risco, passa para a 4.ª e, assim, de R90 para R120, não se traduzindo, no entanto, em agravamento, pois a resistência ao fogo da UT V é R120 e os refeitórios encontram-se distribuídos pelo edifício.

UT VI - Espetáculos e reuniões públicas – Quadro 3.31 – Dois edifícios de utilização exclusiva, um com altura inferior a 9m e outro a 28m e duas situações em edifícios de utilização mista, um na UT IV "Escolares", processo P51 e outro na UT VIII "Comerciais e gares de transportes", processo P18.

Aplicação do n.º5 do Art.º13º do D.L.220/2008, RJ-SCIE (2008):

As consequências da aplicação desta disposição regulamentar são focadas nas observações das utilizações-tipo onde se inserem.

UT VII – Hoteleiros e restauração – Quadro 3.32 - Três edifícios com altura inferior a 28m, um de utilização exclusiva e dois de utilização mista. Analisada uma situação em edifício de utilização mista com o tipo de ocupação predominante distinto desta, UT V "Hospitalares e lares de idosos", processo P35.1.

Aplicação do n.º5 do Art.º13º do D.L.220/2008, RJ-SCIE (2008):

Nos edifícios de utilização mista, processos P16 e P24, os espaços destinados a estacionamento, classificados na 2.ª categoria de risco, passam para a 3.ª e 4.ª categorias respetivamente, implicando o aumento da resistência ao fogo, nos pisos destinados a estacionamentos, de R90 para R120 no primeiro processo e R90 para R180, no segundo.

Para esta utilização-tipo inserida no edifício hospitalar, a análise já foi efetuada quando se tratou dos edifícios da UT V.

UT VIII - Comerciais e gares de transportes – Quadro 3.33 - Dois edifícios analisados, um com altura $9\text{m} < h \leq 28\text{m}$, processo P18, e outro $h > 28\text{m}$, processo P39, ambos de utilização mista.

Estudaram-se, também, quatro situações com este tipo de utilização em edifícios com ocupação predominante da UT I "Habitacionais", processos P2, P4, P11 e P14.

Aplicação do n.º5 do Art.º13º do D.L.220/2008, RJ-SCIE (2008):

Verificar-se-ia, no processo P18, o agravamento da categoria de risco na UT VI "Espetáculos e reuniões públicas", correspondente às salas de cinema inseridas no edifício comercial, que passaria da 3.ª categoria de risco para a 4.ª, com o consequente aumento da resistência ao fogo, de R90 para R120. No entanto, considera-se que este agravamento do escalão de resistência ao fogo não é uma

repercussão da aplicação desta disposição regulamentar já que, sendo as salas de cinema adjacentes (com pilares em comum) a espaços da UT VII classificados no escalão R120, haveria que considerar o mesmo escalão.

UT IX – Desportivos e de lazer – Quadro 3.34 - Um edifício de utilização exclusiva, com altura inferior a 28m.

UT X – Museus e galerias de arte – Quadro 3.35 - Um edifício de utilização exclusiva, com altura inferior a 9m.

Nestas duas últimas utilizações-tipo não é aplicável a disposição regulamentar em questão, já que os edifícios correspondentes, processos P48 e P15, são de utilização exclusiva.

UT XI – Bibliotecas e arquivos - Quadro 3.36 - Um edifício de utilização exclusiva, processo P10, com altura $9\text{m} < h \leq 28\text{m}$ e uma situação em edifício de utilização mista com ocupação principal da UT IV "Escolares", processo P47 .

Aplicação do n.º5 do Art.º13º do D.L.220/2008, RJ-SCIE (2008):

No edifício de utilização exclusiva não é aplicável esta disposição regulamentar. Relativamente ao processo P47, a análise foi apresentada nas observações correspondentes à UT IV.

UT XII – Industriais, oficinas e armazéns - Quadro 3.37 - Quatro edifícios industriais, dois de utilização exclusiva e dois de utilização mista.

Em edifícios de utilização mista com ocupação predominante distinta desta, uma situação inserida na UT III "Administrativos" e dez na UT IV "Escolares".

Aplicação do n.º5 do Art.º13º do D.L.220/2008, RJ-SCIE (2008):

Nos processos P41 e P42 a aplicação desta disposição regulamentar traduz-se num agravamento substancial da resistência ao fogo dos espaços administrativos, que são inseridos em compartimentos corta-fogo distintos dos da UT XII. Assim, no processo P41, a UT III passa da 1.ª categoria para a 4.ª e portanto de R30 para R120 e no P42, da 2.ª para a 3.ª, e, assim, de R60 para R90.

Para esta utilização-tipo inserida nos edifícios com ocupação predominante distinta, atente-se aos comentários tecidos nas observações das UT III "Administrativos" e UT IV "Escolares".

Quadro 3.26 - Definição da categoria de risco condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º13º do RJ-SCIE (2008) para os edifícios da UT I – Habitacionais.

Número do processo		UT I Habitacionais		Outras UT			Categoria de risco condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º 13º do RJ-SCIE (2008)		Resistência ao fogo condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º 13º do RJ-SCIE (2008)		Tipo de ocupação condicionante
Utilização exclusiva	Utilização mista	CR	R	Designação	CR	R	UT I	Outras UT	UT I	Outras UT	
—	P1	2.ª	R60	UT II Estacionamentos	1.ª	R60	—	2.ª	—	R90	Habitacionais
—	P2	3.ª	R90	UT II Estacionamentos	2.ª	R90	—	3.ª	—	R120	Habitacionais
				UT VIII Comerciais	2.ª	R90		3.ª		R90	
P3	—	1.ª	R30	—	—	—	—	—	—	—	—
—	P4	2.ª	R60	UT II Estacionamentos	1.ª	R60	—	2.ª	—	R90	Habitacionais e Comerciais
				UT VIII Comerciais	2.ª	R60		—		—	
—	P5	1.ª	R30	UT II Estacionamentos	1.ª	R60	—	—	—	—	—
P6	—	1.ª	R30	—	—	—	—	—	—	—	—
—	P7	2.ª	R60	UT II Estacionamentos	1.ª	R60	—	2.ª	—	R90	Habitacionais
—	P9	1.ª	R30	UT II Estacionamentos	1.ª	R60	—	—	—	—	—
—	P11	2.ª	R60	UT II Estacionamentos	2.ª	R90	—	—	—	—	—
				UT VIII Comerciais	2.ª	R60	—	—	—	—	—
—	P14	3.ª	R90	UT II Estacionamentos	2.ª	R90	—	3.ª	—	R120	Habitacionais
				UT VIII Comerciais	2.ª	R60		3.ª		R90	
—	P17	3.ª	R90	UT II Estacionamentos	2.ª	R90	—	3.ª	—	R120	Habitacionais
—	P19	1.ª	R30	UT II Estacionamentos	1.ª	R60	—	—	—	—	—
P21	—	1.ª	R30	—	—	—	—	—	—	—	—
P23	—	1.ª	R30	—	—	—	—	—	—	—	—
P40	—	1.ª	R30	—	—	—	—	—	—	—	—
—	P45, P53 a P56	2.ª	R60	UT II Estacionamentos	3.ª	R120	3.ª	—	R90	—	Estacionamentos
—	P46, P57 a P60	2.ª	R60	UT II Estacionamentos	3.ª	R120	3.ª	—	R90	—	Estacionamentos

Quadro 3.27 - Definição da categoria de risco condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º13º do RJ-SCIE (2008) para os edifícios da UT II – Estacionamentos.

Número do processo		UT II Estacionamentos		Outras UT			Categoria de risco condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º 13º do RJ-SCIE (2008)		Resistência ao fogo condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º 13º do RJ-SCIE (2008)		Tipo de ocupação condicionante
Utilização exclusiva	Utilização mista	Categoria de risco	Resistência ao fogo	Designação	Categoria de risco	Resistência ao fogo	UT II	Outras UT	UT II	Outras UT	
P27	—	1.ª	R60	—	—	—	—	—	—	—	—

Quadro 3.28 - Definição da categoria de risco condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º13º do RJ-SCIE (2008) para os edifícios da UT III – Administrativos.

Número do processo		UT III Administrativos		Outras UT			Categoria de risco condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º 13º do RJ-SCIE (2008)		Resistência ao fogo condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º 13º do RJ-SCIE (2008)		Tipo de ocupação condicionante
Utilização exclusiva	Utilização mista	Categoria de risco	Resistência ao fogo	Designação	Categoria de risco	Resistência ao fogo	UT III	Outras UT	UT III	Outras UT	
P25	—	2.ª	R60	—	—	—	—	—	—	—	—
P28	—	2.ª	R60	—	—	—	—	—	—	—	—
—	P37	3.ª	R90	UT XII Industriais, oficinas e armazéns	1.ª	R60	—	3.ª	—	R120	Administrativos
—	P43, P61	3.ª	R90	UT II Estacionamentos	3.ª	R120	—	—	—	—	—
—	P44, P62	3.ª	R90	UT II Estacionamentos	3.ª	R120	—	—	—	—	—

Quadro 3.29 - Definição da categoria de risco condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º13º do RJ-SCIE (2008) para os edifícios da UT IV – Escolares.

Número do processo		UT IV Escolares		Outras UT			Categoria de risco condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º 13º do RJ-SCIE (2008)		Resistência ao fogo condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º 13º do RJ-SCIE (2008)		Tipo de ocupação condicionante
Utilização exclusiva	Utilização mista	Categoria de risco	Resistência ao fogo	Designação	Categoria de risco	Resistência ao fogo	UT IV	Outras UT	UT IV	Outras UT	
—	P8	4.ª	R120	UT VI Espetáculos e reuniões públicas	2.ª	R60	—	4.ª	—	R120	Escolares
—	P12	3.ª	R90	UT XII Industriais, oficinas e armazéns	1.ª	R60	—	3.ª	R120 (1)	R120	Escolares e Industriais, oficinas e armazéns
P20	—	3.ª	R90	—	—	—	—	—	—	—	—
P22	—	2.ª	R60	—	—	—	—	—	—	—	—
—	P26	3.ª	R90	UT XII Industriais, oficinas e armazéns	1.ª	R60	—	3.ª	R120 (1)	R120	Escolares e Industriais, oficinas e armazéns
—	P29	3.ª	R90	UT XII Industriais, oficinas e armazéns	1.ª	R60	—	3.ª	R120 (1)	R120	Escolares e Industriais, oficinas e armazéns
—	P30	3.ª	R90	UT XII Industriais, oficinas e armazéns	2.ª	R90	—	3.ª	R120 (1)	R120	Escolares e Industriais, oficinas e armazéns
—	P31	3.ª	R90	UT XII Industriais, oficinas e armazéns	2.ª	R90	—	3.ª	R120 (1)	R120	Escolares e Industriais, oficinas e armazéns
—	P32	3.ª	R90	UT XII Industriais, oficinas e armazéns	2.ª	R90	—	3.ª	R120 (1)	R120	Escolares e Industriais, oficinas e armazéns
—	P33	3.ª	R90	UT XII Industriais, oficinas e armazéns	2.ª	R90	—	3.ª	R120 (1)	R120	Escolares e Industriais, oficinas e armazéns
—	P34	3.ª	R90	UT XII Industriais, oficinas e armazéns	2.ª	R90	—	3.ª	R120 (1)	R120	Escolares e Industriais, oficinas e armazéns
—	P36	2.ª	R60	UT XII Industriais, oficinas e armazéns	2.ª	R90	—	—	—	—	Escolares
				UT III Administrativos	1.ª	R60		2.ª		R60	
—	P47	3.ª	R90	UT XII Industriais, oficinas e armazéns	1.ª	R60	—	3.ª	—	R120	Escolares
				UT XI Bibliotecas e arquivos	2.ª	R90		3ª		R120	
—	P51	2.ª	R60	UT VI Espetáculos e reuniões públicas	2.ª	R60	—	—	—	—	—
(1) Condicionada pelo facto de haver laboratórios distribuídos pelos compartimentos corta-fogo											

Quadro 3.30 - Definição da categoria de risco condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º13º do RJ-SCIE (2008) para os edifícios da UT V – Hospitalares e lares de idosos.

Número do processo		UT V Hospitalares e lares de idosos		Outras UT			Categoria de risco condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º 13º do RJ-SCIE (2008)		Resistência ao fogo condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º 13º do RJ-SCIE (2008)		Tipo de ocupação condicionante
Utilização exclusiva	Utilização mista	Categoria de risco	Resistência ao fogo	Designação	Categoria de risco	Resistência ao fogo	UT V	Outras UT	UT V	Outras UT	
—	P35.1	4.ª	R120	UT VII Hoteleiros e restauração	3.ª	R90	—	4.ª	—	R120	Hospitalares e lares de idosos
P49	—	3.ª	R90	—	—	—	—	—	—	—	—

Quadro 3.31 - Definição da categoria de risco condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º13º do RJ-SCIE (2008) para os edifícios da UT VI – Espetáculos e reuniões públicas.

Número do processo		UT VI Espetáculos e reuniões públicas		Outras UT			Categoria de risco condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º 13º do RJ-SCIE (2008)		Resistência ao fogo condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º 13º do RJ-SCIE (2008)		Tipo de ocupação condicionante
Utilização exclusiva	Utilização mista	Categoria de risco	Resistência ao fogo	Designação	Categoria de risco	Resistência ao fogo	UT VI	Outras UT	UT VI	Outras UT	
P50	—	2.ª	R60	—	—	—	—	—	—	—	—
P52	—	2.ª	R60	—	—	—	—	—	—	—	—

Quadro 3.32 - Definição da categoria de risco condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º13º do RJ-SCIE (2008) para os edifícios da UT VII – Hoteleiros e restauração.

Número do processo		UT VII Hoteleiros e restauração		Outras UT			Categoria de risco condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º 13º do RJ-SCIE (2008)		Resistência ao fogo condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º 13º do RJ-SCIE (2008)		Tipo de ocupação condicionante
Utilização exclusiva	Utilização mista	Categoria de risco	Resistência ao fogo	Designação	Categoria de risco	Resistência ao fogo	UT VII	Outras UT	UT VII	Outras UT	
P13	—	3.ª	R90	—	—	—	—	—	—	—	—
—	P16	3.ª	R90	UT II Estacionamentos	2.ª	R90	—	3.ª	—	R120	Hoteleiros e restauração
—	P24	4.ª	R120	UT II Estacionamentos	2.ª	R90	—	4.ª	—	R180	Hoteleiros e restauração

Quadro 3.33 - Definição da categoria de risco condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º13º do RJ-SCIE (2008) para os edifícios da UT VIII – Comerciais e gares de transporte.

Número do processo		UT VIII - Comerciais e gares de transporte		Outras UT			Categoria de risco condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º 13º do RJ-SCIE (2008)		Resistência ao fogo condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º 13º do RJ-SCIE (2008)		Tipo de ocupação condicionante
Utilização exclusiva	Utilização mista	Categoria de risco	Resistência ao fogo	Designação	Categoria de risco	Resistência ao fogo	UT VIII	Outras UT	UT VIII	Outras UT	
—	P18	4.ª	R120	UT VI Espetáculos e reuniões públicas	3.ª	R90	—	4.ª	—	R120	Comerciais e gares de transporte
				UT II Estacionamentos	4.ª	R180		—		—	—
—	P39	4.ª	R120	UT II Estacionamentos	4.ª	R180	—	—	—	—	—

Quadro 3.34 - Definição da categoria de risco condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º13º do RJ-SCIE (2008) para os edifícios da UT IX – Desportivos e de lazer.

Número do processo		UT IX Desportivos e de lazer		Outras UT			Categoria de risco condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º 13º do RJ-SCIE (2008)		Resistência ao fogo condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º 13º do RJ-SCIE (2008)		Tipo de ocupação condicionante
Utilização exclusiva	Utilização mista	Categoria de risco	Resistência ao fogo	Designação	Categoria de risco	Resistência ao fogo	UT IX	Outras UT	UT IX	Outras UT	
P48	—	2.ª	R60	—	—	—	—	—	—	—	—

Quadro 3.35 - Definição da categoria de risco condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º13º do RJ-SCIE (2008) para os edifícios da UT X – Museus e galerias de arte.

Número do processo		UT X - Museus e galerias de arte		Outras UT			Categoria de risco condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º 13º do RJ-SCIE (2008)		Resistência ao fogo condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º 13º do RJ-SCIE (2008)		Tipo de ocupação condicionante
Utilização exclusiva	Utilização mista	Categoria de risco	Resistência ao fogo	Designação	Categoria de risco	Resistência ao fogo	UT X	Outras UT	UT X	Outras UT	
P15	—	4.ª	R120	—	—	—	—	—	—	—	—

Quadro 3.36 - Definição da categoria de risco condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º13º do RJ-SCIE (2008) para os edifícios da UT XI – Bibliotecas e arquivos.

Número do processo		UT XI Bibliotecas e arquivos		Outras UT			Categoria de risco condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º 13º do RJ-SCIE (2008)		Resistência ao fogo condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º 13º do RJ-SCIE (2008)		Tipo de ocupação condicionante
Utilização exclusiva	Utilização mista	Categoria de risco	Resistência ao fogo	Designação	Categoria de risco	Resistência ao fogo	UT XI	Outras UT	UT XI	Outras UT	
P10	—	3.ª	R120	—	—	—	—	—	—	—	—

Quadro 3.37 - Definição da categoria de risco condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º13º do RJ-SCIE (2008) para os edifícios da UT XII – Industriais, oficinas e armazéns.

Número do processo		UT XII - Industriais, oficinas e armazéns		Outras UT			Categoria de risco condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º 13º do RJ-SCIE (2008)		Resistência ao fogo condicionada pela aplicação do n.º5 do Art.º 13º do RJ-SCIE (2008)		Tipo de ocupação condicionante
Utilização exclusiva	Utilização mista	Categoria de risco	Resistência ao fogo	Designação	Categoria de risco	Resistência ao fogo	UT XII	Outras UT	UT XII	Outras UT	
P35.2	—	2.ª	R90	—	—	—	—	—	—	—	—
P38	—	2.ª	R90	—	—	—	—	—	—	—	—
—	P41	4.ª	R180	UT III Administrativos	1.ª	R30	—	4.ª	—	R120	Industriais, oficinas e armazéns
—	P42	3.ª	R120	UT III Administrativos	2.ª	R60	—	3ª	—	R90	Industriais, oficinas e armazéns

3.4.3. Alguns exemplos de aplicação da regulamentação portuguesa à definição do escalão de resistência ao fogo de edifícios correntes

Relembra-se que o parágrafo n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE (2008) estipula que "Os edifícios e os recintos de utilização mista são classificados na categoria de risco mais elevada das respetivas utilizações-tipo, independentemente da área ocupada por cada uma dessas utilizações". As Figuras 3.23, 3.24, e 3.25 ilustram a aplicação desta disposição regulamentar à determinação do escalão de resistência ao fogo, R, de alguns edifícios com características correntes.

Na Figura 3.23 esquematiza-se o corte do edifício correspondente ao processo P2, de utilização mista (habitação, comércio e estacionamento), em que o uso dominante é habitação, inserindo-se, assim, na UT I "Habitacionais". Esta utilização-tipo, com altura compreendida entre 28m e 50m ($28m < h \leq 50m$), é classificada na 3.º categoria de risco (R90); a UT VIII "Comerciais", com um efetivo entre 100 e 1000 pessoas, na 2.ª categoria (R60); a UT II "Estacionamentos", com três pisos abaixo do plano de referência,

na 2.ª categoria (R90). Salientou-se apenas o fator de risco que condicionou a atribuição da categoria de risco. Em consequência da aplicação da referida disposição regulamentar, o edifício é classificado na 3.ª categoria de risco. Assim, devido à alteração desta categoria, no Piso 0 o escalão de resistência ao fogo passa de R60 para R90 e nos três pisos abaixo do plano de referência, de R90 para R120.

Note-se que, para os três pisos enterrados, UT II "Estacionamentos", os fatores de risco previstos no Quadro II do Anexo III do RJ-SCIE (2008) (altura da UT II, área bruta ocupada pela UT II e número de pisos ocupados pela UT II abaixo do plano de referência), conduzem à atribuição da 2.ª categoria de risco a esta utilização-tipo, a que corresponde o escalão de resistência ao fogo R90. Não parece haver razão, do ponto de vista do dimensionamento ao fogo da estrutura deste tipo de edifícios, para o agravamento consequente da aplicação do estipulado na disposição regulamentar em questão.

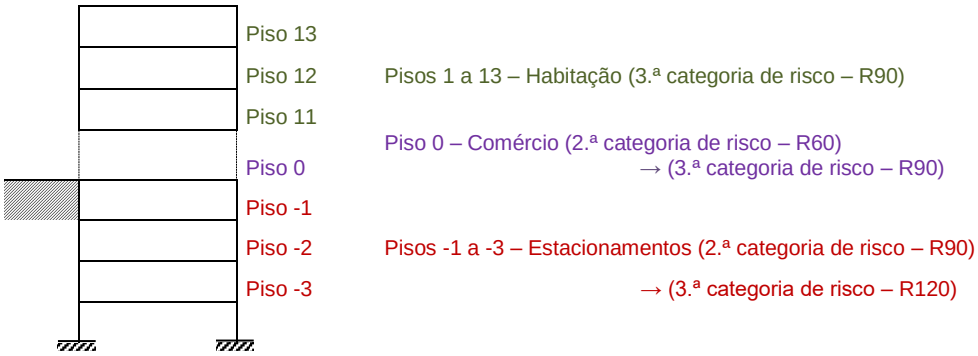


Figura 3.23 - Corte esquemático ilustrativo da alteração do escalão de resistência ao fogo, R, em edifícios de habitação coletiva (UT I), pela aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE (2008).

Na Figura 3.24 é esquematizado o edifício correspondente ao processo P24, sendo a situação semelhante à anterior. O fator que condicionou a atribuição da 4.ª categoria de risco à UT VII "Hoteleiros e restauração" foi o efetivo determinado para esta ocupação, 1518 > 1500 pessoas e para o estacionamento, a atribuição da 2.ª categoria de risco foi condicionada pela área bruta e pelo número de pisos abaixo do plano de referência. Pela aplicação desta disposição regulamentar, o edifício é classificado na 4.ª categoria de risco e, assim, o escalão de resistência ao fogo, nos pisos destinados a estacionamento, passa de R90 para R180.

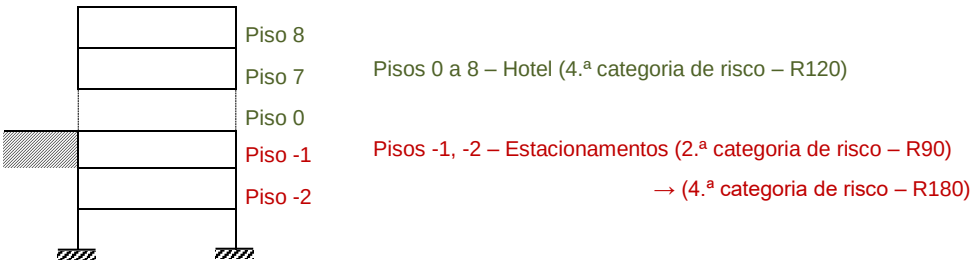


Figura 3.24 - Corte esquemático ilustrativo da alteração da resistência ao fogo, R, em edifícios hoteleiros (UT VII), pela aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE (2008).

Na Figura 3.25, que esquematiza o processo P37, o fator que impôs a atribuição da 3.ª categoria de risco à UT III "Administrativos", foi a sua altura, compreendida entre 28m e 50m ($28\text{m} < h \leq 50\text{m}$), e no piso

destinado a laboratórios de física, UT XII "Industriais, oficinas e armazéns", a carga de incêndio modificada, q=20,43MJ/m^2 é menor que 500 MJ/m^2, valor máximo limite estipulado no RJ-SCIE (2008) para a 1.ª categoria de risco. Pela aplicação da disposição regulamentar em causa, o edifício é classificado na 3.ª categoria de risco implicando, para o último piso, o agravamento da resistência ao fogo de R60 para R120. Também aqui se considera não haver justificação, nomeadamente no âmbito do dimensionamento ao fogo da estrutura, para aquele agravamento. Nesta situação, o facto dos pilares do último piso terem que verificar uma resistência ao fogo de 120 minutos implicaria que os pilares dos pisos inferiores tivessem que ser verificados para o mesmo tempo, já que as dimensões mínimas da secção transversal destes elementos estruturais aumenta dos escalões mais baixos para os mais elevados.

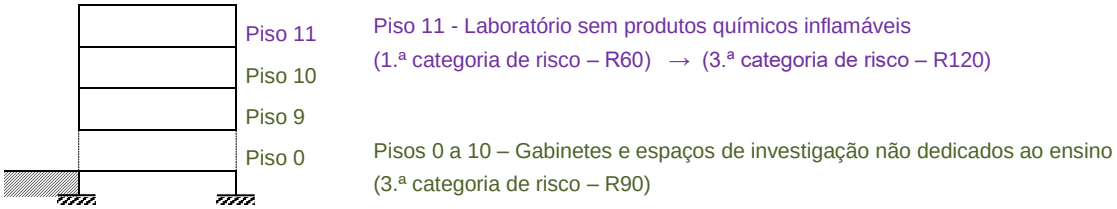


Figura 3.25 - Corte esquemático ilustrativo da alteração da resistência ao fogo, R, em edifícios administrativos (UT III), pela aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE (2008).

Nas estruturas dos edifícios, a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE (2008) tem como consequência um agravamento substancial dos escalões de resistência ao fogo e consequente custo. Para a situação particular dos pilares, objeto desta dissertação, apresenta-se, no subcapítulo seguinte, um estudo estatístico que corrobora esta afirmação.

O cálculo do efetivo é apresentado no Anexo A3.1 e o da densidade de carga de incêndio, no Anexo A3.2. Os valores correspondentes aos fatores de risco dos processos atrás identificados podem ser consultados no Quadro 3.3 para o processo P2, no Quadro 3.11 para o processo P24 e no Quadro 3.5 para o processo P37.

3.4.4. Estudo estatístico das consequências do agravamento dos escalões de resistência ao fogo pela aplicação da regulamentação portuguesa

Analisaram-se, como já mencionado, sessenta e três projetos de edifícios licenciados antes da entrada em vigor da recente legislação e normalização de segurança contra incêndio, todos com estruturas em betão armado. No âmbito deste trabalho, foram estudados os 14124 pilares que constituem essas estruturas. Definiu-se o escalão de resistência ao fogo para cada utilização-tipo de todos os edifícios, considerando a recente legislação portuguesa já referida e as duas interpretações consideradas na aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE (2008), cujo teor já se transcreveu. Daqueles pilares, 24% apresentavam secção transversal quadrangular, 70% retangular e 6% circular.

No âmbito deste estudo e para tratar estatisticamente as consequências do agravamento do escalão de resistência ao fogo pela aplicação da citada disposição regulamentar, no dimensionamento ao fogo dos pilares em betão armado, agruparam-se os pilares rectangulares em função da menor dimensão da sua

secção transversal e, para o mesmo comprimento de lado ou diâmetro, os de secção quadrangular e circular.

No Quadro 3.38 apresentam-se as percentagens de pilares, para cada valor da sua menor dimensão, que foram objeto de uma diminuição do escalão de resistência ao fogo, quando "não foi considerada a aplicação" da disposição regulamentar em causa. Salienta-se que cada uma das percentagens foi calculada considerando a razão entre o número de pilares afetado e o número total de pilares previstos, para cada valor de menor dimensão.

Quadro 3.38 - Percentagens de pilares com a resistência ao fogo reduzida pela "não aplicação" do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE (2008), para cada valor da sua menor dimensão.

Menor dimensão do pilar *b* [cm]	Alteração do escalão de resistência ao fogo				
	R 180 → R 90	R 120 → R 90	R 120 → R 60	R 120 → R 30	R 90 → R 60
	Pilares [%]				
15	-	-	-	-	74,3
20	-	29,7	13,8	-	-
25	0,3	0,3	-	3,4	40,1
30	0,5	16,3	2,4	-	30,9
35	-	1,3	-	-	-
40	0,6	4,6	1,4	-	-

Para as situações em que se verificou uma redução da resistência de R180 para R90 não houve, quantitativamente, pilares significativamente afetados, já que a diminuição do número destes elementos estruturais do primeiro escalão mencionado para o segundo foi de 0,3%, 0,5% e 0,6% para as menores dimensões 25, 30 e 40cm respetivamente. Para a diminuição de R120 para R90, os pilares mais atingidos são os que apresentam a menor dimensão 20cm (29,7% dos pilares previstos com a menor dimensão 20cm são afetados) e 30cm (16,3%), de R120 para R60, os pilares mais afetados são os de menor dimensão 20cm (13,8%), e de R90 para R60 há repercussões nos pilares de menor dimensão 15cm (74,3%), 25cm (40,1%) e 30cm (30,9%). De R120 para R30, apesar do número de pilares abrangido ser pouco significativo (3,4%), como se trata de um valor, para a menor dimensão, de 25cm, estes pilares passam de uma situação de não conformidade de b_{min} no escalão R120, para uma situação de conformidade com os valores mínimos daquele parâmetro no escalão R30, quando se considera a aplicação dos métodos apontados na Parte 1-2 do Eurocódigo 2 (EC2-1-2, 2010) na verificação da sua resistência ao fogo. Esta matéria será tratada nos capítulos seguintes.

Para melhor ilustrar as consequências da observação da disposição regulamentar em discussão, apresentam-se os gráficos seguintes que traduzem, para cada escalão de resistência ao fogo e em função da sua menor dimensão, a percentagem de pilares previstos, considerando, ou não a sua aplicação. As percentagens indicadas são determinadas considerando os 14124 pilares analisados.

Observando a Figura 3.26, correspondente ao escalão R180, constata-se que, para as dimensões mais desfavoráveis do ponto de vista da resistência ao fogo, 25cm e 30cm, a não aplicação da disposição regulamentar em causa traduz-se numa diminuição de 0,1% de pilares com aquelas dimensões neste escalão, passando a não haver pilares de 30cm no escalão R180, pois passarão a ser R90.

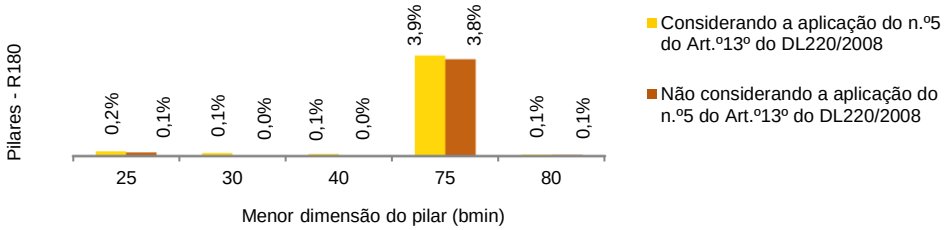


Figura 3.26 - Resistência ao fogo R180 - Percentagens de pilares previstos, considerando ou não a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do DL 220/2008 (RJ-SCIE, 2008).

Para R120, Figura 3.27, verifica-se uma redução significativa da percentagem de pilares que apresentam a menor dimensão 20 e 30cm e que se encontram neste escalão, pois passam para os escalões inferiores, como pode verificar-se no Quadro 3.38. Nos pilares que apresentam, para menor dimensão da sua secção transversal, 25, 40, 50 e 60cm, há também uma redução, embora menos expressiva, da percentagem de pilares neste escalão.

A diminuição do número de pilares no escalão R120, aos quais será exigida uma resistência ao fogo inferior, repercutir-se-á numa diminuição expressiva do número de pilares que, avaliados pela aplicação dos diversos métodos apontados na Parte 1-2 do Eurocódigo 2 (EC2-1-2, 2010), não verificariam a resistência ao fogo, por não satisfazerem os valores mínimos da menor dimensão da secção transversal.

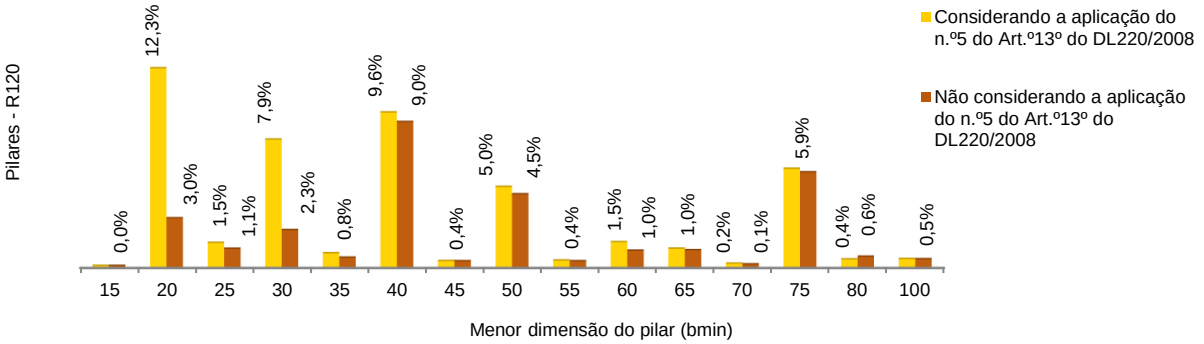


Figura 3.27 - Resistência ao fogo R120 - Percentagens de pilares previstos, considerando ou não a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do DL 220/2008 (RJ-SCIE, 2008).

Estudando a Figura 3.28, correspondente ao escalão R90, constata-se que os pilares que apresentam a menor dimensão 15cm deixam de ter expressão, pois passa a ser-lhes exigida uma menor resistência ao fogo (R60). É de realçar, no entanto, que a regulamentação portuguesa não admite pilares com dimensões de secção transversal inferiores a 20cm.

Ainda neste escalão, aumenta a percentagem de pilares com a menor dimensão 20cm, correspondente aos que, ao não considerar a disposição regulamentar em estudo, passaram da resistência ao fogo R120 para R90. Diminuíram, também significativamente, as percentagens de pilares com a menor dimensão 25 e 30 cm, que passaram de R90 para R60. Assim, com exceção dos pilares com a menor dimensão 20cm e aos quais era exigida uma resistência ao fogo R120, diminuiu o número de pilares de menores dimensões para o escalão representado neste gráfico, correspondendo-lhe uma situação mais favorável do ponto de vista da sua resistência em situação de incêndio, como se demonstrará nos capítulos seguintes.

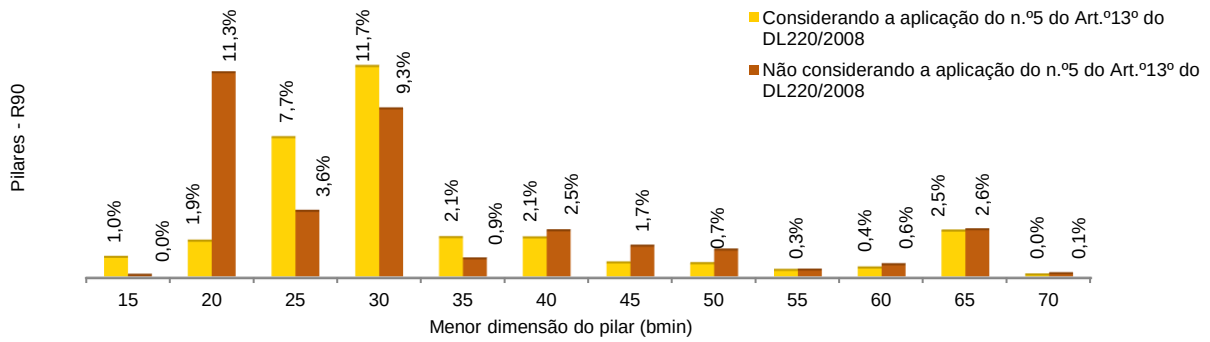


Figura 3.28 - Resistência ao fogo R90 - Percentagens de pilares previstos, considerando ou não a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do DL 220/2008 (RJ-SCIE, 2008).

A Figura 3.29, correspondente ao escalão R60, mostra que há um aumento significativo da percentagem de pilares neste escalão, ilustrando o que já havia sido constatado pela observação do Quadro 3.38, isto é, que não considerando a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE (2008), há uma redução significativa do escalão de resistência ao fogo para um considerável número de pilares estudados. Esta redução vai repercutir-se no dimensionamento ao fogo dos elementos estruturais, a levar a efeito tomando em consideração o previsto nos Eurocódigos Estruturais.

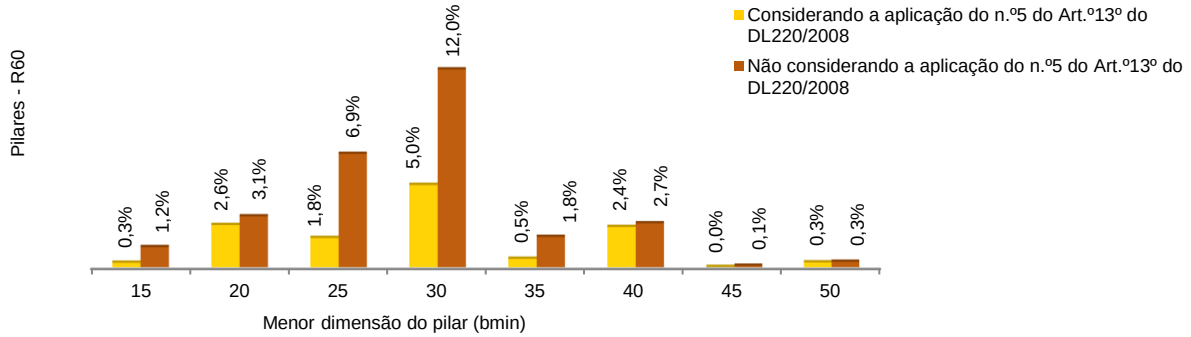


Figura 3.29 - Resistência ao fogo R60 - Percentagens de pilares previstos, considerando ou não a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do DL 220/2008 (RJ-SCIE, 2008).

Relativamente aos pilares para os quais se exige uma resistência ao fogo R30 (Figura 3.30), apenas os que apresentam um valor de menor dimensão da secção transversal igual a 25cm sofrem um acréscimo de 0,3%, quando não é considerada a aplicação da disposição regulamentar em causa. Este aumento é correspondente aos pilares no escalão R120 que passaram para o escalão R30 pela não consideração da aplicação daquela disposição regulamentar, como pode observar-se no Quadro 3.38.

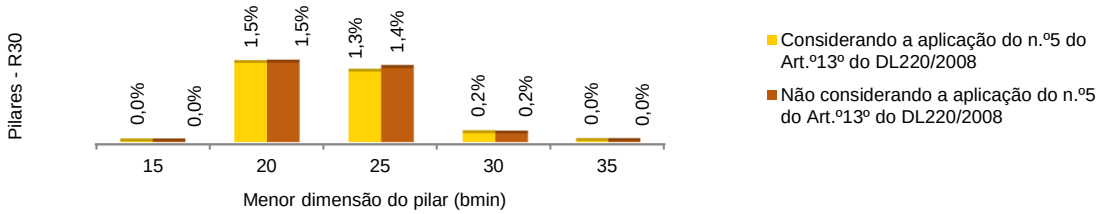


Figura 3.30 - Resistência ao fogo R30 - Percentagens de pilares previstos, considerando ou não a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do DL 220/2008 (RJ-SCIE, 2008).

Os Gráficos da Figura 3.31 permitem apurar, globalmente, a alteração da distribuição dos pilares por cada escalão de resistência ao fogo, conforme se considere a primeira interpretação “Considerando a

aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE" ou a segunda interpretação "Não considerando a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE", do parágrafo n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE (2008).



a) b)

Figura 3.31 - Percentagens de pilares em cada escalão de resistência ao fogo: (a) Considerando a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do DL 220/2008 (RJ-SCIE, 2008); (b) Não considerando a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do DL 220/2008 (RJ-SCIE, 2008).

Nos escalões R30 e R180 as percentagens de pilares mantiveram-se e no escalão R90 verificou-se um aumento de 3% da primeira situação para a segunda. Para R120 verificou-se uma diminuição significativa (18%), de 48% para 30%, e um aumento (15%) correspondente ao escalão R60, de 13% para 28%. É de salientar que, apesar das alterações percentuais se verificarem, essencialmente, nestes dois escalões, não houve uma migração dos pilares do escalão R120 para o escalão R60, como se comprova pela observação do Quadro 3.38 e dos gráficos das Figuras 3.26 a 3.30.

3.5 CONCLUSÕES

Sendo um dos objetivos desta dissertação verificar as consequências da aplicação dos Eurocódigos Estruturais à prática corrente de dimensionamento ao fogo de pilares em betão armado, em Portugal, reveste-se de todo o interesse verificar que secções transversais são de utilização mais usual no universo dos edifícios licenciados neste país, na última década e meia.

Apesar do número de processos analisados, sessenta e três, corresponder a uma amostra reduzida, considera-se ser representativa e ilustrativa das situações mais frequentes no nosso país, como se comprovou na parte inicial deste capítulo. Por questões de uniformização de critérios de dimensionamento e de redução de variáveis, nomeadamente a sismicidade e o tipo de inertes utilizados na composição do betão, optou-se por analisar projetos de edifícios licenciados essencialmente no Norte do país.

Para analisar e comparar de forma eficaz e realista, no Capítulo 4, as consequências da aplicação dos diversos métodos apontados na Parte 1-2 do Eurocódigo 2 (EC2-1-2, 2010) ao dimensionamento de pilares em betão armado, consideraram-se os 14124 inseridos nas estruturas dos edifícios selecionados, devidamente licenciados pelas autoridades competentes antes da entrada em vigor da recente legislação portuguesa e da normalização europeia, e já construídos.

O dimensionamento ao fogo das estruturas é desenvolvido em função dos respetivos escalões de resistência ao fogo, qualquer que seja o método selecionado. Assim, definiram-se aqueles escalões para

os referidos edifícios, considerando a legislação portuguesa sobre a matéria, nomeadamente o "Regime Jurídico de Segurança contra Incêndios em Edifícios" (RJ-SCIE, 2008), o "Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios" (RT-SCIE, 2008) e os "Critérios Técnicos para Determinação da Densidade de Carga de Incêndio" (Despacho, 2009).

Constatou-se que, nos edifícios de utilização mista, o parágrafo n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE (2008) suscita algumas dúvidas no que concerne à definição da categoria de risco de cada uma das utilizações-tipo inseridas nesses edifícios. Ponderando as duas interpretações consideradas possíveis, concluiu-se que a primeira interpretação acarreta, frequentemente, um agravamento substancial do escalão de resistência ao fogo (R) requerido. Esse agravamento repercute-se, no caso particular das estruturas em betão armado, no aumento dos valores mínimos das dimensões das secções transversais dos elementos estruturais e no aumento das distâncias dos eixos das armaduras principais às faces mais próximas expostas ao incêndio e, por isso, no aumento do recobrimento das armaduras. Esta matéria será tratada nos capítulos seguintes para os pilares em betão armado.

Para efeitos do dimensionamento das estruturas dos edifícios em situação de incêndio, considera-se que o escalão de resistência ao fogo deve ser definido considerando a categoria de risco em que se classifica cada uma das utilizações-tipo integradas nos edifícios de utilização mista, pelo que se propõe a seguinte redação para o parágrafo n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE (2008):

"Os edifícios e os recintos de utilização mista são classificados na categoria de risco mais elevada das respetivas utilizações-tipo, independentemente da área ocupada por cada uma dessas utilizações. No entanto, para a definição dos escalões de resistência ao fogo dos elementos estruturais não comuns às diferentes utilizações-tipo inseridas nos edifícios de utilização mista, deve ser considerada a categoria de risco definida para cada uma dessas utilizações-tipo."

4

PARÂMETROS QUE MAIS AFETAM A CONFORMIDADE DOS PILARES EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO, QUANDO APLICADOS OS MÉTODOS TABELADOS

4.1. INTRODUÇÃO

No âmbito desta dissertação foram analisados os projetos de sessenta e três edifícios predominantemente no Norte do país, criteriosamente selecionados de modo a que as suas ocupações se inserissem nas doze utilizações-tipo e nas quatro categorias de risco previstas no Regime Jurídico de Segurança contra Incêndio em Edifícios (RJ-SCIE, 2008) e correspondessem a uma amostra representativa dos licenciados em Portugal antes da entrada em vigor da recente legislação e normalização de segurança contra incêndios. A metodologia de seleção é apresentada no Capítulo 3.

As estruturas daqueles 63 edifícios são constituídas por pórticos contemplando um total de 14124 pilares em betão armado. Destes, 9841 (70%) são de secção retangular, 3397 (24%) de secção quadrangular e 886 (6%) de secção circular (gráfico da Figura 3.12).

Neste capítulo será desenvolvida a aplicação dos diversos métodos de verificação da resistência ao fogo de pilares em betão armado, apresentados na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) sob a forma de tabelas, aos pilares objeto deste estudo e analisar-se-ão os resultados obtidos.

Sendo um objetivo deste trabalho verificar as consequências da introdução dos Eurocódigos Estruturais à prática corrente de dimensionamento de pilares em betão armado em Portugal e, portanto, direcionada ao exercício dos engenheiros projetistas de estruturas de edifícios correntes, procura-se verificar que parâmetros envolvidos nesse processo são mais condicionantes da aplicabilidade e/ou da verificação da conformidade ao fogo destes elementos estruturais, com o intuito de proporcionar a estes técnicos informação que lhes permita selecionar adequadamente o método de verificação mais eficaz.

Os métodos numéricos de verificação da resistência ao fogo de pilares em betão armado apontados na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) podem considerar-se inseridos em três grupos, conforme a metodologia de procedimento adotada. Assim, são previstos métodos que se baseiam na consulta de tabelas que apresentam os valores mínimos dos parâmetros condicionantes da verificação da resistência ao fogo, os métodos baseados em procedimentos de cálculo analítico simplificado e os métodos baseados em procedimentos de cálculo analítico sofisticado:

- Métodos baseados em valores tabelados:

  - Métodos dos Valores Tabelados

    Método A (para pilares)
    Método B (para pilares)

  - Método baseado na estimativa da curvatura

    Método C (para pilares) - Anexo C da EN1992-1-2 (EC2-1-2, 2010)

- Métodos baseados no cálculo analítico:

  - Métodos simplificados de cálculo:

    Método da Isotérmica dos 500ºC
    Método das Zonas
    Método baseado na estimativa da curvatura

  - Métodos avançados de cálculo

Os métodos apresentam-se por ordem crescente de complexidade e tempo de utilização, fatores a ponderar pelos projetistas de estruturas no ato do dimensionamento, em paralelo com o conhecimento das consequências da aplicação de cada um desses métodos em termos de resultados mais ou menos conservativos e, portanto, da sua eficaz adequação à situação em estudo. Neste capítulo desenvolve-se a aplicação dos métodos baseados em valores tabelados, remetendo-se para os dois capítulos seguintes a aplicação dos métodos baseados no cálculo analítico.

Estruturou-se o capítulo de forma a possibilitar uma leitura fácil das consequências da aplicação de cada um dos métodos aos pilares em análise e das sugestões que se consideram pertinentes no sentido de minimizar as consequências advenientes da obrigatoriedade de verificação da resistência ao fogo dos pilares, os elementos estruturais em estudo nesta dissertação.

No Subcapítulo 4.2 apresenta-se a distribuição dos pilares pelos escalões de resistência ao fogo, informação essencial para o desenvolvimento do estudo.

Nos Subcapítulos 4.3, 4.4 e 4.5 analisa-se a aplicação do Método A, do Método B e do Método C, respetivamente. Apresenta-se a estruturação de cada um destes subcapítulos nos organigramas da Figura 4.1 para o Método A, da Figura 4.2 para o Método B e da Figura 4.3 para o Método C. No final de cada subcapítulo comparam-se os resultados obtidos, consequentes da utilização de valores diferentes para o fator de redução do valor de cálculo do nível de carregamento em situação de incêndio, η_{fi}, e para a distância do eixo dos varões da armadura principal à face do pilar mais próxima, *a*, parâmetro dependente da espessura do recobrimento das armaduras.

No Subcapítulo 4.6 comparam-se os resultados obtidos pela aplicação dos três métodos e tecem-se consideraçãoes sobre as conclusões daí resultantes.

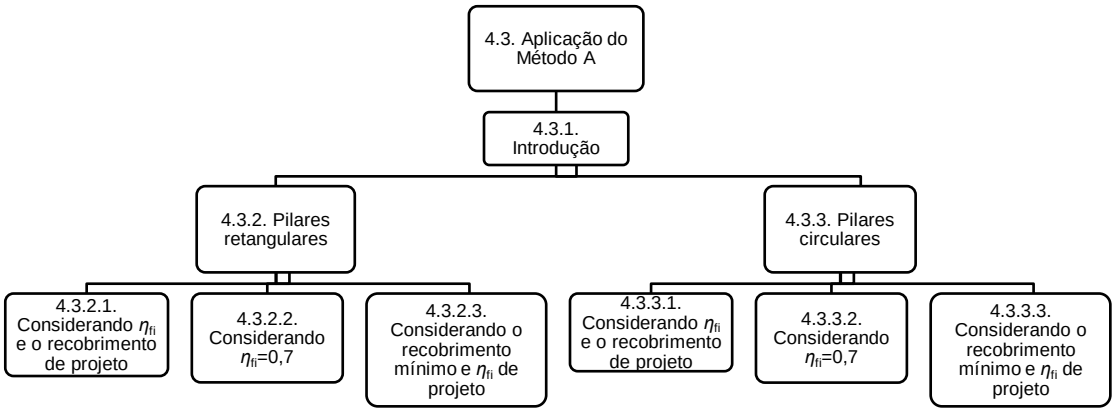


Figura 4. 1 - Organigrama do desenvolvimento do Subcapítulo 4.3, correspondente à aplicação do Método A.

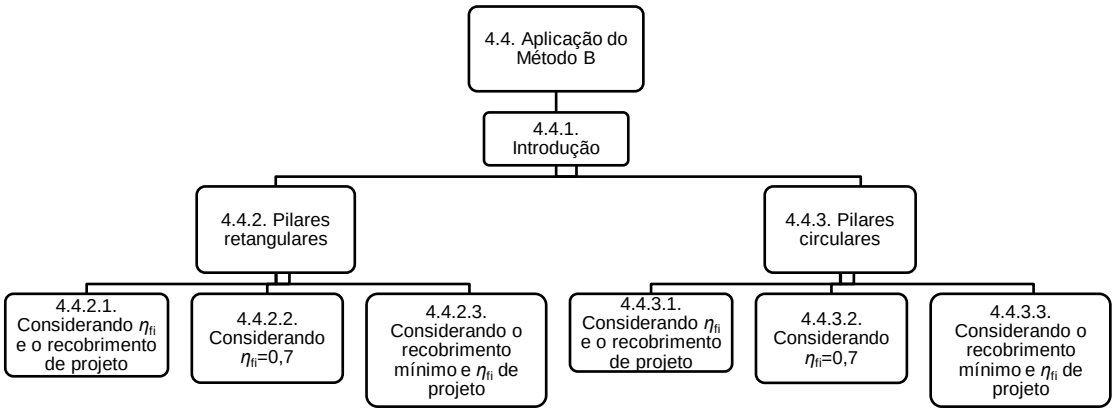


Figura 4. 2 - Organigrama do desenvolvimento do Subcapítulo 4.4, correspondente à aplicação do Método B.

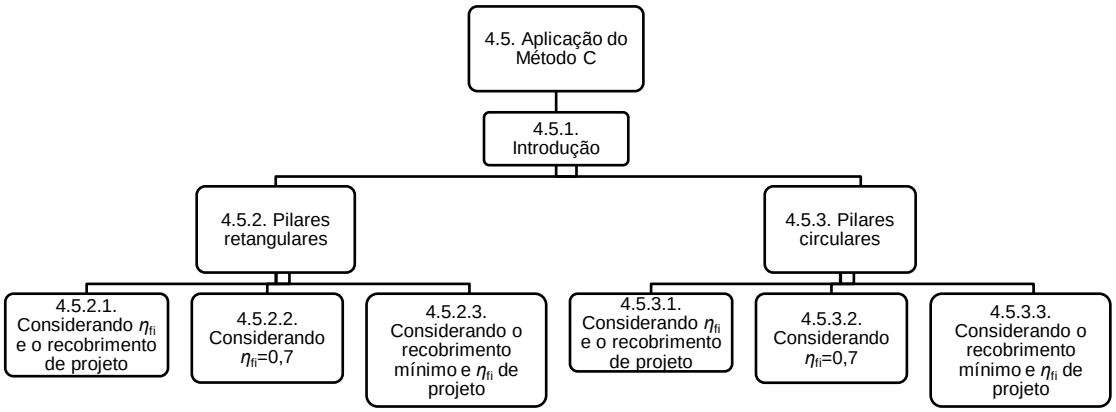


Figura 4. 3 - Organigrama do desenvolvimento do Subcapítulo 4.5, correspondente à aplicação do Método C.

4.2. DISTRIBUIÇÃO DOS PILARES PELOS ESCALÕES DE RESISTÊNCIA AO FOGO

A verificação da resistência ao fogo dos elementos estruturais, qualquer que seja a metodologia adotada, é efetuada considerando o respetivo escalão de resistência ao fogo. Assim apresenta-se, no Anexo A3.4, nos Quadros A3.4.3 a A3.4.40 para pilares retangulares, e nos Quadros A3.4.41 a A3.4.44 para pilares circulares, o escalão de resistência ao fogo que deve ser observado para cada um dos pilares. Nos quadros e gráficos que se seguem, indica-se a distribuição percentual dos pilares pelos diferentes escalões.

Nos métodos que se apresentam sob a forma de tabelas, a verificação da resistência ao fogo dos pilares consiste na comparação dos valores de projeto da menor dimensão da secção transversal e da distância do eixo dos varões da armadura longitudinal à face mais próxima exposta ao incêndio, com os correspondentes valores indicados nas tabelas apresentadas na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), para cada escalão de resistência ao fogo e em função de diversos parâmetros. Pelo facto de se tratar, nestes métodos, da verificação da conformidade da menor dimensão, considerou-se, no desenvolvimento estatístico das secções por escalão de resistência ao fogo, os pilares retangulares pelo valor da sua menor dimensão e os pilares quadrangulares inseridos no grupo dos retangulares. Assim, foram considerados 13238 pilares retangulares (9841+3397) e 886 pilares circulares, perfazendo os 14124 pilares constituintes das estruturas dos edifícios analisados.

No Quadro 4.1 apresentam-se as percentagens de pilares retangulares em cada escalão de resistência ao fogo, para cada valor de menor dimensão da sua secção transversal e no Quadro 4.2 as percentagens de pilares circulares em cada escalão, para cada valor de diâmetro da secção transversal. As percentagens foram calculadas, no primeiro quadro, considerando os 13238 pilares retangulares previstos nos projetos de estabilidade dos edifícios estudados e no segundo quadro, os 886 pilares circulares.

Quadro 4.1 - Distribuição dos 13238 pilares retangulares previstos em projeto pelos escalões de resistência ao fogo, para cada valor da menor dimensão da secção transversal.

Escalão de resistência ao fogo	Menor dimensão da secção transversal [cm]													
	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
R30	-	1,04%	1,25%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R60	0,19%	4,88%	0,96%	5,80%	0,56%	2,39%	0,03%	0,05%	-	-	-	-	-	-
R90	0,33%	5,13%	0,99%	9,06%	3,79%	2,81%	1,40%	0,78%	0,29%	0,14%	0,20%	0,05%	-	-
R120	0,02%	22,73%	0,52%	8,80%	0,62%	14,02%	0,33%	6,45%	0,39%	0,94%	0,18%	0,13%	0,16%	0,23%
R180	-	-	0,04%	0,13%	-	-	-	-	-	-	-	-	2,12%	0,07%

Quadro 4.2 - Distribuição dos 886 pilares circulares pelos escalões de resistência ao fogo, para cada valor do diâmetro da secção transversal.

Escalão de resistência ao fogo	Diâmetro da secção transversal [cm]												
	Φ25	Φ30	Φ35	Φ40	Φ45	Φ50	Φ55	Φ60	Φ65	Φ70	Φ75	Φ80	Φ100
R30	-	-	0,90%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R60	0,90%	4,18%	-	3,84%	-	4,06%	1,02%	-	-	-	-	-	-
R90	-	1,13%	-	1,58%	0,68%	5,87%	3,16%	2,14%	11,74%	-	-	-	-
R120	1,13%	3,39%	-	18,40%	-	14,67%	-	4,29%	4,51%	3,27%	0,45%	1,35%	7,34%

A informação contida nestes quadros é apresentada nos gráficos das Figuras 4.4 a 4.8, para possibilitar uma leitura de resultados mais eficaz. Organizaram-se os gráficos da Figura 4.4 que mostram a distribuição global dos pilares pelos escalões de resistência ao fogo e permitem constatar que esta distribuição é semelhante para as duas configurações de secções. A diferença percentual máxima é de

cerca de 3% e verifica-se para os pilares no escalão R120 (55,5% de pilares retangulares e 58,8% de pilares circulares). Observando estes gráficos conclui-se, ainda, que o maior número de pilares tem que satisfazer uma resistência ao fogo mínima de 120 minutos, escalão R120, seguindo-se os pilares nos escalões R90 e R60, verificando-se ser pouco significativa a percentagem de pilares nos escalões R30 e R180, não havendo pilares circulares neste último escalão.



Figura 4.4 - Distribuição dos 14124 pilares pelos escalões de resistência ao fogo: (a) Pilares de secção retangular (13238); (b) Pilares de secção circular (886).

No gráfico da Figura 4.5 são indicados, para cada valor da menor dimensão da secção transversal dos pilares retangulares, *b*, a percentagem destes elementos estruturais em cada escalão de resistência ao fogo. É destacado nesta figura que, para *b*=20cm, *b*=40cm e *b*=50cm o maior número de pilares está no escalão R120 (cerca de 23%, 14% e 7% respetivamente) e que para os restantes valores de *b* a variação percentual do número de pilares em cada escalão é pouco significativa.

No gráfico da Figura 4.6 salienta-se o facto da maioria dos pilares se encontrar no escalão R120, com predominância dos pilares com *b*=20cm, no escalão R90 a predominância é dos pilares com *b*=30cm e no escalão R60 é semelhante a percentagem de pilares com *b*=20cm e *b*=30cm. É de destacar o facto da maior parte dos pilares com *b*=20cm, a menor dimensão mais desfavorável, se inserir no escalão R120, um escalão substancialmente gravoso.

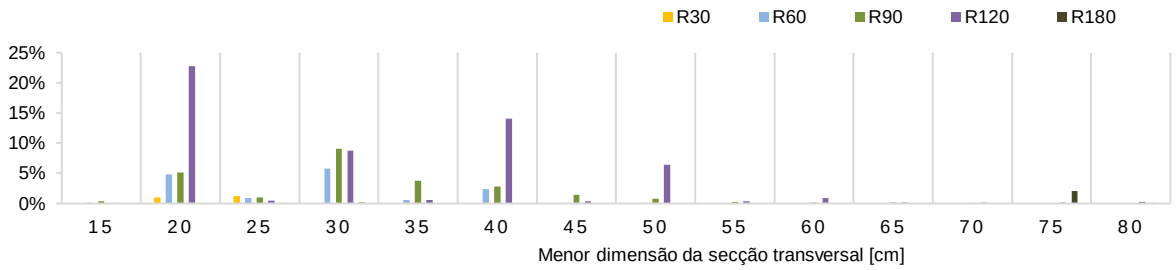


Figura 4.5 - Distribuição das secções transversais dos13238 pilares retangulares pelos escalões de resistência ao fogo.

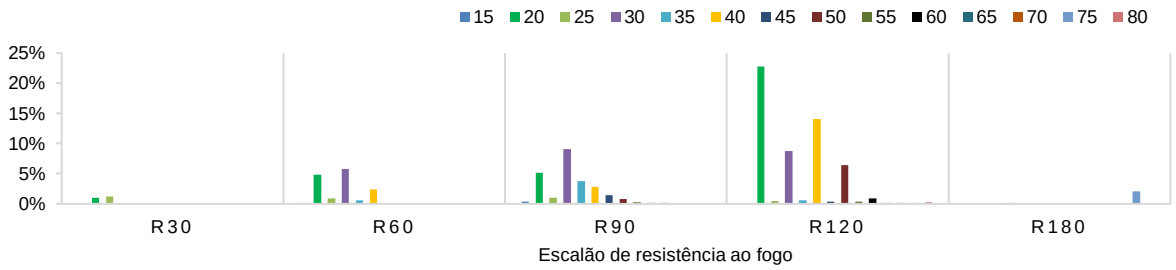


Figura 4.6 - Secções transversais dos13238 pilares retangulares em cada escalão de resistência ao fogo.

O gráfico da Figura 4.7 representa a distribuição dos pilares circulares pelos escalões de resistência ao fogo, para cada valor de diâmetro da sua secção transversal. É evidenciado, neste gráfico, que os pilares com diâmetro Φ40 e Φ50 estão maioritariamente no escalão R120 e que os pilares com diâmetro Φ65 estão essencialmente no escalão R90. Os pilares com diâmetros compreendidos entre Φ70 e Φ100 estão todos no escalão R120.

A distribuição dos pilares pelos diferentes diâmetros em cada em cada escalão de resistência ao fogo é apresentada no gráfico da Figura 4.8, onde se evidencia que os pilares no escalão R120 têm maioritariamente o diâmetro Φ40 (18,4%) seguindo-se o diâmetro Φ50 (14,67%), no escalão R90 são mais representativos os pilares com diâmetro Φ65 (11,74%) seguindo-se os de diâmetro Φ50 (5,87%). No escalão R60 apresentam-se em percentagens semelhantes os pilares com diâmetros Φ30, Φ40 e Φ50 (cerca de 4%).

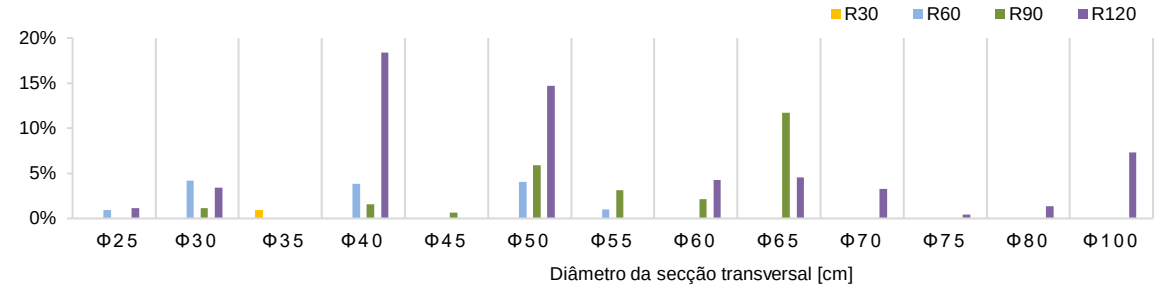


Figura 4.7 - Distribuição das secções transversais dos pilares circulares pelos escalões de resistência ao fogo.

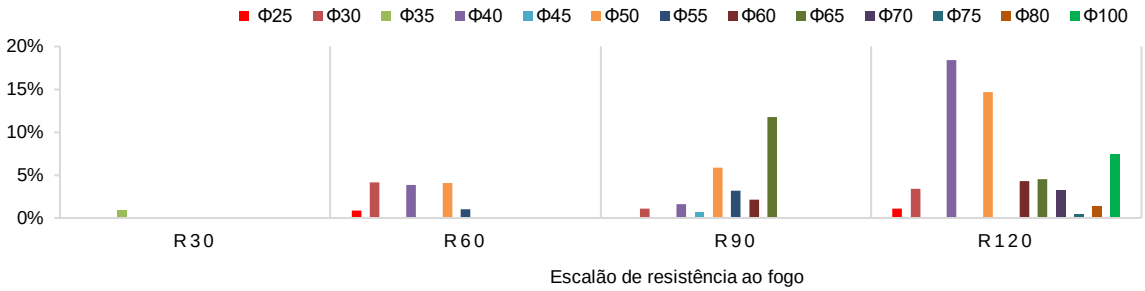


Figura 4.8 - Secções transversais dos pilares circulares em cada escalão de resistência ao fogo.

Como já referido, considerou-se a soma dos 9841 pilares de secção retangular com os 3397 pilares de secção quadrangular no item "pilares retangulares" já que, pela aplicação dos métodos que se apresentam sob a forma de tabela, é verificada a conformidade da menor dimensão da secção transversal. O número total de pilares retangulares é, assim, de 13238. Destes, não foram considerados 995 pilares que, apesar de terem sido previstos como tal nos respetivos projetos de estabilidade, não verificavam a razão entre a maior dimensão da secção transversal (h) e a menor dimensão (b), $h \leq 4b$, condição indicada no subcapítulo 9.1 da EN 1992-1-1 (EC2-1-1, 2010) para que o elemento estrutural seja considerado um pilar e não uma parede estrutural. Por este facto, o número total de pilares retangulares analisados pela aplicação dos diferentes métodos de análise ao fogo é de 12243 (13238-995), mantendo-se o número de pilares de secção circular estudados (886).

Considerando os 12243 pilares retangulares, organizou-se um novo quadro (Quadro 4.3) com a distribuição percentual destes pilares pelos escalões de resistência ao fogo, para cada valor da menor dimensão da sua secção transversal.

Quadro 4.3 - Distribuição dos 12243 pilares retangulares estudados pelos escalões de resistência ao fogo, para cada valor da menor dimensão da secção transversal.

Escalão de resistência ao fogo	Menor dimensão da secção transversal [cm]													
	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
R30	-	1,04%	1,25%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R60	0,19%	3,69%	1,23%	8,75%	2,74%	2,51%	0,03%	0,05%	-	-	-	-	-	-
R90	0,33%	23,16%	1,07%	11,57%	1,81%	3,23%	1,40%	0,98%	0,29%	0,23%	0,27%	0,27%	-	-
R120	0,02%	5,64%	0,70%	3,03%	0,41%	13,53%	0,29%	6,17%	0,39%	0,85%	0,18%	0,13%	0,16%	0,23%
R180	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,12%	0,07%

A distribuição dos 12243 pilares retangulares pelos escalões de resistência ao fogo é representada na Figura 4.9. Como pode constatar-se, é no escalão R90 que se insere o maior número de pilares (44,6%), seguindo-se o escalão R120 (31,7%) e R60 (19,2%). À semelhança da distribuição correspondente à totalidade dos elementos estruturais considerados, em projeto, como pilares, é nos escalões R30 e R180 que se insere o número mais reduzido destes elementos estruturais. Pode concluir-se, comparando o Gráfico (a) da Figura 4.4 com o gráfico da Figura 4.9, que os 995 "pilares" com $h>4b$ se inserem predominantemente no escalão R120.

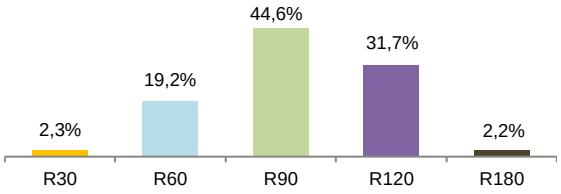


Figura 4.9 - Distribuição dos 12243 pilares retangulares pelos escalões de resistência ao fogo.

Na Figura 4.10 representa-se a distribuição dos 12243 pilares pelos escalões de resistência ao fogo, para cada valor da menor dimensão da sua secção transversal, b. Neste gráfico pode observar-se que, para b=20cm, b=30cm e b=45cm o escalão requerido na maior percentagem de pilares é R90, e que para b=40cm e b=50cm, é R120.

Comparando a Figura 4.10 com a Figura 4.5 pode concluir-se que os elementos estruturais que foram considerados como pilares nos projetos de estabilidade analisados, com $h>4b$, retirados por se considerarem paredes, nesta dissertação, se inserem maioritariamente no escalão R120 e apresentam a menor dimensão b=20cm, seguindo-se b=30cm, no mesmo escalão. Efetivamente, a percentagem de pilares com b=20cm no escalão R120 passou de 22,73% de 13238 pilares para 5,64% de 12243 pilares.

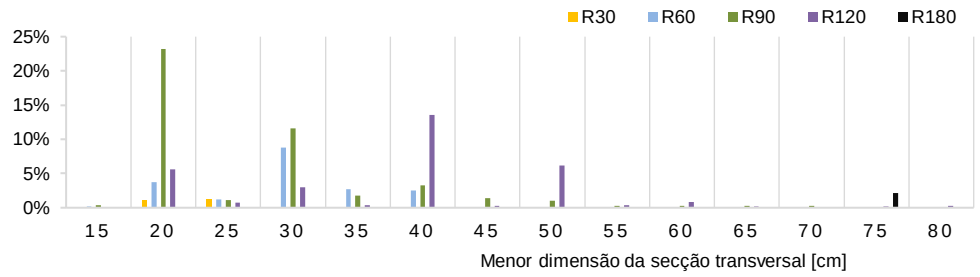


Figura 4.10 - Distribuição das secções transversais dos 12243 pilares retangulares pelos escalões de resistência ao fogo.

4.3. APLICAÇÃO DO MÉTODO A

4.3.1. INTRODUÇÃO

A utilização do Método A é muito simples do ponto de vista do projetista, permitindo definir a menor dimensão da secção transversal dos pilares, b_{min}, e a distância do eixo dos varões da armadura principal à face mais próxima sujeita a incêndio, a_{min}, para cada escalão de resistência ao fogo, em função da exposição do pilar e do grau de utilização em situação de incêndio, μ_{fi}. Este método foi descrito no Capítulo 2.

Tomou-se $\mu_{fi}=\eta_{fi}$, sendo η_{fi} definido como o fator de redução do valor de cálculo do nível de carregamento em situação de incêndio, determinado pela Expressão (4.11).

Os parâmetros que condicionam a aplicabilidade deste método são os seguintes:

- Comprimento efetivo do pilar em situação de incêndio, igual ao comprimento efetivo à temperatura normal:

$$l_{0,\,fi} \leq 3m \tag{4.1}$$

- Excentricidade de primeira ordem em situação de incêndio, igual à de cálculo à temperatura normal:

$$e \leq e_{max} \tag{4.2}$$

$$e = \frac{M_{0Ed,fi}}{N_{0Ed,fi}} \tag{4.3}$$

$$N_{0Ed,fi} = \eta_{fi} N_{Ed} \tag{4.4}$$

$$M_{0Ed,fi} = \eta_{fi} M_{Ed} \tag{4.5}$$

Com

$$\begin{matrix} e_{max} = 0{,}15b \\ e_{max} = 0{,}15h \end{matrix} \quad \text{ou} \tag{4.6}$$

Em que:

$M_{0Ed,fi}$	momento fletor atuante em situação de incêndio, [kN.m];
$N_{0Ed,fi}$	esforço normal atuante em situação de incêndio, [kN];
η_{fi}	fator de redução do valor de cálculo do nível de carregamento em situação de incêndio;
N_{Ed}	esforço normal atuante à temperatura normal, [kN];
M_{Ed}	momento fletor atuante à temperatura normal, [kN.m];
b	menor dimensão da secção transversal do pilar, [m];
h	maior dimensão da secção transversal do pilar, [kN.m].

- Quantidade de armadura:

$$A_s < 0{,}04A_c \tag{4.7}$$

Sendo:

A_c área da secção transversal de betão, [cm^2];
A_s área da secção transversal dos varões da armadura longitudinal, [cm^2];

– Grau de utilização em situação de incêndio:

$$\mu_{fi} \leq 0{,}7 \tag{4.8}$$

$$\mu_{fi} = \eta_{fi} \tag{4.9}$$

Sendo

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}} \tag{4.10}$$

Em que:

G_k valor caraterístico das ações permanentes, [kN/m^2];
$Q_{k,1}$ valor caraterístico da ação variável de base da combinação, [kN/m^2];
γ_G coeficiente parcial relativo às ações permanentes;
$\gamma_{Q,1}$ coeficiente parcial relativo à ação variável de base da combinação;
ψ_{fi} coeficiente de combinação para os valores frequente ou quase-permanente representados, respetivamente, por $\psi_{1,1}$ ou $\psi_{2,1}$.

Foram considerados os valores dos coeficientes parciais relativos às ações permanentes (G_k) e à ação variável sobrecarga (q_k) apontados no parágrafo 2.4.2 da EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), respetivamente γ_G=1,35 e γ_Q=1,5, por nada ser referido em contrário nos Anexos Nacionais desta norma.

No parágrafo 4.3.1(2) da EN 1991-1-2 (EC1-1-2, 2010) é referido que o valor representativo da ação variável Q_1 pode ser considerado como o valor quase-permanente $\psi_{2,1}Q_1$ ou, em alternativa, como o valor frequente $\psi_{1,1}Q_1$. No Anexo Nacional desta norma, parágrafo NA-4.3.1(2) é recomendada a adoção do valor frequente, $\psi_{1,1}Q_1$. Assim, na quantificação de η_{fi}, adotou-se o valor frequente da ação variável sobrecarga q_k, e portanto a Expressão (4.10) adaptada à situação em estudo passa a ter a forma da Expressão (4.11):

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_1 q_k}{1{,}35 G_k + 1{,}5 q_k} \tag{4.11}$$

No Quadro A3.4.1 do Anexo A3.4 indicam-se os valores de η_{fi} calculados para todos os projetos analisados. Os valores das ações permanentes, G_k, e os valores da sobrecarga, q_k, são os que constam nos correspondentes projetos de estabilidade. Os valores considerados para o coeficiente ψ_1 são os indicados no Quadro A1.1 da EN 1990 (EC0, 2009) para cada tipo de ocupação prevista.

Elaborou-se o gráfico apresentado na Figura 4.11, para realçar os valores frequentes do fator de redução do nível de carregamento em projetos de edifícios correntes. Neste gráfico representam-se as curvas de variação do fator de redução η_{fi} em função da relação de carregamento $Q_{k,1}/G_k$, desenvolvidas considerando os pressupostos apontados na EN 1991-1-2 (EC1-1-2, 2010) para o desenvolvimento da

Figura 2.1 aí apresentada, e assinalam-se os valores de η_{fi} em função da relação de carregamento $Q_{k,1}/G_k$ adotando os valores previstos para estes parâmetros nos projetos analisados. Como atrás referido, na situação de projeto $Q_{k,1}$ corresponde ao valor frequente da ação variável sobrecarga, q_k. Não foi considerada a curva correspondente a ψ_1=0,2, prevista na referida figura da EN 1991-1-2 (EC1-1-2, 2010), pelo facto de não ocorrer esta situação nos projetos estudados.

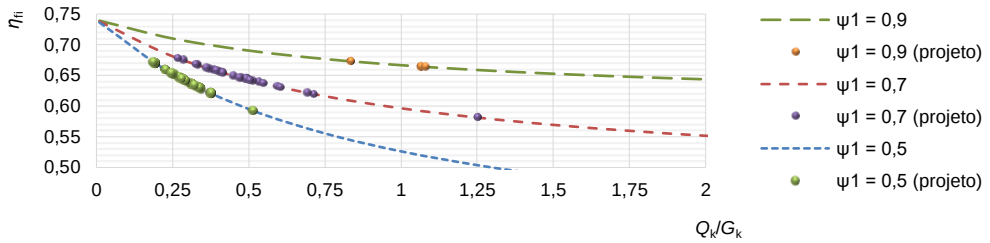


Figura 4.11 - Variação do fator de redução η_{fi} em função da relação de carregamento $Q_{k,1}/G_k$ considerando a Figura 2.1 da EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) e os valores previstos nos projetos analisados.

O gráfico da Figura 4.12 permite uma perceção mais eficaz dos valores de η_{fi} obtidos para cada uma das utilizações-tipo (UT) previstas nos edifícios analisados, a maioria dos quais de utilização mista. Pode observar-se que os valores de η_{fi} estão compreendidos entre 0,58 e 0,68, sendo os valores mais frequentes η_{fi}=0,64 (em 24,9% das UT), η_{fi}=0,65 (em 23,0% das UT), η_{fi}=0,63 (em 14,4% das UT) e η_{fi}=0,66 (em 10,5% das UT). Os valores restantes (compreendidos entre 0,58 e 0,62, 0,67 e 0,68) são substancialmente menos frequentes. Evidencia-se o facto de não haver UT com η_{fi}=0,69 e η_{fi}=0,70.

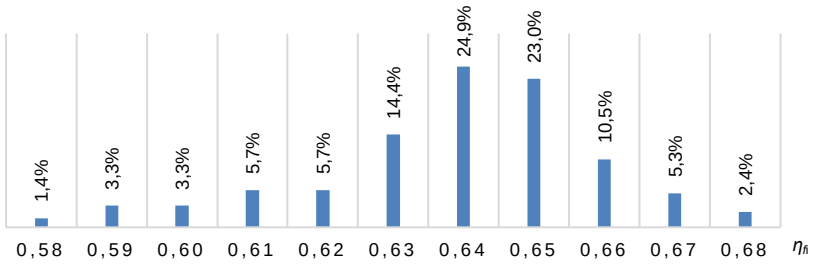


Figura 4.12 - Distribuição percentual das utilizações-tipo pelos diferentes valores de η_{fi}.

Apresenta-se, no gráfico da Figura 4.13, a distribuição percentual das utilizações-tipo pelos diferentes valores de η_{fi}, para ψ_1=0,5, ψ_1=0,7 e ψ_1=0,9. Os valores mais frequentes de η_{fi} para ψ_1=0,5 são 0,63, 0,64 e 0,65, para ψ_1=0,7 são 0,64 e 0,65 e para ψ_1=0,9 obtiveram-se apenas valores de η_{fi}=0,67 e η_{fi}=0,66. Neste gráfico, as percentagens foram calculadas, para cada valor de ψ_1 e para cada valor de η_{fi}, dividindo o número de UT com esse valor de η_{fi} e para o correspondente valor de ψ_1, pelo número total de UT previstas nos 63 edifícios analisados.

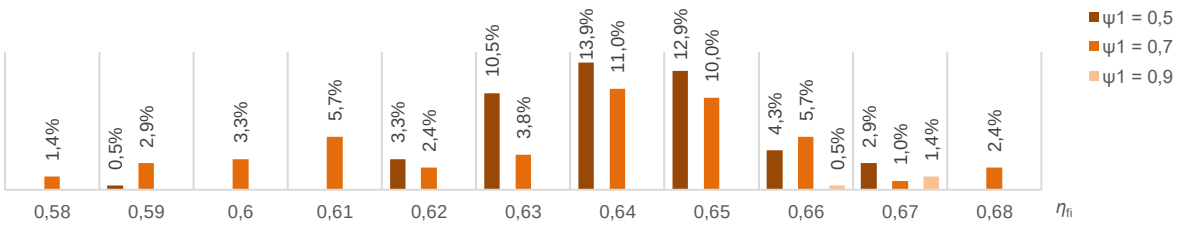


Figura 4.13 - Distribuição percentual das utilizações-tipo pelos diferentes valores de η_{fi}, para ψ_1=0,5, ψ_1=0,7 e ψ_1=0,9.

Nas Figuras 4.14, 4.15 e 4.16 apresenta-se a distribuição percentual das diversas utilizações-tipo (UT), distribuídas pelas 12 UT estabelecidas no RJ-SCIE (2008) e previstas nos 63 edifícios analisados, pelos diferentes valores de η_{fi}, determinados para ψ_1=0,5, ψ_1=0,7 e ψ_1=0,9, respetivamente. Nos gráficos apresentados nestas figuras, elaborados para cada um dos três valores de ψ_1 atrás referidos, as percentagens foram calculadas efetuando o quociente entre o número de UT com um determinado valor de η_{fi} e o número total de UT, ambos correspondentes ao valor de ψ_1 em questão.

Observando a Figura 4.14, correspondente a ψ_1=0,5, pode concluir-se que o valor mais frequente de η_{fi} para a UT I é 0,65, para a UT III é 0,63, para a UT V é semelhante a percentagem para η_{fi}=0,65 e η_{fi}=0,67 e que para a UT VII, η_{fi}=0,64.

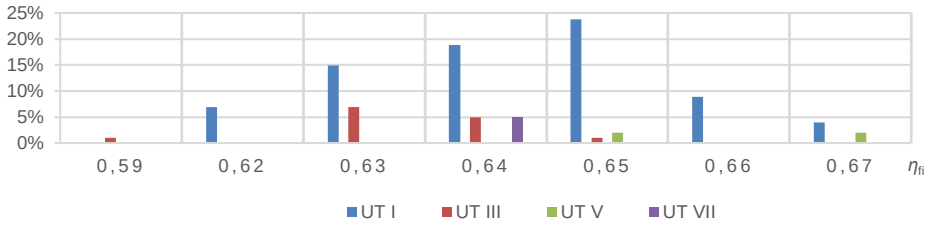


Figura 4.14 - Distribuição percentual das utilizações-tipo previstas nos 63 edifícios analisados pelos diferentes valores de η_{fi}, para ψ_1=0,5.

A Figura 4.15, referente a ψ_1=0,7, permite constatar que os valores de η_{fi} mais frequentes são 0,59 para a UT VI, 0,60 e 0,61 para a UT VIII, 0,63 para a UT VI, 0,64 para as UT IV e UT VII, 0,65 para as UT II, UT V e UT X, 0,65 e 0,66 para a UT XI, 0,66 para a UT XII, 0,66 e 0,67 para a UT IX.

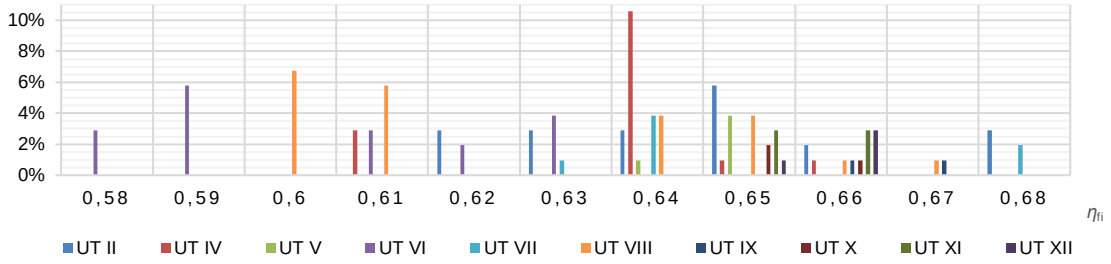


Figura 4.15 - Distribuição percentual das utilizações-tipo previstas nos 63 edifícios analisados pelos diferentes valores de η_{fi}, para ψ_1=0,7.

Relativamente a ψ_1=0,9 pode verificar-se, no gráfico da Figura 4.16, que o valor mais frequente de η_{fi} é 0,67. Este valor de ψ_1, para determinar o valor frequente das combinações das ações, só é aplicável à UT XII.

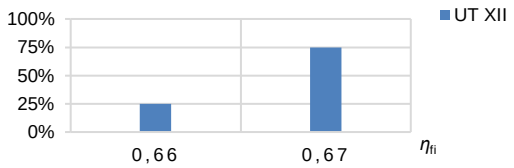


Figura 4.16 - Distribuição percentual das utilizações-tipo previstas nos 63 edifícios analisados pelos diferentes valores de η_{fi}, para ψ_1=0,9.

O Quadro 4.4 representa os valores mais frequentes de η_{fi} obtidos para cada utilização-tipo, como já mostrado no gráfico da Figura 4.12, acrescentando-se, nas duas últimas colunas, o número de pilares previstos em cada UT e a respetiva percentagem, considerando os 14124 pilares, perspetivando, assim, os valores mais frequentes deste parâmetro a considerar na verificação da sua resistência ao fogo. Constata-se, nomeadamente, que o maior número de pilares se encontra na "UT I – Habitacionais" (35,4% dos 14124 pilares), sendo os valores mais frequentes de η_{fi}, para estes pilares, compreendido entre 0,63 e 0,65, seguindo-se os pilares na "UT IV – Escolares", com o valor mais frequente de 0,64, e a "UT VIII - Comerciais e gares de transportes" com os valores mais frequentes 0,60 e 0,61.

Quadro 4.4 - Valores de η_{fi} mais frequentes para cada utilização tipo e valor de ψ_1.

UT	Valores de η_{fi}												Pilares analisados	
	0,58	0,59	0,60	0,61	0,62	0,63	0,64	0,65	0,66	0,67	0,68	0,69	Número	%
UT I	-	-	-	-	3,3%	7,2%	9,1%	11,5%	4,3%	1,9%	-	-	4994	35,4
UT II	-	-	-	-	1,4%	1,4%	1,4%	2,9%	1,0%	-	1,4%	-	36	0,3
UT III	-	0,5%	-	-	0,0%	3,3%	2,4%	0,5%	-	-	-	-	1493	10,6
UT IV	-	-	-	1,4%	-	-	5,3%	0,5%	0,5%	-	-	-	3058	21,7
UT V	-	-	-	-	-	-	0,5%	2,9%	0,0%	1,0%	-	-	1450	10,3
UT VI	1,4%	2,9%	-	1,4%	1,0%	1,9%	-	-	-	-	-	-	171	1,2
UT VII	-	-	-	-	-	0,5%	4,3%	-	-	-	1,0%	-	355	2,5
UT VIII	-	-	3,3%	2,9%	-	-	1,9%	1,9%	0,5%	0,5%	-	-	1682	11,9
UT IX	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5%	0,5%	-	-	115	0,8
UT X	-	-	-	-	-	-	-	1,0%	0,5%	-	-	-	15	0,1
UT XI	-	-	-	-	-	-	-	1,4%	1,4%	-	-	-	230	1,6
UT XII	-	-	-	-	-	-	-	0,5%	1,9%	1,4%	-	-	525	3,7

Na aplicação do Método A adotaram-se os valores do comprimento efetivo indicados nos projetos de estabilidade. As excentricidades foram determinadas pela aplicação da Expressão (4.3), sendo os esforços em situação de incêndio, $N_{0Ed,fi}$ e $M_{0Ed,fi}$, calculados recorrendo às Expressões (4.4) e (4.5), respetivamente, considerando os valores dos esforços normais atuantes, N_{Ed}, e dos momentos fletores atuantes, M_{Ed}, apresentados nos projetos de estabilidade, correspondendo aos considerados no dimensionamento destes elementos estruturais à temperatura normal. Os momentos fletores atuantes de projeto incluem os momentos devidos às imperfeições geométricas.

Os valores dos parâmetros e as caraterísticas dos pilares analisados são apresentados no Anexo A3.4. Neste anexo, os valores de η_{fi} correspondentes às utilizações-tipo previstas em cada projeto analisado são indicados no Quadro A3.4.1 e as caraterísticas dos pilares são apresentadas nos Quadros A3.4.3 a A3.4.40 para os pilares retangulares e nos Quadros A3.4.41 a A3.4.44 para os pilares circulares.

O Quadro 4.5 corresponde à tabela que consta na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) para a verificação da resistência ao fogo de pilares em betão armado aplicando o Método A, tendo-se acrescentado linhas com a indicação de valores de a_{min} correspondentes a larguras mínimas (b_{min}) não indicadas na tabela do Eurocódigo e omitido a coluna μ_{fi} = 0,2, por não ser aplicável aos projetos de edifícios correntes, nomeadamente aos analisados nesta dissertação, que apresentam valores de $\eta_{fi} > 0,5$ qualquer que seja o tipo de utilização dos espaços, como atrás se constatou. Na aplicação deste método aos pilares analisados foram efetuadas interpolações lineares entre as linhas e entre as colunas da referida tabela, de modo a obter resultados com maior grau de precisão.

Quadro 4.5 - Valores de b_{min} e de a_{min} para pilares de secção retangular ou circular, considerando a aplicação do Método A dos Valores Tabelados.

Resistência ao fogo padrão	Largura mínima do pilar b_{min} [mm] Distância do eixo dos varões à face exposta a_{min} [mm]					
	Pilar exposto em mais de um lado				Pilar exposto de um só lado	
	μ_{fi}=0,5		μ_{fi}=0,7		μ_{fi}=0,7	
	b_{min}	a_{min}	b_{min}	a_{min}	b_{min}	a_{min}
R30	200	25	200	32	155	25
R60	200	36	250	46	155	25
	250	33,5	300	43		
	300	31	350	40		
R90	300	45	350	53	155	25
	350	41,5	400	46,5		
	400	38	450(*)	40		
R120	350(*)	45	350(*)	57	175	35
	400(*)	42,5	400(*)	54		
	450(*)	40	450(*)	51		
R180	350(*)	63	450(*)	70	230	55

$\mu_{fi} = \eta_{fi}$

(*) - Mínimo 8 varões

A verificação da resistência ao fogo dos pilares em betão armado, recorrendo ao Método A, consiste na verificação dos valores mínimos de *b* e de *a*, para cada escalão de resistência ao fogo, em função do grau de utilização em situação de incêndio, μ_{fi}. Como simplificação conservativa prevista na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) considerou-se, neste estudo, $\mu_{fi}=\eta_{fi}$. Sendo o nível de carregamento em situação de incêndio, η_{fi}, um parâmetro condicionante na aplicação do método em estudo, consideraram-se os valores de projeto e a simplificação apontada na referida norma, η_{fi}=0,7. Também, dependendo o parâmetro *a* do recobrimento das armaduras, considerou-se o recobrimento de projeto e o recobrimento mínimo determinado considerando a regulamentação e a normalização agora vigentes. Os resultados destas opções foram, depois, comparados.

4.3.2. PILARES RETANGULARES

4.3.2.1. CONSIDERANDO η_{fi} E O RECOBRIMENTO COM OS VALORES DE PROJETO

O Método A foi aplicado aos 12243 pilares retangulares, considerando os parâmetros identificados no parágrafo anterior. As caraterísticas destes pilares são indicadas nos Quadros A3.4.3 a A3.4.40 do Anexo A3.4. Adotou-se a simplificação conservativa apontada na Nota 1 do parágrafo 5.3.2(3) da EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), tomando-se o grau de utilização em situação de incêndio, μ_{fi}, igual ao fator de redução do valor de cálculo do nível de carregamento em situação de incêndio, η_{fi}. Consideraram-se os valores de η_{fi} indicados no Quadro A3.4.1 do Anexo A3.4, calculados para cada um dos projetos.

Os resultados da aplicação do Método A aos pilares retangulares é indicado na Figura 4.17. Analisando estes resultados pode constatar-se o seguinte:

- O método não é aplicável a 38,3% dos pilares, pelo facto do comprimento efetivo, da excentricidade de primeira ordem ou da quantidade de armadura apresentarem valores que ultrapassam os limites previstos para a sua aplicabilidade;

- Não verificam a resistência ao fogo requerida 47,9% dos pilares aos quais o método é aplicável, pois não são observados os valores mínimos da menor dimensão da secção transversal, b_{min}, os valores mínimos da distância do eixo dos varões da armadura longitudinal à face mais próxima sujeita a incêndio, a_{min}, ou não são observados simultaneamente b_{min} e a_{min};
- Pela aplicação deste método apenas 13,8% dos pilares apresentam a menor dimensão da secção transversal e a distância do eixo dos varões da armadura longitudinal à face mais próxima sujeita a incêndio igual ou superior ao mínimo indicado na tabela prevista na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), para o correspondente escalão de resistência ao fogo.

Método A			
Nº total de pilares	Não aplicável	Não verificam	Verificam
12243	38,3%	47,9%	13,8%
	4686	5869	1688

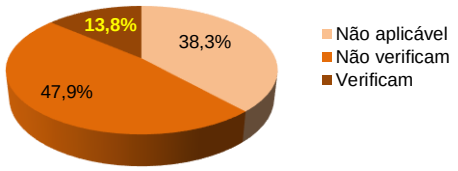


Figura 4.17 - Resultado da aplicação do Método A aos pilares retangulares analisados.

O Método A não é aplicável a 4686 pilares, pelo que se indicam, nas Figuras 4.18 e 4.19, os parâmetros limitativos da sua aplicabilidade. No primeiro gráfico, as percentagens são calculadas considerando os 4686 pilares aos quais o método não é aplicável e no segundo gráfico as percentagens são calculadas considerando os 12243 pilares retangulares.

Como pode observar-se no gráfico da Figura 4.18, o parâmetro que condiciona quase exclusivamente a aplicabilidade do método é a excentricidade de primeira ordem pois, dos 4686 pilares aos quais o método não é aplicável, em 97,2% a excentricidade de primeira ordem é superior aos limites indicados na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), isto é, superior a 0,15*b* ou 0,15*h*, conforme a direção do plano em que ocorre a flexão.

Método A não aplicável						
Percentagem calculada considerando os 4686 pilares aos quais o Método A não é aplicável						
Nº total de pilares	Comprimento efetivo (l_0)	Excentricidade de 1.ª ordem *e*	Área máxima de armadura A_c	l_0 e *e*	*e* e *As*	Total de pilares em que o Método A não é aplicável
12243	0,4%	97,2%	1,8%	0,6%	0,0%	4686
	18	4553	84	30	1	

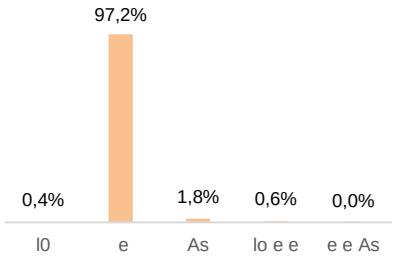


Figura 4.18 - Parâmetros que limitam a aplicabilidade do Método A. Percentagens calculadas considerando os 4686 pilares aos quais o método não é aplicável.

Analisando a Figura 4.19 conclui-se que cerca de 37% dos 12243 pilares estudados apresentam uma excentricidade de primeira ordem superior aos limites atrás indicados. Para os restantes parâmetros, as percentagens são quase insignificantes, variando entre 0,0% e 0,7%.

Método A não aplicável						
Percentagem calculada considerando todos os pilares (12243)						
Nº total de pilares	Comprimento efetivo (l_0)	Excentricidade de 1.ª ordem e	Área máxima de armadura A_c	*lo* e *e*	*e* e *As*	Total de pilares em que o Método A não é aplicável
12243	0,1%	37,2%	0,7%	0,2%	0,0%	4686
	18	4553	84	30	1	

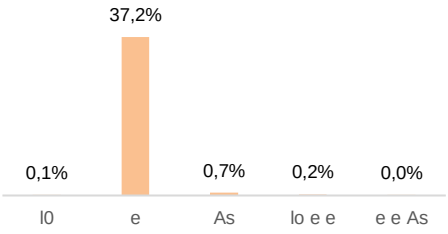


Figura 4.19 - Parâmetros que limitam a aplicabilidade do Método A. Percentagens calculadas considerando os 12243 pilares analisados.

O Método A é aplicável a 7557 pilares (61,7% dos pilares estudados). Quando utilizado este método para a verificação da sua resistência ao fogo, constata-se que não verificam os critérios de conformidade 5869 pilares. Esta não conformidade é devida à não satisfação de b_{min}, de a_{min}, ou em simultâneo dos dois parâmetros b_{min} e a_{min}.

Observando as Figuras 4.20 e 4.21 constata-se que o fator que conduz à não conformidade ao fogo do maior número de pilares é a não satisfação conjunta da menor dimensão da secção transversal dos pilares e da distância ao eixo dos varões da armadura principal, correspondendo a 79,6% dos pilares que não verificam, primeira figura, e a 38,2% de todos os pilares retangulares analisados, segunda figura. A não satisfação apenas da menor dimensão ocorre em 2,4% dos pilares que não satisfazem, correspondendo a 1,2% de todos os pilares retangulares estudados.

A distância mínima do eixo dos varões à face mais próxima exposta ao incêndio não é observada em 18,0% dos pilares que não verificam e a 8,6% dos pilares retangulares estudados. Salienta-se que o valor deste parâmetro é muito influenciado pelo recobrimento das armaduras, já que corresponde à soma do valor da espessura desse recobrimento com o valor do diâmetro da cinta e com metade do valor correspondente ao diâmetro do varão das armaduras longitudinais, quando os varões são dispostos numa única camada. Quando a armadura é disposta em várias camadas e/ou é constituída por varões de diferentes diâmetros, deve ser determinada a distância ao eixo média, recorrendo à Expressão (5.5) apresentada na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010).

Não verificam o Método A				
Percentagem calculada considerando os 5869 pilares que não verificam				
Nº total de pilares	b_{min}	a_{min}	b_{min} e a_{min}	Total de pilares que não verificam
12243	2,4%	18,0%	79,6%	5869
	143	1055	4671	

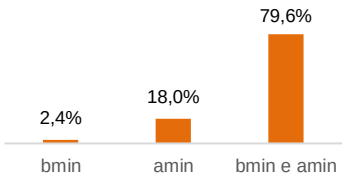


Figura 4.20 - Parâmetros que provocam a não conformidade pela aplicação do Método A. Percentagens calculadas considerando os 5869 pilares que não verificam.

Não verificam o Método A				
Percentagem calculada considerando todos os pilares (12243)				
Nº total de pilares	b_{min}	a_{min}	b_{min} e a_{min}	Total de pilares que não verificam
12243	1,2%	8,6%	38,2%	5869
	143	1055	4671	

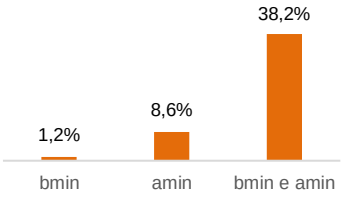


Figura 4.21 - Parâmetros que provocam a não conformidade pela aplicação do Método A. Percentagens calculadas considerando os 12243 pilares analisados.

A aplicação da tabela prevista na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), transcrita no Quadro 4.5, para a verificação da resistência ao fogo de pilares em betão armado, é realizada para cada escalão de resistência ao fogo. Assim, considerou-se pertinente verificar o resultado da sua aplicação em cada escalão, como se apresenta no Quadro 4.6 e nos gráficos das Figuras 4.22 e 4.23.

Quadro 4.6 - Resultado da aplicação do Método A aos pilares retangulares, por escalão de resistência ao fogo.

Escalão de resistência ao fogo	N.º de pilares em cada escalão	Método A								
		Não aplicável (n.º pilares)	Não verificam (n.º pilares)	Verificam (n.º pilares)	Percentagem calculada considerando os 12243 pilares retangulares analisados			Percentagem calculada considerando o número de pilares retangulares no escalão de resistência ao fogo correspondente		
					Não aplicável (%)	Não verificam (%)	Verificam (%)	Não aplicável (%)	Não verificam (%)	Verificam (%)
R30	280	252	0	28	2,1%	0,0%	0,2%	90,0%	0,0%	10,0%
R60	2349	1306	422	621	10,7%	3,4%	5,1%	55,6%	18,0%	26,4%
R90	5460	1021	3942	497	8,3%	32,2%	4,1%	18,7%	72,2%	9,1%
R120	3886	2107	1237	542	17,2%	10,1%	4,4%	54,2%	31,8%	13,9%
R180	268	0	268	0	0,0%	2,2%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%

Pela observação do gráfico da Figura 4.22, onde as percentagens são calculadas, para cada escalão de resistência ao fogo, considerando o número de pilares retangulares nesse escalão, pode constatar-se que nos escalões R30, R60 e R120 o Método A não é aplicável a mais de metade dos pilares (90% dos pilares aos quais é requerido o escalão R30, 55,6% dos pilares R60 e 54,2% dos pilares R120) e nos escalões R90 e R180 o método é aplicável mas não verifica os requisitos mínimos a maioria dos pilares (72,2% dos pilares no escalão R90 e todos os pilares no escalão R180).

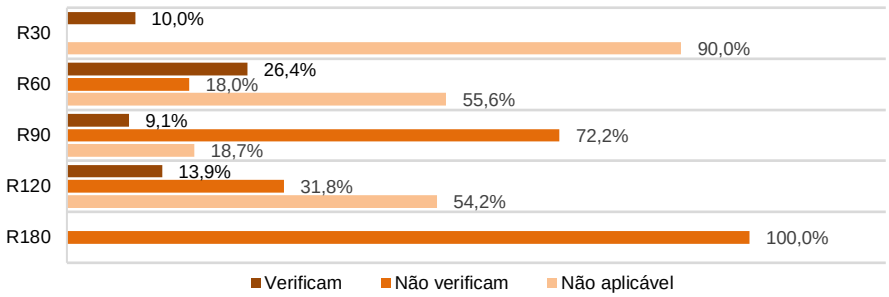


Figura 4.22 - Resultado da aplicação do Método A, por escalão de resistência ao fogo. Percentagens calculadas considerando o número de pilares retangulares no escalão de resistência ao fogo correspondente.

O gráfico da Figura 4.22 é mais eficaz na análise dos resultados da aplicação do método por escalão de resistência ao fogo, pois o número de pilares em cada escalão é significativamente diferente. No entanto, o gráfico da Figura 4.23 permite fazer uma análise global do comportamento dos 12243 pilares retangulares analisados. Assim, pode constatar-se o seguinte:

- Dos cerca de 50% (47,9%) de pilares aos quais o Método A é aplicável mas não verificam, 32,2% estão no escalão R90, 10,1% no escalão R120, 3,4% no escalão R60 e 2,2% no escalão R180, não havendo pilares nesta situação no escalão R30;
- Dos cerca de 40% (38,3%) de pilares aos quais o método não é aplicável, cerca de 17,2% estão no escalão R120, 10,7% no escalão R60, 8,3% no escalão R90 e 2,1% no escalão R30, não havendo pilares R180 aos quais o este método não seja aplicável;
- Dos 13,8% de pilares que verificam a resistência ao fogo requerida pela aplicação deste método, 5,1% está no escalão R60, 4,4% no escalão R120, uma percentagem semelhante (4,1%) no escalão R90, 0,2% no escalão R30, não havendo pilares que satisfaçam a resistência ao fogo no escalão R180.

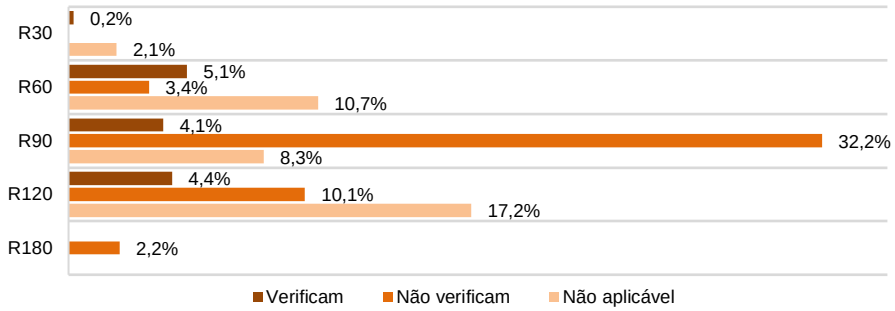


Figura 4.23 - Resultado da aplicação do Método A, por escalão de resistência ao fogo. Percentagens calculadas considerando os 12243 pilares retangulares analisados.

A análise mais detalhada das consequências da aplicação do Método A aos pilares retangulares estudados, em termos dos parâmetros que conduzem à não aplicabilidade do método (parâmetros l_0, e e A_s) e à não conformidade pela sua aplicação (parâmetros b_{min} e a_{min}) é apresentada no gráfico da Figura 4.24, elaborado a partir dos valores que constam no Quadro 4.7. Indicam-se, neste quadro, as percentagens de pilares que não observam os valores limite desses parâmetros, indicados na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) para este método. A distribuição dos pilares que verificam a resistência ao fogo requerida é apresentada no gráfico da Figura 4.25, para cada escalão de resistência ao fogo e para cada valor da menor dimensão da secção transversal. As percentagens, nestes dois gráficos e no Quadro 4.7, são determinadas considerando os 12243 pilares analisados.

Quadro 4.7 - Valores percentuais dos parâmetros que conduzem à não aplicabilidade e à não conformidade dos pilares pela aplicação do Método A.

Escalão de resistência ao fogo	Menor dimensão da secção transversal [cm]	l_0	e	A_s	l_0 e e	b_{min}	a_{min}	b_{min} e a_{min}
R30	20	-	1,04%	-	-	-	-	-
	25	-	1,02%	-	-	-	-	-
R60	15	-	0,02%	-	-	0,13%	-	0,03%
	20	0,15%	1,68%	0,07%	-	0,90%	-	0,90%
	25	-	1,11%	-	-	-	0,11%	-
	30	-	5,89%	-	-	-	1,27%	-
	35	-	0,34%	0,08%	-	-	0,10%	-
	40	-	1,27%	0,02%	-	-	-	-
	45	-	0,03%	-	-	-	-	-
R90	15	-	0,33%	-	-	-	-	-
	20	-	1,87%	-	0,02%	-	-	21,27%
	25	-	0,77%	-	-	0,01%	-	0,29%
	30	-	2,54%	0,10%	-	0,13%	-	8,81%
	35	-	1,32%	-	-	-	0,49%	-
	40	-	0,67%	-	-	-	1,20%	-
	45	-	0,41%	-	0,23%	-	-	-
	50	-	0,09%	-	-	-	-	-
R120	15	-	0,02%	-	-	-	-	-
	20	-	0,85%	0,21%	-	-	-	4,58%
	25	-	0,25%	-	-	-	-	0,45%
	30	-	1,18%	0,03%	-	-	-	1,82%
	35	-	0,08%	-	-	-	0,33%	-
	40	-	10,98%	0,02%	-	-	1,55%	-
	45	-	0,03%	-	-	-	0,13%	-
	50	-	3,25%	-	-	-	0,39%	-
	55	-	-	-	-	-	0,39%	-
	60	-	0,07%	-	-	-	0,03%	-
	65	-	-	-	-	-	0,18%	-
	70	-	0,05%	-	-	-	0,08%	-
	75	-	-	0,16%	-	-	-	-
	80	-	0,03%	-	-	-	0,16%	-
R180	75	-	-	-	-	-	2,12%	-
	80	-	-	-	-	-	0,07%	-
Total		0,15%	37,19%	0,69%	0,25%	1,17%	8,62%	38,15%

Examinando o gráfico da Figura 4.24 pode verificar-se de forma expedita quais os parâmetros que mais afetam a não aplicabilidade e a não conformidade dos pilares em cada escalão de resistência ao fogo e para cada valor da menor dimensão da sua secção transversal e, assim, poder observar as situações mais desfavoráveis. Na Figura 4.25 mostra-se a distribuição dos pilares que verificam a resistência ao fogo requerida, pelos diferentes escalões de resistência ao fogo e pelos diversos valores da menor dimensão da secção transversal destes elementos estruturais.

A Figura A4.1 do Anexo A4 permite comparar a percentagem de pilares aos quais o método não é aplicável, a percentagem de pilares que verificam e a percentagem de pilares que não verificam a resistência ao fogo, com a percentagem de pilares previstos, em cada escalão e para cada valor da menor dimensão da secção transversal.

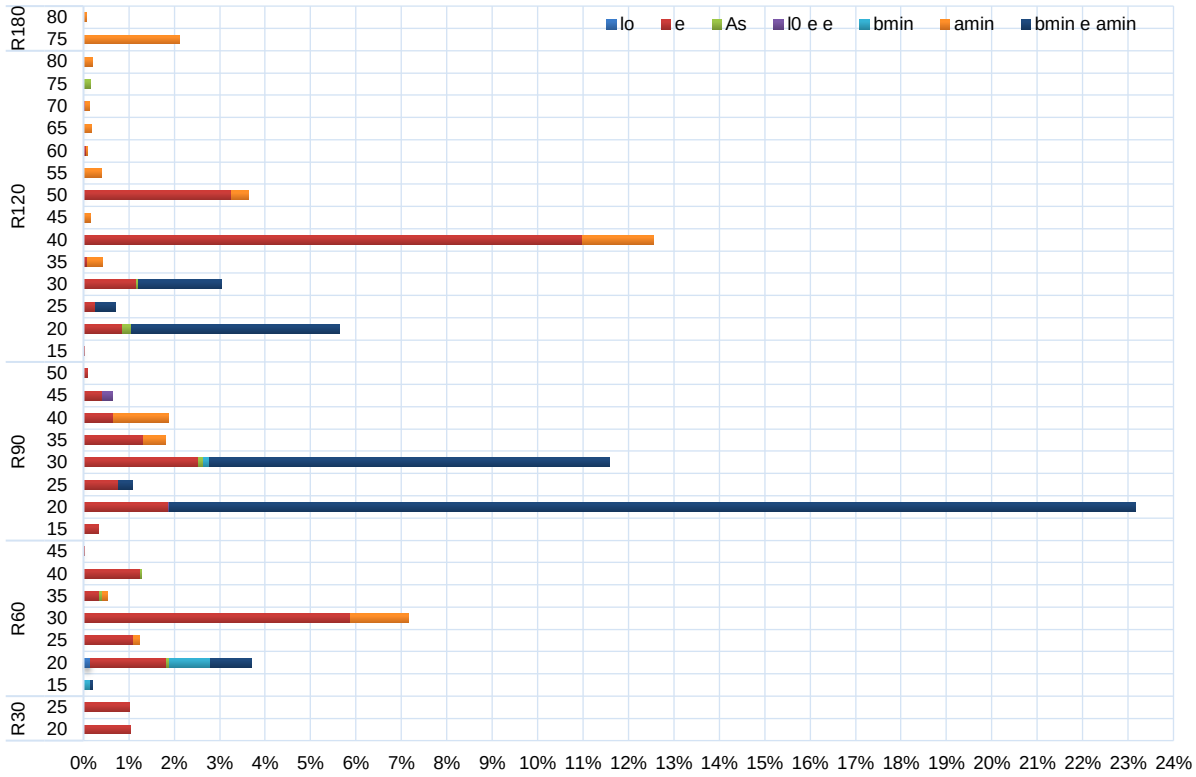


Figura 4.24 - Parâmetros que conduzem à não aplicabilidade e à não conformidade dos pilares pela aplicação do Método A.

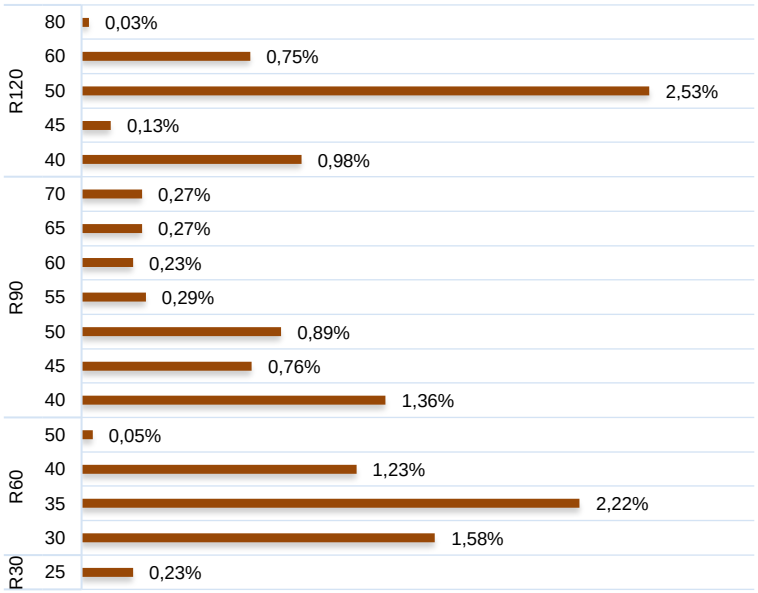


Figura 4.25 - Pilares que verificam a resistência ao fogo pela aplicação do Método A.

Considerando a aplicação do Método A na verificação da resistência ao fogo de pilares em betão armado, a análise do Quadro 4.7 e dos gráficos das Figuras 4.24 e 4.25 permite formular as seguintes conclusões:

- Escalão R30

  b = 20cm – o método não é aplicável a estes pilares, por ser excedido o valor de e_{max};

b = 25cm – 1,25% de pilares nesta situação; verificam a resistência ao fogo 0,23% e o método não é aplicável aos restantes, por ser excedido o valor de e_{max}.

- Escalão R60

b = 15cm – o método é aplicável a estes pilares, mas não verificam a resistência ao fogo por não ser observado o valor de b_{min}; realça-se que estes pilares, apesar de terem sido considerados nos projetos de estabilidade, apresentam uma largura inferior à mínima regulamentar;

b = 20cm – 3,69% de pilares nesta situação; nenhum pilar verifica, o método não é aplicável a 1,68%, por ser excedido o valor de e_{max}, sendo aplicável mas não verificam 1,8% dos pilares, em partes semelhantes, por não serem observados b_{min} e b_{min} e a_{min} em simultâneo; o parâmetro mais condicionante é, pois, a excentricidade;

b = 25cm – 1,23% de pilares nesta situação; nenhum pilar verifica, o método não é aplicável a 1,11%, por ser excedido o valor de e_{max}, sendo aplicável mas não verificam 0,11% dos pilares, pois $a < a_{min}$; o parâmetro mais condicionante é a excentricidade;

b = 30cm – 8,75% de pilares nesta situação; verificam a resistência ao fogo 1,58%, o método não é aplicável a 5,89%, por ser excedido o valor de e_{max}, sendo aplicável mas não verificam 1,27% dos pilares, pois $a < a_{min}$; o parâmetro mais condicionante é a excentricidade;

b = 35cm – 2,74% de pilares nesta situação; verificam a resistência ao fogo 2,22% e o método não é aplicável essencialmente por ser excedido o valor de e_{max} (0,34%), constatando-se ainda que em 0,08% dos pilares a área de armadura, A_s, ultrapassa também o limite máximo para a aplicabilidade; o método é aplicável a 0,10% de pilares, que não verificam a_{min}; o parâmetro mais condicionante é a excentricidade;

b = 40cm – 2,51% de pilares nesta situação; verificam a resistência ao fogo 1,23% e o método não é aplicável quase exclusivamente por ser excedido o valor de e_{max} (1,27%), constatando-se que em 0,02% dos pilares a área de armadura, A_s, ultrapassa o limite máximo para a aplicabilidade; o parâmetro mais condicionante é a excentricidade;

b = 45cm – 0,03% de pilares nesta situação; o método não é aplicável a estes pilares por ser excedido o valor de e_{max};

b = 50cm – 0,05% de pilares nesta situação; verificam a resistência ao fogo todos os pilares.

- Escalão R90

b = 15cm – o método não é aplicável a estes pilares, por ser excedido o valor de e_{max}; apesar de terem sido considerados nos projetos de estabilidade, estes pilares apresentam uma largura inferior à mínima regulamentar;

b = 20cm – 23,16% de pilares nesta situação; nenhum pilar verifica, o método não é aplicável a 1,89%, quase exclusivamente por ser excedido o valor de e_{max}, sendo aplicável mas não verificam 21,27% dos pilares, pois não são observados em simultâneo a_{min} e b_{min}, sendo estes os parâmetros mais condicionantes da conformidade;

b = 25cm – 1,07% de pilares nesta situação; nenhum pilar verifica a resistência ao fogo, o método não é aplicável a 0,77%, por ser excedido o valor de e_{max}, sendo aplicável mas não verificam 0,30% dos pilares, 0,29% por não serem observados b_{min} e a_{min} em simultâneo e 0,01% por não ser observado b_{min}; o parâmetro mais condicionante é a excentricidade;

b = 30cm – 11,57% de pilares nesta situação; nenhum pilar verifica, o método não é aplicável a 2,64%, quase exclusivamente por ser excedido o valor de e_{max}, sendo aplicável mas não verificam 8,94% dos pilares, 0,13% por não ser observado b_{min} e 8,81% por não serem observados em simultâneo b_{min} e a_{min}, os dois parâmetros mais condicionantes;

b = 35cm – 1,81% de pilares nesta situação; nenhum pilar verifica, o método não é aplicável a 1,32%, por ser excedido o valor de e_{max}, sendo aplicável mas não verificam 0,49% dos pilares, por não ser observado a_{min}; o parâmetro mais condicionante é a excentricidade;

b = 40cm – 3,23% de pilares nesta situação; verificam a resistência ao fogo 1,36%, o método não é aplicável a 0,67%, por ser excedido o valor de e_{max}, sendo aplicável mas não verificam 1,20% dos pilares, por não ser observado a_{min}; a incidência destes dois parâmetros é semelhante;

b = 45cm – 1,40% de pilares nesta situação; verificam a resistência ao fogo 0,76%, o método não é aplicável a 0,64%, por ser excedido o valor de e_{max} (0,41%) e por serem excedidos em simultâneo os valores máximos da excentricidade e do comprimento efetivo (0,23%); o parâmetro mais condicionante é a excentricidade;

b = 50cm – 0,98% de pilares nesta situação; verificam a resistência ao fogo 0,89% e o método não é aplicável a 0,09%, por ser excedido o valor de e_{max};

b = 55cm, b = 60cm, b = 65cm e b = 70cm – todos os pilares verificam a resistência ao fogo requerida;

- Escalão R120

b = 15cm – 0,02% de pilares nesta situação; o método não é aplicável por ser excedido o valor de e_{max}; apesar de terem sido considerados nos projetos de estabilidade, estes pilares apresentam uma largura inferior à mínima regulamentar;

b = 20cm – 5,64% de pilares nesta situação; nenhum pilar verifica, o método não é aplicável a 1,06%, por ser excedido o valor de e_{max} (0,85%) e de A_s (0,21%) e é aplicável a 4,58% dos pilares, que não verificam os requisitos de resistência ao

fogo por não serem observados b_{min} e a_{min} em simultâneo; os parâmetros condicionantes são b_{min} e a_{min};

b = 25cm e b = 30cm – 0,70% e 3,03% de pilares nesta situação, respetivamente; nenhum pilar verifica; o método não é aplicável essencialmente por ser excedido o valor de e_{max} ou é aplicável mas não verificam a resistência ao fogo por não serem observados b_{min} e a_{min} em simultâneo; estes dois parâmetros são os mais condicionantes;

b = 35cm – 0,41% de pilares nesta situação; nenhum pilar verifica, o método não é aplicável a 0,08%, por ser excedido o valor de e_{max} e é aplicável a 0,33% dos pilares, que não verificam os requisitos de resistência ao fogo por não ser observado a_{min}, o parâmetro mais condicionante;

b = 40cm e b = 50cm – 13,53% e 6,17% de pilares nesta situação, verificando 0,98% e 2,53%, respetivamente; o método não é aplicável essencialmente por ser excedido o valor de e_{max} (10,98% e 3,25%) ou é aplicável mas não verificam a resistência ao fogo por não ser observado a_{min} (1,55% e 0,39%); para b = 40cm verifica-se que não é observado o limite máximo de A_s em 0,02% dos pilares; o parâmetro mais condicionante é a excentricidade;

b = 45cm e b = 80cm – 0,29% e 0,23% de pilares nesta situação, verificando 0,13% e 0,03%, respetivamente; o método não é aplicável unicamente devido à excentricidade (0,03% em ambos os casos), sendo aplicável mas não verificam a resistência ao fogo 0,13% e 0,16% dos pilares, respetivamente, por não ser observado a_{min};

b = 55cm e b = 65cm – 0,39% e 0,18% de pilares nesta situação; o método é aplicável a todos os pilares, mas não verificam a resistência ao fogo por não ser observado a_{min};

b = 60cm e b = 70cm – 0,85% e 0,13% de pilares nesta situação; verificam a resistência ao fogo 0,75% de pilares para b = 60cm; o método não é aplicável, respetivamente a 0,07% e 0,05% por ser excedido o valor de e_{max}; 0,39% e 0,08% não verificam a resistência ao fogo, por não ser observado a_{min};

b = 75cm – o método não é aplicável a nenhum dos pilares, por apresentarem $A_s > A_{smax}$;

- Escalão R180

b = 75cm e b = 80cm – o método é aplicável a todos os pilares, mas nenhum verifica a resistência ao fogo, devido à não observação de a_{min}.

4.3.2.2. CONSIDERANDO η_{fi}=0,7

No subcapítulo anterior verificaram-se as consequências da aplicação do Método A aos pilares retangulares em análise nesta dissertação, considerando os valores do fator de redução η_{fi} determinados para cada um dos projetos.

A EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) prevê, na Nota 2 do Parágrafo 2.4.2(3) que, como simplificação, poderá utilizar-se um valor recomendado para aquele fator η_{fi}=0,7. Considerou-se pertinente, neste estudo, analisar as consequências da adoção desta simplificação. Assim, apresenta-se neste subcapítulo a análise da aplicação do Método A aos pilares retangulares, considerando μ_{fi}= η_{fi}=0,7.

O resultado da aplicação do Método A aos pilares retangulares, considerando μ_{fi}= η_{fi}=0,7 é indicado na Figura 4.26. Não são afetados os parâmetros que limitam a aplicabilidade do método (comprimento efetivo, l_0, excentricidade de primeira ordem, e, e área máxima de armadura, A_s) nem os correspondentes limites a observar, pois não são dependentes de η_{fi}. A análise focar-se-á, então, nos parâmetros cujos valores são consequentes deste fator, isto é, dos valores mínimos para a menor dimensão da secção transversal, b_{min}, e da distância do eixo dos varões da armadura longitudinal à face mais próxima sujeita a incêndio, a_{min}.

Analisando a Figura 4.26 pode constatar-se que, aos 61,7% de pilares aos quais o Método A é aplicável, 49,3% não verificam e apenas 12,4% verificam.

Não verificam a resistência ao fogo requerida os pilares que apresentam os valores da menor dimensão da secção transversal, b, e/ou os valores da distância do eixo dos varões da armadura longitudinal à face mais próxima sujeita a incêndio, a, inferiores aos mínimos indicados no Quadro 4.5, correspondente ao Quadro 5.2a da EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), para cada escalão de resistência ao fogo, considerando μ_{fi}= η_{fi}=0,7.

Método A - η_{fi}=0,7			
Nº total de pilares	Não aplicável	Não verificam	Verificam
12243	38,3%	49,3%	12,4%
	4686	6036	1521

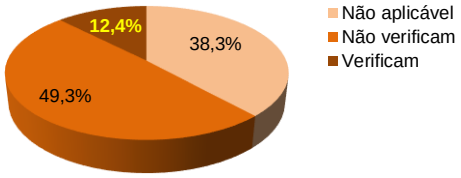


Figura 4.26 - Resultado da aplicação do Método A aos pilares retangulares analisados, considerando η_{fi}=0,7.

Comparando a Figura 4.26 com a Figura 4.17, que representa o resultado da aplicação do Método A considerando os valores de η_{fi} determinados para cada projeto, conclui-se que a simplificação correspondente à utilização de η_{fi}=0,7 se repercute na diminuição de 1,4% no número de pilares que satisfaz a resistência ao fogo requerida (passa de 13,8% para 12,4%). Apesar de 1,4% não corresponder a um número significativo de pilares (167), atendendo ao reduzido número destes elementos estruturais que verificam a resistência ao fogo, a utilização de η_{fi}=0,7 leva a que a percentagem de pilares que verificam, considerando esta simplificação, passe a ser cerca de 90% da percentagem de pilares que verificavam para η_{fi} de projeto (1521/1688), isto é, conduz a uma redução de cerca de 10%, no universo dos pilares que verificam a resistência ao fogo.

Como já referido, a simplificação conservativa em estudo neste subcapítulo não afeta os parâmetros que limitam a aplicabilidade do método. Assim, comparar-se-ão apenas os resultados referentes aos parâmetros que conduzem à não conformidade dos pilares, isto é, a_{min} e b_{min}. Os gráficos da Figura 4.27

representam as percentagens de pilares que não verificam a resistência ao fogo requerida, por serem ultrapassados os valores limite destes dois parâmetros, sendo o primeiro, (a), referente à utilização dos valores de η_{fi} de projeto e o segundo, (b), considerando η_{fi}=0,7. As percentagens são calculadas considerando todos os pilares retangulares.

Pode verificar-se que, quando se considera η_{fi}=0,7, a percentagem de pilares que não verificavam b_{min} diminui 1,1%, a percentagem de pilares que não verificam a_{min} aumenta 1,3% e a percentagem de pilares que não verificam em simultâneo b_{min} e a_{min} aumenta de 1,1%. Diminui o número de pilares que não verificam b_{min}, pois esses pilares passaram a não verificar b_{min} e a_{min} em simultâneo. O parâmetro mais afetado pela simplificação em estudo é, pois, a_{min}.

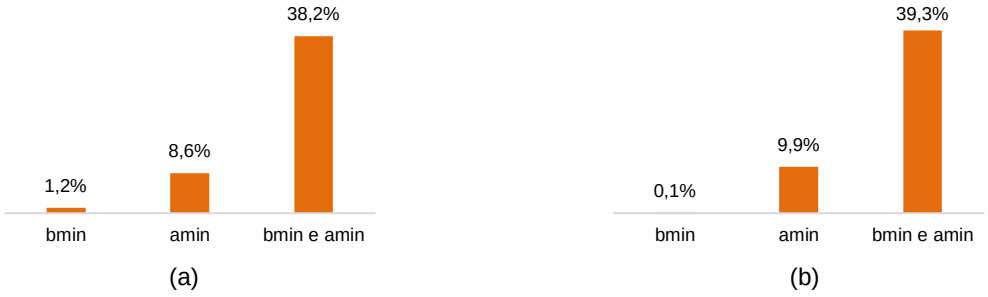


Figura 4.27 - Parâmetros que conduzem à não conformidade dos pilares retangulares pela aplicação do Método A, considerando: (a) η_{fi} calculado para cada projeto; (b) η_{fi}=0,7.

As consequências da utilização de η_{fi}=0,7, como simplificação alternativa aos valores de projeto, não se fazem sentir de igual forma nos pilares analisados. Com o objetivo de identificar as diferentes implicações desta simplificação organizou-se o Quadro 4.8 e o gráfico representado na Figura 4.28 onde se indicam, para cada escalão de resistência ao fogo e para cada valor da menor dimensão da secção transversal dos pilares, a percentagem destes elementos estruturais que não satisfazem a resistência ao fogo.

Quadro 4.8 - Pilares retangulares que não verificam a resistência ao fogo, considerando η_{fi} de projeto e η_{fi}=0,7, para cada escalão de resistência ao fogo e para cada valor da menor dimensão do pilar.

R	Menor dimensão b [cm]	η_{fi} de projeto				η_{fi}=0,7			
		b_{min}	a_{min}	b_{min} e a_{min}	Totais	b_{min}	a_{min}	b_{min} e a_{min}	Totais
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
R60	15	0,13%	0,00%	0,03%	0,16%	0,00%	0,00%	0,16%	0,16%
	20	0,90%	0,00%	0,90%	1,80%	0,07%	0,00%	1,73%	1,80%
	25	0,00%	0,11%	0,00%	0,11%	0,00%	0,07%	0,05%	0,11%
	30	0,00%	1,27%	0,00%	**1,27%**	0,00%	1,31%	0,00%	**1,31%**
	35	0,00%	0,10%	0,00%	0,10%	0,00%	0,10%	0,00%	0,10%
R90	20	0,00%	0,00%	21,27%	21,27%	0,00%	0,00%	21,27%	21,27%
	25	0,01%	0,00%	0,29%	0,30%	0,01%	0,00%	0,29%	0,30%
	30	0,13%	0,00%	8,81%	8,94%	0,00%	0,00%	8,94%	8,94%
	35	0,00%	0,49%	0,00%	0,49%	0,00%	0,49%	0,00%	0,49%
	40	0,00%	1,20%	0,00%	**1,20%**	0,00%	2,33%	0,00%	**2,33%**

Quadro 4.8 - Continuação - Pilares retangulares que não verificam a resistência ao fogo, considerando η_{fi} de projeto e η_{fi}=0,7, para cada escalão de resistência ao fogo e para cada valor da menor dimensão do pilar.

R	Menor dimensão b [cm]	η_{fi} de projeto				η_{fi}=0,7			
		b_{min}	a_{min}	b_{min} e a_{min}	Totais	b_{min}	a_{min}	b_{min} e a_{min}	Totais
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
R120	20	0,00%	0,00%	4,58%	4,58%	0,00%	0,00%	4,58%	4,58%
	25	0,00%	0,00%	0,45%	0,45%	0,00%	0,00%	0,45%	0,45%
	30	0,00%	0,00%	1,82%	1,82%	0,00%	0,00%	1,82%	1,82%
	35	0,00%	0,33%	0,00%	0,33%	0,00%	0,33%	0,00%	0,33%
	40	0,00%	1,55%	0,00%	**1,55%**	0,00%	1,70%	0,00%	**1,70%**
	45	0,00%	0,13%	0,00%	**0,13%**	0,00%	0,16%	0,00%	**0,16%**
	50	0,00%	0,39%	0,00%	**0,39%**	0,00%	0,42%	0,00%	**0,42%**
	55	0,00%	0,39%	0,00%	0,39%	0,00%	0,39%	0,00%	0,39%
	60	0,00%	0,03%	0,00%	0,03%	0,00%	0,03%	0,00%	0,03%
	65	0,00%	0,18%	0,00%	0,18%	0,00%	0,18%	0,00%	0,18%
	70	0,00%	0,08%	0,00%	0,08%	0,00%	0,08%	0,00%	0,08%
	80	0,00%	0,16%	0,00%	0,16%	0,00%	0,16%	0,00%	0,16%
R180	75	0,00%	2,12%	0,00%	2,12%	0,00%	2,12%	0,00%	2,12%
	80	0,00%	0,07%	0,00%	0,07%	0,00%	0,07%	0,00%	0,07%
Totais		1,17%	8,62%	38,15%	47,94%	0,07%	9,93%	39,30%	49,30%

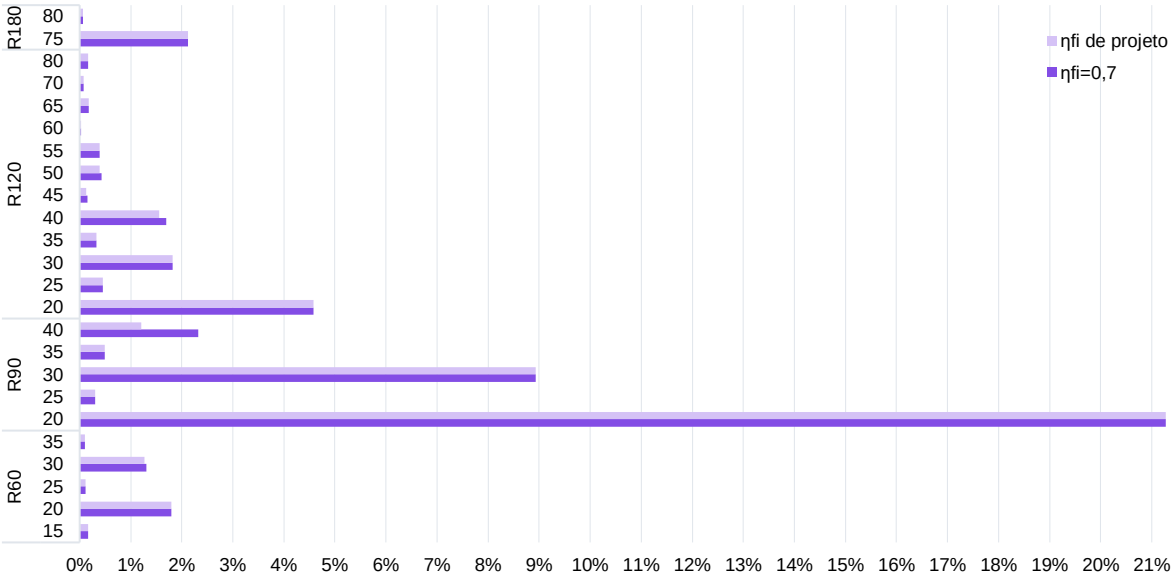


Figura 4.28 - Pilares que não verificam a resistência ao fogo aplicando o Método A, considerando η_{fi} de projeto e η_{fi}=0,7, para cada escalão de resistência ao fogo e para cada valor da menor dimensão do pilar.

Foi já referido que a utilização de η_{fi}=0,7 conduz a um aumento de 1,4% do número de pilares que não verificam a resistência ao fogo (167 pilares). Numa análise global, o número de pilares afetado é, pois, reduzido. Constata-se, no gráfico da figura anterior e no Quadro 4.8 (colunas 4 e 8), que são afetados apenas os pilares com valores de menor dimensão b=30cm, no escalão R60 (+0,04%), b=40cm no escalão R90 (+1,13%) e b=40cm (+0,15%), b=45cm (+0,03%) e b=50cm (+0,03%) no escalão R120, situações assinaladas no Quadro 4.8.

No entanto, procedendo a uma análise detalhada das consequências da simplificação em causa, para cada um dos parâmetros que leva à não conformidade dos pilares (b_{min}, a_{min} e b_{min} e a_{min} em simultâneo),

constata-se que o número de pilares afetado é superior. Comparem-se, no Quadro 4.8, as colunas (1) e (5) para b_{min}, as colunas (2) e (6) para a_{min} e as colunas (3) e (7) para b_{min} e a_{min}. Efetivamente, são observadas situações em que os pilares, que não observavam os valores mínimos de b ou de a, passaram a não observar, em simultâneo, os dois parâmetros.

Elaboraram-se os gráficos apresentados na Figura 4.29, com o objetivo de realçar os parâmetros mais afetados pela simplificação de η_{fi}. Os resultados apresentam-se para cada parâmetro que condiciona a conformidade, isto é, para b_{min}, para a_{min} e para b_{min} e a_{min} em simultâneo. Não são representados, neste gráfico, os pilares aos quais o Método A não é aplicável e os pilares que verificam a resistência ao fogo.

Pode constatar-se, comparando os gráficos (a) e (b), que o parâmetro a_{min} é o mais afetado pela simplificação do valor de η_{fi}. Correspondendo a_{min} à distância do eixo dos varões da armadura longitudinal à face do betão mais próxima sujeita a incêndio, o seu valor é significativamente afetado pela espessura do recobrimento, matéria que se apresenta no subcapítulo seguinte.

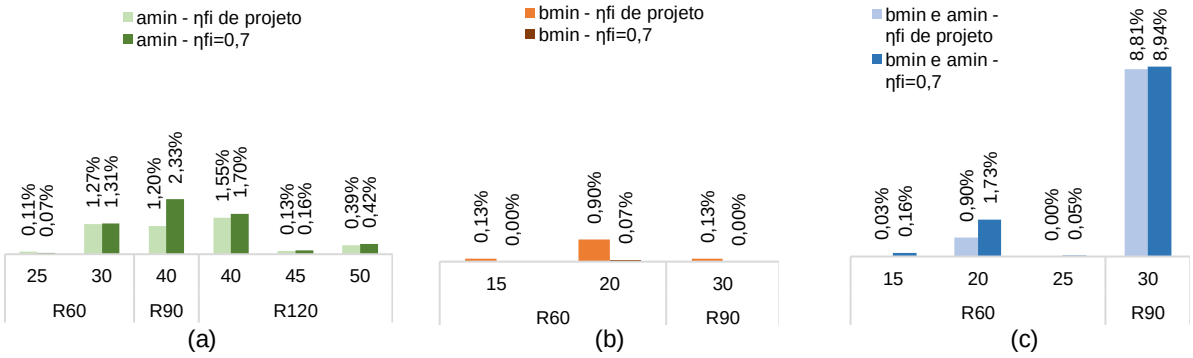


Figura 4.29 - Parâmetros que conduzem à não conformidade dos pilares e que são afetados pela simplificação do valor de η_{fi}: (a) Parâmetro a_{min}, (b) Parâmetro b_{min}, (c) Parâmetros a_{min} e b_{min} em simultâneo.

4.3.2.3. CONSIDERANDO O RECOBRIMENTO MÍNIMO APONTADO NA EN 1992-1-1 E η_{fi} COM OS VALORES DE PROJETO

A verificação da resistência ao fogo dos pilares em betão armado, utilizando os métodos que se apresentam, na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), sob a forma de tabelas (Método A, Método B e Método C) consiste, como já referido, na observação dos valores mínimos da menor dimensão da sua secção transversal, b_{min}, e da distância mínima do eixo dos varões da armadura principal à face mais próxima exposta ao incêndio, a_{min}.

Para varões de igual diâmetro e dispostos numa única camada, a distância do eixo dos varões da armadura principal à face mais próxima exposta ao incêndio, a, é determinada pela Expressão (4.12), aplicando-se o mesmo princípio quando os varões apresentam diferentes diâmetros e/ou se encontram dispostos em mais que uma camada, pelo que esta distância é dependente do recobrimento das armaduras, c. O valor deste parâmetro a considerar em projeto, recobrimento nominal c_{nom}, é definido, na EN 1992-1-1 (EC2-1-1, 2010), como a soma do recobrimento mínimo, c_{min}, e a margem de cálculo para as tolerâncias de execução, Δc_{dev}, sendo determinado pelas Expressões (4.13) e (4.14).

$$a_{min} = c_{nom} + \phi_{cinta} + \frac{\phi_{armadura}}{2} \tag{4.12}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} \tag{4.13}$$

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10mm\} \tag{4.14}$$

Em que:

$c_{min,b}$ recobrimento mínimo para os requisitos de aderência, [mm];
$c_{min,dur}$ recobrimento mínimo relativo às condições ambientais, [mm];
$\Delta c_{dur,\gamma}$ margem de segurança, [mm];
$\Delta c_{dur,st}$ redução do recobrimento mínimo no caso de utilização de aço inoxidável, [mm];
$\Delta c_{dur,add}$ redução do recobrimento mínimo no caso de proteção adicional, [mm].

❖ Critérios para a quantificação do recobrimento para os requisitos de aderência, $c_{min,b}$

Para a quantificação de $c_{min,b}$, a EN 1992-1-1 (EC2-1-1, 2010) apresenta o seguinte quadro:

Quadro 4.9 - Recobrimento mínimo, $c_{min,b}$, para os requisitos de aderência.

Requisitos de aderência	
Disposição dos varões	Recobrimento mínimo $c_{min,b}$ *)
Isolados	Diâmetro do varão
Agrupados	Diâmetro equivalente ($\phi_n = \phi\sqrt{n_b} \leq 55mm$; n_b – n.º de varões do agrupamento)
*) Se a máxima dimensão do agregado for superior a 32mm, $c_{min,b}$ deverá ser aumentado de 5mm	

❖ Critérios para a quantificação do recobrimento mínimo relativo às condições ambientais, $c_{min,dur}$

Para a quantificação de $c_{min,dur}$, recobrimento mínimo relacionado com a proteção das armaduras face às condições ambientais, há que tomar em consideração as classes de exposição e as classes estruturais. Considerou-se, neste trabalho, uma vida útil de projeto de 50 anos.

As classes de exposição são definidas de acordo com o disposto na EN 1992-1-1 (EC2-1-1, 2010), na EN 206-1 (2007) e na E 464 (2007). No Quadro 4.10 apresentam-se as classes de exposição que ocorrem no universo dos edifícios analisados.

Quadro 4.10 - Classes de exposição ambiental.

Designação da classe	Descrição do ambiente	Exemplos informativos
Corrosão induzida por carbonatação		
XC2	Húmido, raramente seco	Superfícies de betão sujeitas a longos períodos de contacto com a água; Muitas fundações.
XC3	Moderadamente húmido	Betão no interior de edifícios com moderada ou elevada humidade do ar (ex. cozinhas, quartos de banho); Betão no exterior protegido da chuva.
XC4	Ciclicamente húmido e seco	Superfícies de betão sujeitas ao contacto com a água, fora do âmbito da classe XC2; Superfícies exteriores de betão armado expostas à chuva.
Corrosão induzida por cloretos da água do mar		
XS1	Ar transportando sais marinhos, mas sem contacto direto com a água do mar	Estruturas na zona costeira ou na sua proximidade.

A classe estrutural recomendada na EN 1992-1-1 (EC2-1-1, 2010) para um tempo de vida útil de projeto de 50 anos e para as resistências indicativas do betão apontadas no Anexo Nacional NA da mesma norma e no Anexo F da EN 206-1 (2007), é a S4. Apresentam-se, no Quadro 4.11, as resistências indicativas do betão, para as classes de exposição indicadas no Quadro 4.10, correspondentes às que ocorrem nos edifícios em estudo.

Quadro 4.11 - Classes de exposição indicativas da resistência do betão.

Classes de exposição	Corrosão induzida por carbonatação			Corrosão induzida pelos cloretos da água do mar
	XC2	XC3	XC4	XS1
Classe indicativa da resistência	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37

Os valores recomendados de $c_{min,dur}$ são indicados no Quadro NA.II do Anexo Nacional NA da EN 1992-1-1 (EC2-1-1, 2010), onde são apresentados, também, os valores do recobrimento nominal. Os valores a adotar nos pilares dos edifícios em estudo são indicados no Quadro 4.12.

❖ Recobrimento nominal, c_{nom}

O recobrimento mínimo, c_{min}, de acordo com a Expressão (4.14), deve ser tomado considerando o maior valor dos três que podem ser obtidos. Desses três valores, em situações correntes como as analisadas neste trabalho, o maior corresponde ao obtido pela Expressão (4.15). Nesta expressão, de acordo com o estipulado na EN 1992-1-1 (EC2-1-1, 2010), todos os parâmetros são tomados com valor zero, com exceção de $c_{min,dur}$, recobrimento mínimo relativo às condições ambientais. Assim, na Expressão (4.13), basta somar o recobrimento mínimo relativo às condições ambientais ($c_{min,dur}$) com a margem de cálculo para as tolerâncias de execução (Δc_{dev}), para obter o recobrimento nominal, c_{nom}. O valor recomendado para Δc_{dev}, na referida norma, é de 10mm. O resultado é o indicado no Quadro 4.12, para cada classe de exposição. Salienta-se que a grande maioria dos pilares analisados se inserem nas classes de exposição XC3 e XC2.

$$c_{min} = c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,ad} \qquad (4.15)$$

Quadro 4.12 - Recobrimentos mínimos e nominais para um período de vida de projeto de 50 anos.

Recobrimento [mm]	Classes de exposição			
	XC2	XC3	XC4	XS1
Recobrimento mínimo	25	25	30	35
Recobrimento nominal	35	35	40	45

O recobrimento nominal mínimo assim obtido não foi observado em alguns dos pilares correspondentes às estruturas dos edifícios analisados, licenciados até 2007. Assim, considerou-se pertinente corrigir o recobrimento, previsto em projeto com valores inferiores aos agora determinados, e estudar as consequências da adoção destes valores mínimos na verificação da resistência ao fogo desses pilares.

Determinaram-se os valores de a para os pilares objeto de correção do recobrimento e utilizou-se o Método A para verificar a sua resistência ao fogo, obtendo os resultados indicados na Figura 4.30. Não são afetados os parâmetros que limitam a aplicabilidade do método (comprimento efetivo, l_0, excentricidade de primeira ordem, e, e área máxima de armadura, A_s), pelo que se mantém a percentagem de pilares aos quais o método não é aplicável (38,3%).

Método A - η_{fi} de projeto e recobrimento mínimo			
Nº total de pilares	Não aplicável	Não verificam	Verificam
12243	38,3%	42,1%	19,7%
	4686	5150	2407

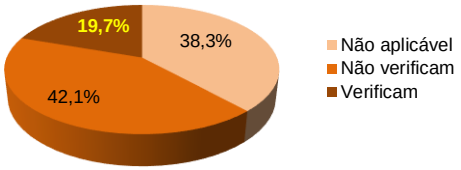


Figura 4.30 - Resultado da aplicação do Método A aos pilares retangulares analisados, considerando η_{fi} de projeto e o recobrimento mínimo regulamentar.

Observando o gráfico da figura anterior constata-se que, dos 61,7% de pilares aos quais o Método A é aplicável, 42,1% não verificam a resistência ao fogo requerida e 19,7% verificam. Comparando com os resultados obtidos considerando o recobrimento das armaduras previsto nos projetos de estabilidade, conclui-se que o facto de considerar o recobrimento mínimo conduz a um aumento de 5,9% dos pilares que verificam aquela resistência.

As percentagens dos parâmetros que conduzem à não conformidade (b_{min}, a_{min} e b_{min} e a_{min} em simultâneo) são apresentadas na Figura 4.31, considerando o recobrimento de projeto, Gráfico (a) e o recobrimento mínimo regulamentar, Gráfico (b). As diferenças percentuais observadas neste último gráfico são tratadas detalhadamente no Quadro 4.13.

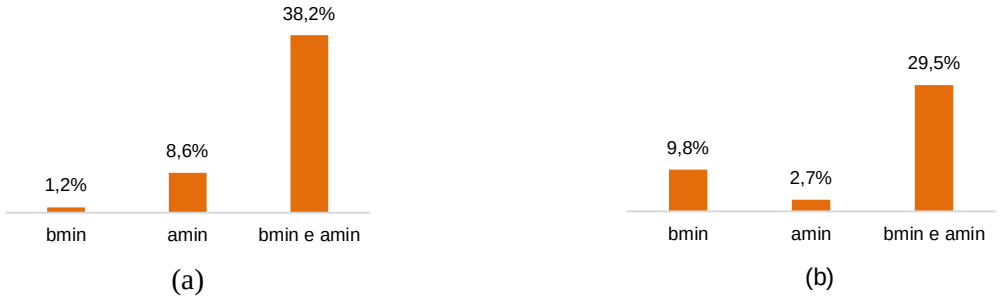


Figura 4.31 - Parâmetros que conduzem à não conformidade dos pilares retangulares em situação de incêndio aplicando o Método A, considerando: (a) O recobrimento previsto em projeto; (b) O recobrimento mínimo regulamentar.

Observando os gráficos da figura anterior pode constatar-se um aumento da percentagem de pilares que não verificam b_{min} (8,6%), pilares que não observavam b_{min} e a_{min} em simultâneo, mas que passaram a verificar a_{min} e uma diminuição significativa da percentagem de pilares que não verificavam este parâmetro e que passaram a verificar quando se considerou o recobrimento mínimo regulamentar (5,9%).

À semelhança do subcapítulo anterior, organizou-se o Quadro 4.13 onde se indicam, para cada escalão de resistência ao fogo e para cada valor da menor dimensão da secção transversal dos pilares, a percentagem destes elementos estruturais que não satisfazem a resistência ao fogo. Como pode verificar-se, apesar dos valores totais lidos nas colunas (4) e (8) variarem para um reduzido número de valores de b, as variações de b_{min}, colunas (1) e (5), de a_{min}, colunas (2) e (6) e de b_{min} e a_{min} em simultâneo, colunas (3) e (7), ocorrem para outros valores de b, não se refletindo essa variação no resultado final.

Para uma análise mais detalhada das consequências da correção do recobrimento previsto em projeto, organizaram-se os gráficos representados na Figura 4.32. Nesta figura, os gráficos representam a variação da percentagem de pilares que não verificam a resistência ao fogo requerida quando é

considerado o recobrimento das armaduras previsto em projeto (c_{proj}) e o recobrimento mínimo regulamentar (c_{min}), para determinar a distância do eixo dos varões à face mais próxima sujeita a incêndio (a). No primeiro gráfico representa-se a variação de a_{min}, no segundo a variação de b_{min} e no terceiro a variação de b_{min} e a_{min} em simultâneo.

Quadro 4.13 - Pilares retangulares que não verificam a resistência ao fogo, considerando o recobrimento de projeto (c_{proj}) e o recobrimento mínimo (c_{min}) no cálculo de a, para cada escalão de resistência ao fogo e valor da menor dimensão do pilar.

R	Menor dimensão b [cm]	Recobrimento (c) e η_{fi} de projeto				Recobrimento (c) mínimo e η_{fi} de projeto			
		b_{min}	a_{min}	b_{min} e a_{min}	Totais	b_{min}	a_{min}	b_{min} e a_{min}	Totais
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
R60	15	0,13%	0,00%	0,03%	0,16%	0,13%	0,00%	0,03%	0,16%
	20	0,90%	0,00%	0,90%	1,80%	1,80%	0,00%	0,00%	1,80%
	25	0,00%	0,11%	0,00%	**0,11%**	0,00%	0,00%	0,00%	**0,00%**
	30	0,00%	1,27%	0,00%	**1,27%**	0,00%	0,00%	0,00%	**0,00%**
	35	0,00%	0,10%	0,00%	**0,10%**	0,00%	0,07%	0,00%	**0,07%**
R90	20	0,00%	0,00%	21,27%	21,27%	2,30%	0,00%	18,97%	21,27%
	25	0,01%	0,00%	0,29%	0,30%	0,02%	0,00%	0,29%	0,30%
	30	0,13%	0,00%	8,81%	8,94%	3,51%	0,00%	5,42%	8,94%
	35	0,00%	0,49%	0,00%	**0,49%**	0,00%	0,29%	0,00%	**0,29%**
	40	0,00%	1,20%	0,00%	**1,20%**	0,00%	0,00%	0,00%	**0,00%**
R120	20	0,00%	0,00%	4,58%	**4,58%**	1,43%	0,00%	3,15%	4,58%
	25	0,00%	0,00%	0,45%	0,45%	0,15%	0,00%	0,30%	0,45%
	30	0,00%	0,00%	1,82%	1,82%	0,44%	0,00%	1,38%	1,82%
	35	0,00%	0,33%	0,00%	**0,33%**	0,00%	0,07%	0,00%	**0,07%**
	40	0,00%	1,55%	0,00%	**1,55%**	0,00%	0,13%	0,00%	**0,13%**
	45	0,00%	0,13%	0,00%	**0,13%**	0,00%	0,00%	0,00%	**0,00%**
	50	0,00%	0,39%	0,00%	**0,39%**	0,00%	0,00%	0,00%	**0,00%**
	55	0,00%	0,39%	0,00%	**0,39%**	0,00%	0,00%	0,00%	**0,00%**
	60	0,00%	0,03%	0,00%	**0,03%**	0,00%	0,00%	0,00%	**0,00%**
	65	0,00%	0,18%	0,00%	**0,18%**	0,00%	0,00%	0,00%	**0,00%**
	70	0,00%	0,08%	0,00%	**0,08%**	0,00%	0,00%	0,00%	**0,00%**
	80	0,00%	0,16%	0,00%	**0,16%**	0,00%	0,00%	0,00%	**0,00%**
R180	75	0,00%	2,12%	0,00%	2,12%	0,00%	2,12%	0,00%	2,12%
	80	0,00%	0,07%	0,00%	0,07%	0,00%	0,07%	0,00%	0,07%
Totais		1,17%	8,62%	38,15%	47,94%	9,78%	2,75%	29,54%	42,07%

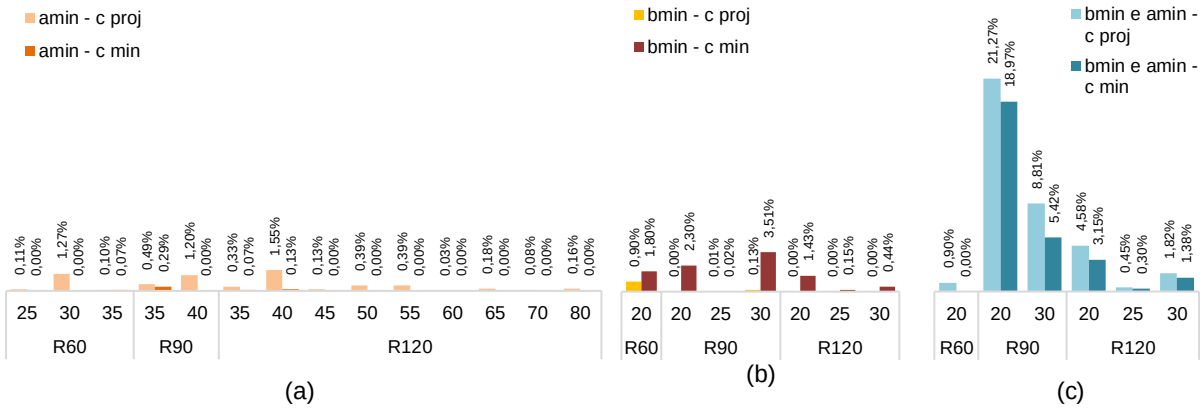


Figura 4.32 - Parâmetros que conduzem à não conformidade dos pilares e que são afetados pelo recobrimento das armaduras: (a) Parâmetro a_{min}, (b) Parâmetro b_{min}, (c) Parâmetros a_{min} e b_{min} em simultâneo.

Observando o Gráfico (a) da figura anterior constata-se que a maior redução da percentagem de pilares que não verificavam a_{min} ocorre para b=40cm, escalão R120, seguindo-se b=30cm, escalão R60 e b=40cm, escalão R90. O maior aumento da percentagem de pilares que passam a não verificar apenas b_{min}, Gráfico (b), quando não verificavam b_{min} e a_{min} em simultâneo, ocorre para b=30cm, escalão R90, seguindo-se b=20cm, no mesmo escalão, e b=20cm, escalão R60. A maior diminuição da percentagem de pilares que não verificavam b_{min} e a_{min} em simultâneo, Gráfico (c), pelo facto de passarem a verificar a_{min}, continuando a não observar b_{min}, ocorre para b=30cm e b=20cm, no escalão R90.

Pode concluir-se, pois, que a observação dos valores mínimos do recobrimento das armaduras, definido tomando em consideração a recente legislação nesta área, EN 1992-1-1 (EC2-1-1, 2010), EN 206-1 (2007) e E 464 (2007), conduz a um aumento significativo da percentagem de pilares que passam a verificar a resistência ao fogo quando se aplica o Método A, pelo que os projetistas de estruturas devem tomar especial atenção a este parâmetro.

4.3.3. PILARES CIRCULARES

4.3.3.1. CONSIDERANDO η_{fi} E O RECOBRIMENTO COM OS VALORES DE PROJETO

Aplicou-se o Método A aos 886 pilares de secção transversal circular, com as caraterísticas indicadas nos Quadros A3.4.41 a A3.4.44 do Anexo A3.4. Considerando o fator de redução do nível de carregamento em situação de incêndio, η_{fi}, e o recobrimento das armaduras, c, com os valores de projeto, constatou-se que verificam a resistência ao fogo requerida 50% dos pilares, o método não é aplicável a cerca de 22% destes elementos estruturais e não verificam a resistência ao fogo cerca de 28%, como se representa na Figura 4.33. Na Figura 4.34 apresenta-se a distribuição percentual pelos escalões de resistência ao fogo e pelos diâmetros dos pilares.

Método A			
Nº total de pilares	Não aplicável	Não verificam	Verificam
886	21,90%	28,10%	50,00%
	194	249	443

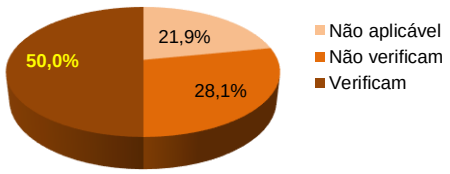


Figura 4.33 - Resultado da aplicação do Método A aos pilares circulares analisados.

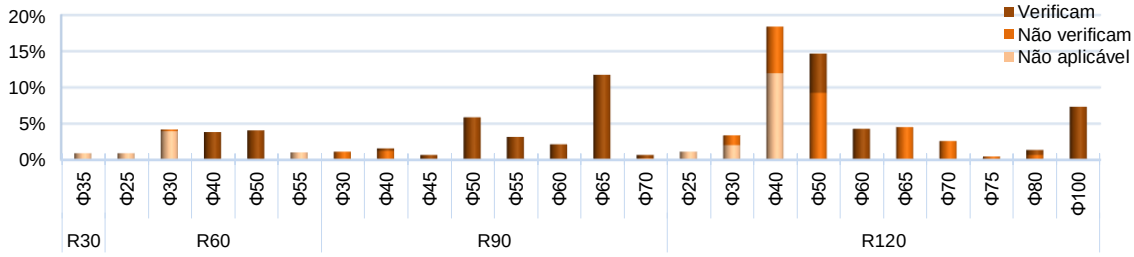


Figura 4.34 - Resultado da aplicação do Método A aos pilares circulares analisados em cada escalão de resistência ao fogo, para cada valor do diâmetro.

Analisando a figura anterior constata-se que nos escalões R60 e R90 a percentagem de pilares que verificam a resistência ao fogo é mais elevada que nos restantes escalões, o método não é aplicável aos pilares no escalão R30, e no escalão R120 a resistência ao fogo só é verificada, total ou parcialmente, em quatro dos dez diâmetros previstos. A não verificação é devida, quase exclusivamente, ao facto de não ser observado o valor mínimo da distância do eixo dos varões da armadura principal à face mais próxima exposta a incêndio, *a*, como pode verificar-se na Figura 4.36.

O Método A não é aplicável a 21,9% dos pilares (194) pelo facto de serem ultrapassados os limites previstos para a sua aplicabilidade, em percentagens idênticas, do comprimento efetivo (l_0) e da excentricidade (e), e com menor incidência, da área máxima de armadura (A_s), como se observa nos gráficos da Figura 4.35. No Gráfico (a) as percentagens foram calculadas considerando os 194 pilares aos quais o método não é aplicável e no Gráfico (b) considerando os 886 pilares circulares analisados.



(a) (b)

Figura 4.35 - Parâmetros que limitam a aplicabilidade do Método A: (a) Percentagens calculadas considerando os 194 pilares aos quais o método não é aplicável; (b) Percentagens calculadas considerando os 886 pilares analisados.

O Método A é aplicável a 692 pilares (78,1% dos pilares circulares estudados). Destes, não verificam a resistência ao fogo 249 (28,1%), quase exclusivamente por não ser observado o valor mínimo da distância do eixo dos varões da armadura principal à face mais próxima exposta a incêndio, *a*, (91,2% dos pilares que não verificam, Gráfico (a) da Figura 4.36 e 25,6% dos pilares analisados), não sendo verificados, em simultâneo, o menor valor do diâmetro ($\Phi \geq b_{min}$) e a_{min}, em apenas 8,8% dos pilares circulares que não verificam, correspondente a 2,5% dos pilares analisados.



(a) (b)

Figura 4.36 - Parâmetros que provocam a não conformidade pela aplicação do Método A: (a) Percentagens calculadas considerando os pilares que não verificam; (b) Percentagens calculadas considerando todos os pilares analisados.

4.3.3.2. CONSIDERANDO η_{fi}=0,7

À semelhança da metodologia seguida no subcapítulo 4.3.2.2 para os pilares retangulares, analisar-se-ão, para os pilares circulares, as consequências da simplificação apontada na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), no sentido de poder utilizar-se o valor do fator de redução η_{fi}=0,7. Não são afetados os parâmetros que limitam a aplicabilidade do método, pelo que a análise focalizar-se-á nos parâmetros cujos valores são dependentes deste fator, isto é, dos valores mínimos para o diâmetro da secção transversal, $\Phi \leq b_{min}$, e da distância do eixo dos varões da armadura longitudinal à face mais próxima sujeita a incêndio, a_{min}.

A Figura 4.37 mostra o resultado da aplicação do Método A aos pilares circulares, considerando η_{fi} de projeto, Gráfico (a), e η_{fi}=0,7, Gráfico (b). A simplificação implica uma substancial redução da percentagem de pilares que verificavam a resistência ao fogo (10,4%).



(a) (b)

Figura 4.37 - Resultado da aplicação do Método A aos pilares circulares analisados: (a) Considerando η_{fi} de projeto; (b) Considerando η_{fi}=0,7.

A análise da Figura 4.38 permite constatar que o acréscimo da percentagem de pilares que passam a não verificar a resistência ao fogo, quando se utiliza η_{fi}=0,7, se deve exclusivamente ao aumento do número de pilares que não verificam a_{min}.



(a) (b)

Figura 4.38 - Parâmetros que conduzem à não conformidade dos pilares circulares pela aplicação do Método A: (a) Considerando η_{fi} calculado para cada projeto; (b) Considerando η_{fi}=0,7.

A simplificação agora em estudo afeta exclusivamente a conformidade do parâmetro a_{min}, como pode deduzir-se da figura anterior, para os pilares no escalão de resistência ao fogo R120 e com os diâmetros Φ50, Φ60 e Φ80, como se observa na Figura 4.39. Nesta figura representa-se a variação da percentagem de pilares que não verificam a_{min}, considerando η_{fi} de projeto e η_{fi}=0,7.

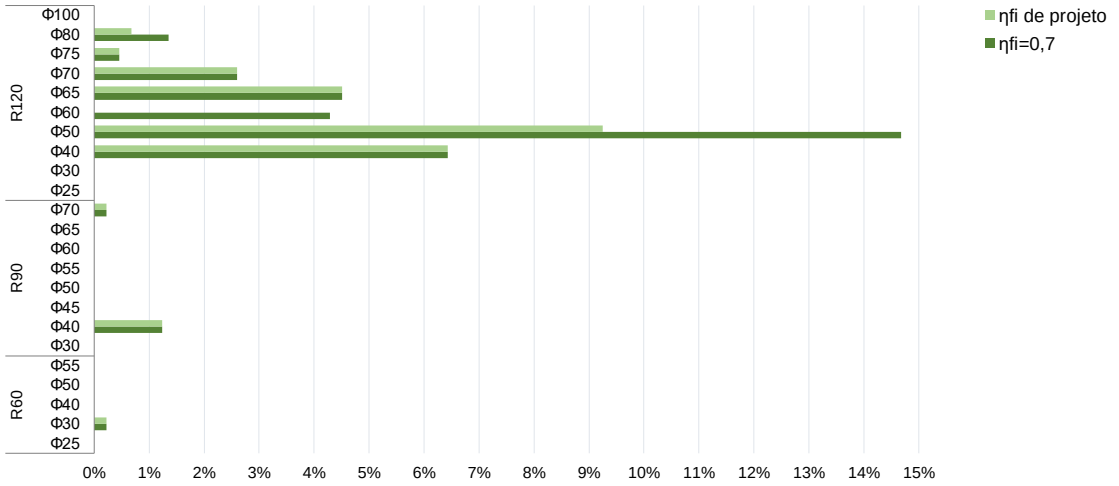


Figura 4.39 - Variação da percentagem de pilares que não verificam a_{min}, considerando η_{fi} de projeto e η_{fi}=0,7.

4.3.3.3. CONSIDERANDO O RECOBRIMENTO MÍNIMO APONTADO NA EN 1992-1-1 E η_{fi} COM OS VALORES DE PROJETO

O recobrimento das armaduras, *c*, é um parâmetro pertinente na verificação da resistência ao fogo dos elementos estruturais em betão armado, influenciando a distância do eixo dos varões da armadura principal à face mais próxima exposta ao incêndio, *a*, como se expôs no Subcapítulo 4.3.2.3.

Estudou-se, também para os pilares de secção transversal circular, a influência da correção do recobrimento considerando os valores mínimos regulamentares, não previstos em alguns dos pilares estudados, pelo facto dos edifícios onde se inserem terem sido licenciados antes de 2007, ano da publicação da legislação em causa.

Considerando a aplicação do Método A e mantendo os valores de projeto de η_{fi}, obtiveram-se os resultados apresentados no Gráfico (b) da Figura 4.40, salientando-se a elevada percentagem de pilares que verificam a resistência ao fogo (71,1%). Comparando com o Gráfico (a) da mesma figura, conclui-se que ao considerar o recobrimento mínimo nos pilares em que o valor deste parâmetro era inferior, a percentagem destes elementos estruturais que verificam a resistência ao fogo aumentou 21,1%.



Figura 4.40 - Resultado da aplicação do Método A aos pilares circulares analisados: (a) Considerando o recobrimento de projeto; (b) Considerando o recobrimento mínimo regulamentar.

Os parâmetros que conduzem à não aplicabilidade do método não são afetados pelo recobrimento das armaduras, pelo que se mantém a percentagem de pilares aos quais o método não é aplicável (21,9%). As percentagens dos parâmetros que afetam a conformidade são apresentados no Gráfico (b) da Figura 4.41, verificando-se que a_{min} foi o único parâmetro afetado, mantendo-se a percentagem de

pilares que não verificam em simultâneo b_{min} e a_{min}. Comparando os dois gráficos apresentados nesta figura conclui-se que a redução da percentagem de pilares que não verificavam a_{min} é muito significativa, quando se considera o recobrimento mínimo regulamentar.



Figura 4.41 - Comparação das percentagens dos parâmetros que conduzem à não conformidade dos pilares circulares em situação de incêndio, pela aplicação do Método A: (a) Considerando o recobrimento previsto em projeto; (b) Considerando o recobrimento mínimo regulamentar.

Pretendendo-se verificar quais os pilares mais afetados, elaborou-se o gráfico da Figura 4.42 que representa a variação da percentagem dos pilares que não verificam a_{min}, considerando o recobrimento de projeto (c_{proj}) e o recobrimento mínimo (c_{min}). A única situação em que os pilares continuam a não verificar a_{min} (não considerando os 2,5% correspondentes a b_{min} e a_{min} em simultâneo) ocorre nos pilares com diâmetro Φ40, no escalão R120.

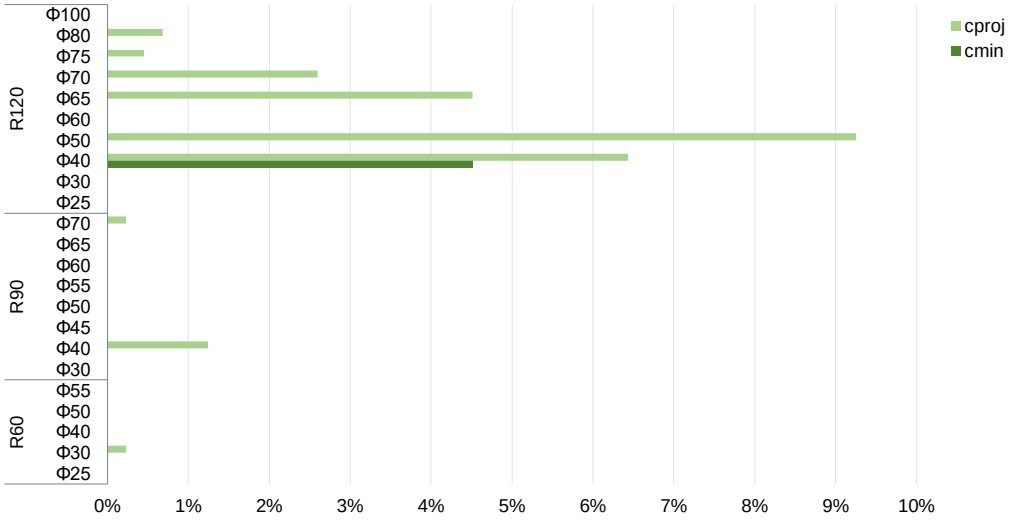


Figura 4.42 - Variação da percentagem de pilares que não verificam a_{min}, pela aplicação do Método A, considerando o recobrimento de projeto (c_{proj}) e o recobrimento mínimo (c_{min}).

4.4. APLICAÇÃO DO MÉTODO B

4.4.1. INTRODUÇÃO

A aplicação do Método B na verificação da resistência ao fogo de pilares em betão armado é muito simples pois, à semelhança do Método A, consiste em verificar que a menor dimensão da secção transversal, b, e a distância do eixo dos varões da armadura principal à face mais próxima sujeita a incêndio, a, apresentem valores iguais ou superiores aos mínimos apontados em forma de tabela, na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010).

Utilizando este método, a conformidade dos pilares é verificada para cada escalão de resistência ao fogo, em função da taxa mecânica de armaduras, ω, e do nível de carregamento à temperatura normal, n. É aplicável apenas a pilares de estruturas contraventadas, para valores limitados da excentricidade de primeira ordem, e, e da esbelteza, λ, ambos em situação de incêndio.

Condicionam a aplicabilidade deste método os seguintes parâmetros:

– Excentricidade de primeira ordem em situação de incêndio:

$$e \leq 0{,}25b \qquad e_{max} = 100\text{mm} \tag{4.16}$$

$$e = \frac{M_{0Ed,fi}}{N_{0Ed,fi}} \tag{4.17}$$

– Esbelteza do pilar em situação de incêndio, igual á esbelteza à temperatura normal:

$$\lambda_{fi} \leq 30 \tag{4.18}$$

$$\lambda_{fi} = l_{0,\,fi} / i \tag{4.19}$$

– Taxa mecânica de armaduras:

$$\omega \leq 1{,}000 \tag{4.20}$$

$$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}} \tag{4.21}$$

– Nível de carregamento à temperatura normal:

$$n \leq 0{,}7 \tag{4.22}$$

$$n = \frac{N_{0Ed,\,fi}}{0{,}7\,(A_c f_{cd} + A_s f_{yd})} \tag{4.23}$$

Nas expressões anteriores, os parâmetros têm o seguinte significado:

$M_{0Ed,fi}$ momento fletor atuante em situação de incêndio, determinado pela Expressão (4.5), [kN.m];
$N_{0Ed,fi}$ esforço normal atuante em situação de incêndio, determinado pela Expressão (4.4), [kN];
$l_{0,fi}$ comprimento efetivo do pilar em situação de incêndio, [m];
i raio de giração mínimo, [m];
A_s área da secção transversal dos varões da armadura longitudinal, [m^2];
A_c área da secção transversal de betão, [m^2];
f_{yd} valor de cálculo da tensão de cedência à tração do aço das armaduras, [kN/m^2];
f_{cd} valor de cálculo da tensão de rotura do betão à compressão, [kN/m^2];

O Quadro 4.14 corresponde à tabela que consta na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) para a verificação da resistência ao fogo de pilares em betão armado, aplicando o Método B. Na aplicação deste método aos pilares analisados efetuaram-se interpolações lineares entre linhas e entre colunas, de modo a obter resultados com maior grau de rigor.

Quadro 4.14 - Valores de b_{min} e de a_{min} para pilares de secção retangular ou circular considerando a aplicação do Método B dos Valores Tabelados.

Resistência ao fogo padrão	Taxa mecânica de armaduras ω	Dimensões mínimas (mm) Largura do pilar b_{min}/distância ao eixo a			
		$n = 0,15$	$n = 0,3$	$n = 0,5$	$n = 0,7$
1	2	3	4	5	6
R 30	0,100	150/25*)	150/25*)	200/30:250/25*)	300/30:350/25*)
	0,500	150/25*)	150/25*)	150/25*)	200/30:250/25*)
	1,000	150/25*)	150/25*)	150/25*)	200/30:300/25*)
R 60	0,100	150/30:200/25*)	200/40:300/25*)	300/40:500/25*)	500/25*)
	0,500	150/25*)	150/35:200/25*)	250/35:350/25*)	350/40:550/25*)
	1,000	150/25*)	150/30:200/25*)	200/40:400/25*)	300/50:600/30
R 90	0,100	200/40:250/25*)	300/40:400/25*)	500/50:550/25*)	550/40:600/25*)
	0,500	150/35:200/25*)	200/45:300/25*)	300/45:550/25*)	500/50:600/40
	1,000	200/25*)	200/40:300/25*)	250/40:550/25*)	500/50:600/45
R 120	0,100	250/50:350/25*)	400/50:550/25*)	550/25*)	550/60:600/45
	0,500	200/45:300/25*)	300/45:550/25*)	450/50:600/25*)	500/60:600/50
	1,000	200/40:250/25*)	250/50:400/25*)	450/45:600/30	600/60
R 180	0,100	400/50:500/25*)	500/60:550/25*)	550/60:600/30	(1)
	0,500	300/45:450/25*)	450/50:600/25*)	500/60:600/50	600/75
	1,000	300/35:400/25*)	450/50:550/25*)	500/60:600/45	(1)
R 240	0,100	500/60:550/25*)	550/40:600/25*)	600/75	(1)
	0,500	450/45:500/25*)	550/55:600/25*)	600/70	(1)
	1,000	400/45:500/25*)	500/40:600/30	600/60	(1)

*) *O recobrimento especificado na EN 1992-1-1 é, em geral, condicionante.*

(1) *Requer uma largura superior a 600 mm. É requerida uma avaliação específica em relação à encurvadura.*

O nível de carregamento à temperatura normal, *n*, é um dos parâmetros de entrada na tabela anterior. Para verificar a resistência ao fogo dos pilares objeto deste estudo, aplicando o Método B, determinaram-se os valores de *n* para todos esses pilares, utilizando a Expressão (4.23). A variação dos valores do nível de carregamento apresentam-se nas Figuras 4.43 e 4.44, para os pilares de secção transversal quadrangular e nas Figuras 4.45 e 4.46 para os de secção circular.

Como pode verificar-se no gráfico da Figura 4.43, 14,4% dos pilares de secção transversal retangular apresentam um valor de *n* superior a 0,7 (barras vermelhas), valor máximo previsto na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) para a aplicabilidade do Método B. Pode constatar-se, também, que os valores mais correntes de *n* estão compreendidos entre 0,2 e 0,3 e entre 0,3 e 0,4 (14,9% dos pilares em cada um destes intervalos), seguindo-se os valores compreendidos entre 0,4 e 0,5 (13,5%).

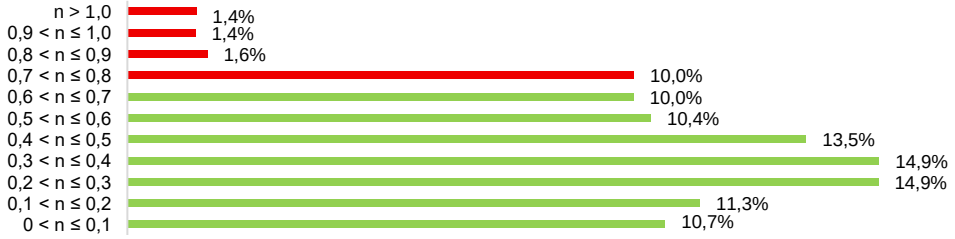


Figura 4.43 - Distribuição dos pilares retangulares pelos diferentes intervalos de *n*.

Na Figura 4.44 é mostrada a distribuição dos pilares retangulares pelos diferentes intervalos de *n*, considerados em função dos valores da menor dimensão da secção transversal. É também assinalado, pela linha tracejada, o valor limite indicado no parágrafo anterior (n=0,7). Como pode verificar-se, as maiores percentagens de pilares que ultrapassam aquele valor limite apresentam a menor dimensão b=20cm, para n compreendido entre 0,7 e 0,8 e a menor dimensão b=30cm, para os restantes intervalos com n>0,8.

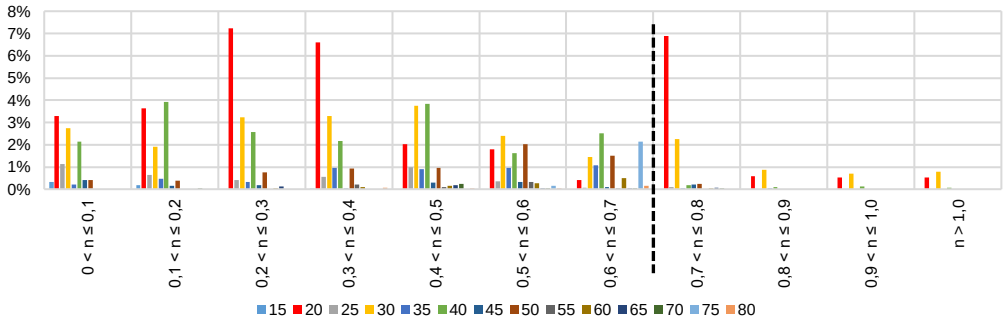


Figura 4.44 - Distribuição percentual dos pilares retangulares pelos intervalos de *n*, para cada valor da menor dimensão da sua secção transversal.

A distribuição dos pilares de secção circular pelos diferentes intervalos de *n* é representada na Figura 4.45. Pode observar-se que 26% dos pilares apresentam um valor deste parâmetro superior a 0,7, percentagem substancialmente superior à verificada nos pilares retangulares.

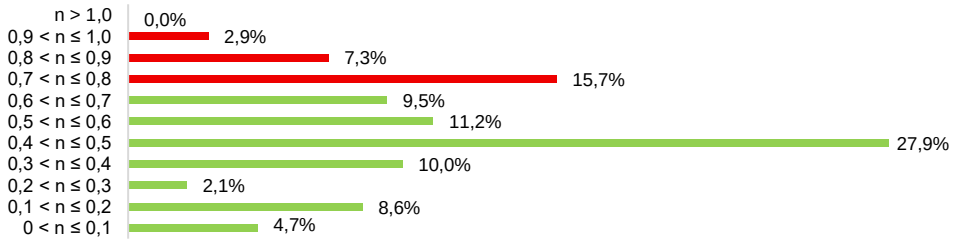


Figura 4.45 - Distribuição dos pilares circulares pelos diferentes intervalos de *n*.

Na Figura 4.46 mostra-se a distribuição dos pilares circulares pelos diferentes intervalos de *n*, em função dos valores do diâmetro da sua secção transversal, assinalando-se, também, o valor limite n=0,7. Como pode observar-se, são os pilares com o diâmetro Φ50cm que apresentam a maior percentagem de valores de *n* compreendidos 0,7 e 0,8, com o diâmetro Φ60cm a maior percentagem entre $0,8<n\leq0,9$ e os pilares Φ40cm os únicos que apresentam valores do nível de carregamento compreendidos entre 0,9 e 1,0. Não há pilares circulares com valores de nível de carregamento superior a 1,0.

Os valores de *n* foram determinados pela aplicação da Expressão (4.23) e, portanto, dependentes de $N_{0Ed,fi}$. Como o valor de $N_{0Ed,fi}$ é dependente do fator de redução, η_{fi}, Expressão (4.4), conclui-se que o valor do nível de carregamento é dependente do valor do fator de redução. Nas Figuras 4.43 a 4.46 os valores de *n* foram determinados considerando os valores de projeto de η_{fi}. Analisar-se-ão, também, as consequências da simplificação conservativa que permite considerar η_{fi}=0,7.

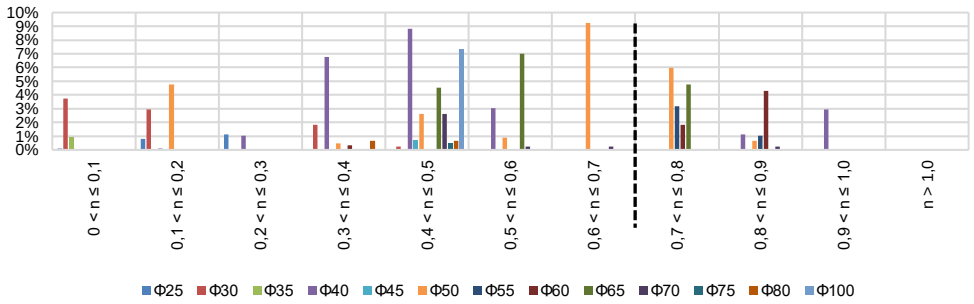


Figura 4.46 - Distribuição percentual dos pilares circulares pelos intervalos de *n*, para cada valor de diâmetro da sua secção transversal.

4.4.2. PILARES RETANGULARES

4.4.2.1. CONSIDERANDO η_{fi} E O RECOBRIMENTO COM OS VALORES DE PROJETO

Considerando a aplicação do Método B na verificação da resistência ao fogo dos 12243 pilares retangulares objeto deste estudo, tomando o fator de redução, η_{fi}, (para o cálculo de *n*) e o recobrimento das armaduras, *c*, (para o cálculo de *a*), com os valores de projeto, obtiveram-se os resultados apresentados na Figura 4.47. Constata-se que o método não é aplicável a 45,8% dos pilares, não verificam a resistência ao fogo cerca de 30% e verificam quase um quarto dos pilares analisados (24,4%).

Método B			
Nº total de pilares	Não aplicável	Não verificam	Verificam
12243	45,8%	29,8%	24,4%
	5607	3652	2984

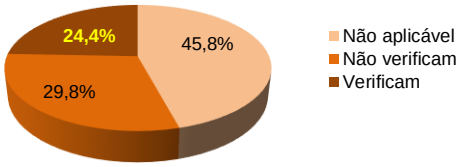


Figura 4.47 - Resultado da aplicação do Método B aos pilares retangulares analisados.

O Método B não é aplicável a 45,8% dos pilares, por serem ultrapassados os valores limite da excentricidade, *e*, da esbelteza, λ, do nível de carregamento, *n*, e da taxa mecânica das armaduras, ω. Para os pilares no escalão R180 com um nível de carregamento n=0,7 e taxa mecânica das armaduras com valores nos intervalos $0{,}100 \leq \omega < 0{,}500$ e $0{,}500 < \omega < 1{,}000$, isto é, taxa mecânica das armaduras diferente de 0,500, é requerida uma largura superior a 60cm e a avaliação específica em relação à encurvadura, pelo que o Método B não é aplicável.

Nas Figuras 4.48 e 4.49 apresenta-se a contribuição de cada parâmetro na não aplicabilidade do método, sendo as percentagens calculadas, na primeira figura, considerando os 5607 pilares aos quais o método não é aplicável e na segunda, considerando os 12243 pilares retangulares.

Método B não aplicável								
Percentagem calculada considerando os 5607 pilares aos quais o Método B não é aplicável								
Nº total de pilares	*e*	*λ*	*e* e *λ*	*n*	*ω*	*n* e *ω*	Aval. Encurv.	Total de pilares em que o Método B não é aplicável
12243	45,2%	10,2%	3,6%	29,9%	4,9%	1,5%	4,8%	100,0%
	2534	571	200	1674	276	84	268	5607

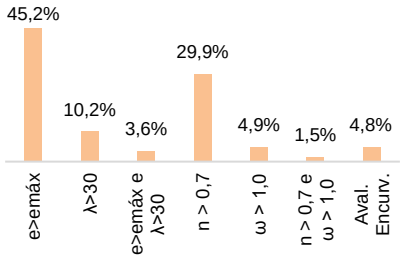


Figura 4.48 - Parâmetros que limitam a aplicabilidade do Método B: Percentagens calculadas considerando os 5607 pilares aos quais o método não é aplicável.

À semelhança do sucedido no Método A, também no Método B é a excentricidade que mais condiciona a sua aplicabilidade, correspondendo a cerca de 45% dos pilares aos quais o método não é aplicável, Figura 4.48, e a 20,7% de todos os pilares retangulares analisados, Figura 4.49. O nível de carregamento é o segundo parâmetro condicionante, impedindo a aplicabilidade do método a 13,7% dos pilares analisados, isto é, a cerca de 30% dos pilares aos quais o método não é aplicável.

Método B não aplicável								
Percentagem calculada considerando todos os pilares (12243)								
Nº total de pilares	$e>e_{máx}$	*λ>30*	$e>e_{máx}$ e *λ>30*	*n*>0,7	*ω*>1,0	*n*>0,7 e *ω* >1,0	Aval. Encurv.	Total de pilares em que o Método B não é aplicável
12243	20,7%	4,7%	1,6%	13,7%	2,3%	0,7%	2,2%	45,80%
	2534	571	200	1674	276	84	268	5607

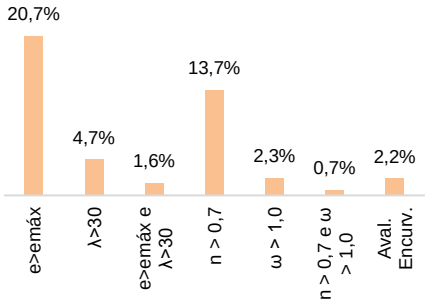


Figura 4.49 - Parâmetros que limitam a aplicabilidade do Método B: Percentagens calculadas considerando os 12243 pilares analisados.

O Método B é, pois, aplicável a mais de 50% dos pilares retangulares analisados (54,2%). Destes, apenas 24,4% verificam a resistência ao fogo e os restantes 29,8% não verificam, como se mostra na Figura 4.47. Assim, importa verificar a incidência dos parâmetros que conduzem à não conformidade destes elementos estruturais, apresentada nos gráficos da Figura 4.50.



Figura 4.50 - Parâmetros que provocam a não conformidade pela aplicação do Método B: (a) Percentagens calculadas considerando os pilares que não verificam; (b) Percentagens calculadas considerando os 12243 pilares analisados.

Conclui-se, desta figura, que é a menor dimensão dos pilares o parâmetro que mais condiciona a sua conformidade. Dos 29,8% de pilares que não verificam, 12,6% não observam o valor mínimo da menor

dimensão, b_{min}, e 14,1% não verificam b_{min} e a_{min} em simultâneo, pelo que 26,7% (12,6%+14,1%) não verificam b_{min} (superior a um quarto dos pilares analisados e cerca de 90% dos pilares que não verificam). Os pilares que não satisfazem a_{min} correspondem a 17,2% (3,1%+14,1%) dos pilares analisados.

O resultado da aplicação do Método B aos pilares estudados, em função do escalão de resistência ao fogo, é representado no gráfico da Figura 4.51. Neste gráfico, onde as percentagens são calculadas, para cada escalão de resistência ao fogo, considerando o número de pilares retangulares nesse escalão, evidenciam-se as seguintes conclusões:

- Escalão R30 - o método não é aplicável a cerca de 60% dos pilares neste escalão e verificam a resistência ao fogo todos os pilares aos quais ele é aplicável; a não aplicabilidade deve-se essencialmente ao facto de, neste escalão, os pilares apresentarem secções transversais de reduzidas dimensões;
- Escalão R60 - quase metade dos pilares verificam a resistência ao fogo (46,1%), 11,4% não verificam e o método não é aplicável a 42,5%; neste escalão é muito próxima a percentagem de pilares que verificam e a percentagem aos quais o método não é aplicável;
- Escalão R90 - verificam a resistência ao fogo apenas 19,2% dos pilares neste escalão, sendo próximas as percentagens dos pilares aos quais o método não é aplicável e a dos que não verificam;
- Escalão R120 - a percentagem de pilares que verifica a resistência ao fogo, neste escalão, é igual à observada no escalão R90 (19,2%); o método não é aplicável a mais de metade dos pilares (51,9%) e não verificam a resistência 28,8%.
- Escalão R180 - o método não é aplicável aos pilares neste escalão.

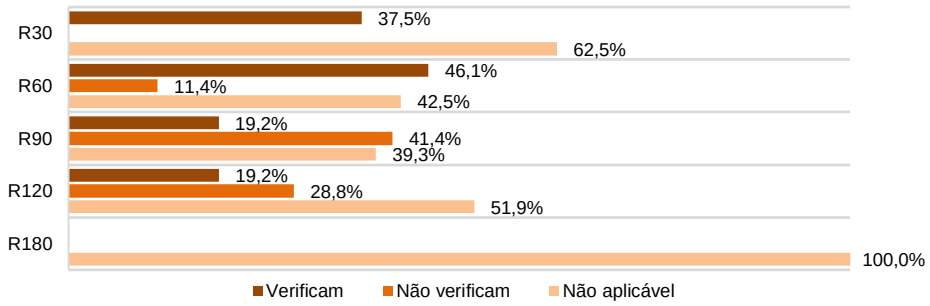


Figura 4.51 - Resultado da aplicação do Método B, por escalões de resistência ao fogo. Percentagens calculadas considerando o número de pilares retangulares no escalão de resistência ao fogo correspondente.

No Quadro 4.15 apresentam-se os resultados mais detalhados da aplicação do Método B aos pilares retangulares analisados, indicando-se as percentagens destes elementos estruturais que não observam os valores limite a considerar, apontados na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), para cada um dos parâmetros que conduzem à não aplicabilidade do método (parâmetros e, λ, n, ω e a imposição da avaliação específica em relação à encurvadura, para os pilares no escalão R180 e nas condições atrás apontadas), assim como à não conformidade dos pilares (parâmetros b_{min} e a_{min}). As percentagens foram calculadas considerando todos os pilares analisados.

O gráfico da Figura 4.52, elaborado a partir dos valores que constam no Quadro 4.15, permite uma rápida perceção da incidência de cada um dos parâmetros na não aplicabilidade e na não conformidade dos pilares analisados, assim como uma expedita comparação dessa incidência. Constata-se, nomeadamente, que a excentricidade e o nível de carregamento afetam a aplicabilidade do método a um

elevado número de secções, enquanto a esbelteza afeta um número reduzido e que a esbelteza, apesar de afetar um número mais reduzido de secções que a taxa mecânica das armaduras, provoca a não aplicabilidade do método a um maior número de pilares (4,66%) que este segundo parâmetro (2,25%).

A distribuição dos pilares que verificam a resistência ao fogo requerida, quando se utiliza o Método B, é apresentada no gráfico da Figura 4.53, para cada escalão de resistência ao fogo e para cada valor da menor dimensão da secção transversal. As percentagens, neste gráfico, são determinadas considerando os 12243 pilares analisados.

A Figura A4.2 do Anexo A4 complementa a informação mostrada no quadro seguinte e nas Figuras 4.52 e 4.53, permitindo comparar as percentagens aí apresentadas com as correspondentes aos pilares previstos em cada escalão e para cada valor da menor dimensão da secção transversal.

Quadro 4.15 - Valores percentuais dos parâmetros que conduzem à não aplicabilidade e à não conformidade dos pilares pela aplicação do Método B.

Escalão de resistência ao fogo	Menor dimensão da secção transversal [cm]	e	λ	e e λ	n	ω	n e ω	Aval. Encurv.	b_{min}	a_{min}	b_{min} e a_{min}
R30	20	0,58%	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	25	0,85%	--	--	--	--	--	--	--	--	--
R60	15	--	0,16%	0,02%	--	--	--	--	--	--	--
	20	0,19%	3,13%	--	--	0,16%	--	--	0,21%	--	--
	25	0,40%	--	--	--	--	--	--	0,05%	--	--
	30	2,54%	--	--	0,13%	0,05%	0,03%	--	1,25%	0,34%	0,03%
	35	0,11%	--	--	0,03%	0,08%	--	--	0,15%	--	--
	40	0,95%	--	--	0,03%	0,05%	--	--	--	0,16%	--
	45	0,03%	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	50	0,05%	--	--	--	--	--	--	--	--	--
R90	15	--	--	0,33%	--	--	--	--	--	--	--
	20	0,03%	0,90%	1,05%	5,51%	1,73%	0,42%	--	6,89%	--	5,70%
	25	0,44%	--	--	--	--	--	--	0,09%	--	0,23%
	30	1,30%	--	--	3,71%	--	0,10%	--	0,25%	0,54%	2,45%
	35	1,14%	--	--	0,05%	--	--	--	--	0,05%	0,28%
	40	0,10%	--	--	0,03%	--	--	--	0,03%	0,23%	1,13%
	45	0,19%	--	0,23%	0,07%	--	--	--	0,05%	0,09%	0,07%
	50	0,05%	--	--	0,03%	--	--	--	0,03%	0,34%	--
	55	--	--	--	--	--	--	--	--	0,04%	--
	60	--	--	--	0,05%	--	--	--	--	--	--
	65	--	--	--	0,06%	--	--	--	--	--	--
	70	--	--	--	0,03%	--	--	--	--	--	--
R120	15	--	0,02%	--	--	--	--	--	--	--	--
	20	0,29%	0,46%	--	2,47%	0,08%	0,13%	--	0,15%	--	1,97%
	25	0,13%	--	--	0,08%	--	--	--	0,12%	0,20%	0,17%
	30	0,80%	--	--	0,63%	0,03%	--	--	0,28%	0,26%	0,62%
	35	0,02%	--	--	--	--	--	--	0,04%	0,10%	0,20%
	40	8,12%	--	--	0,40%	0,02%	--	--	2,06%	0,14%	1,16%
	45	0,03%	--	--	0,16%	--	--	--	0,04%	--	--
	50	2,24%	--	--	0,21%	0,05%	--	--	0,88%	0,42%	0,15%
	55	--	--	--	--	--	--	--	--	0,19%	--
	60	0,03%	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	70	0,05%	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	80	0,03%	--	--	--	--	--	--	--	--	--
R180	75	--	--	--	--	--	--	2,12%	--	--	--
	80	--	--	--	--	--	--	0,07%	--	--	--
Total		20,70%	4,66%	1,63%	13,67%	2,25%	0,69%	2,19%	12,58%	3,10%	14,15%

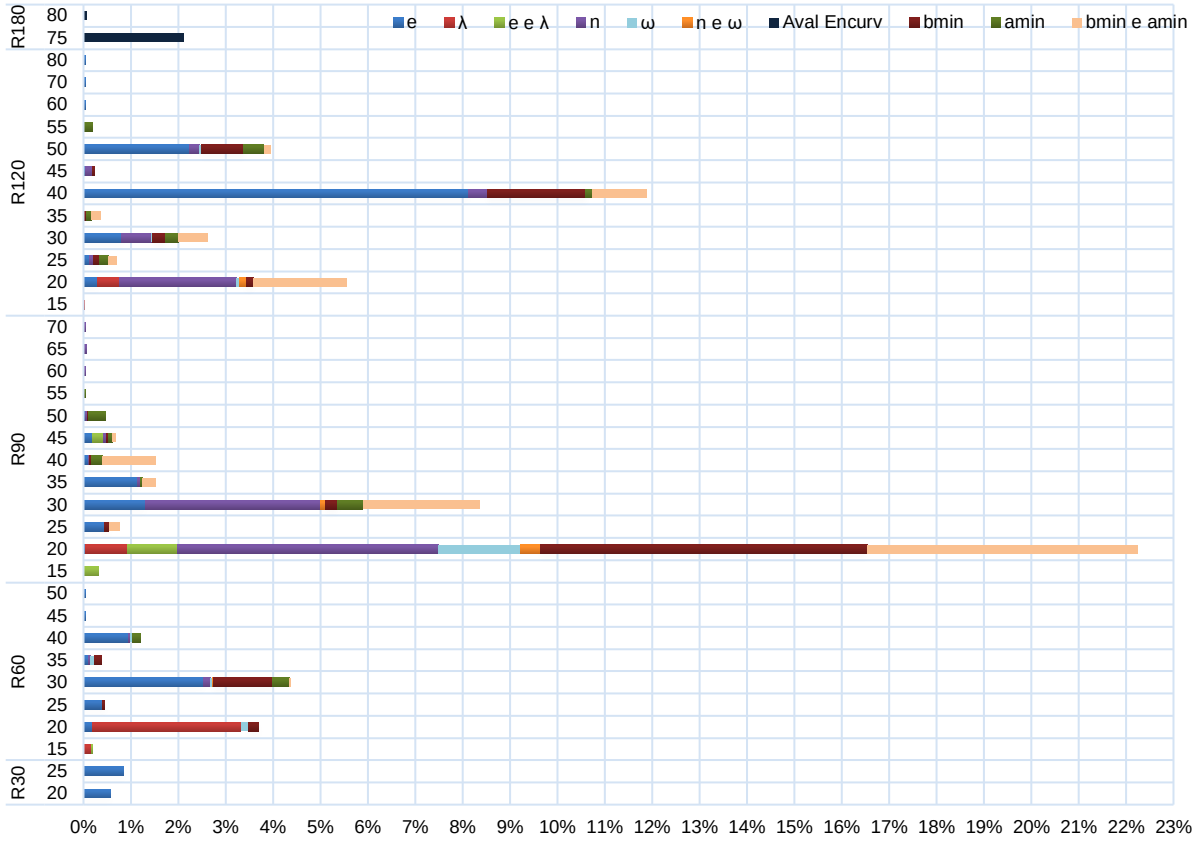


Figura 4.52 - Parâmetros que conduzem à não aplicabilidade e à não conformidade dos pilares pela aplicação do Método B.

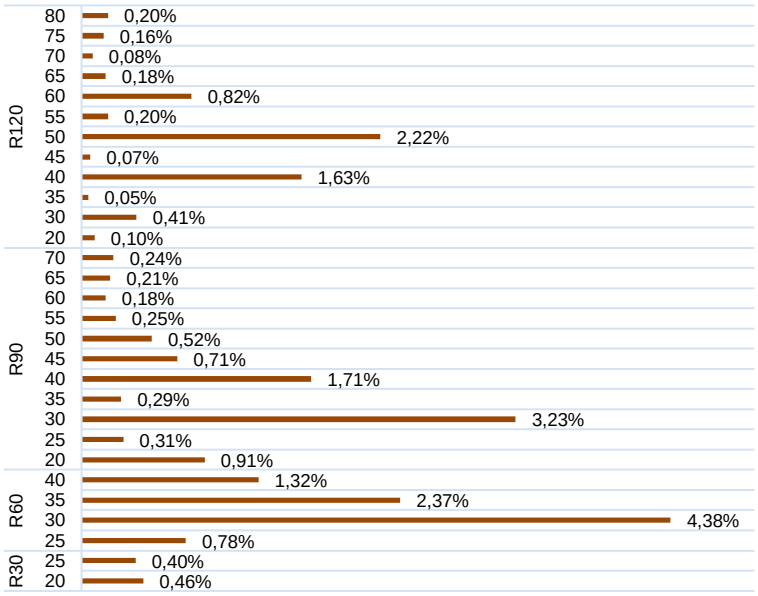


Figura 4.53 - Pilares que verificam a resistência ao fogo pela aplicação do Método B.

Considerando a aplicação do Método B na verificação da resistência ao fogo dos pilares retangulares em betão armado analisados, a observação do Quadro 4.15 e dos gráficos das Figuras 4.52 e 4.53, complementados com a Figura A4.2 do Anexo A4, permite formular as seguintes conclusões:

- Escalão R30

  b = 20cm e b = 25cm – 1,04% e 1,25% de pilares, respetivamente, nesta situação; verificam a resistência ao fogo menos de metade dos pilares (0,46% e 0,40%); o método não é aplicável a 0,58% e 0,85% dos pilares por ser excedido o valor de e_{max};

- Escalão R60

  b = 15cm – o método não é aplicável a estes pilares, por serem excedidos os valores de e_{max} e de λ_{max}; apesar de terem sido considerados nos projetos de estabilidade, estes pilares apresentam uma largura inferior à mínima regulamentar;

  b = 20cm – 3,69% de pilares nesta situação; nenhum pilar verifica, o método não é aplicável a 3,48% e não verificam 0,21%, por não ser observado b_{min};

  b = 25cm – 1,23% de pilares nesta situação; verificam a resistência ao fogo 0,78%, o método não é aplicável a 0,40%, por ser excedido o valor de e_{max}, sendo aplicável mas não verificam 0,05% dos pilares, por não ser observado b_{min};

  b = 30cm, b = 35cm e b = 40cm – 8,75%, 2,74% e 2,51% de pilares, respetivamente, nesta situação; verificam a resistência ao fogo 4,38%, 2,37% e 1,32%, o método não é aplicável a 2,75%, 0,23% e 1,03%, essencialmente por ser excedido o valor de e_{max}, sendo aplicável mas não verificam 1,62%, 0,15% e 0,16% dos pilares, por não serem observados b_{min} e a_{min} no primeiro caso (b = 30cm), b_{min} no segundo (b = 35cm) e a_{min} no terceiro (b = 40cm);

  b = 45cm e b = 50cm – 0,03% e 0,05% de pilares, respetivamente, nesta situação; o método não é aplicável a estes pilares por ser excedido o valor de e_{max};

- Escalão R90

  b = 15cm – o método não é aplicável a estes pilares, por ser excedido o valor de e_{max}; apesar de terem sido considerados nos projetos de estabilidade, estes pilares apresentam uma largura inferior à mínima regulamentar;

  b = 20cm – 23,16% de pilares nesta situação; 0,91% verificam, o método não é aplicável a 9,65%, essencialmente por ser excedido o valor de n=0,7, sendo aplicável mas não verificam 12,59% dos pilares, por não serem observados b_{min} (6,89%) e a_{min} e b_{min} em simultâneo (5,70%);

  b = 25cm – 1,07% de pilares nesta situação; verificam a resistência ao fogo 0,31%, o método não é aplicável a 0,44%, por ser excedido o valor de e_{max}, sendo aplicável mas não verificam 0,32% dos pilares, fundamentalmente por não serem observados b_{min} e a_{min} em simultâneo;

  b = 30cm, b = 35cm, b = 40cm e b = 50cm – verificam a resistência ao fogo cerca de um quarto dos pilares com b = 30cm e b = 35cm e cerca de metade dos pilares com b = 40cm e b = 50cm; a não aplicabilidade do método é devida ao facto de serem excedidos os valores máximos do nível de carregamento (fator mais condicionante

para b = 30cm) e da excentricidade (fator mais condicionante para b = 35cm, b = 40cm e b = 50cm); não verificam a resistência ao fogo entre a um terço e um quarto dos pilares;

b = 45cm – 1,40% de pilares nesta situação; verificam a resistência ao fogo cerca de metade (0,71%), o método não é aplicável a 0,48%, por serem excedidos os valores de e_{max} (0,19%), de n (0,07%) e, em simultâneo, de e_{max} e λ_{max} (0,23%);

b = 55cm – 0,29% de pilares nesta situação; o método é aplicável a todos estes elementos estruturais; verificam a resistência ao fogo 0,25% e não verificam 0,04%;

b = 60cm, b = 65cm e b = 70cm – 0,23%, de pilares nesta situação, para b = 60cm e 0,27% para b = 65cm e b = 70cm; verificam todos os pilares aos quais o método é aplicável; o método não é aplicável a uma reduzida percentagem de pilares (0,05%, 0,06% e 0,03% respetivamente), por ser ultrapassado o valor limite de n;

- Escalão R120

b = 15cm – 0,02% de pilares nesta situação; o método não é aplicável por ser excedido o valor de λ_{max}; estes pilares apresentam uma largura inferior à mínima regulamentar;

b = 20cm – 5,64% de pilares nesta situação; verificam a resistência ao fogo 0,10%, o método não é aplicável a 3,43%, sendo o parâmetro mais condicionante o nível de carregamento; não verificam 2,12% dos pilares;

b = 25cm e b = 45cm – 0,70% e 0,29% de pilares nesta situação, respetivamente; nenhum dos pilares com b = 25cm verifica, mas verificam 0,07% com b = 45cm; o método não é aplicável por serem excedidos os valores de e_{max} e de n; não verificam a resistência ao fogo mais de metade dos pilares com b = 25cm (0,49%) e um número de pilares reduzido, com b = 45cm (0,04%);

b = 30cm, b = 40cm e b = 50cm – 3,03%, 13,53% e 6,17% de pilares nesta situação, respetivamente; verificam a resistência ao fogo um reduzido número de pilares (0,41%, 1,63% e 2,22%); o método não é aplicável a uma elevada percentagem destes elementos estruturais (1,46%, 8,54% e 2,5%) por serem excedidos os valores máximos de e, n e ω, sendo o primeiro parâmetro o mais condicionante;

b = 35cm – 0,41% de pilares nesta situação; o método é aplicável à maioria dos pilares (0,39%), não verificando a resistência 0,34%;

b = 55cm – 0,39% de pilares nesta situação; o método é aplicável a todos os pilares, mas não verificam a resistência ao fogo 0,19% por não ser observado a_{min};

b = 60cm, b = 70cm e b = 80cm – 0,85%, 0,13% e 0,23% de pilares nesta situação, respetivamente; todos os pilares aos quais o método é aplicável verificam a resistência ao fogo; o método não é aplicável a uma reduzida percentagem de pilares, em cada uma das situações, por ser excedido o valor de e_{max};

b = 75cm – 0,16% de pilares nesta situação; verificam a resistência ao fogo todos os pilares;

- Escalão R180

  b = 75cm e b = 80cm – o método não é aplicável a estes pilares, pois deve ser feita uma avaliação específica da encurvadura.

4.4.2.2. CONSIDERANDO η_{fi}=0,7

Estudaram-se, no subcapítulo anterior, as consequências da utilização do Método B na verificação da resistência ao fogo dos pilares retangulares objeto deste estudo, considerando, no cálculo do nível de carregamento, os valores do fator de redução η_{fi} determinados para cada um dos projetos analisados. Analisar-se-ão, agora, as consequências da simplificação apontada na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), no sentido de poder considerar-se η_{fi}=0,7.

O nível de carregamento, n, cujo cálculo é afetado por esta simplificação, é um dos parâmetros limitativos da aplicabilidade do método e, também, um dos parâmetros de entrada na tabela prevista na referida norma, para definir a menor dimensão da secção transversal, b_{min}, e a distância mínima do eixo dos varões da armadura longitudinal à face mais próxima sujeita a incêndio, a_{min}. Assim, as consequências da simplificação em estudo repercutir-se-ão, quer nos resultados da aplicabilidade do método, quer nos correspondentes à conformidade dos pilares. Os gráficos serão apresentados de modo a permitir comparar os resultados obtidos considerando os valores de projeto e os obtidos pela simplificação.

Na Figura 4.54 comparam-se os resultados da aplicação do Método B aos pilares retangulares analisados, para n calculado considerando os valores de projeto de η_{fi}, no Gráfico (a), e η_{fi}=0,7, no Gráfico (b). Adotando a simplificação, nota-se um aumento de 0,7% do número de pilares aos quais o método não é aplicável e uma redução de 3,2% do número de pilares que verificam a resistência ao fogo. O aumento da não aplicabilidade do método é devida exclusivamente ao aumento do número de pilares cujo valor do nível de carregamento passou a exceder 0,7.

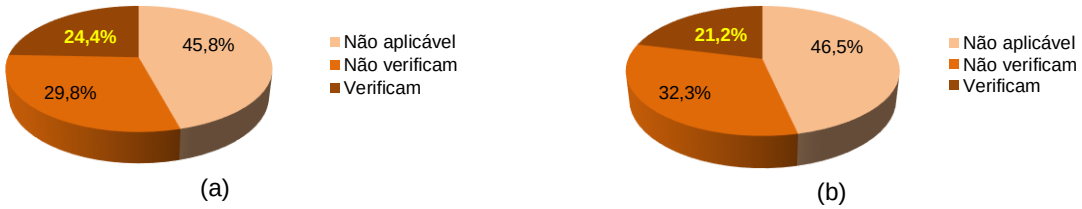


Figura 4.54 - Resultado da aplicação do Método B aos pilares retangulares analisados: (a) Considerando η_{fi} de projeto; (b) Considerando η_{fi}=0,7.

Comparando os resultados correspondentes aos parâmetros que conduzem à não conformidade, apresentados na Figura 4.55 para η_{fi} com os valores de projeto, Gráfico (a) e η_{fi}=0,7, Gráfico (b), pode constatar-se o aumento pouco significativo dos pilares que passaram a não verificar b_{min}, uma redução do número de pilares que apenas não observavam a_{min}, mas um aumento de 2,9% do número de pilares que não verificam em simultâneo b_{min} e a_{min}.



Figura 4.55 - Parâmetros que conduzem à não conformidade dos pilares retangulares pela aplicação do Método B: (a) Considerando η_{fi} calculado para cada projeto; (b) Considerando η_{fi}=0,7.

As consequências da simplificação agora em estudo não se fazem sentir de igual forma nos pilares analisados. Na Figura 4.56 indicam-se, para cada escalão de resistência ao fogo e para cada valor da menor dimensão da secção transversal, a percentagem destes elementos estruturais que não satisfazem a resistência ao fogo.

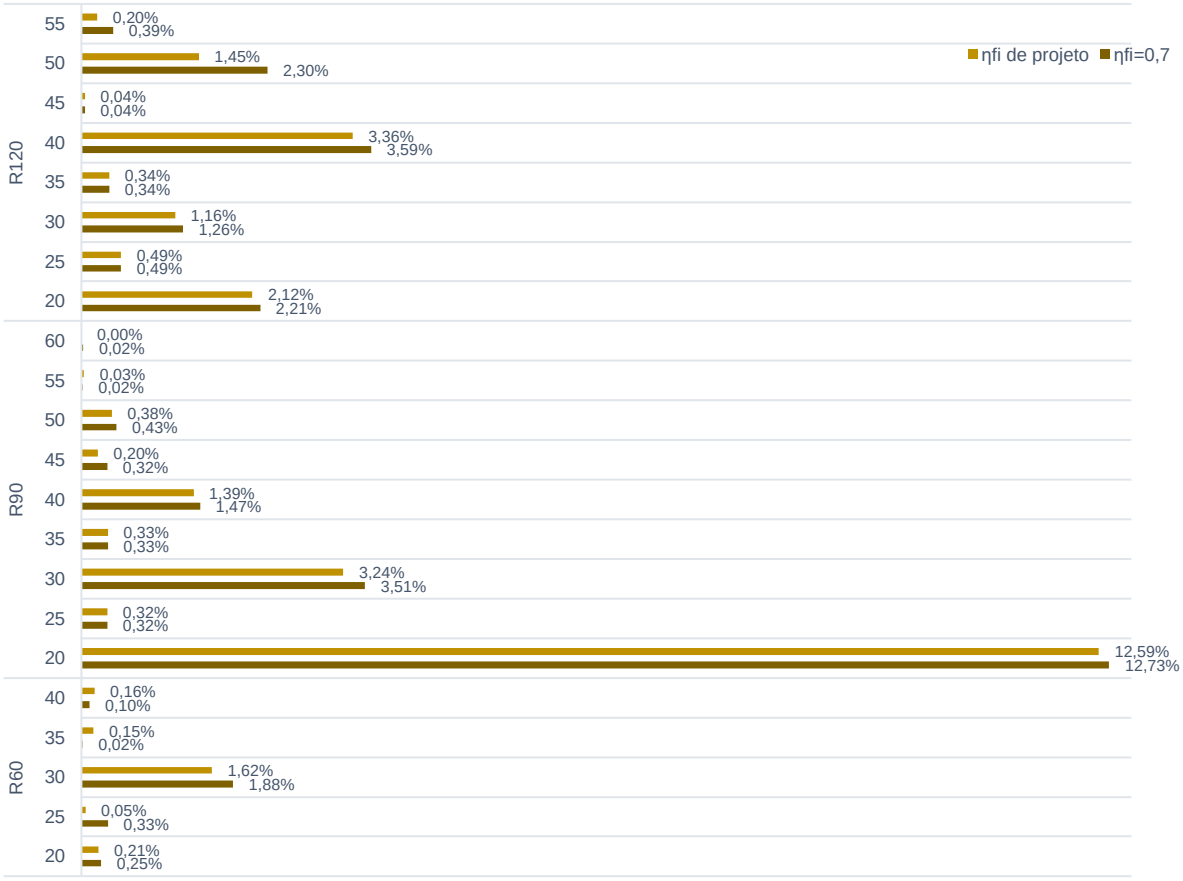


Figura 4.56 - Pilares que não verificam a resistência ao fogo aplicando o Método B, considerando η_{fi} de projeto e η_{fi}=0,7, para cada escalão de resistência ao fogo e para cada valor da menor dimensão do pilar.

Constata-se, pela observação do gráfico apresentado na figura anterior, que a simplificação correspondente a considerar η_{fi}=0,7 no cálculo do nível de carregamento, conduz a um aumento da percentagem de pilares que não verificam a resistência ao fogo, afetando quase todas as secções transversais. Excetuam-se as secções com b=25cm e b=35cm, no escalão R90, e b=25cm, b=35cm e b=45cm, no escalão R120.

4.4.2.3. CONSIDERANDO O RECOBRIMENTO MÍNIMO APONTADO NA EN 1992-1-1 E η_{fi} COM OS VALORES DE PROJETO

A distância do eixo dos varões da armadura principal à face mais próxima exposta ao incêndio, a, um dos parâmetros a observar na verificação da resistência ao fogo dos elementos estruturais, é determinada pela Expressão (4.12) e, portanto, dependente do recobrimento das armaduras, c. O recobrimento mínimo a considerar em projeto, c_{nom}, determinado pelas expressões (4.13) e (4.14), não foi observado em alguns dos pilares analisados, pelas razões já apontadas. Assim à semelhança do procedimento apontado para a aplicação do Método A, verificar-se-ão as consequências da adoção dos valores mínimos deste parâmetro, na verificação da resistência ao fogo dos pilares.

Determinaram-se os valores de a para os pilares retangulares, considerando os recobrimentos das armaduras apontados no Quadro 4.12. Utilizando o Método B e os valores de η_{fi} de projeto, obtiveram-se os resultados apresentados no Gráfico (b) da Figura 4.57. O Gráfico (a) desta figura representa os resultados correspondentes a considerar η_{fi} e os recobrimentos previstos em projeto. Não são afetados os parâmetros que limitam a aplicabilidade do método, pelo que se mantém a percentagem de pilares aos quais o método não é aplicável (45,8%).

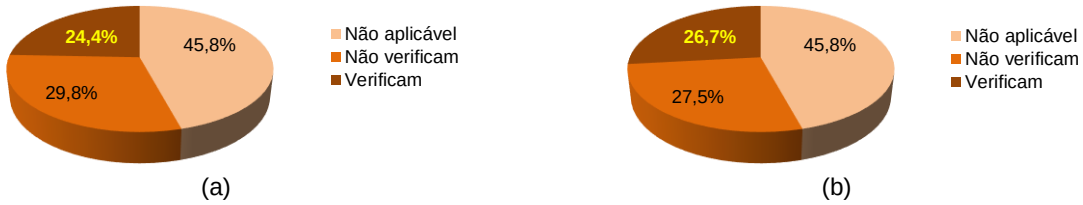


Figura 4.57 - Resultado da aplicação do Método B aos pilares retangulares analisados, considerando: (a) η_{fi} e o recobrimento de projeto; (b) η_{fi} de projeto e o recobrimento mínimo regulamentar.

A adoção do recobrimento mínimo regulamentar leva a um aumento de 2,3% do número de pilares que verificam a resistência ao fogo, como pode concluir-se pela observação dos gráficos da figura anterior. As percentagens de pilares cujos valores de b, de a e destes dois parâmetros em simultâneo, conduzem à não conformidade, são apresentadas na Figura 4.58, considerando o recobrimento de projeto, Gráfico (a), e o recobrimento mínimo, Gráfico (b). Conclui-se que o facto de se considerar o recobrimento mínimo leva a um aumento substancial do número de pilares qua passa a observar a_{min}. Efetivamente, houve uma redução de 2,6% na percentagem de pilares que não observava apenas a_{min} e a percentagem destes elementos estruturais que não verificavam b_{min} e a_{min} em simultâneo diminuiu 9,0%, passando estes elementos a não observar apenas b_{min}.

A distribuição dos pilares que passam a observar a_{min} é mostrada na Figura 4.59 para os pilares que não verificavam apenas este parâmetro e na Figura 4.60 para os que não verificavam em simultâneo b_{min} e a_{min}. Os pilares no escalão R30 aos quais o Método B é aplicável verificam todos a resistência ao fogo e aos pilares no escalão R180 o método não é aplicável, pelo que estes escalões não são representados nos gráficos.



Figura 4.58 - Comparação das percentagens dos parâmetros que conduzem à não conformidade dos pilares retangulares em situação de incêndio aplicando o Método B: (a) Considerando o recobrimento previsto em projeto; (b) Considerando o recobrimento mínimo regulamentar.



Figura 4.59 - Método B: Comparação entre as percentagens de pilares que não verificam a_{min} quando se considera o recobrimento de projeto e o recobrimento mínimo regulamentar.

Constata-se, do gráfico anterior, que o facto de se considerar o recobrimento mínimo regulamentar (c_{min}) leva a que todos os pilares no escalão R60 verifiquem a_{min}. Esta conclusão é válida também quando se considera a não conformidade de b_{min} e a_{min} em simultâneo, representada no gráfico da Figura 4.60. Para os pilares nos escalões R90 e R120 constata-se, observando os dois gráficos referidos, uma redução significativa da percentagem de pilares que não verificavam a_{min}, com maior impacto nas secções com b=20cm e b=30cm, no primeiro escalão, e b=30cm, b=40cm e b=50cm no segundo escalão.

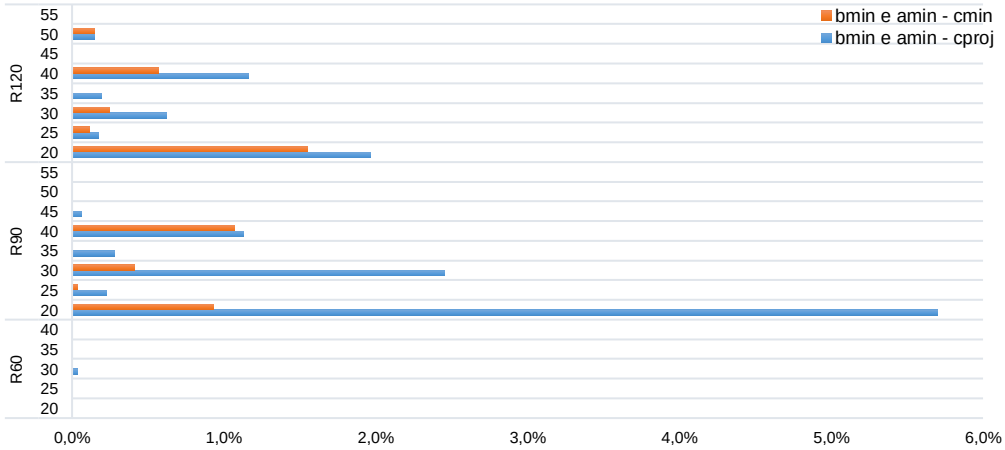


Figura 4.60 - Método B: Comparação entre as percentagens de pilares que não verificam b_{min} e a_{min} quando se considera o recobrimento de projeto e o recobrimento mínimo regulamentar.

4.4.3. PILARES CIRCULARES

4.4.3.1. CONSIDERANDO η_{fi} E O RECOBRIMENTO COM OS VALORES DE PROJETO

A verificação da resistência ao fogo dos 886 pilares de secção transversal circular, com as caraterísticas indicadas nos Quadros A3.4.41 a A3.4.44 do Anexo A3.4 foi também efetuada recorrendo à utilização do Método B. Considerou-se, neste subcapítulo, o fator de redução do nível de carregamento em situação de incêndio, η_{fi}, para calcular o nível de carregamento, n, e o recobrimento das armaduras, c, com os valores de projeto.

Constatou-se que verificam a resistência ao fogo requerida 34,2% dos pilares, o método não é aplicável a 45,6% destes elementos estruturais e não verificam a resistência ao fogo 20,2%, como se mostra na Figura 4.61. Na Figura 4.62 apresenta-se a distribuição percentual pelos escalões de resistência ao fogo e pelos diâmetros dos pilares.

Método B			
Nº total de pilares	Não aplicável	Não verificam	Verificam
886	45,6%	20,2%	34,2%
	404	179	303

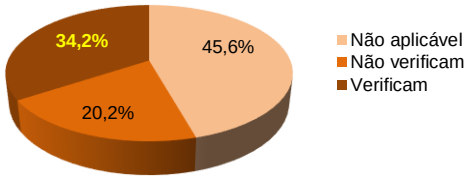


Figura 4.61 - Resultado da aplicação do Método B aos pilares circulares analisados.

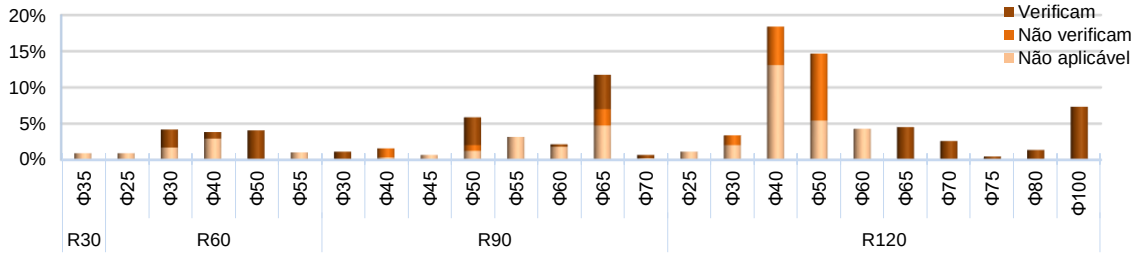


Figura 4.62 - Resultado da aplicação do Método B aos pilares circulares analisados em cada escalão de resistência ao fogo, para cada valor do diâmetro.

Analisando o gráfico apresentado na figura anterior podem ser formuladas as seguintes conclusões:

- Escalão R30 – O Método B não é aplicável a estes pilares;
- Escalão R60 – O Método B não é aplicável a grande parte dos pilares Φ40 e à totalidade dos pilares Φ25 e Φ55; verificam a resistência ao fogo mais de metade dos pilares Φ30 e todos os pilares Φ50;
- Escalão R90 – O Método B não é aplicável a quase todos os pilares Φ60 e à totalidade dos pilares Φ45 e Φ55; verificam a resistência ao fogo mais de metade dos pilares Φ50 e Φ70 e todos os pilares Φ30;
- Escalão R120 – O Método B não é aplicável a mais de metade dos pilares Φ40 e a todos os pilares Φ25 e Φ60; até ao diâmetro Φ60, inclusive, nenhum pilar verifica a resistência ao fogo, mas verificam todos os pilares com diâmetro superior a este.

Com o objetivo de identificar a influência de cada um dos parâmetros envolvidos na aplicabilidade do método em estudo aos pilares circulares analisados, apresentam-se dois gráficos, na Figura 4.63, onde

se indicam as percentagens de pilares que não observam os valores limites desses parâmetros. No Gráfico (a) desta figura as percentagens são calculadas considerando os 404 pilares aos quais o método não é aplicável e no Gráfico (b), considerando todos os pilares circulares.

Dos 45,6% de pilares circulares aos quais o método não é aplicável, o nível de carregamento, *n*, é o parâmetro mais condicionante, provocando a não aplicabilidade a 26,0% destes elementos estruturais (mais de um quarto da totalidade dos pilares circulares estudados e mais de metade dos pilares aos quais o método não é aplicável). A esbelteza conduz à não aplicabilidade do método a 12,0% da totalidade dos pilares circulares e a excentricidade a 6,7% (respetivamente 26,2%, mais de um quarto, e 14,6% dos pilares aos quais o método não é aplicável).



(a) (b)

Figura 4.63 - Parâmetros que limitam a aplicabilidade do Método B: (a) Percentagens calculadas considerando os 404 pilares aos quais o método não é aplicável; (b) Percentagens calculadas considerando os 886 pilares analisados.

O Método B é aplicável a 482 pilares (54,4% dos pilares circulares estudados). Destes, não verificam a resistência ao fogo 179 (20,2%), essencialmente por não serem observados os valores mínimos do diâmetro ($\Phi \leq b_{min}$) e de a_{min} em simultâneo (54,2% dos pilares que não verificam e 10,9% de todos os pilares), e não serem observados apenas os valores de a_{min} (42,5% dos pilares que não verificam e 8,6% de todos os pilares), como se vê na Figura 4.64. Constata-se, pois, que a distância do eixo dos varões da armadura principal à face mais próxima exposta a incêndio, *a*, é o parâmetro mais condicionante da conformidade destes pilares.



(a) (b)

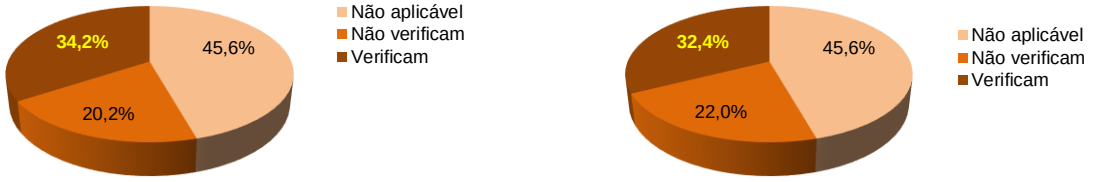
Figura 4.64 - Parâmetros que provocam a não conformidade pela aplicação do Método B: (a) Percentagens calculadas considerando os pilares que não verificam; (b) Percentagens calculadas considerando todos os pilares analisados.

4.4.3.2. CONSIDERANDO η_{fi}=0,7

Estudados os resultados da utilização do Método B na verificação da resistência ao fogo dos pilares circulares objeto deste estudo, considerando, no cálculo do nível de carregamento, os valores do fator de redução η_{fi} determinados para cada um dos projetos analisados, estudar-se-ão, agora, as

consequências da simplificação apontada na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), no sentido de poder considerar-se η_{fi}=0,7.

Comparando os resultados assim obtidos, indicados no Gráfico (a) da Figura 4.65 para a primeira situação e no Gráfico (b) para a segunda, conclui-se que a simplificação apontada conduz a uma redução de 1,9% no número de pilares que verificam a resistência ao fogo. Como pode também observar-se, a percentagem de pilares aos quais o método não é aplicável mantém-se, pelo que se conclui que, nestes pilares estudados e ao contrário do que acontece nos pilares retangulares, o facto de considerar η_{fi}=0,7 no cálculo do nível de carregamento não afetou a aplicabilidade do método.



(a) (b)

Figura 4.65 - Resultado da aplicação do Método B aos pilares circulares analisados: (a) Considerando η_{fi} de projeto; (b) Considerando η_{fi}=0,7.

Analisando a Figura 4.66 constata-se que o acréscimo da percentagem de pilares que passam a não verificar a resistência ao fogo, quando se utiliza η_{fi}=0,7, se deve exclusivamente ao aumento do número de pilares que não verificam a_{min}. Efetivamente, além do aumento da percentagem de pilares que não verificam este parâmetro, os 0,7% de pilares que não observavam apenas b_{min} passaram a não observar b_{min} e a_{min} em simultâneo.



(a) (b)

Figura 4.66 - Parâmetros que conduzem à não conformidade dos pilares circulares pela aplicação do Método B: (a) Considerando η_{fi} calculado para cada projeto; (b) Considerando η_{fi}=0,7.

Na Figura 4.67 representa-se a variação da percentagem de pilares que não verificam a_{min}, Gráfico (a), e b_{min} e a_{min} em simultâneo, Gráfico (b), considerando η_{fi} de projeto e η_{fi}=0,7. O agravamento da percentagem de pilares que não verificam apenas a_{min} é observado unicamente no escalão R90 para os pilares Φ50 e o agravamento de b_{min} e a_{min} em simultâneo só ocorre no escalão R120 para os pilares Φ40. O Método B não é aplicável a nenhum dos pilares R30, pelo que este escalão não é representado nos gráficos.

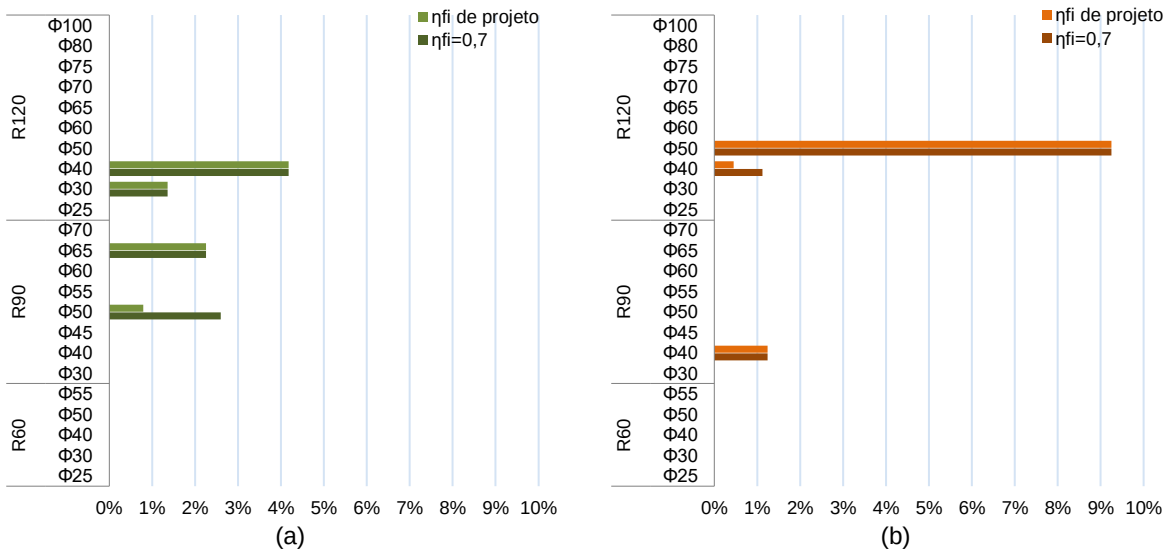


Figura 4.67 - Aplicação do Método B aos pilares circulares considerando η_{fi} de projeto e η_{fi}=0,7. Variação percentual de pilares que não verificam: (a) a_{min}; (b) b_{min} e a_{min} em simultâneo.

4.4.3.3. CONSIDERANDO O RECOBRIMENTO MÍNIMO APONTADO NA EN 1992-1-1 E η_{fi} COM OS VALORES DE PROJETO

Como se expôs no subcapítulo 4.3.2.3, o recobrimento das armaduras, *c*, é um parâmetro que influencia a verificação da resistência ao fogo dos elementos estruturais em betão armado, nomeadamente no cálculo da distância do eixo dos varões da armadura principal à face mais próxima exposta ao incêndio, *a*, calculada pela Expressão (4.12). Estuda-se, neste subcapítulo, a influência da correção do recobrimento considerando os valores mínimos regulamentares, não previstos em alguns dos pilares estudados.

Assim, considerando a aplicação do Método B e mantendo os valores de projeto de η_{fi}, para o cálculo de *n*, obtiveram-se os resultados apresentados no Gráfico (b) da Figura 4.68, salientando-se um aumento de 6,2% na percentagem de pilares que passam a verificar a resistência ao fogo. Os parâmetros que conduzem à não aplicabilidade do método não são afetados pelo recobrimento das armaduras, pelo que se mantém a percentagem de pilares aos quais o método não é aplicável (45,6%).

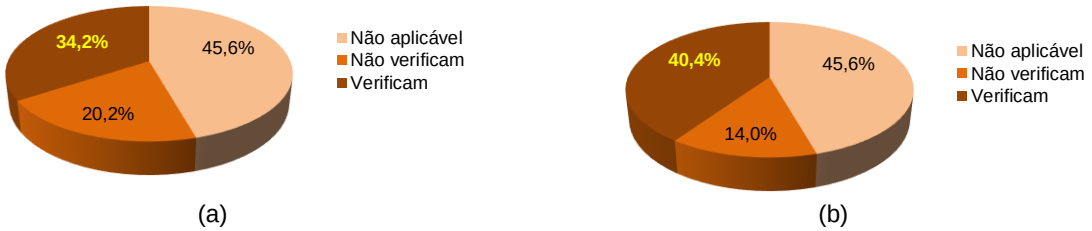


Figura 4.68 - Resultado da aplicação do Método B aos pilares circulares analisados: (a) Considerando o recobrimento de projeto; (b) Considerando o recobrimento mínimo regulamentar.

As percentagens dos parâmetros que afetam a conformidade são apresentados na Figura 4.69 considerando o recobrimento previsto em projeto (c_{proj}), Gráfico (a) e o recobrimento mínimo regulamentar (c_{min}), Gráfico (b). Sendo a_{min} o único parâmetro afetado, constata-se uma redução muito significativa na percentagem de pilares que não observavam o seu valor mínimo: 6,2% na percentagem de pilares que não observavam apenas a_{min} e 1,7% na percentagem de pilares que não observavam b_{min} e a_{min} em simultâneo (estes pilares passaram a não observar apenas b_{min}).



Figura 4.69 - Comparação das percentagens dos parâmetros que conduzem à não conformidade dos pilares circulares em situação de incêndio, pela aplicação do Método B: (a) Considerando o recobrimento previsto em projeto; (b) Considerando o recobrimento mínimo regulamentar.

No sentido de verificar quais os pilares mais afetados, elaborou-se o gráfico da Figura 4.70 que representa a variação da percentagem de pilares que não verificam apenas a_{min}. As secções mais afetadas pela adoção do recobrimento mínimo são as de diâmetro Φ50 e Φ65, no escalão R90, que passaram a observar, na sua totalidade, o valor mínimo deste parâmetro e as de diâmetro Φ40 onde a não observação de a_{min} reduziu para um quarto da percentagem que ocorria para o recobrimento de projeto. Nos pilares Φ30 constata-se não haver qualquer variação percentual.

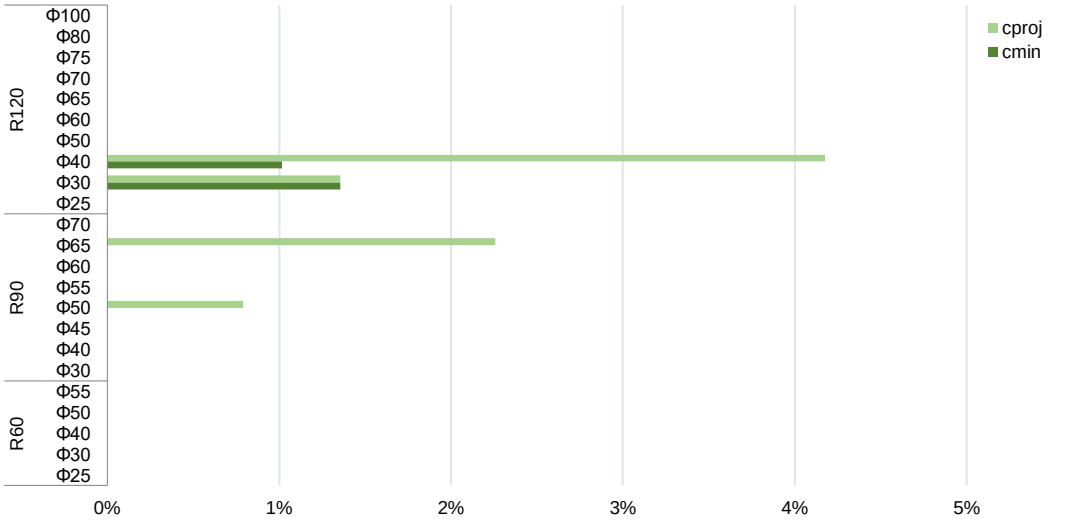


Figura 4.70 - Variação da percentagem de pilares que não verificam a_{min}, pela aplicação do Método B, considerando o recobrimento de projeto (c_{proj}) e o recobrimento mínimo (c_{min}).

4.5. APLICAÇÃO DO MÉTODO C

4.5.1. INTRODUÇÃO

A aplicação do Método C na verificação da resistência ao fogo de pilares em betão armado consiste, à semelhança dos dois métodos expostos nos Subcapítulos 4.3 e 4.4, em verificar que a menor dimensão da secção transversal, b, e que a distância do eixo dos varões da armadura principal à face mais próxima sujeita a incêndio, a, apresentem valores iguais ou superiores aos mínimos apontados, em forma de tabela, na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010).

É um método aplicável a pilares com largura $b \leq 600$mm, valor da esbelteza $\lambda \leq 80$ e nível de carregamento à temperatura normal $n \leq 0,7$. São apresentadas, no Anexo C da EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), nove tabelas que permitem, de forma expedita, definir b_{min} e a_{min} para cada escalão de resistência ao fogo, em função da esbelteza, λ, e do nível de carregamento à temperatura normal, n, calculados, respetivamente, pelas Expressões (4.19) e (4.23). Estas nove tabelas são apresentadas no Anexo A4 desta dissertação, nos Quadros A4.1 a A4.9.

As tabelas são organizados para três valores da taxa mecânica de armadura, ω, determinada pela Expressão (4.21) e diferentes valores de excentricidade, e, obtida pela aplicação da Expressão (4.17). Com o objetivo de facilitar a apresentação da aplicabilidade de cada uma das nove tabelas, organizou-se o Quadro 4.17. Para cada valor da taxa mecânica da armadura, ω, (0,100, 0,500 e 1,000) são apresentadas, na referida norma, três tabelas correspondentes a diferentes ordens de grandeza do momento de primeira ordem: momento de primeira ordem baixo (e=0,025b com $e \geq 10$mm), momento de primeira ordem moderado (e=0,25b com $e \leq 100$mm) e momento de primeira ordem elevado (e=0,5b com $e \leq 200$mm).

O objetivo da apresentação de métodos de verificação da resistência ao fogo sob a forma de tabela, na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), é tornar expedita, aos projetistas de estruturas, essa verificação. Assim, na aplicação do Método C aos pilares objeto de análise neste estudo, considerou-se unicamente a interpolação linear entre as diferentes linhas e colunas de cada um dos quadros. A opção da tabela a consultar, para valores intermédios de ω, foi efetuada de modo a ser considerada a situação mais desfavorável. Para tornar mais eficaz a aplicação deste método, em termos de tempo gasto na sua utilização, elaboraram-se os Quadros A4.10 a A4.15 que constam no Anexo A4.

A utilização destes quadros é assaz eficiente, como se demonstra nos seguintes exemplos, sumariamente apresentados no Quadro 4.16, correspondentes a três pilares analisados:

- Exemplo 1 – Pilar no escalão R120, com uma excentricidade de primeira ordem e=61,1mm, na situação $e \leq 0,25b$ e $e \leq 100$mm; sendo ω=0,583 ($0,500<\omega<1,000$), fica a dúvida entre a utilização do Quadro C5 ou do Quadro C8. Consultando o Quadro A4.14, para R120, n=0,30 e λ_{fi}=24, contata-se que deverá ser aplicado o Quadro C5. Salienta-se que, para valores de n=0,50 e λ_{fi}=50, aplicar-se-ia o Quadro C8.
- Exemplo 2 – Pilar no escalão R120, com uma excentricidade de primeira ordem e=54,5mm, na situação $e \leq 0,25b$ e $e \leq 100$mm; sendo ω=0,316 ($0,100<\omega<0,500$), fica a dúvida entre a utilização do Quadro C2 ou do Quadro C5. Consultando o Quadro A4.11, para R120, n=0,47 e λ_{fi}=21, contata-se que deverá ser aplicado o Quadro C2.
- Exemplo 3 – Pilar no escalão R120, com uma excentricidade de primeira ordem e=1,9mm, na situação $e \leq 0,25b$ e $e \leq 100$mm; sendo ω=0,800 ($0,500<\omega<1,000$), fica a

dúvida entre a utilização do Quadro C5 ou do Quadro C8. Consultando o Quadro A4.14, para R120, n=0,54 e λ_{fi}=26, contata-se que deverá ser aplicado o Quadro C8.

Quadro 4.16 - Exemplo de seleção do quadro a utilizar na aplicação do Método C.

Exemplo	R	e_x [mm]	Verificação do intervalo de e			ω	n	λ_{fi}	Quadro consultado
			$e \le 0{,}025b$ e $e \ge 10$mm	$e \le 0{,}25b$ e $e \le 100$mm	$e \le 0{,}5b$ e $e \le 200$mm				
1	R120	61,1	–	V	V	0,583	0,30	24	C5
2	R120	54,5	–	V	V	0,316	0,47	21	C2
3	R120	1,9	–	V	V	0,800	0,54	26	C8

Quadro 4.17 - Quadros previstos na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) para a aplicação do Método C.

Quadro do EC2-1-2	ω	e	
C.1	0,100	0,025b	≥10mm
C.2		0,25b	≤100mm
C.3		0,5b	≤200mm
C.4	0,500	0,025b	≥10mm
C.5		0,25b	≤100mm
C.6		0,5b	≤200mm
C.7	1,000	0,025b	≥10mm
C.8		0,25b	≤100mm
C.9		0,5b	≤200mm

No Subcapítulo 4.4 apresentam-se, nas Figuras 4.43, 4.44, 4.45 e 4.46, os valores correntes do nível de carregamento, n, determinados para os pilares retangulares e circulares objeto deste estudo, considerando η_{fi} com os valores de projeto.

4.5.2. PILARES RETANGULARES

4.5.2.1. CONSIDERANDO η_{fi} E O RECOBRIMENTO COM OS VALORES DE PROJETO

A resistência ao fogo dos 12243 pilares retangulares foi também analisada utilizando o Método C. Considerando o fator de redução, η_{fi}, (para o cálculo de n) e o recobrimento das armaduras, c, (para o cálculo de a), com os valores de projeto, obtiveram-se os resultados apresentados na Figura 4.71: o método não é aplicável a 30,2% dos pilares, não verificam a resistência ao fogo 44,8% e verificam 25,0% dos pilares (um quarto dos pilares analisados).

Método C			
Nº total de pilares	Não aplicável	Não verificam	Verificam
12243	30,2%	44,8%	25,0%
	3699	5484	3060

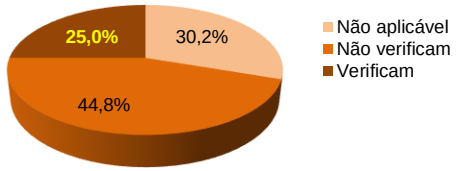


Figura 4.71 - Resultado da aplicação do Método C aos pilares retangulares analisados.

O Método C não é aplicável a 3699 pilares (30,2%), por apresentarem os parâmetros condicionantes da aplicabilidade do método com valores superiores aos limites indicados na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010).

Nas Figuras 4.72 e 4.73 apresenta-se a contribuição de cada um destes parâmetros na não aplicabilidade deste método, sendo as percentagens calculadas, na primeira figura, considerando os 3699 pilares aos quais o método não é aplicável e na segunda, considerando os 12243 pilares retangulares.

Método C não aplicável							
Percentagem calculada considerando os 3699 pilares aos quais o Método C não é aplicável							
Nº total de pilares	$n > 0,7$	$\omega > 1,0$	$n > 0,7$ e $\omega > 1,0$	$e >$ 200mm	$e > 0,5b$	Aval. Encurv.	Total de pilares em que o Método B não é aplicável
12243	45,3%	2,5%	2,3%	32,9%	5,1%	11,9%	100,0%
	1674	94	86	1216	187	442	3699

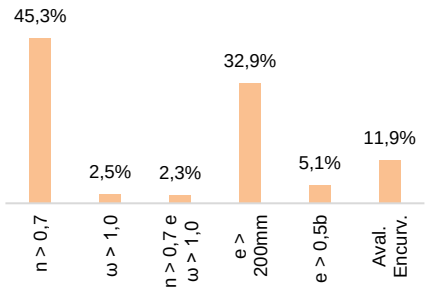


Figura 4.72 - Parâmetros que limitam a aplicabilidade do Método C. Percentagens calculadas considerando os 3699 pilares aos quais o método não é aplicável.

Utilizando o Método C na verificação da resistência ao fogo dos pilares analisados, constata-se que o nível de carregamento é o parâmetro mais condicionante da sua aplicabilidade e não a excentricidade, como acontecia no Método A e no Método B. Efetivamente, os limites superiores da excentricidade são mais elevados no Método C do que nos outros dois métodos que se apresentam, também, sob a forma de tabelas.

Analisando as Figuras 4.72 e 4.73 pode concluir-se que a não aplicabilidade do Método C é devida, em 45,3% dos pilares aos quais o método não é aplicável, ao facto de ser excedido o valor de n (13,7% de todos os pilares retangulares) e em 2,3% (0,7%) por serem excedidos os valores de n e de ω simultaneamente.

Método C não aplicável							
Percentagem calculada considerando todos os pilares (12243)							
Nº total de pilares	$n > 0,7$	$\omega > 1,0$	$n > 0,7$ e $\omega > 1,0$	$e >$ 200mm	$e > 0,5b$	Aval. Encurv.	Total de pilares em que o Método B não é aplicável
12243	13,7%	0,8%	0,7%	9,9%	1,5%	3,6%	30,2%
	1674	94	86	1216	187	442	3699

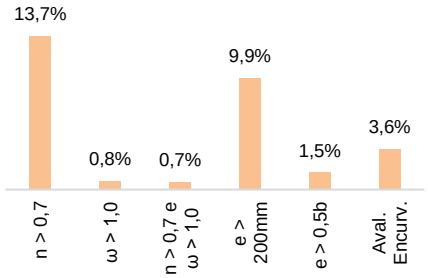


Figura 4.73 - Parâmetros que limitam a aplicabilidade do Método C. Percentagens calculadas considerando os 12243 pilares analisados.

O Método C é aplicável a cerca de 70% (69,8%) dos 12243 pilares analisados, verificando a resistência ao fogo apenas 25%. Na Figura 4.74 apresenta-se a incidência dos dois parâmetros que conduzem à não conformidade, b e a. O parâmetro mais condicionante é o valor da menor dimensão destes elementos estruturais, b, responsável pela não verificação da resistência ao fogo de 50,7% dos pilares que não verificam (22,7% de todos os pilares retangulares). A distância do eixo dos varões da armadura principal à face exposta, a, provoca a não conformidade de 9,4% dos pilares que não verificam e 4,2% de todos os pilares. Constata-se, no entanto, que não observam b_{min} (b_{min} e $b_{min} + a_{min}$) 40,6% dos pilares estudados (22,7%+17,9%) e a_{min} (a_{min} e $a_{min} + b_{min}$) 22,1% destes elementos estruturais (4,2%+17,9%).



Figura 4.74 - Parâmetros que provocam a não conformidade pela aplicação do Método C: (a) Percentagens calculadas considerando os pilares que não verificam; (b) Percentagens calculadas considerando os 12243 pilares analisados.

Como expectável e já constatado, as consequências da aplicação dos diferentes métodos de verificação da resistência ao fogo dos pilares não se repercutem de igual forma nos diversos escalões. A Figura A4.3 do Anexo A4 mostra os resultados da aplicação do Método C aos pilares previstos em escalão de resistência ao fogo e para cada valor da menor dimensão da sua secção transversal. Na Figura 4.75 apresenta-se o resultado da aplicação deste método em função do escalão de resistência ao fogo, sendo as percentagens calculadas, para cada escalão, considerando o número de pilares retangulares nesse escalão. Salientam-se as seguintes conclusões:

- A percentagem de pilares que verificam a resistência ao fogo, em cada escalão, diminui do menor, R30, para o mais elevado, R180;
- Escalão R30 - verificam a resistência ao fogo pouco mais de metade dos pilares neste escalão (51,4%), não verificam 19,3% e o método não é aplicável aos restantes 29,3%;
- Escalão R60 - verificam a resistência metade dos pilares, não verificam 35,9% e o método não é aplicável apenas a 14,1% dos pilares neste escalão;
- Escalão R90 - não verificam a resistência mais de metade dos pilares neste escalão (52,7%), o método não é aplicável a 27,9% e verificam apenas 19,5%;
- Escalão R120 - a percentagem de pilares que não verificam é próxima da percentagem aos quais o método não é aplicável (44,0% e 38,7% respetivamente); verificam a resistência ao fogo somente 17,3% dos pilares neste escalão;
- Escalão R180 - o método não é aplicável à maioria dos pilares neste escalão (97%) e os 3% aos quais é aplicável verificam a resistência ao fogo.

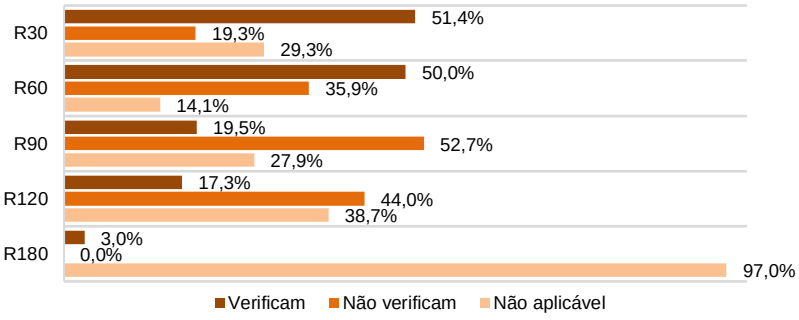


Figura 4.75 - Resultado da aplicação do Método C, por escalões de resistência ao fogo. Percentagens calculadas considerando o número de pilares retangulares no escalão de resistência ao fogo correspondente.

No Quadro 4.18 apresentam-se as percentagens de pilares que não observam o valor mínimo de cada um dos parâmetros que levam à não aplicabilidade e à não conformidade dos pilares pela aplicação do Método C. As percentagens foram calculadas considerando todos os pilares analisados.

Quadro 4.18 - Resultados da aplicação do Método C aos pilares retangulares analisados, por escalão de resistência ao fogo e para cada valor de menor dimensão da secção transversal.

Escalão de resistência ao fogo	Menor dimensão da secção transversal [cm]	n	ω	n e ω	e > 200mm	e > 0,5b	Aval Encurv	b_{min}	a_{min}	b_{min} e a_{min}
R30	20	--	--	--	0,21%	0,18%	--	0,08%	--	0,01%
	25	--	--	--	0,11%	0,17%	--	0,30%	--	0,05%
R60	15	--	--	--	--	0,02%	--	0,16%	--	--
	20	--	0,16%	0,07%	--	--	--	1,41%	--	0,16%
	25	--	0,02%	--	0,07%	0,18%	--	0,13%	0,03%	0,09%
	30	0,13%	0,05%	0,03%	1,04%	0,16%	--	2,21%	0,82%	1,01%
	35	0,03%	0,08%	--	0,11%	--	--	0,46%	0,02%	
	40	0,03%	0,08%	--	0,38%	--	--	0,13%	0,20%	0,06%
	45	--	--	--	0,03%	--	--	--	--	--
	50	--	--	--	0,02%	--	--	--	--	--
R90	15	--	--	--	0,33%	--	--	--	--	--
	20	5,51%	0,20%	0,23%	0,49%	0,21%	0,02%	7,55%	--	7,36%
	25	--	--	--	0,06%	0,24%	--	0,04%	--	0,38%
	30	3,71%	--	0,10%	0,38%	0,07%	--	1,14%	0,60%	2,79%
	35	0,05%	--	0,05%	--	--	--	0,03%	0,49%	0,95%
	40	0,03%	--	0,10%	0,08%	--	--	0,29%	0,27%	0,92%
	45	0,07%	--	--	0,33%	--	--	0,10%	0,07%	0,11%
	50	0,03%	--	--	0,02%	--	--	0,15%	0,09%	0,07%
	55	--	--	--	--	--	--	--	0,11%	--
	60	0,05%	--	--	--	--	--	--	--	--
	65	0,06%	--	--	--	--	--	--	--	--
	70	0,03%	--	--	--	--	--	--	--	--
R120	15	--	--	--	--	--	--	--	--	0,02%
	20	2,47%	0,08%	0,13%	--	0,26%	--	0,56%		1,81%
	25	0,08%	--	--	0,10%	--	--	0,12%	0,15%	0,25%
	30	0,63%	0,03%	--	0,44%	0,03%	0,23%	0,41%	0,34%	0,67%
	35	--	--	--	--	--	0,02%	0,13%	0,05%	0,18%
	40	0,40%	0,02%	--	5,03%	--	0,72%	4,66%	0,07%	0,85%
	45	0,16%		--	0,02%	--	--	0,04%	--	--
	50	0,21%	0,05%	--	0,60%	--	0,47%	2,60%	0,42%	0,15%
	55	--	--	--	--	--	--	--	0,39%	--
	60	--	--	--	0,03%	--	--	--	--	--
	70	--	--	--	0,05%	--	--	--	--	--
	80	--	--	--	--	--	0,03%	--	0,10%	--
R180	75	--	--	--	--	--	2,12%	--	--	--
	80	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Total		13,67%	0,77%	0,70%	9,93%	1,53%	3,61%	22,70%	4,21%	17,88%

O gráfico da Figura 4.76 permite a rápida perceção da incidência de cada um dos parâmetros na não aplicabilidade e na não conformidade dos pilares analisados, assim como uma expedita comparação dessa incidência. Este gráfico foi elaborado a partir dos valores que constam no Quadro 4.18. Observando estes dois elementos pode constatar-se, nomeadamente, que a excentricidade é o parâmetro que afeta a aplicabilidade do método ao maior número de secções, apesar de ser o nível de carregamento o parâmetro que afeta o maior número de pilares e que este último parâmetro é mais condicionante para os pilares nos escalões R90 e R120.

No gráfico da Figura 4.77 mostra-se a distribuição dos pilares que verificam a resistência ao fogo requerida, quando se utiliza o Método C.

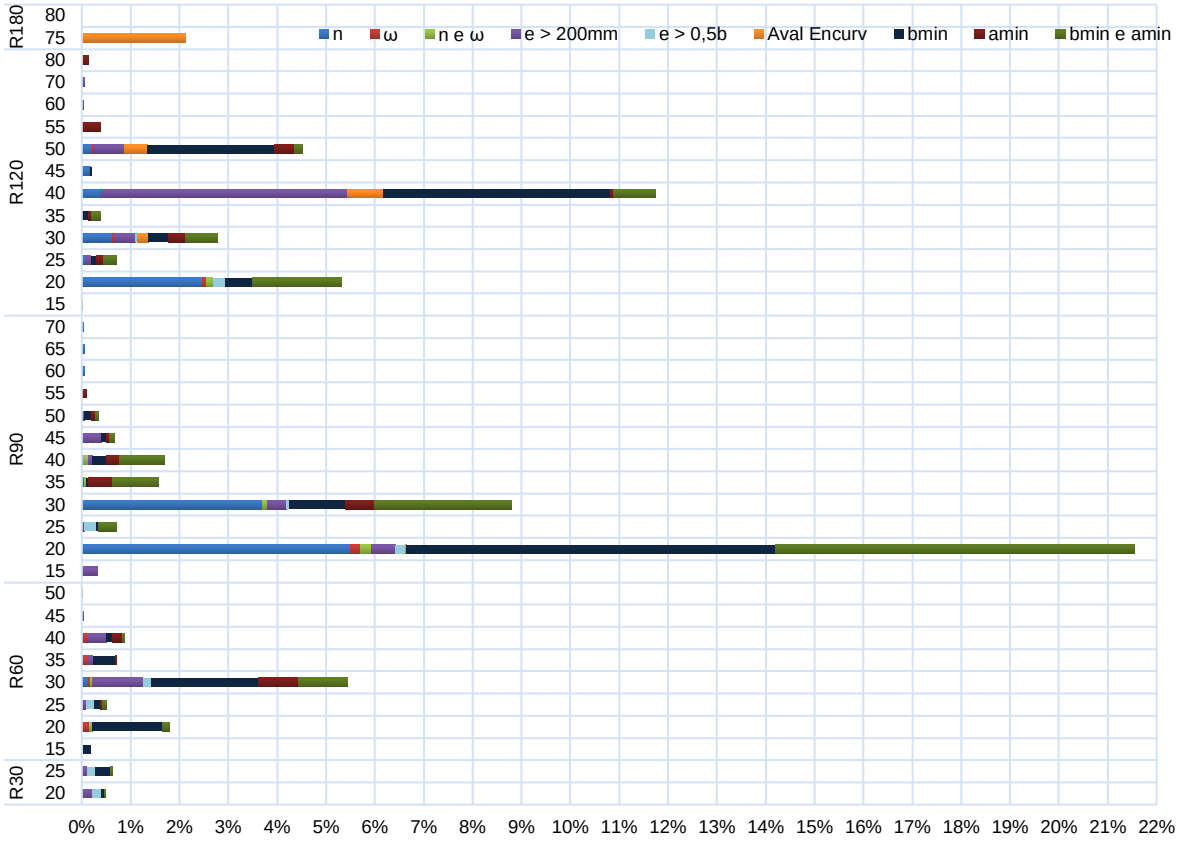


Figura 4.76 - Parâmetros que conduzem à não aplicabilidade e à não conformidade dos pilares pela aplicação do Método C.

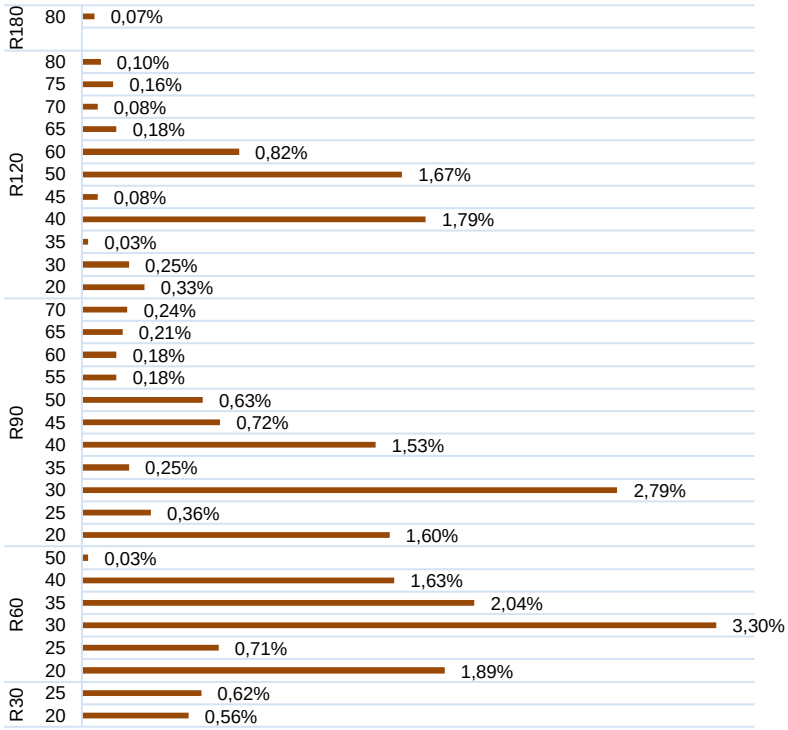


Figura 4.77 - Pilares que verificam a resistência ao fogo pela aplicação do Método C.

Considerando a aplicação do Método C na verificação da resistência ao fogo dos pilares retangulares em betão armado estudados, a análise do Quadro 4.18 e dos gráficos das Figuras 4.76 e 4.77, complementada com o gráfico da Figura A4.3 do Anexo A4, permite formular as seguintes conclusões:

- Escalão R30

  b = 20cm e b = 25cm – 1,04% e 1,25% de pilares, respetivamente, nesta situação; verificam a resistência ao fogo cerca de metade dos pilares (0,56% e 0,62%); o método não é aplicável a 0,39% e 0,28% dos pilares por ser excedido o valor de e_{max};

- Escalão R60

  b = 15cm – 0,18% de pilares nesta situação; o método não é aplicável a 0,02% por ser observado e>0,5b e os restantes não verificam b_{min}; apesar de terem sido considerados nos projetos de estabilidade, estes pilares apresentam uma largura inferior à mínima regulamentar;

  b = 20cm – 3,69% de pilares nesta situação; verificam 1,89%, o método não é aplicável a 0,23% essencialmente devido a ω e não verificam 1,57% fundamentalmente por não ser observado b_{min};

  b = 25cm – 1,23% de pilares nesta situação; verificam a resistência ao fogo 0,71%, o método não é aplicável a 0,27%, essencialmente por ser excedido o valor de e_{max}, sendo aplicável mas não verificam 0,25% dos pilares;

  b = 30cm, b = 35cm e b = 40cm – 8,75%, 2,74% e 2,51% de pilares, respetivamente, nesta situação; verificam a resistência ao fogo 3,30%, 2,04% e 1,63%, o método não é aplicável a 1,41%, 0,23% e 0,50%, por serem excedidos os valores máximos dos parâmetros que condicionam a aplicabilidade, não sendo apenas requerida a avaliação da encurvadura;

  b = 45cm e b = 50cm – 0,03% e 0,05% de pilares, respetivamente, nesta situação; o método não é aplicável a todos os pilares com b = 45cm e a 0,02% dos pilares com b = 50cm, por se verificar e>200mm; verificam os pilares com b = 50cm aos quais o método é aplicável;

- Escalão R90

  b = 15cm – o método não é aplicável a estes pilares, por se verificar e>200mm; apesar de terem sido considerados nos projetos de estabilidade, estes pilares apresentam uma largura inferior à mínima regulamentar;

  b = 20cm – 23,16% de pilares nesta situação; 1,60% verificam, o método não é aplicável a 6,65%, por serem excedidos os valores limite de aplicabilidade de todos os parâmetros, sendo aplicável mas não verificam 14,91% dos pilares, por não serem observados b_{min} (7,55%) e a_{min} e b_{min} em simultâneo (7,36%);

  b = 25cm – 1,07% de pilares nesta situação; verificam a resistência ao fogo 0,36%, o método não é aplicável a 0,30%, por ser excedido o valor de e_{max}, sendo aplicável

mas não verificam 0,42% dos pilares, fundamentalmente por não serem observados b_{min} e a_{min} em simultâneo;

b = 30cm, *b* = 35cm, *b* = 40cm e *b* = 50cm – 11,57%, 1,81%, 3,23% e 0,98% de pilares, respetivamente, nesta situação; verificam a resistência ao fogo menos de um quarto dos pilares com *b* = 30cm e *b* = 35cm, cerca de metade dos pilares com *b* = 40cm e pouco mais de metade dos pilares com *b* = 50cm; o parâmetro mais condicionante da aplicabilidade do método é o nível de carregamento; não verificam a resistência ao fogo 4,53%, 1,47%, 1,49% e 0,30% dos pilares, respetivamente (entre um terço e um quarto dos pilares nas correspondentes situações);

b = 45cm – 1,40% de pilares nesta situação; verificam a resistência ao fogo cerca de metade (0,72%), o método não é aplicável a 0,40%, por serem excedidos os valores de *n* (0,07%) e por se verificar *e*>200mm (0,33%);

b = 55cm – 0,29% de pilares nesta situação; o método é aplicável a todos estes elementos estruturais; verificam a resistência ao fogo 0,18% e não verificam 0,11%;

b = 60cm, *b* = 65cm e *b* = 70cm – 0,23%, de pilares nesta situação, para *b* = 60cm e 0,27% para *b* = 65cm e *b* = 70cm; verificam todos os pilares aos quais o método é aplicável; o método não é aplicável a uma reduzida percentagem de pilares (0,05%, 0,06% e 0,03% respetivamente), por ser ultrapassado o valor limite de *n*;

- Escalão R120

b = 15cm – 0,02% de pilares nesta situação; nenhum dos pilares verifica a resistência ao fogo; estes pilares apresentam uma largura inferior à mínima regulamentar;

b = 20cm e *b* = 30cm – 5,64% e 3,03% de pilares nesta situação; verificam a resistência ao fogo um reduzido número destes pilares (0,33% e 0,25%), o método não é aplicável a 2,94% e 1,36% respetivamente, por não serem observados os valores limite de *n*, ω e *e*, sendo o parâmetro mais condicionante o nível de carregamento, *n*; não verificam 2,38% e 1,42% dos pilares;

b = 25cm e *b* = 45cm – 0,70% e 0,29% de pilares nesta situação, respetivamente; nenhum dos pilares com *b* = 25cm verifica, mas verificam 0,08% com *b* = 45cm; o método não é aplicável por serem excedidos os valores de *n* e de e_{max}; não verificam a resistência ao fogo mais de metade dos pilares com *b* = 25cm (0,52%) e um número de pilares reduzido, com *b* = 45cm (0,04%);

b = 35cm – 0,41% de pilares nesta situação; o método é aplicável a quase todos os pilares (exceção para 0,02% aos quais é requerida a avaliação específica da encurvadura); não verificam a resistência ao fogo a maioria (0,36%), verificando apenas 0,03%;

b = 40cm e *b* = 50cm – 13,53% e 6,17% de pilares nesta situação, respetivamente; verificam a resistência ao fogo uma reduzida percentagem destes pilares (1,79% e 1,67%) e não verificam cerca de metade (5,57% e 3,17%), por defeito na primeira

secção e por excesso na segunda; o método não é aplicável a 6,17% e 1,34% por serem excedidos os valores máximos de todos os parâmetros que conduzem à não aplicabilidade, sendo *e* o mais condicionante;

b = 55cm – 0,39% de pilares nesta situação; o método é aplicável a todos os pilares, mas nenhum verifica a resistência ao fogo por não ser observado a_{min};

b = 60cm e *b* = 70cm – 0,85% e 0,13% de pilares nesta situação, respetivamente; todos os pilares aos quais o método é aplicável verificam a resistência ao fogo; o método não é aplicável a uma reduzida percentagem de pilares, por ser excedido o valor limite de *e*=200mm;

b = 75cm – 0,16% de pilares nesta situação; verificam a resistência ao fogo todos os pilares;

b = 80cm – 0,23% de pilares nesta situação; metade dos pilares aos quais o método é aplicável verificam a resistência ao fogo (0,10%); o método não é aplicável a uma reduzida percentagem de pilares, 0,03%, por ser requerida a avaliação específica da encurvadura;

- Escalão R180

b = 75cm e *b* = 80cm – 2,12% e 0,07% de pilares nesta situação, respetivamente; o método não é aplicável aos pilares com *b* = 75cm, pois devem ser sujeitos a uma avaliação específica da encurvadura e é aplicável, verificando a resistência ao fogo, todos os pilares com *b* = 80cm.

4.5.2.2. CONSIDERANDO η_{fi}=0,7

No subcapítulo anterior estudaram-se as consequências da utilização do Método C na verificação da resistência ao fogo dos pilares retangulares objeto do estudo em curso, considerando, no cálculo do nível de carregamento, *n*, os valores do fator de redução, η_{fi}, determinados para cada um dos projetos analisados. As consequências da simplificação apontada na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), no sentido de poder considerar-se η_{fi}=0,7 serão, agora, analisadas.

O nível de carregamento, determinado pela Expressão (4.23) é um dos parâmetros limitativos da aplicabilidade do método e um dos parâmetros de entrada nas tabelas previstas na referida norma, para definir a menor dimensão da secção transversal, b_{min}, e a distância mínima do eixo dos varões da armadura longitudinal à face mais próxima sujeita a incêndio, a_{min}.

Nos gráficos da Figura 4.78 comparam-se os resultados da aplicação do Método C aos pilares retangulares analisados, para *n* calculado considerando os valores de projeto de η_{fi}, Gráfico (a), e η_{fi}=0,7, Gráfico (b). Comparando estes dois gráficos conclui-se que a referida simplificação conduz a uma redução de 4,4% do número de pilares que verificam a resistência ao fogo, um aumento de 2,3% dos pilares aos quais o método não é aplicável e um aumento de 2,1% dos que não verificam.



(a) (b)

Figura 4.78 - Resultado da aplicação do Método C aos pilares retangulares analisados: (a) Considerando η_{fi} de projeto; (b) Considerando η_{fi}=0,7.

Analisando as consequências da simplificação em estudo nos parâmetros que conduzem à não conformidade, b_{min} e a_{min}, constata-se, pela consulta dos gráficos da Figura 4.79, uma diminuição de 0,7% do número de pilares que não observavam apenas b_{min} e aos quais o método deixou de ser aplicável, um aumento de 0,8% dos pilares que não observavam apenas a_{min} e um aumento de 1,9% do número destes elementos estruturais que não observavam b_{min} e a_{min} em simultâneo.



(a) (b)

Figura 4.79 - Parâmetros que conduzem à não conformidade dos pilares retangulares pela aplicação do Método C: (a) Considerando η_{fi} calculado para cada projeto; (b) Considerando η_{fi}=0,7.

A percentagem de pilares aos quais o método não é aplicável aumentou 2,3% quando se considerou η_{fi}=0,7. Como pode ver-se pela comparação dos dois gráficos da Figura 4.80, este aumento é devido ao acréscimo de pilares com n>0,7 (2,0%) e aos que passam a requerer a avaliação específica da encurvadura (0,3%).



(a) (b)

Figura 4.80 - Parâmetros que conduzem à não aplicabilidade do Método C aos pilares retangulares analisados: (a) Considerando η_{fi} calculado para cada projeto; (b) Considerando η_{fi}=0,7.

A simplificação de considerar η_{fi}=0,7 no cálculo do nível de carregamento não se repercute de igual forma nos pilares analisados. Assim, elaborou-se o gráfico apresentado na Figura 4.81, que representa a percentagem destes elementos estruturais que não verificam a resistência ao fogo, para cada escalão e para cada valor da menor dimensão da secção transversal.

Constata-se que os pilares no escalão R30 não são afetados, no escalão R60 são todos afetados, no escalão R90 não são afetadas as secções com b=20cm, b=25cm e b=35cm e no escalão R120 são afetadas as secções com b=30cm, b=40cm e b=50cm.

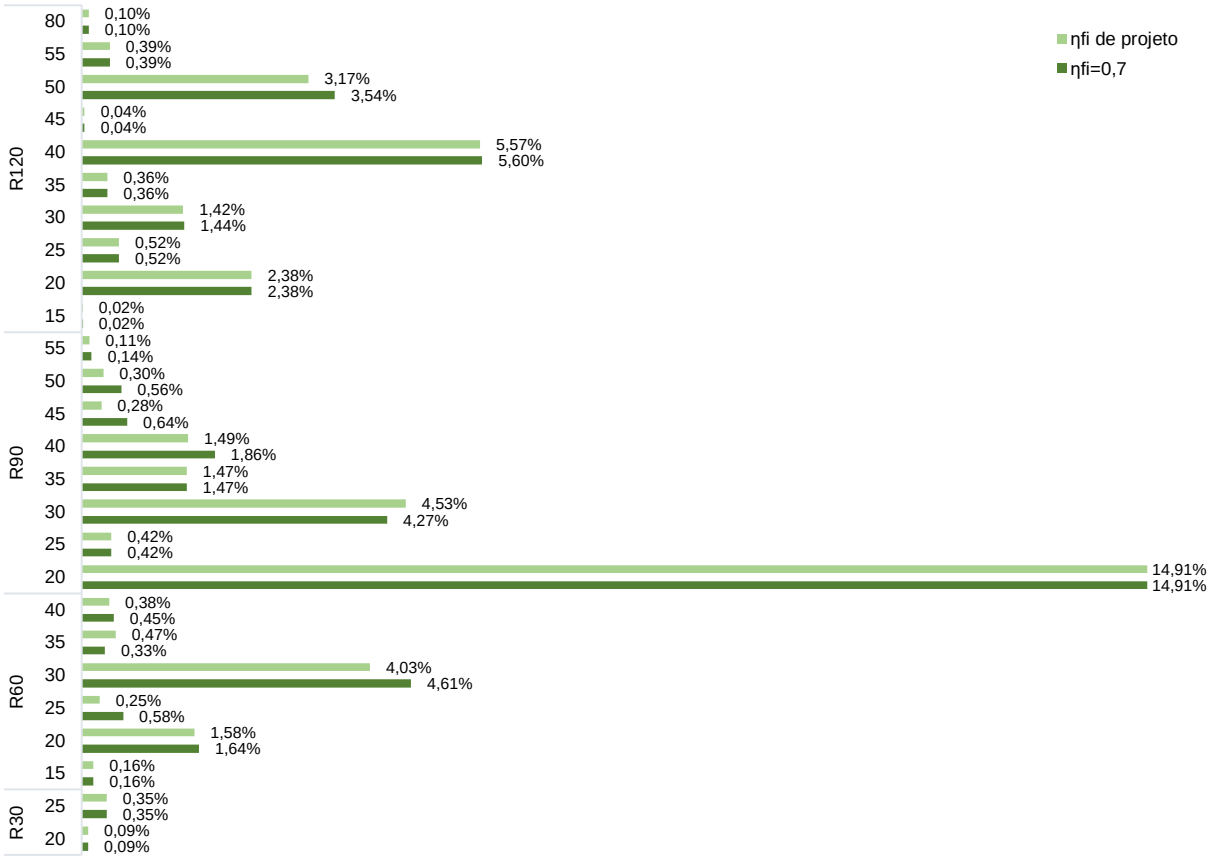
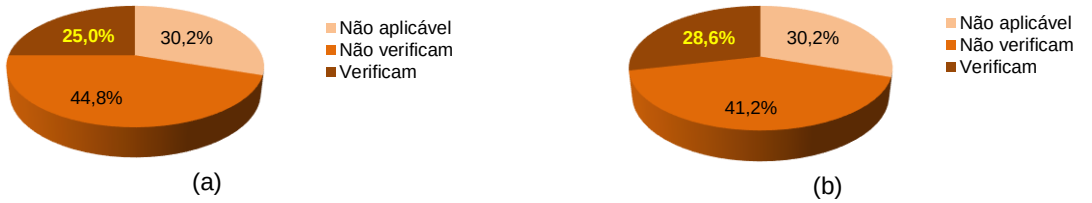


Figura 4.81 - Pilares que não verificam a resistência ao fogo aplicando o Método C, considerando η_{fi} de projeto e η_{fi}=0,7, para cada escalão de resistência ao fogo e para cada valor da menor dimensão do pilar.

4.5.2.3. CONSIDERANDO O RECOBRIMENTO MÍNIMO APONTADO NA EN 1992-1-1 E η_{fi} COM OS VALORES DE PROJETO

Referiu-se já, em subcapítulos anteriores sobre a matéria, que a distância do eixo dos varões da armadura principal à face mais próxima exposta ao incêndio, *a*, é um dos parâmetros a observar na verificação da resistência ao fogo dos elementos estruturais. Este parâmetro é determinado pela Expressão (4.12) e, portanto, dependente do recobrimento das armaduras, *c*. O recobrimento mínimo a considerar em projeto, c_{nom}, determinado pelas Expressões (4.13) e (4.14), não foi observado em alguns dos pilares analisados, pelas razões apontadas nesses subcapítulos.

Determinados os valores de *a* para os pilares retangulares, considerando os recobrimentos das armaduras apontados no Quadro 4.12 e utilizando o Método C e os valores de η_{fi} de projeto, obtiveram-se os resultados apresentados no Gráfico (b) da Figura 4.82. O Gráfico (a) desta figura representa os resultados correspondentes a considerar η_{fi} e os recobrimentos previstos em projeto. Não são afetados os parâmetros que limitam a aplicabilidade do método, pelo que se mantém a percentagem de pilares aos quais o método não é aplicável (30,2%).



(a) (b)

Figura 4.82 - Resultado da aplicação do Método C aos pilares retangulares analisados: (a) Considerando η_{fi} e o recobrimento de projeto; (b) Considerando η_{fi} de projeto e o recobrimento mínimo regulamentar.

Constata-se, pela comparação dos dois gráficos da Figura 4.82, que a adoção do recobrimento mínimo regulamentar leva a um aumento de 3,6% do número de pilares que verificam a resistência ao fogo. Na Figura 4.83 comparam-se as percentagens de pilares cujos valores de b, de a e destes dois parâmetros em simultâneo, conduzem à não conformidade, considerando o recobrimento de projeto, Gráfico (a), e o recobrimento mínimo, Gráfico (b). A percentagem destes elementos estruturais que não observavam a_{min} diminuiu 3,6% (correspondente ao aumento do número de pilares que passaram a verificar a resistência ao fogo) e a percentagem de pilares que não observavam, em simultâneo, b_{min} e a_{min}, diminuiu 11,0%.



(a) (b)

Figura 4.83 - Comparação das percentagens dos parâmetros que conduzem à não conformidade dos pilares retangulares em situação de incêndio aplicando o Método C: (a) Considerando o recobrimento previsto em projeto; (b) Considerando o recobrimento mínimo regulamentar.

A distribuição dos pilares que passam a observar a_{min} é mostrada na Figura 4.84 para os pilares que não verificavam apenas este parâmetro e na Figura 4.85 para os que não verificavam em simultâneo b_{min} e a_{min}. No escalão R180 o método ou não é aplicável ou verificam todos os pilares aos quais o método é aplicável, pelo que este escalão não é representado nos gráficos.

Observando o gráfico da Figura 4.84 constata-se que, para os pilares que não verificam apenas a_{min}, a adoção do recobrimento mínimo regulamentar repercute-se com maior impacto nos pilares com b=30cm e b=40cm, no escalão R60, reflete-se em todas as secções com exceção de b=20cm, b=25cm e b=45cm, nos pilares no escalão R90 e, no escalão R120, não se repercute nos pilares com b=15cm, b=20cm, b=45cm e b=80cm.

O gráfico da Figura 4.85 mostra que o impacto de se considerar o recobrimento mínimo regulamentar se repercute expressivamente nos pilares no escalão R90, notando-se uma significativa redução da percentagem destes elementos estruturais que não observavam a_{min}. Realça-se que estes pilares continuam a não verificar a resistência ao fogo, por se verificar $b<b_{min}$.

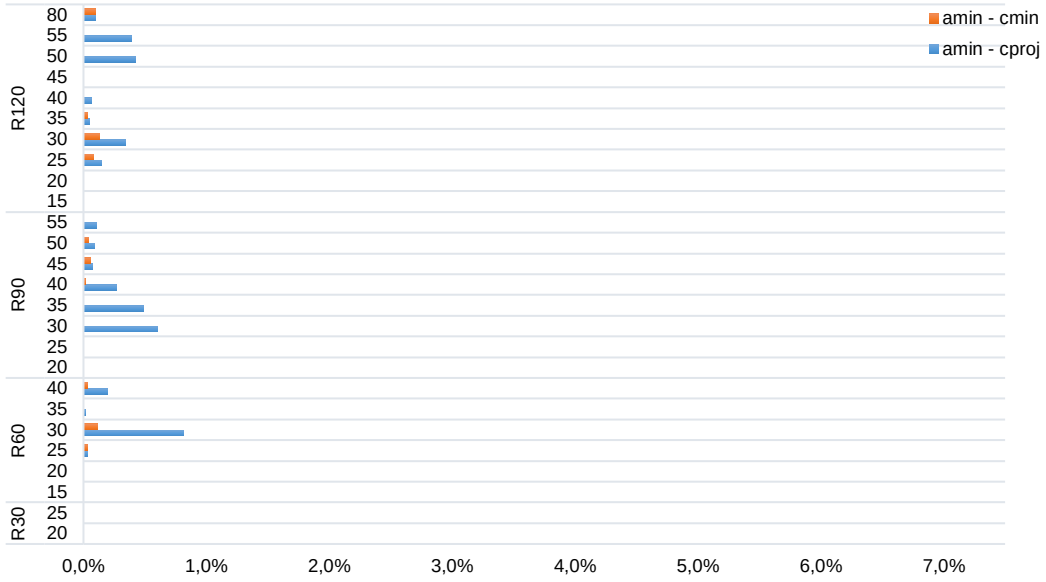


Figura 4.84 - Método C: Comparação entre as percentagens de pilares que não verificam a_{min} quando se considera o recobrimento de projeto e o recobrimento mínimo regulamentar.

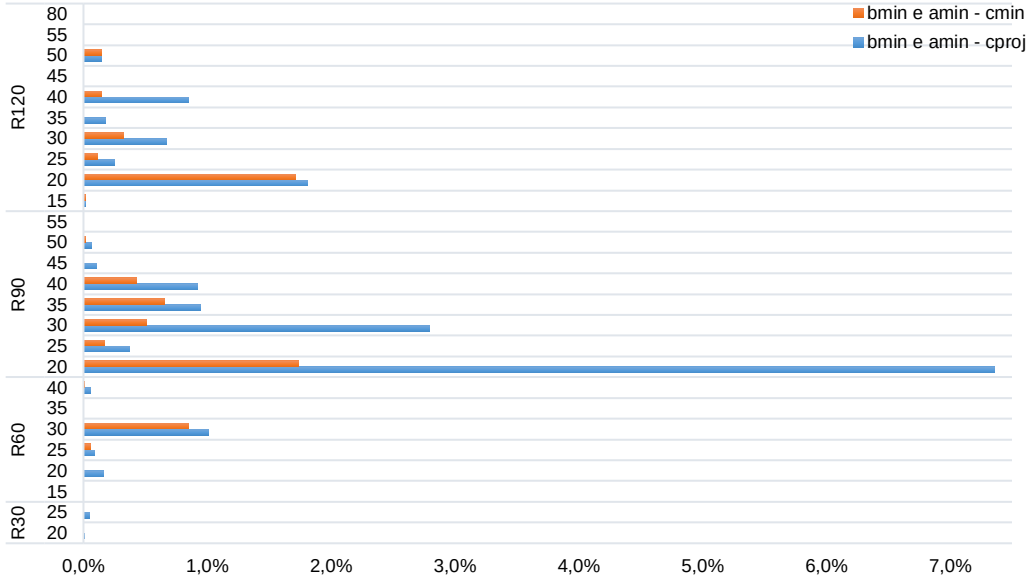


Figura 4.85 - Método C: Comparação entre as percentagens de pilares que não verificam b_{min} e a_{min} quando se considera o recobrimento de projeto e o recobrimento mínimo regulamentar.

4.5.3. PILARES CIRCULARES

4.5.3.1. CONSIDERANDO η_{fi} E O RECOBRIMENTO COM OS VALORES DE PROJETO

A resistência ao fogo dos 886 pilares de secção transversal circular foi verificada, também, recorrendo à aplicação do Método C. Neste subcapítulo considerou-se o fator de redução do nível de carregamento em situação de incêndio, η_{fi}, para calcular o nível de carregamento, n, e o recobrimento das armaduras, c, com os valores de projeto. Relembra-se que as caraterísticas destes pilares são apresentadas nos Quadros A3.4.41 a A3.4.44 do Anexo A3.4.

Na Figura 4.86 mostram-se os resultados obtidos. Constata-se que o método não é aplicável a 40,5% dos pilares, não verificam a resistência ao fogo 27,1% e verificam 32,4%. A distribuição percentual destes resultados pelos escalões de resistência ao fogo e pelos diâmetros dos pilares são apresentados na Figura 4.87.

Método C			
Nº total de pilares	Não aplicável	Não verificam	Verificam
886	40,5%	27,1%	32,4%
	359	240	287

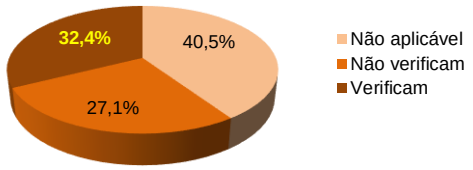


Figura 4.86 - Resultado da aplicação do Método C aos pilares circulares analisados.

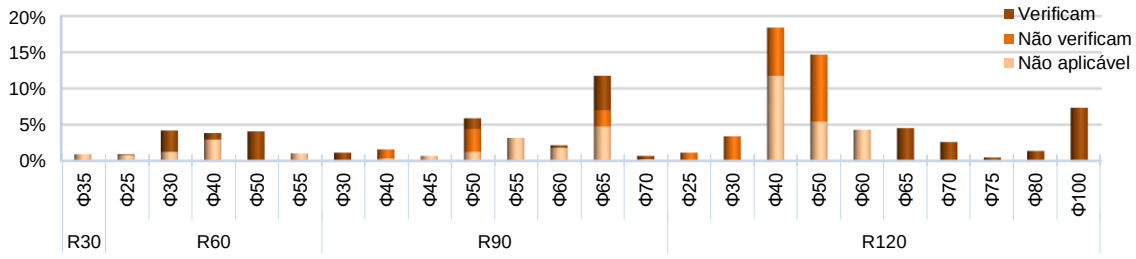


Figura 4.87 - Resultado da aplicação do Método B aos pilares circulares analisados em cada escalão de resistência ao fogo, para cada valor do diâmetro.

Estudando o gráfico apresentado nesta última figura, podem ser tecidas as seguintes conclusões:

- Escalão R30 – O Método C não é aplicável a estes pilares;
- Escalão R60 – O Método C não é aplicável a grande parte dos pilares Φ40 e à totalidade dos pilares Φ25 e Φ55; verificam a resistência ao fogo mais de metade dos pilares Φ30 e todos os pilares Φ50;
- Escalão R90 – O Método C não é aplicável a quase todos os pilares Φ60 e à totalidade dos pilares Φ45 e Φ55; verificam a resistência ao fogo mais de metade dos pilares Φ70 e todos os pilares Φ30;
- Escalão R120 – O Método C não é aplicável aos pilares Φ60 e a grande parte dos pilares Φ40; não verificam a resistência ao fogo os pilares Φ25 e Φ30 e verificam todos os pilares com diâmetro igual e superior a Φ65.

Na Figura 4.88 apresentam-se dois gráficos onde se indicam as percentagens de pilares que não observam os valores limite dos parâmetros que condicionam a aplicabilidade do método. No Gráfico (a)

desta figura as percentagens são calculadas considerando os 359 pilares aos quais o método não é aplicável e no Gráfico (b), considerando todos os pilares circulares.

Dos 40,5% de pilares circulares aos quais o método não é aplicável, o nível de carregamento, *n*, é o parâmetro mais condicionante, provocando a não aplicabilidade a 34,3% destes elementos estruturais (84,7% dos pilares aos quais o método não é aplicável). A taxa mecânica das armaduras, ω, conduz à não aplicabilidade do método a 3,3% da totalidade dos pilares circulares e a excentricidade a 2,9%.



(a) (b)

Figura 4.88 - Parâmetros que limitam a aplicabilidade do Método C: (a) Percentagens calculadas considerando os 359 pilares aos quais o método não é aplicável; (b) Percentagens calculadas considerando os 886 pilares analisados.

O Método C é aplicável a 527 pilares (59,5% dos pilares circulares estudados). Destes, não verificam a resistência ao fogo 240 (27,1%), essencialmente por não serem observados os valores mínimos do diâmetro ($\Phi \leq b_{min}$) e de a_{min} em simultâneo (61,7% dos pilares que não verificam e 16,7% de todos os pilares circulares), como pode ler-se nos gráficos da Figura 4.89. A distância do eixo dos varões da armadura principal à face mais próxima exposta a incêndio, *a*, leva a que 9,3% dos pilares circulares não verifiquem a resistência (34,2% dos pilares que não verificam). Conclui-se, pois, que a_{min} não é observado em 26,0% (9,3%+16,7%) dos pilares circulares.



(a) (b)

Figura 4.89 - Parâmetros que provocam a não conformidade pela aplicação do Método B: (a) Percentagens calculadas considerando os pilares que não verificam; (b) Percentagens calculadas considerando todos os pilares analisados.

4.5.3.2. CONSIDERANDO η_{fi}=0,7

No subcapítulo anterior consideraram-se, para o cálculo do nível de carregamento, *n*, os valores do fator de redução, η_{fi}, determinados para cada um dos projetos analisados. Estudar-se-ão, agora, as consequências da simplificação apontada na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), no sentido de poder considerar-se η_{fi}=0,7. Os resultados obtidos pela aplicação do Método C aos pilares circulares, considerando esta simplificação, são apresentados no Gráfico (b) da Figura 4.90. Como pode constatar-se, não são observáveis diferenças nos resultados globais. No entanto, comparando os dois gráficos da

Figura 4.91, verifica-se que 0,8% dos pilares que apenas não observavam a_{min}, passaram a não verificar em simultâneo b_{min} e a_{min}.

Apesar de se verificar o referido acréscimo de pilares que passaram a não verificar b_{min} (situação que ocorreu nos pilares Φ50 no escalão R90), pode concluir-se que a simplificação de considerar η_{fi}=0,7 no cálculo do nível de carregamento, não conduz a um agravamento significativo na verificação da resistência ao fogo dos pilares circulares, quando se utiliza o Método C.



(a) (b)

Figura 4.90 - Resultado da aplicação do Método C aos pilares circulares analisados: (a) Considerando η_{fi} de projeto; (b) Considerando η_{fi}=0,7.



(a) (b)

Figura 4.91 - Parâmetros que conduzem à não conformidade dos pilares circulares pela aplicação do Método C: (a) Considerando η_{fi} calculado para cada projeto; (b) Considerando η_{fi}=0,7.

4.5.3.3. CONSIDERANDO O RECOBRIMENTO MÍNIMO APONTADO NA EN 1992-1-1 E η_{fi} COM OS VALORES DE PROJETO

O recobrimento das armaduras, c, é um parâmetro que influencia a verificação da resistência ao fogo dos elementos estruturais em betão armado, como exposto no Subcapítulo 4.3.2.3, nomeadamente no cálculo da distância do eixo dos varões da armadura principal à face mais próxima exposta ao incêndio, a, calculada pela Expressão (4.12). A influência das correções dos recobrimentos de projeto considerando os valores mínimos regulamentares, não previstos em alguns dos pilares estudados, será objeto de estudo neste subcapítulo.

Aplicou-se o Método C aos pilares circulares em estudo, mantendo os valores de projeto de η_{fi}, para o cálculo de n, e corrigindo os valores do recobrimento de projeto, quando previstos inferiores aos mínimos regulamentares. Os resultados, apresentados no Gráfico (b) da Figura 4.92, permitem concluir, quando comparados com os mostrados no Gráfico (a) da mesma figura, que o facto de se considerarem os recobrimentos mínimos regulamentares leva a um aumento de 4,1% do número de pilares que passam a verificar a resistência ao fogo. É de salientar que os parâmetros que conduzem à não aplicabilidade do método não são afetados pelo recobrimento das armaduras, pelo que se mantém a percentagem de pilares aos quais o método não é aplicável (40,5%).



(a) (a)

Figura 4.92 - Resultado da aplicação do Método C aos pilares circulares analisados: (a) Considerando o recobrimento de projeto; (b) Considerando o recobrimento mínimo regulamentar.

Na Figura 4.93 mostram-se as incidências dos dois parâmetros que afetam a conformidade, considerando o recobrimento previsto em projeto (c_{proj}), Gráfico (a) e o recobrimento mínimo regulamentar (c_{min}), Gráfico (b). Constata-se uma redução significativa na percentagem de pilares que não observavam o valor mínimo de a, o único parâmetro afetado pelo recobrimento: 4,1% na percentagem de pilares que não observavam apenas a_{min} e 6,1% na percentagem de pilares que não observavam b_{min} e a_{min} em simultâneo.



(a) (b)

Figura 4.93 - Comparação das percentagens dos parâmetros que conduzem à não conformidade dos pilares circulares em situação de incêndio, pela aplicação do Método C: (a) Considerando o recobrimento previsto em projeto; (b) Considerando o recobrimento mínimo regulamentar.

Pertinente será, também, verificar quais os pilares mais afetados. Nesse sentido, elaboraram-se os gráficos da Figura 4.94 que representam a variação da percentagem de pilares que não verificam a_{min}, Gráfico (a) e b_{min} e a_{min} em simultâneo, Gráfico (b).

As secções mais afetadas pela adoção do recobrimento mínimo são as de diâmetro Φ50 e Φ65, no escalão R90, passando os pilares com este último diâmetro a observar, na sua totalidade, o valor mínimo de a. No escalão R120, a única consequência reflete-se nos pilares Φ50, verificando-se que cerca de metade destes pilares passaram a observar a_{min} continuando a não verificar b_{min}.

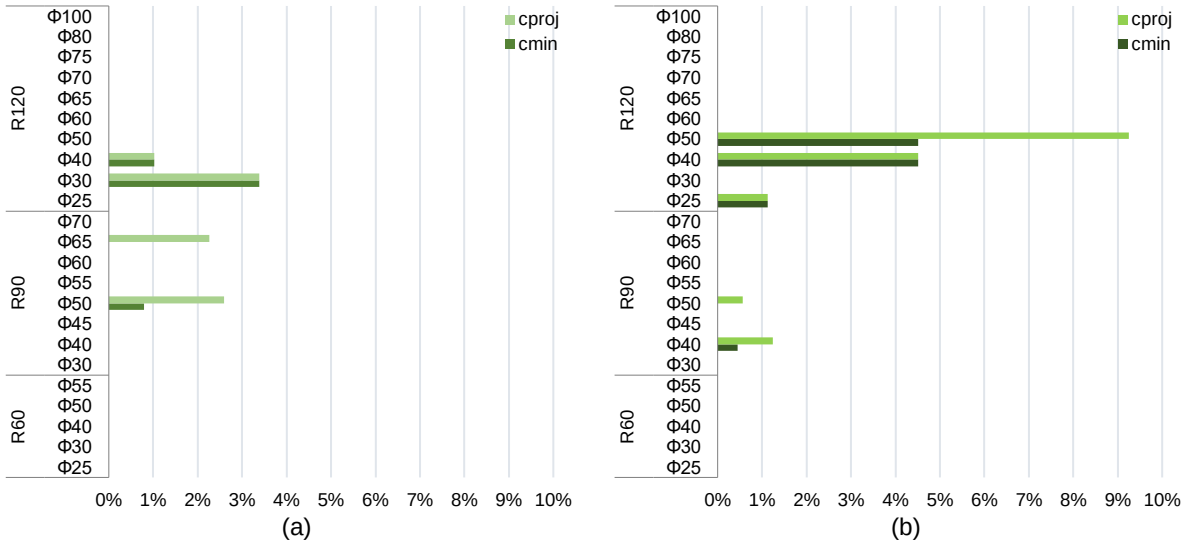


Figura 4.94 - Aplicação do Método C aos pilares circulares considerando o recobrimento de projeto (c_{proj}) e o recobrimento mínimo regulamentar (c_{min}). Variação da percentagem de pilares que não verificam: (a) a_{min}; (b) b_{min} e a_{min} em simultâneo.

4.6. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS PELA APLICAÇÃO DOS TRÊS MÉTODOS QUE SE APRESENTAM SOB A FORMA DE TABELAS

4.6.1. PILARES RETANGULARES

Os resultados da aplicação dos três métodos que se apresentam, na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), sob a forma de tabelas, são mostrados na Figura 4.95, considerando o fator de redução do nível de carregamento, η_{fi}, e o recobrimento das armaduras, c_{nom}, com os valores de projeto. Pode constatar-se, nesta situação, que:

- O Método B é o que conduz a um maior número de pilares aos quais estes métodos não são aplicáveis e o Método C o que conduz à maior aplicabilidade;
- O Método A é o método que, quando aplicável, leva a que um maior número de pilares não satisfaçam a resistência ao fogo requerida e o Método B leva a um menor número;
- Considerando η_{fi} e c_{nom} com os valores de projeto, o Método C é o menos conservativo, com resultados muito próximos dos obtidos pela aplicação do Método B, e o Método A o mais conservativo.

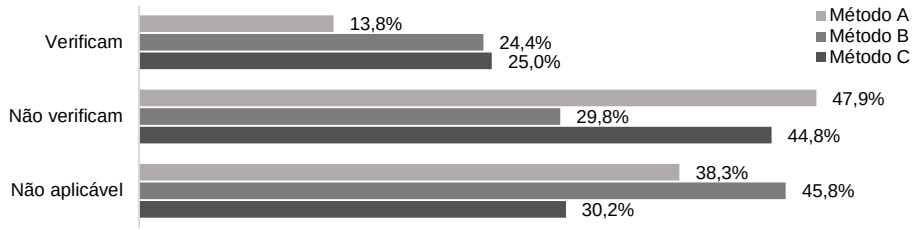


Figura 4.95 - Resultados da aplicação dos três métodos aos pilares retangulares analisados, considerando o fator de redução do nível de carregamento, η_{fi}, e o recobrimento, c_{nom}, com os valores de projeto.

Considerando a simplificação conservativa apontada na norma acima referida, correspondente a tomar η_{fi}=0,7, constatou-se que o Método A é o menos afetado (verificam a resistência ao fogo menos 1,4% dos pilares) e o Método C o mais afetado (verificam menos 4,4% dos pilares e o método não é aplicável a mais 2,3%), como pode observar-se na Figura 4.96 e no Quadro 4.19.

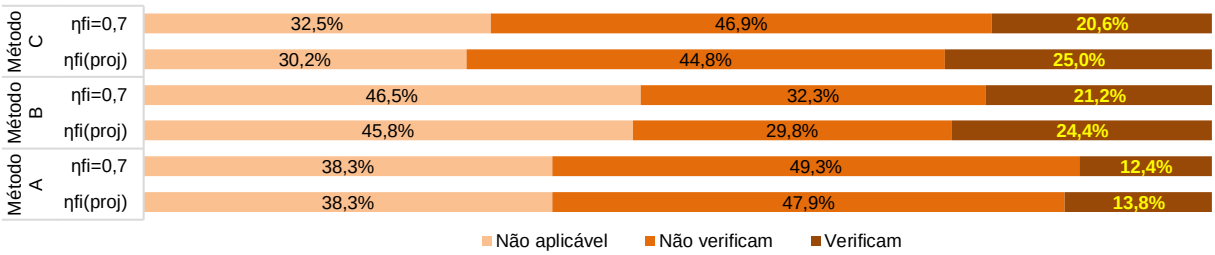


Figura 4.96 - Resultados da aplicação dos três métodos aos pilares retangulares analisados, considerando η_{fi} de projeto e η_{fi}=0,7.

Quadro 4.19 - Comparação dos resultados obtidos pela aplicação dos três métodos aos pilares retangulares, considerando η_{fi} de projeto e η_{fi}=0,7.

Método utilizado	Verificam [%]			Não verificam [%]			Não aplicável [%]		
	η_{fi}=0,7	$\eta_{fi(proj)}$	(1)-(2)	η_{fi}=0,7	$\eta_{fi(proj)}$	(4)-(5)	η_{fi}=0,7	$\eta_{fi(proj)}$	(7)-(8)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Método A	12,4	13,8	-1,4	49,3	47,9	1,4	38,3	38,3	0
Método B	21,2	24,4	-3,2	32,3	29,8	2,5	46,5	45,8	0,7
Método C	20,6	25,0	-4,4	46,9	44,8	2,1	32,5	30,2	2,3

A distância do eixo dos varões da armadura principal à face mais próxima exposta ao incêndio, a, determinada pela Expressão (4.12), é um dos parâmetros a observar na verificação da resistência ao fogo dos elementos estruturais em betão armado. Sendo um parâmetro dependente do recobrimento das armaduras, c, e constatando-se que o recobrimento mínimo a considerar em projeto, c_{nom}, determinado pelas expressões (4.13) e (4.14), não foi observado em alguns dos pilares analisados, pelas razões já apontadas em subcapítulos anteriores, procedeu-se à correção dos valores desses recobrimentos e aplicaram-se os três métodos, obtendo os resultados que se apresentam na Figura 4.97. Da análise desta figura e do Quadro 4.20 pode concluir-se que o Método A é o mais afetado por esta correção do recobrimento e o Método B é o menos afetado. A aplicabilidade dos métodos mantém-se.

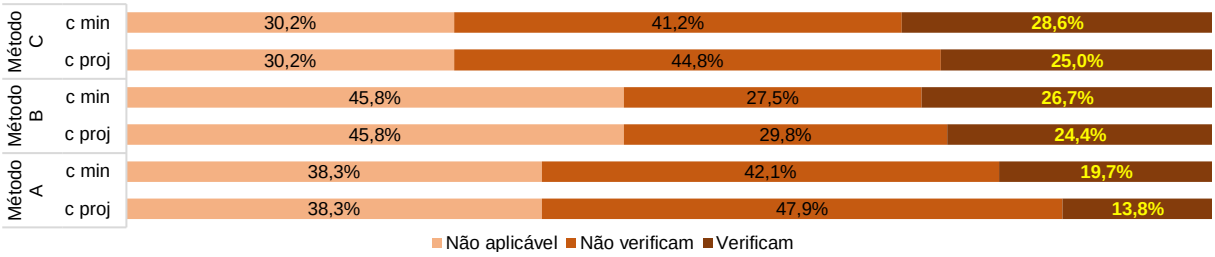


Figura 4.97 - Resultados da aplicação dos três métodos aos pilares retangulares analisados, considerando η_{fi} de projeto e, no cálculo de a, o recobrimento de projeto, c_{proj}, e o recobrimento mínimo, c_{min}.

Quadro 4.20 - Comparação das percentagens de pilares retangulares que verificam a resistência ao fogo pela aplicação dos três métodos, considerando c_{min} e c_{proj}.

Método utilizado	Verificam [%]		
	c_{min}	c_{proj}	(1)-(2)
	(1)	(2)	(3)
Método A	19,7	13,8	5,9
Método B	26,7	24,4	2,4
Método C	28,6	25,0	3,6

As repercussões da correção do recobrimento não têm a mesma incidência nos pilares analisados, pelo que se elaboraram gráficos onde se indicam as percentagens de pilares que não observam a_{min} e b_{min} e a_{min} em simultâneo considerando o recobrimento de projeto e o recobrimento mínimo, para cada valor da menor dimensão da secção transversal e escalão de resistência ao fogo, de modo a tornar expedita a comparação dos resultados da utilização dos três métodos. Estes gráficos são apresentados nas Figuras A4.4 a A4.8 no Anexo A4.

Considerando, agora, a aplicação do Método A, do Método B e do Método C aos pilares retangulares analisados, tomando o recobrimento mínimo regulamentar para o cálculo de a e os valores de η_{fi} de projeto, obtêm-se os resultados que se apresentam na Figura 4.98. Pela análise do gráfico apresentado nesta figura pode concluir-se o seguinte:

- O Método B é o que conduz a um maior número de pilares aos quais estes métodos não são aplicáveis e o Método C o que conduz à maior aplicabilidade;
- O Método A é o método que, quando aplicável, leva a que um maior número de pilares não satisfaçam a resistência ao fogo requerida e o Método B leva a um menor número;
- Considerando η_{fi} com os valores de projeto e o recobrimento mínimo regulamentar, o Método C é o menos conservativo, seguindo-se o Método B.

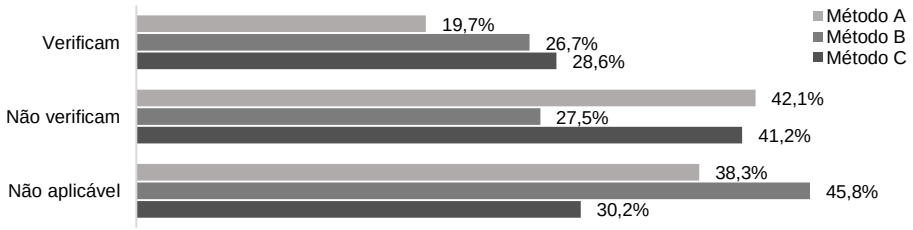


Figura 4.98 - Resultados da aplicação dos três métodos aos pilares retangulares analisados, considerando o fator de redução do nível de carregamento, η_{fi}, com os valores de projeto e o recobrimento mínimo regulamentar.

As percentagens de pilares que não verificam a resistência ao fogo pelo facto de apresentarem $a<a_{min}$,

mesmo considerando o recobrimento mínimo das armaduras, são de 2,74%, 0,49% e 0,64% quando se utiliza respetivamente o Método A, o Método B e o Método C e os que não verificam em simultâneo b_{min} e a_{min}, correspondem a 26,39%, 5,07% e 6,88%, como pode observar-se no Quadro 4.21. O Método A é o que conduz a um maior número de pilares que não verificam a_{min}.

Quadro 4.21 - Percentagens de pilares que não verificam a resistência ao fogo, por não serrem observados a_{min}, e b_{min} e a_{min} em simultâneo.

Não verificam a resistência ao fogo		
Método	a_{min}	b_{min} e a_{min}
Método A	2,74%	26,39%
Método B	0,49%	5,07%
Método C	0,64%	6,88%

Apresentam-se, nas Figuras A4.9, A4.10 e A4.11 do Anexo A4, gráficos que traduzem os resultados da aplicação dos três métodos em estudo, para cada escalão de resistência ao fogo e para cada valor da menor dimensão da secção transversal. Pela observação desses gráficos pode verificar-se, nomeadamente, qual o método de verificação menos conservativo para um determinado escalão e valor de *b*. Considerou-se o fator de redução com os valores de projeto e o recobrimento mínimo regulamentar, por corresponder à situação que ocorrerá com maior frequência na avaliação da resistência ao fogo das estruturas dos edifícios.

4.6.2. PILARES CIRCULARES

A resistência ao fogo dos 886 pilares circulares foi analisada, considerando os valores de projeto do fator de redução do nível de carregamento, η_{fi}, e do recobrimento das armaduras, c_{nom}, e a aplicação do Método A, do Método B e do Método C. Os resultados, apresentados no gráfico da Figura 4.99, permitem concluir:

- O Método B é o que conduz a um maior número de pilares aos quais estes métodos não são aplicáveis e o Método A o que conduz à maior aplicabilidade;
- O Método A é o método que, quando aplicável, leva a que um maior número de pilares não satisfaçam a resistência ao fogo requerida e o Método B leva a um menor número;
- Considerando η_{fi} e c_{nom} com os valores de projeto, o Método A é o menos conservativo e o Método C o mais conservativo, sendo a percentagem de pilares que não verificam a resistência ao fogo pela aplicação deste método próxima da obtida pela aplicação do Método B.

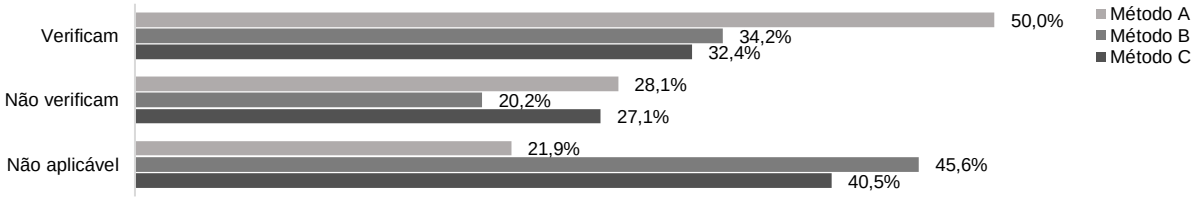


Figura 4.99 - Resultados da aplicação dos três métodos aos pilares circulares analisados, considerando o fator de redução do nível de carregamento, η_{fi}, e o recobrimento, c_{nom}, com os valores de projeto.

Considerando a simplificação conservativa correspondente a tomar η_{fi}=0,7 constata-se, pela observação da Figura 4.100 e do Quadro 4.22, que os resultados da aplicação do Método C não são afetados, sendo significativamente afetados os resultados obtidos pela aplicação do método A, que se mantém como o método menos conservativo.

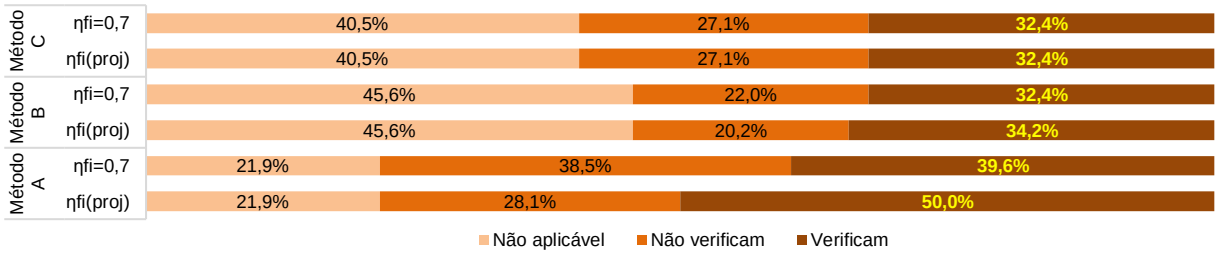


Figura 4.100 - Resultados da aplicação dos três métodos aos pilares circulares analisados, considerando η_{fi} de projeto e η_{fi}=0,7.

Quadro 4.22 - Comparação dos resultados obtidos pela aplicação dos três métodos aos pilares circulares, considerando η_{fi} de projeto e η_{fi}=0,7.

Método utilizado	Verificam [%]			Não verificam [%]			Não aplicável [%]		
	η_{fi}=0,7	$\eta_{fi(proj)}$	(1)-(2)	η_{fi}=0,7	$\eta_{fi(proj)}$	(4)-(5)	η_{fi}=0,7	$\eta_{fi(proj)}$	(7)-(8)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Método A	39,6	50,0	-10,4	38,5	28,1	10,4	21,9	21,9	0
Método B	32,4	34,2	-1,8	22	20,2	1,8	45,6	45,6	0
Método C	32,4	32,4	0	27,1	27,1	0	40,5	40,5	0

À semelhança da metodologia seguida para os pilares retangulares procedeu-se, para os pilares circulares, à correção dos valores dos recobrimentos previstos com valores inferiores aos mínimos regulamentares e aplicaram-se os três métodos, obtendo-se os resultados que se apresentam na Figura 4.101. Da análise desta figura e do Quadro 4.23 pode concluir-se que o Método A é significativamente afetado por esta correção do recobrimento e o Método C é o menos afetado. A aplicabilidade dos métodos não é alterada.

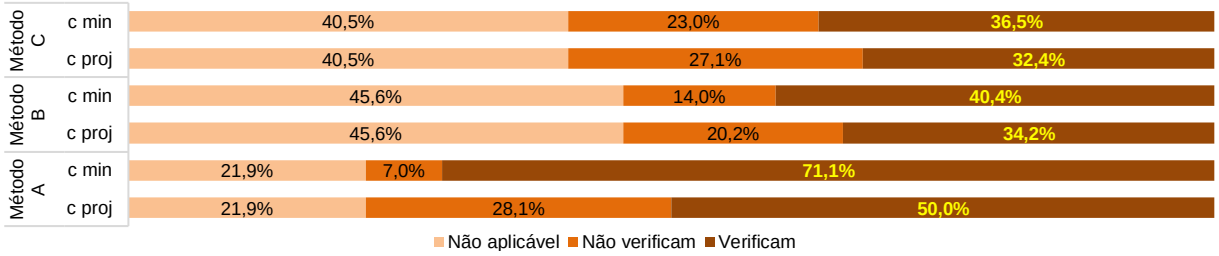


Figura 4.101 - Resultados da aplicação dos três métodos aos pilares circulares analisados, considerando η_{fi} de projeto e, no cálculo de a, o recobrimento de projeto, c_{proj}, e o recobrimento mínimo, c_{min}.

Quadro 4.23 - Comparação das percentagens de pilares circulares que verificam a resistência ao fogo pela aplicação dos três métodos, considerando c_{min} e c_{proj}.

Método utilizado	Verificam [%]		
	c_{min}	c_{proj}	(1)-(2)
	(1)	(2)	(3)
Método A	71,1	50,0	21,1
Método B	40,4	34,2	6,2
Método C	36,5	32,4	4,1

A aplicação do Método A, do Método B e do Método C aos pilares circulares analisados, considerando o fator de redução com os valores de projeto e o recobrimento mínimo regulamentar, situação que ocorrerá com maior frequência na verificação da resistência ao fogo das estruturas dos edifícios, conduziu aos resultados apresentados no gráfico da Figura 4.102, podendo concluir-se:

- O Método B é o que conduz a uma menor aplicabilidade e o Método A o que conduz à maior aplicabilidade;
- O Método C é o método que, quando aplicável, leva a que um maior número de pilares não satisfaçam a resistência ao fogo requerida e o Método A é o que leva a um menor número;
- Considerando η_{fi} e c_{nom} com os valores de projeto, o Método A é o menos conservativo, conduzindo a que mais de 70% dos pilares verifiquem a resistência ao fogo, percentagem correspondente a cerca do dobro obtido pela aplicação do Método C, o mais conservativo.

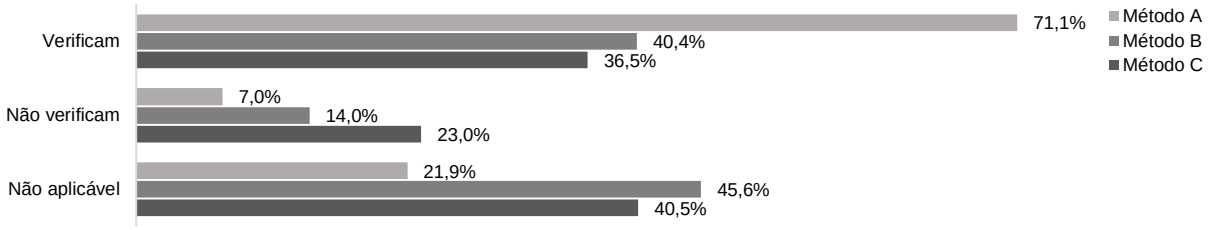


Figura 4.102 - Resultados da aplicação dos três métodos aos pilares circulares analisados, considerando o fator de redução do nível de carregamento, η_{fi}, com os valores de projeto e o recobrimento mínimo regulamentar.

Os resultados da aplicação dos três métodos em estudo, para cada escalão de resistência ao fogo e para cada valor da menor dimensão da secção transversal são apresentados nas Figuras A4.12, A4.13 e A4.14 do anexo A4. Pela observação desses gráficos pode verificar-se, nomeadamente, qual o método de verificação menos conservativo para um determinado escalão e valor de *b*. Considerou-se o fator de redução com os valores de projeto e o recobrimento mínimo regulamentar, por corresponder à situação que ocorrerá com maior frequência na avaliação da resistência ao fogo das estruturas dos edifícios.

4.7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES AOS PROJETISTAS

Analisaram-se as estruturas de 63 edifícios criteriosamente selecionados de modo a que constituíssem uma amostra representativa dos licenciados em Portugal antes da entrada em vigor da recente legislação e normalização de segurança contra incêndios. Os pórticos constituintes dessas estruturas contemplam um total de 14124 pilares em betão armado. Destes 70% são de secção retangular, 24% de secção quadrangular e 6% de secção circular. Não tendo sido considerados 995 pilares que, apesar de previstos como tal nos respetivos projetos de estabilidade, não verificavam a razão entre a maior dimensão da secção transversal (*h*) e a menor dimensão (*b*), $h \leq 4b$, analisaram-se 12243 pilares retangulares (na designação de retangular incluem-se as secções quadrangulares) e 886 pilares circulares. Do estudo desenvolvido neste capítulo podem ser tecidas as seguintes conclusões:

∴ Dos 12243 pilares retangulares, 44,6% inserem-se no escalão R90, 31,7% no escalão R120, 19,2% no escalão R60, sendo muito reduzido o número de pilares nos escalões R30 e R180 (cerca de 2%);

∴ Dos 886 pilares circulares, 58,8% inserem-se no escalão R120, 26,3% no escalão R90, 14,0% no escalão R60 e apenas 0,9% no escalão R30. Não há pilares circulares no escalão R180.

∴ Em edifícios correntes, o fator de redução do nível de carregamento, η_{fi}, varia entre 0,58 e 0,68 ($0,58 \leq \eta_{fi} \leq 0,68$), pelo que se recomenda a utilização de valores neste intervalo no cálculo do esforço axial inicial, em situação de incêndio ($N_{Ed,fi} = \eta_{fi}.N_{Rd}$) em ensaios experimentais ao fogo. Os valores mais frequentes são $\eta_{fi}=0,64$ (24,9% das UT) e $\eta_{fi}=0,65$ (23,0% das UT).

∴ A simplificação conservativa de considerar $\eta_{fi}=0,7$ repercute-se de forma significativa nos pilares retangulares quando se utiliza o método C (redução de 4,4% dos pilares que verificam a resistência ao fogo) e pouco significativa quando se utiliza o Método A (redução de 1,4%). Quando considerada na avaliação dos pilares circulares, repercute-se de forma muito significativa quando utilizado o Método A (redução de 10,4% dos pilares que verificam a resistência ao fogo), não havendo qualquer repercussão quando utilizado o Método C.

∴ Nos pilares retangulares, os valores mais frequentes do nível de carregamento à temperatura normal, n estão incluídos nos intervalos $0,2<n\leq0,3$ e $0,3<n\leq0,4$ (14,9% de pilares em cada um destes intervalos), seguindo-se os valores nos intervalos $0,4<n\leq0,5$ (13,5%).

∴ Nos pilares circulares, os valores mais frequentes de n estão incluídos no intervalo $0,4<n\leq0,5$(27,9%), seguindo-se $0,7<n\leq0,8$ (15,7%, num intervalo de valores que conduz à não aplicabilidade).

∴ Apresentam valores de n superiores a 0,7, máximo previsto na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) para a aplicabilidade do Método B e do Método C, 14,4% dos pilares retangulares e 25,9% dos pilares circulares.

∴ A adoção do recobrimento mínimo definido de acordo com a EN 1992-1-1 (EC2-1-1, 2010) e com as disposições indicadas na EN 206-1 (2007), na verificação da resistência ao fogo dos pilares levou, como expectável, a um aumento do número destes elementos estruturais que passaram a satisfazer a resistência requerida, por ser verificada a conformidade do parâmetro a_{min}. No entanto, as repercussões são díspares, conforme o método de verificação utilizado.

∴ Constatou-se que, o facto de se considerar o recobrimento mínimo no cálculo de a, levou a um aumento de 5,9% do número de pilares retangulares que passaram a verificar a resistência ao fogo quando aplicado o Método A, 3,6% quando utilizado o Método C e 2,3% quando utilizado o Método B. Nos pilares circulares, o aumento do número de pilares que verificam a resistência ao fogo aumentou 21,1% quando aplicado o Método A, 6,2% quando aplicado o Método B e 4,1% quando aplicado o Método C. Assim, considera-se pertinente recomendar aos projetistas de estruturas especial atenção na definição dos recobrimentos a adotar.

Sendo o principal objetivo desta dissertação contribuir para a célere e eficaz verificação da resistência ao fogo ou dimensionamento ao fogo dos pilares em betão armado, elaboraram-se os Quadros 4.24 e 4.25 que permitem aos projetistas de estruturas apurar qual dos métodos apresentados sob a forma de tabelas, na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), conduz a resultados menos conservativos na verificação da resistência ao fogo, para cada escalão e valor da menor dimensão (para os pilares retangulares) ou diâmetro (para os pilares circulares) da secção transversal.

No Quadro 4.24 identifica-se o método mais eficaz na verificação da resistência ao fogo dos pilares retangulares e no Quadro 4.25 dos pilares circulares. As células em branco traduzem o facto de o método não ser eficaz, para a situação em causa, e as células pintadas a cinza correspondem a situações não observadas (por exemplo, nenhum dos pilares analisados com b=30cm se inseria no escalão R30). Quando assinalado mais do que um método para as mesmas condições, tal significa que a aplicação desses métodos resultou num mesmo número de pilares que verificavam a resistência ao fogo requerida, pelo que são igualmente eficazes.

Quadro 4.24 - Identificação do método tabelado mais eficaz na verificação da resistência ao fogo de pilares retangulares em betão armado.

Método mais eficaz															
Menor dimensão b [cm]	Método A					Método B					Método C				
	R30	R60	R90	R120	R180	R30	R60	R90	R120	R180	R30	R60	R90	R120	R180
20				x							x	x	x		
25							x		x		x		x		
30							x	x	x						
40			x	x								x			
50		x	x	x											
60			x						x					x	
65			x	x					x					x	
70			x	x					x					x	
75									x					x	
80				x					x						x

Quadro 4.25 - Identificação do método tabelado mais eficaz na verificação da resistência ao fogo de pilares circulares em betão armado.

Método mais eficaz												
Menor dimensão b [cm]	Método A				Método B				Método C			
	R30	R60	R90	R120	R30	R60	R90	R120	R30	R60	R90	R120
Φ25										x		
Φ30							x			x	x	
Φ35												
Φ40		x	x					x				
Φ45			x									
Φ50		x	x	x		x				x		
Φ55			x									
Φ60			x	x								
Φ65			x	x				x				x
Φ70			x	x				x				x
Φ75				x				x				x
Φ80				x				x				x
Φ100				x				x				x

5

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DA RESISTÊNCIA AO FOGO DE PILARES EM BETÃO ARMADO

5.1. INTRODUÇÃO

Os ensaios experimentais de resistência ao fogo de elementos estruturais são de todo o interesse mas escassos, não só pelos elevados custos que acarretam, mas também pelas limitações devidas às dimensões dos fornos e do equipamento inerente à simulação de situações reais.

A simulação de situações reais em caso de incêndio, para pilares inseridos nas estruturas em que se integram, requer não só a restrição da dilatação térmica daqueles elementos no decorrer do ensaio, devida ao seu aquecimento, como também a possibilidade de aplicação da carga inicial com uma excentricidade previamente definida, correspondente aos efeitos das imperfeições geométricas e aos efeitos de segunda ordem, estes últimos de significativa importância em situação de incêndio.

Os pilares inseridos nos pórticos das estruturas correntes são, maioritariamente, contraventados. No entanto constatou-se, na pesquisa efetuada, que os equipamentos utilizados para a realização dos ensaios não permitem o seu contraventamento. Assim, na comparação dos resultados obtidos em ensaios experimentais com os determinados analiticamente, deve ser tomado em consideração este facto considerando, em cálculos efetuados para este efeito, os pilares não contraventados.

É de realçar que muitos dos métodos analíticos de verificação da resistência ao fogo dos elementos estruturais são desenvolvidos ou validados com base em resultados obtidos em ensaios experimentais de elementos isolados e não em incêndios reais, ignorando-se frequentemente o comportamento da estrutura como um todo, em situação de incêndio, isto é, o efeito da interação entre os diferentes elementos estruturais quando sujeitos a elevadas temperaturas.

Em Portugal existem vários laboratórios de ensaio e verificação do comportamento ao fogo de materiais. No entanto, só o Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra permite a realização de ensaios de resistência ao fogo de elementos estruturais isolados à escala natural. No âmbito desta dissertação foi ensaiado um pilar, neste laboratório,

permitindo os resultados obtidos nesse ensaio as reflexões e os estudos comparativos pertinentes que se expõem neste capítulo.

5.2. EQUIPAMENTO DE ENSAIO E MODELO FÍSICO

5.2.1. EQUIPAMENTO DE ENSAIO

O equipamento existente no Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra para o ensaio de pilares é mostrado na Figura 5.1 e esquematizado na Figura 5.2. Com este equipamento, o efeito da restrição da dilatação térmica é conseguido recorrendo a dois pórticos metálicos: um dos pórticos (5) serve de suporte 2D onde é fixado um macaco hidráulico (2), e o outro é o pórtico de imobilização 3D (1), pórtico este constituído por quatro pilares metálicos HEB300 e quatro vigas concebidas recorrendo ao mesmo perfil. A ação mecânica é aplicada recorrendo ao macaco hidráulico e a força de restrição é medida pela célula de carregamento (4) inserida num cilindro de aço. A ação térmica é transmitida ao pilar pelo aquecimento do forno elétrico (3), capaz de simular diferentes curvas de incêndio. As temperaturas no interior do pilar são medidas por termopares. Na Figura 5.3 mostram-se algumas fases preparativas do ensaio: o posicionamento do macaco hidráulico, na imagem (a), dos transdutores de deslocamento inferiores, na imagem (b) e dos transdutores de deslocamento superiores, na imagem (c).

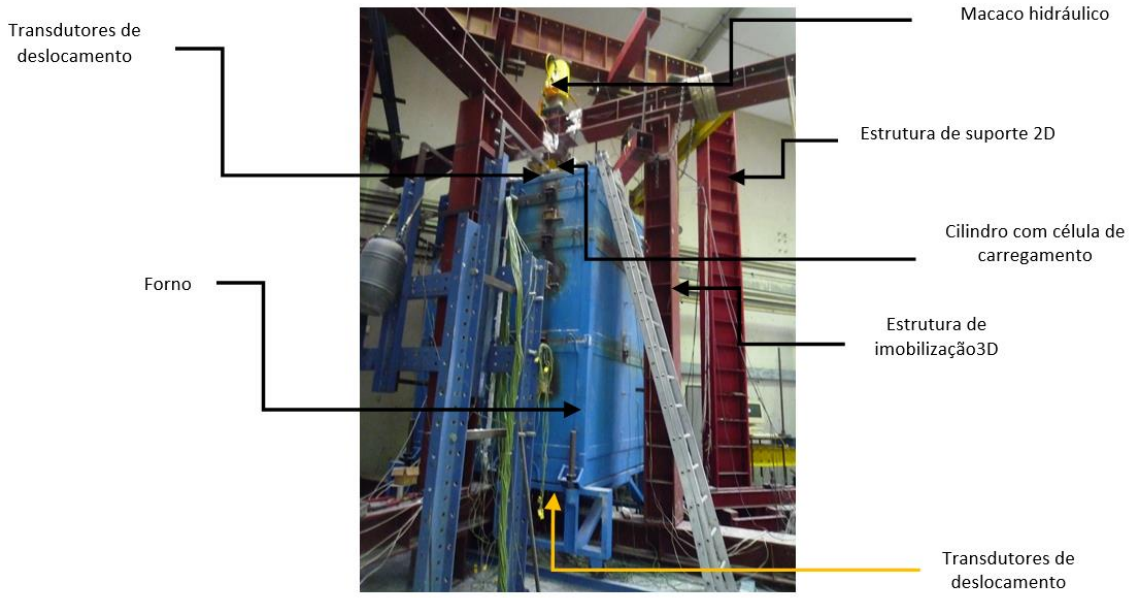


Figura 5.1 - Fotografia ilustrativa de elementos que constituem o forno do Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas da FCTUC.

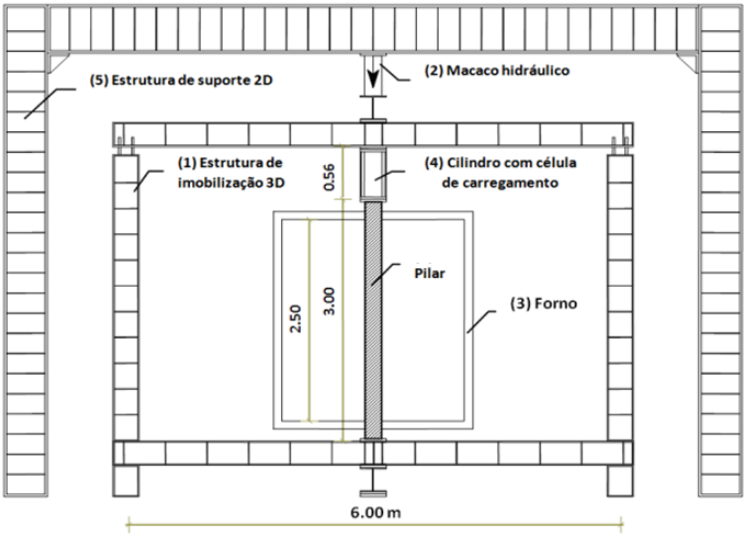


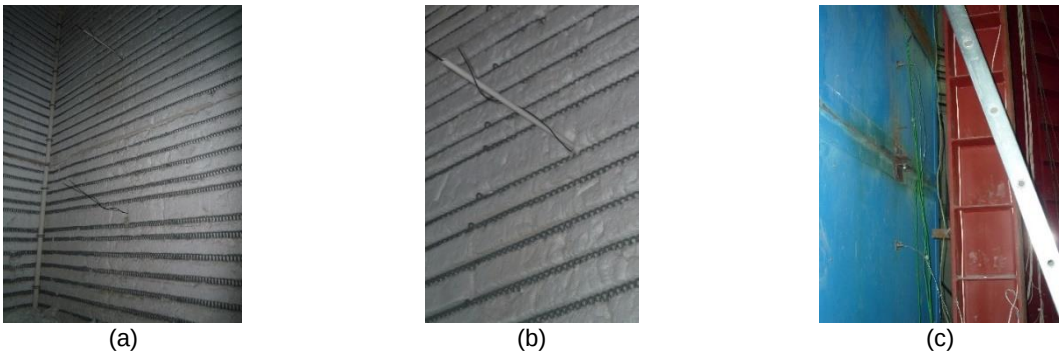
Figura 5.2 - Esquema do equipamento de ensaio do Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas da FCTUC.



(a) (b) (c)

Figura 5.3 - Equipamento de ensaio: (a) Posicionamento do macaco hidráulico; (b) Transdutores de deslocamento inferiores; (c) Transdutores de deslocamento superiores.

Na Figura 5.4 mostra-se o interior do forno e o posicionamento das saídas das ligações dos termopares. Na imagem (b) desta figura são nítidas as resistências elétricas para aquecimento do forno assim como o posicionamento das ligações dos termopares intermédios, e na imagem (c) mostra-se o posicionamento das ligações dos termopares intermédios no exterior do forno.



(a) (b) (c)

Figura 5.4 - Pormenores do forno e posicionamento das ligações dos termopares: (a) Interior do forno e posicionamento das ligações dos termopares; (b) Resistências elétricas e posicionamento da ligação dos termopares intermédios; (c) Posicionamento da ligação dos termopares intermédios no exterior do forno.

5.2.2. CORPO DE PROVA E RESPETIVA INSTRUMENTALIZAÇÃO

No laboratório referido no parágrafo anterior procedeu-se ao ensaio de um pilar em betão armado de secção quadrangular de 250x250mm^2 e 3,00m de comprimento, com armadura longitudinal constituída por quatro varões com diâmetro de 16mm, as cintas realizadas com varões de 8mm de diâmetro e um recobrimento de 30mm. Foi utilizado betão C20/25 de agregados calcários e aço S500. Recorrendo a termopares, foram medidas as temperaturas em três secções transversais ao longo da altura do pilar e em cinco pontos diferentes em cada uma daquelas secções, como se mostra na Figura 5.5. Nesta figura apresenta-se também uma fotografia do pilar antes de sujeito ao ensaio.

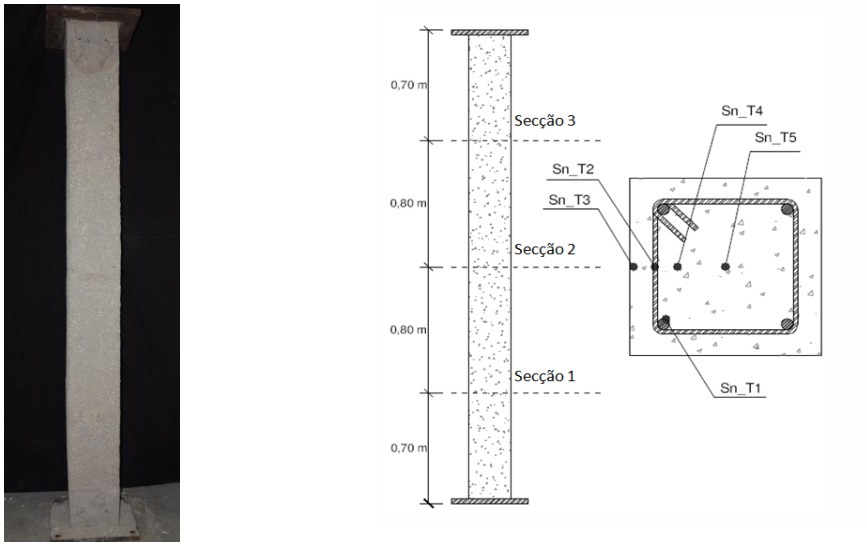
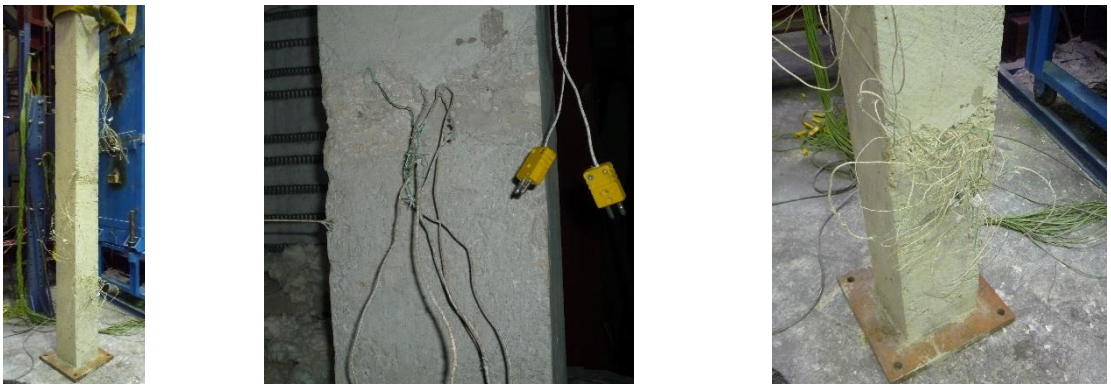


Figura 5.5 - Fotografia do pilar e esquema da sua instrumentalização.

A instrumentalização do pilar é mostrada na Figura 5.6, podendo ver-se na imagem (a) as saídas das ligações dos termopares nas três secções representadas esquematicamente na Figura 5.5, na imagem (b) as saídas das ligações dos termopares na Secção 2 e na imagem (c) as saídas das ligações dos termopares na Secção 1. Na Figura 5.7 mostra-se o equipamento de monitorização e leitura dos resultados verificados no decorrer do ensaio. Na imagem (a) desta figura pode ver-se o ecrã que permite a visualização permanente dos resultados do esforço axial no pilar e das temperaturas, mostrando-se, na Figura 5.10, os valores correspondentes a alguns dos momentos. Na imagem (b) da mesma Figura 5.7 destaca-se o painel de monitorização, vendo-se as ligações dos termopares e dos transdutores. A leitura da temperatura no forno e em cada uma das três secções (à face do pilar, a meia secção, no centro da secção, na cinta e no eixo do varão) é feita e registada a cada 10 segundos.

Na Figura 5.8 apresentam-se fotografias referentes ao processo de ligação do pilar ensaiado ao pórtico de imobilização, mostrando a imagem (a) a ligação inferior e a imagem (b) a ligação superior. Estas ligações foram previstas de modo a conferirem, ao pilar objeto do ensaio, um grau de restrição da dilatação térmica devida ao seu aquecimento, de 13 kN/mm. Na imagem (c) desta figura pode ver-se o cilindro que contém a célula de carregamento e o seu posicionamento no topo do pilar.



(a) (b) (c)

Figura 5.6 - Instrumentalização do pilar: (a) Ligações dos termopares nas secções 1, 2 e 3; (b) Ligação dos termopares na Secção 2; (c) Ligação dos termopares na Secção 3.



(a) (b)

Figura 5.7 - Ligações dos transdutores e dos termopares ao equipamento de leitura: (a) Ecrã para visualização dos resultados e painel de monitorização; (b) Painel de monitorização.



(a) (b) (c)

Figura 5.8 - Ligações do pilar ensaiado: (a) Ligação inferior ao pórtico de imobilização; (b) Ligação superior ao pórtico de imobilização; (c) Ligação do cilindro com a célula de carregamento.

5.3. ENSAIO DO PILAR

5.3.1. INTRODUÇÃO

O pilar foi inicialmente carregado recorrendo ao macaco hidráulico, aplicando uma força de 648kN. Esta força foi calculada considerando os efeitos de segunda ordem decorrentes da restrição da dilatação térmica imposta pelos pórticos, um nível de carregamento de 70% e os efeitos das imperfeições geométricas determinados como se encontra previsto na EN 1992-1-1 (EC2-1-1, 2010). A carga foi aplicada no eixo do pilar, não havendo, assim, excentricidade inicial.

O equipamento de ensaio, apesar de possibilitar a restrição da dilatação térmica longitudinal dos pilares, não permite uma imobilização capaz de um travamento que possa simular o contraventamento destes elementos estruturais quando inseridos em pórticos de edifícios correntes, pelo que o pilar será considerado não contraventado.

O aquecimento do forno seguiu a curva de incêndio padrão ISO 834 (1975) sensivelmente dezassete minutos depois de iniciado o aquecimento, como se pode constatar pela observação do gráfico da Figura 5.9. Na primeira fase verifica-se um ligeiro desfasamento entre as duas curvas, sendo a taxa de aquecimento do forno inferior à da curva ISO 834 (1975).

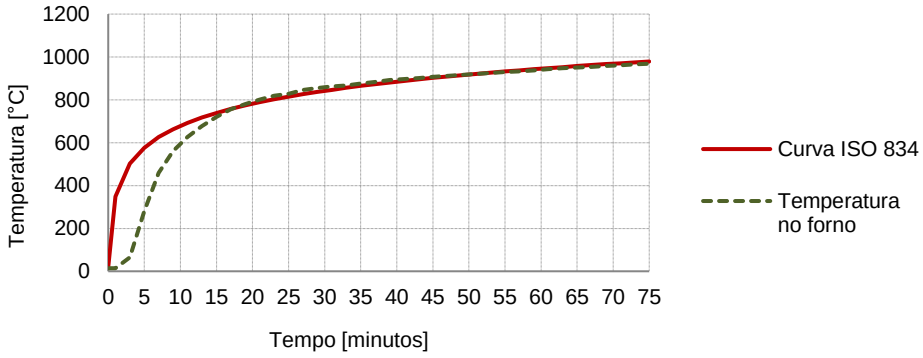


Figura 5.9 - Desenvolvimento da temperatura no forno e da curva ISO 834 (1975), em função do tempo.

5.3.2. RESULTADOS DO ENSAIO E RESPETIVA ANÁLISE

O ensaio ao fogo do pilar foi iniciado às onze horas e cinco minutos do dia 5 de Janeiro de 2011, hora e data registadas no canto superior direito do ecrã de leitura instantânea de resultados mostrada na imagem (a) da Figura 5.10. Como pode ver-se na parte inferior direita desse ecrã, nesse momento a temperatura na parte inferior do forno era de 14,3ºC e na parte central, assim como na parte superior, era de 14,4ºC. A carga inicial aplicada ao pilar, de 648kN e determinada como atrás referido, encontra-se registada no canto superior esquerdo. A leitura registada no momento em que a força de restrição atinge o máximo, cerca de 715kN, é apresentada na imagem (b) da mesma figura e, na imagem (c) documenta-se o momento em que a carga axial retoma o valor próximo do inicial, cerca de 70 minutos após o início do ensaio. As temperaturas medidas nas diferentes secções do pilar, no betão e nas armaduras, não são visíveis nesse ecrã.

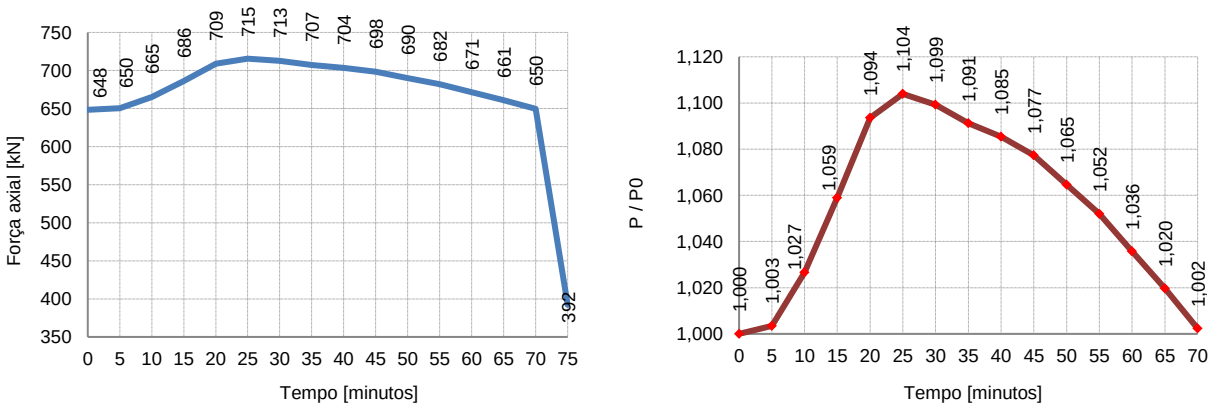


(a) (b) (c)

Figura 5.10 - Registo instantâneo de alguns momentos do ensaio: (a) Início do ensaio; (b) Momento da ocorrência da força de restrição máxima; (c) Momento em que o esforço axial volta a apresentar sensivelmente o valor inicial.

A força axial aplicada inicialmente ao pilar, calculada considerando as imperfeições geométricas e os efeitos de segunda ordem em estruturas não contraventadas, como atrás se referiu, evoluiu devido ao desenvolvimento de forças de restrição provocadas pelo impedimento das dilatações devidas ao aquecimento, como pode ver-se na Figura 5.11. No Gráfico (a) desta figura mostra-se que o aumento daquela força aconteceu até aos 25 minutos, tendo a carga retomado o seu valor inicial ao fim de 70,5 minutos, seguindo-se a perda da capacidade resistente do pilar. Atendendo a que a perda da capacidade resistente ocorre 70,5 minutos depois de iniciado o ensaio, este pilar é inserido na classe de resistência ao fogo R60.

A variação da razão entre as forças devidas à restrição, P, desenvolvidas ao longo do tempo, e o valor da carga inicial P_0, é mostrada no Gráfico (b) da mesma figura. Como pode constatar-se, o valor máximo desta razão (P/P_0) é de 1,104, isto é, 25 minutos depois de iniciado o ensaio, a força axial no pilar era 10,4% superior à inicial.



(a) (b)

Figura 5.11 - Forças de restrição em função do tempo: (a) Desenvolvimento das forças de restrição; (b) Razão entre as forças desenvolvidas devido à restrição e o valor da carga inicial.

No decorrer do ensaio foram registadas as temperaturas no varão da armadura principal (S_n-T_1), na cinta (S_n-T_2), na face do pilar (S_n-T_3), a um quarto da secção transversal (S_n-T_4) e no centro da secção transversal (S_n-T_5), para cada uma das três secções identificadas na Figura 5.5 (n=1 a n=3). Os valores das temperaturas lidas nestes termopares, assim como a temperatura no forno e a curva ISO 834 (1975), são apresentados na Figura 5.12. Não foi possível ler os valores das temperaturas na cinta ao nível da Secção 1.

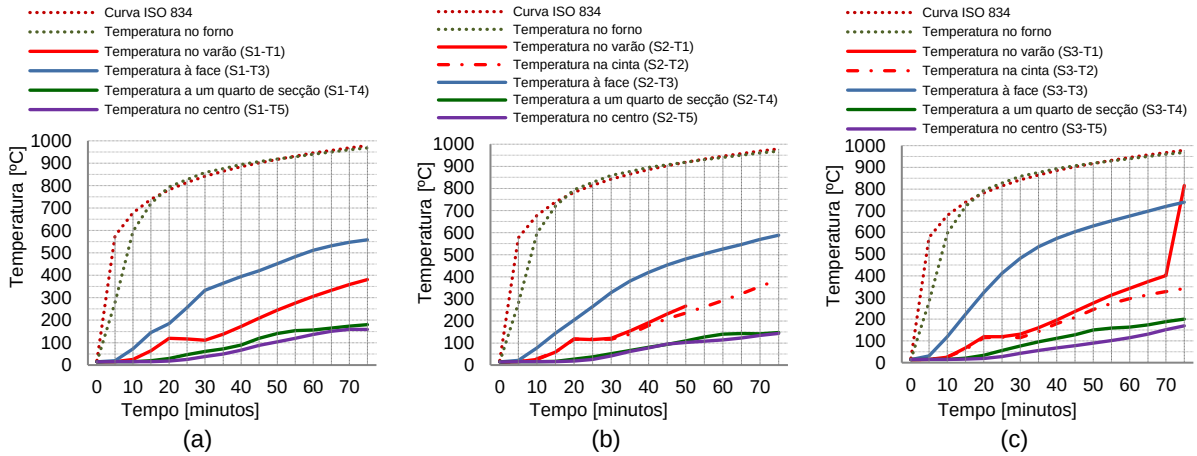


Figura 5.12 - Curva ISO 834 (1975), desenvolvimento da temperatura no forno e desenvolvimento das temperaturas no pilar: (a) Na Secção 1; (b) Na Secção 2; (c) Na Secção 3.

A Figura 5.12 permite relacionar as temperaturas no forno e as definidas pela Curva ISO 834 (1975), com as observadas na face do pilar, a um quarto da secção, no centro da secção, no varão e na cinta, na Secção 1, na Secção 2 e na Secção 3. Constata-se que, das três secções, é na Secção 3 (secção na parte superior do pilar) que ocorre uma maior proximidade entre a curva que representa a variação das temperaturas na face do pilar e a temperatura no forno. Salienta-se o facto de ter ocorrido o destacamento explosivo do betão, aos 50 minutos, tendo provocado, na Secção 2, a destruição do termopar que media a temperatura no varão, como pode constatar-se no Gráfico (b) desta figura. A análise aprofundada destes resultados será desenvolvida recorrendo aos gráficos mais detalhados apresentados nas Figuras 5.14 a 5.18. Na Figura 5.13 apresentam-se algumas fotografias ilustrativas do destacamento explosivo do betão.

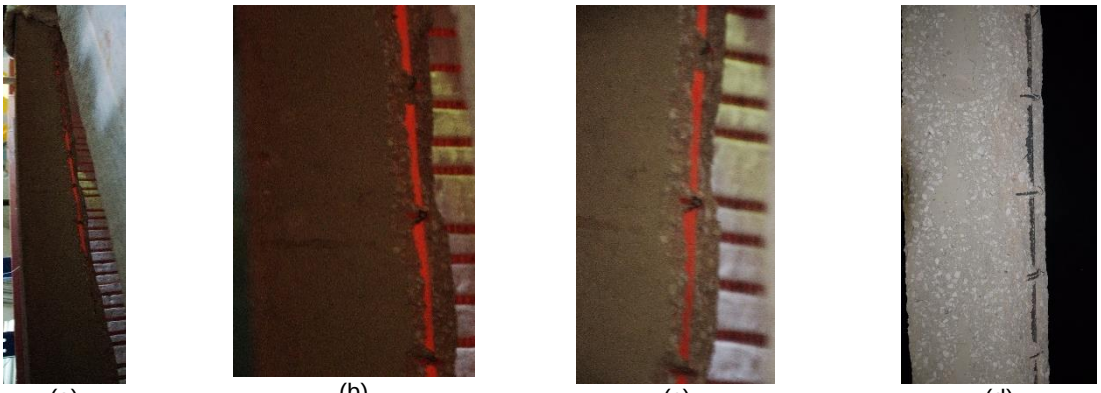


Figura 5.13 - Fotografias ilustrativas do destacamento explosivo do betão: (a) Pilar imediatamente após a abertura do forno; (b) Zona com a armadura incandescente; (c) Arrefecimento à temperatura ambiente; (d) Pilar depois do arrefecimento.

As variações da temperatura em função do tempo, nos diferentes níveis identificados no esquema da Figura 5.5 para cada uma das três secções, são representadas nos gráficos expostos nas Figuras 5.14, 5.15 e 5.16, respetivamente para a Secção 1, Secção 2 e Secção 3, mostrando-se os valores das temperaturas a partir do momento do destacamento explosivo do betão, ao 50 minutos.

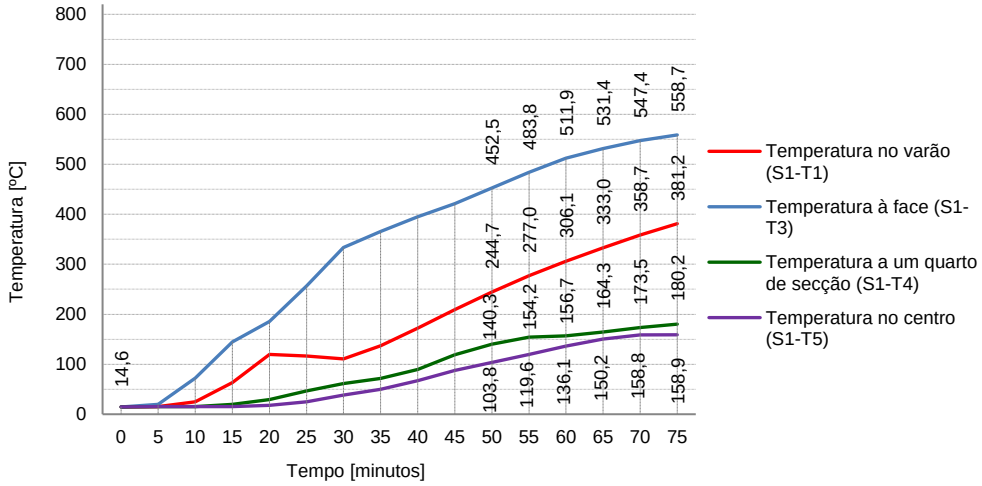


Figura 5.14 - Desenvolvimento das temperaturas na Secção 1, curva ISO 834 (1975) e desenvolvimento da temperatura no forno.

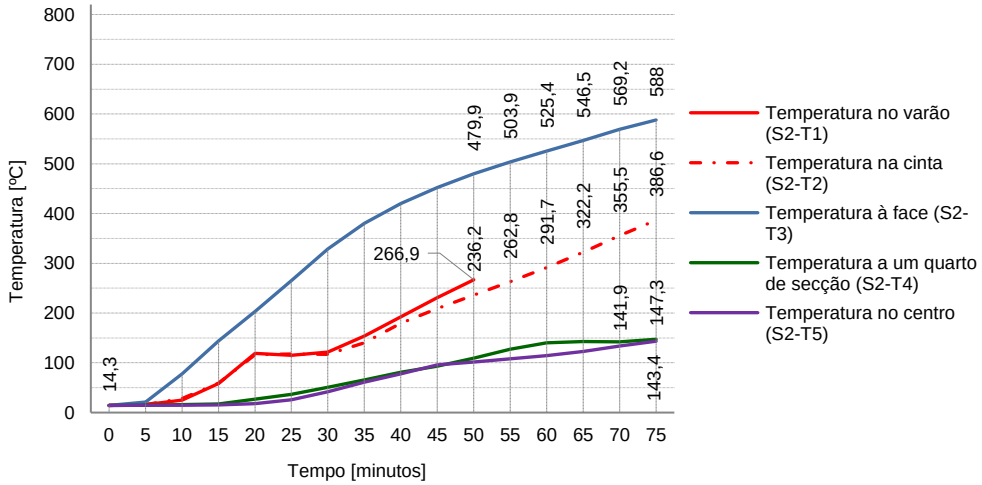


Figura 5.15 - Desenvolvimento das temperaturas na Secção 2, curva ISO 834 (1975) e desenvolvimento da temperatura no forno.

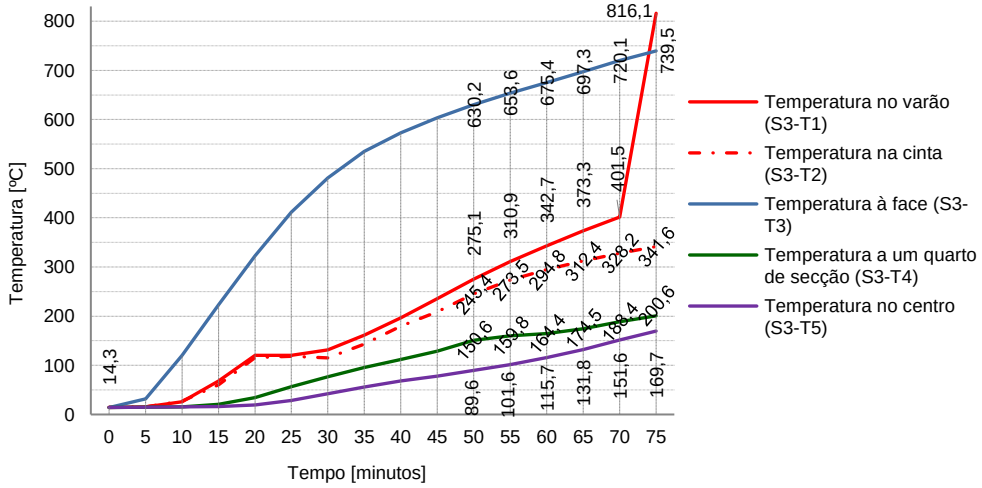


Figura 5.16 - Desenvolvimento das temperaturas na Secção 3, curva ISO 834 (1975) e desenvolvimento da temperatura no forno.

No Quadro 5.1 indicam-se os valores das temperaturas registadas no momento do destacamento explosivo do betão e no momento em que o ensaio é dado por concluído, 75 minutos depois de iniciado e cinco minutos depois do pilar ter perdido a sua capacidade resistente.

Quadro 5.1 - Temperaturas observadas no momento do destacamento explosivo do betão e temperaturas máximas registadas (momento em que o ensaio é dado por concluído).

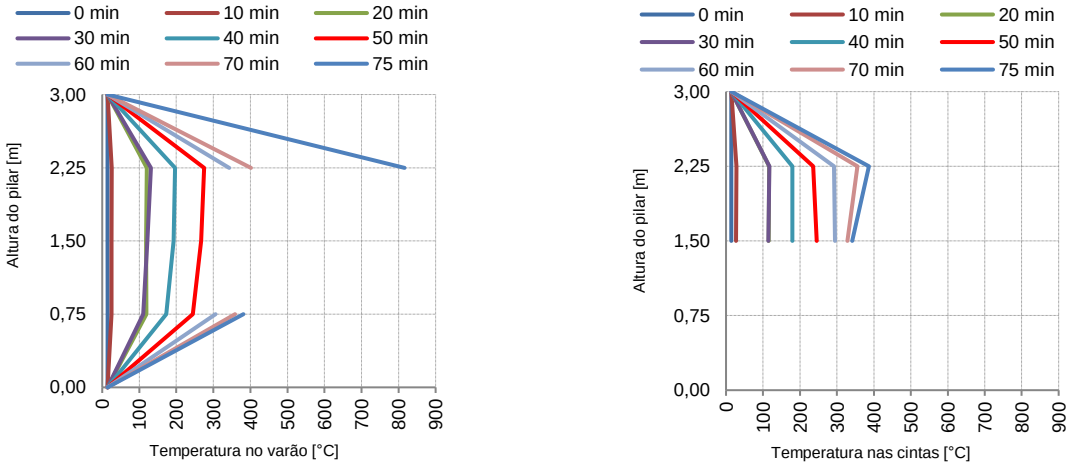
Temperaturas observadas no momento do destacamento explosivo do betão (aos 50 minutos) [ºC]				Temperaturas máximas observadas (no final do ensaio, aos 75 minutos) [ºC]				
Secção	Varão	Face	Cinta	Varão	Face	Cinta	Um quarto da secção	Meia secção
S1	245	452	-	381	559	-	180	159
S2	267	480	236	-	588	387	147	143
S3	275	630	245	816	740	342	201	170

A observação dos gráficos apresentados nas Figuras 5.14, 5.15 e 5.16, assim como os valores das temperaturas retidos no Quadro 5.1, permitem as seguintes notas e reflexões:

- ∴ No instante em que ocorreu o destacamento explosivo do betão, verificado nas zonas do pilar que englobam as Secções 2 e 3, as temperaturas no varão eram, respetivamente, 267ºC e 275ºC, e as temperaturas na face do pilar 480ºC e 630ºC;
- ∴ Não obstante as temperaturas no varão e na face do pilar serem mais elevadas na Secção 3, o destacamento do betão foi mais acentuado na Secção 2, verificando-se inclusive a destruição do termopar que media a temperatura no varão ao nível desta secção;
- ∴ O destacamento do betão na Secção 3 parece ter ocorrido posteriormente ao verificado na Secção 2, pois a temperatura no varão, ao nível da Secção 3, aumentou bruscamente aos 70 minutos, momento em que o pilar perdeu a sua capacidade resistente, passando de 402ºC para 816ºC, como pode ver-se no gráfico da Figura 5.16. Nesse momento, a temperatura no forno era sensivelmente de 964ºC, como mostra o registo apresentado na Figura 5.10;
- ∴ Na Secção 2, veja-se a Figura 5.15, a curva que representa a variação das temperaturas a um quarto da secção (a 6,25cm da face) e a que representa a variação das temperaturas no centro da secção (a 12,5cm da face) desenvolvem-se muito próximas, notando-se um ligeiro desfasamento entre os 50 minutos, momento do destacamento explosivo do betão e os 70 minutos, momento em que o pilar perdeu a sua capacidade resistente, tendo sido desligado o forno nesse momento.

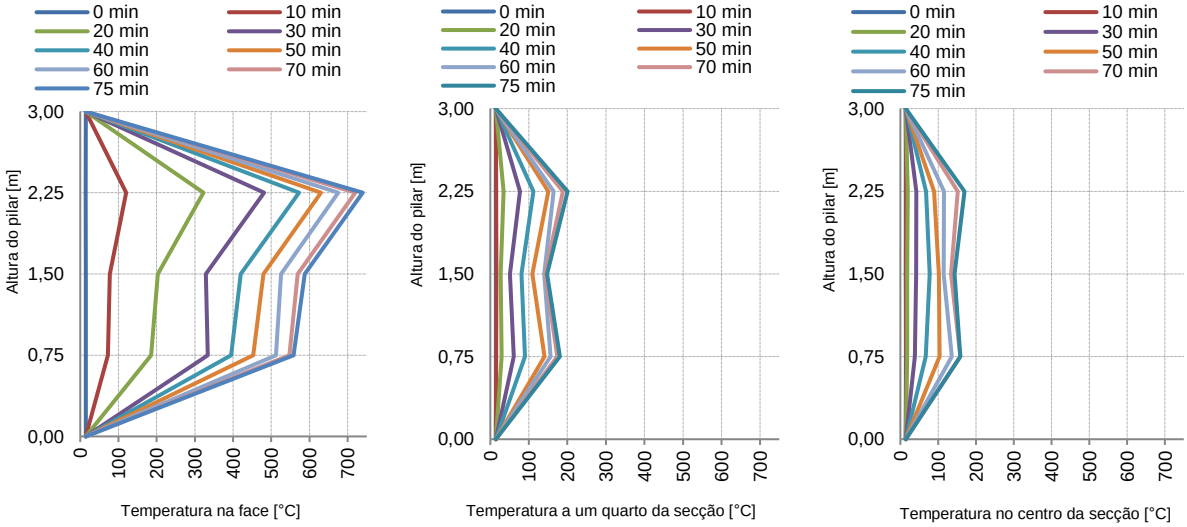
As variações da temperatura ao longo da altura do pilar, medidas na Secção 1, a 0,75m da base, na Secção 2, a 1,50m da base e na Secção 3, a 2,25m da base, são apresentadas nas Figuras 5.17 e 5.18. Observando a Figura 5.17, que representa os gradientes da temperatura no varão da armadura principal, Gráfico (a) e nas cintas, Gráfico (b), destaca-se, no primeiro gráfico, o facto de ter ocorrido a destruição do termopar que media a temperatura no varão ao nível da Secção 2, aos 50 minutos, não sendo possível a leitura das temperaturas a partir desse momento. Nota-se, ainda neste gráfico, que os gradientes da temperatura aumentam com o tempo. Relativamente ao Gráfico (b) da mesma figura, constata-se que a variação das temperaturas nas cintas entre a Secção 2 e a Secção 3 não são significativas em cada momento no decorrer do ensaio, com exceção das verificadas aos 75 minutos. Não há mais informação relevante a destacar, pelo facto de não ter sido possível a leitura das temperaturas na cinta ao nível da Secção 1. A variação das temperaturas ao longo da altura do pilar são mostradas na Figura 5.18. Comparando os três gráficos mostrados nesta figura (variação da temperatura na face, no Gráfico (a), variação da temperatura a um quarto da secção, no Gráfico (b) e variação da temperatura no centro da secção, no Gráfico (c)), pode constatar-se, como expectável, que os gradientes de temperatura mais acentuados ocorrem à face do pilar e os menos significativos no centro da secção. Pode ainda concluir-

se, observando o Gráfico (a), que os maiores gradientes à face se verificam entre a Secção 3 (a 2,25m da base), sujeita a temperaturas mais elevadas, e a Secção 2 (a 1,50m da base).



(a) (b)

Figura 5.17 - Variação da temperatura ao longo do pilar, em função do tempo: (a) No varão da armadura longitudinal; (b) Nas cintas.



(a) (b) (c)

Figura 5.18 - Variação da temperatura ao longo do pilar, em função do tempo: (a) Na face; (b) A um quarto da secção transversal; (c) No centro da secção transversal.

Analisando as temperaturas no varão da armadura longitudinal registadas no decorrer do ensaio, na Secção 1, na Secção 2 e na Secção 3, mostradas na Figura 5.19, constata-se que, aos 30 minutos, o valor máximo da temperatura é de 131ºC, observado na Secção 3 e o valor mínimo é de 111ºC, observado na Secção 1, e aos 60 minutos o valor máximo da temperatura é de 343ºC, na Secção 3 e o valor mínimo é de 306ºC, na Secção 1, não sendo possível registar a temperatura na Secção 2 pelos motivos antes apontados. Consultando os perfis de temperatura que constam no Anexo A da EN 1992-1-2 (EC2-1 -2, 2010) verifica-se que, para a=46mm (sendo a a distância do eixo do varão à face mais próxima sujeita a incêndio), a temperatura lida para o escalão R30 é cerca de 220ºC e para R60 é cerca de 420ºC. Apesar da temperatura no ensaio ser lida na face do varão e nos perfis de temperatura ser considerada no eixo,

os valores podem ser comparados pois, como concluiu Gonçalves, M.C. (2007), não há variação das temperaturas do eixo para a face de um varão, num dado momento. Assim, pode concluir-se que as temperaturas observadas no ensaio são inferiores às correspondentes obtidas pela leitura dos perfis de temperatura (131ºC<220ºC para o escalão R30 e 343ºC<420ºC para o escalão R60). Esta diferença de temperatura pode dever-se ao desfasamento, nos primeiros 17 minutos, entre a curva de aquecimento do forno e a curva teórica adotada. Como desenvolvimento futuro, será pertinente comparar as temperaturas obtidas no Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra com os levados a efeito em diferentes laboratórios.

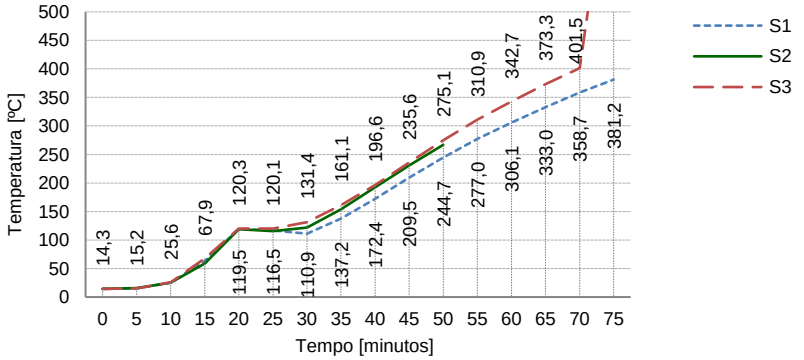


Figura 5.19 - Variação da temperatura no varão em função do tempo, na Secção 1, na Secção 2 e na Secção 3.

5.4. ESTUDO COMPARATIVO DOS RESULTADOS DE DIFERENTES ENSAIOS LEVADOS A EFEITO NO MESMO LABORATÓRIO

5.4.1. ESTUDO COMPARATIVO DE TRÊS PILARES DE SECÇÃO TRANSVERSAL QUADRANGULAR COM AS MESMAS DIMENSÕES

A comparação entre os resultados obtidos em ensaios experimentais ao fogo levados a efeito no mesmo laboratório é substancialmente pertinente, já que permite eliminar um dos fatores que influencia esses resultados, a taxa de aquecimento do forno. Assim, comparam-se os resultados do ensaio apresentado no subcapítulo anterior, com os obtidos no mesmo laboratório nos ensaios de dois pilares com as mesmas dimensões da secção transversal mas diferente constituição das armaduras. É depois comparada a resistência ao fogo resultante dos ensaios experimentais com a determinada analiticamente recorrendo aos Métodos Simplificados (Método da Isotérmica dos 500ºC e Método das Zonas) apontados na EN 1992-1-2 (EC2-1 -2, 2010).

Os três pilares são quadrangulares de 250x250mm^2, em betão C20/25 de agregados calcários e aço S500NR. O recobrimento das armaduras é de 30mm nos três pilares, sendo diferente o diâmetro dos varões da armadura longitudinal e das cintas, assim como a carga inicial aplicada no ensaio, P_0, e, consequentemente, o nível de carregamento à temperatura normal, n. Os valores destes parâmetros, assim como da taxa mecânica das armaduras à temperatura normal, ω, são indicados no Quadro 5.2.

Quadro 5.2 - Caraterísticas dos pilares quadrangulares comparados.

Pilar	Secção transversal *bxh* [mm²]	Comprimento *l* [m]	Armadura longitudinal	Cintas	*a* [mm]	P_0 [kN]	*n*	*ω*
P1	250x250	3,0	4Φ16	Φ6	44	495	0,60	0,42
P2	250x250	3,0	4Φ16	Φ8	46	648	0,78	0,42
P3	250x250	3,0	4Φ25	Φ8	50,5	656	0,56	1,02

5.4.1.1. ANÁLISE EXPERIMENTAL

Comparam-se, neste subcapítulo, os resultados obtidos em ensaios experimentais ao fogo levados a efeito no mesmo laboratório, o Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, de três pilares quadrangulares com as caraterísticas indicadas no Quadro 5.2. O ensaio do pilar P2 foi apresentado no Subcapítulo 5.3 e os ensaios dos pilares P1 e P3 foram publicados por Rodrigues, J.P.C. *et al*. (2012).

No Quadro 5.3 indicam-se as temperaturas medidas nos ensaios dos pilares P1 e P2 (para o pilar P3 os valores não se encontram disponíveis na literatura), aos 30, 60, 90 e 120 minutos. Apontam-se, também, os correspondentes valores definidos pela consulta dos perfis de temperatura que constam no Anexo A da EN 1992-1-2 (EC2-1 -2, 2010) e a diferença entre a temperatura lida nos perfis, T_P, e a verificada no ensaio, T_E. À semelhança do constatado para o pilar P2, referido no subcapítulo anterior, também para o pilar P1 se verifica que as temperaturas registadas no ensaio, aos 30, 60, 90 e 120 minutos, são sempre inferiores às correspondentes obtidas nos perfis de temperatura. Aos 30 e aos 60 minutos, a diferença entre as temperaturas (T_P-T_E) é substancialmente mais significativa no pilar P2 (diferença de 40ºC e 5ºC, respetivamente, no pilar P1, e 89ºC e 77ºC, respetivamente, no pilar P2). Constata-se, ainda, que no pilar P1 as diferenças entre aquelas temperaturas é significativamente mais elevada aos 90 e aos 120 minutos (diferença de 90ºC) do que aos 30 e aos 60 minutos (diferença de 40ºC e 5ºC, respetivamente).

Atendendo a que o aquecimento do forno seguiu a mesma curva da mostrada na Figura 5.9, correspondente ao ensaio do pilar P2, também para o pilar P1 se pode presumir que a diferença entre as temperaturas poderá dever-se ao desfasamento, nos primeiros 17 minutos, entre a curva de aquecimento do forno e a curva ISO 834 (1975). No entanto, dado que a diferença entre as temperaturas registadas nos ensaios e as lidas nos perfis de temperatura são significativamente diferentes nos dois pilares, com caraterísticas físicas semelhantes com exceção do diâmetro das cintas (Φ6 no pilar P1 e Φ8 no pilar P2), sendo a distância da face do pilar ao eixo ou à face dos varões da armadura longitudinal 2mm superior no pilar P2, pode também supor-se que esta diferença de espessura da camada de betão, embora reduzida, interfira nessa diferença de temperaturas verificada.

Quadro 5.3 - Temperatura nos varões.

Pilar	*a* [mm]	Temperatura no varão [ºC]											
		30 minutos			60 minutos			90 minutos			120 minutos		
		Ensaio	Perfis temp.	T_P-T_E	Ensaio	Perfis temp.	T_P-T_E	Ensaio	Perfis temp.	T_P-T_E	Ensaio	Perfis temp.	T_P-T_E
P1	44	170	240	40	435	440	5	500	590	90	590	680	90
P2	46	131	220	89	343	420	77	-	-	-	-	-	-
P3	50,5	-	180	-	-	380	-	-	520	-	-	620	-

As forças de restrição desenvolvidas durante o ensaio são mostradas no gráfico da Figura 5.20, sendo notório que o máximo destas forças ocorre substancialmente mais cedo no pilar P2 do que nos pilares P1 e P3, e que é no pilar P1 que as forças de restrição são mais elevadas. Salienta-se, também, que o tempo de resistência ao fogo do pilar P2 é significativamente inferior ao dos pilares P1 e P3.

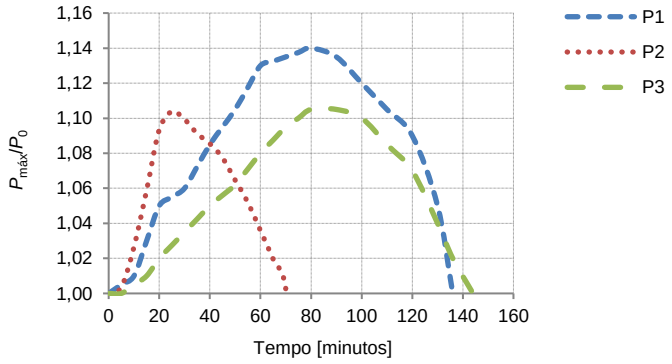


Figura 5.20 - Variação, no tempo, da razão entre a força máxima verificada no decorrer do ensaio e o valor da carga inicial, para cada um dos três pilares.

No Quadro 5.4 indica-se, para cada pilar, o tempo de resistência ao fogo, a força de restrição máxima, $P_{máx}$, e a razão entre a força de restrição máxima e a carga inicial aplicada, $P_{máx}/P_0$. Para melhor poder relacionar-se os resultados apresentam-se, também neste quadro, os valores do nível de carregamento à temperatura normal, n, determinado recorrendo à Expressão (2.11) e o grau de utilização em situação de incêndio, μ_{fi}, determinado pela Expressão (2.5), ambas apresentadas no Capítulo 2 desta dissertação. Salienta-se que os valores de μ_{fi} agora apresentados foram determinados considerando, para o cálculo do esforço normal resistente à temperatura ambiente, N_{Rd}, as vigas de travamento do pórtico metálico integrado no equipamento de ensaio. Observando o quadro acima referido, podem ser apontadas as seguintes conclusões:

- ∴ O pilar P2, com o maior valor de nível de carregamento, n=0,78, e grau de utilização, μ_{fi}=0,69, é o que apresenta o menor tempo de resistência ao fogo, 70 minutos, seguindo-se o pilar P1, com n=0,60 e μ_{fi}=0,52, resistindo 136 minutos, sendo o pilar P3 o que apresenta um maior tempo de resistência ao fogo, 144 minutos, correspondendo-lhe o menor valor do nível de carregamento n=0,56 e grau de utilização μ_{fi}=0,46;
- ∴ O pilar P3 resiste ao fogo mais 8 minutos do que o pilar P1 e mais 74 minutos do que o pilar P2;
- ∴ O pilar P1, com as mesmas caraterísticas geométricas do pilar P2, com a exceção do diâmetro das cintas (Φ6 em P1e Φ8 em P2, sendo o maior diâmetro das cintas mais favorável em situação de incêndio), apresenta um tempo de resistência ao fogo 66 minutos mais elevado do que o pilar P2. O pilar P1 é inserido no escalão de resistência ao fogo R120 e o pilar P2 é inserido no escalão R60;
- ∴ O pilar P3 e o pilar P1 apresentam iguais dimensões da secção transversal, 250x250mm^2, e igual espessura de recobrimento das armaduras, 30mm. No entanto, a armadura do primeiro é constituída por 4Φ25-Φ8 e a do segundo por 4Φ16-Φ6. Apesar desta diferença significativa na constituição da armadura, o pilar P3 resiste ao fogo apenas mais 8 minutos que o pilar P1, sendo os dois pilares inseridos num mesmo escalão de resistência ao fogo, o escalão R120;

∴ Ponderando o referido nos parágrafos anteriores se conclui que o nível de carregamento à temperatura normal, *n*, interferiu significativamente na resistência ao fogo dos pilares: quanto maior o nível de carregamento, menor a resistência ao fogo;

Quadro 5.4 - Tempo de resistência ao fogo e forças de restrição máximas observadas nos ensaios.

Pilar	n	μ_{fi}	Tempo de resistência ao fogo registado no ensaio [minutos]	Escalão de resistência ao fogo	P_0 [kN]	$P_{máx}$ [kN]	$P_{máx}/P_0$
P1	0,60	0,52	136	R120	495	564	1,139
P2	0,78	0,69	70	R60	648	715	1,104
P3	0,56	0,46	144	R120	656	726	1,106

Relativamente aos resultados referentes ao tempo de resistência ao fogo obtidos nos ensaios dos pilares P1 e P3, seria expectável uma diferença superior aos 8 minutos observados. Efetivamente, os dois pilares têm iguais dimensões da secção transversal, mas o pilar P3 apresenta maior valor de *a* e, portanto, menor temperatura no eixo dos varões, maior área de armadura e menores valores de *n* e de μ_{fi}. A diferença de comportamento destes dois pilares relacionar-se-á essencialmente com o contributo da resistência mecânica das armaduras em situação de incêndio, já que a área da secção útil de betão se manterá igual nos dois pilares. Com o intuito de procurar uma justificação para esta diferença de comportamento, determinou-se a resistência mecânica conferida pelas armaduras, multiplicando a área da armadura, A_s, pela tensão de cedência em função da temperatura, $f_{sy,\theta}$.

As temperaturas lidas no decorrer do ensaio, no eixo do varão da armadura principal do pilar P3, não se encontram disponíveis na literatura, como já referido, pelo que foram estimadas por analogia com o desenvolvimento das temperaturas no pilar P1. Para este efeito, considerou-se que a diferença entre a temperatura lida nos perfis de temperatura disponibilizados no Anexo A da EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) e a observada nos ensaios se mantém nesta fase de desenvolvimento do incêndio, $\Delta\theta$=90ºC, e que essa diferença é a mesma que iria observar-se no pilar P3. Como pode ver-se no Quadro 5.3, no pilar P1 este desfasamento é constante pelo menos a partir dos 90 minutos. Considerando, ainda, que o desenvolvimento da curva das temperaturas no pilar P3, a partir dos 120 minutos, é semelhante ao do pilar P1, nesta fase do incêndio, obteve-se a temperatura que terá ocorrido no eixo do varão no ensaio do pilar P3, aos 144 minutos, tempo de resistência ao fogo deste pilar, θ_3=560ºC. No pilar P1 a temperatura observada no ensaio, aos 136 minutos, foi θ_1=610ºC.

Os coeficientes de redução da tensão de cedência em função da temperatura, $k_s(\theta)$, foram determinados recorrendo à expressão indicada na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) para temperaturas 500ºC<θ≤700ºC, $k_s(\theta)$=0,1-0,47(θ-700)/200. Nos momentos acima referidos obtiveram-se, para o pilar P1 e para o pilar P3, $k_s(\theta)_1$=0,3115 e $k_s(\theta)_3$=0,4290, e para a resistência das armaduras, $A_{s1}.f_{sy,\theta1}$=125,22kN e $A_{s3}.f_{sy,\theta3}$=421,06kN, respetivamente. Determinaram-se os valores destes coeficientes de redução para as temperaturas referentes aos 120 minutos e calculou-se a sua diminuição, assim como a diminuição da resistência das armaduras, por minuto de duração do ensaio. Os resultados são apresentados no Quadro 5.5. Salienta-se que é para temperaturas neste intervalo que a redução de $k_s(\theta)$ é mais acentuada, como pode ver-se na Curva 3 da Figura 4.2a da norma referida.

Quadro 5.5 - Temperatura no eixo dos varões, valores de $k_s(\theta)$ e redução de $k_s(\theta)$ e de $A_s.f_{sy,\theta}$ por minuto de duração do ensaio.

Pilar	Temperatura no eixo dos varões [ºC]		$k_s(\theta)$		Redução de $k_s(\theta)$ por minuto	Redução de $A_s.f_{sy,\theta}$ por minuto [kN/minuto]
	Aos 120 minutos	Aos 136 min - P1 144 min - P3	Aos 120 minutos	Aos 136 min - P1 144 min - P3		
P1	590	610	0,3585	0,3115	0,002938	1,18
P3	530	560	0,4995	0,4290	0,002938	2,88

Tomando em consideração os valores apresentados no quadro anterior pode concluir-se que, apesar do coeficiente de redução $k_s(\theta)$ ser maior no pilar P3, permitindo um maior contributo das armaduras na resistência ao fogo desse pilar, a partir dos 120 minutos, em cada minuto a mais de duração do ensaio, a redução do contributo das armaduras é mais acentuada no pilar P3 do que no pilar P1 (2,88kN/minuto no P3 e 1,18kN/minuto no P1).

No pilar P1, a perda de capacidade resistente da armadura entre os 120 minutos e os 136 minutos corresponde a 3,8% da carga inicial aplicada ao pilar (1,18x16/495) e no pilar P3 a perda de capacidade resistente da armadura entre os 120 minutos e os 144 minutos corresponde a 10,5% da carga inicial aplicada ao pilar (2,88x24/656). Ainda neste último, a perda de capacidade resistente da armadura entre os 120 minutos e os 136 minutos corresponde a 7,0% da carga inicial aplicada ao pilar (2,88x16/656), quase o dobro da redução percentual do pilar P1 no mesmo período de tempo.

5.4.1.2. COMPARAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO FOGO OBTIDA NOS ENSAIOS EXPERIMENTAIS COM A DETERMINADA ANALITICAMENTE RECORRENDO A DIAGRAMAS DE INTERAÇÃO N_{fi}/M_{fi}

A comparação da resistência ao fogo dos três pilares, com as caraterísticas indicadas no Quadro 5.2, obtida nos ensaios experimentais antes apresentados, com a resistência ao fogo determinada analiticamente aplicando os Métodos Simplificados apontados na EN 1992-1-2 (EC2-1 -2, 2010), o Método da Istotérmica dos 500ºC e Método das Zonas, é levada a efeito recorrendo aos diagramas de interação N_{fi}/M_{fi}.

Os esforços máximos admissíveis num pilar, para cada escalão de resistência ao fogo, são limitados superiormente pela curva correspondente ao diagrama de interação dos esforços resistentes, $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$, e pela curva referente ao diagrama de interação dos esforços atuantes, $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$. O desenho destes diagramas será tratado pormenorizadamente no Capítulo 6, apresentando-se agora o estritamente necessário à justificação das premissas que conduzem aos objetivos propostos no presente subcapítulo.

Para definir o diagrama de interação $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$, correspondente à secção transversal plana de um pilar, para um escalão de resistência ao fogo, seguiu-se o seguinte procedimento:

- ∴ Cálculo da secção reduzida de betão, considerando a aplicação do Método da Isotérmica dos 500°C ou do Método das Zonas, métodos simplificados apontados na EN 1992-1-2 (EC2-1 -2, 2010);
- ∴ Definição da temperatura nas armaduras, para cada escalão de resistência ao fogo e em função da distância do eixo do varão da armadura principal à face do pilar mais próxima sujeita a

incêndio, por consulta dos perfis de temperatura apresentados no Anexo A da norma acima referida;

∴ Determinação da resistência reduzida da armadura, em função da temperatura definida. Cálculo de $E_{s,\theta}$, $f_{sp,\theta}$ e $f_{sy,\theta}$, pela aplicação dos coeficientes de redução indicados na mesma norma;

∴ Desenho do diagrama de interação $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$, em função das diferentes configurações possíveis para as extensões do betão e do aço das armaduras. Para a quantificação de $N_{Rd,fi}$ e $M_{Rd,fi}$ utilizou-se o método do diagrama retangular, método clássico simplificado da resistência dos materiais para o cálculo de secções, seguindo-se o desenvolvimento apresentado por Montoya, J. *et al*. (2000) adaptado à situação de incêndio, considerando-se a redução das propriedades mecânicas do aço.

Na Figura 5.21representam-se os pilares ensaiados, os diagramas de interação $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ definidos tomando em consideração o Método da Isotérmica dos 500ºC para determinar a secção útil em situação de incêndio, e o domínio das extensões onde esses pilares se inserem. Os diagramas de interação foram desenhados para os escalões de resistência ao fogo selecionados de modo a que os valores dos esforços referentes aos pilares ensaiados permanecessem na zona do diagrama entre as curvas correspondentes a dois escalões consecutivos.

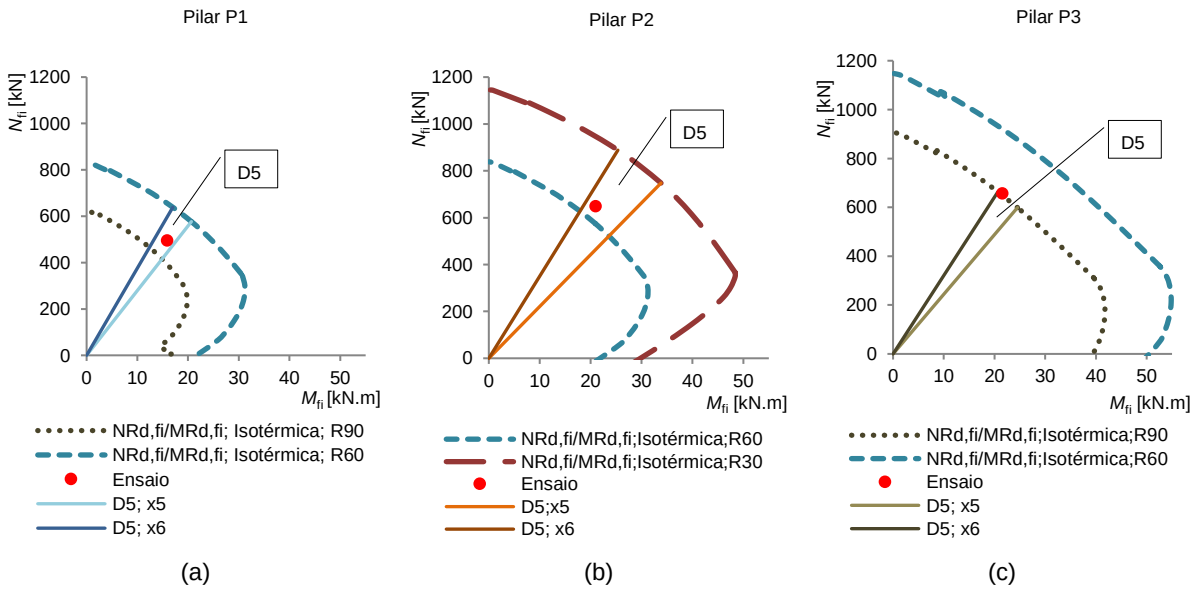


Figura 5.21 - Diagramas de interação $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ desenhados considerando a aplicação do Método da Isotérmica dos 500ºC, limites do Domínio 5 e representação dos pilares ensaiados: (a) Pilar P1; (b) Pilar P2; (c) Pilar P3.

Representam-se, na Figura 5.21, os limites do domínio 5 correspondentes a cada um dos pilares e os diagramas de interação $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$, para os escalões de resistência ao fogo selecionados de modo a que os valores dos esforços correspondentes aos pilares ensaiados permanecessem na zona do diagrama entre as curvas desenhadas para dois escalões consecutivos. Para o desenho destes diagramas considerou-se a aplicação do Método da Isotérmica dos 500°C. Os pilares ensaiados inserem-se no Domínio 5, onde as extensões nos varões da armadura A_s, são compreendidas entre $\varepsilon_{sp,\theta}$ (extensão no aço correspondente à tensão limite de proporcionalidade, em função da temperatura) e zero, para uma profundidade do eixo neutro que varia entre $x_5=d_{fi}$ e $x_6=h_{fi}$, como se esquematiza na Figura A6.5 do Anexo A6.

Pela observação dos diagramas representados nesta última figura e tomando em consideração os resultados do ensaio apresentados no Quadro 5.4, pode constatar-se o seguinte:

- ∴ O pilar P1, Gráfico (a), que apresentou no ensaio experimental um tempo de resistência ao fogo de 136 minutos, inserindo-se no escalão R120, passa para o escalão R60 quando avaliado pelo Método da Isotérmica dos 500ºC;
- ∴ O pilar P2, Gráfico (b), que apresentou no ensaio experimental um tempo de resistência ao fogo de 70 minutos, inserindo-se no escalão R60, passa para o escalão R30 quando avaliado pelo Método da Isotérmica dos 500ºC, embora se encontre muito próximo da curva correspondente ao diagrama de interação desenhado para o escalão R60;
- ∴ O pilar P3, Gráfico (b), que apresentou no ensaio experimental um tempo de resistência ao fogo de 144 minutos, inserindo-se no escalão R120, passa para o escalão R90 quando avaliado pelo Método da Isotérmica dos 500ºC;

Conclui-se, pelo exposto, que o Método da Isotérmica dos 500ºC conduziu, na verificação da resistência ao fogo dos três pilares, a resultados muito conservativos, quando comparados com os obtidos nos ensaios experimentais. A discrepância dos resultados é mais significativa no pilar P1, o que apresenta um menor valor de *a* (distância do eixo do varão da armadura principal à face do pilar mais próxima sujeita a incêndio, apresentada no Quadro 5.3) e, portanto, uma temperatura mais elevada nos varões, o que conduz a coeficientes de redução das caraterísticas mecânicas do aço maiores, a tomar em consideração no cálculo analítico. Em termos de tempo de resistência ao fogo o desempenho deste pilar, no ensaio experimental, foi idêntico ao do pilar P3, com um nível de carregamento semelhante, bastante inferior ao do pilar P2, que apresentou o pior desempenho.

Sendo o objetivo deste subcapítulo comparar a resistência ao fogo dos três pilares verificada nos ensaios experimentais com a determinada analiticamente recorrendo aos Métodos Simplificados apresentados na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), apresentam-se os gráficos da Figura 5.22, semelhantes aos da Figura 5.21, onde se representam também os diagramas de interação desenhados recorrendo ao Método das Zonas para o cálculo da secção útil de betão. A aplicação do Método das Zonas conduz a resultados menos conservativos que o Método da Isotérmica dos 500ºC, como pode observar-se nos gráficos. Para os pilares P1 e P2, a utilização do primeiro método leva a que os esforços atuantes correspondentes a estes pilares, em situação de incêndio, estejam muito próximos do escalão R90, no primeiro pilar e no escalão R60, no segundo.

Relativamente aos pilares P1 e P3 comparar-se-ão, no final do Subcapítulo 5.4.2.3, os resultados atrás apresentados, obtidos analiticamente pela autora, com os publicados por outros autores e desenvolvidos para os mesmos pilares, mas recorrendo a metodologias distintas.

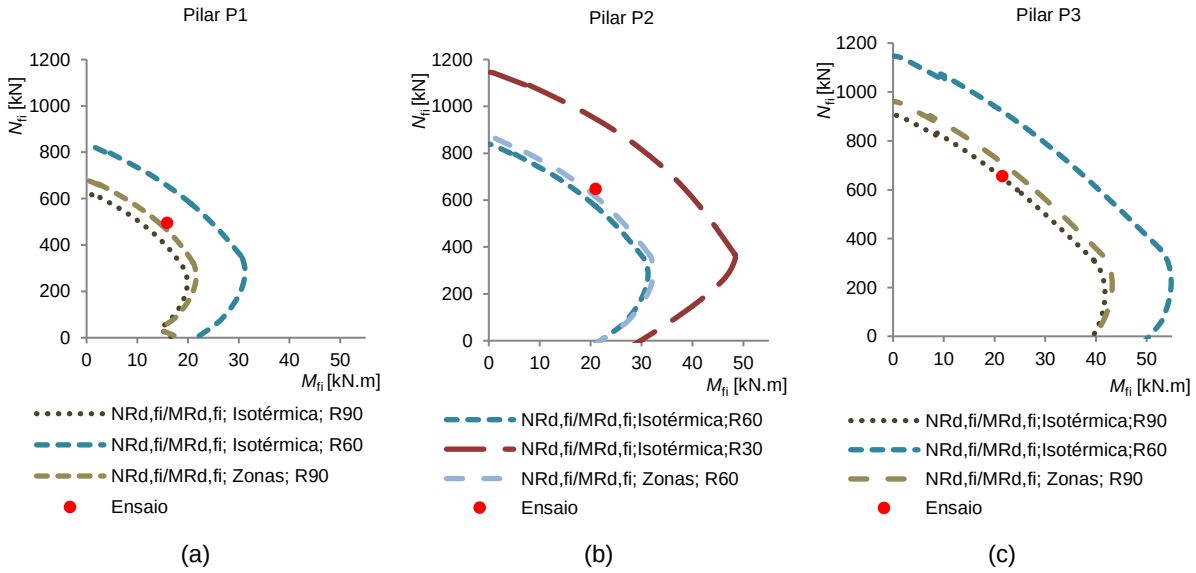


Figura 5.22 - Diagramas de interação $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ desenhados considerando a aplicação do Método da Isotérmica dos 500ºC e do Método das Zonas, e representação dos pilares ensaiados: (a) Pilar P1; (b) Pilar P2; (c) Pilar P3.

Verificou-se, também, a conformidade dos pilares ensaiados em relação aos esforços máximos atuantes, $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$, determinados analiticamente. Para o desenho dos diagramas de interação destes esforços utilizou-se o Método baseado numa rigidez nominal, apontado na EN 1992-1-1 (EC2-1-1, 2010). Pela aplicação deste método, o momento fletor de cálculo total, $M_{Ed,fi}$, incluindo o momento de segunda ordem, é expresso como uma majoração do valor do momento resultante de uma análise de primeira ordem, $M_{0Ed,fi}$ onde se incluem os efeitos das imperfeições geométricas. O desenvolvimento detalhado do processo de cálculo é apresentado no Subcapítulo 6.3 do Capítulo 6 desta dissertação. Na Figura 5.23 apresentam-se os diagramas de interação que permitem verificar a conformidade dos pilares, nomeadamente em relação aos esforços atuantes.

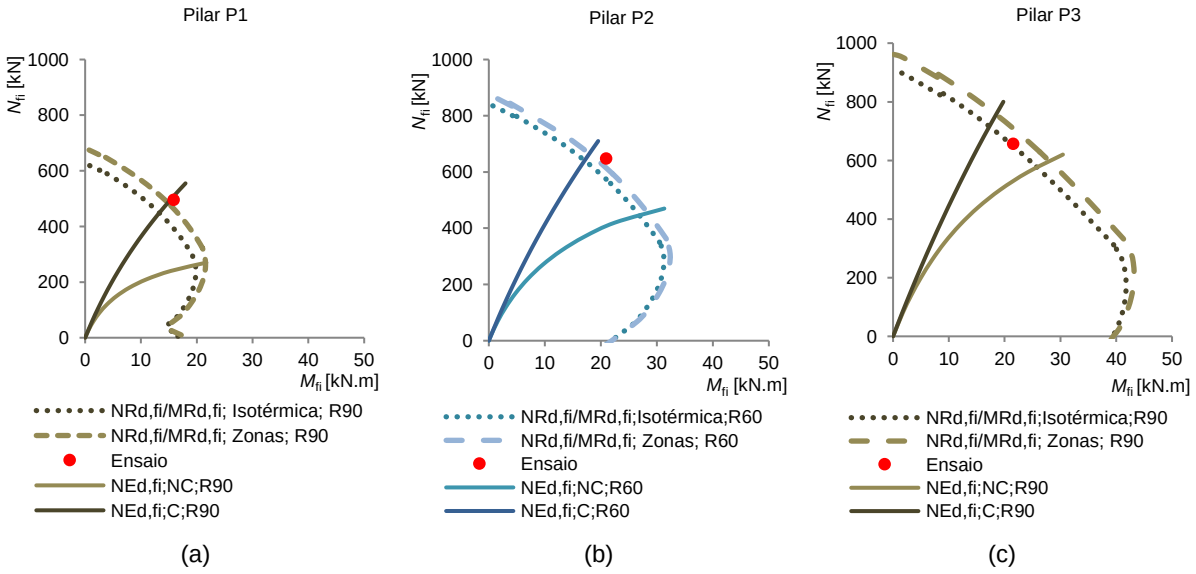


Figura 5.23 - Diagramas de interação $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ desenhados considerando a aplicação do Método da Isotérmica dos 500ºC e do Método das Zonas, diagramas de interação $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$, e representação dos pilares ensaiados: (a) Pilar P1; (b) Pilar P2; (c) Pilar P3.

Os diagramas de interação dos esforços atuantes são representados na Figura 5.23, no Gráfico (a) para o pilar P1, no Gráfico (b) para o pilar P2 e no Gráfico (c) para o pilar P3. Atendendo a que se considerou que o equipamento de ensaio não proporcionava um contraventamento de eficácia semelhante à conferida pelos pórticos onde o pilar se insere, numa estrutura corrente, os esforços atuantes, $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$, foram calculados considerando os pilares como não contraventados. Nos gráficos, estes esforços são identificados por "$N_{Ed,fi}$;NC;R90 e $N_{Ed,fi}$;NC;R60".

Como pode constatar-se, os valores dos esforços atuantes referentes aos pilares em estudo são superiores aos valores máximos destes esforços definidos pelos correspondentes diagramas de interação, quando se consideram como não contraventados. Atendendo ao desfasamento entre os resultados obtidos nos ensaios e os resultantes do cálculo analítico agora apresentados, desenharam-se os diagramas considerando os pilares como contraventados. Estas curvas são identificadas, nos gráficos referidos no parágrafo anterior, por "$N_{Ed,fi}$;C;R90 e $N_{Ed,fi}$;C;R60". Verifica-se, pela observação destes gráficos, que os pilares ensaiados se encontram no interior da curva que limita superiormente os esforços assim definidos. Pode concluir-se, pois, que os resultados obtidos nos ensaios experimentais ao fogo dos três pilares em betão armado, com equipamento de ensaio que se considerou não possibilitar o seu eficaz contraventamento, podem ser comparados com os determinados analiticamente recorrendo aos Métodos Simplificados para determinar a secção útil do betão e ao Método da rigidez nominal para o cálculo dos esforços máximos atuantes, considerando estes pilares como contraventados.

Constatou-se que os diagramas de interação correspondentes aos esforços atuantes, desenhados considerando-se a secção útil do betão determinada pelo Método da Isotérmica dos 500ºC ou pelo Método das Zonas, para cada escalão de resistência ao fogo em causa, não apresentam desfasamento, como se comprova nos gráficos apresentados na Figura 5.24.

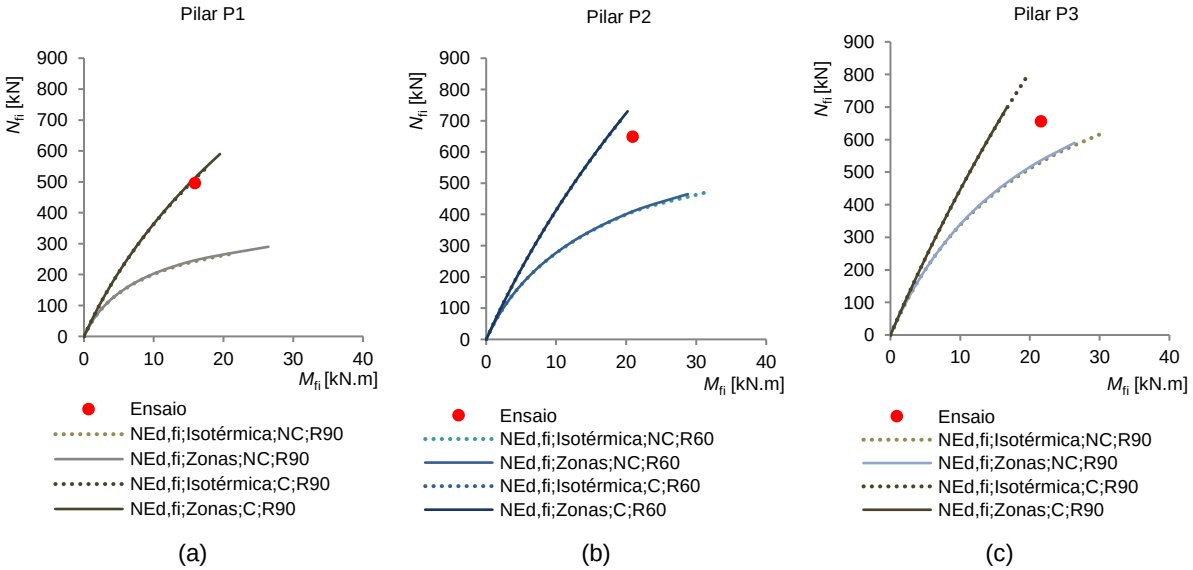


Figura 5.24 - Diagramas de interação $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$ desenhados considerando a aplicação do Método da Isotérmica dos 500ºC e do Método das Zonas, e representação dos pilares ensaiados: (a) Pilar P1; (b) Pilar P2; (c) Pilar P3.

5.4.2. ESTUDO COMPARATIVO DE SETE PILARES, TRÊS DE SECÇÃO TRANSVERSAL QUADRANGULAR E QUATRO DE SECÇÃO TRANSVERSAL CIRCULAR

5.4.2.1. CARATERÍSTICAS DOS PILARES

A resistência ao fogo de três pilares ensaiados no Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra foi comparada e analisada no subcapítulo anterior, assim como a respetiva conformidade utilizando diagramas de interação N_{fi}/M_{fi} desenhados recorrendo a dois métodos analíticos propostos na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) para o cálculo da secção útil de betão a tomar em consideração em situação de incêndio, o Método da Isotérmica dos 500ºC e o Método das Zonas. Comparam-se, agora, os comportamentos desses pilares com quatro pilares de secção circular ensaiados no mesmo laboratório, publicados por Rodrigues, J.P.C. *et al*. (2012). Nos sete pilares foi utilizado o betão C20/25 de agregados calcários e as armaduras foram realizadas em aço S500NR, com um recobrimento de 30mm. As caraterísticas geométricas dos pilares são indicadas no Quadro 5.6, bem como a carga inicial aplicada no ensaio, P_0, o nível de carregamento à temperatura normal, n, a taxa mecânica de armaduras à temperatura normal, ω, e o grau de utilização em situação de incêndio, μ_{fi}.

O grau de utilização em situação de incêndio foi determinado pela Expressão (5.1), razão entre o esforço normal atuante em situação de incêndio, $N_{Ed,fi}$, e o esforço normal resistente à temperatura normal, N_{Rd}. O esforço normal atuante corresponde à carga inicial aplicada ao pilar no ensaio ao fogo ($N_{Ed,fi}=P_0$) tendo sido incluídos, no cálculo desta carga, as imperfeições geométricas e os efeitos de segunda ordem, considerando os pilares como não contraventados, pelas razões já expostas, e as vigas de travação as vigas em aço constituintes do equipamento de ensaio. No cálculo do esforço normal resistente foram também incluídos as imperfeições geométricas e os efeitos de segunda ordem, considerando as vigas de travação em betão armado, com uma secção transversal de largura igual à do pilar em questão e altura de 0,50m, com o vão de 5,0m. A variação da altura e do vão das vigas de travação em betão armado, considerando valores correntes para estes parâmetros, não alteram o valor do esforço normal resistente, como se mostrará. No Quadro 5.6 são apresentados os valores de μ_{fi} considerando, no cálculo de N_{Rd}, os pilares contraventados e não contraventados, pois pretende-se comparar os resultados obtidos nos ensaios experimentais com os determinados pela aplicação de métodos analíticos propostos na EN 1992-1-2 (EC2-1 -2, 2010), aplicáveis apenas a pilares contraventados. A metodologia seguida para o cálculo de N_{Rd} será apresentada nos parágrafos seguintes.

$$\mu_{fi} = \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Rd}} \tag{5.1}$$

Pode ver-se, no Quadro 5.6, que os valores do grau de utilização em situação de incêndio, μ_{fi}, variam entre 0,55 e 0,92 quando se consideram os pilares como inseridos em estruturas não contraventadas e entre 0,46 e 0,72 em estruturas contraventadas. O nível de carregamento, n, não dependente do tipo de contraventamento, varia entre 0,53 e 0,78.

A EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) prevê, como simplificação conservativa, a utilização do fator de redução para o valor de cálculo do nível de carregamento em situação de incêndio, η_{fi}, em substituição do grau de utilização em situação de incêndio, μ_{fi}. Assim, é de todo o interesse comparar os valores de μ_{fi} referentes aos pilares ensaiados, com os valores de η_{fi} obtidos na análise dos projetos de sessenta e

três edifícios correntes, estudo apresentado no Capítulo 4. Observando a Figura 4.12 deste capítulo constata-se que os valores de η_{fi} variam entre 0,58 e 0,68 ($0{,}58 \leq \eta_{fi} \leq 0{,}68$), sendo os valores mais frequentes compreendidos entre 0,63 e 0,66. Considera-se, pois, que no cálculo da carga inicial a aplicar aos pilares em ensaios ao fogo, sejam tomados em consideração estes limites dos valores observados em projeto.

Quadro 5.6 - Caraterísticas dos pilares quadrangulares e dos pilares circulares comparados.

Pilar	Secção transversal	Comprimento	Armadura longitudinal	Cintas	a	P_0	n	ω	μ_{fi}	
	bxh [mm^2]	l [m]			[mm]	[kN]			Não contraventados	Contraventados
P1	250x250	3,0	4Φ16	Φ6	44,0	495	0,60	0,420	0,70	0,55
P2	250x250	3,0	4Φ16	Φ8	46,0	648	0,78	0,420	0,92	0,72
P3	250x250	3,0	4Φ25	Φ8	50,5	656	0,56	1,024	0,65	0,50
P4	Φ250	3,0	6Φ12	Φ6	42,0	363	0,55	0,451	0,62	0,49
P5	Φ250	3,0	6Φ20	Φ8	48,0	624	0,60	1,252	0,68	0,53
P6	Φ300	3,0	6Φ12	Φ6	42,0	458	0,53	0,313	0,55	0,46
P7	Φ300	3,0	6Φ20	Φ8	48,0	766	0,62	0,870	0,63	0,53

O valor de cálculo do esforço normal resistente à temperatura normal, N_{Rd}, foi determinado recorrendo à Expressão (5.2) desenvolvida a partir de expressões simplificadas apresentadas por Montoya, J. *et al*. (2000) para o cálculo de secções à flexão composta, considerando-se o valor reduzido do esforço normal, ν, o valor reduzido do momento fletor, μ, e a percentagem mecânica de armadura, ω, determinados pelas Expressões (5.3), (5.4) e (5.5), respetivamente.

$$N_{Rd} = \frac{\omega + 1}{\frac{1}{bhf_{cd}}\left(\frac{e_i + e_2}{0{,}93h\lambda} + 1\right)} \tag{5.2}$$

Em que:

- ω taxa mecânica de armaduras à temperatura normal;
- b menor dimensão da secção transversal do pilar;
- h maior dimensão da secção transversal do pilar;
- f_{cd} valor de cálculo da tensão de rotura do betão à compressão;
- e_i excentricidade devida aos efeitos das imperfeições geométricas;
- e_2 excentricidade devida aos efeitos de segunda ordem;
- λ λ=0,5-(a/h)
- a distância dos varões da armadura principal à respetiva face;

$$\nu = \frac{N_{Rd}}{bhf_{cd}} \tag{5.3}$$

$$\mu = \frac{M_{Rd}}{bh^2 f_{cd}} \tag{5.4}$$

$$\omega = \frac{A_s}{bh} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \tag{5.5}$$

A excentricidade devida aos efeitos das imperfeições geométricas foi determinada pela aplicação da Expressão (5.6) indicada na EN 1992-1-1 (EC2-1-1, 2010), em função da inclinação correspondente à

deformação devida às imperfeições geométricas, θ_i, e do comprimento efetivo, l_0. O parâmetro θ_i é determinado pela Expressão (5.7) e o comprimento efetivo pelas Expressões (5.8) ou (5.9) conforme o pilar seja contraventado ou não contraventado, respetivamente. Nos pilares não contraventados utilizou-se a segunda expressão indicada dentro das chavetas.

$$e_i = \theta_i \frac{l_0}{2} \tag{5.6}$$

$$\theta_i = \theta_0 . \alpha_h . \alpha_m \tag{5.7}$$

$$l_0 = 0{,}5 l . \sqrt{\left(1+\frac{k_1}{0{,}45+k_1}\right).\left(1+\frac{k_2}{0{,}45+k_2}\right)} \tag{5.8}$$

$$l_0 = l . \max\left\{\sqrt{\left(1+10.\frac{k_1.k_2}{k_1+k_2}\right)}; \left(1+\frac{k_1}{1+k_1}\right).\left(1+\frac{k_2}{1+k_2}\right)\right\} \tag{5.9}$$

Em que:

- θ_0 valor básico (θ_0=1/200);
- α_h coeficiente de redução relativo ao comprimento ou à altura: $\alpha_h = 2/\sqrt{l}$; $2/3 \leq \alpha_h \leq 1$; l corresponde ao comprimento real do elemento;
- α_m coeficiente de redução relativo ao número de elementos: $\alpha_m = \sqrt{0{,}5(1+1/m)}$; efeito num pilar isolado $\rightarrow m$=1;
- k_1, k_2 flexibilidades relativas dos encastramentos parciais das extremidades 1 e 2, respetivamente; $k = (\theta/M).(EI/l)$;
- θ rotação dos elementos que se opõem à rotação para o momento fletor M;
- EI rigidez de flexão do elemento comprimido;
- l altura livre do elemento comprimido entre ligações de extremidade.

A excentricidade devida aos efeitos de segunda ordem, e_2, foi determinada recorrendo ao Método baseado numa curvatura nominal, método apontado na EN 1992-1-1 (EC2-1-1, 2010). Recorreu-se a este método pelo facto de ter sido o método utilizado no cálculo da carga inicial aplicada aos pilares ensaiados. O momento de cálculo, M_{Ed}, é determinado pela aplicação da Expressão (5.10), em função do momento de primeira ordem, Expressão (5.11), que inclui o efeito das imperfeições geométricas, e do momento nominal de segunda ordem, Expressão (5.12), que inclui os efeitos de segunda ordem. A excentricidade e_2 é calculada recorrendo à Expressão (5.13).

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 \tag{5.10}$$

$$M_{0Ed} = M_0 + (N_{Ed}.e_i) \tag{5.11}$$

$$M_2 = N_{Ed}.e_2 \tag{5.12}$$

$$e_2 = \left(\frac{1}{r} l_0^{\,2}\right) \Big/ c \tag{5.13}$$

Em que:

M_{0Ed} momento de primeira ordem, incluindo o efeito de imperfeições geométricas;
M_2 momento nominal de segunda ordem;
M_0 momento inicial;
$1/r$ curvatura, determinada pela Expressão (5.14);
l_0 comprimento efetivo, determinado pelas Expressões (5.8) e (5.9), respetivamente em pilares contraventados e não contraventados;
c coeficiente dependente da distribuição da curvatura; no caso de uma secção transversal constante, c=10;

$$\frac{1}{r} = K_r . K_\varphi . 1/r_0 \tag{5.14}$$

Sendo:

K_r fator de correção dependente do esforço normal;
K_φ coeficiente que tem em conta a fluência;
$1/r_0 = \varepsilon_{yd}/(0{,}45d)$;
$\varepsilon_{yd} = f_{yd}/E_s$;
d altura útil da secção transversal.

5.4.2.2. RESULTADOS DOS ENSAIOS E PARÂMETROS PERTINENTES AO ESTUDO

Os resultados dos ensaios pertinentes ao estudo que agora se pretende desenvolver são apresentados no Quadro 5.7. Assim, indicam-se o tempo de resistência ao fogo de cada pilar e o correspondente escalão, os valores da carga inicial aplicada no início do ensaio, P_0, e o valor do esforço normal resistente, devido às forças de restrição, lido ao fim de 60, de 90 e de 120 minutos. Salienta-se que o tempo de resistência ao fogo é considerado como o tempo que decorre entre o início do ensaio e o momento em que a carga lida é novamente igual à carga inicial, depois de ter aumentado devido ao desenvolvimento das forças de restrição, constatando-se a perda da capacidade resistente do pilar imediatamente a seguir, como é visível no Gráfico (a) da Figura 5.11.

Quadro 5.7 - Resultados do ensaio: carga inicial aplicada, tempo de resistência ao fogo, escalão de resistência ao fogo e esforço normal resistente lido aos 60, 90 e 120 minutos.

Pilar	Tempo de resistência ao fogo [minutos]	Escalão de resistência ao fogo	Carga inicial aplicada P_0 [kN]	$N_{Rd,fi}$ [kN]		
				60 [minutos]	90 [minutos]	120 [minutos]
P1	136	R120	495	556,88	559,35	539,55
P2	70	R60	648	671,00	-	-
P3	144	R120	656	708,48	724,88	692,08
P4	110	R90	363	377,52	373,89	-
P5	163	R120	624	661,44	686,4	698,88
P6	109	R90	458	476,32	480,9	-
P7	154	R120	766	788,98	808,13	792,81

Analisando os resultados apresentados no quadro anterior podem ser formuladas as seguintes conclusões:

- ∴ Dos pilares quadrangulares, P1, P2 e P3, com iguais dimensões da secção transversal, o pilar P3 é o que apresenta um maior tempo de resistência ao fogo, 144 minutos. Consultando o Quadro 5.6 constata-se que é o pilar com o menor valor do nível de carregamento, n=0,56, com o menor valor do grau de utilização em situação de incêndio, μ_{fi}=0,65, e com a maior taxa mecânica de armaduras, ω=1,024. Constata-se, também, que é o pilar que apresenta maiores valores do esforço normal resistente, devido à formação de forças de restrição, aos 60, 90 e 120 minutos;
- ∴ Considerando os pilares de secção circular P4 e P5, com o mesmo diâmetro, Φ250, constata-se que o pilar P5 apresenta um maior tempo de resistência ao fogo, 163 minutos, correspondendo-lhe o maior valor do nível de carregamento, n=0,60, o maior valor do grau de utilização em situação de incêndio, μ_{fi}=0,68, e a maior taxa mecânica de armaduras, ω=1,252. É também o pilar que apresenta maiores valores do esforço normal resistente, devido à formação de forças de restrição, aos 60, 90 e 120 minutos;
- ∴ Analisando os pilares de secção circular P6 e P7, com o diâmetro Φ300, constata-se que o pilar P7 apresenta um maior tempo de resistência ao fogo, 154 minutos, correspondendo-lhe o maior valor do nível de carregamento, n=0,62, o maior valor do grau de utilização em situação de incêndio, μ_{fi}=0,63, e a maior taxa mecânica de armaduras, ω=0,870. É também o pilar que apresenta maiores valores do esforço normal resistente, devido ao desenvolvimento de forças de restrição, aos 60, 90 e 120 minutos;
- ∴ Comparando os pilares quadrangulares (bxh=250x250mm^2) com os pilares circulares de diâmetro igual ao do lado da secção transversal dos primeiros, Φ=250mm, pilares P4 e P5, constata-se que o pilar P5 é o que apresenta o maior tempo de resistência ao fogo, 163 minutos, seguindo-se o pilar P3, com 144 minutos. Estes dois pilares apresentam uma taxa mecânica de armaduras da mesma ordem de grandeza, ω=1,024 para P3 e ω=1,252 para P5, sendo os valores do nível de carregamento e do grau de utilização referentes a este pilar superiores aos correspondentes ao pilar P3. Relativamente ao esforço normal resistente devido ao desenvolvimento das forças de restrição, o pilar P3 é o que apresenta os maiores valores aos 60 e aos 90 minutos, sendo semelhantes os valores aos 120 minutos ($N_{Rd,fi}$=692,08kN em P3 e $N_{Rd,fi}$=698,88kN em P5);
- ∴ Relativamente aos sete pilares analisados pode concluir-se que o desempenho dos pilares quadrangulares é influenciado essencialmente pelo nível de carregamento e pelo grau de utilização em situação de incêndio, melhorando para os menores valores destes parâmetros, enquanto nos pilares circulares o desempenho é relacionado com a taxa mecânica de armaduras, melhorando para os maiores valores deste parâmetro.

Pretendendo-se comparar os resultados obtidos nos ensaios experimentais com os resultantes da aplicação dos métodos analíticos de verificação da resistência ao fogo de pilares em betão armado apontados na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), calculou-se a esbelteza dos pilares, λ, parâmetro interveniente nesta avaliação. A esbelteza, quociente entre o comprimento efetivo (l_0) e o raio de giração mínimo (i), foi calculada à temperatura ambiente e em situação de incêndio, para os escalões de resistência ao fogo R60, R90 e R120, considerando os pilares inseridos em estruturas não contraventadas e contraventadas. Em situação de incêndio, a secção transversal reduzida foi determinada utilizando o Método da Isotérmica dos 500ºC. Os valores determinados para cada um dos pilares são indicados no Quadro 5.8.

Quadro 5.8 - Coeficientes de esbelteza dos pilares analisados, λ, à temperatura ambiente e em situação de incêndio, considerados em estruturas não contraventadas e contraventadas.

Pilar	Secção [mm]	Armadura longitudinal Cintas	Não contraventados				Contraventados			
			Temperatura ambiente	R60	R90	R120	Temperatura ambiente	R60	R90	R120
P1	250x250	4Φ16 Φ6	50	63	69	80	25	31	34	40
P2	250x250	4Φ16 Φ8	50	63	-	-	25	31	-	-
P3	250x250	4Φ25 Φ8	50	63	69	80	25	31	34	40
P4	Φ250	6Φ12 Φ6	57	72	81	-	28	36	40	-
P5	Φ250	6Φ20 Φ8	57	72	81	95	28	36	40	47
P6	Φ300	6Φ12 Φ6	48	58	63	-	24	29	31	-
P7	Φ300	6Φ20 Φ8	48	58	63	71	24	29	31	35

Observa-se, no quadro anterior, o aumento expectável, muito significativo, da esbelteza dos pilares inseridos em estruturas não contraventadas, relativamente aos inseridos em estruturas contraventadas. Na Figura 5.25 apresenta-se um gráfico onde se mostra o aumento percentual da esbelteza determinada em situação de incêndio nos escalões R60, R90 e R120, em relação à temperatura ambiente, considerando os pilares em estruturas não contraventadas e contraventadas. Constata-se que o aumento percentual da esbelteza é semelhante quando comparados os pilares não contraventados com os contraventados. Os pilares circulares de maior diâmetro, P6 e P7, são os que apresentam um menor aumento percentual da esbelteza em situação de incêndio, nos três escalões, os pilares quadrangulares são os que apresentam o maior aumento no escalão R60 e os pilares circulares de menor diâmetro são os que apresentam o maior aumento percentual nos escalões R90 e R120.

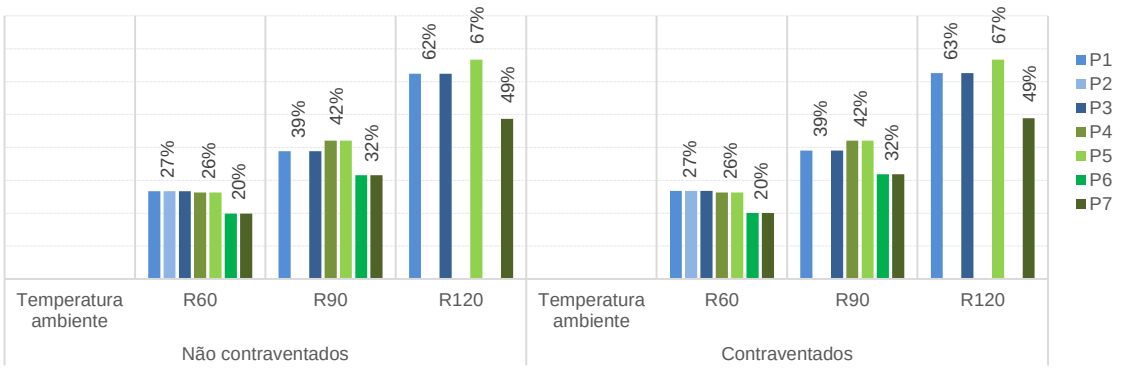


Figura 5.25 - Aumento percentual da esbelteza em situação de incêndio, nos escalões R60, R90 e R120, em relação à temperatura ambiente, considerando os pilares em estruturas não contraventadas e contraventadas.

Foi já referido que no cálculo das excentricidades devidas às imperfeições geométricas e das excentricidades devidas aos efeitos de segunda ordem, tinham sido consideradas as vigas de travação em betão armado, com uma secção transversal de largura igual à do pilar em questão e altura de 0,50m, com o vão de 5,0m. Efetivamente, no cálculo destas excentricidades intervém o comprimento efetivo, l_0, determinado pelas Expressões (5.8) e (5.9), em função dos parâmetros k_1 e k_2 correspondentes às flexibilidades relativas dos encastramentos parciais das extremidades do pilar, dependentes da razão entre a rigidez de flexão do pilar e a rigidez de flexão das vigas de travação.

Determinaram-se os esforços resistentes em situação de incêndio, $N_{Rd,fi}$, dos sete pilares ensaiados, recorrendo ao Método da Isotérmica dos 500ºC no cálculo da secção reduzida e considerando os efeitos das imperfeições geométricas e os efeitos de segunda ordem, recorrendo à metodologia descrita no subcapítulo anterior. Consideraram-se as vigas de travação com secções transversais de largura igual à do pilar, alturas de 40cm, 50cm e 60cm, e vãos de 4,0m, 5,0m e 6,0m. Constatou-se não haver variação dos valores de $N_{Rd,fi}$ calculados tomando em consideração as diferentes alturas e vãos das vigas de travação, com exceção dos referentes aos pilares circulares de maior diâmetro, P6 e P7, no escalão R60.

A Figura 5.26 mostra a variação percentual da razão entre o esforço normal resistente determinado considerando as vigas de travação com diferentes alturas e vãos e o esforço normal resistente determinado considerando uma viga de travação com 50cm de altura e um vão de 5,0m, no escalão R60. Pode ver-se, neste gráfico, que a única variação de $N_{Rd,fi}$ ocorre nos pilares P6 e P7, correspondendo a uma diminuição da resistência de 0,57%, no primeiro, e 0,61%, no segundo, quando se consideram vigas com a altura de 40cm e o vão de 6,0m. Face a estes resultados (variação da resistência pouco significativa e apenas na situação menos corrente de uma viga com 6,0m de vão e 40cm de altura) pode concluir-se que, nos sete pilares em estudo, a variação da altura e do vão das vigas de travação em betão armado, considerando valores correntes para estes parâmetros, não alteram o valor do esforço normal resistente em situação de incêndio.

Num pilar em situação de incêndio, a não variação do esforço normal resistente com a altura e com o vão das vigas de travação, quando se consideram os efeitos das imperfeições geométricas e os efeitos de segunda ordem, é relacionada com o valor mínimo recomendado na EN 1992-1-1 (EC2-1-1, 2010) para as flexibilidades relativas dos encastramentos parciais, $k \geq 0{,}1$, no cálculo do comprimento efetivo. Constatou-se, no desenvolvimento do cálculo deste parâmetro para as diferentes situações que, com exceção dos pilares P6 e P7 no escalão R60, os valores de k eram sempre inferiores a 0,1, tendendo pois as ligações para o encastramento perfeito. Ao considerar o valor mínimo k=0,1, passou a não haver interferência da variação da altura e do vão das vigas de travação no valor de $N_{Rd,fi}$.

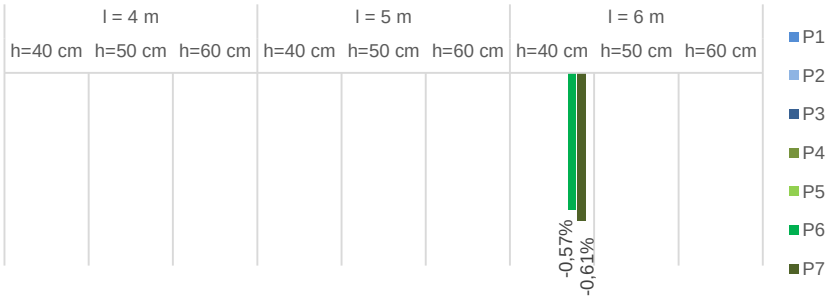


Figura 5.26 - Razão entre o esforço normal resistente determinado considerando as vigas de travação com diferentes alturas e vãos e o esforço normal resistente determinado considerando uma viga de travação com 50cm de altura e um vão de 5,0m.

5.4.2.3. Comparação dos resultados dos ensaios com os obtidos analiticamente pela aplicação dos Métodos dos Valores Tabelados e dos Métodos Simplificados apontados na EN 1992-1-2

Nos ensaios ao fogo dos pilares, com restrição da dilatação térmica devida ao seu aquecimento, foram lidos os valores dos esforços desenvolvidos ao longo do tempo, constatando-se o seu aumento em relação à carga inicial aplicada, devido ao desenvolvimento de forças de restrição, até à perda da capacidade resistente. Considerou-se pertinente comparar os valores desses esforços, lidos aos 60, aos 90 e aos 120 minutos, com os determinados analiticamente recorrendo ao Método Simplificado menos trabalhoso na sua aplicação, o Método da Isotérmica dos 500ºC. No Quadro 5.9 apresentam-se os valores dos esforços normais resistentes lidos nos ensaios e os determinados analiticamente, considerando os pilares inseridos em estruturas não contraventadas (como considerados nos ensaios) e em estruturas contraventadas. Para tornar mais fácil a comparação dos resultados, calculou-se a variação percentual desses resultados em relação à carga inicial aplicada no início do ensaio, P_0, mostrando-se os valores assim obtidos no Quadro 5.10. Na Figura 5.27 apresentam-se esses valores em forma de gráfico, permitindo uma comparação rápida da sua ordem de grandeza.

Quadro 5.9 - Esforço normal resistente lido no decorrer do ensaio e determinado pelo Método da Isotérmica dos 500ºC aos 60, 90 e 120 minutos.

Pilar	P_0 [kN]	$N_{Rd,fi}$ [kN]								
		Não contraventados						Contraventados		
		60 [minutos]		90 [minutos]		120 [minutos]		60 [minutos]	90 [minutos]	120 [minutos]
		Ensaio	Isotérmica	Ensaio	Isotérmica	Ensaio	Isotérmica	Isotérmica	Isotérmica	Isotérmica
P1	495	556,88	426,68	559,35	282,23	539,55	158,81	641,11	447,46	256,74
P2	648	671,00	417,02	-	-	-	-	634,64	-	-
P3	656	708,48	576,29	724,88	394,09	692,08	176,69	904,84	644,72	311,17
P4	363	377,52	395,10	373,89	284,40	-	-	560,08	415,23	-
P5	624	661,44	602,93	686,4	427,63	698,88	254,81	881,99	650,99	389,01
P6	458	476,32	660,62	480,9	515,18	-	-	876,15	701,84	-
P7	766	788,98	929,64	808,13	717,22	792,81	490,57	1258,95	1005,75	716,58

Quadro 5.10 - Razão entre o esforço normal resistente, lido no decorrer do ensaio e determinado recorrendo ao Método da Isotérmica dos 500ºC aos 60, 90 e 120 minutos, e a carga inicial aplicada, P_0.

Pilar	$N_{Rd,fi}/P_0$ [%]								
	Não contraventados						Contraventados		
	60 Minutos		90 Minutos		120 Minutos		60 Minutos	90 Minutos	120 Minutos
	Ensaio	Isotérmica	Ensaio	Isotérmica	Ensaio	Isotérmica	Isotérmica	Isotérmica	Isotérmica
P1	12,50%	-13,80%	13,00%	-42,98%	9,00%	-67,92%	29,52%	-9,60%	-48,13%
P2	3,55%	-35,65%	-	-	-	-	-2,06%	-	-
P3	8,00%	-12,15%	10,50%	-39,93%	5,50%	-73,07%	37,93%	-1,72%	-52,57%
P4	4,00%	8,84%	3,00%	-21,65%	-	-	54,29%	14,39%	-
P5	6,00%	-3,38%	10,00%	-31,47%	12,00%	-59,17%	41,34%	4,33%	-37,66%
P6	4,00%	44,24%	5,00%	12,48%	-	-	91,30%	53,24%	-
P7	3,00%	21,36%	5,50%	-6,37%	3,50%	-35,96%	64,35%	31,30%	-6,45%

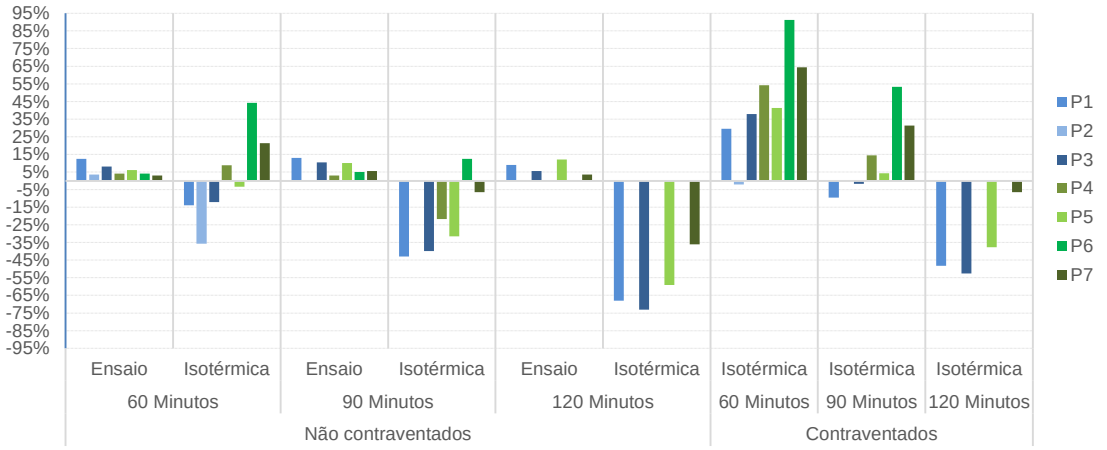


Figura 5.27 - Razão entre o esforço normal resistente, lido no decorrer do ensaio e determinado recorrendo ao Método da Isotérmica dos 500ºC aos 60, 90 e 120 minutos, e a carga inicial aplicada, P_0.

Analisando as variações percentuais apresentadas no Quadro 5.10 e na Figura 5.27, podem ser tecidas as seguintes reflexões:

∴ Nos ensaios, o pilar P1é o que apresenta maior aumento das forças de restrição aos 60 e aos 90 minutos, e aos 120 minutos é o pilar P5;

∴ Considerando os pilares em estruturas não contraventadas e a aplicação do Método da Isotérmica dos 500ºC:

- Aos 60 minutos o pilar P2 é o que apresenta a maior redução percentual da resistência em relação à carga inicial aplicada (-35,65%) e o pilar P6 o que apresenta o maior aumento (44,24%), correspondendo ao primeiro pilar o maior valor do nível de carregamento (n=0,78) e ao segundo o menor valor (n=0,53);
- Aos 90 minutos constata-se uma diminuição da resistência, em relação à carga inicial aplicada, em todos os pilares com exceção do pilar P6, que apresenta uma resistência 12,5% superior a P_0, e do pilar P2, que não atinge este escalão. O pilar que apresenta a maior perda de resistência é o P1 (n=0,60) seguindo-se o pilar P3 (n=0,56), ambos de secção quadrangular. Dos pilares circulares o P5 é o que apresenta a maior redução da resistência, correspondendo-lhe um valor de n inferior ao do pilar P7, mas um valor de μ_{fi} maior;
- Dos sete pilares ensaiados, apenas o P1, o P3, o P5 e o P7 apresentaram um tempo de resistência ao fogo que permitiu classificá-los no escalão R120. Destes, o P3, de secção quadrangular, é o que apresenta a maior redução de $N_{Rd,fi}$ e, dos circulares, é o P5. A estes pilares não correspondem os maiores valores de n e de μ_{fi}, mas os valores mais elevados da taxa mecânica de armaduras, ω.

∴ Considerando os pilares em estruturas contraventadas e a aplicação do Método da Isotérmica dos 500ºC:

- Aos 60 minutos o pilar P2 é o único que apresenta uma redução da resistência em relação à carga inicial aplicada (-2,06%) e o pilar P6 o que apresenta o maior aumento (91,30%), correspondendo ao primeiro pilar o maior valor do nível de carregamento (n=0,78) e ao segundo o menor valor (n=0,53);
- Aos 90 minutos os dois pilares quadrangulares apresentam uma resistência ao fogo menor que a carga inicial, sendo a redução mais significativa no pilar P1 (maior nível de carregamento) e os pilares circulares apresentam uma resistência superior a P_0, sendo

a diferença percentual mais significativa no pilar P6 (53,24%), ao qual correspondem os menores valores de n e de μ_{fi}, bem como o menor valor de taxa mecânica de armaduras (ω=0,313);

* Aos 120 minutos os quatro pilares apresentam uma resistência ao fogo inferior à carga inicial aplicada, sendo a diferença percentual substancialmente menos significativa no pilar P7 (-6,45%), ao qual corresponde o menor valor de μ_{fi}.

Comparam-se, agora, os esforços normais em situação de incêndio calculados recorrendo ao Método da Isotérmica dos 500ºC, $N_{Rd,fi,c}$, com os lidos no decorrer do ensaio, $N_{Rd,fi,e}$, aos 60, 90 e 120 minutos. Os resultados são apresentados no Quadro 5.11 e ilustrados na Figura 5.28. Os valores dos esforços objeto desta comparação são apresentados no Quadro 5.9.

Quadro 5.11 - Razão entre o esforço normal resistente calculado recorrendo ao Método da Isotérmica dos 500ºC, $N_{Rd,fi,c}$, e o lido no decorrer do ensaio, $N_{Rd,fi,e}$, aos 60, 90 e 120 minutos.

Pilar	$N_{Rd,fi,c}$/ $N_{Rd,fi,e}$ [%]					
	Não contraventados			Contraventados		
	60 Minutos	90 Minutos	120 Minutos	60 Minutos	90 Minutos	120 Minutos
P1	-23,38%	-49,54%	-70,57%	15,13%	-20,00%	-52,42%
P2	-37,85%	-	-	-5,42%	-	-
P3	-18,66%	-45,63%	-74,47%	27,72%	-11,06%	-55,04%
P4	4,66%	-23,93%	-	48,36%	11,06%	-
P5	-8,85%	-37,70%	-63,54%	33,34%	-5,16%	-44,34%
P6	38,69%	7,13%	-	83,94%	45,94%	-
P7	17,83%	-11,25%	-38,12%	59,57%	24,45%	-9,62%

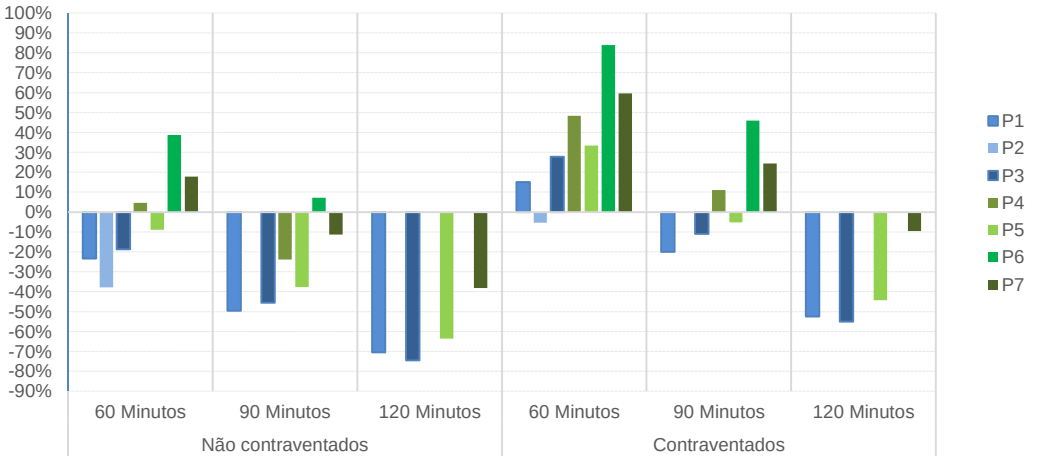


Figura 5.28 - Variação percentual da razão entre o esforço normal resistente calculado recorrendo ao Método da Isotérmica dos 500ºC, $N_{Rd,fi,c}$, e o lido no decorrer do ensaio, $N_{Rd,fi,e}$, aos 60, 90 e 120 minutos.

Comparando as variações percentuais dos esforços normais em situação de incêndio apresentadas no Quadro 5.11 e na Figura 5.28, podem formular-se algumas observações, muito semelhantes às referentes à comparação entre os esforços calculados e a carga inicial aplicada aos pilares:

∴ Considerando os pilares em estruturas não contraventadas:

* Aos 60 minutos o pilar P2 é o que apresenta a maior redução percentual da resistência em relação ao valor lido no ensaio (-37,85%) e o pilar P6 o que apresenta o maior aumento (38,69%);

- Aos 90 minutos constata-se uma diminuição percentual da resistência calculada, em relação à lida nos ensaios, em todos os pilares com exceção do pilar P6, que apresenta uma resistência 7,13% superior à lida. O pilar que apresenta a maior redução percentual de resistência é o P1 seguindo-se o pilar P3, ambos de secção quadrangular. Dos pilares circulares o P5 é o que apresenta a maior redução percentual da resistência;
- Aos 120 minutos o pilar P3, de secção quadrangular, é o que apresenta a maior redução percentual de $N_{Rd,fi}$ e, dos circulares, é o P5.

∴ Considerando os pilares em estruturas contraventadas:

- Aos 60 minutos o pilar P2 é o único que apresenta uma resistência ao fogo calculada inferior à lida no ensaio (-5,42%) e o pilar P6 o que apresenta o maior aumento percentual (83,94%);
- Aos 90 minutos os dois pilares quadrangulares apresentam uma resistência ao fogo calculada inferior à lida no ensaio, sendo a redução mais significativa no pilar P1. Dos pilares circulares, o P5 apresenta uma resistência calculada inferior à lida, mas com uma redução percentual inferior à dos pilares quadrangulares, e nos restantes a resistência ao fogo calculada é superior à lida, sendo a variação percentual mais significativa no pilar P6 (45,94%);
- Aos 120 minutos os quatro pilares apresentam uma resistência ao fogo calculada inferior à lida no ensaio, sendo a diferença percentual substancialmente menos significativa no pilar P7 (-9,62%).

As principais conclusões a tecer da análise do Quadro 5.10, corroboradas pelos valores apresentados no Quadro 5.11, considerando os resultados da aplicação do Método da Isotérmica dos 500ºC para o cálculo do esforço normal resistente, $N_{Rd,fi}$, dos pilares P1 a P7, considerados em estruturas contraventadas, são as seguintes:

∴ Aos 60 minutos, o esforço axial mobilizado no cálculo é superior ao mobilizado no ensaio, com exceção do pilar P2 (pilar com valores de μ_{fi} e de n substancialmente superiores aos restantes);

∴ Aos 90 minutos, o esforço mobilizado no ensaio é superior ao mobilizado no cálculo para os pilares retangulares e o esforço mobilizado no cálculo é superior ao mobilizado no ensaio para os pilares circulares, com exceção do pilar P5 (dos pilares circulares, o que apresenta maior valor de μ_{fi});

∴ Aos 120 minutos, o esforço mobilizado no ensaio é superior ao mobilizado no cálculo em todos os pilares, sendo a diminuição percentual substancialmente menos significativa no pilar P7.

Salienta-se que as comparações mostradas são válidas apenas para os pilares com as caraterísticas geométricas e níveis de carregamento como as referentes aos pilares objeto do estudo (P1 a P7).

A resistência ao fogo dos sete pilares ensaiados foi verificada recorrendo aos Métodos dos Valores Tabelados (Método A e Método B) e aos Métodos Simplificados (Método da Isotérmica dos 500ºC, Método das Zonas e Método baseado na estimativa da curvatura, Método C) apontados na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) para a verificação da resistência ao fogo de pilares em betão armado. Na aplicação do Método C utilizaram-se os Quadros C1 a C9 apresentados no Anexo C da referida norma e no Anexo A4 desta dissertação.

Salienta-se que, apesar dos Métodos dos Valores Tabelados (Método A e Método B) e os quadros para a aplicação do Método C, serem aplicáveis apenas a pilares em estruturas contraventadas, foi considerada, neste estudo, a sua aplicação também aos pilares considerados como inseridos em

estruturas não contraventadas, tomando os resultados apenas como referência. Para os Métodos dos Valores Tabelados, as dimensões mínimas das secções transversais indicadas na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), no Quadro 5.2a (para a aplicação do Método A) e no Quadro 5.2b (para a aplicação do Método B) foram reduzidas em 10%, pelo facto de terem sido utilizados agregados calcários na composição do betão.

Os resultados obtidos pela aplicação dos métodos atrás referidos são indicados no Quadro 5.12, considerando os pilares em estruturas não contraventadas e no Quadro 5.13, considerando os pilares em estruturas contraventadas.

Quadro 5.12 - Resultados da aplicação dos diferentes métodos aos pilares ensaiados, considerados em estruturas não contraventadas.

Pilar	Secção, armadura, distância ao eixo	Ensaio experimental			Métodos tabelados			Métodos Simplificados					
					Método A		Método B	Método C		Isotérmica dos 500ºC		Zonas	
		R [min]	R	$N_{Ed,fi}$ (P_o) [kN]	b_{min} a_{min} [mm]	Verificação		b_{min} a_{min} [mm]	*Verificação*	$N_{Rd,fi}$ [kN]	Verificação	$N_{Rd,fi}$ [kN]	Verificação
P1	250x250 4Φ16/Φ6 44	136	R120	495	315 57,0	NV	λ > 30 NA	365 32,5	NV	159	NV	206	NV
P2	250x250 4Φ16/Φ8 46	70	R60	648	μ_{fi} > 0,7	NA	λ > 30 NA	n>0,7	NA	417	NV	445	NV
P3	250x250 4Φ25/Φ8 50,5	144	R120	656	315 54,0	NV	λ > 30 NA	ω>1	NA	177	NV	231	NV
P4	Φ250 6Φ12/Φ6 42	110	R90	363	297 49,8	NV	λ > 30 NA	308 30,7	NV	284	NV	280	NV
P5	Φ250 6Φ20/Φ8 48	163	R120	624	315 55,8	NV	λ > 30 NA	ω>1	NA	255	NV	257	NV
P6	Φ300 6Φ12/Φ6 42	109	R90	458	281 47,0	NV	λ > 30 NA	320 27,5	NV	515	V	503	V
P7	Φ300 6Φ20/Φ8 48	154	R120	766	315 52,8	NV	λ > 30 NA	365 48,0	NV	491	NV	434	NV

NA - Não aplicável
NV - Não verifica
V - Verifica

Salientando o já referido que nos ensaios os pilares foram considerados como não contraventados e que os métodos que se apresentam sob a forma de tabelas (Método A, Método B e Método C) na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), são aplicáveis apenas a pilares em estruturas contraventadas, a análise do quadro anterior permite formular as seguintes reflexões:

- ∴ O Método A não é aplicável ao pilar P2 pois μ_{fi}>0,7, limite máximo deste parâmetro para a aplicabilidade do método, e nenhum dos restantes pilares satisfaz as exigências mínimas de resistência ao fogo, para os correspondentes escalões, quer em termos dos valores mínimos das menores dimensões da secção transversal, *b*, quer da distância mínima do eixo dos varões à face mais próxima sujeita a incêndio, *a*;
- ∴ O Método B não é aplicável a todos os pilares, já que a esbelteza, λ, determinada considerando estes pilares em estruturas não contraventadas, é maior que 30, limite máximo para a aplicabilidade deste método;

- ∴ O Método C não aplicável ao pilar P2 por apresentar um nível de carregamento superior ao máximo previsto para a sua aplicabilidade (n>0,7) e aos pilares P3 e P5 por apresentarem valores para a taxa mecânica de armaduras superiores aos máximos apontados para a aplicabilidade (ω>1). Os restantes pilares não verificam a resistência ao fogo correspondente aos respetivos escalões, pois apresentam uma largura, b, inferior à mínima definida pela aplicação deste método, apesar de verificarem o parâmetro a, com exceção de P7;
- ∴ Aplicando o Método da Isotérmica dos 500ºC constata-se que, com exceção do pilar P6, nenhum verifica a resistência ao fogo, pois o esforço normal resistente, $N_{Rd,fi}$, é inferior ao esforço normal atuante, $N_{Ed,fi}$. O único pilar que verifica é de secção circular, sendo o que apresenta o menor valor do nível de carregamento, n=0,53, e do grau de utilização μ_{fi}=0,55;
- ∴ Aplicando o Método das Zonas verifica-se que, à semelhança do sucedido quando se utiliza o Método da Isotérmica, também o pilar P6 é o único que verifica, sendo aplicável o referido no parágrafo anterior;
- ∴ Nos pilares quadrangulares a aplicação do Método das Zonas conduz a valores de $N_{Rd,fi}$ maiores que os obtidos quando utilizado o Método da Isotérmica dos 500ºC, mas em três dos quatro pilares de secção circular, a utilização do primeiro método conduz a valores de $N_{Rd,fi}$ inferiores aos obtidos pela aplicação do segundo;

Quadro 5.13 - Resultados da aplicação dos diferentes métodos aos pilares ensaiados, considerados em estruturas contraventadas.

Pilar	Secção, armadura, distância ao eixo	Ensaio experimental			Métodos tabelados				Métodos Simplificados					
					Método A		Método B		Método C		Isotérmica dos 500ºC		Zonas	
		R [min]	*R*	$N_{Ed,fi}$ (P_o) [kN]	b_{min} a_{min} [mm]	Verificação	b_{min} a_{min} [mm]	Verificação	b_{min} a_{min} [mm]	Verificação	$N_{Rd,fi}$ [kN]	Verificação	$N_{Rd,fi}$ [kN]	Verificação
P1	250x250 4Φ16/Φ6 44	136	R120	495	315 48,0	NV	440 52,6	NV	275 35,0	NV	257	NV	326	NV
P2	250x250 4Φ16/Φ8 46	70	R60	648	μfi > 0,7	NA	n > 0,7	NA	n>0,7	NA	635	NV	671	V
P3	250x250 4Φ25/Φ8 50,5	144	R120	656	315 45,0	NV	ω>1	NA	ω>1	NA	311	NV	397	NV
P4	Φ250 6Φ12/Φ6 42	110	R90	363	267 44,5	NV	333 46,4	NV	213 45,0	NV	415	V	370	V
P5	Φ250 6Φ20/Φ8 48	163	R120	624	315 46,8	NV	ω>1	NA	ω>1	NA	389	NV	393	NV
P6	Φ300 6Φ12/Φ6 42	109	R90	458	258 43,1	NV	372 47,0	NV	258 25,0	V	702	V	619	V
P7	Φ300 6Φ20/Φ8 48	154	R120	766	315 46,8	NV	473 54,5	NV	310 45,0	NV	717	NV	645	NV

NA - Não aplicável
NV - Não verifica
V - Verifica

Considerando agora a situação caraterística em edifícios correntes, de pilares inseridos em pórticos contraventados, e comparando a resistência ao fogo obtida nos ensaios experimentais com a resultante da aplicação dos métodos analíticos referidos, mostrados no quadro anterior, pode constatar-se o seguinte:

- ∴ O Método A, analogamente à situação anterior de pilares não contraventados, conduz à não aplicabilidade (P2) e não conformidade dos pilares, considerando os escalões de resistência ao fogo correspondentes;
- ∴ O Método B não é aplicável ao pilar P2 (n>0,7) e aos pilares P3 e P5 (ω>1). Os restantes pilares não verificam a resistência ao fogo correspondente aos respetivos escalões, pois não verificam b_{min} nem a_{min};
- ∴ O Método C não é aplicável ao pilar P2 (n>0,7) e aos pilares P3 e P5 (ω>1). O pilar P6 verifica a resistência ao fogo, os pilares P1 e P7 não verificam b_{min} mas verificam a_{min} e o pilar P4 verifica b_{min} e não verifica a_{min};
- ∴ Utilizando o Método da Isotérmica, verificam a resistência ao fogo pretendida os pilares P4 e P6, ambos de secção circular e no escalão R90. Com efeito, estes pilares apresentam valores de esforços normais resistentes ($N_{Rd,fi}$) calculados pela aplicação deste método, superiores aos esforços normais atuantes ($N_{Ed,fi}$);
- ∴ Utilizando o Método das Zonas, verificam a resistência ao fogo pretendida os pilares P2 (de secção quadrangular, no escalão R60), P4 e P6 (de secção circular, no escalão R90). Não verificam os pilares no escalão R120.

Comparando o desempenho dos pilares, pode concluir-se:

- ∴ Os pilares P1, P3, P5 e P7 que, de acordo com o tempo de resistência ao fogo obtido nos respetivos ensaios, foram classificados no escalão R120, não observam essa resistência quando verificada pela aplicação dos Métodos dos Valores Tabelados e pelos Métodos Simplificados;
- ∴ O Pilar P2, inserido no escalão R60, verifica a resistência ao fogo apenas quando se utiliza o Método das Zonas;
- ∴ O pilar P4, no escalão R90, verifica a resistência ao fogo quando utilizado o Método da Isotérmica dos 500ºC e o Método das Zonas;
- ∴ O pilar P6 verifica a resistência ao fogo quando utilizados os Métodos Simplificados. Este pilar é o que apresenta menor valor do nível de carregamento, n=0,53, e do grau de utilização μ_{fi}=0,46;
- ∴ O pilar P6, considerando o escalão definido no ensaio experimental, é o único cuja resistência ao fogo é verificada pela aplicação de qualquer um dos Métodos Simplificados. Este pilar, com secção transversal Φ300mm, apresenta um valor reduzido de esbelteza, igual à do P7, com a mesma secção transversal, mas o nível de carregamento, n=0,53, e o grau de utilização μ_{fi}=0,46 são substancialmente inferiores aos do segundo, para o qual n=0,62 e μ_{fi}=0,53;
- ∴ Dos pilares de secção quadrada, o único em que a resistência ao fogo é verificada é o P2 pois, apesar de apresentar um nível de carregamento e um grau de utilização muito elevados (n=0,78 e μ_{fi}=0,72), o escalão é reduzido (R60);
- ∴ Nos pilares de secção quadrada a aplicação do Método das Zonas conduz a valores de $N_{Rd,fi}$ superiores aos obtidos pela aplicação do Método da Isotérmica dos 500ºC e nos pilares circulares, com exceção do pilar P5, para o qual os valores de $N_{Rd,fi}$ obtidos pela aplicação dos dois métodos são muito próximos, a aplicação do Método da Isotérmica conduz a maiores valores de $N_{Rd,fi}$.

Os resultados do estudo do comportamento ao fogo dos pilares P1 e P3 desenvolvidos pela autora em termos de resistência mecânica em situação de incêndio, recorrendo aos diagramas de interação N_{fi}/M_{fi}, recorrendo à Expressão (5.2) adaptada à situação de incêndio e ao Método da Isotérmica dos 500ºC para o cálculo da secção útil do betão, e recorrendo ao Método A, comparar-se-ão, agora, com os obtidos, para os mesmos pilares, por Martins, A. M. B., Rodrigues, J. P. C. (2010), utilizando o modelo SAFIR,

o Método da Isotérmica dos 500ºC e o Método A, desenvolvidos em termos de tempo de resistência ao fogo. Apresentam-se, no Quadro 5.14, os resultados obtidos por estes autores, acrescentando-se os escalões de resistência ao fogo em que são inseridos estes pilares, em função do tempo de resistência ao fogo obtido pela aplicação de cada um dos métodos.

Quadro 5.14 - Resultados obtidos por Martins, A. M. B., Rodrigues, J. P. C. (2010) para o tempo de resistência ao fogo dos pilares P1 e P3 e escalões de resistência ao fogo correspondentes.

Pilar	Tempo de resistência ao fogo [minutos]				Escalão de resistência ao fogo		
	Ensaio experimental	SAFIR	Isotérmica dos 500ºC	Método A	Ensaio e SAFIR	Isotérmica dos 500ºC	Método A
P1	136	143	84	52	R120	R60	R30
P3	144	155	93	69	R120	R90	R60

Da análise do quadro anterior constata-se que o tempo de resistência ao fogo determinado recorrendo ao modelo SAFIR é superior ao observado no ensaio, em 7 minutos no pilar P1 e em 11 minutos no pilar P3. Utilizando este modelo, o pilar P3 resiste mais 12 minutos que o pilar P1 sendo esta diferença de 8 minutos, quando comparados os tempos lidos nos ensaios. Segundo os autores deste estudo, as diferenças observadas entre os resultados experimentais e os obtidos pela utilização do modelo SAFIR podem ser devidos à não consideração, na aplicação deste modelo, de alguns fenómenos que ocorrem nos ensaios experimentais, nomeadamente o destacamento e a fissuração do betão e o fluxo de vapor de água devido ao aquecimento.

A utilização do Método A conduz a resultados substancialmente conservativos, quer na metodologia adotada pelos referidos autores, quer na adotada nesta dissertação. Comparando os resultados referentes à aplicação da Isotérmica dos 500ºC, evidenciam-se as seguintes conclusões:

- ∴ No pilar P1, o esforço normal resistente aos 90 minutos apresentado no Quadro 5.9, calculado recorrendo à Expressão (5.2) adaptada à situação de incêndio, $N_{Rd,fi}$=447,5kN, é menor que $N_{Ed,fi}$=495,0kN (diferença correspondente a 9,6% de $N_{Ed,fi}$), pelo que este pilar deve ser considerado no escalão R60, situação semelhante à referente a este pilar no Quadro 5.14, em termos de tempo de resistência ao fogo (diferença correspondente a 6,7% de 90 minutos). Verifica-se pois que, quer o esforço normal resistente, quer o tempo de resistência ao fogo, são próximos dos correspondentes valores requeridos para que o pilar possa ser classificado no escalão R90, sendo o método considerado nesta dissertação ligeiramente mais conservativo;
- ∴ No pilar P3, o esforço normal resistente aos 90 minutos apresentado no Quadro 5.9, $N_{Rd,fi}$=644,7kN, é menor que $N_{Ed,fi}$=656kN (diferença correspondente a 1,7% de $N_{Ed,fi}$), pelo que o pilar ainda deve ser considerado no escalão R60, apesar da diferença para o escalão R90 ser muito reduzida. Em termos de tempo de resistência ao fogo, Quadro 5.14, constata-se que, pela metodologia adotada por estes autores, o pilar já pode ser classificado no escalão R90, pois resiste 93 minutos. Conclui-se, também para este pilar, que o método considerado nesta dissertação conduz a resultados ligeiramente mais conservativos;
- ∴ Comparando agora o desempenho dos pilares, verificado recorrendo aos diagramas de interação N_{fi}/M_{fi} representados na Figura 5.23, Gráfico (a) para o pilar P1 e Gráfico (c) para o pilar P3, e em termos de tempo de resistência ao fogo, Quadro 5.14, mantêm-se válidas as conclusões apontadas nos dois parágrafos anteriores, sendo, no entanto, a diferença resultante da utilização das duas metodologias distintas menos significativa no pilar P3, que pode ser inserido no escalão R90 se utilizado o Método das Zonas;
- ∴ Apesar de se ter desenvolvido a aplicação do Método da Isotérmica dos 500ºC, nesta dissertação, recorrendo a um programa de cálculo desenvolvido em Excel e pelos autores do referido estudo,

recorrendo a um programa de cálculo desenvolvido em Fortran, os resultados obtidos são compatíveis e são conservativos quando comparados com os obtidos em ensaios experimentais;

5.5. CONCLUSÕES

Analisou-se, neste capítulo, o comportamento ao fogo de um pilar de secção transversal quadrangular ensaiado, pela autora, no Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Comparou-se o comportamento ao fogo deste pilar, no ensaio experimental, com o verificado nos ensaios ao fogo levados a efeito no mesmo laboratório e com resultados publicados por Rodrigues, J.P.C. *et al*. (2012), de dois outros pilares com iguais dimensões da secção transversal. Verificou-se a conformidade destes pilares recorrendo aos diagramas de interação N_{fi}/M_{fi}, desenhados tomando em consideração o Método da Isotérmica dos 500ºC e o Método das Zonas no cálculo da secção útil em situação de incêndio, e o Método baseado numa rigidez nominal para o cálculo da excentricidade adicional devida aos efeitos de segunda ordem. Com o intuito de comparar o comportamento ao fogo de pilares de secção quadrangular com o de pilares de secção circular, foram considerados os resultados dos ensaios experimentais ao fogo levados a efeito no já referido laboratório e publicados também por Rodrigues, J.P.C. *et al*. (2012), de quatro pilares com esta última secção transversal. Analisou-se a conformidade ao fogo dos sete pilares, considerados nos escalões de resistência ao fogo definidos a partir dos tempos de resistência ao fogo lidos nos ensaios experimentais, utilizando os Métodos dos Valores Tabelados (Método A e Método B) e os Métodos Simplificados (Método C, Método da Isotérmica dos 500ºC e Método das Zonas), recorrendo-se ao Método baseado numa curvatura nominal para o cálculo da excentricidade adicional devida aos efeitos de segunda ordem. Do desenvolvimento deste estudo destacam-se, agora, as conclusões mais pertinentes:

- ∴ Nos ensaios experimentais, a resistência ao fogo dos pilares foi substancialmente afetada pelo grau de utilização em situação de incêndio, μ_{fi} e pelo nível de carregamento, n;
- ∴ Nos varões da armadura longitudinal, as temperaturas lidas nos perfis de temperaturas que constam no Anexo A da EN 1992-1-2 (EC2-1 -2, 2010) são superiores às verificadas no decorrer do ensaio (Quadro 5.3), para diferentes tempos de exposição. Este facto, que poderá dever-se ao desfasamento, nos primeiros 17 minutos, entre a curva de aquecimento do forno e a curva ISO 834 (1975), pode ser um dos fatores que mais influencia a obtenção de resultados substancialmente conservativos, quando se utilizam os métodos simplificados apontados naquela norma;
- ∴ Na verificação da resistência ao fogo dos três pilares quadrangulares, recorrendo aos diagramas de interação N_{fi}/M_{fi} (Figura 5.23), constata-se que os resultados são substancialmente conservativos, quando comparados com os obtidos nos ensaios experimentais, e que o Método das Zonas é menos conservativo que o Método da Isotérmica dos 500ºC. Verifica-se, também, que estes métodos conduzem a resultados mais conservativos nos pilares que apresentaram, no ensaio, um tempo de resistência ao fogo mais elevado;
- ∴ Comparando o desempenho dos pilares retangulares P1 e P3 verificado recorrendo às metodologias desenvolvidas nesta dissertação, com o desempenho resultante da aplicação de metodologias desenvolvidas por outros autores, conclui-se que os métodos propostos nesta dissertação conduzem sempre a resultados mais conservativos. Este facto é relevante, já que a nova metodologia proposta pela autora para a verificação da resistência ao fogo de pilares em

betão armado, que será apresentada no Capítulo 7, é desenvolvida recorrendo ao desenho de diagramas de interação em situação de incêndio semelhantes aos aqui apresentados;

∴ Nos desenhos dos diagramas de interação N_{fi}/M_{fi} correspondentes aos três pilares quadrangulares constata-se que, apesar de haver discrepância entre as curvas referentes aos esforços resistentes, $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$, quando se recorre ao Método da Isotérmica dos 500ºC ou ao Método das Zonas, as curvas desenhadas para os esforços atuantes, $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$, são coincidentes (Figura 5.24). Pode então concluir-se que os valores dos esforços atuantes, em situação de incêndio, não são afetados pelo método simplificado que serviu de base ao cálculo da secção reduzida;

∴ Considerando os sete pilares ensaiados constata-se que o aumento percentual dos valores da esbelteza em situação de incêndio, λ_{fi}, quando comparados com os determinados à temperatura ambiente, é mais significativo nos pilares de secção quadrangular, quando se considera o escalão R60, e mais significativo nos pilares de secção circular de menor diâmetro, quando se consideram os escalões R90 e R120 (Figura 5.25). Os pilares de secção circular de maior diâmetro são os que apresentam uma menos redução percentual da esbelteza nos três escalões de resistência ao fogo;

∴ A variação da altura da secção transversal e do vão das vigas de travação, quando consideradas situações correntes, não alteram significativamente os valores dos esforços normais resistentes em situação de incêndio;

∴ Comparando os valores dos esforços normais a que cada um dos sete pilares se encontra submetido aos 60, 90 e 120 minutos, devidos à carga inicial aplicada e às forças de restrição desenvolvidas, obtidos pela leitura dos resultados no decorrer do ensaio, com os esforços normais resistentes calculados, nos mesmos momentos, recorrendo ao Método da Isotérmica dos 500ºC, contata-se uma disparidade percentual muito significativa;

∴ A aplicação dos Métodos dos Valores Tabelados na verificação da resistência ao fogo dos sete pilares analisados, classificados nos escalões de resistência ao fogo definidos a partir dos tempos de resistência ao fogo observados nos ensaios, conduz a resultados substancialmente conservativos, constatando-se que nenhum dos pilares observa os requisitos mínimos impostos pela aplicação desses métodos para a verificação da resistência ao fogo requerida;

∴ Os Métodos Simplificados, conduzem a resultados menos conservativos do que os Métodos dos Valores Tabelados, como expectável, sendo ainda significativamente conservativos quando aplicados a pilares classificados no maior escalão, R120. Efetivamente, nenhum dos pilares no escalão R120 verifica a resistência ao fogo observada no ensaio;

∴ Nos três pilares quadrangulares, os valores do esforço normal resistente em situação de incêndio, $N_{Rd,fi}$, determinados recorrendo ao Método da isotérmica dos 500ºC, são inferiores aos calculados recorrendo ao Método das Zonas, e em três dos quatro pilares circulares os maiores valores de $N_{Rd,fi}$ resultam da aplicação do Método da Isotérmica dos 500ºC. Pode então concluir-se que, para pilares em situações semelhantes às dos sete pilares aqui estudados, o Método das Zonas conduzirá a resultados menos conservativos na verificação da resistência ao fogo de pilares quadrangulares e o Método da Isotérmica dos 500ºC será o menos conservativo na verificação da resistência ao fogo de pilares circulares;

∴ O Método das Zonas e o Método da Isotérmica dos 500ºC conduzem a resultados substancialmente conservativos, quando comparados com os obtidos em ensaios experimentais, essencialmente na verificação da resistência ao fogo dos pilares nos escalões mais elevados. Este facto é bastante pertinente, já que o Método da Isotérmica dos 500ºC é frequentemente utilizado pelos projetistas de estruturas, na verificação da resistência ao fogo de pilares correntes.

6

DESENVOLVIMENTO DOS DIAGRAMAS DE INTERAÇÃO N_{fi}/M_{fi} EM FLEXÃO COMPOSTA

6.1. INTRODUÇÃO

No Capítulo 4 apresentou-se um estudo estatístico correspondente à análise da verificação da resistência ao fogo dos pilares previstos nos projetos de estabilidade de 63 edifícios criteriosamente selecionados no âmbito desta dissertação, considerando a aplicação dos métodos que se apresentam, na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), sob a forma de tabelas (Método A, Método B e Método C). Constatou-se, então, que a percentagem de pilares que observavam a resistência ao fogo que lhes era requerida, quando se utilizaram estes métodos, era muito reduzida (19,7%, 26,7% e 28,6% utilizando o Método A, o Método B ou o Método C, respetivamente). Em face destes resultados, procurou-se desenvolver um método que, pela sofisticação da sua elaboração, pudesse conduzir a resultados menos conservativos, sem preterir a facilidade de utilização pelos projetistas de estruturas. Considerou-se, como alternativa mais eficaz em termos de resultados, a consulta de diagramas de interação adimensionais N_{fi}/M_{fi}, desenvolvidos recorrendo aos Métodos Simplificados apontados na norma acima referida (Método da Isotérmica dos 500ºC e Método das Zonas). Optou-se pela utilização do Método da Isotérmica dos 500ºC pelo facto de ser menos moroso na sua aplicação, sendo os resultados apenas ligeiramente mais conservativos que os obtidos utilizando o Método das Zonas, como se constatou no capítulo anterior. No presente capítulo apresenta-se a metodologia seguida para o desenvolvimento deste novo método de verificação da resistência ao fogo de pilares em betão armado.

Os pilares são elementos estruturais cuja função básica é resistir aos esforços de compressão, essencialmente axiais, e transmiti-los às fundações. A força resultante da carga aplicada ao pilar raramente passa pelo centro de gravidade da sua secção transversal. Efetivamente, além de ocorrerem desvios provocados por imperfeições geométricas, na fase de construção, há que considerar as deformações laterais devidas à compressão e as ações com direção distinta da correspondente ao eixo longitudinal destes elementos estruturais, nomeadamente do vento e dos sismos. Assim, os pilares correntes são submetidos, simultaneamente, a esforços axiais e a momentos fletores numa única direção ou em duas direções, trabalhando à flexão composta ou à flexão desviada.

Quando carregados, os pilares ficam submetidos a esforços de compressão, ocorrendo, por este facto, deformações laterais que provocam um acréscimo de momento fletor, designado por momento de segunda ordem. Os momentos devidos às imperfeições geométricas e às ações são os momentos de primeira ordem.

Para avaliar a conformidade de um pilar e, no âmbito deste trabalho, a sua conformidade em situação de incêndio, há que tomar em consideração dois aspetos distintos:

- A resistência do pilar, que pode ser definida traçando a linha que limita a resistência da secção transversal, à flexão composta ou à flexão desviada, obtendo o diagrama de interação $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$, com um desenvolvimento dependente de diferentes parâmetros e fatores, considerando a metodologia que se expõe no parágrafo 6.2.

- Os esforços atuantes (esforço normal e momento fletor), determinados como se apresenta no parágrafo 6.3, tomando em consideração as imperfeições geométricas e os efeitos de segunda ordem, obtendo o diagrama dos esforços atuantes $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$.

Os esforços atuantes máximos a considerar no pilar, para cada escalão de resistência ao fogo, são limitados pela curva correspondente ao diagrama de interação $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ e pela curva referente ao diagrama $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$, como se mostra na Figura 6.1.

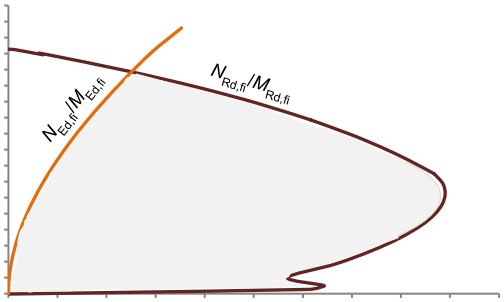


Figura 6. 1 - Diagramas de interação dos esforços resistentes $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ e dos esforços atuantes $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$.

6.2. DIAGRAMAS DE INTERAÇÃO $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ EM FLEXÃO COMPOSTA

6.2.1. INTRODUÇÃO

O cálculo da resistência de secções em betão armado, considerando a verificação aos estados limites últimos, baseia-se nos princípios clássicos da resistência dos materiais e nas hipóteses formuladas para esses princípios, apontadas, também, na EN 1992-1-1 (EC2-1-1, 2010):

Admite-se a hipótese de Bernouilli, de que as secções se mantêm planas na deformação, e que a extensão nas armaduras aderentes, em tração ou em compressão, é a mesma da do betão que as envolve.

- ∴ É ignorada a resistência do betão à tração.
- ∴ As tensões no betão comprimido são obtidas do diagrama tensões-extensões de cálculo (parábola-retângulo), apresentado na EN 1992-1-1 (EC2-1-1, 2010).

∴ As tensões nas armaduras são obtidas dos diagramas de cálculo que constam na norma acima referida.

Para definir o diagrama de interação $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$, correspondente à secção transversal plana de um pilar, para um escalão de resistência ao fogo, seguiu-se o seguinte procedimento de cálculo:

∴ Cálculo da secção reduzida de betão (secção útil), considerando a aplicação do Método da Isotérmica dos 500°C, Método Simplificado definido na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010);
∴ Definição da temperatura nas armaduras, por consulta dos gráficos representativos dos perfis de temperatura, apresentados no Anexo A da referida norma, para cada escalão de resistência ao fogo;
∴ Determinação da resistência reduzida da armadura, em função da temperatura definida. Cálculo de $E_{s,\theta}$, $f_{sp,\theta}$ e $f_{sy,\theta}$, pela aplicação dos coeficientes de redução indicados na mesma norma;
∴ Desenho do diagrama de interação $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$, em função das diferentes configurações possíveis para as extensões do betão e do aço das armaduras. Para a quantificação de $N_{Rd,fi}$ e de $M_{Rd,fi}$ utilizou-se o método do diagrama retangular, método clássico simplificado da resistência dos materiais para o cálculo de secções, descrito em literatura diversa, por diferentes autores, nomeadamente Montoya, J. *et al*. (2000) e Mosley, B. *et al*. (2012), considerando-se a redução das propriedades mecânicas do aço.

6.2.2. QUANTIFICAÇÃO DOS ESFORÇOS RESISTENTES $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$

6.2.2.1. LIMITES DAS EXTENSÕES NO BETÃO E NO AÇO. COEFICIENTES DE REDUÇÃO DAS CARATERÍSTICAS MECÂNICAS DO AÇO

Os diagramas de interação entre esforços normais e de flexão são estabelecidos para estados limites últimos de resistência, considerando extensões limites para o betão e para o aço.

No cálculo dos esforços resistentes ($N_{Rd,fi}$ e $M_{Rd,fi}$) há que delimitar o estado limite em relação ao qual esses esforços são determinados. Na análise da resistência ao fogo considerou-se a extensão máxima do betão ε_c=0,0035 e a extensão máxima do aço ε_s=0,20, considerando-se um estado limite quando ocorre uma destas extensões ou ambas.

Na aplicação deste princípio considera-se relevante salientar o comportamento relacionado com os gradientes de tensão na secção, pela influência deste fenómeno na fendilhação e na capacidade resistente das peças, estudo desenvolvido por Gonçalves, M.C. (2007). Constata-se, por exemplo, que a resistência à tração por flexão é bastante superior à que se verifica em tração simples, e que a fendilhação microscópica, que se verifica antes da rotura por compressão, surge para tensões mais elevadas em compressão por flexão, do que em compressão simples. Estes factos explicam-se pela migração dos esforços das fibras mais esforçadas para as fibras adjacentes menos solicitadas, na ocorrência de gradientes de tensão.

Os gradientes de tensão permitem, pois, uma redistribuição de esforços, levando à penalização da compressão simples quando comparada com a flexão, no que concerne à extensão máxima admissível. Adotou-se o critério de estipular, para a compressão simples, uma extensão limite de 0,002, que varia

gradualmente até 0,0035, à medida que a flexão vai introduzindo gradientes de tensão na secção. Este critério, estipulado para uma situação de temperatura ambiente, foi aqui tomado para situações de temperaturas elevadas.

No desenvolvimento do cálculo da resistência ao fogo dos pilares, nesta dissertação, consideraram-se, para o aço das armaduras, as extensões limite indicadas na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), aqui apresentadas esquematicamente no diagrama tensões-extensões que se expõe na Figura 6.2, com os valores que constam explicitamente no Quadro 6.1 ou, para $\varepsilon_{sp,\theta}$, com os valores que se determinam pela expressão aí indicada.

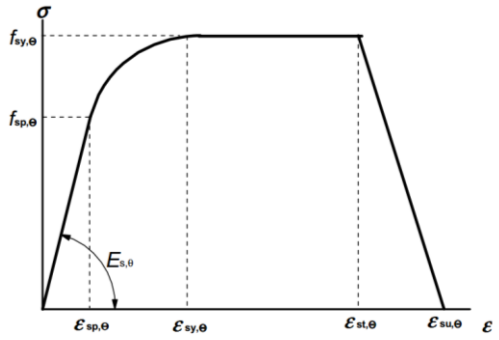


Figura 6.2 - Representação esquemática da relação tensões-extensões em aços para betão armado.

Em que:

$\varepsilon_{sp,\theta}$ extensão no aço correspondente a uma tensão limite de proporcionalidade em função da temperatura;

$$\varepsilon_{sp,\theta} = f_{sp,\theta} / E_{s,\theta} \quad (6.1)$$

$f_{sp,\theta}$ tensão limite de proporcionalidade, em função da temperatura;

$E_{s,\theta}$ módulo de elasticidade em regime elástico linear, em função da temperatura;

$\varepsilon_{sy,\theta}$ extensão correspondente à tensão de cedência, em função da temperatura;

$\varepsilon_{st,\theta}$ extensão de cedência a temperaturas elevadas;

$\varepsilon_{su,\theta}$ extensão última a temperaturas elevadas;

$f_{sy,\theta}$ tensão de cedência, em função da temperatura.

A tensão $\sigma_s(\theta)$ e o módulo tangente $E_{s,\theta}$ do aço consideraram-se, para os diferentes domínios da extensão, ε_s, de acordo com o preconizado na referida norma e aqui apresentado no Quadro 6.1.

Quadro 6.1 - Modelo matemático para as relações tensões-extensões de aços para betão armado.

Domínio das extensões ε_s	Tensão $\sigma_s(\theta)$	Módulo tangente $E_{s,\theta}$
$0 \le \varepsilon_s \le \varepsilon_{sp,\theta}$	$\varepsilon_s . E_{s,\theta}$	$E_{s,\theta}$
$\varepsilon_{sp,\theta} \le \varepsilon_s \le \varepsilon_{sy,\theta}$	$f_{sp,\theta} - c + (b/a).[a^2 - (\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_s)^2]^{0,5}$	$\frac{b(\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon)}{a[a^2 - (\varepsilon - \varepsilon_{sy,\theta})^2]^{0,5}}$
$\varepsilon_{sy,\theta} \le \varepsilon_s \le \varepsilon_{st,\theta}$	$f_{sy,\theta}$	0
$\varepsilon_{st,\theta} \le \varepsilon_s \le \varepsilon_{su,\theta}$	$f_{sy,\theta}[1 - (\varepsilon - \varepsilon_{st,\theta})/(\varepsilon_{su,\theta} - \varepsilon_{st,\theta})]$	-
$\varepsilon_s = \varepsilon_{su,\theta}$	0	-
Valores dos parâmetros	$\varepsilon_{sp,\theta} = f_{sp,\theta} / E_{s,\theta}$ $\varepsilon_{sy,\theta} = 0,02$	$\varepsilon_{st,\theta} = 0,15$ $\varepsilon_{su,\theta} = 0,20$
Funções	$a^2 = (\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_{sp,\theta})(\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_{sp,\theta} + c / E_{s,\theta})$ $b^2 = c(\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_{sp,\theta}) E_{s,\theta} + c^2$ $c = \frac{(f_{sy,\theta} - f_{sp,\theta})^2}{(\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_{sp,\theta})E_{s,\theta} - 2(f_{sy,\theta} - f_{sp,\theta})}$	

Os valores reduzidos de $f_{sy,\theta}$, $f_{sp,\theta}$ e $E_{s,\theta}$ são determinados pela aplicação dos coeficientes de redução que constam no Quadro 3.2, da EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), ou de acordo com as expressões indicadas em 4.2.4.3(1) da mesma norma, em função da temperatura. Para os casos estudados neste trabalho, as temperaturas nos eixos dos varões são indicadas nos Quadros 6.12 e 6.13. Para a redução do valor caraterístico da tensão limite de proporcionalidade a 0,2%, f_{yk}, das armaduras ordinárias, são apresentados nesta norma os gráficos das Figuras 4.2a e 4.2b, respetivamente para as armaduras da Classe N ou da Classe X.

Atendendo a que não é explicitado em 4.2.4.3(1), com suficiente clareza, a aplicabilidade dos diferentes coeficientes de redução das caraterísticas do aço para armaduras comprimidas e tracionadas, consoante os limites das extensões em situação de incêndio ($\varepsilon_{s,fi}$), organizou-se o Quadro 6.2, onde se indica como podem ser obtidos os valores daqueles coeficientes em cada situação, para os aços da Classe N, os utilizados em edifícios correntes em Portugal e prescritos no Anexo Nacional NA da EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010).

Quadro 6.2 - Quadros e expressões da EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) aplicáveis para definir $k_s(\theta)$ em armaduras ordinárias da Classe N.

Tipo de esforço nas armaduras	Limite das extensões $\varepsilon_{s,fi}$	Quadro ou expressão		
		$\frac{f_{sy,\theta}}{f_{yk}}$	$\frac{f_{sp,\theta}}{f_{yk}}$	$\frac{E_{s,\theta}}{E_s}$
Armaduras Tracionadas	$\varepsilon_{s,fi} \geq 2\%$	Quadro 3.2a	Quadro 3.2a	Quadro 3.2a
	$\varepsilon_{s,fi} < 2\%$	Expressões indicadas no subcapítulo 4.2.4.3(1)	Quadro 3.2a	Quadro 3.2a
Armaduras Comprimidas	$\varepsilon_{s,fi} \geq 2\%$ e $\varepsilon_{s,fi} < 2\%$	Expressões indicadas no subcapítulo 4.2.4.3(1)	Quadro 3.2a	Quadro 3.2a

O valor reduzido de f_{yk} em função da temperatura é, pois, determinado recorrendo ao Quadro 3.2a, na situação em que as armaduras se encontram tracionadas e com extensões $\varepsilon_{s,fi} \geq 2\%$, ou recorrendo às expressões indicadas no subcapítulo 4.2.4.3(1), quando as armaduras se encontram em compressão ou em tração e com extensões $\varepsilon_{s,fi} < 2\%$. Mostra-se, na Figura 6.3, a variação do coeficiente de redução $k_s(\theta)$ para estas duas situações, correspondendo ao gráfico da Figura 4.2a que consta na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), representando-se apenas a curva 1, aplicável a armaduras na primeira situação e para o aço laminado a quente e a curva 3, aplicável a armaduras na segunda situação. A variação da redução de $f_{sp,\theta}$ e de $E_{s,\theta}$ em função da temperatura é mostrada na mesma Figura 6.3, podendo constatar-se que a redução da tensão limite de proporcionalidade, $f_{sp,\theta}$, é mais acentuada, com o aumento da temperatura, que a observada para módulo de elasticidade, $E_{s,\theta}$. A redução da tensão de cedência em função da temperatura, $f_{sy,\theta}$, nas armaduras comprimidas e nas armaduras tracionadas quando $\varepsilon_{s,fi} < 2\%$ é semelhante à redução do módulo de elasticidade em função da temperatura, $E_{s,\theta}$.

Como pode observar-se, a redução de f_{yk} devido às elevadas temperaturas é substancialmente mais gravosa nas armaduras comprimidas e nas armaduras tracionadas se $\varepsilon_{s,fi} < 2\%$. Observando as Figuras A6.1 a A6.7 do Anexo A6 pode constatar-se que, com exceção da armadura A_s no Domínio 2, as tensões ou são de compressão, ou de tração com $\varepsilon_{s,fi} < 2\%$. Este agravamento repercute-se no valor da tensão no aço para extensões superiores à correspondente à tensão limite de proporcionalidade em função da temperatura, $\varepsilon_s > \varepsilon_{sp,\theta}$, diretamente ou no cálculo do parâmetro c referenciado no Quadro 6.1. Na parte inferior do diagrama $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ representado na Figura 6.1 (zona no Domínio 2, com armadura tracionada e com extensões $\varepsilon_{s,fi} \geq 2\%$) é visível a diferenciação das curvas, consequência do exposto.

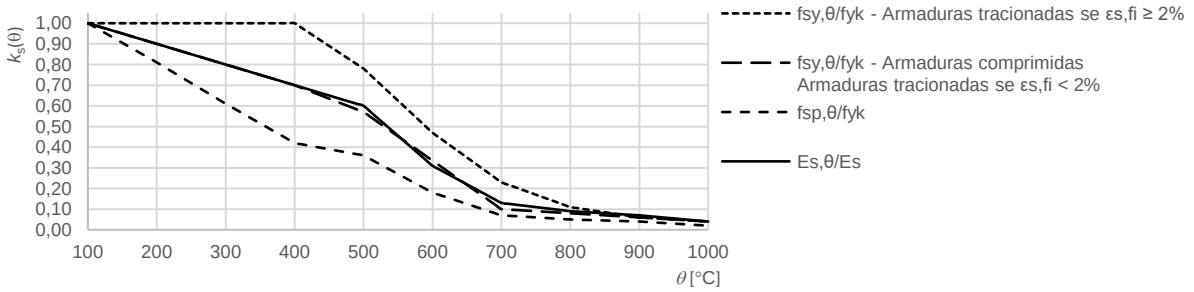


Figura 6.3 - Variação do coeficiente de redução $k_s(\theta)$ do valor caraterístico da resistência do aço, f_{yk}, em armaduras tracionadas ou comprimidas, da tensão limite de proporcionalidade, $f_{sp,\theta}$ e do módulo de elasticidade $E_{s,\theta}$ (Classe N e aço laminado a quente).

O diagrama de interação $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ em flexão composta é desenvolvido, neste trabalho, pela aplicação do método do diagrama retangular, método simplificado clássico da resistência dos materiais. Assim, foram fixados os domínios das extensões, consideradas como atrás se indicou, determinaram-se as profundidades do eixo neutro correspondentes, os valores do esforço normal resistente, os momentos resistentes e as correspondentes excentricidades.

A Figura 6.4 e a Figura 6.5 representam os valores limite das extensões considerados para o betão em situação de incêndio e para a armadura A_s, valores estes definidores de diferentes domínios adotados para o desenho dos diagramas de interação correspondentes aos estados limites últimos de resistência, assim como o correspondente desenvolvimento das extensões na armadura A'_s. A primeira figura corresponde à situação da armadura se encontrar no interior da secção útil do betão, isto é, inserida na secção transversal de betão reduzida devido aos efeitos das elevadas temperaturas provocadas pela exposição ao fogo. A segunda figura esquematiza a situação em que a armadura se encontra no exterior da secção útil do betão. Considerou-se que os pilares são expostos ao fogo nos quatro lados. A secção transversal reduzida é representada a tracejado.

Apesar da diferença notória da grandeza das extensões na armadura A'_s, para cada valor limite da extensão na armadura A_s e, assim, para cada valor da profundidade do eixo neutro, na primeira situação e na segunda, as expressões para a quantificação das extensões na armadura A'_s são iguais para cada valor de profundidade do eixo neutro, pelo que se tratará doravante apenas a situação em que a armadura se encontra no interior da secção útil, sabendo que as expressões definidas para esta situação serão válidas também para a situação em que as armaduras se encontram no exterior da secção útil.

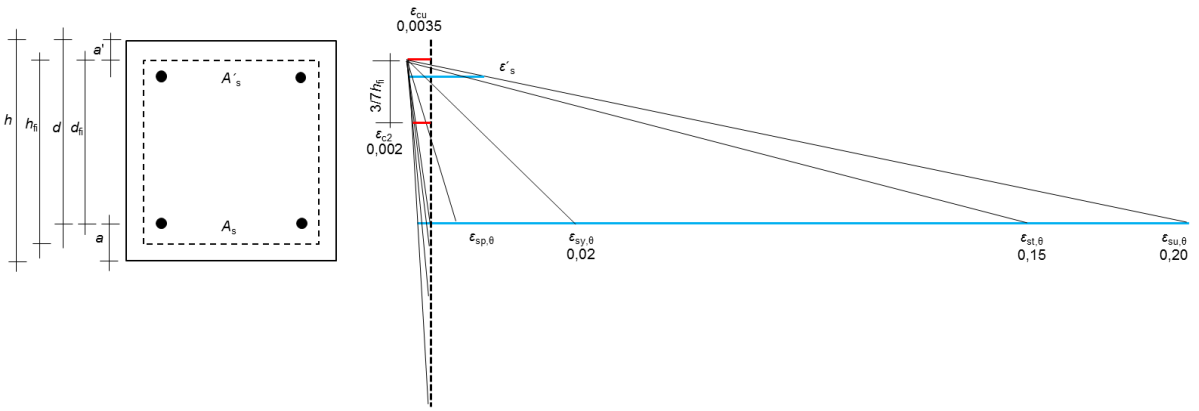


Figura 6.4 - Representação esquemática dos domínios das extensões admissíveis em estado limite último para o aço e para o betão, na situação da armadura se encontrar no interior da secção útil de betão.

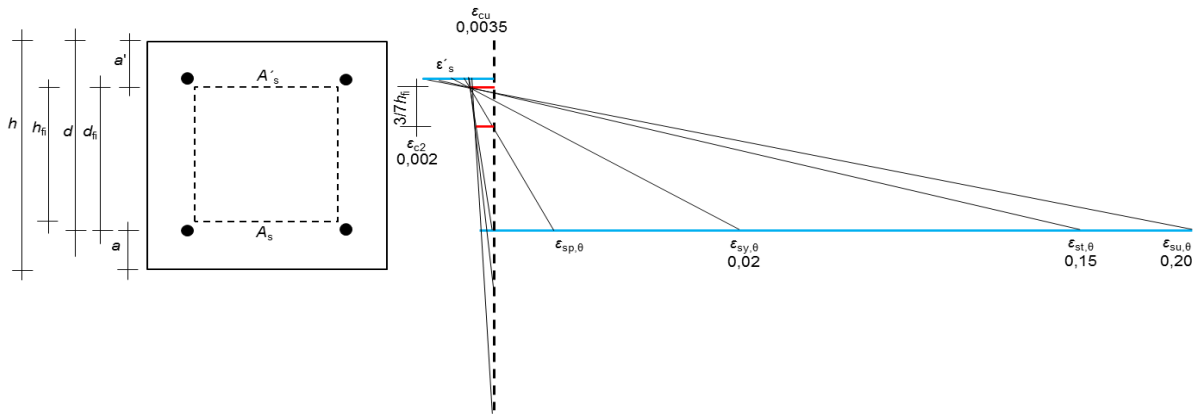


Figura 6.5 - Representação esquemática dos domínios das extensões admissíveis em estado limite último para o aço e para o betão, na situação da armadura se encontrar no exterior da secção útil de betão.

Em que:

h	maior dimensão da secção transversal;
h_{fi}	maior dimensão da secção transversal reduzida;
d	altura útil da secção;
d_{fi}	altura útil da secção reduzida;
a’	camada de betão danificada, calculada pelo Método da Isotérmica dos 500°C ou pelo Método das Zonas;
a	distância do eixo dos varões da armadura longitudinal à face mais próxima sujeita a incêndio;
A_s, A'_s	armadura longitudinal.

6.2.2.2. EXPRESSÕES PARA A QUANTIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS INTERVENIENTES NO DESENHO DOS DIAGRAMAS $N_{Rd,fi}$/ $M_{Rd,fi}$

Os diagramas de interação, em situação de incêndio, foram desenhados, como já referido, recorrendo ao método do diagrama retangular, método clássico simplificado da resistência dos materiais para o cálculo de secções, considerando-se a redução da secção do betão utilizando o Método da Isotérmica dos 500ºC e a redução das propriedades mecânicas do aço, de acordo com o estipulado na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010).

As expressões que permitem quantificar os parâmetros que intervêm no desenho dos diagramas de interação $N_{Rd,fi}$/ $M_{Rd,fi}$ são definidas tomando em consideração os diferentes valores limite das extensões no betão e no aço. Assim, foram considerados sete domínios, pormenorizadamente identificados e descritos no Subcapítulo A6.2.1 do Anexo A6. Definiram-se as expressões dos referidos parâmetros para cada um dos domínios, considerando secções transversais de pilares com armadura corrente, constituída por quatro, seis, oito e dez varões, dispostos como se indica na Figura 6.6. O Domínio 1 não foi tratado em pormenor e não será considerado no desenvolvimento deste trabalho pelo facto de corresponder a uma situação que não ocorre em pilares, pois a secção transversal encontra-se, na quase

totalidade, em tração, como pode observar-se na Figura A6.1 do Anexo 6. A representação destes domínios é apresentada na Figura 6.7.

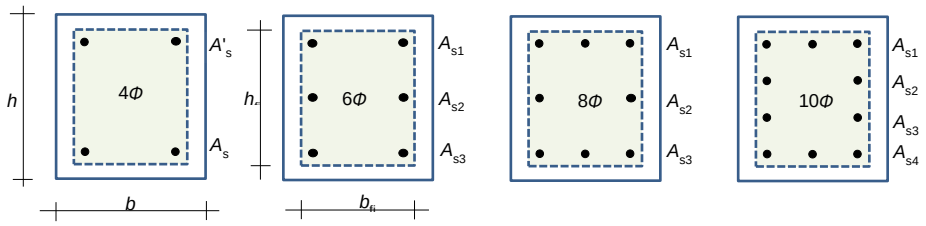


Figura 6.6 - Representação esquemática da distribuição das armaduras longitudinais consideradas no estudo.

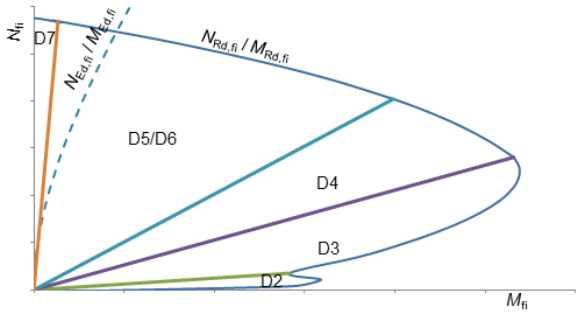


Figura 6.7 - Representação dos domínios D2 a D7 no gráfico dos diagramas de interação N_{fi}/M_{fi}.

Constatou-se, no decorrer do estudo desenvolvido nesta dissertação, que o gráfico da Figura 6.7 é representativo do que ocorre em pilares com diferentes dimensões de secção transversal, distintas constituições de armadura e diferentes exigências correspondentes a distintos escalões de resistência ao fogo, no que concerne à posição relativa da curva correspondente ao par de esforços atuantes, $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$. Efetivamente, como pode observar-se, esta curva encontra-se à direita da linha que limita o Domínio 7. Assim, conclui-se que os pilares de edifícios correntes não podem, em situação de incêndio, estar submetidos a pares de esforços que caiam neste domínio.

Sendo os pilares elementos estruturais submetidos essencialmente a esforços axiais de compressão, os esforços atuantes, com exceção dos pilares do último piso, sujeitos a reduzidas ações axiais mas por vezes elevadas ações horizontais devidas ao vento e aos sismos, inserem-se, mesmo em situação de incêndio, nos domínios D3, D4 e D5/D6, com maior prevalência nos três últimos. Os domínios D5 (profundidade do eixo neutro $d_{fi} \leq x \leq h_{fi}$) e D6 (profundidade do eixo neutro $h_{fi} \leq x \leq 1{,}25h_{fi}$) não foram identificados separadamente nos gráficos pois, em situação de incêndio, a diferença entre os valores de h_{fi} e de d_{fi} é, frequentemente, muito reduzida. Assim, em gráficos como o representado na Figura 6.7, a linha que limita inferiormente o domínio D5 é muito próxima da que limita inferiormente o domínio D6, o que torna pouco percetível a área correspondente àquele domínio.

Recorrendo aos conceitos apresentados no subcapítulo A6.2.1 do Anexo A6, organizaram-se os Quadros 6.3 a 6.6. As expressões indicadas nestes quadros são válidas quer se aplique o Método da Isotérmica dos 500°C, quer o Método das Zonas, Métodos Simplificados indicados na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) para a determinação da secção reduzida do betão. Se utilizado este último método, deve considerar-se a_z em substituição de a_{500}, parâmetros correspondentes à espessura danificada do betão devido às elevadas temperaturas. No Quadro 6.3 indicam-se os limites das extensões no betão e no aço para cada domínio e os correspondentes limites para a profundidade do eixo neutro. No Quadro 6.4 apresentam-se as expressões para o cálculo das extensões e das tensões no aço, em cada domínio.

Quadro 6.3 - Domínios das extensões e expressões correspondentes para a quantificação da profundidade do eixo neutro.

Designação do domínio	Limites das extensões no aço		Limites das extensões no betão	Profundidade do eixo neutro
	ε_s	ε'_s	ε_c	x
D1	$0,15 \le \varepsilon_s \le 0,20$	$\varepsilon_{sp,\theta} \le \varepsilon'_s \le 0,02$	0,0035	$x_1 \le x \le x_2$ $x_1=(3,5/203,5).d_{fi}$ $x_2=(3,5/153,5).d_{fi}$
D2	$0,02 \le \varepsilon_s \le 0,15$	$\varepsilon_{sp,\theta} \le \varepsilon'_s \le 0,02$ $\varepsilon'_s \le \varepsilon_{sp,\theta}$	0,0035	$x_2 \le x \le x_3$ $x_2=(3,5/153,5).d_{fi}$ $x_3=(3,5/23,5).d_{fi}$
D3	$\varepsilon_{sp,\theta} \le \varepsilon_s \le 0,02$	$\varepsilon'_s \le \varepsilon_{sp,\theta}$ $\varepsilon_{sp,\theta} \le \varepsilon'_s \le 0,02$	0,0035	$x_3 \le x \le x_4$ $x_3=(3,5/23,5).d_{fi}$ $x_4=[(0,0035/(0,0035+\varepsilon_{sp,\theta})].d_{fi}$
D4	$\varepsilon_s \le \varepsilon_{sp,\theta}$	$\varepsilon_{sp,\theta} \le \varepsilon'_s \le 0,02$	0,0035	$x_4 \le x \le x_5$ $x_4=[(0,0035/(0,0035+\varepsilon_{sp,\theta})].d_{fi}$ $x_5=d_{fi}$
D5	$\varepsilon_s \le \varepsilon_{sp,\theta}$	$\varepsilon_{sp,\theta} \le \varepsilon'_s \le 0,02$	0,0035	$x_5 \le x \le x_6$ $x_5=d_{fi}$ $x_6=h_{fi}$
D6	$\varepsilon_s \le \varepsilon_{sp,\theta}$	$\varepsilon_{sp,\theta} \le \varepsilon'_s \le 0,02$	0,0035	$x_6 \le x \le x_7$ $x_6=h_{fi}$ $x_7=1,25h_{fi}$
D7	$\varepsilon_s \le \varepsilon_{sp,\theta}$	$\varepsilon_{sp,\theta} \le \varepsilon'_s \le 0,02$	0,002	$x_7 \le x \le x_8$ $x_7=1,25h_{fi}$ $x_8=\infty$

Sendo:

ε_s extensão no aço da armadura A_s;
ε'_s extensão no aço da armadura A'_s;
ε_c extensão no betão;
x profundidade do eixo neutro.

Quadro 6.4 - Expressões para o cálculo das extensões e das tensões no aço, para cada domínio.

Domínio	Expressões para o cálculo das extensões no aço				Expressões para o cálculo das tensões	
	ε_s		ε'_s			
	Tração	Compressão	Tração	Compressão	$\sigma_{s(\theta)}$	$\sigma'_{s(\theta)}$
D1	Fixado entre 0,20 e 0,15	-	$0,0035[(a-a_{500})-x]/x$	-	$f_{sy,\theta}.[1-(\varepsilon_s-\varepsilon_{st,\theta})/(\varepsilon_{su,\theta}-\varepsilon_{st,\theta})]$	$f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon'_s)^2]^{0,5}$
D2	$0,0035(d_{fi}-x)/x$	-	$0,0035[(a-a_{500})-x]/x$	$0,0035[x-(a-a_{500})]/x$	$f_{sy,\theta}$	$f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon'_s)^2]^{0,5}$ ou $\varepsilon'_s.E_{s,\theta}$
D3	$0,0035(d_{fi}-x)/x$	-	-	$0,0035[x-(a-a_{500})]/x$	$f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon_s)^2]^{0,5}$	$f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon'_s)^2]^{0,5}$
D4	$0,0035(d_{fi}-x)/x$	-	-	$0,0035[x-(a-a_{500})]/x$	$\varepsilon_s.E_{s,\theta}$	$f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon'_s)^2]^{0,5}$
D5	-	$0,0035(x-d_{fi})/x$	-	$0,0035[x-(a-a_{500})]/x$	$\varepsilon_s.E_{s,\theta}$	$f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon'_s)^2]^{0,5}$
D6	-	$0,0035(x-d_{fi})/x$		$0,0035[x-(a-a_{500})]/x$	$\varepsilon_s.E_{s,\theta}$	$f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon'_s)^2]^{0,5}$
D7	-	$0,002(x-d_{fi})/x-(3/7)h_{fi}$	-	$0,002[x-(a-a_{500})]/x-(3/7)h_{fi}$	$\varepsilon_s.E_{s,\theta}$	$f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon'_s)^2]^{0,5}$

Sendo:

$\sigma_s(\theta)$ tensão reduzida no aço da armadura A_s, à temperatura θ;
$\sigma'_s(\theta)$ tensão reduzida no aço da armadura A'_s, à temperatura θ;

d_{fi} altura útil da secção reduzida;

$d_{fi} = d - a_{500}$ (6.2)

a_{500} camada de betão danificada, calculada pelo Método da Isotérmica dos 500°C;

a, b, c parâmetros a determinar como se indica no Quadro 6.1.

No Quadro 6.5 indicam-se as expressões para o cálculo, em cada domínio, da profundidade do eixo neutro, x, da altura da zona comprimida do betão, y, das extensões no aço em situação de incêndio, $\varepsilon_{s,fi}$, e da tensão reduzida no aço, $\sigma_s(\theta)$. No Quadro 6.6 são apresentadas as expressões para o cálculo do esforço normal resistente em situação de incêndio, $N_{Rd,fi}$, o momento estático da secção comprimida do betão em relação ao eixo da armadura A_s, S_y, a excentricidade em relação ao centro de gravidade da secção transversal, e, e o momento resistente, em situação de incêndio, em relação ao centro de gravidade da secção, $M_{Rd,fi}$.

Quadro 6.5 - Expressões para o cálculo de x, y, $\varepsilon_{s,fi}$ e $\sigma_s(\theta)$.

Domínio	Profundidade do eixo neutro	y	A_{cy}	Armadura A_s					Armadura A'_s			
				Extensões ε_s		Tensões $\sigma_s(\theta)$			Extensões ε'_s		Tensões $\sigma'_s(\theta)$	
				Tração	Compressão	$\varepsilon_{sy,\theta} < \varepsilon_s < \varepsilon_{st,\theta}$	$\varepsilon_{sp,\theta} < \varepsilon_s < \varepsilon_{sy,\theta}$	$\varepsilon_s < \varepsilon_{sp,\theta}$	Tração	Compressão	$\varepsilon_{sp,\theta} < \varepsilon'_s < \varepsilon_{sy,\theta}$	$\varepsilon'_s < \varepsilon_{sp,\theta}$
D2	$x \geq (3{,}5/153{,}5).d_{fi}$ $x \leq (3{,}5/23{,}5).d_{fi}$	$0{,}8.x$	$b_{fi}.y$	$0{,}0035(d_{fi}-x)/x$	-	$f_{sy,\theta}$	-	-	$0{,}0035.[(a-a_{500})-x]/x$	$0{,}0035[x-(a-a_{500})]/x$	$f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon'_s)^2]^{0,5}$	$\varepsilon'_s.E_{s,\theta}$
D3	$x \geq (3{,}5/23{,}5).d_{fi}$ $x \leq [(0{,}0035/(0{,}0035+\varepsilon_{sp},\theta)].d_{fi}$	$0{,}8.x$	$b_{fi}.y$	$0{,}0035(d_{fi}-x)/x$	-	-	$f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon_s)^2]^{0,5}$	-	-	$0{,}0035[x-(a-a_{500})]/x$	$f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon'_s)^2]^{0,5}$	-
D4	$x \geq [(0{,}0035/(0{,}0035+\varepsilon_{sp},\theta)].d_{fi}$ $x \leq d_{fi}$	$0{,}8.x$	$b_{fi}.y$	$0{,}0035(d_{fi}-x)/x$	-	-	-	$\varepsilon_s.E_{s,\theta}$	-	$0{,}0035[x-(a-a_{500})]/x$	$f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon'_s)^2]^{0,5}$	-
D5	$x \geq d_{fi}$ $x \leq h_{fi}$	$0{,}8.x$	$b_{fi}.y$	-	$0{,}0035(x-d_{fi})/x$	-	-	$\varepsilon_s.E_{s,\theta}$	-	$0{,}0035[x-(a-a_{500})]/x$	$f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon'_s)^2]^{0,5}$	-
D6	$x \geq h_{fi}$ $x \leq 1{,}25h_{fi}$	$0{,}8.x$	$b_{fi}.y$	-	$0{,}0035(x-d_{fi})/x$	-	-	$\varepsilon_s.E_{s,\theta}$	-	$0{,}0035[x-(a-a_{500})]/x$	$f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon'_s)^2]^{0,5}$	-
D7	$x \geq 1{,}25h_{fi}$	h_{fi}	$b_{fi}.y$	-	$0{,}002(x-d_{fi})/x-(3/7)h_{fi}$	-	$f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon_s)^2]^{0,5}$	-	-	$0{,}002[x-(a-a_{500})]/x-(3/7)h_{fi}$	$f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon'_s)^2]^{0,5}$	-

Quadro 6.6 - Expressões para o cálculo de $N_{Rd,fi}$, S_y, e e $M_{Rd,fi}$.

Esforço normal resistente	Momento resistente em relação à armadura A_s			Excentricidade em relação à armadura A_s	Excentricidade em relação ao centro de gravidade da secção		Momento resistente em relação ao centro de gravidade da secção
$N_{Rd,fi}$	Momento estático	$M'_{Rd,fi}$		e_1	e		$M_{Rd,fi}$
Armadura em compressão → positivo Armadura em tração → negativo	S_y	$A'_s \rightarrow$ Tração	$A'_s \rightarrow$ Compressão		$e_1>(h/2)-a$	$e_1<(h/2)-a$	
$0{,}85f_{ck}.A_{cy} \pm A'_s.\sigma'_s(\theta) \pm A_s.\sigma_s(\theta)$	$A_{cy}.(d_{fi}-y/2)$	$0{,}85f_{ck}.S_y-A'_s.\sigma'_s(\theta).(d-a)$	$0{,}85f_{ck}.S_y+A'_s.\sigma'_s(\theta).(d-a)$	$M'_{Rd,fi}/N_{Rd,fi}$	$e_1-(h/2)+a$	$(h/2)-a-e_1$	$N_{Rd,fi}.e$

Sendo:

b_{fi} menor dimensão da secção transversal reduzida;

y altura da zona comprimida do betão;

A_{cy} área da zona comprimida do betão;

S_y momento estático da zona comprimida do betão em relação ao eixo da armadura A_s;

$N_{Rd,fi}$ esforço normal resistente em situação de incêndio;
$M'_{Rd,fi}$ momento resistente em relação à armadura A_s;
e_1 excentricidade de $N_{Rd,fi}$ em relação ao eixo da armadura A_s;
e excentricidade de $N_{Rd,fi}$ em relação ao centro de gravidade da secção;
$M_{Rd,fi}$ momento resistente em situação de incêndio.

O esforço normal resistente, $N_{Rd,fi}$, é determinado pela expressão indicada na primeira célula da última linha do Quadro 6.6, sendo as parcelas correspondentes à resistência do aço, $A'_s.\sigma'_s(\theta)$ e $A_s.\sigma_s(\theta)$, positivas se a armadura se encontrar à compressão e negativas se a armadura se encontrar à tração. Calculado o momento da resultante do bloco de betão e da armadura A'_s em relação ao eixo da armadura A_s, $M'_{Rd,fi}$, define-se a excentricidade de $N_{Rd,fi}$ em relação a este eixo, e_1, e a excentricidade em relação ao centro de gravidade da secção, e. O momento resistente em relação ao centro de gravidade da secção, $M_{Rd,fi}$, obtém-se multiplicando $N_{Rd,fi}$ por esta última excentricidade.

As expressões que permitem quantificar os valores dos parâmetros necessários para desenhar os diagramas de interação $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ de secções com armaduras longitudinais constituídas por seis, oito e dez varões, dispostos como se indica na Figura 6.6, foram definidas utilizando a mesma metodologia seguida para as secções constituídas por quatro varões.

Na Figura A6.8 do Anexo A6 apresenta-se a secção estudada com armadura constituída por seis varões, ilustrando-se, nessa figura, as situações distintas da armadura a meia altura se encontrar à compressão ou à tração, como suporte da dedução das expressões para o cálculo das respetivas extensões. Para seis varões, A'_s passa a ser designada por A_{s1} e A_s por A_{s3}. As expressões atrás indicadas para armaduras constituídas por quatro varões mantêm-se, exceto aquelas em que intervêm os parâmetros relacionados com a armadura A_{s2}, isto é, as expressões para o cálculo das extensões nesta armadura, ε_{s2}, para o cálculo do esforço normal resistente, $N_{Rd,fi}$, e para o cálculo do momento resistente em relação à armadura A_{s3}. No Quadro A6.13 do Anexo A6 são indicadas as expressões para a quantificação dos referidos parâmetros. O cálculo da excentricidade e do momento resistente, ambos em relação ao centro de gravidade da secção, não é diretamente dependente de A_{s2}, pelo que são aplicáveis as expressões apresentadas no Quadro 6.6.

Relativamente às secções constituídas por oito e por dez varões é válido o princípio referido no parágrafo anterior. No Subcapítulo A6.2.4 do Anexo A6 mostram-se as expressões aplicáveis ao cálculo dos parâmetros intervenientes no desenho dos diagramas de interação em secções constituídas por oito varões e no Subcapítulo A6.2.5 do mesmo anexo as expressões aplicáveis às secções com dez varões.

6.2.2.3. DESENHO DOS DIAGRAMAS $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$

Os diagramas de interação dos esforços resistentes, em situação de incêndio, foram desenhados, como já referido, utilizando o método do diagrama retangular, método clássico simplificado da resistência dos materiais para o cálculo de secções, considerando a secção de betão reduzida determinada recorrendo ao Método da Isotérmica dos 500ºC e a redução das propriedades mecânicas do aço, de acordo com o estipulado na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010).

Sendo um dos objetivos deste trabalho desenvolver um método expedito que permita aos projetistas de estruturas uma eficaz verificação da resistência ao fogo dos pilares em betão armado, selecionaram-se as secções transversais e as conjugações dos varões da armadura principal de modo a que correspondessem às mais correntes, no universo dos pilares constituintes das estruturas dos edifícios analisados, assim como os escalões de resistência ao fogo onde se inserissem as maiores percentagens de pilares. Esta informação e o respetivo tratamento estatístico foram apresentados nos Capítulos 3 e 4 e respetivos anexos.

Tomou-se em consideração o disposto na EN 1992-1-1 (EC2-1-1, 2010), na EN 206-1 (2007) e na E 464 (2007) relativamente ao recobrimento mínimo, matéria tratada no Subcapítulo 4.3.2.3 do Capítulo 4. No estudo agora apresentado considerou-se o recobrimento nominal de 35mm, havendo a intenção de desenvolver o trabalho, no futuro, para recobrimentos de 40mm e de 45mm. Observaram-se, ainda, as disposições indicadas na EN 1992-1-1 (EC2-1-1, 2010) referentes à área máxima e mínima de armadura longitudinal, assim como ao afastamento máximo entre os varões que a constituem e o diâmetro mínimo das armaduras transversais.

Desenvolveram-se os diagramas de interação considerando os escalões de resistência ao fogo R60, R90 e R120, escalões onde se inserem 95,5% dos 12243 pilares retangulares analisados, como pode ver-se na Figura 4.9 do Capítulo 4.

Desenvolveram-se os diagramas de interação em situação de incêndio para as secções indicadas nos Quadros 6.7 e 6.8. Nestes quadros indicam-se as dimensões das secções transversais e as armaduras consideradas, sendo o Quadro 6.7 (a) correspondente aos pilares com armaduras longitudinais constituídas por varões Φ12, o Quadro 6.7 (b) aos pilares com armadura Φ16, o Quadro 6.8 (a) aos pilares com armadura Φ20 e o Quadro 6.8 (b) aos pilares com armadura Φ25. Consideraram-se também algumas situações correntes em que a armadura é constituída pela associação de varões de diâmetros diferentes, como pode ver-se nos referidos quadros.

Indica-se, na última coluna dos quadros, a distância do eixo dos varões da armadura longitudinal à face do pilar mais próxima sujeita a incêndio, a, já que a temperatura a considerar para a redução das caraterísticas mecânicas do aço é lida, nos perfis de temperatura apresentados na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), em função deste parâmetro, para cada escalão de resistência ao fogo. Os valores de a para armaduras com diâmetros diferentes, na mesma fiada e/ou em mais de uma fiada, foram fixados de modo a serem inferiores aos valores médios, a_m, obtidos pela aplicação da Expressão 6.3, procedendo ao seu arredondamento conservativamente.

$$a_m = \frac{\sum A_{si} a_i}{\sum A_{si}} \tag{6.3}$$

Quadro 6.7 - Geometria e constituição das armaduras das secções para as quais se desenharam os diagramas de interação. Armaduras longitudinais constituídas por: (a) - Φ12 e (b) Φ16.

(a)

Recobrimento - *c*=35mm Armadura longitudinal - Φ12 Cintas - Φ6			
Secção [cm]		Armadura longitudinal	*a* [mm]
b	*h*		
20	20	4Φ12	47
	30	4Φ12	47
		6Φ12	
		8Φ12	
	40	4Φ12	47
		6Φ12	
		8Φ12	
		10Φ12	
	50	6Φ12	47
		8Φ12	
		10Φ12	
25	25	4Φ12	47
		6Φ12	
		8Φ12	
	30	4Φ12	47
		6Φ12	
		8Φ12	
	40	4Φ12	47
		6Φ12	
		8Φ12	
		10Φ12	
	50	6Φ12	47
		8Φ12	
		10Φ12	
30	30	4Φ12	47
		6Φ12	
		8Φ12	
	40	4Φ12	47
		6Φ12	
		8Φ12	
		10Φ12	
	50	6Φ12	47
		8Φ12	
		10Φ12	

(b)

Recobrimento - *c*=35mm Armadura longitudinal principal - Φ16 Cintas - Φ6			
Secção [cm]		Armadura longitudinal	*a* [mm]
b	*h*		
20	20	4Φ16	49
	30	4Φ16	49
		6Φ16	
		8Φ16	
		4Φ16+2Φ12	48
	40	4Φ16	49
		6Φ16	
		8Φ16	
		10Φ16	
		4Φ16+2Φ12	48
		4Φ16+4Φ12	
	50	6Φ16	49
		8Φ16	
		10Φ16	
		4Φ16+2Φ12	48
		4Φ16+4Φ12	
25	25	4Φ16	49
		6Φ16	
		8Φ16	
	30	4Φ16	49
		6Φ16	
		8Φ16	
		4Φ16+2Φ12	48
	40	4Φ16	49
		6Φ16	
		8Φ16	
		10Φ16	
		4Φ16+2Φ12	48
	50	6Φ16	49
		8Φ16	
		10Φ16	
		4Φ16+2Φ12	48
30	30	4Φ16	49
		6Φ16	
		8Φ16	
		4Φ16+2Φ12	48
		4Φ16+4Φ12	
	40	4Φ16	49
		6Φ16	
		8Φ16	
		10Φ16	
		4Φ16+2Φ12	48
		4Φ16+4Φ12	
	50	6Φ16	49
		8Φ16	
		10Φ16	
		12Φ16	
		4Φ16+2Φ12	48

Quadro 6.8 - Geometria e constituição das armaduras das secções para as quais se desenharam os diagramas de interação. Armaduras longitudinais constituídas por Φ20 e por Φ25.

(a)

Recobrimento - *c*=35mm Armadura longitudinal principal - *Φ*20 Cintas - *Φ*6			
Secção [cm]		Armadura longitudinal	*a* [mm]
b	*h*		
20	20	4Φ20	51
	30	4Φ20	51
		6Φ20	
		4Φ20+2Φ12	50
		4Φ20+2Φ16	
	40	4Φ20	51
		6Φ20	
		8Φ20	
		10Φ20	
		4Φ20+2Φ12	50
		4Φ20+2Φ16	
	50	6Φ20	51
		8Φ20	
		10Φ20	
		4Φ20+2Φ12	50
		4Φ20+2Φ16	
25	25	4Φ20	51
		6Φ20	
		4Φ20+4Φ12	50
		4Φ20+4Φ16	
	30	4Φ20	51
		6Φ20	
		8Φ20	
		4Φ20+2Φ12	50
		4Φ20+2Φ16	
	40	4Φ20	51
		6Φ20	
		8Φ20	
		10Φ20	
		4Φ20+2Φ12	50
		4Φ20+2Φ16	
	50	6Φ20	51
		8Φ20	
		10Φ20	
		4Φ20+2Φ12	50
		4Φ20+2Φ16	
30	30	4Φ20	51
		6Φ20	
		8Φ20	
		4Φ20+2Φ12	50
		4Φ20+2Φ16	
		4Φ20+4Φ12	
		4Φ20+4Φ16	
	40	4Φ20	51
		6Φ20	
		8Φ20	
		10Φ20	
		4Φ20+2Φ12	50
		4Φ20+2Φ16	
		4Φ20+4Φ12	
		4Φ20+4Φ16	
		6Φ20+2Φ16	
	50	6Φ20	51
		8Φ20	
		10Φ20	
		4Φ20+2Φ12	50
		4Φ20+2Φ16	
		4Φ20+4Φ12	
		4Φ20+4Φ16	
		6Φ20+2Φ16	

(b)

Recobrimento - *c*=35mm Armadura longitudinal principal - *Φ*25 Cintas - *Φ8*			
Secção [cm]		Armadura longitudinal	*a* [mm]
b	*h*		
20	30	4Φ25	55
		4Φ25+2Φ16	54
	40	4Φ25	55
		6Φ25	
		4Φ25+2Φ16	54
		4Φ25+2Φ20	
	50	6Φ25	55
		8Φ25	
		4Φ25+2Φ16	54
		4Φ25+2Φ20	
25	25	4Φ25	55
	30	4Φ25	55
		6Φ25	
		4Φ25+2Φ16	54
		4Φ25+2Φ20	
	40	4Φ25	55
		6Φ25	
		8Φ25	
		4Φ25+2Φ16	54
		4Φ25+2Φ20	
	50	6Φ25	55
		8Φ25	
		10Φ25	
		4Φ25+2Φ16	54
		4Φ25+2Φ20	
30	30	4Φ25	55
		6Φ25	
		4Φ25+2Φ16	54
		4Φ25+2Φ20	
	40	4Φ25	55
		6Φ25	
		8Φ25	
		4Φ25+2Φ16	54
		4Φ25+2Φ20	
	50	6Φ25	55
		8Φ25	
		10Φ25	
		4Φ25+2Φ16	54
		4Φ25+2Φ20	

Para determinar a área útil da secção transversal do pilar, A_{cu}, num dado escalão de resistência ao fogo, há que retirar, à secção definida para a temperatura normal, a espessura da camada de betão danificado devido às elevadas temperaturas. Utilizando o Método da Isotérmica dos 500ºC, método adotado no desenvolvimento deste trabalho, a espessura dessa camada de betão, a_{500}, é definida recorrendo à isotérmica de 500ºC desenhada para os escalões R30, R60, R90 e R120, no gráfico da Figura A.15 da norma acima referida para os pilares retangulares e no gráfico da Figura A.20 da mesma norma para os pilares circulares.

Considerando-se os pilares expostos ao incêndio nos quatro lados, a secção útil corresponde à área de betão interior à isotérmica. Assim, a menor e a maior dimensão do pilar em situação de incêndio, b_{fi} e h_{fi}, obtém-se retirando às dimensões iniciais a camada de betão danificada, a_{500}, ficando $b_{fi} = b - 2\ a_{500}$ e $h_{fi} = h - 2\ a_{500}$. Sendo os cantos das isotérmicas arredondados e a secção útil de betão considerada com a forma retangular, há que contemplar, na quantificação de a_{500}, a compensação da área dos cantos tomada em excesso.

Atendendo ao número elevado de casos em estudo, houve necessidade de recorrer a uma metodologia eficaz para proceder de forma célere a esta correção, recorrendo-se a um programa de cálculo desenvolvido em Excel. Exemplificando para pilares nos escalões R60, R90 e R120, os considerados neste estudo, apresenta-se, nas Figuras 6.8(a), 6.9(a) e 6.10(a), a área em excesso pintada a amarelo. Para proceder à correção da área útil considerou-se o quadrado de canto representado a tracejado nestas figuras, sendo os dois lados consecutivos definidos pelas tangentes à isotérmica. A área em excesso, em cada canto, corresponde à diferença entre a área deste quadrado de canto e a área do quarto de círculo cujo raio é igual ao lado do quadrado. A espessura de a_{500} é definida de modo a compensar este excesso de área, como pode ver-se nas Figuras 6.8(b), 6.9(b) e 6.10(b), sendo a área pintada a laranja, a área em excesso, semelhante à soma das áreas pintadas a azul, áreas compensatórias. No Quadro 6.9 indicam-se os valores da distância da face do pilar à isotérmica dos 500ºC, a'_{500}, lida no gráfico da Figura A.15 da EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), e os valores, considerados neste estudo, da distância aproximada da face do pilar ao ponto de tangência com a isotérmica, ambos os parâmetros definidos para cada escalão de resistência ao fogo. A camada de betão danificada, a_{500}, é determinada utilizando a Expressão 6.7, deduzida a partir das Expressões 6.4, 6.5 e 6.6.

$$A_{cu} = b_{fi}.h_{fi} \tag{6.4}$$

$$b_{fi} = b - 2a_{500} \tag{6.5}$$

$$h_{fi} = h - 2a_{500} \tag{6.6}$$

O cálculo de a_{500} é, pois, desenvolvido em função dos valores da menor e da maior dimensão da secção transversal do pilar, respetivamente, b e h, da área da secção transversal de betão, A_c, produto destes dois parâmetros, e da área útil da secção de betão, A_{cu}, já corrigida como atrás se indica. Na Figura 6.11 indicam-se as espessuras da camada de betão danificada, a_{500}, definidas para os pilares com as secções transversais indicadas nos Quadros 6.7 e 6.8, para os escalões R60, R90 e R120.

$$a_{500} = \frac{2\ (b+h) - \sqrt{4(-b-h)^2 - 16(A_c - A_{cu})}}{8} \tag{6.7}$$

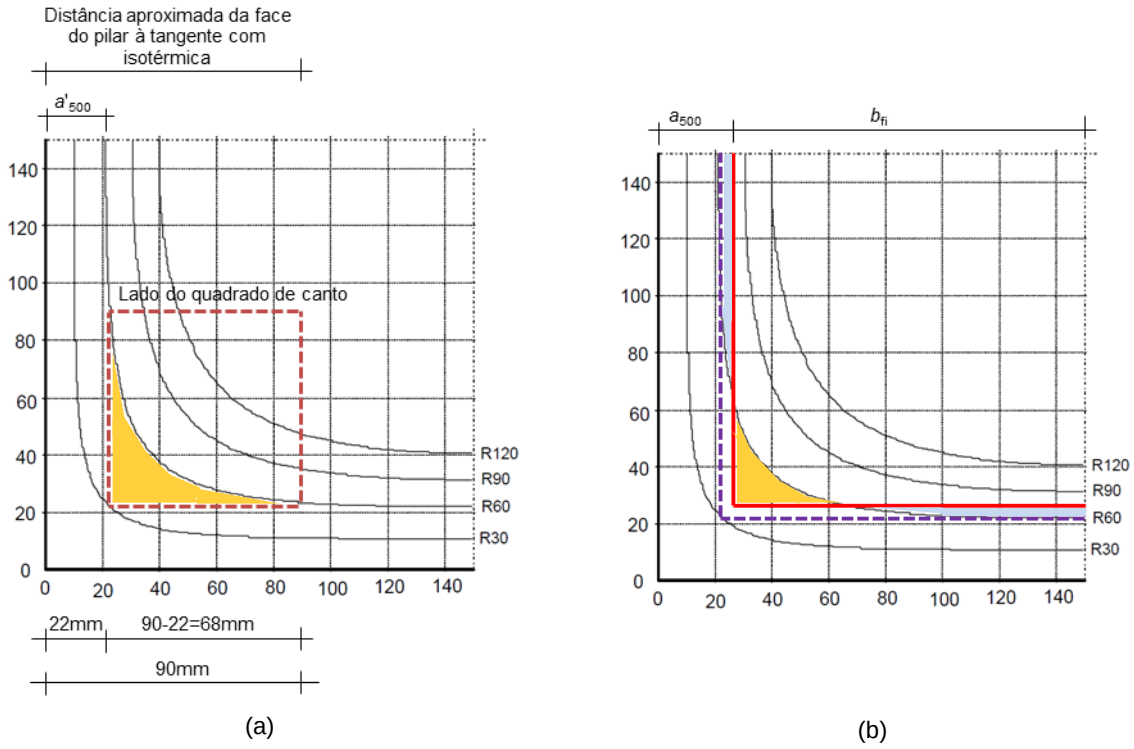


Figura 6.8 - Ilustração da metodologia adotada para o cálculo da área útil num pilar com secção transversal de 300x300mm^2 no escalão R60: (a) Identificação da área em excesso e (b) Definição de a_{500}.

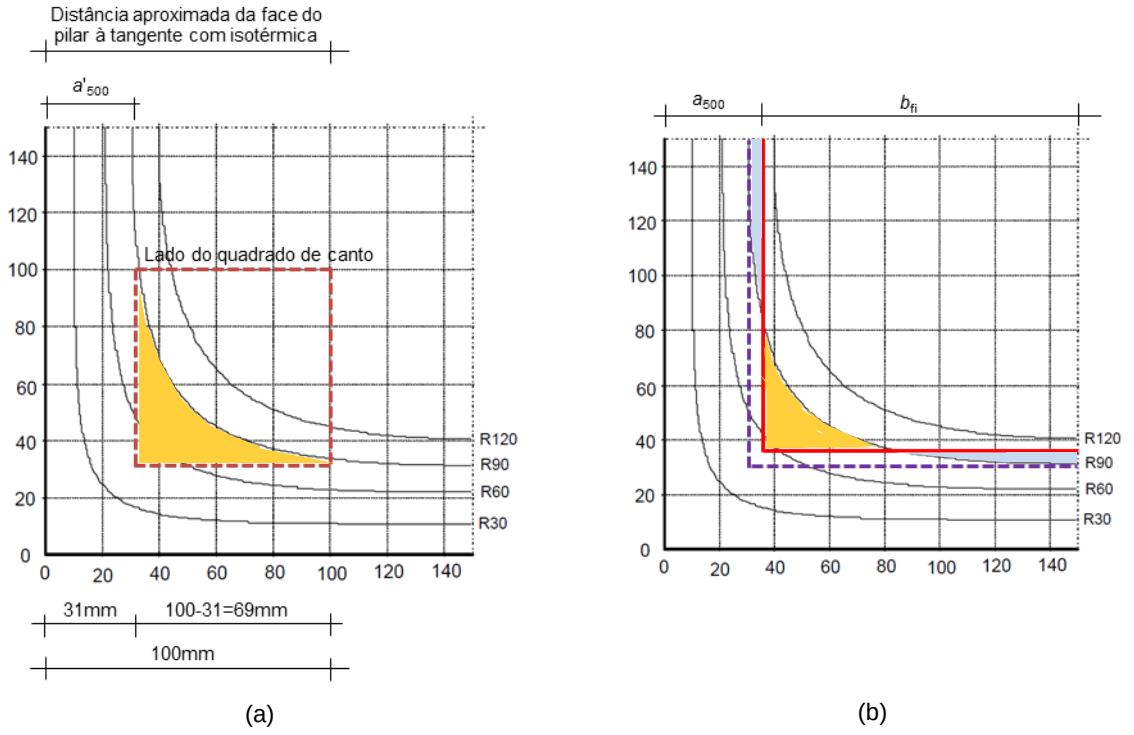


Figura 6.9 - Ilustração da metodologia adotada para o cálculo da área útil num pilar com secção transversal de 300x300mm^2 no escalão R90: (a) Identificação da área em excesso e (b) Definição de a_{500}.

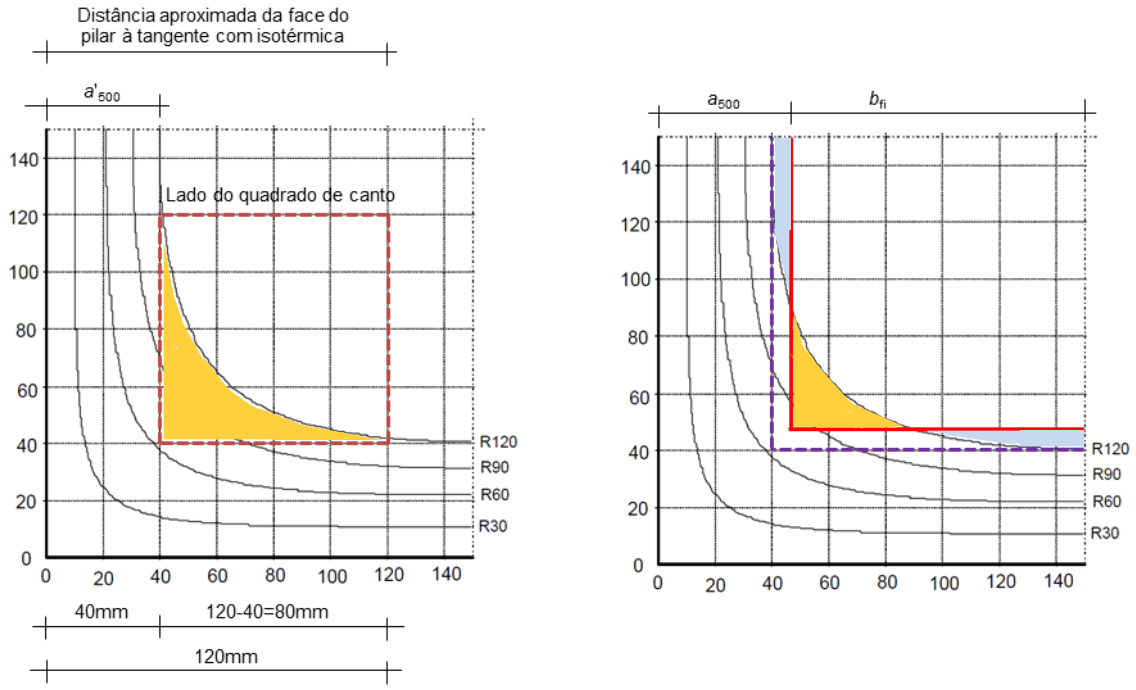


Figura 6.10 - Ilustração da metodologia adotada para o cálculo da área útil num pilar com secção transversal de 300x300mm^2 no escalão R120: (a) Identificação da área em excesso e (b) Definição de a_{500}.

Quadro 6.9 - Distância da face do pilar à isotérmica dos 500ºC, a'_{500}, e distância aproximada da face do pilar ao ponto de tangência com a isotérmica, para os escalões R30, R60, R90 e R120.

Escalão de resistência ao fogo	a'_{500} [mm]	Distância aproximada da face do pilar ao ponto de tangência com a isotérmica [mm]
R30	10	60
R60	22	90
R90	31	100
R120	40	120*
* Nos pilares com b=200mm esta distância foi considerada igual a 100mm		

Para ilustrar este processo apresenta-se o Quadro 6.10, correspondente ao desenvolvido em Excel para o cálculo automático da área útil corrigida, A_{cu}, da camada de betão danificada devido às elevadas temperaturas, a_{500}, e dos valores da menor dimensão do pilar, b_{fi}, e da sua maior dimensão, h_{fi}, em situação de incêndio. Exemplifica-se para um pilar de secção transversal de 300x300mm^2 no escalão R90. Este quadro é aplicável a qualquer secção e a qualquer escalão, sendo inseridos automaticamente nas correspondentes células os valores de a'_{500} e da distância aproximada à tangente com a isotérmica, retirados do Quadro 6.9, para cada escalão de resistência ao fogo.

Quadro 6.10 - Exemplo de cálculo de a_{500}, de b_{fi} e de h_{fi} para um pilar de 300x300mm^2 no escalão R90.

a'_{500} [mm] (1)	b-2a'_{500} [mm] (2)	h-2a'_{500} [mm] (3)	Área útil não corrigida [mm2] (4)=(2)x(3)	Distância aproximada à tangente com a isotérmica [mm] (5)	Lado do quadrado de canto [mm] (6)=(5)-(1)	Área do quadrado de canto [mm2] (7)=(6)^2	Quarto de círculo	
							Raio do círculo (8)=(6)	Área de 1/4 círculo [mm2] (9)
31	238	238	56644	100	69	4761	69	3739,28

Quadro 6.10 - Continuação - Exemplo de cálculo de a_{500}, de b_{fi} e de h_{fi} para um pilar de 300x300mm^2 no escalão R90.

Área parcial em excesso = A(quadrado) - A (1/4 círculo) [mm2] (10)=(7)-(9)	Área total em excesso= área parcial em excesso x4 [mm2] (11)=(10)x4	A_{cu} [mm2] (12)=(4)-(11)	a_{500} [mm] (13)=Expressão 6.7	b_{fi} [mm] (14)=b-2x(13)	h_{fi} [mm] (15)=h-2x(13)
1021,72	4086,88	52557,12	35,4	229,25	229,25

Na Figura 6.11 mostram-se os resultados obtidos para a espessura da camada de betão danificado, a_{500}, e a distância da face do pilar à Isotérmica dos 500ºC, a'_{500}, para os escalões R60, R90 e R120. Observando o gráfico aí apresentado constata-se, como espectável, que o afastamento entre os pontos que representam a_{500} (camada de betão danificado, definida tomando em consideração a correção pelo facto da Isotérmica apresentar os cantos arredondados) e a'_{500} (distância da face do pilar à Isotérmica, dependente apenas do escalão de resistência ao fogo e, portanto, com o mesmo valor para as diferentes secções transversais), é mais significativo nas secções transversais de menores dimensões e, para uma secção transversal, aumenta do menor escalão para o maior.

a_{500} [mm]			
bxh [mm]	R60	R90	R120
200x200	26,8	39,3	51,3
200x300	26,9	36,6	48,5
200x400	25,9	35,4	46,4
200x500	25,3	34,6	45,2
250x250	26,9	36,6	48,5
250x300	26,4	35,9	47,3
250x400	25,6	34,9	45,7
250x500	25,0	34,3	44,7
300x300	25,9	35,4	46,4
300x400	25,3	34,6	45,2
300x500	24,8	34,1	44,4

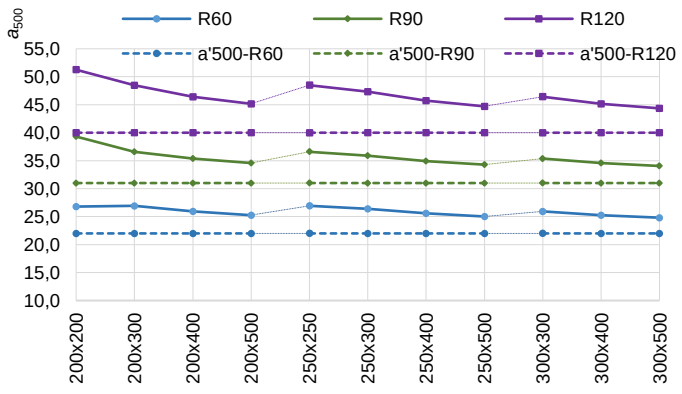


Figura 6.11 - Espessura da camada de betão danificada, a_{500}, definida para as secções transversais dos pilares estudados, para os escalões R60, R90 e R120.

A redução percentual da área da secção transversal (1-A_{cu}/A_c) dos pilares com as dimensões indicadas nos Quadros 6.7 e 6.8, para os escalões de resistência ao fogo R60, R90 e R120, é apresentada na Figura 6.12. Pode concluir-se, pela observação desta figura, que:

∴ Para o escalão R60, a redução da área da secção transversal é sempre inferior a 50%, variando entre 46,4% para o pilar de menores dimensões, e 24,8% para o de maiores dimensões, sendo de 21,6% a diferença entre a maior e a menor redução;

∴ No escalão R90, a redução da área da secção transversal é superior a 50% nas duas secções transversais de menores dimensões, e igual ou inferior a 50% nas restantes, sendo de 30,0% a diferença entre a maior e a menor redução;

∴ No escalão R120, a redução da área da secção transversal só é inferior a 50% nas duas secções transversais de maiores dimensões, sendo de 34,1% a diferença entre a maior e a menor redução;

∴ A variação da redução percentual da área da secção transversal é mais percetível nos maiores escalões de resistência ao fogo (21,6% no escalão R60, 30,0% no escalão R90 e 34,1% no escalão R120).

Redução de área [%]			
bxh [mm]	R60	R90	R120
200x200	46,4	63,2	76,2
200x300	40,1	52,1	65,2
200x400	35,5	46,8	58,9
200x500	32,8	43,6	55,1
250x250	38,5	50,0	62,6
250x300	35,0	45,8	57,5
250x400	30,6	40,5	51,1
250x500	28,0	37,4	47,3
300x300	31,6	41,6	52,3
300x400	27,4	36,4	45,9
300x500	24,8	33,2	42,1

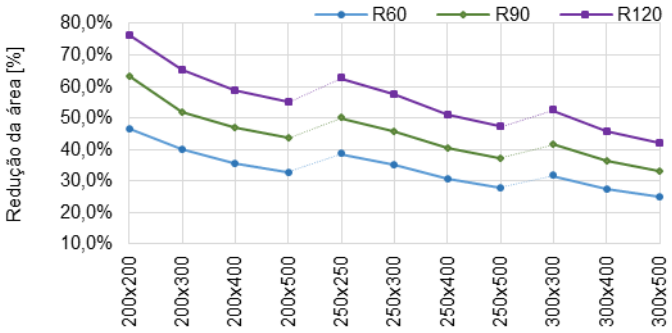


Figura 6.12 - Redução percentual da área da secção transversal de betão, para os escalões R60, R90 e R120.

Para facilitar a perceção dos efeitos das elevadas temperaturas na redução da área útil da secção transversal dos pilares em situação de incêndio, apresentam-se, no Quadro 6.11, as dimensões reduzidas das secções transversais, b_{fi} e h_{fi}, assim como a relação entre a área útil, A_{cu}, e a área à temperatura ambiente, A_c, para os escalões R60, R90 e R120.

Quadro 6.11 - Caraterísticas das secções transversais de betão para pilares nos escalões R60, R90 e R120.

Secção transversal à temperatura ambiente	R60				R90				R120			
bxh [mm]	b_{fi} [mm]	h_{fi} [mm]	a_{500} [mm]	A_{cu}/A_c [%]	b_{fi} [mm]	h_{fi} [mm]	a_{500} [mm]	A_{cu}/A_c [%]	b_{fi} [mm]	h_{fi} [mm]	a_{500} [mm]	A_{cu}/A_c [%]
200x200	146,5	146,5	26,8	53,6%	121,4	121,4	39,3	36,8%	97,5	97,5	51,3	23,8%
200x300	146,1	246,1	26,9	59,9%	126,8	226,8	36,6	47,9%	103,0	203,0	48,5	34,8%
200x400	148,1	348,1	25,9	64,5%	129,3	329,3	35,4	53,2%	107,1	307,1	46,4	41,1%
200x500	149,4	449,4	25,3	67,2%	130,8	430,8	34,6	56,4%	109,6	409,6	45,2	44,9%
250x250	196,1	196,1	26,9	61,5%	176,8	176,8	36,6	50,0%	153,0	153,0	48,5	37,4%
250x300	197,2	247,2	26,4	65,0%	178,2	228,2	35,9	54,2%	155,4	205,4	47,3	42,5%
250x400	198,8	348,8	25,6	69,4%	180,1	330,1	34,9	59,5%	158,5	308,5	45,7	48,9%
250x500	199,9	449,9	25,0	72,0%	181,4	431,4	34,3	62,6%	160,5	410,5	44,7	52,7%
300x300	248,1	248,1	25,9	68,4%	229,3	229,3	35,4	58,4%	207,1	207,1	46,4	47,7%
300x400	249,4	349,4	25,3	72,6%	230,8	330,8	34,6	63,6%	209,6	309,6	45,2	54,1%
300x500	250,4	450,4	24,8	75,2%	231,9	431,9	34,1	66,8%	211,3	411,3	44,4	57,9%

Depois de calculada a secção transversal útil de betão em situação de incêndio, há que determinar os coeficientes de redução das caraterísticas mecânicas do aço das armaduras. Para tal, é definida a temperatura no eixo dos varões recorrendo aos gráficos de perfis de temperaturas apresentados na

EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), nas Figuras A.11 a A.15 para os pilares de secção transversal retangular e na Figuras A.16 a A.20 para os pilares de secção circular, em função do escalão de resistência ao fogo requerido para o pilar e da distância do eixo do varão à face mais próxima sujeita a incêndio, *a*. Este estudo foi desenvolvido para um recobrimento das armaduras de 35mm.

Apresentam-se nos Quadros 6.12 e 6.13 as temperaturas lidas nos referidos gráficos, para os diferentes valores de *a* e escalões de resistência ao fogo. No Quadro 6.12 indicam-se as temperaturas nos eixos dos varões de canto e no Quadro 6.13 as temperaturas no eixo dos varões dispostos nas faces. O posicionamento destes varões é indicado na Figura 6.13.

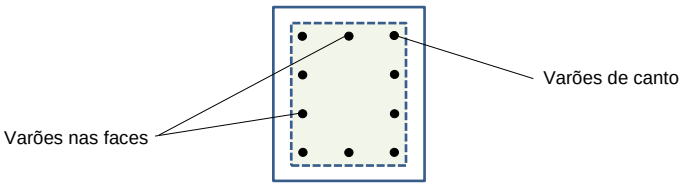


Figura 6.13 - Ilustração das duas situações distintas de posicionamento de varões para a leitura de temperaturas.

Quadro 6.12 - Temperaturas no eixo dos varões de canto.

Varões de canto								
Escalão	*a* [mm]	Temperatura θ [ºC]	Escalão	*a* [mm]	Temperatura θ [ºC]	Escalão	*a* [mm]	Temperatura θ [ºC]
R60	47	410	R90	47	550	R120	47	650
	48	400		48	545		48	645
	49	395		49	540		49	640
	50	390		50	520		50	620
	51	380		51	510		51	610
	54	350		54	480		54	580
	55	340		55	470		55	570

Quadro 6.13 - Temperaturas no eixo dos varões dispostos nas faces.

Varões nas faces da secção de betão								
Escalão	*a* [mm]	Temperatura θ [ºC]	Escalão	*a* [mm]	Temperatura θ [ºC]	Escalão	*a* [mm]	Temperatura θ [ºC]
R60	47	260	R90	47	360	R120	47	450
	48	250		48	350		48	440
	49	240		49	340		49	430
	50	235		50	335		50	425
	51	230		51	330		51	420
	54	210		54	305		54	400
	55	200		55	300		55	390

Os valores reduzidos da tensão limite de proporcionalidade, $f_{sp,\theta}$, da tensão de cedência, $f_{sy,\theta}$, do módulo de elasticidade em regime elástico linear, $E_{s,\theta}$ e da extensão no aço correspondente a uma tensão limite de proporcionalidade, $\varepsilon_{sp,\theta}$, determinados em função da temperatura, θ, no eixo dos varões da armadura longitudinal, são apresentados nas Figuras 6.14 e 6.15, para os varões dispostos nos cantos da secção transversal (v_c) e na face (v_f).

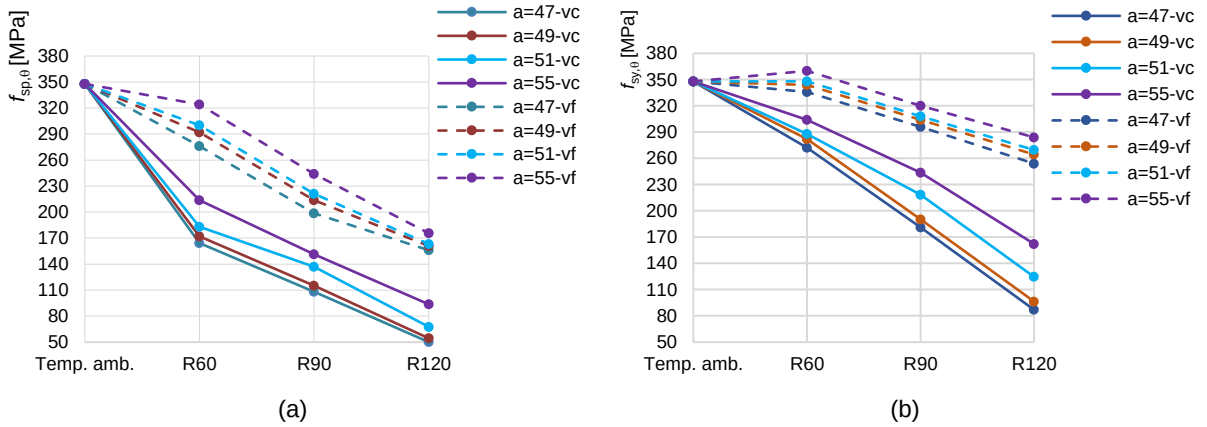


Figura 6.14 - Redução das propriedades mecânicas do aço dos varões da armadura longitudinal, em função da temperatura: (a) Valores reduzidos de $f_{sp,\theta}$ e (b) Valores reduzidos de $f_{sy,\theta}$.

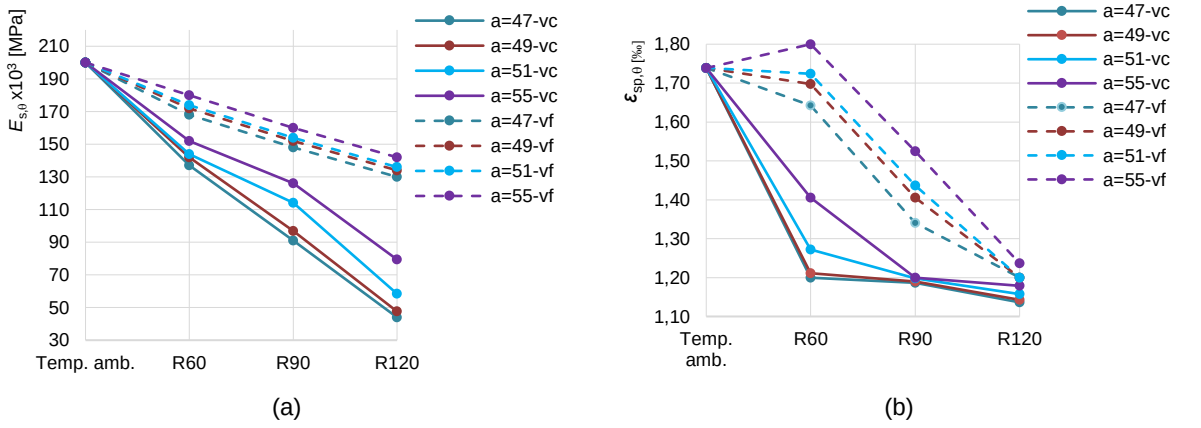


Figura 6.15 - Redução das propriedades mecânicas do aço dos varões da armadura longitudinal, em função da temperatura: (a) Valores reduzidos de $E_{s,\theta}$ e (b) Valores reduzidos de $\varepsilon_{sp,\theta}$.

É de salientar o observado no Gráfico (b) da Figura 6.14, correspondente à redução da tensão de cedência em função da temperatura, $f_{sy,\theta}$, e no Gráfico (b) da Figura 6.15, correspondente à redução da extensão no aço correspondente a uma tensão limite de proporcionalidade em função da temperatura, $\varepsilon_{sp,\theta}$, relativamente às armaduras submetidas a menores valores de temperatura (armaduras na face, para a=55mm, escalão R60). Efetivamente, a redução destes parâmetros é maior à temperatura ambiente, por se considerarem os valores de cálculo e não os valores caraterísticos, do que na situação de incêndio particular referida. No Quadro 6.14 desenvolve-se a justificação para este facto. Como pode observar-se, a extensão no aço correspondente à tensão limite de proporcionalidade, no cálculo de secções à temperatura ambiente, ε_{sp}, corresponde a 87% da razão entre a tensão de cedência, f_{yk} e o módulo de elasticidade, E_s, enquanto para R60 e a=55mm, nos varões dispostos nas faces, $\varepsilon_{sp,\theta}$ corresponde a 90% daquela razão. Consultando o Quadro 3.2a da EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), que indica os valores dos coeficientes de redução das caraterísticas mecânicas do aço a elevadas temperaturas, constata-se que, para temperaturas $\theta \leq 220$ºC, aplicando os coeficientes aí indicados para determinar os valores reduzidos de $f_{sp,\theta}$ e de $E_{s,\theta}$, a razão entre esses dois coeficientes, para essas temperaturas, é sempre superior a 0,87.

Relativamente à tensão de cedência constata-se, recorrendo às expressões indicadas no Subcapítulo 4.2.4.3(1) da referida norma, para determinar o coeficiente de redução em função da temperatura, que esse coeficiente é superior a 0,87 para temperaturas inferiores a 230ºC.

Quadro 6.14 - Comparação dos valores de ε_{sp} e de f_{sy} à temperatura ambiente e à temperatura lida para a=55mm e escalão R60, nos varões dispostos nas faces dos pilares.

<table>
<tr><th colspan="4">Extensão correspondente à tensão limite de proporcionalidade, ε_{sp}</th><th colspan="2">Tensão de cedência, f_{sy}</th></tr>
<tr><th colspan="2">Temperatura ambiente
θ = 20ºC</th><th colspan="2">R60
θ = 200ºC</th><th>Temperatura ambiente
θ = 20ºC</th><th>R60
θ = 200ºC</th></tr>
<tr><td colspan="2">$\varepsilon_{sp}=\frac{f_{yd}}{E_s}$</td><td colspan="2">$\varepsilon_{sp,\theta}=\frac{f_{sp,\theta}}{E_{s,\theta}}$</td><td rowspan="2">$f_{yd}=\frac{f_{yk}}{1{,}15}=0{,}87\,f_{yk}$</td><td rowspan="2">$\frac{f_{sy,\theta}}{f_{yk}}=0{,}9$</td></tr>
<tr><td>$f_{yd}=\frac{f_{yk}}{1{,}15}=0{,}87\,f_{yk}$</td><td>$\frac{E_{s,\theta}}{E_s}=1{,}0$</td><td>$f_{sp,\theta}=0{,}81 f_{yk}$</td><td>$E_{s,\theta}=0{,}9E_s$</td></tr>
<tr><td colspan="2">$\varepsilon_{sp}=\frac{0{,}87\,f_{yk}}{1{,}0E_s}$</td><td colspan="2">$\varepsilon_{sp,\theta}=\frac{0{,}81 f_{yk}}{0{,}9E_s}$</td><td rowspan="2">$f_{yd}=0{,}87\,f_{yk}$</td><td rowspan="2">$f_{sy,\theta}=0{,}9\,f_{yk}$</td></tr>
<tr><td colspan="2">$\varepsilon_{sp}=0{,}87\frac{f_{yk}}{E_s}$</td><td colspan="2">$\varepsilon_{sp,\theta}=0{,}9\frac{f_{yk}}{E_s}$</td></tr>
<tr><td colspan="4">$\theta \le 220°C \Rightarrow \varepsilon_{sp,\theta} > \varepsilon_{sp}$</td><td colspan="2">$\theta < 230°C \Rightarrow f_{sy,\theta} > f_{yd}$</td></tr>
</table>

No Anexo A6 desta dissertação mostra-se uma aplicação prática do processo desenvolvido para cada um dos diagramas de interação desenhados, isto é, um diagrama para cada uma das situações apresentadas nos Quadros 6.7 e 6.8, para os escalões R60, R90 e R120, de modo a poderem compor-se os diagramas finais para a verificação da resistência ao fogo de pilares em betão armado. Os Quadros A6.27 a A6.36 inseridos nesse anexo correspondem aos programados em Excel para este fim, aplicados a um pilar de 30x50 cm^2 com armadura longitudinal constituída por 10 Φ25 e cintas Φ8, em betão C50/60 e aço S400, para o escalão de resistência ao fogo R90. Na Figura A6.11 do mesmo anexo apresenta-se o resultado dessa aplicação.

6.2.3. COMPARAÇÃO DOS DIAGRAMAS DE INTERAÇÃO N_{Rd}/M_{Rd} À TEMPERATURA NORMAL E EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

É expectável que a resistência de um pilar em situação de incêndio e, portanto, sujeito a elevadas temperaturas, seja inferior à sua resistência à temperatura ambiente. Com o intuito de verificar o desfasamento das curvas referentes a estas duas situações, desenharam-se os diagramas adimensionais N_{Rd}/M_{Rd} que se apresentam nas Figuras 6.16 a 6.20, para as secções indicadas no Quadro 6.15, à temperatura ambiente e para o escalão R60, por ser o escalão que conduz a resultados mais próximos dos correspondentes aos obtidos à temperatura ambiente, dos três escalões considerados neste estudo. Nestes diagramas, os valores reduzidos do momento fletor à temperatura ambiente, μ, e em situação de incêndio, μ_{fi}, assim como os valores reduzidos do esforço normal à temperatura ambiente, ν, e em

situação de incêndio, ν_{fi}, são determinados pelas Expressões (6.8) a (6.11), respetivamente. Considerou-se o betão C50/60 e o aço S400.

$$\mu = \frac{M_{Rd}}{bh^2 f_{ck}} \tag{6.8}$$

$$\mu_{fi} = \frac{M_{Rd,fi}}{bh^2 f_{ck}} \tag{6.9}$$

$$\nu = \frac{N_{Rd}}{bhf_{ck}} \tag{6.10}$$

$$\nu_{fi} = \frac{N_{Rd,fi}}{bhf_{ck}} \tag{6.11}$$

Quadro 6.15 - Caraterísticas das secções transversais dos pilares objeto da comparação da resistência à temperatura normal e em situação de incêndio.

Secção transversal [cm^2]	Armadura longitudinal	Cintas	a [mm]
20x20	4Φ12	Φ6	47
20x40	4Φ12	Φ6	47
25x25	4Φ12	Φ6	47
25x25	4Φ16	Φ6	49
25x25	4Φ25	Φ8	55
25x40	4Φ12	Φ6	47
25x40	4Φ16	Φ6	49
30x30	4Φ12	Φ6	47
30x30	4Φ25	Φ8	55
30x40	4Φ12	Φ6	47
30x40	4Φ25	Φ8	55

Apresentam-se também, para as secções de 20x20cm^2 com 4Φ12, Figura 6.16(a) e de 25x40cm^2 com 4Φ16, Figura 6.18(b), os diagramas correspondentes aos escalões R90 e R120, para mostrar o evidente desfasamento entre estas curvas e a desenhada para a temperatura ambiente. Observando os diagramas representados nas Figuras 6.16 a 6.20, pode constatar-se:

- Para as secções de 20x20cm^2 com 4Φ12 e de 20x40cm^2 com 4Φ12, Figura 6.16 (a) e (b), respetivamente, é notório o desfasamento entre a curva desenhada para a temperatura ambiente e a desenhada para o escalão R60, embora a divergência seja substancialmente mais acentuada na primeira, a que apresenta a maior percentagem de armadura. Salienta-se que a temperatura no eixo dos varões é igual nas duas situações (a=47mm);

- Nas três secções quadradas de 25x25cm^2 representadas na Figura 6.17 é também notório o desfasamento entre as curvas à temperatura ambiente e para o escalão R60. Comparando os três gráficos nota-se um ligeiro aumento da discrepância entre as duas curvas, da secção menos armada (com menor percentagem de armadura) e com temperatura mais elevada no eixo dos varões (4Φ12, a=47mm), à secção mais armada (com maior percentagem de armadura) e com temperatura menos elevada no eixo dos varões (4Φ25, a=55mm);

- Nas secções retangulares de 25x40cm^2 representadas na Figura 6.18 a divergência entre as duas curvas ocorre sensivelmente desde o Domínio 3 até ao limite superior do Domínio 5, correspondente à profundidade do eixo neutro $x \leq h_{fi}$. Constata-se, na secção menos armada e

com temperatura mais elevada no eixo dos varões, Gráfico (a) desta figura, que a resistência à temperatura ambiente é ligeiramente inferior à observada no escalão R60, para os maiores valores da profundidade do eixo neutro, como pode ver-se na parte superior deste gráfico;

- Nas secções quadradas de 30x30cm^2 mostradas na Figura 6.19, observa-se o desfasamento entre as duas curvas na secção mais armada e com menor valor da temperatura no eixo dos varões (4Φ25, a=55mm), mas na secção menos armada e com maior valor da temperatura no eixo dos varões (4Φ12, a=47mm)) as curvas são coincidentes na zona do diagrama correspondente à maior profundidade do eixo neutro, no Domínio 6;

- Observando as secções de 30x40cm^2 apresentadas na Figura 6.20 constata-se que a resistência do pilar à temperatura ambiente, nos Domínios 6 e 7 para a secção mais armada e com menor valor da temperatura no eixo dos varões (4Φ25, a=55mm), e em parte do Domínio 4 e nos Domínios 5 e 6 para a secção menos armada e com maior valor da temperatura no eixo dos varões (4Φ12, a=47mm), é inferior à resistência determinada para o escalão R60.

- Comparando as Figuras 6.17(a) e 6.18(a), 25x25-4Φ12 e 25x40-4Φ12 respetivamente, as Figuras 6.19(a) e 6.20(a), 30x30-4Φ12 e 30x40-4Φ12 respetivamente, e as Figuras 6.19(b) e 6.20(b), 30x30-4Φ25 e 30x40-4Φ25 respetivamente, conclui-se que, para o mesmo valor da menor dimensão da secção transversal do pilar, o desfasamento entre as curvas é menor nas secções de maior altura, ocorrendo mesmo situações nestas secções, em que a resistência do pilar, calculada para a temperatura ambiente, é inferior à calculada em situação de incêndio para o escalão R60.

Face aos resultados não expectáveis obtidos, atentou-se, com algum pormenor, às distribuições das deformações admissíveis consideradas para o betão e para o aço, à temperatura ambiente e em situação de incêndio, como se mostra nas Figuras 6.21, 6.22 e 6.23.

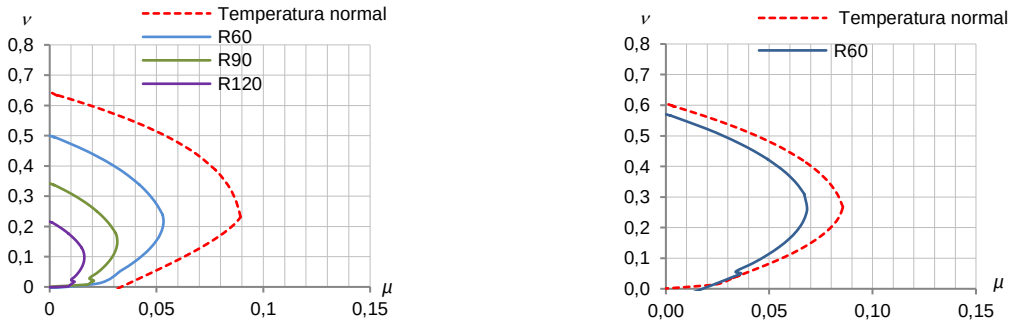
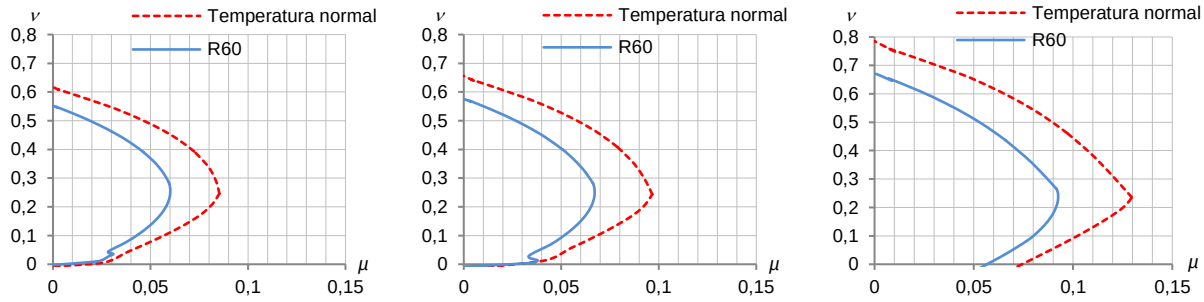
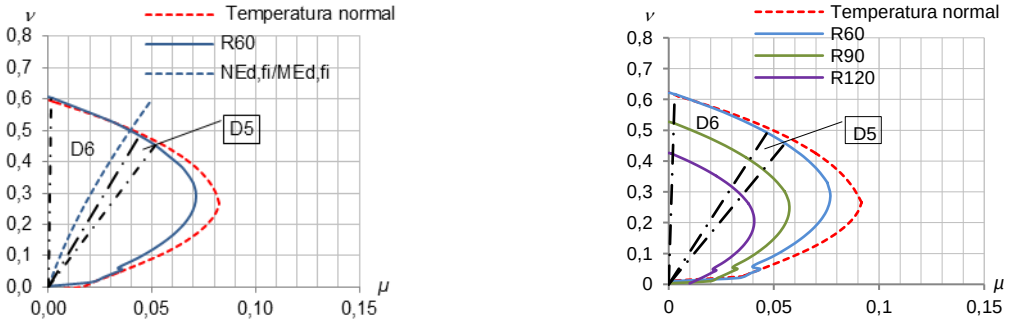


Figura 6.16 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e em situação de incêndio, para as secções: (a) 20x20-4Φ12, a=47mm e (b) 20x40-4Φ12, a=47mm.



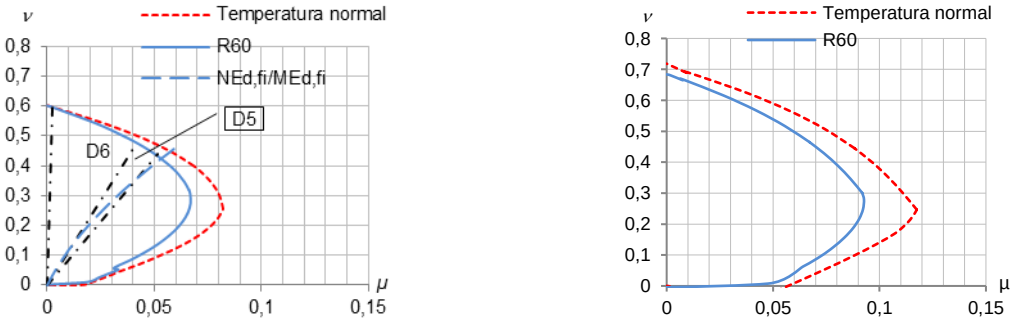
(a) (b) (c)

Figura 6.17 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e em situação de incêndio, para as secções: (a) 25x25-4Φ12, *a*=47mm, (b) 25x25-4Φ16, *a*=49mm e (c) 25x25-4Φ25, *a*=55mm.



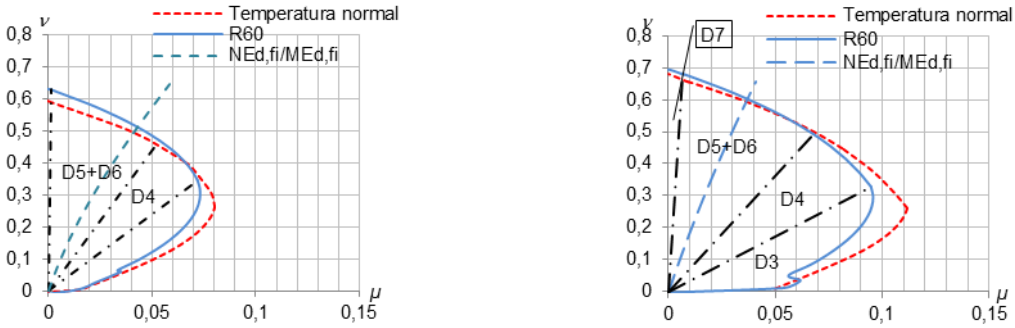
(a) (b)

Figura 6.18 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e em situação de incêndio, para as secções: (a) 25x40-4Φ12, *a*=47mm e (b) 25x40-4Φ16, *a*=49mm.



(a) (b)

Figura 6.19 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e em situação de incêndio, para as secções: (a) 30x30-4Φ12, *a*=47mm e (b) 30x30-4Φ25, *a*=55mm.



(a) (b)

Figura 6.20 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e em situação de incêndio, para as secções: (a) 30x40-4Φ12, *a*=47mm e (b) 30x40-4Φ25, *a*=55mm.

Como já referido, observando-se resultados não expectáveis em algumas secções de pilares, para as quais a resistência à temperatura ambiente é inferior à correspondente a uma situação de incêndio no escalão R60, sobrepuseram-se os diagramas das extensões admissíveis para estas duas situações, considerando pilares com secções transversais de 30x30cm^2 e 30x40cm^2. Nas Figuras 6.21, 6.22 e 6.23 representa-se a variação das extensões no betão e no aço das armaduras, à temperatura ambiente e para o escalão R60, nas duas primeiras, e à temperatura ambiente e para o escalão R120, na última. A Figura 6.21 é representativa da secção quadrangular e as Figuras 6.22 e 6.23 da secção retangular. Nesta duas últimas representaram-se apenas o Domínio 6 e o Domínio 7, onde se verificam, no geral, os maiores desfasamentos entre as curvas à temperatura normal e no escalão R60, com maiores valores da resistência mecânica nesta situação de incêndio. Apresentam-se os diagramas de variação das extensões também para o escalão R120 unicamente como referência, pelo facto da camada de betão danificada apresentar uma espessura superior à determinada para o escalão R60 e, portanto, o desfasamento das linhas que representam a extensão máxima no betão de 3,5‰, ser o mais significativo.

As figuras em questão são válidas para os escalões de resistência ao fogo referidos, já que as dimensões das secções transversais à temperatura normal e em situação de incêndio foram representadas à escala, sendo as dimensões da secção em situação de incêndio constantes para um dado escalão (a espessura da camada de betão danificada, a_{500}, é constante para um escalão). No entanto, para um mesmo escalão, as caraterísticas mecânicas do aço das armaduras apresentam valores distintos, pois dependem da temperatura no eixo dos varões da armadura longitudinal e, assim, da distância do eixo à face do pilar mais próxima sujeita a incêndio, *a*, distância esta dependente do diâmetro dos varões desta armadura e das cintas. A distância *a* é também dependente da espessura do recobrimento, sendo considerada no desenvolvimento deste estudo, como já referido, igual a 35mm.

Nos Quadros A6.16 a A6.25 do Anexo A6 apresentam-se os valores à temperatura normal e os valores reduzidos das extensões no aço, ε'_s e ε_s, referentes a duas secções transversais de pilares tomadas como exemplo, cujos diagramas de interação N_{Rd}/M_{Rd} se apresentaram na Figura 6.17 e na Figura 6.20: uma secção de 25x25cm^2, que apresenta uma resistência mecânica à temperatura ambiente significativamente superior à determinada para o escalão R60, como pode ver-se na Figura 6.17(a), e uma secção de 30x40cm^2, que apresenta uma resistência à temperatura ambiente inferior à calculada para o escalão R60, em parte do Domínio 4 e nos Domínios 5 a 7, como pode observar-se na Figura 6.20(a). Ambas as secções apresentam uma armadura constituída por 4Ø12-Ø6 e, portanto, *a*=47mm. Mostram-se, também no Anexo A6, Quadro A6.26, os coeficientes de redução do módulo de elasticidade, E_s, da tensão de

cedência, f_{sy}, e da tensão limite de proporcionalidade, f_{sp}, devidos às elevadas temperaturas, válidos para armaduras comprimidas e armaduras tracionadas quando $\varepsilon_{s,fi} < 2\%$. Estes coeficientes são válidos para a=47mm e, portanto, aplicáveis a ambas as secções consideradas como exemplo.

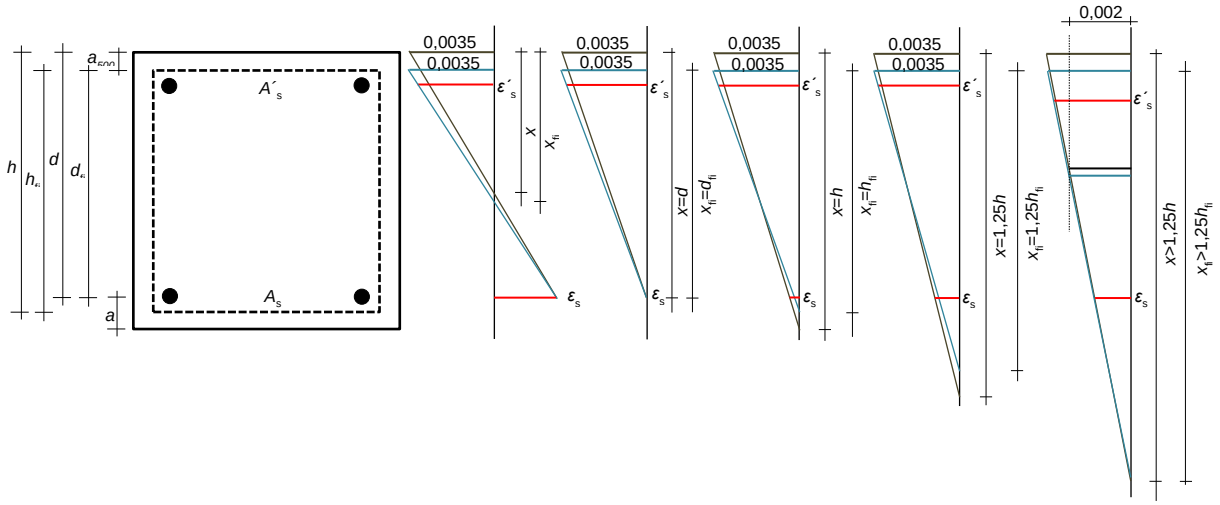


Figura 6.21 - Extensões admissíveis para o betão e para o aço numa secção quadrada de 30x30cm^2 à temperatura ambiente (diagrama a preto) e em situação de incêndio, no escalão R60, (diagrama a azul).

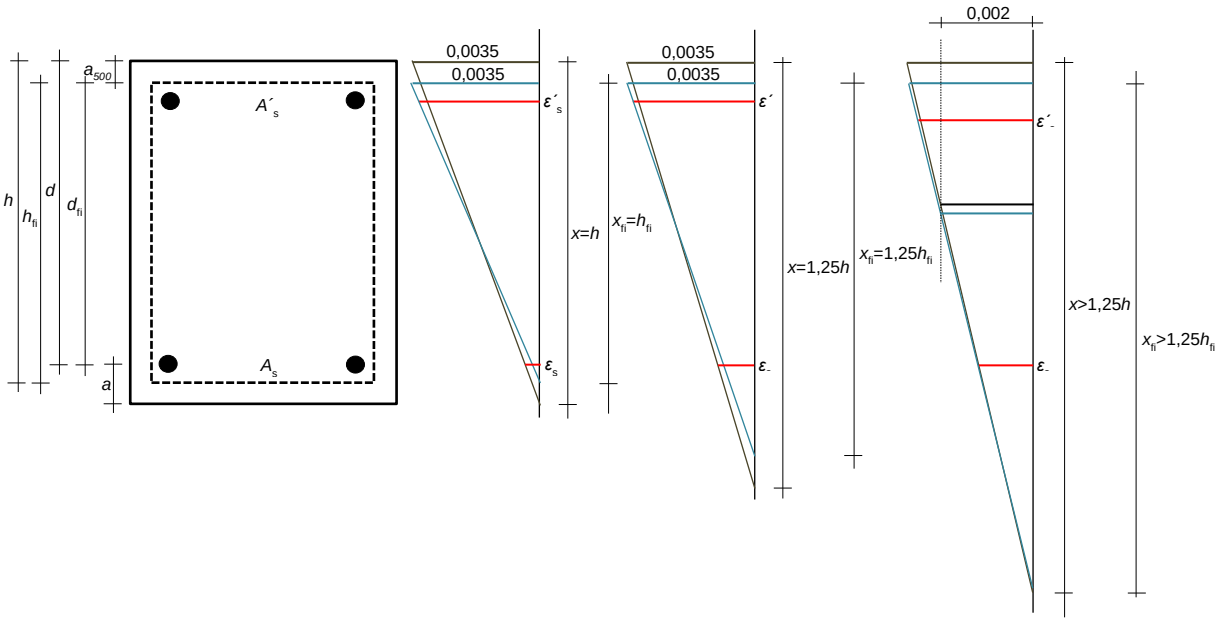


Figura 6.22 - Extensões admissíveis para o betão e para o aço numa secção retangular de 30x40cm^2 à temperatura ambiente (diagrama a preto) e em situação de incêndio, no escalão R60, (diagrama a azul).

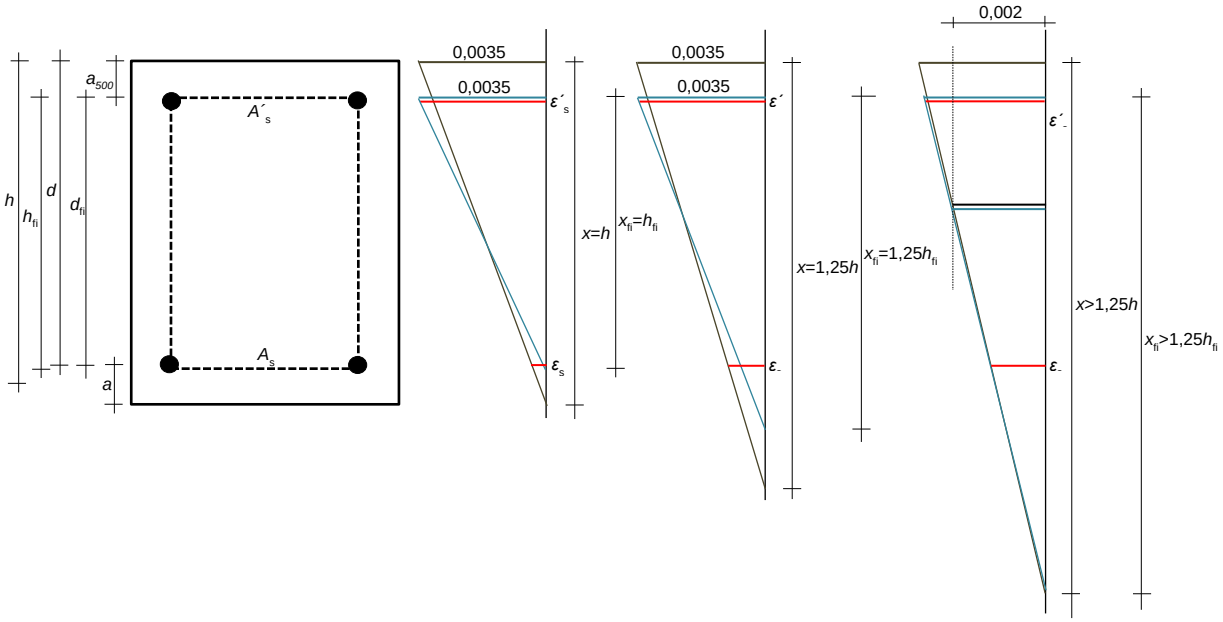


Figura 6.23 - Extensões admissíveis para o betão e para o aço numa secção retangular de 30x40cm^2 à temperatura ambiente (diagrama a preto) e em situação de incêndio, no escalão R120, (diagrama a azul).

Considera-se que esta matéria deve ser objeto de estudo aprofundado a desenvolver no futuro. Apresentam-se, no entanto, alguns pontos que se julga merecerem reflexão:

- É apontado na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) que, utilizando os métodos simplificados (Método da Isotérmica dos 500ºC e Método das Zonas), a secção de betão reduzida, obtida retirando a camada de betão danificada devido às elevadas temperaturas e determinada por um destes métodos, pode ser tratada como uma secção à temperatura ambiente;

- A extensão máxima admissível no betão é de 3,5‰. Em situação de incêndio, essa extensão é considerada na face comprimida da secção útil, a uma distância a_{500} da face à temperatura ambiente, correspondente à espessura da camada de betão danificada. Para o escalão R60, a espessura dessa camada, corrigida como se indicou em 6.2.2.2, varia entre 24,8mm e 26,9mm;

- A redução percentual da secção de betão devido às elevadas temperaturas (A_{cu}/A_c) é mais significativa nas secções de menores dimensões;

- As temperaturas no eixo dos varões de canto da armadura principal para o escalão R60, determinadas em função de *a*, variam entre 340ºC (Φ25) e 410ºC (Φ12), como pode ler-se no Quadro 6.12;

- O coeficiente de redução mais gravoso para as caraterísticas mecânicas do aço corresponde à tensão limite de proporcionalidade, o único abaixo de 50%, sendo os que afetam os restantes parâmetros próximos ou superiores a 70%, como pode observar-se no Quadro 6.16.

Quadro 6.16 - Variação dos coeficientes de redução das caraterísticas mecânicas do aço nas secções tomadas como exemplo, caraterizadas no Quadro 6.15.

Temperatura nos varões θ ºC	$f_{sy,\theta}$ / f_{yk} Armaduras tracionadas se $\varepsilon_{s,fi} \geq 2\%$	$f_{sy,\theta}$ / f_{yk} Armaduras comprimidas e Armaduras tracionadas se $\varepsilon_{s,fi} < 2\%$	$f_{sp,\theta}$ / f_{yk}	$E_{s,\theta}/E_s$
$340 \leq \theta \leq 410$	$0{,}978 \leq f_{sy,\theta} / f_{yk} \leq 1{,}00$	$0{,}687 \leq f_{sy,\theta} / f_{yk} \leq 0{,}760$	$0{,}414 \leq f_{sp,\theta} / f_{yk} \leq 0{,}530$	$0{,}690 \leq E_{s,\theta}/E_s \leq 0{,}760$

- Os Domínios 2 a 4 são definidos pelas extensões máximas no aço e no betão e os Domínios 5 a 7 são definidos por limites da profundidade do eixo neutro. No Quadro 6.17 apresenta-se, de forma resumida, as expressões para o cálculo das tensões na armadura A_s à temperatura ambiente e em situação de incêndio. Neste quadro, ε_{sp} é a extensão correspondente ao limite de proporcionalidade.

Quadro 6.17 - Limites dos parâmetros definidores dos domínios considerados no cálculo dos esforços resistentes.

Domínio	Temperatura ambiente			Em situação de incêndio		
	ε_s	x	σ_s	$\varepsilon_{s,fi}$	x_{fi}	$\sigma_{s,fi}$
2	$0{,}01 \leq \varepsilon_s \leq 0{,}025$	-	f_{yd}	$0{,}02 \leq \varepsilon_{s,\theta} \leq 0{,}15$	-	$f_{sy,\theta}$
3	$\varepsilon_{sp} \leq \varepsilon_s \leq 0{,}01$	-	f_{yd}	$\varepsilon_{sp,\theta} \leq \varepsilon_{s,\theta} \leq 0{,}02$	-	$f_{sp,\theta}$-c+(b/a)[a^2-($\varepsilon_{sy,\theta}$-ε_s)^2]^{0,5}
4	$0 \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sp}$	-	$\varepsilon_s.E_s$	$0 \leq \varepsilon_{s,\theta} \leq \varepsilon_{sp,\theta}$	-	$\varepsilon_s.E_{s,\theta}$
5	$0 \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sp}$	$d \leq x \leq h$	$\varepsilon_s.E_s$	$0 \leq \varepsilon_{s,\theta} \leq \varepsilon_{sp,\theta}$	$d_{fi} \leq x_{fi} \leq h_{fi}$	$\varepsilon_s.E_{s,\theta}$
6	$0 \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sp}$	$h \leq x \leq 1{,}25h$	$\varepsilon_s.E_s$	$0 \leq \varepsilon_{s,\theta} \leq \varepsilon_{sp,\theta}$	$h_{fi} \leq x_{fi} \leq 1{,}25h_{fi}$	$\varepsilon_s.E_{s,\theta}$
7	$0 \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sp}$	$x \geq 1{,}25h$	$\varepsilon_s.E_s$	$0 \leq \varepsilon_{s,\theta} \leq \varepsilon_{sp,\theta}$	$x_{fi} \geq 1{,}25h_{fi}$	$\varepsilon_s.E_{s,\theta}$

- Considerando as expressões apresentadas no Quadro 6.17 determinaram-se os valores das extensões no aço, ε'_s e ε_s, à temperatura normal e em situação de incêndio, referentes a duas secções transversais de pilares com a mesma constituição da armadura, 4Φ12-Φ6, representativas das situação que se pretende comparar, no intuito de compreender o facto não expectável da resistência mecânica no escalão R60 ser superior à correspondente à temperatura ambiente: uma secção de 25x25cm^2, onde a resistência à temperatura ambiente é superior à verificada no escalão R60, e uma secção de 30x40cm^2, onde a resistência à temperatura ambiente é inferior à verificada no escalão R60. No Anexo A6 apresentam-se os valores das extensões para os diferentes valores da profundidade do eixo neutro, para a primeira secção nos Quadros A6.16 a A6.20, e para a segunda secção nos Quadros A6.21 a A6.25. Observando a variação dos valores das extensões apresentados nesses quadros, constata-se não haver discrepâncias significativas quando comparadas as duas situações. Realça-se que as extensões determinadas para os diversos domínios são correspondentes a profundidades do eixo neutro diferentes, pois os limites fixados para cada domínio dependem da temperatura no eixo dos varões, como pode constatar-se da observação do Quadro 6.17. Assim, considera-se pertinente comparar os valores das extensões para a mesma profundidade do eixo neutro.

- As extensões no aço, ε'_s e ε_s, à temperatura normal e em situação de incêndio, na secção de 25x25cm^2 e na secção de 30x40cm^2, para a mesma profundidade do eixo neutro, são apresentadas no Quadro 6.18 e no Quadro 6.19, respetivamente.

Quadro 6.18 - Extensões no aço, ε'_s e ε_s, à temperatura normal e em situação de incêndio, na secção de 25x25cm^2 e armadura 4Φ12-Φ6, para a mesma profundidade do eixo neutro, x.

Profundidade do eixo neutro, x [mm]		Domínio		Extensões no aço das armaduras							
Temperatura ambiente	R60	Temperatura ambiente	R60	Temperatura ambiente				R60			
				θ = 20 [ºC]				θ = 410 [ºC]			
				$\varepsilon_{sp} \le \varepsilon_s \le 0{,}02$				$\varepsilon_{sp,\theta} \le \varepsilon_{s,\theta} \le 0{,}02$			
θ = 20 [ºC]	θ = 410 [ºC]			ε'_s		ε_s		$\varepsilon'_{s,\theta}$		$\varepsilon_{s,\theta}$	
26,2	26,2	D2	D2/D3	0,00277	Tração	0,02360	Tração	0,00082	Compressão	0,020	Tração
30,2	30,2	D2/D3	D3	0,00194	Tração	0,020	Tração	0,00118	Compressão	0,01688	Tração
131,1	131,1	D3	D3/D4	0,00225	Compressão	0,00192	Tração	0,00296	Compressão	0,00120	Tração
135,6	135,6	D3/D4	D4	0,00229	Compressão	0,00174	Tração	0,00298	Compressão	0,00104	Tração
176,1	176,1	D4	D4/D5	0,00257	Compressão	0,00054	Tração	0,00310	Compressão	0,00	-
196,1	196,1	D4	D5/D6	0,00266	Compressão	0,00012	Tração	0,00314	Compressão	0,00036	Compressão
203,0	203,0	D4/D5	D6	0,00269	Compressão	0,00	-	0,00315	Compressão	0,00046	Compressão
245,2	245,2	D5	D6/D7	0,00283	Compressão	0,00060	Compressão	0,00279	Compressão	0,00086	Compressão
250,0	250,0	D5/D6	D7	0,00284	Compressão	0,00066	Compressão	0,00277	Compressão	0,00089	Compressão
312,5	312,5	D6/D7	D7	0,00259	Compressão	0,00107	Compressão	0,00256	Compressão	0,00119	Compressão

Quadro 6.19 - Extensões no aço, ε'_s e ε_s, à temperatura normal e em situação de incêndio, na secção de 30x40cm^2 e armadura 4Φ12-Φ6, para a mesma profundidade do eixo neutro, x.

Profundidade do eixo neutro, x [mm]		Domínio		Extensões no aço das armaduras							
Temperatura ambiente	R60	Temperatura ambiente	R60	Temperatura ambiente				R60			
				θ = 20 [ºC]				θ = 410 [ºC]			
				$\varepsilon_{sp} \le \varepsilon_s \le 0{,}02$				$\varepsilon_{sp,\theta} \le \varepsilon_{s,\theta} \le 0{,}02$			
θ = 20 [ºC]	θ = 410 [ºC]			ε'_s		ε_s		$\varepsilon'_{s,\theta}$		$\varepsilon_{s,\theta}$	
48,8	48,8	D2	D2/D3	0,00044	Tração	0,02124	Tração	0,00194	Compressão	0,020	Tração
51,4	51,4	D2/D3	D3	0,00025	Tração	0,020	Tração	0,00202	Compressão	0,01882	Tração
230,5	230,5	D3/D4	D3	0,00266	Compressão	0,00174	Tração	0,00317	Compressão	0,00148	Tração
244,0	244,0	D4	D3/D4	0,00271	Compressão	0,00145	Tração	0,00319	Compressão	0,00120	Tração
327,7	327,7	D4	D4/D5	0,00291	Compressão	0,00018	Tração	0,00327	Compressão	0,00	-
345,0	345,0	D4/D5	D5	0,00294	Compressão	0,00	-	0,00328	Compressão	0,00018	Compressão
349,4	349,4	D5	D5/D6	0,00295	Compressão	0,00004	Compressão	0,00328	Compressão	0,00022	Compressão
400,0	400,0	D5/D6	D6	0,00302	Compressão	0,00048	Compressão	0,00331	Compressão	0,00063	Compressão
436,8	436,8	D6	D6/D7	0,00306	Compressão	0,00074	Compressão	0,00289	Compressão	0,00076	Compressão
500,0	500,0	D6/D7	D7	0,00312	Compressão	0,00109	Compressão	0,00273	Compressão	0,00098	Compressão

- Comparando o desenvolvimento das extensões ε'_s à temperatura ambiente e em situação de incêndio para o escalão R60, na secção de 25x25cm^2 e na secção de 30x40cm^2 (Quadros 6.18 e 6.19), considerando os domínios definidos para o escalão R60, constata-se que:

  - Até ao limite superior do Domínio 3, exclusive, a armadura A'_s encontra-se em tração à temperatura ambiente e em compressão para R60, na secção de 25x25cm^2. Na secção de 30x40cm^2, à temperatura ambiente a referida armadura encontra-se em tração até 93% da profundidade do eixo neutro no Domínio 3 e em compressão para R60;

- Do limite superior do Domínio 3, inclusive, até ao limite superior do Domínio 6, exclusive, a armadura A'_s encontra-se em compressão nas duas situações, com os valores das extensões, ε'_s, observadas no escalão R60 superiores às correspondentes à temperatura ambiente, para a secção de 25x25cm^2. Situação semelhante ocorre a partir da profundidade do eixo neutro referida no parágrafo anterior, no Domínio 3, até ao limite superior do Domínio 6, exclusive, na secção de 30x40cm^2;

- Do limite superior do Domínio 6, inclusive, e no Domínio 7, a armadura A'_s encontra-se em compressão com valores de ε'_s à temperatura ambiente superiores aos verificados para R60, nas duas secções transversais consideradas;

- Comparando agora o desenvolvimento das extensões ε_s à temperatura ambiente e em situação de incêndio para o escalão R60, nas duas secções, e observando os referidos quadros, constata-se que o tipo de esforço na armadura A_s, assim como o desenvolvimento das extensões, nos diferentes domínios, são semelhantes nas duas secções transversais;

- Constatando-se não ocorrerem variações significativas no tipo de esforço e no desenvolvimento das extensões nas armaduras quando comparadas as duas secções transversais, analisou-se a ordem de grandeza das variações das extensões, como se apresenta no Quadro 6.20. Observando este quadro constata-se que a razão entre as extensões na armadura A'_s ($\varepsilon'_{s,R60}/\varepsilon'_{s,T.A.}$) é maior na secção de 25x25cm^2, exceto nos três últimos patamares, e na armadura A_s a razão entre as extensões,($\varepsilon_{s,R60}/\varepsilon_{s,T.A.}$), é maior na secção de 30x40cm^2, exceto também nos três últimos patamares.

Quadro 6.20 - Variação percentual da razão entre as extensões no aço das armaduras no escalão R60 e as extensões à temperatura normal, na secção de 25x25cm^2 e na secção de 30x40cm^2, ambas com armadura constituída por 4Φ12-Φ6.

Armadura A'_s						Armadura A_s					
25x25 cm^2			30x40 cm^2			25x25 cm^2			30x40 cm^2		
Domínio (T. A.)	Domínio (R60)	$\frac{\varepsilon'_{s,R60}}{\varepsilon'_{s,T.A.}}$	$\frac{\varepsilon'_{s,R60}}{\varepsilon'_{s,T.A.}}$	Domínio (T. A.)	Domínio (R60)	Domínio (T. A.)	Domínio (R60)	$\frac{\varepsilon_{s,R60}}{\varepsilon_{s,T.A.}}$	$\frac{\varepsilon_{s,R60}}{\varepsilon_{s,T.A.}}$	Domínio (T. A.)	Domínio
D2	D2/D3	Tração	Compressão	D2	D2/D3	D2	D2/D3	84,8%	94,1%	D2	D2/D3
D2/D3	D3	Tração	Compressão	D2/D3	D3	D2/D3	D3	84,4%	94,1%	D2/D3	D3
D3	D3/D4	132,0%	119,0%	D3/D4	D3	D3	D3/D4	62,5%	84,9%	D3/D4	D3
D3/D4	D4	130,4%	117,6%	D4	D3/D4	D3/D4	D4	60,0%	82,8%	D4	D3/D4
D4	D4/D5	120,9%	112,2%	D4	D4/D5	D4	D4/D5	0,0%	0,0%	D4	D4/D5
D4	D5/D6	118,1%	111,5%	D4/D5	D5	D4	D5/D6	292,0%	-	D4/D5	D5
D4/D5	D6	117,3%	111,3%	D5	D5/D6	D4/D5	D6	-	493,6%	D5	D5/D6
D5	D6/D7	98,8%	109,6%	D5/D6	D6	D5	D6/D7	142,5%	131,4%	D5/D6	D6
D5/D6	D7	97,5%	94,5%	D6	D6/D7	D5/D6	D7	135,4%	103,3%	D6	D6/D7
D6/D7	D7	99,0%	87,7%	D6/D7	D7	D6/D7	D7	112,0%	90,7%	D6/D7	D7

- Na secção de 30x40cm^2 com armadura constituída por 4Φ12-Φ6, cujos diagramas de interação se apresentam na Figura 6.20(a), o esforço normal resistente calculado para o escalão R60, no limite superior do Domínio 4, é 3,9% maior que o determinado à temperatura ambiente, no limite superior do Domínio 5 é 4,9% maior e no limite superior do Domínio 6 é 6,9% maior, como pode ver-se no Quadro 6.21. Neste quadro, os domínios são definidos em situação de incêndio e os esforços resistentes à temperatura ambiente e no escalão R60 foram determinados considerando o mesmo valor do momento resistente e, portanto, para profundidades do eixo neutro diferentes.

Quadro 6.21 - Esforços normais resistentes à temperatura ambiente e no escalão R60, para valores iguais dos correspondentes momentos resistentes, numa secção de 30x40cm^2 e armadura 4Φ12-Φ6.

Secção de 30x40cm^2 e armadura 4Φ12-Φ6						
Esforços resistentes nos limites superiores dos domínios definidos em situação de incêndio						
Domínio em situação de incêndio	Temperatura ambiente	R60		Temperatura ambiente	R60	
	N_{Rd} [kN]	$N_{Rd,fi}$ [kN]	$N_{Rd,fi}/N_{Rd}$	M_{Rd} [kN]	$M_{Rd,fi}$ [kN]	$M_{Rd,fi}/M_{Rd}$
D4	2720,29	2827,59	1,039	128,66	128,64	1,00
D5	2878,95	3018,64	1,049	109,78	109,90	1,00
D6	3535,13	3780,17	1,069	3,22	3,22	1,00
Limite superior de $N_{Ed,fi}$	2952	3060	1,037	103,2	103,2	1,00

- Na Figura 6.24 mostram-se os alinhamentos considerados para o cálculo dos aumentos percentuais dos esforços normais resistentes referidos no parágrafo anterior. Como pode observar-se, esses alinhamentos correspondem aos dos conjuntos de valores $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ nos limites superiores dos Domínios 4, 5 e 6, domínios estes definidos para o escalão R60. Para o esforço normal atuante máximo, $N_{Ed,fi,máx}$, o esforço normal resistente determinado para o escalão R60 é 3,7% superior ao correspondente à temperatura ambiente. Os valores destes parâmetros são apresentados no Quadro 6.21.

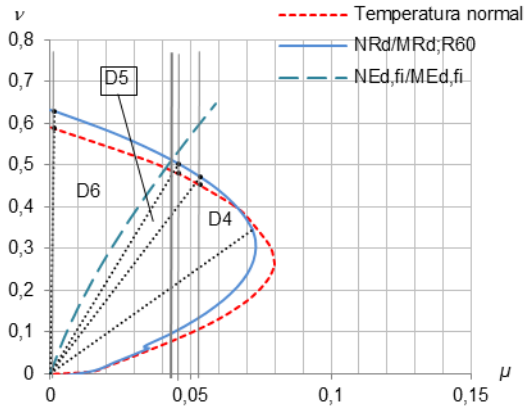


Figura 6.24 - Alinhamentos considerados para o cálculo dos aumentos percentuais dos esforços normais resistentes no escalão R60 relativamente aos correspondentes à temperatura ambiente, na secção de 30x40cm^2 com armadura constituída por 4Φ12-Φ6.

Os considerandos expostos não permitem, por si só, justificar o facto de se constatar que, em algumas secções de pilares, a resistência mecânica em situação de incêndio (no escalão R60) é superior à resistência mecânica à temperatura normal, quando consideradas algumas das metodologias apontadas na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) para o cálculo da resistência mecânica em situação de incêndio. Assim, esta matéria deve ser objeto de estudo mais aprofundado a desenvolver no futuro, podendo tomar-se como referência, para esse estudo, os aspetos já tratados e acima apresentados.

6.3. DIAGRAMAS DE INTERAÇÃO $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$

6.3.1. INTRODUÇÃO

Os pilares são elementos estruturais cujo comportamento é significativamente afetado pelos efeitos de segunda ordem. Por este facto, na quantificação dos esforços máximos atuantes, deve tomar-se em consideração, não só os efeitos das imperfeições geométricas, como também estes efeitos, mais expressivos em situação de incêndio devido à redução da secção transversal por não se considerar a camada de betão danificada devido às elevadas temperaturas.

São apontados, na EN 1992-1-1 (EC2-1-1, 2010), diferentes métodos para quantificar os esforços atuantes considerando os efeitos referidos, nomeadamente o método geral, o método baseado numa curvatura nominal e o método baseado numa rigidez nominal. Os dois últimos são métodos simplificados.

O método geral, aplicável a qualquer tipo de elemento estrutural ou estrutura, permite um cálculo mais rigoroso dos efeitos de segunda ordem. Aplicam-se as regras gerais da análise não linear, havendo que estabelecer as condições de equilíbrio na estrutura deformada e considerar o comportamento não linear dos materiais, isto é, proceder à análise não linear da estrutura tendo em conta a não linearidade geométrica e a não linearidade física dos materiais. É um método de aplicação complexa e morosa, justificando-se a sua utilização apenas em situações particulares que o justifiquem.

O método baseado numa curvatura nominal é adequado essencialmente para determinar os esforços atuantes máximos de pilares isolados, sujeitos a uma força normal constante e com um comprimento efetivo definido, l_0. O valor máximo do momento fletor atuante, M_{Ed}, obtém-se considerando as distribuições do momento de primeira ordem, onde se inclui o efeito das imperfeições geométricas, $M_{0\mathrm{Ed}}$, e o efeito do momento nominal de segunda ordem, M_2, cuja distribuição pode ser considerada parabólica ou sinusoidal, ao longo do comprimento efetivo. O momento M_2 é calculado tomando por base um deslocamento que se baseia no comprimento efetivo e uma encurvadura máxima estimada de acordo com disposições apontadas na norma em questão.

O método baseado na rigidez nominal pode ser utilizado quer para pilares isolados quer para a totalidade da estrutura, desde que os valores nominais da rigidez sejam adequadamente avaliados. Como é mencionado nesta norma, numa análise de segunda ordem baseada na rigidez, devem ser utilizados os valores nominais da rigidez de flexão tendo em conta os efeitos da fendilhação, da não linearidade dos materiais e da fluência no comportamento global, assim como, neste caso, aplicar estes mesmos princípios aos elementos adjacentes que intervêm na análise, nomeadamente vigas, lajes ou fundações.

No desenvolvimento desta dissertação e no âmbito da quantificação dos esforços máximos atuantes em situação de incêndio (esforço normal e momento fletor), considerando não só as imperfeições geométricas, mas também os efeitos de segunda ordem, recorrer-se-á ao método baseado numa rigidez nominal, por ter sido constatado em estudos publicados, nomeadamente por Chichorro Gonçalves (Gonçalves, M.C., 2007), que a aplicação deste método conduz a resultados significativamente menos conservativos e mais assertivos, quando comparados com modelos avançados de cálculo, que o método baseado numa curvatura nominal.

Nos Quadros A6.48 a A6.52 do Anexo A6 apresenta-se o desenvolvimento do cálculo para o desenho do diagrama $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$ do pilar já tomado como exemplo para o diagrama correspondente aos esforços resistentes: um pilar de 30x50 cm^2 com armadura longitudinal constituída por 10Φ25 e cintas Φ8, em betão C50/60 e aço S400, para o escalão de resistência ao fogo R90. Considerou-se o comprimento real do pilar l=3,0m, por corresponder ao comprimento mais comum destes elementos estruturais nos edifícios correntes analisados e um recobrimento de 35mm.

6.3.2. QUANTIFICAÇÃO DO MOMENTO DE CÁLCULO ATUANTE, $M_{Ed,fi}$

A aplicação do método baseado numa rigidez nominal pressupõe uma avaliação adequada dos valores nominais da rigidez. O momento de cálculo resultante é utilizado para o cálculo das secções transversais à flexão (considerando o momento fletor e o esforço normal).

Pela utilização deste método, sucintamente descrito no ponto anterior, o momento de cálculo total em situação de incêndio, $M_{Ed,fi}$, incluindo o momento de segunda ordem, poderá ser expresso como uma majoração do valor do momento fletor resultante de uma análise de primeira ordem, de acordo com a Expressão (6.12).

$$M_{Ed,fi} = M_{0Ed,fi} \cdot \left[1 + \frac{\beta}{\left(N_B / N_{Ed,fi} \right) - 1} \right] \tag{6.12}$$

Em que:

- $M_{0Ed,fi}$ momento de primeira ordem em situação de incêndio, incluindo o efeito das imperfeições geométricas;
- β coeficiente que depende da distribuição dos momentos de primeira e de segunda ordem;
- $N_{Ed,fi}$ valor de cálculo do esforço normal, em situação de incêndio;
- N_B carga de encurvadura baseada na rigidez nominal.

6.3.2.1. CÁLCULO DO MOMENTO DE PRIMEIRA ORDEM, $M_{0Ed,fi}$

O momento de primeira ordem em situação de incêndio, $M_{0Ed,fi}$, determinado pela Expressão (6.13), deve englobar o momento inicial, devido a combinações de ações que provoquem este tipo de esforço, e o momento devido às imperfeições geométricas. Para elementos isolados, o efeito das imperfeições poderá ser considerado como uma excentricidade, e_i, obtida pela Expressão (6.14), calculada em função da inclinação representativa das imperfeições, θ_i, e do comprimento efetivo, l_0.

$$M_{0Ed,fi} = M_0 + N_{Ed,fi}.e_i \tag{6.13}$$

$$e_i = \theta_i . l_0 / 2 \tag{6.14}$$

Sendo:

- M_0 momento inicial;
- e_i excentricidade devida às imperfeições geométricas;
- θ_i inclinação representativa das imperfeições;
- l_0 comprimento efetivo.

A inclinação representativa das imperfeições, θ_i é determinada pela aplicação da Expressão (6.15) e o parâmetro l_0, correspondente ao comprimento efetivo de elementos comprimidos de pórticos regulares, é determinado pela Expressão (6.16) para elementos contraventados e pela Expressão (6.17) para elementos não contraventados. No trabalho desenvolvido nesta dissertação os pilares foram considerados como elementos contraventados.

$$\theta_i = \theta_0 . \alpha_h . \alpha_m \tag{6.15}$$

$$l_0 = 0{,}5 l . \sqrt{\left(1 + \frac{k_1}{0{,}45 + k_1}\right) . \left(1 + \frac{k_2}{0{,}45 + k_2}\right)} \tag{6.16}$$

$$l_0 = l . máx \left\{ \sqrt{\left(1 + 10 . \frac{k_1 . k_2}{k_1 + k_2}\right)} ; \left(1 + \frac{k_1}{1 + k_1}\right) . \left(1 + \frac{k_2}{1 + k_2}\right) \right\} \tag{6.17}$$

Sendo:

- θ_0 valor básico da inclinação representativa das imperfeições: θ_0 =1/200;
- α_h coeficiente de redução relativo ao comprimento ou à altura: $\alpha_h = 2/\sqrt{l}$; $2/3 \leq \alpha_h \leq 1$; l corresponde ao comprimento real do elemento;
- α_m coeficiente de redução relativo ao número de elementos: $\alpha_m = \sqrt{0{,}5(1 + 1/m)}$; efeito num pilar isolado $\rightarrow m$=1;
- k_1, k_2 flexibilidades relativas dos encastramentos parciais das extremidades 1 e 2, respetivamente; $k = (\theta/M).(EI/l)$;

θ rotação dos elementos que se opõem à rotação para o momento fletor M;
EI rigidez de flexão do elemento comprimido;
l altura livre do elemento comprimido entre ligações de extremidade.

Quando se pretende analisar a conformidade dos pilares basta verificar, num diagrama que represente a curva de variação da sua resistência para os diferentes domínios das extensões do betão e do aço, e a curva que limita os esforços atuantes considerando os efeitos das imperfeições geométricas e os efeitos de segunda ordem (Figura 6.1), se os esforços de cálculo (esforço axial e momento fletor) caem na área do diagrama definido por estas duas curvas. No desenho dos diagramas dos esforços atuantes considerou-se, na Expressão (6.13), o momento inicial, M_0 igual a zero.

No parágrafo (4) do subcapítulo 6.1 da EN 1992-1-1 (EC2-1-1, 2010) é preconizado que, para secções com armaduras simétricas sujeitas a um esforço de compressão (situação das secções transversais dos pilares correntes), se considere uma excentricidade mínima e_0=h/30, mas não inferior a 20mm, em que h é a maior dimensão da secção transversal. Assim, para pilares com $h \leq 600$mm, a excentricidade mínima a considerar é sempre e_0=20mm. Constatou-se, no desenvolvimento deste estudo, que os valores das excentricidades calculadas pela aplicação da Expressão 6.14 aos pilares analisados, caraterizados no Capítulo 3, foram sempre inferiores àquele valor mínimo.

6.3.2.2. CÁLCULO DOS PARÂMETROS INTERVENIENTES NA MAJORAÇÃO DO MOMENTO $M_{0Ed,fi}$

No parágrafo anterior indicou-se o procedimento de cálculo seguido para quantificar o momento de primeira ordem, $M_{0Ed,fi}$, parâmetro que consta na Expressão (6.12) para o cálculo do momento $M_{Ed,fi}$. Apresenta-se, agora, o procedimento seguido para a quantificação dos restantes parâmetros que constam na referida expressão, isto é, o coeficiente que depende da distribuição dos momentos de primeira e de segunda ordem, β, e a carga de encurvadura baseada na rigidez nominal, N_B.

Para pilares isolados de secção transversal constante e solicitados por um esforço normal constante, poderá admitir-se que o momento de segunda ordem tem uma distribuição sinusoidal, pelo que o coeficiente β pode ser calculado pela Expressão (6.18).

$$\beta = \pi^2 / c_0 \tag{6.18}$$

Sendo:

c_0 coeficiente que depende da distribuição do momento de primeira ordem:
c_0 = 8, para um momento de primeira ordem constante;
c_0 = 9,6, para uma distribuição parabólica daquele momento;
c_0 = 12, para uma distribuição triangular simétrica.

Adotar-se-á, no desenvolvimento deste trabalho, c_0=9,6, pelo facto do momento de primeira ordem apresentar uma distribuição parabólica.

A carga de encurvadura baseada na rigidez nominal, N_B, é calculada pela aplicação da Expressão (6.19), em função da rigidez nominal à flexão da secção transversal e do comprimento efetivo do pilar

.

$$N_B = (\pi^2 EI)/l_0^2 \quad (6.19)$$

A rigidez nominal, *EI*, pode ser estimada utilizando o modelo previsto na EN 1992-1-1 (EC2-1-1, 2010), Expressão (6.20), isto é, somando a rigidez determinada para a secção transversal de betão e a rigidez dos varões em aço da armadura principal, afetados de coeficientes K_c e K_s, respetivamente. Considera-se apenas a redução das caraterísticas mecânicas do aço já que, pela aplicação do Método da Isotérmica dos 500ºC, é tomada a secção transversal de betão reduzida, não afetada pelas elevadas temperaturas.

$$EI = K_c E_{cd} I_c + K_s E_{s,\theta} I_s \quad (6.20)$$

Sendo:

- K_c coeficiente que toma em conta os efeitos da fendilhação, da fluência, da taxa geométrica das armaduras, da esbelteza, entre outros, determinado pela Expressão (6.21) desde que $\rho \geq 0{,}002$, situação verificada nos pilares correntes;
- E_{cd} valor de cálculo do módulo de elasticidade do betão;
- I_c momento de inércia da secção transversal útil de betão em relação ao seu centro de gravidade;
- K_s coeficiente que toma em conta a contribuição das armaduras; K_s=1 quando $\rho \geq 0{,}002$;
- $E_{s,\theta}$ valor de cálculo do módulo de elasticidade do aço das armaduras, em situação de incêndio;
- I_s momento de inércia das armaduras, em relação ao centro de gravidade da área útil do betão.
- ρ taxa geométrica de armaduras, $\rho = A_s/A_{cu}$.

$$K_c = k_1 k_2 / (1 + \varphi_{ef}) \quad (6.21)$$

Sendo:

- k_1 coeficiente que depende da classe de resistência do betão; determinado pela Expressão (6.22);
- k_2 coeficiente que depende do esforço normal e da esbelteza, determinado pela Expressão (6.23);
- φ_{ef} coeficiente de fluência efetivo, determinado pela Expressão (6.24).

$$k_1 = \sqrt{f_{ck}/20}\ [\text{MPa}]; \quad (6.22)$$

$$k_2 = n.\frac{\lambda}{170} \leq 20\ [\text{MPa}]; \quad (6.23)$$

Sendo:

- n esforço normal reduzido; $n=N_{Ed,fi}/(A_{cu}.f_{ck})$; em situação de incêndio considera-se o valor caraterístico da tensão, f_{ck}, em vez de f_{cd};
- λ coeficiente de esbelteza.

$$\varphi_{ef} = \varphi_{(\infty,t0)}.M0_{Eqp}/M0_{Ed} \quad (6.24)$$

Sendo:

- $\varphi_{(\infty,t0)}$ valor final do coeficiente de fluência, determinado pela consulta dos gráficos da Figura 3.1 da EN 1992-1-1 (EC2-1-1, 2010);

M_{0Eqp} momento fletor de primeira ordem na combinação de ações quase-permanente (SLS, estado limite de utilização);

M_{0Ed} momento fletor de primeira ordem na combinação de ações de cálculo (ULS, estado limite último).

Considerou-se, no presente estudo, a razão M_{0Eqp}/M_{0Ed}=0,65, por corresponder ao valor do quociente entre estes dois momentos considerando as combinações das ações em edifícios correntes.

6.3.3. EFEITO DAS CARATERÍSTICAS DAS VIGAS DE TRAVAÇÃO NO DESENHO DOS DIAGRAMAS DE INTERAÇÃO $N_{Ed,fi}$ /$M_{Ed,fi}$

O comprimento efetivo, l_0, é um parâmetro que intervém na quantificação da excentricidade devida às imperfeições geométricas, e_i, e na quantificação da carga de encurvadura baseada na rigidez nominal, N_B, quando se pretende determinar o momento atuante, $M_{Ed,fi}$.

O cálculo do comprimento efetivo utilizando a Expressão (6.16) para elementos contraventados e a Expressão (6.17) para elementos não contraventados, é função de *k*, parâmetro que toma em consideração as flexibilidades relativas dos encastramentos parciais das extremidades do pilar. Assim, incluiu-se, no cálculo deste parâmetro, a rigidez dos tramos de viga contidos no plano de flexão considerado e que concorrem no nó em questão, resultando a Expressão (6.25). Pretendendo-se definir diagramas aplicáveis quer a pilares intermédios quer a pilares de topo, considerou-se esta última situação por corresponder à mais desfavorável, facto que se reflete nesta expressão.

$$k = \frac{\left(\frac{EI}{l}\right)_{pilar}}{\left(2\frac{EI}{l}\right)_{vigas}} \tag{6.25}$$

A rigidez das vigas depende das dimensões da sua secção transversal e do seu comprimento. No sentido de facilitar a verificação da resistência ao fogo dos pilares utilizando o método que se propõe nesta dissertação, apresentado no Capítulo 7, foram arbitradas as dimensões das vigas de travação, depois de proceder a um estudo no sentido de verificar as consequências desta opção no desenvolvimento dos diagramas de interação. Considerou-se, no entanto, a largura das vigas igual à dimensão do pilar na direção do travamento. Nas Figuras 6.25 e 6.26 apresentam-se quatro exemplos elucidativos dos resultados obtidos.

Desenharam-se os diagramas dos esforços atuantes considerando quatro situações distintas para a altura das vigas e respetivos vãos, de modo a serem verosímeis. Assim, para cada valor da largura da viga, considerou-se a altura de 40cm e vão de 5m, a altura de 50cm e vãos de 5m e 7m, e a altura de 60cm e vão de 7m. Nas legendas das referidas figuras, o primeiro valor corresponde à largura da secção transversal da viga, b_v, o segundo à altura, h_v, e o terceiro ao vão, l_v, o que leva a uma referência "b_v x h_v - l_v". Por exemplo, na Figura 6.25(a), 20x50-5 corresponde a uma viga com 20cm de largura, 50cm de altura e um vão de 5m.

Constatou-se que as únicas situações em que se observa um ligeiro desfasamento entre as curvas $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$ correspondem aos pilares no escalão R60, quando se consideram as vigas de travação com uma altura de 40cm e o vão de 5m, como pode ver-se na Figura 6.26. Além da divergência das curvas ser pouco significativa, esta situação não é das mais frequentes nas estruturas dos edifícios correntes.

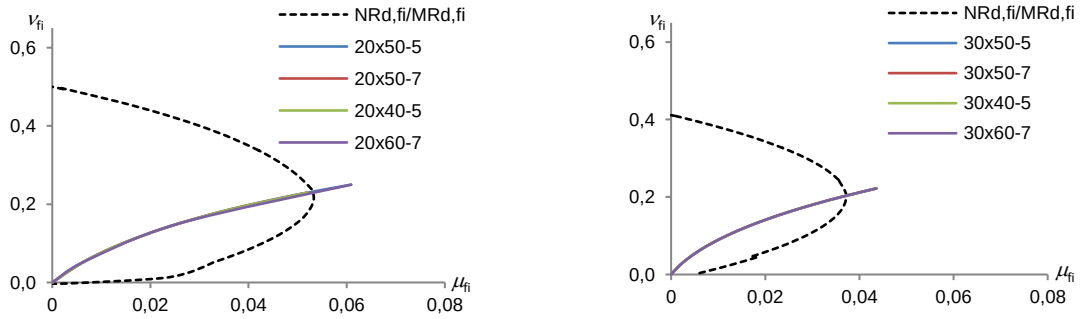


Figura 6.25 - Variação dos diagramas de interação $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$ em função das dimensões da secção transversal e vão das vigas de travação: (a) Pilar de 20x20cm^2-4Φ12-Φ6 e vigas com b=20cm, no escalão R60 e (b) Pilar de 30x30cm^2-4Φ12-Φ6 e vigas com b=30cm, no escalão R120.

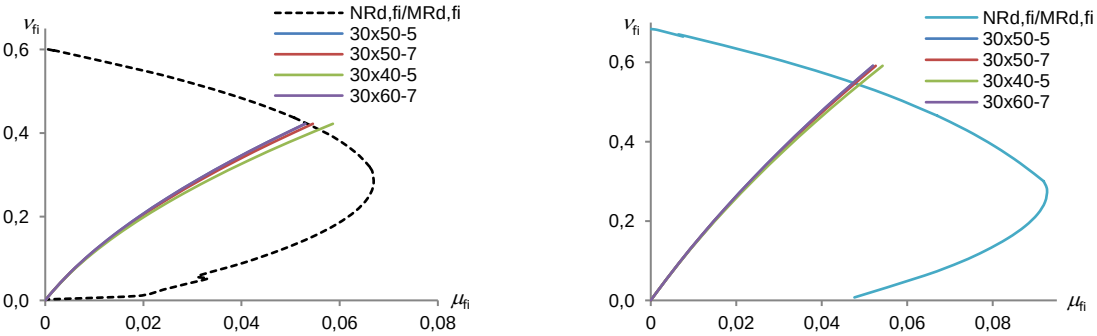


Figura 6.26 - Variação dos diagramas de interação $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$ em função das dimensões da secção transversal e vão das vigas de travação: (a) Pilar de 30x30cm^2-4Φ12-Φ6 e vigas com b=30cm, no escalão R60 e (b) Pilar de 30x30cm^2-4Φ25-Φ8 e vigas com b=30cm, no escalão R60.

Pode pois concluir-se que as dimensões da secção transversal e os vãos das vigas de travação a considerar no cálculo dos momentos devidos às imperfeições geométricas e aos efeitos de segunda ordem, não interferem significativamente no desenho dos diagramas de interação dos esforços atuantes em situação de incêndio, para pilares de betão armado em edifícios correntes. Salienta-se que, nos edifícios correntes, a altura dos pilares é de 3m.

No desenvolvimento deste trabalho consideraram-se as vigas de travação com a largura igual à dimensão do pilar na direção do travamento, a altura de 50cm e o vão de 5m, por corresponder a uma situação frequente.

6.3.4. VARIAÇÃO DOS DIAGRAMAS $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$ COM A CLASSE DE RESISTÊNCIA DO BETÃO

Os valores dos esforços atuantes em situação de incêndio, $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$, variam em função da classe de resistência do betão. No sentido de tornar expeditos e abrangentes os gráficos que se propõem, neste trabalho, para a verificação da resistência ao fogo de pilares em betão armado normal (classe de resistência mecânica até C50/60), adota-se o seu desenvolvimento considerando, para o cálculo dos esforços resistentes, $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$, o betão C50/60, com as consequências que serão apresentadas detalhadamente no Capítulo 7. Estudar-se-ão, agora, as consequências da adoção desta classe de resistência no desenvolvimento dos esforços atuantes.

Na Figura 6.27 mostram-se as variações, em função da classe de resistência mecânica do betão, dos diagramas adimensionais de interação correspondentes aos esforços atuantes em situação de incêndio de pilares no escalão de resistência ao fogo R60, considerando a armadura constituída por 4Φ12-Φ6 nos Gráficos (a) e (b) e por 4Φ25-Φ8 no Gráfico (c), sendo a secção transversal do pilar considerada no primeiro gráfico, de 20x20cm^2 e nos restantes dois, de 30x30cm^2. Pode constatar-se que o desfasamento entre as duas curvas limite (correspondentes às classes C25/30, limite exterior, e C50/60, limite interior) é mais significativo na secção transversal de menores dimensões, Gráfico (a) do que nas secções de maiores dimensões, Gráficos (b) e (c). Verifica-se, ainda, que para as mesmas dimensões da secção transversal, Gráficos (b) e (c), o desfasamento entre aquelas duas curvas é menor para a secção mais armada, representada no Gráfico (c).

Salienta-se, na mesma figura, que para valores reduzidos de ν_{fi} as curvas desenhadas para as diferentes classes de betão numa mesma secção não apresentam discrepância, sendo o limite do valor de ν_{fi} em que tal ocorre mais elevado na secção de maiores dimensões e com armadura constituída por varões de maior diâmetro: até ν_{fi}=0,14 na secção de 30x30cm^2 com armadura 4Φ25-Φ8, Gráfico (c), até ν_{fi}=0,08 na secção de 30x30cm^2 com armadura 4Φ12-Φ6, Gráfico (b), e ν_{fi}=0,04 na secção de 20x20cm^2 com armadura 4Φ12-Φ6, Gráfico (a).

Conclui-se que os gráficos definitivos propostos no Capítulo 7, como alternativa aos métodos que se apresentam sob a forma de tabelas na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), para a verificação da resistência ao fogo de pilares, serão mais conservativos, em termos de limite máximo dos esforços atuantes em situação de incêndio, na verificação dos pilares com reduzidas dimensões da secção transversal e com armadura constituída por varões de menor diâmetro. Esta conclusão é corroborada nos gráficos apresentados nas Figuras 6.31 a 6.42. Serão também mais conservativos para pilares constituídos por betões de classes de resistência inferiores, como se conclui observando os gráficos das Figuras 6.27 a 6.29.

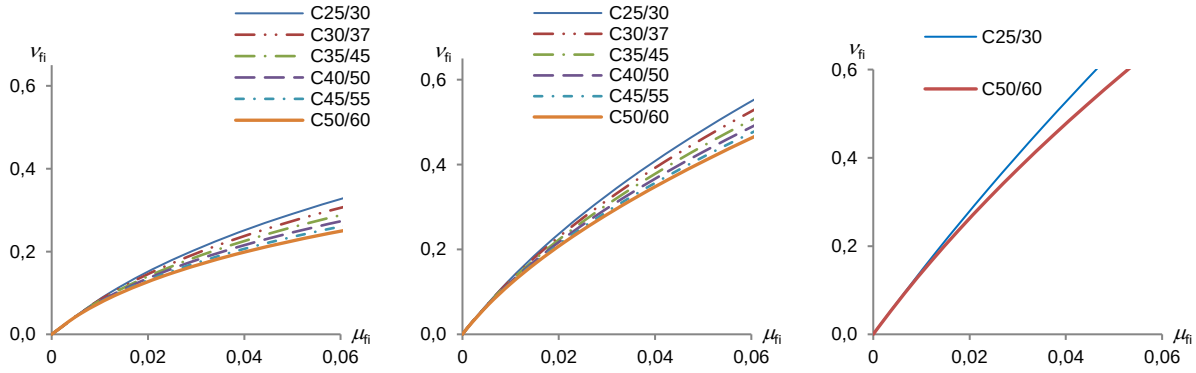


Figura 6.27 - Variação dos diagramas adimensionais de interação $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$ em função das classes de resistência mecânica do betão, para pilares no escalão R60: (a) Pilar de 20x20cm^2 com armadura 4Φ12-Φ6, (b) Pilar de 30x30cm^2 com armadura 4Φ12-Φ6 e (c) Pilar de 30x30cm^2 com armadura 4Φ25-Φ8.

Em sequência dos resultados ilustrados na Figura 6.27 apresentam-se, nas Figuras 6.28 e 6.29, as variações da discrepância entre as duas curvas limite dos esforços atuantes, correspondentes às classes de resistência mecânica do betão C25/30 e C50/60, com o escalão de resistência ao fogo. Representam-se também os diagramas $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ para possibilitar o relacionamento mais eficaz entre os diagramas dos correspondentes esforços atuantes. Pode constatar-se que a variação da discrepância entre as referidas curvas limite dos esforços atuantes não é significativa, quando se compara essa discrepância nos três escalões R60, R90 e R120, na secção de 30x30cm^2, Figura 6.29, e é pouco significativa na secção de 20x20cm^2, Figura 6.28.

Conclui-se, então, que os gráficos definitivos propostos no capítulo seguinte serão ligeiramente mais conservativos, em termos do limite máximo dos esforços atuantes em situação de incêndio, na verificação da resistência ao fogo dos pilares nos escalões mais elevados, com secções transversais de menores dimensões.

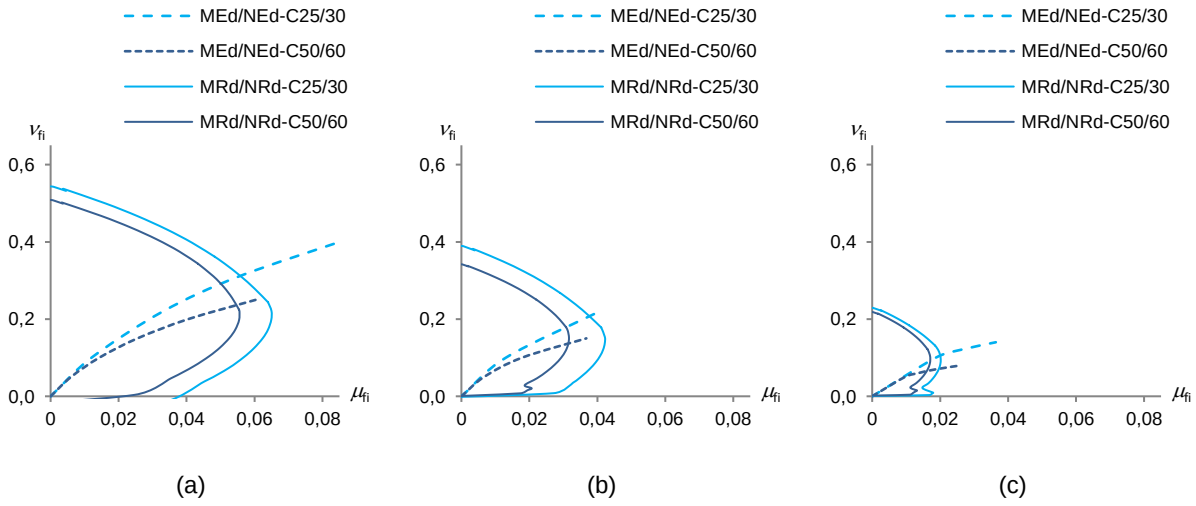


Figura 6.28 - Variação da discrepância entre os diagramas adimensionais de interação $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$ utilizando os betões C25/30 e C50/60, em função das classes de resistência ao fogo, para um pilar de 20x20 cm^2 com armadura constituída por 4Φ12-Φ6: (a) No escalão R60, (b) No escalão R90 e (c) No escalão R120.

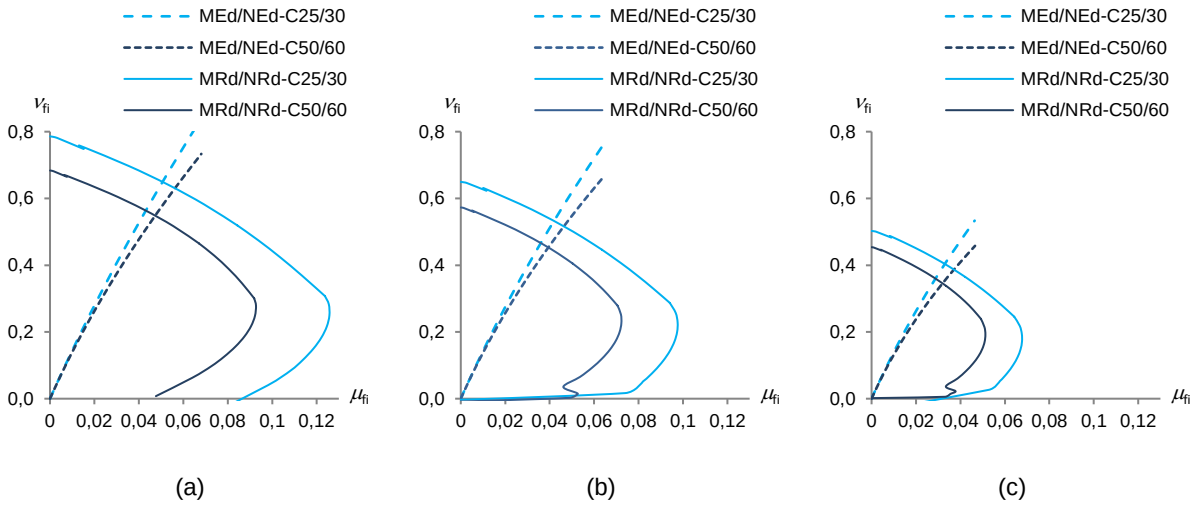


Figura 6.29 - Variação da discrepância entre os diagramas adimensionais de interação $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$ utilizando os betões C25/30 e C50/60, em função das classes de resistência ao fogo, para um pilar de 30x30 cm^2 com armadura constituída por 4Φ25-Φ8: (a) No escalão R60, (b) No escalão R90 e (c) No escalão R120.

6.3.5. COMPARAÇÃO DOS DIAGRAMAS DE INTERAÇÃO N_{Ed}/M_{Ed} À TEMPERATURA NORMAL E EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

A comparação entre os diagramas de interação dos esforços atuantes N_{Ed}/M_{Ed} à temperatura ambiente e em situação de incêndio começou por ser desenvolvida para as duas secções transversais tomadas como exemplo no Subcapítulo 6.2.3 relativo à comparação dos esforços resistentes: a secção de 25x25cm^2, onde os esforços resistentes à temperatura ambiente são superiores aos calculados para o escalão R60, e a secção de 30x40cm^2, relativamente à qual os esforços resistentes à temperatura ambiente são inferiores aos calculados para o escalão R60, nos domínios das extensões aí indicados. Em ambas as secções a armadura é constituída por 4Φ12-Φ6. Na Figura 6.30(a) representa-se o diagrama correspondente à secção de 25x25cm^2 e na Figura 6.30(b) o correspondente à secção de 30x40cm^2.

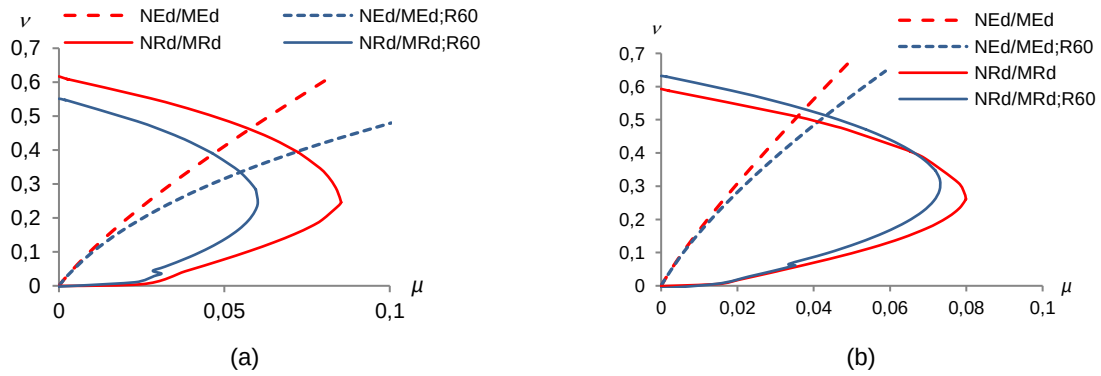


Figura 6.30 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e no escalão R60, para duas secções com armadura constituída por 4Φ12-Φ6, e dimensões: (a) 25x25cm^2 e (b) 30x40cm^2.

Pode constatar-se, pela observação destes diagramas, que os esforços atuantes em situação de incêndio, determinados para o escalão R60, apresentam valores inferiores aos correspondentes à temperatura ambiente, nas duas secções. O desfasamento entre as curvas é menor na secção transversal de maiores dimensões, com uma menor percentagem de armadura. No desenvolvimento deste trabalho não ocorreram situações em que os esforços atuantes em situação de incêndio, no escalão R60, apresentassem valores superiores aos calculados para a temperatura ambiente.

Pretendendo-se, neste capítulo, expor e justificar a metodologia seguida para o desenvolvimento dos gráficos definitivos propostos no capítulo seguinte, apresentar-se-ão gráficos (Figuras 6.31 a 6.51) onde se comparam os diagramas de interação adimensionais N_{Ed}/M_{Ed} à temperatura ambiente com os definidos para os escalões de resistência ao fogo contemplados nesses gráficos, os escalões R60, R90 e R120. Estas figuras foram desenvolvidas com o intuito de justificar as situações em que não aparecem desenhados, nesses gráficos definitivos, os diagramas dos esforços atuantes máximos, por apresentarem um desfasamento insignificante relativamente aos correspondentes à temperatura ambiente.

Para tornar possível e rigorosa esta constatação, houve que compor uma figura para cada um dos diagramas propostos, considerando-se, em cada figura, as situações mais desfavoráveis. Assim, para cada valor da menor dimensão da secção transversal (b=20cm, b=25cm e b=30cm) e para cada diâmetro dos varões da armadura principal (Φ12 a Φ25), considerou-se o valor da maior dimensão compreendido entre o valor da menor dimensão e h=60cm, considerando-se até h=40cm a armadura constituída por quatro varões, e para h=50cm e h=60cm a armadura constituída por seis varões. Os diagramas $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$ assim definidos podem ser considerados para a verificação dos esforços máximos atuantes das secções com as restantes constituições de armadura, sendo os resultados conservativos.

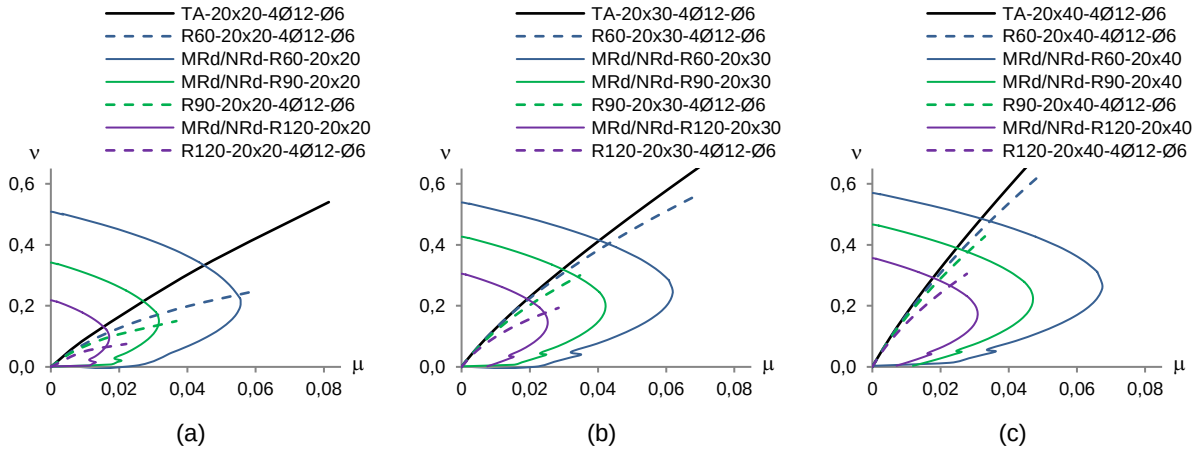
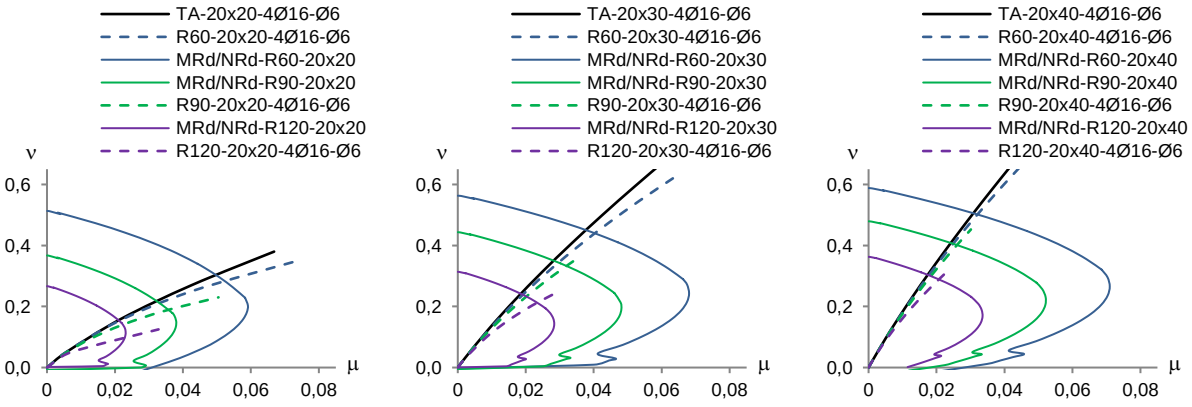
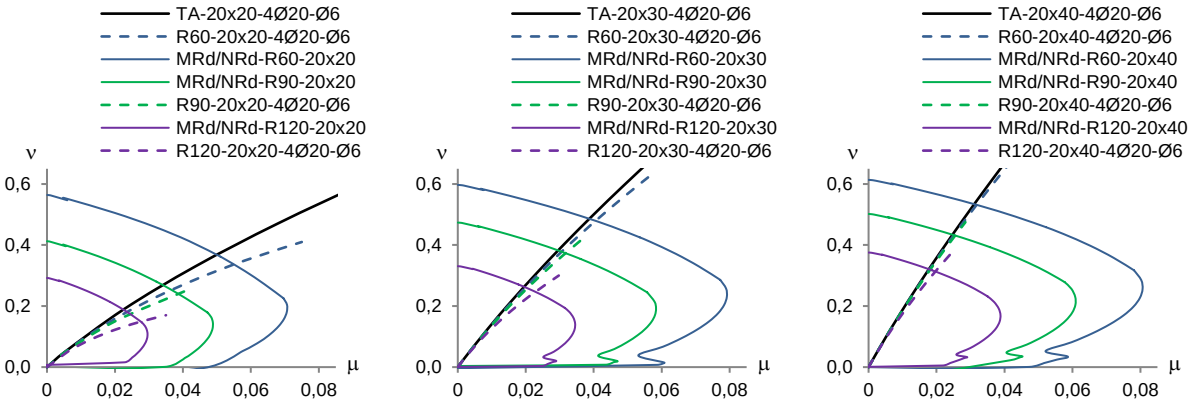


Figura 6.31 - Diagramas de interação N/M adimensionais, à temperatura ambiente e nos escalões R60, R90 e R120, para três secções com armadura constituída por 4Φ12-Φ6, e dimensões: (a) 20x20cm^2, (b) 20x30 cm^2 e (c) 20x40cm^2.



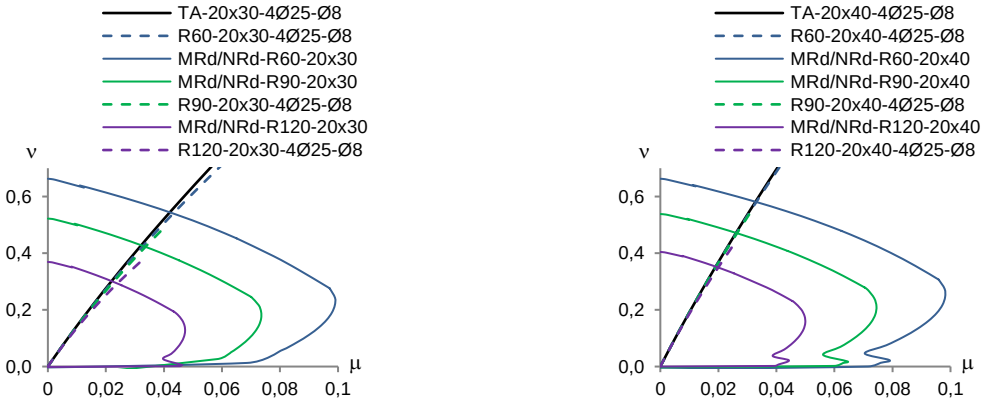
(a) (b) (c)

Figura 6.32 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e nos escalões R60, R90 e R120, para três secções com armadura constituída por 4*Φ*16-*Φ*6, e dimensões: (a) 20x20cm^2, (b) 20x30 cm^2 e (c) 20x40cm^2.



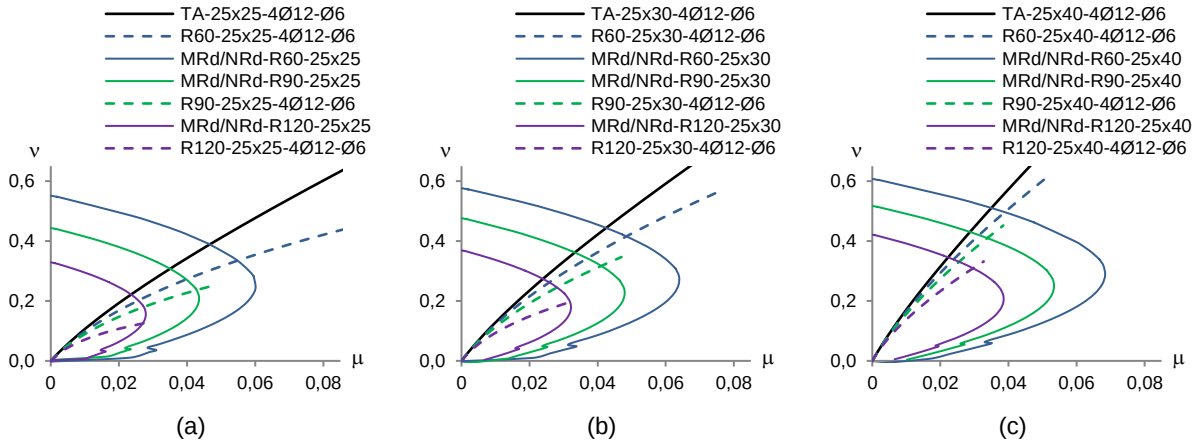
(a) (b) (c)

Figura 6.33 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e nos escalões R60, R90 e R120, para três secções com armadura constituída por 4*Φ*20-*Φ*6, e dimensões: (a) 20x20cm^2, (b) 20x30 cm^2 e (c) 20x40cm^2.



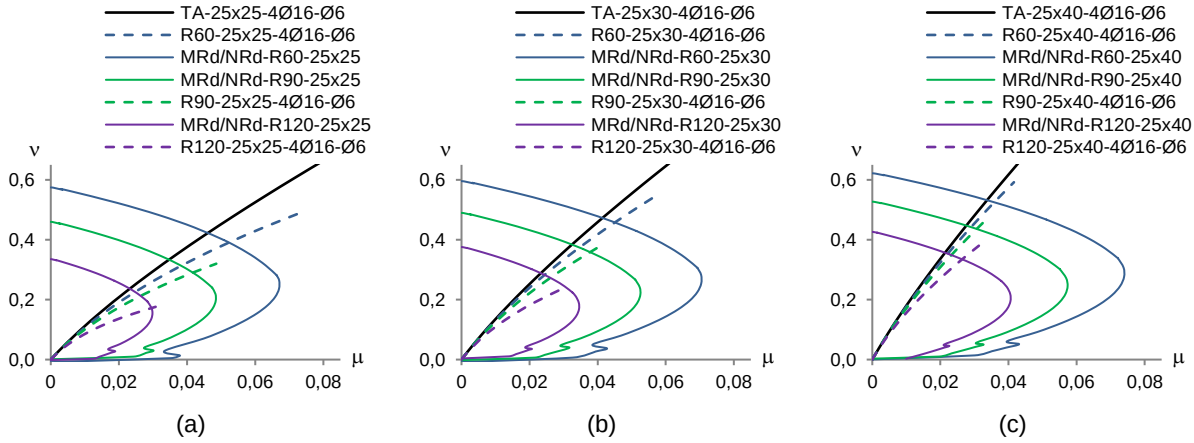
(a) (b)

Figura 6.34 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e nos escalões R60, R90 e R120, para duas secções com armadura constituída por 4*Φ*25-*Φ*8, e dimensões: (a) 20x30cm^2 e (b) 20x40 cm^2.



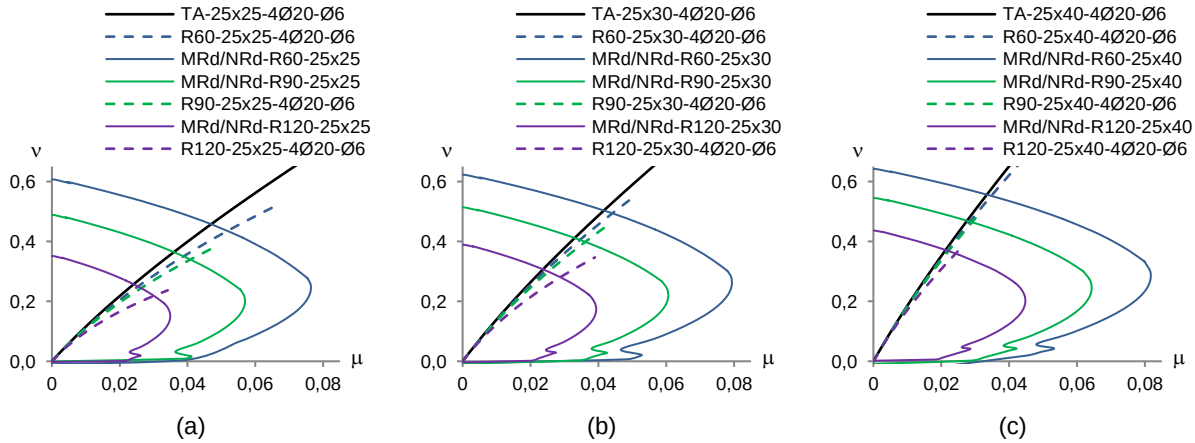
(a) (b) (c)

Figura 6.35 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e nos escalões R60, R90 e R120, para três secções com armadura constituída por 4Φ12-Φ6, e dimensões: (a) 25x25cm^2, (b) 25x30 cm^2 e (c) 25x40cm^2.



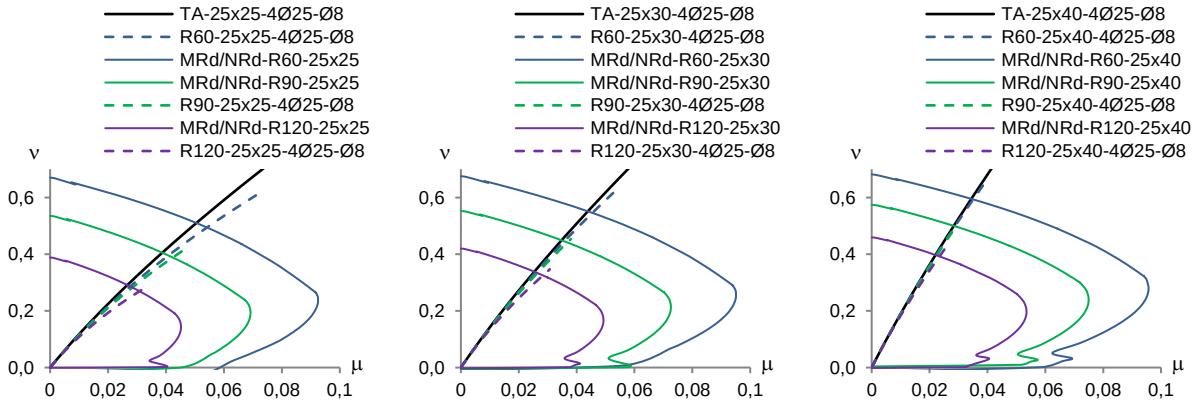
(a) (b) (c)

Figura 6.36 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e nos escalões R60, R90 e R120, para três secções com armadura constituída por 4Φ16-Φ6, e dimensões: (a) 25x25cm^2, (b) 25x30 cm^2 e (c) 25x40cm^2.



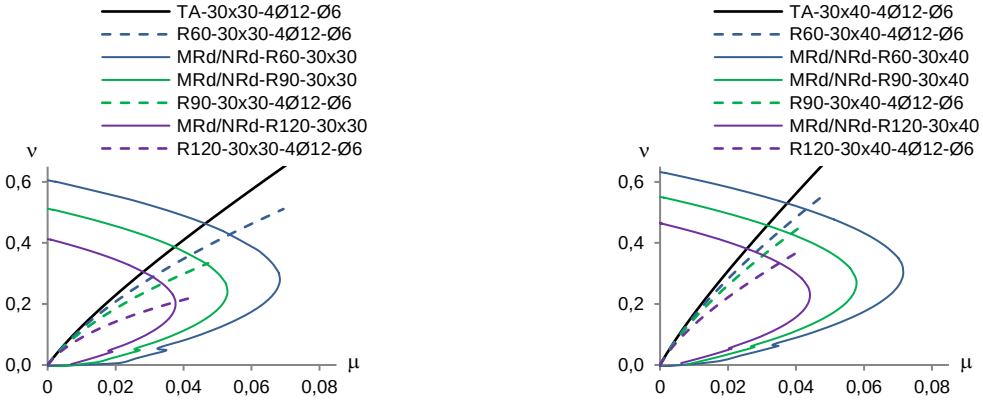
(a) (b) (c)

Figura 6.37 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e nos escalões R60, R90 e R120, para três secções com armadura constituída por 4Φ20-Φ6, e dimensões: (a) 25x25cm^2, (b) 25x30 cm^2 e (c) 25x40cm^2.



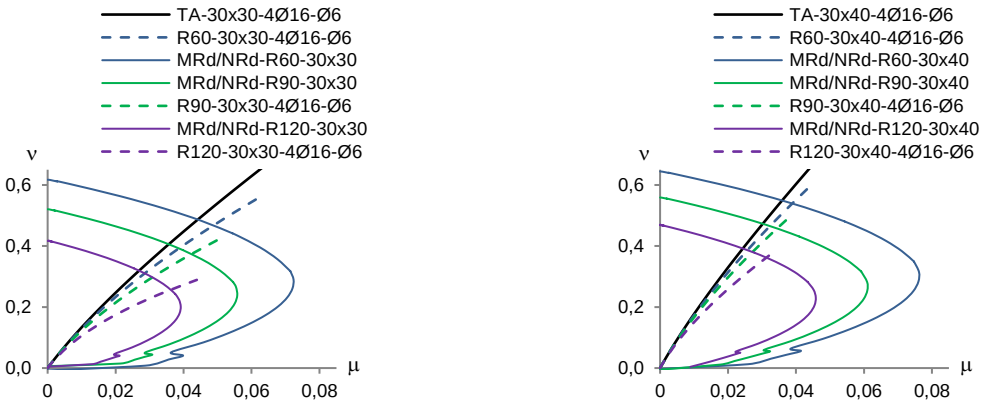
(a) (b) (c)

Figura 6.38 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e nos escalões R60, R90 e R120, para três secções com armadura constituída por 4*Φ*25-*Φ*8, e dimensões: (a) 25x25cm^2, (b) 25x30 cm^2 e (c) 25x40cm^2.



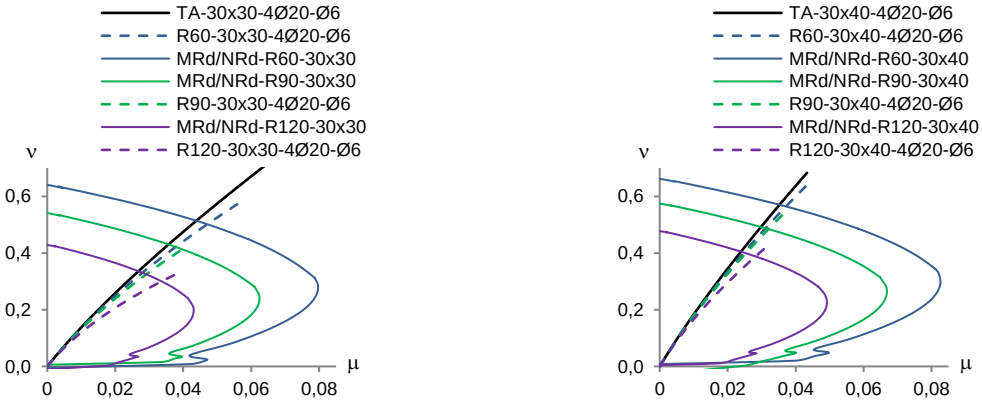
(a) (b)

Figura 6.39 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e nos escalões R60, R90 e R120, para duas secções com armadura constituída por 4*Φ*12-*Φ*6, e dimensões: (a) 30x30cm^2 e (b) 30x40 cm^2.



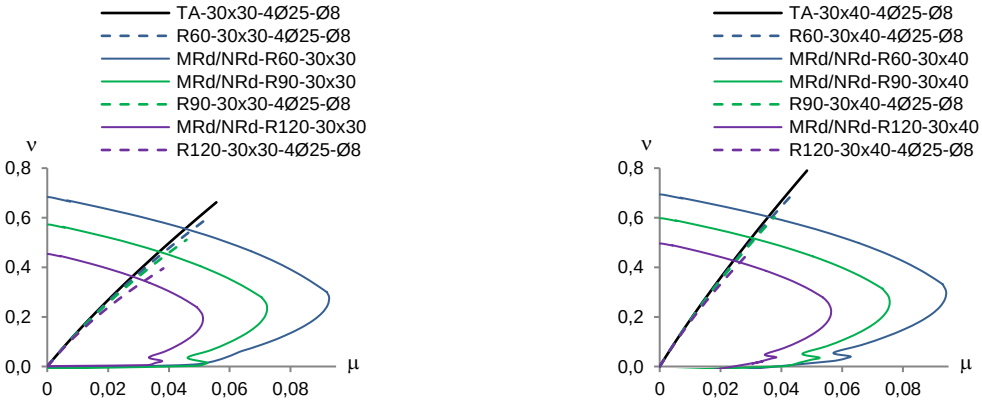
(a) (b)

Figura 6.40 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e nos escalões R60, R90 e R120, para duas secções com armadura constituída por 4*Φ*16-*Φ*6, e dimensões: (a) 30x30cm^2 e (b) 30x40 cm^2.



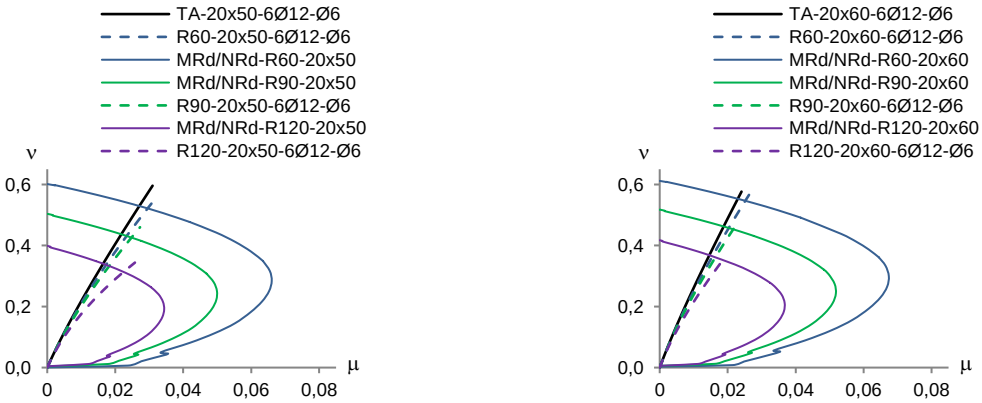
(a) (b)

Figura 6.41 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e nos escalões R60, R90 e R120, para duas secções com armadura constituída por 4Φ20-Φ6, e dimensões: (a) 30x30cm^2 e (b) 30x40 cm^2.



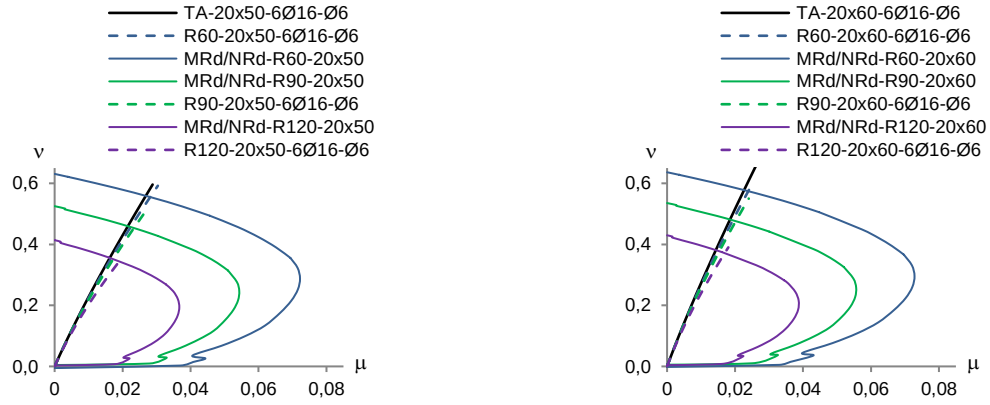
(a) (b)

Figura 6.42 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e nos escalões R60, R90 e R120, para duas secções com armadura constituída por 4Φ25-Φ8, e dimensões: (a) 30x30cm^2 e (b) 30x40 cm^2.



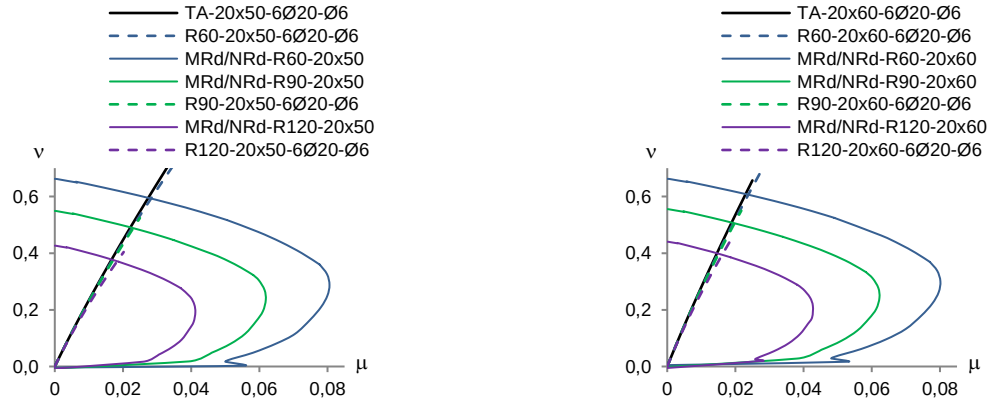
(a) (b)

Figura 6.43 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e nos escalões R60, R90 e R120, para duas secções com armadura constituída por 6Φ12-Φ6, e dimensões: (a) 20x50cm^2 e (b) 20x60 cm^2.



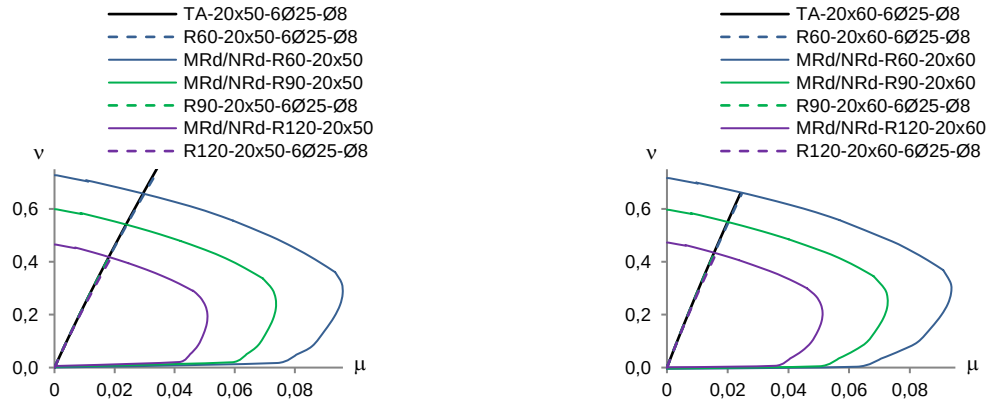
(a) (b)

Figura 6.44 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e nos escalões R60, R90 e R120, para duas secções com armadura constituída por 6*Φ*16-*Φ*6, e dimensões: (a) 20x50cm^2 e (b) 20x60 cm^2.



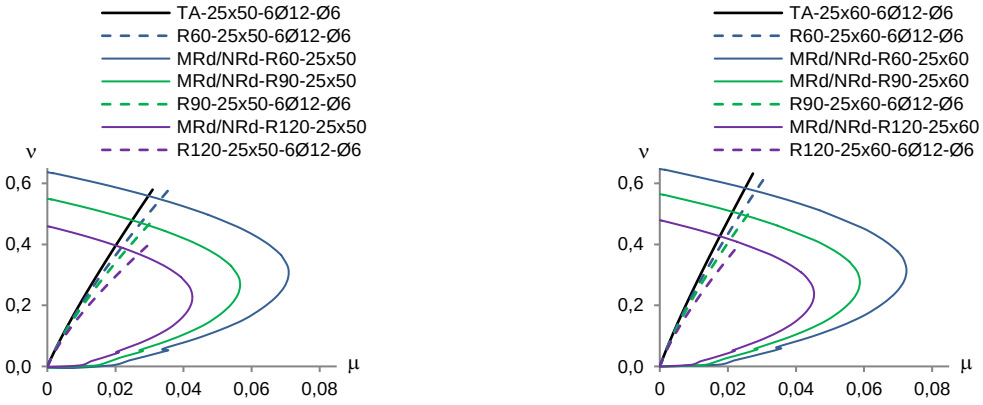
(a) (b)

Figura 6.45 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e nos escalões R60, R90 e R120, para duas secções com armadura constituída por 6*Φ*20-*Φ*6, e dimensões: (a) 20x50cm^2 e (b) 20x60 cm^2.



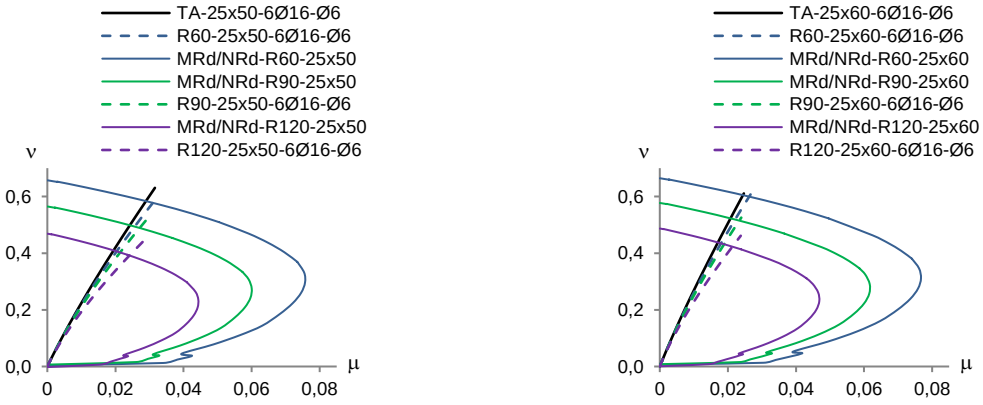
(a) (b)

Figura 6.46 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e nos escalões R60, R90 e R120, para duas secções com armadura constituída por 6*Φ*25-*Φ*8, e dimensões: (a) 20x50cm^2 e (b) 20x60 cm^2.



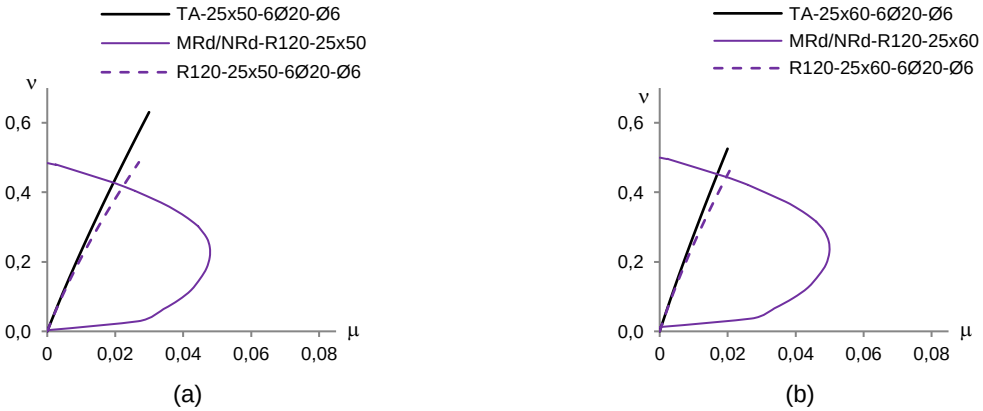
(a) (b)

Figura 6.47 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e nos escalões R60, R90 e R120, para duas secções com armadura constituída por 6Φ12-Φ6, e dimensões: (a) 25x50cm^2 e (b) 25x60 cm^2.



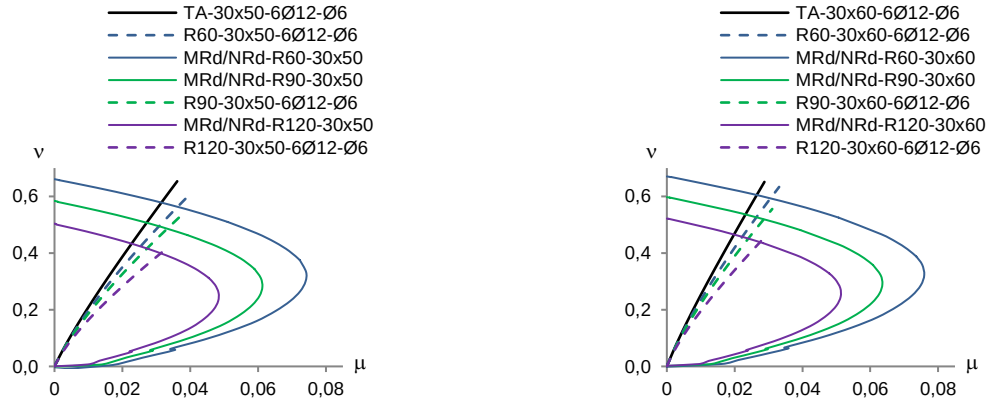
(a) (b)

Figura 6.48 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e nos escalões R60, R90 e R120, para duas secções com armadura constituída por 6Φ16-Φ6, e dimensões: (a) 25x50cm^2 e (b) 25x60 cm^2.



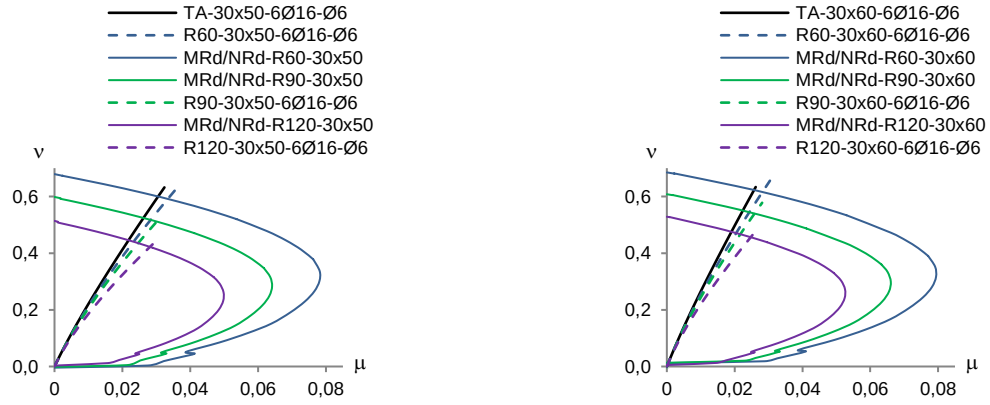
(a) (b)

Figura 6.49 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e no escalão R120, para duas secções com armadura constituída por 6Φ20-Φ6, e dimensões: (a) 25x50cm^2 e (b) 25x60 cm^2.



(a) (b)

Figura 6.50 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e nos escalões R60, R90 e R120, para duas secções com armadura constituída por 6*Φ*12-*Φ*6, e dimensões: (a) 30x50cm^2 e (b) 30x60 cm^2.



(a) (b)

Figura 6.51 - Diagramas de interação *N*/*M* adimensionais, à temperatura ambiente e nos escalões R60, R90 e R120, para duas secções com armadura constituída por 6*Φ*16-*Φ*6, e dimensões: (a) 30x50cm^2 e (b) 30x60 cm^2.

Nas situações correntes e expressando de forma simplicista, os pilares são dimensionados tomando em consideração as ações mecânicas a que vão ficar submetidos no decorrer da sua vida útil, sendo as caraterísticas geométricas (dimensões e armaduras) definidas de modo a obter a resistência mecânica requerida face a essas ações. A análise da conformidade destes elementos estruturais face a uma situação de incêndio que lhe seja imputada constará, então, da *verificação* da sua resistência às elevadas temperaturas decorrentes dessa situação de incêndio.

No processo de dimensionamento atrás referido há que tomar em consideração os efeitos de segunda ordem, correspondentes aos efeitos adicionais das ações e resultantes das deformações da estrutura, repercutindo-se na quantificação dos valores máximos dos esforços atuantes admissíveis. Em situação de incêndio, a ação destes efeitos pode ainda ser agravada pela redução da secção útil do betão e pela redução das caraterísticas mecânicas do aço das armaduras. Então, para uma secção transversal de um pilar, se for constatado que a curva representativa da variação dos esforços máximos atuantes em situação de incêndio é coincidente ou insignificativamente desfasada da definida para a temperatura ambiente, não será necessário proceder à verificação da conformidade face a estes esforços, em situação de incêndio, pelo que os diagramas de interação referentes a estas situações não têm que ser inseridos em gráficos desenvolvidos para a verificação da resistência ao fogo das secções em que tal ocorra. A

análise dos gráficos representados nas Figuras 6.31 a 6.42 permitem reter, sobre esta matéria, as seguintes conclusões:

- Figura 6.31, referente às secções com *b*=20cm e armadura constituída por 4*Φ*12-*Φ*6:
  - Gráfico (a), para *h*=20cm - as curvas representativas dos esforços máximos atuantes em situação de incêndio, para os três escalões, apresentam-se significativamente desfasadas da correspondente à temperatura ambiente;
  - Gráfico (b), para *h*=30cm - as curvas correspondentes aos escalões R90 e R120 apresentam-se significativamente desfasadas da curva à temperatura ambiente, sendo a discrepância reduzida para o escalão R60;
  - Gráfico (c), para *h*=40cm - as curvas correspondentes aos escalões R60 e R90 apresentam-se pouco desfasadas da curva à temperatura ambiente, sendo o desfasamento mais evidente no escalão R120.
- Figura 6.32, referente às secções com *b*=20cm e armadura constituída por 4*Φ*16-*Φ*6:
  - Gráfico (a), para *h*=20cm - o desfasamento da curva correspondente ao escalão R120 é significativo, sendo os correspondentes às curvas desenhadas para R60 e R90 pouco expressivos;
  - Gráfico (b), para *h*=30cm - semelhante ao indicado para o Gráfico (a);
  - Gráfico (c), para *h*=40cm - desfasamento pouco expressivo para o escalão R120 e sem significado para os escalões R60 e R90.
- Figura 6.33, referente às secções com *b*=20cm e armadura constituída por 4*Φ*20-*Φ*6:
  - Gráfico (a), para *h*=20cm - desfasamento significativo para os três escalões, mas mais acentuado para o escalão R120;
  - Gráfico (b), para *h*=30cm - desfasamento não significativo para R60 e R90 e pouco expressivo para o escalão R120;
  - Gráfico (c), para *h*=40cm - situação semelhante à anterior, embora o desfasamento para R120 seja menos acentuado.
- Figura 6.34, referente às secções com *b*=20cm e armadura constituída por 4*Φ*25-*Φ*8:
  - Gráfico (a), para *h*=30cm e Gráfico (b), para *h*=40cm - não há desfasamento expressivo entre as curvas.
- Figura 6.35, referente às secções com *b*=25cm e armadura constituída por 4*Φ*12-*Φ*6:
  - Gráfico (a), para *h*=25cm, Gráfico (b), para *h*=30cm e Gráfico (c), para *h*=40cm - semelhante ao referido sobre os gráficos da Figura 6.31, embora o desfasamento entre cada uma das curvas em situação de incêndio e as definidas à temperatura ambiente seja menos acentuado para a secção de 25x25 e mais acentuado para as restantes secções, quando comparados com os desfasamentos observados naquela figura.
- Figura 6.36, referente às secções com *b*=25cm e armadura constituída por 4*Φ*16-*Φ*6:
  - Gráfico (a), para *h*=25cm - desfasamento significativo para os três escalões, mas mais acentuado para o escalão R120;
  - Gráfico (b), para *h*=30cm - desfasamento pouco significativo para R60 e mais expressivo para os escalões R90 e R120;
  - Gráfico (c), para *h*=40cm - situação semelhante à anterior, embora o desfasamento para R60 e R90 seja menos acentuado.

- Figura 6.37, referente às secções com *b*=25cm e armadura constituída por 4*Φ*20-*Φ*6:
  - Gráfico (a), para *h*=25cm - desfasamento significativo para os três escalões, mas mais acentuado para o escalão R120;
  - Gráfico (b), para *h*=30cm - desfasamento pouco significativo para R60 e R90, sendo mais expressivo para o escalão R120;
  - Gráfico (c), para *h*=40cm - desfasamento não significativo para R60 e R90, sendo pouco expressivo para o escalão R120.
- Figura 6.38, referente às secções com *b*=25cm e armadura constituída por 4*Φ*25-*Φ*8:
  - Gráfico (a), para *h*=25cm – desfasamento pouco significativo para os três escalões, mas mais acentuado para o escalão R120;
  - Gráfico (b), para *h*=30cm - desfasamento não significativo para R60 e R90, sendo pouco expressivo para o escalão R120;
  - Gráfico (c), para *h*=40cm - desfasamento não significativo para todos os escalões.
- Figura 6.39, referente às secções com *b*=30cm e armadura constituída por 4*Φ*12-*Φ*6:
  - Gráfico (a), para *h*=30cm e Gráfico (b), para *h*=40cm - desfasamento significativo entre as curvas, para todos os escalões.
- Figura 6.40, referente às secções com *b*=30cm e armadura constituída por 4*Φ*16-*Φ*6:
  - Gráfico (a), para *h*=30cm e Gráfico (b), para *h*=40cm - desfasamento significativo entre as curvas, para todos os escalões, embora menos significativo para a secção de 30x40cm^2.
- Figura 6.41, referente às secções com *b*=30cm e armadura constituída por 4*Φ*20-*Φ*6:
  - Gráfico (a), para *h*=30cm e Gráfico (b), para *h*=40cm - desfasamento pouco significativo entre as curvas, para todos os escalões, embora mais significativo para a secção de 30x30cm^2.
- Figura 6.42, referente às secções com *b*=30cm e armadura constituída por 4*Φ*25-*Φ*8:
  - Gráfico (a), para *h*=30cm - desfasamento pouco significativo entre as curvas, para os escalões R60 e R90, sendo ligeiramente mais expressivo para o escalão R120.
  - Gráfico (b), para *h*=40cm - desfasamento insignificante para todos os escalões.

Observando as Figuras 6.43 a 6.51, referentes às secções com 20x50cm^2 e 20x60cm^2 e armadura constituída por seis varões, importa reter essencialmente o seguinte:

- Figuras 6.43 e 6.44, referentes às secções de 20x50cm^2 e 20x60cm^2 com armadura constituída por 6*Φ*12-*Φ*6 e 6*Φ*16-*Φ*6 respetivamente, nota-se um desfasamento pouco significativo das curvas desenhadas para os escalões R60 e R90 em relação às referentes à temperatura ambiente; para o escalão R120 o desfasamento é ligeiramente mais significativo, sendo no entanto a divergência mais acentuada na secção de 20x50cm^2 com armadura constituída por 6*Φ*12-*Φ*6;

- Figura 6.45, referente às secções de 20x50cm^2 e 20x60cm^2 com armadura constituída por 6*Φ*20-*Φ*6, não há desfasamento significativo das curvas desenhadas para os escalões R60 e R90 em relação às referentes à temperatura ambiente; para o escalão R120 o desfasamento é ligeiramente mais significativo;

- Figura 6.46, referente às secções de 20x50cm^2 e 20x60cm^2 com armadura constituída por 6*Φ*25-*Φ*8, não há desfasamento das curvas desenhadas para os escalões R60, R90 e R120 em relação às referentes à temperatura ambiente;

- Constatando-se que, para as secções de 20x50cm^2 e 20x60cm^2 com armadura 6Φ20-Φ6, o desfasamento entre as curvas desenhadas para os escalões R60 e R90 e a desenhada para a temperatura ambiente, é desprezável, não houve que comparar os diagramas referentes às secções com outros valores de *b*, pelo que se desenharam apenas para o escalão R120, relativamente ao qual ainda se nota algum desfasamento;

- Nas secções de 20x50cm^2 e 20x60cm^2 com armadura 6Φ25-Φ8 não há desfasamento entre as curvas em situação de incêndio e à temperatura ambiente, pelo que já não foram desenvolvidos diagramas para outros valores de *b*;

- Figuras 6.47 e 6.48, referentes às secções de 25x50cm^2 e 25x60cm^2 com armadura constituída por 6Φ12-Φ6 e 6Φ16-Φ6 respetivamente, nota-se um ligeiro desfasamento entre as curvas correspondentes aos escalões R60 e R90 e a desenhada para a temperatura normal e um desfasamento mais acentuado para a curva referente ao escalão R120;

- Figura 6.49, referente às secções de 20x50cm^2 e 20x60cm^2 com armadura constituída por 6Φ20-Φ6, há um desfasamento pouco acentuado, mas não desprezável, entre a curva desenhada para o escalão R120 e a correspondente à temperatura normal;

- Figura 6.50, referente às secções de 30x50cm^2 e 30x60cm^2 com armadura constituída por 6Φ12-Φ6, há um desfasamento significativo, entre as curvas desenhadas para os escalões R60, R90 e R120 e a correspondente à temperatura normal;

- Figura 6.51, referente às secções de 30x50cm^2 e 30x60cm^2 com armadura constituída por 6Φ16-Φ6, há um desfasamento pouco significativo, entre as curvas desenhadas para os escalões R60 e R90 e a correspondente à temperatura normal, e um desfasamento mais acentuado para a curva referente ao escalão R120;

- Comparando os gráficos desenhados para um dado valor da menor dimensão da secção transversal, *b*, e para um mesmo diâmetro dos varões da armadura longitudinal, constata-se que a divergência entre os diagramas desenhados em situação de incêndio e os correspondentes à temperatura ambiente vai diminuindo com o aumento do valor da maior dimensão da secção transversal, *h*.

6.4. CONCLUSÕES

No presente capítulo, apoiado pelo Anexo A6, apresenta-se e desenvolve-se, de forma detalhada, a metodologia seguida para desenhar os diagramas de interação organizados, no capítulo seguinte, de modo a formarem gráficos de fácil e rápida consulta e constituírem um método expedito para a verificação da resistência ao fogo de pilares em betão armado.

Verificou-se, pela análise dos resultados obtidos, que a redução da área da secção transversal dos pilares provocada pelo facto de não se considerar a camada de betão danificada devido às elevadas temperaturas, camada esta determinada pela aplicação do Método da Isotérmica dos 500ºC, varia entre 46,4% para os pilares de menores dimensões (20x20cm^2), e 24,8% para os de maiores dimensões

(30x50cm^2), para o escalão R60, entre 63,2% e 33,2% respetivamente, para o escalão R90 e entre 76,2% e 42,1% para o escalão R120.

Constatou-se, no desenvolvimento deste capítulo, que alguns pilares apresentavam uma maior resistência em situação de incêndio, no escalão R60, do que à temperatura ambiente, verificando-se esta ocorrência essencialmente nos Domínios 5, 6 e 7, domínios estes definidos em função dos valores limite da profundidade do eixo neutro, *x*. Considera-se que este facto, não expectável, estará relacionado com a metodologia apontada na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) para a aplicação do Método da Isotérmica dos 500ºC (situação que ocorre, também, quando se utiliza o Método das Zonas), segundo a qual a secção útil de betão, obtida retirando a camada danificada devido às elevadas temperaturas, é tratada como à temperatura ambiente. Considera-se uma matéria que deverá ser objeto de estudo aprofundado, de modo a poderem propor-se, caso assim se conclua, algumas alterações à metodologia apontada na referida norma para a utilização dos Métodos Simplificados.

Concluiu-se também, neste capítulo, que para pilares constituintes das estruturas de edifícios correntes, as variações das dimensões e dos vãos das vigas de travação, consideradas quando se determinam os efeitos das imperfeições geométricas e os efeitos de segunda ordem, não acarretam significativas variações nos desenhos dos diagramas de interação dos esforços atuantes $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$.

Desenhados os diagramas de interação adimensionais correspondentes aos esforços atuantes, à temperatura ambiente e em situação de incêndio considerando os escalões R60, R90 e R120, para secções com dimensões compreendidas entre 20x20cm^2 e 30x60cm^2, constatou-se que a divergência entre os gráficos desenhados em situação de incêndio relativamente ao correspondente à temperatura ambiente está profundamente relacionada com a temperatura no eixo dos varões e, portanto, com o valor da distância do eixo desses varões à face do pilar mais próxima sujeita a incêndio e, assim, para um valor fixo do recobrimento das armaduras, do diâmetro dos varões da armadura longitudinal. Como expectável, a divergência diminui das secções com armadura de menor diâmetro para as secções com armadura de maior diâmetro.

No capítulo seguinte expõe-se e valida-se a proposta de um método para a verificação da resistência ao fogo de pilares em betão armado, alternativo aos métodos que se apresentam, na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), sob a forma de tabelas, com resultados substancialmente menos conservativos, desenvolvido recorrendo ao método clássico simplificado da resistência dos materiais para o cálculo de elementos estruturais à flexão, o Método do Diagrama Retangular, e ao Método da Isotérmica dos 500ºC para considerar a situação de incêndio.

7

METODOLOGIA PROPOSTA PARA A VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO FOGO DE PILARES EM BETÃO ARMADO

7.1. INTRODUÇÃO

O principal objetivo da presente dissertação é contribuir para que os projetistas de estruturas possam proceder, de forma célere mas eficaz, à verificação da resistência ao fogo dos pilares em betão armado. Tendo sido constatado, no Capítulo 4, que os métodos de mais rápida aplicação, os métodos apresentados sob a forma de tabelas na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), não são aplicáveis a muitos pilares, como se mostrou no referido capítulo e conduzem a resultados demasiado conservativos, quando aplicáveis, procurou-se desenvolver uma metodologia que permitisse proceder à verificação da conformidade dos pilares em situação de incêndio por consulta direta de gráficos, isto é, um procedimento semelhante ao seguido quando se utilizam os métodos apresentados sob a forma de tabelas, mas que conduzissem a resultados menos conservativos.

Os gráficos foram desenvolvidos considerando a metodologia apresentada no Capítulo 6, desenhando-se os diagramas de interação adimensionais N/M em situação de incêndio para as secções indicadas naquele capítulo. Pretende-se, de futuro, desenvolver gráficos semelhantes para outros valores de recobrimento das armaduras, outros valores de dimensões da secção transversal retangular, bem como para pilares de secção transversal circular, de modo a abranger um maior universo de pilares constituintes das estruturas dos edifícios.

Houve a preocupação de desenvolver gráficos para a verificação da resistência ao fogo de pilares exequíveis, tomando em consideração o que sobre a matéria é apontado na normalização europeia, nomeadamente sobre as classes indicativas da resistência do betão e recobrimentos mínimos, definidos em função das classes de exposição observáveis em edifícios correntes, aspetos já focados no Subcapítulo 4.3.2.3 do Capítulo 4 desta dissertação. Considerou-se, assim, o betão normal (classes de resistência entre C25/30 e C50/60) e o aço S400 e S500. Os gráficos foram desenhados considerando os pilares inseridos em pórticos contraventados.

Procurou-se reduzir o número de gráficos e torná-los abrangentes, de modo a que o método fosse eficaz em termos de tempo de utilização, sem preterir a segurança, por um lado, mas de modo a que não conduzisse a resultados demasiado conservativos. Começou, então, por se estudar a variação das curvas correspondentes aos diagramas adimensionais de interação dos esforços resistentes em situação de incêndio, $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$, em função da classe do betão e do aço das armaduras.

7.2. VARIAÇÃO DOS DIAGRAMAS ADIMENSIONAIS DE INTERAÇÃO $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ COM A CLASSE DE RESISTÊNCIA DO BETÃO, COM O TIPO DE AÇO E COM A SECÇÃO TRANSVERSAL DO PILAR

7.2.1. INTRODUÇÃO

Um método de verificação no formato que se propõe será tanto mais eficaz, em termos de tempo gasto, quanto menor o número de elementos a consultar. Assim, houve a preocupação de desenvolver um método suficientemente abrangente, sem descurar a segurança mas de modo a que os resultados não fossem demasiado conservativos. Para este efeito, começou por se verificar as implicações de desenvolver gráficos adimensionais que pudessem ser aplicados a qualquer classe de betão normal e a qualquer um dos dois tipos de aço utilizados em armaduras ordinárias.

Não é possível organizar os gráficos adimensionais em situação de incêndio como os já publicados à temperatura ambiente, nomeadamente por Figueiras (Figueiras, J., Barros, H., 2010), pois em situação de incêndio, para um mesmo escalão de resistência ao fogo, os valores do par de esforços $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ vão depender da temperatura no eixo dos varões da armadura longitudinal e, portanto, de a (distância do eixo dos varões da armadura longitudinal à face mais próxima sujeita a incêndio) e não da razão a/h, como acontece a frio. Efetivamente, a um valor fixo daquela razão podem corresponder diferentes valores de a e, assim, diferentes valores de temperatura no eixo dos varões. Também, as curvas não podem ser apresentadas para diferentes valores da percentagem mecânica de armadura, ω, como acontece nos gráficos à temperatura ambiente, pois a um valor de ω fixado podem corresponder diferentes combinações de armadura longitudinal e cintas, de modo a obter diferentes valores de a e, portanto diferentes valores de temperatura no eixo dos varões.

Estudou-se, então, a variação das curvas N/M em situação de incêndio, para os escalões R60, R90 e R120, para as seguintes situações:

- ∴ Fixando a classe de resistência do betão e a constituição das armaduras e fazendo variar as dimensões da secção transversal;
- ∴ Fixando as dimensões da secção transversal e a constituição das armaduras e fazendo variar o tipo de aço dessas armaduras, S400 e S500, para as classes de resistência do betão C25/30 e C50/60, classes estas correspondentes ao limite inferior e ao limite superior, em betões normais passíveis de utilização.
- ∴ Fixando a secção transversal e o tipo de aço que se constatou, no ponto anterior, conduzir à curva mais conservativa de modo a que os gráficos possam ser utilizados para armaduras em aço S400 e S500, e fazendo variar a classe de resistência do betão.

7.2.2. VARIAÇÃO DOS DIAGRAMAS DE INTERAÇÃO FIXANDO A CLASSE DE RESISTÊNCIA DO BETÃO E A CONSTITUIÇÃO DAS ARMADURAS

Numa primeira abordagem, e apenas com o intuito de observar a variação das curvas correspondentes aos pares de valores $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ em cada escalão de resistência ao fogo, para diferentes dimensões da secção transversal do pilar, fixando a classe de resistência do betão e a constituição da armadura e, portanto, o valor de *a*, distância do eixo dos varões da armadura longitudinal à face mais próxima sujeita a incêndio, desenharam-se diagramas como os representados nas Figuras 7.1 a 7.5. Sendo o valor de *a* fixo em cada gráfico, significa que a temperatura no eixo dos varões, para o cálculo da redução das caraterísticas mecânicas do aço, é igual no processo que conduz ao desenho de cada uma das curvas $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ que constitui esse gráfico. Na Figura A7.1 do Anexo A7 apresenta-se, a título ilustrativo, os diagramas de interação $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ correspondentes a todas as secções transversais dos pilares indicadas no Quadro 6.7(a) do Capítulo 6 (recobrimento de 35mm e armadura Φ12-Φ6), para o escalão de resistência ao fogo R60, a classe de resistência do betão C50/60 e o aço S400.

Os dois diagramas representados na Figura 7.1 foram desenvolvidos para o escalão R60, considerando o betão C25/30 e a armadura constituída por 4Φ12-Φ6 no gráfico (a) e 4Φ25-Φ8 no gráfico (b), sendo os apresentados na Figura 7.2 correspondentes a pilares no mesmo escalão, com a mesma constituição das armaduras, mas para um betão C50/60. Na Figura 7.3 a situação é semelhante à apresentada na Figura 7.2, mas para o escalão R120. Na Figura 7.4 e na Figura 7.5 são apresentados os diagramas para pilares no escalão R60, realizados em betão C25/30 e com armaduras constituídas por 6Φ e 8Φ, respetivamente, com diâmetros Φ12-Φ6 nos gráficos (a) e Φ25-Φ8 nos gráficos (b).

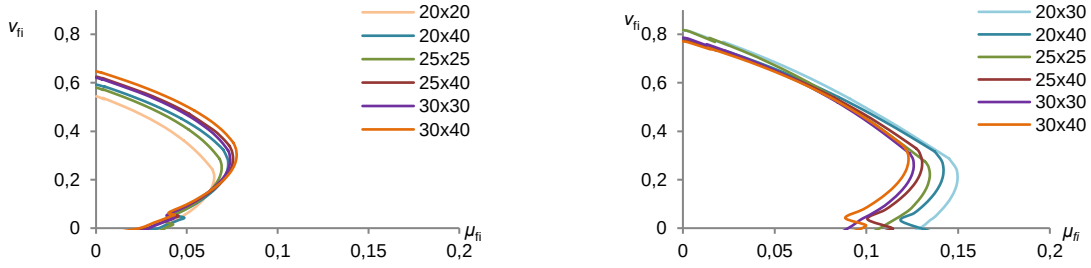


Figura 7.1 - Diagramas de interação adimensionais $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ para o escalão R60, considerando o betão C25/30: (a) Para *a*=47mm (armadura 4Φ12 - Φ6) e (b) Para *a*=55mm (armadura 4Φ25 - Φ8).

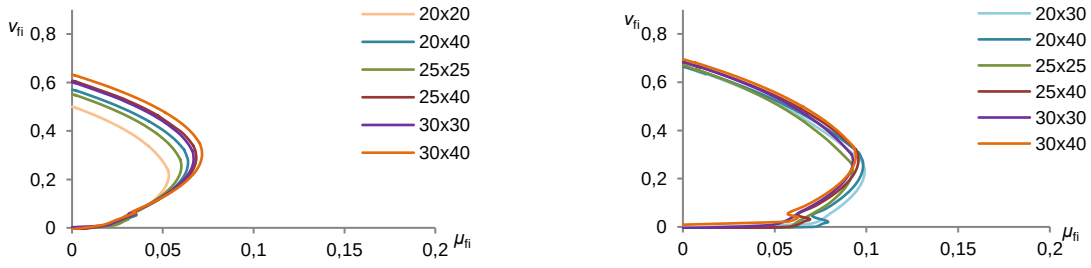


Figura 7.2 - Diagramas de interação adimensionais $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ para o escalão R60, considerando o betão C50/60: (a) Para *a*=47mm (armadura 4Φ12 - Φ6) e (b) Para *a*=55mm (armadura 4Φ25 - Φ8).

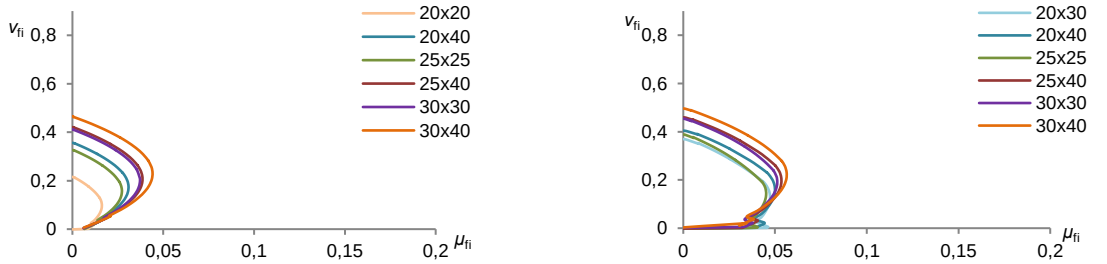


Figura 7.3 - Diagramas de interação adimensionais $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ para o escalão R120, considerando o betão C50/60: (a) Para a=47mm (armadura 4Φ12 - Φ6) e (b) Para a=55mm (armadura 4Φ25 - Φ8).

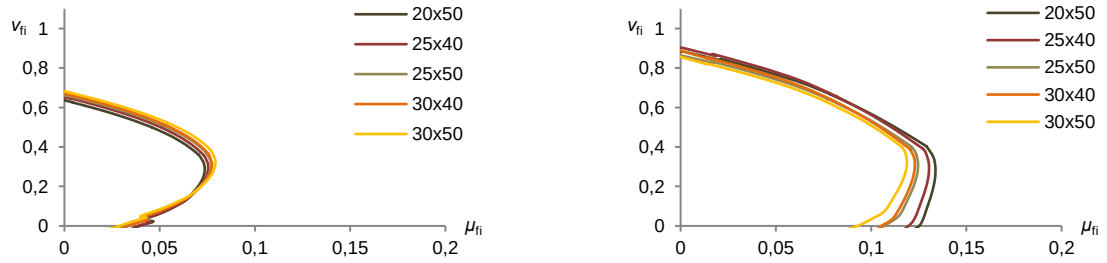


Figura 7.4 - Diagramas de interação adimensionais $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ para o escalão R60, considerando o betão C25/30: (a) Para a=47mm (armadura 6Φ12 - Φ6) e (b) Para a=55mm (armadura 6Φ25 - Φ8).

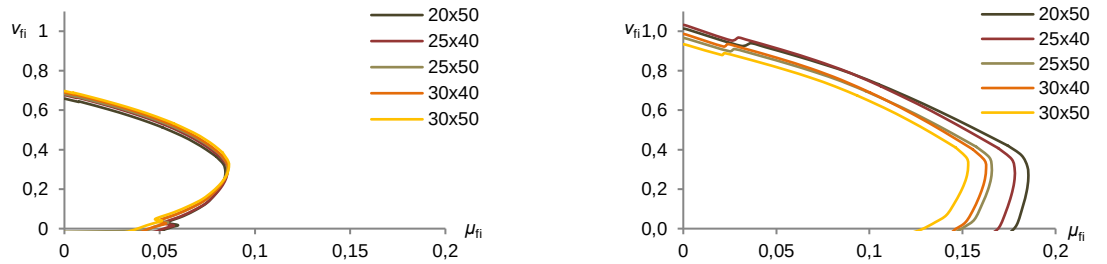


Figura 7.5 - Diagramas de interação adimensionais $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ para o escalão R60, considerando o betão C25/30: (a) Para a=47mm (armadura 8Φ12 - Φ6) e (b) Para a=55mm (armadura 8Φ25 - Φ8).

Observando os gráficos apresentados nas figuras anteriores, podem tecer-se os seguintes comentários:

- Comparando a Figura 7.1(a) com a Figura 7.1(b) e a Figura 7.2(a) com a Figura 7.2(b), referentes a pilares com armaduras constituídas por 4Φ, constata-se que o desfasamento das curvas é mais significativo nas figuras (b) , correspondentes a pilares com maior percentagem mecânica de armadura, maior valor de a e consequentemente menor temperatura no eixo dos varões;

- Comparando a Figura 7.1(a) com a Figura 7.2(a), diagramas correspondentes a pilares no escalão R60 e com caraterísticas semelhantes, variando a classe de resistência do betão, constata-se que

o desfasamento entre as curvas desenhadas para os diferentes valores das dimensões da secção transversal é semelhante nos dois gráficos; no entanto, comparando com a Figura 7.3(a), referente a um pilar semelhante ao da Figura 7.2(a) mas no escalão R120, constata-se que a discrepância entre as curvas é mais significativa neste escalão de resistência ao fogo, situação em que a temperatura no eixo dos varões é mais elevada e a redução da secção transversal é mais significativa;

- Para os pilares no escalão R60, constituídos por armadura Φ12-Φ6, Figuras (a), a discrepância entre as curvas vai diminuindo com o aumento do número de varões da armadura principal (4Φ, 6Φ e 8Φ). Este facto verifica-se também nos escalões R90 e R120;

- Comparando a Figura 7.4(b) com a Figura 7.5(b), ambas correspondentes a pilares no escalão R60, com betão C25/30 e armadura Φ25-Φ8, constata-se que o desfasamento entre as curvas acentua-se quando se aumenta o número de varões (6Φ e 8Φ respetivamente) e portanto a taxa mecânica de armadura.

Não sendo os resultados obtidos nestes gráficos suficientemente concludentes no que respeita à orientação a seguir para o desenvolvimento de diagramas de interação razoavelmente abrangentes e de modo a poder tomar decisões relativamente aos erros, por defeito, a assumir, desenharam-se os diagramas $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ mantendo fixas as dimensões e a armadura do pilar, fazendo variar, para cada secção, a classe de resistência do betão (de C25/30 a C50/60) e o tipo de aço (S400 e S500).

7.2.3. VARIAÇÃO DOS DIAGRAMAS DE INTERAÇÃO FIXANDO A SECÇÃO TRANSVERSAL E A CONSTITUIÇÃO DAS ARMADURAS E FAZENDO VARIAR O TIPO DE AÇO DESSAS ARMADURAS

Pretendendo-se que cada gráfico pudesse ser utilizado para a verificação da resistência ao fogo dos pilares em betão armado, independentemente da classe de resistência do betão normal previsto e do tipo de aço das armaduras ordinárias, começou por se verificar o desfasamento das curvas que constituem os diagramas de interação considerando, no seu desenho, o aço S400 e o aço S500 e os dois betões com as classes de resistência limites (C25/30 e C50/60). Como já referido, este estudo foi desenvolvido para uma espessura de recobrimento das armaduras de 35mm. As Figuras 7.6 a 7.9 mostram esses diagramas, correspondendo as duas primeiras figuras a pilares no escalão R60 e as duas últimas a pilares no escalão R120.

Na Figura 7.6 representam-se os diagramas de interação correspondentes a duas secções transversais quadrangulares de dimensões reduzidas e ligeiramente diferentes (20x20cm^2 e 25x25cm^2), mas com percentagens de armadura e valores do parâmetro *a* significativamente diferentes. A Figura 7.7 representa os diagramas desenhados para secções transversais retangulares com as mesmas dimensões (30x50cm^2) mas percentagens de armadura e valores de *a* significativamente diferentes. As Figuras 7.8 e 7.9 representam os diagramas em secções iguais às representadas nas Figuras 7.6 e 7.7, respetivamente, mas no escalão R120.

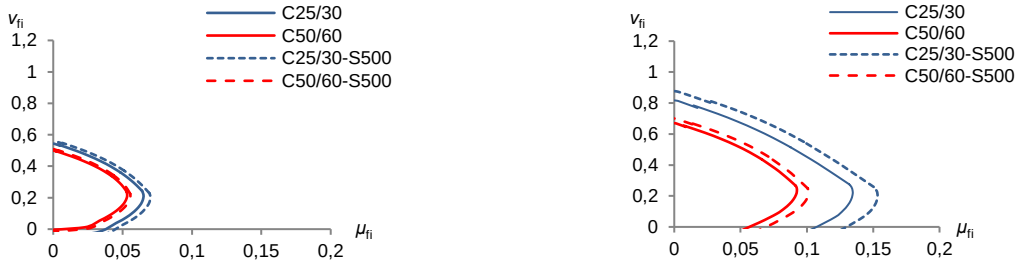


Figura 7.6 - Comparação entre as curvas constituintes dos diagramas adimensionais *N*/*M* para pilares no escalão R60, considerando as armaduras em aço S400 e S500, para as secções: (a) 20x20-4Φ12-Φ6, *a*=47mm e (b) 25x25-4Φ25-Φ8, *a*=55mm.

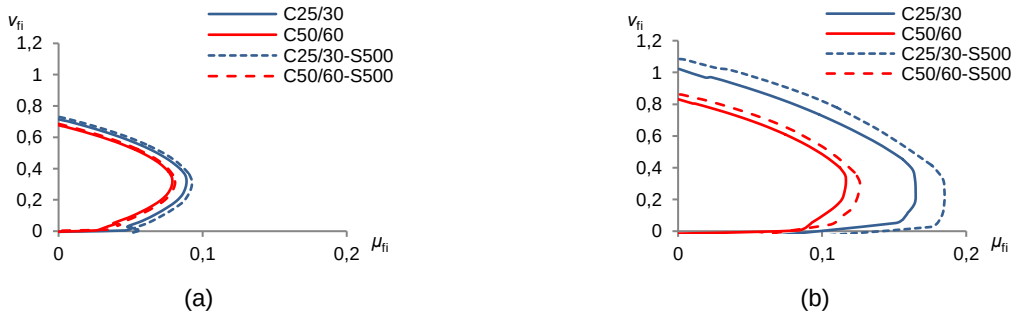


Figura 7.7 - Comparação entre as curvas constituintes dos diagramas adimensionais *N*/*M* para pilares no escalão R60, considerando as armaduras em aço S400 e S500, para as secções: (a) 30x50-10Φ12-Φ6, *a*=47mm e (b) 30x50-10Φ25-Φ8, *a*=55mm.

Comparando os diagramas representados nas Figuras 7.6(a) e 7.7(a) com os representados nas Figuras 7.6(b) e 7.7(b), respetivamente, constata-se que o desfasamento entre as curvas correspondentes à utilização de aço S400 e aço S500 é mais notório nos diagramas representados nos Gráficos (b), referentes a pilares com maior percentagem de armadura e betão de menor classe de resistência (C25/30), com valores de *a* superiores aos dos Gráficos (a), logo menores temperaturas nos eixos dos varões. Como expectável, para os pilares com uma reduzida percentagem de armadura, o desfasamento entre aquelas curvas (S400-S500, para a mesma classe de resistência do betão) é insignificante.

No escalão R120, Figuras 7.8 e 7.9 a situação é semelhante à descrita no parágrafo anterior para os pilares de 30x50cm^2, Figura 7.9. Nos pilares de pequenas dimensões, como os previstos na Figura 7.8, a redução da secção transversal é muito significativa neste escalão e a temperatura no eixo dos varões é substancialmente mais elevada que no escalão R60, como pode ver-se no Quadro 6.12 do Capítulo 6 (para *a*=47mm, a temperatura é de 410ºC para R60 e de 650ºC para R120, e para *a*=55mm, a temperatura é de 340ºC e 570ºC respetivamente para R60 e R120). Nas situações representadas nesta figura é quase impercetível o desfasamento entre as curvas desenhadas para o aço S400 e o aço S500.

Também se pode observar, comparando os diagramas correspondentes aos pilares com as mesmas caraterísticas mas em escalões de resistência ao fogo diferentes (isto é, comparando entre si os diagramas (a) e os diagramas (b), para os pilares com a mesma secção transversal e a mesma constituição da armadura), que o desfasamento entre as curvas desenhadas considerando o aço S400 e o aço S500, para

cada classe de resistência do betão, é menos significativa no escalão R120. Este facto pode ser constatado com mais clareza nos gráficos apresentados nas Figuras A7.2 a A7.4 do Anexo A7, correspondentes a pilares com a secção transversal de 30x30cm^2 no escalão R60 (Figura A7.2), no escalão R90 (Figura A7.3) e no escalão R120 (Figura A7.4), com armadura constituída por 4Φ12-Φ6 nos gráficos identificados por (a) e por 4Φ25-Φ8 nos identificados por (b). Comparando entre si as Figuras A7.2(b) a A7.4(b), do escalão R60 ao R120, pode observar-se que o desfasamento entre as curvas desenhadas para os dois tipos de aço vai diminuindo, para cada classe de resistência do betão. Nos diagramas representados nas Figuras A7.2(a) a A7.4(a) as curvas desenhadas para os dois tipos de aço são quase coincidentes.

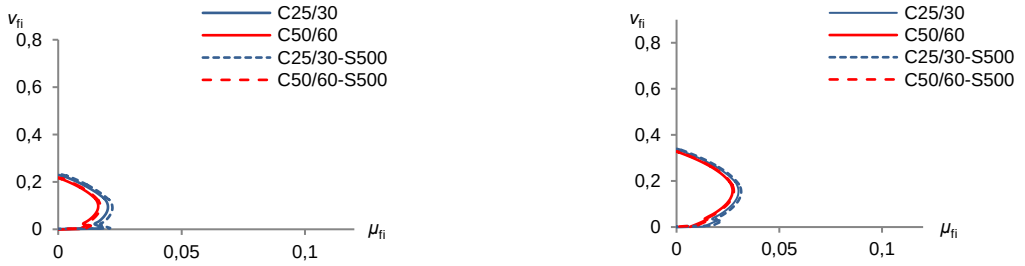


Figura 7.8 - Comparação entre as curvas constituintes dos diagramas adimensionais *N*/*M* para pilares no escalão R120, considerando as armaduras em aço S400 e S500, para as secções: (a) 20x20-4Φ12-Φ6, *a*=47mm e (b) 25x25-4Φ25-Φ8, *a*=55mm.

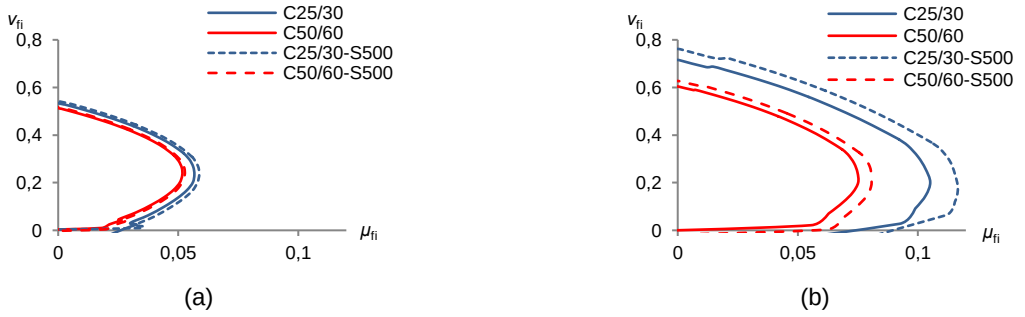


Figura 7.9 - Comparação entre as curvas constituintes dos diagramas adimensionais *N*/*M* para pilares no escalão R120, considerando as armaduras em aço S400 e S500, para as secções: (a) 30x50-10Φ12-Φ6, *a*=47mm e (b) 30x50-10Φ25-Φ8, *a*=55mm.

Pode então concluir-se que utilizando o aço S400 para desenhar os gráficos adimensionais de interação *N*/*M* em situação de incêndio que se pretende propor como alternativa aos métodos tabelados, esses gráficos são aplicáveis também na verificação da resistência ao fogo de pilares com armadura em aço S500, sendo conservativos para este tipo de aço. Constata-se também que, para armaduras realizadas em aço S500, estes gráficos serão mais conservativos para os pilares com maior percentagem de armadura e para os betões de menor classe de resistência. Excetuam-se os pilares no escalão R120, com secção transversal de 20x20cm^2 e 25x25cm^2, para os quais é indiferente o tipo de aço previsto.

7.2.4. VARIAÇÃO DOS DIAGRAMAS DE INTERAÇÃO FIXANDO A SECÇÃO TRANSVERSAL E O TIPO DE AÇO E FAZENDO VARIAR A CLASSE DE RESISTÊNCIA DO BETÃO

Desenhados os diagramas adimensionais de interação $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ fixando as dimensões da secção transversal e a constituição das armaduras e fazendo variar o tipo de aço dessas armaduras, concluiu-se que os gráficos que se pretende serem aplicáveis a qualquer dos aços utilizados em armaduras ordinárias (S400 e S500) deviam ser desenvolvidos considerando o aço S400, por se obterem curvas mais conservativas e, portanto, do lado da segurança quando aplicados a pilares com armaduras em aço S500. Assim, os diagramas desenhados com o intuito de verificar a variação das curvas dos pares de valores N/M, fixando as dimensões da secção transversal e fazendo variar a classe de resistência do betão, foram desenvolvidos considerando o aço S400. As Figuras 7.10 a 7.12 representam alguns desses diagramas.

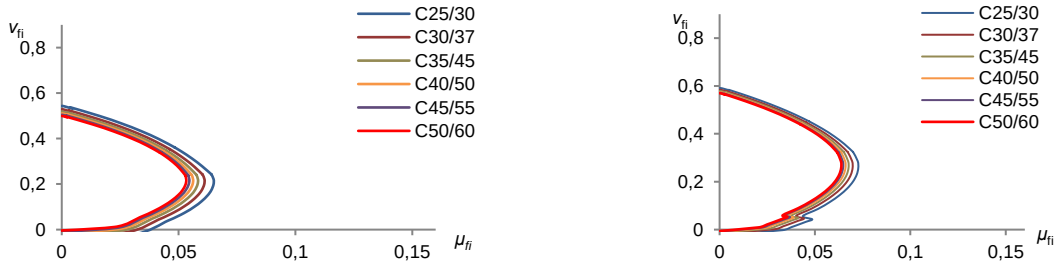


Figura 7.10 - Diagramas de interação adimensionais *N*/*M* correspondentes a pilares no escalão R60 com armaduras em aço S400, fazendo variar a classe de resistência do betão normal, para as secções: (a) 20x20-4Φ12-Φ6, *a*=47mm e (b) 20x40-4Φ12-Φ6, *a*=47mm.

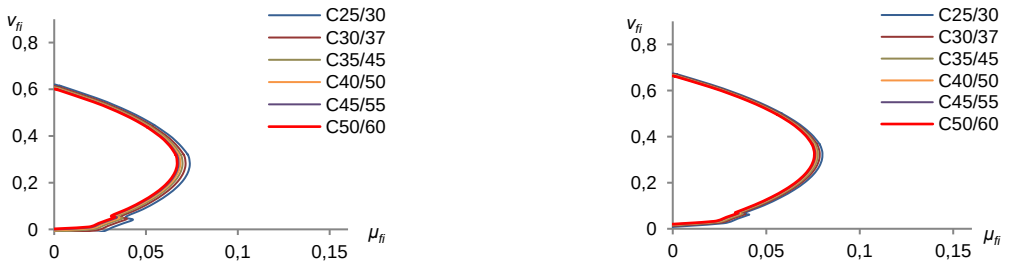


Figura 7.11 - Diagramas de interação adimensionais *N*/*M* correspondentes a pilares no escalão R60 com armaduras em aço S400, fazendo variar a classe de resistência do betão normal, para as secções: (a) 30x30-4Φ12-Φ6, *a*=47mm e (b) 40x40-4Φ12-Φ6, *a*=47mm.

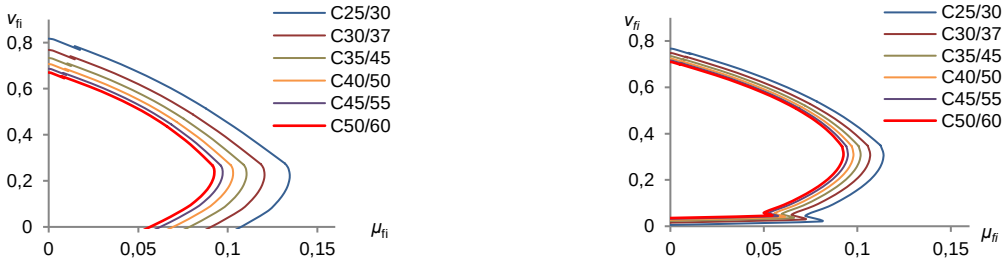


Figura 7.12 - Diagramas de interação adimensionais *N*/*M* correspondentes a pilares no escalão R60 com armaduras em aço S400, fazendo variar a classe de resistência do betão normal, para as secções: (a) 25x25-4Φ25-Φ8, *a*=55mm e (b) 40x40-4Φ25-Φ8, *a*=55mm.

Pela observação das figuras anteriores, comparando os Gráficos (a) com os Gráficos (b), pode concluir-se que, para a mesma constituição das armaduras e para o mesmo valor do parâmetro *a* (e, consequentemente, para a mesma temperatura no eixo dos varões), quanto maiores as dimensões da secção transversal e menor a percentagem de armadura, menor a discrepância entre as curvas. Também, comparando o gráfico da Figura 7.11(a) com o gráfico da Figura 7.12(a) e o gráfico da Figura 7.11(b) com o gráfico da Figura 7.12(b) se conclui que quanto maior a percentagem de armadura e maior o valor de *a* (e portanto menores valores da temperatura no eixo dos varões), mais acentuada é a discrepância entre as curvas.

Pretendendo-se desenvolver diagramas de interação aplicáveis a pilares constituídos por betões normais de qualquer classe de resistência ($f_{ck} \leq 50$MPa), considerar-se-á, no desenvolvimento desses diagramas, o betão C50/60, por corresponder à curva limite inferior das desenhadas considerando as diferentes classes de betão. Do exposto no parágrafo anterior se conclui que o método proposto nesta dissertação é mais conservativo para pilares de reduzidas dimensões, com maior percentagem de armadura e para menores valores da temperatura no eixo dos varões.

7.3. COMPOSIÇÃO DOS GRÁFICOS ADIMENSIONAIS DE INTERAÇÃO $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$

7.3.1. INTRODUÇÃO

As curvas que constituem os gráficos adimensionais de interação que se propõem neste estudo como método alternativo aos métodos que se apresentam, na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), sob a forma de tabelas, foram desenvolvidas considerando o Aço S400 e o betão C50/60, por corresponderem às mais conservativas, como se concluiu no subcapítulo anterior.

Considerou-se que a forma de apresentação mais eficaz, para o utilizador que pretende verificar a resistência ao fogo de pilares em betão armado, seria desenvolver um gráfico de consulta para cada valor da menor dimensão da secção transversal do pilar, *b*, e para cada valor da distância do eixo dos varões da armadura longitudinal à face mais próxima sujeita a incêndio, *a*. Este último parâmetro depende da espessura do recobrimento das armaduras, *c*, e do seu diâmetro. Consideraram-se os recobrimentos e as constituições das armaduras mais correntes, contemplando a regulamentação e a normalização em vigor,

como referido no Subcapítulo 6.2.2.2 do Capítulo 6. Desenvolveram-se os gráficos identificados no Quadro 7.1, para pilares com a menor dimensão *b*=200mm, *b*=250mm e *b*=300mm, recobrimento das armaduras *c*=35mm e a constituição dessas armaduras indicada nos Quadros 6.7 e 6.8 daquele capítulo. Como trabalho futuro há a intenção de desenvolver gráficos semelhantes para outros valores da menor dimensão e do recobrimento, assim como para pilares de secção circular.

Quadro 7.1 - Identificação dos gráficos propostos para a verificação da resistência ao fogo de pilares em betão armado com a menor dimensão da secção transversal *b*=200mm, *b*=250mm e *b*=300mm.

Gráfico	Menor dimensão da secção transversal *b* [mm]	Distância do eixo dos varões da armadura principal à face mais próxima sujeita a incêndio *a* [mm]	Recobrimento das armaduras *c* [mm]	Diâmetro máximo dos varões da armadura principal e das cintas
Gráfico 1	200	47	35	Φ12 - Φ6
Gráfico 2		48-49		Φ16 - Φ6
Gráfico 3		50-51		Φ20 - Φ6
Gráfico 4		54-55		Φ25 - Φ8
Gráfico 5	250	47		Φ12 - Φ6
Gráfico 6		48-49		Φ16 - Φ6
Gráfico 7		50-51		Φ20 - Φ6
Gráfico 8		54-55		Φ25 - Φ8
Gráfico 9	300	47		Φ12 - Φ6
Gráfico 10		48-49		Φ16 - Φ6
Gráfico 11		50-51		Φ20 - Φ6
Gráfico 12		54-55		Φ25 - Φ8

Em cada gráfico são contemplados os três escalões de resistência ao fogo mais frequentes e onde se insere o maior número de pilares, os escalões R60, R90 e R120, como se mostrou no Capítulo 4. Para o desenho definitivo de cada um dos gráficos começou por se definir os diagramas de interação adimensionais $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ para todas as secções previstas nesse gráfico. Constatando-se que alguns dos diagramas de interação eram demasiado próximos e algumas se intersectavam, não permitindo a fácil leitura dos gráficos, optou-se por selecionar os diagramas de modo a que tal não ocorresse, substituindo os que correspondiam às secções onde tal se verificava, pelas curvas que conduzissem a resultados mais conservativos. No subcapítulo seguinte exemplifica-se a metodologia adotada, apresentando-se detalhadamente o processo que conduziu ao desenho do Gráfico 11. No Anexo A7 mostra-se, de forma mais sumária, o procedimento para o desenho dos restantes gráficos.

7.3.2. METODOLOGIA ADOTADA PARA O DESENHO DOS GRÁFICOS DEFINITIVOS. APLICAÇÃO EXEMPLIFICATIVA NA CONSTRUÇÃO DO GRÁFICO 11

Considerou-se mais eficaz desenhar um gráfico para cada valor da menor dimensão da secção transversal dos pilares e para cada diâmetro dos varões da armadura longitudinal, como já referido. Apresenta-se, neste subcapítulo, a metodologia adotada para o desenvolvimento dos gráficos propostos, exemplificando com a construção do Gráfico 11. Este gráfico é aplicável aos pilares com valores da menor dimensão *b*=300mm, recobrimento das armaduras *c*=35mm, armadura principal constituída por varões Φ20 (diâmetro máximo) e cintas Φ6. Consideraram-se as secções apontadas no Quadro 7.2. Como pode ver-se neste quadro, a maior dimensão da secção transversal pode ser de 300mm, 400mm ou 500mm e a armadura longitudinal pode ser constituída por 4Φ, 6Φ, 8Φ ou 10Φ, com varões de igual

diâmetro (Φ20), ou diâmetros diferentes (Φ20+Φ12 ou Φ20+Φ16). Optou-se pelas secções apontadas, por serem as mais frequentemente utilizadas nos projetos de estabilidade dos edifícios correntes.

Quadro 7.2 - Secções consideradas para o desenho do Gráfico 11, aplicável aos pilares com o valor da menor dimensão *b*=300mm, recobrimento de 35mm, armadura longitudinal principal Φ20 e cintas Φ6.

b [mm]	*h* [mm]	Armadura longitudinal	*a* [mm]
300	300	4Φ20	51
		6Φ20	
		8Φ20	
		4Φ20+2Φ12	50
		4Φ20+2Φ16	
		4Φ20+4Φ12	
		4Φ20+4Φ16	
	400	4Φ20	51
		6Φ20	
		8Φ20	
		10Φ20	
		4Φ20+2Φ12	50
		4Φ20+2Φ16	
		4Φ20+4Φ12	
		4Φ20+4Φ16	
		6Φ20+2Φ16	
	500	6Φ20	51
		8Φ20	
		10Φ20	
		4Φ20+2Φ12	50
		4Φ20+2Φ16	
		4Φ20+4Φ12	
		4Φ20+4Φ16	
		6Φ20+2Φ16	

Desenharam-se os diagramas de interação adimensionais referentes a estas secções, para os escalões de resistência ao fogo R60, R90 e R120, a partir dos valores do esforço normal reduzido, ν_{fi}, e do momento fletor reduzido, μ_{fi}, correspondentes aos pares de valores $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ determinados para os diferentes domínios das extensões como se indicou no Capítulo 6. Nos Quadros A7.1 a A7.3 do Anexo A7 apresentam-se os valores dos referidos esforços reduzidos e na Figura 7.13 mostram-se os diagramas de interação, representados em tons de azul, em tons de verde e em tons de roxo, conforme se referem às secções no escalão R60, no escalão R90 ou no escalão R120, respetivamente. Como pode ver-se nesta figura, as linhas alusivas aos referidos diagramas são muito próximas e algumas intersectam-se, tornando impraticável a sua utilização como método que se pretende expedito para a verificação da resistência ao fogo dos pilares em betão. Assim, procurou-se adotar um conjunto de linhas que permitisse a fácil leitura dos gráficos, mas de modo a que esses gráficos conduzissem a resultados do lado da segurança e o menos conservativos possível.

Mantendo os princípios apontados, o processo consistiu na comparação sucessiva de pares de diagramas, de modo a obter a curva mais eficaz representativa dos esforços resistentes de cada uma das seções, para cada um dos três escalões de resistência ao fogo. Nomeadamente, ao observar as duas últimas linhas do gráfico representado na Figura 7.13, a correspondente à secção R60-*h*=40-10Φ (linha exterior) e a correspondente à secção R60-*h*=50-10Φ (deste par, a linha interior) constata-se que estas curvas são muito próximas, essencialmente na parte superior do gráfico. Assim, considerou-se esta última como a curva a utilizar na verificação da resistência ao fogo de pilares no escalão R60, com as secções

h=40-10*Φ* e *h*=50-10*Φ*, sendo que a aplicação desta curva conduz a resultados mais conservativos em pilares com a primeira secção. A curva exterior foi eliminada e curva interior foi designada Curva 1, como pode ver-se na Figura 7.14.

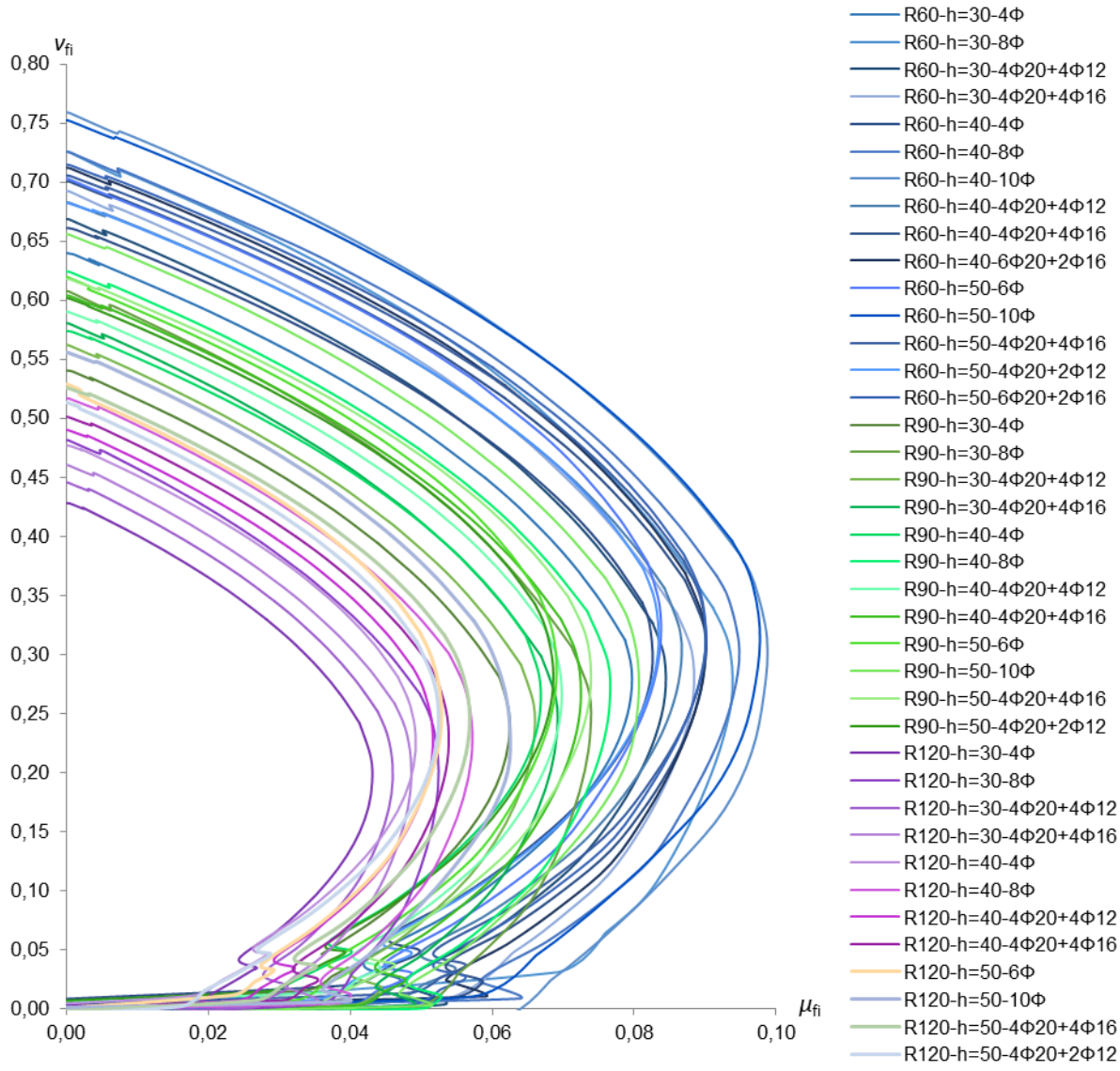


Figura 7.13 - Diagramas de interação adimensionais $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ correspondentes às secções consideradas no Gráfico 11 e indicadas no Quadro 7.2, para os escalões R60, R90 e R120.

Concluído o processo de comparação sucessiva dos diagramas, obtiveram-se, para o gráfico em estudo, dezanove curvas, como se indica na Figura 7.14. Pode observar-se que algumas destas linhas ainda se cruzam, pelo que as curvas definitivas foram definidas de modo a que tal não ocorresse compondo, nestas situações, a curva definitiva e a mais conservativa, recorrendo a diferentes diagramas de interação, como se mostrará.

Com o intuito de facilitar a exposição sobre a forma de construção dos gráficos definitivos apresentam-se, na Figura 7.14, os diagramas de interação adimensionais correspondentes às secções consideradas no Gráfico 11 e indicadas no Quadro 7.2, para os escalões R60, R90 e R120, as já representadas na

Figura 7.13, assinalando-se a vermelho as curvas tomadas como base para o desenho do gráfico definitivo.

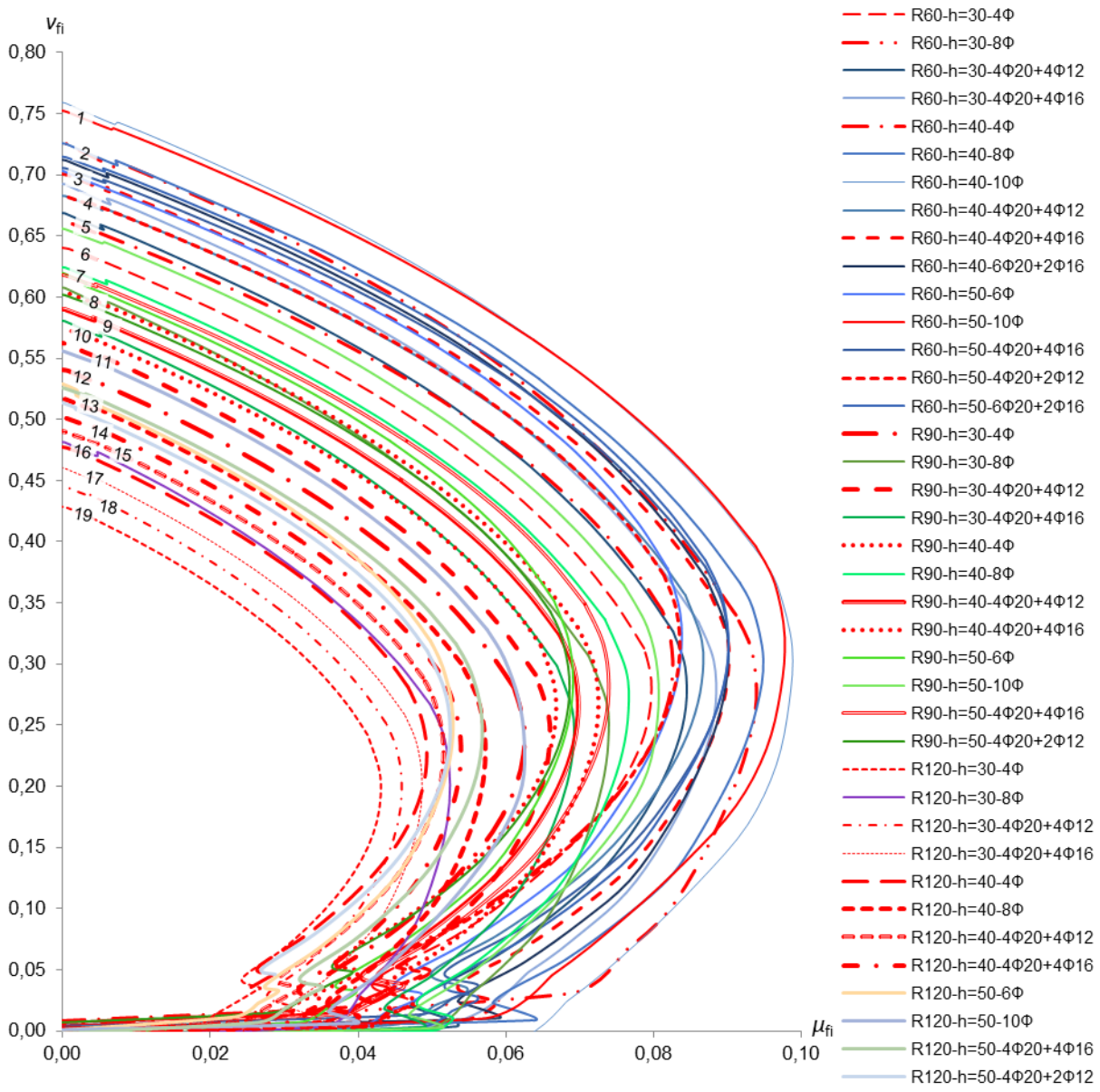


Figura 7.14 - Diagramas de interação adimensionais $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ correspondentes às secções consideradas no Gráfico 11, com a identificação das curvas tomadas como base para o desenho das definitivas.

Optou-se por apresentar a metodologia seguida para o desenho das curvas definitivas que constituem o Gráfico 11 em diferentes fases, de modo a que os diagramas permitissem uma leitura eficaz. Numa primeira fase mostram-se os diagramas de interação considerados para o desenho definitivo das Curvas 14 a 19. Esses diagramas são representados na Figura 7.15, indicando-se no Gráfico (a) os diagramas considerados para a composição destas curvas e no Gráfico (b) evidenciam-se as curvas definitivas e esbatem-se os desenhos das curvas preteridas. As curvas em evidência no Gráfico (b) da Figura 7.15 correspondem às apresentadas na Figura 7.16, referente às Curvas 14 a 19 do Gráfico 11.

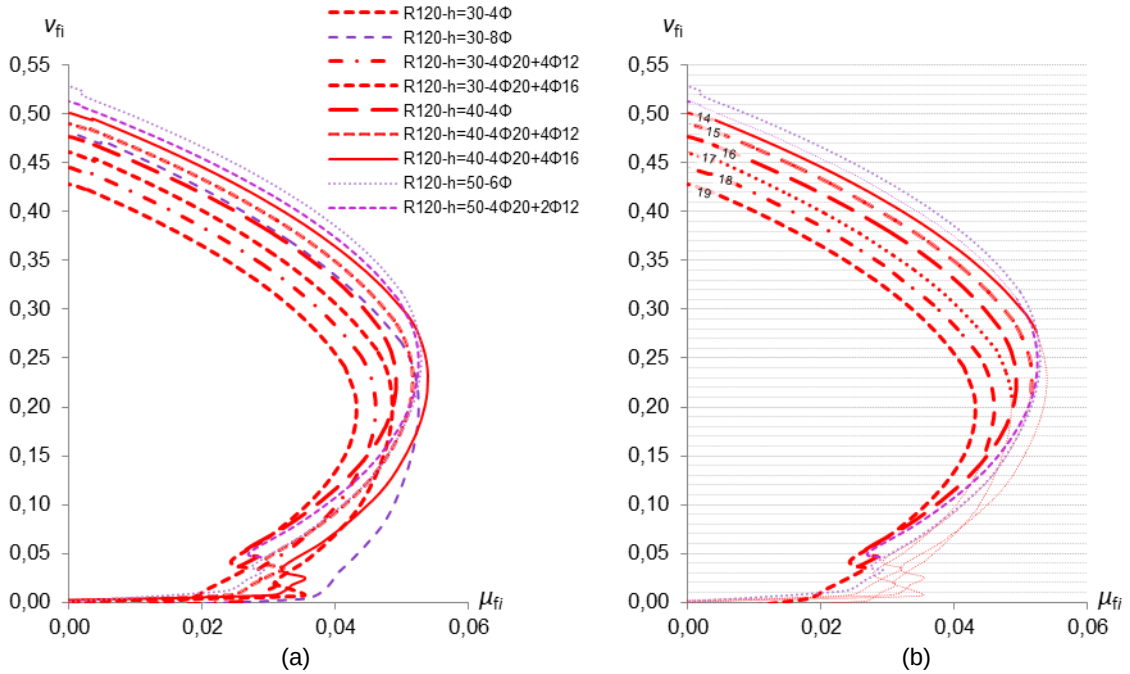


Figura 7.15 - Processo de definição das Curvas 14 a 19 do Gráfico 11: (a) Diagramas de interação correspondentes às secções indicadas na legenda e (b) Composição das curvas definitivas.

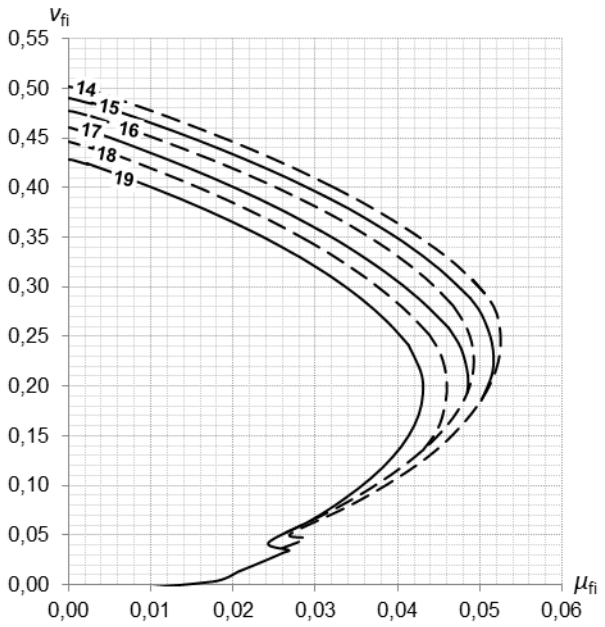


Figura 7.16 - Curvas 14 a 19 do Gráfico 11.

Observando os Gráficos (a) e (b) da Figura 7.15 e a Figura 7.16 compreende-se a sequência, que a seguir se apresenta, da metodologia usada para a definição das Curvas 14 a 19:

- ∴ A Curva 19 corresponde ao diagrama adimensional de interação da secção R120-*h*=30-4*Φ*;
- ∴ A Curva 18 corresponde ao diagrama da secção R120-*h*=30-4*Φ*20+4*Φ*12 composta, na parte inferior, com o diagrama da secção R120-*h*=40-4*Φ*;

- ∴ A Curva 17 corresponde ao diagrama da secção R120-*h*=30-4*Φ*20+4*Φ*16 composta, na parte inferior, com o diagrama da secção R120-*h*=40-4*Φ*, troço comum às Curvas 17 e 18;
- ∴ A Curva 16 corresponde ao diagrama da secção R120-*h*=40-4*Φ*, sendo esta curva comum à Curva 17 para $\nu_{fi} \leq 0,20$ e à Curva 18 para $\nu_{fi} \leq 0,14$;
- ∴ A Curva 15 corresponde ao diagrama da secção R120-*h*=40-4*Φ*20+4*Φ*12 composta, na parte inferior, com o diagrama da secção R120-*h*=50-4*Φ*20+2*Φ*12;
- ∴ A Curva 14 corresponde ao diagrama da secção R120-*h*=40-4*Φ*20+4*Φ*16 composta, na parte inferior, com o diagrama da secção R120-*h*=50-4*Φ*20+2*Φ*12, sendo esta curva comum à Curva 15 para $\nu_{fi} \leq 0,20$;
- ∴ O diagrama correspondente à secção R120-*h*=50-6*Φ* foi substituído pela Curva 14;
- ∴ O diagrama correspondente à secção R120-*h*=50-4*Φ*20+2*Φ*12 foi substituído, para $\nu_{fi} \geq 0,29$, pelo diagrama correspondente à secção R120-*h*=40-4*Φ*20+4*Φ*16 (parte superior da Curva 14), e para $\nu_{fi} \leq 0,29$ este diagrama constitui a Curva 14;
- ∴ O diagrama correspondente à secção R120-*h*=30-8*Φ* foi substituído pela Curva 16;
- ∴ Na parte inferior do gráfico, para $\nu_{fi} \leq 0,03$, considerou-se uma única curva, a mais desfavorável, correspondente à Curva 19.

A metodologia seguida para a definição das Curvas 7 a 13 é ilustrada na Figura 7.17, onde se representam os diagramas de interação correspondentes às secções cuja verificação da resistência ao fogo pode ser levada a efeito pela consulta das referidas curvas. Comparando esta figura com a Figura 7.18, que mostra apenas as Curvas 7 a 13 definitivas, tem-se uma melhor perceção da sequência do processo que levou à definição daquelas curvas:

- ∴ A Curva 13, para $\nu_{fi} \geq 0,25$ é constituída pelo diagrama correspondente à secção R120-*h*=40-8*Φ* e para $\nu_{fi} \leq 0,25$ é constituída pelo diagrama da secção R120-*h*=50-4*Φ*20+4*Φ*16;
- ∴ A Curva 12, para $\nu_{fi} \geq 0,12$ é constituída pelo diagrama da secção R90-*h*=30-4*Φ* e para $\nu_{fi} \leq 0,12$ pelo diagrama da secção R90-*h*=40-4*Φ* (parte inferior da Curva 10);
- ∴ A Curva 11, para $\nu_{fi} \geq 0,23$ é constituída pelo diagrama da secção R90-*h*=30-4*Φ*20+4*Φ*12 e para $\nu_{fi} \leq 0,23$ é comum à Curva 10;
- ∴ A Curva 10 é correspondente ao diagrama desenhado para a secção R90-*h*=40-4*Φ*;
- ∴ A Curva 9, para $\nu_{fi} \geq 0,32$ é constituída pelo diagrama da secção R90-*h*=40-4*Φ*20+4*Φ*12, para $0,17 \leq \nu_{fi} \leq 0,32$ pelo diagrama da secção R90-*h*=50-4*Φ*20+2*Φ*12 e para $\nu_{fi} \geq 0,17$ é comum à Curva 10;
- ∴ A Curva 8, para $\nu_{fi} \geq 0,20$ é constituída pelo diagrama da secção R90-*h*=40-4*Φ*20+4*Φ*16 e para $\nu_{fi} \leq 0,20$ é comum à Curva 7;
- ∴ A Curva 7 é correspondente ao diagrama desenhado para a secção R90-*h*=50-4*Φ*20+4*Φ*16;
- ∴ O diagrama correspondente à secção R90-*h*=40-8*Φ* foi substituído pela Curva 7;
- ∴ Os diagramas correspondentes às secções R90-*h*=50-6*Φ*, R90-*h*=30-8*Φ* e R90-*h*=50-4*Φ*20+2*Φ*12 foram substituídos pela Curva 9;
- ∴ O diagrama correspondente à secção R120-*h*=50-10*Φ* foi substituído pela Curva 12;
- ∴ O diagrama correspondente à secção R90-*h*=30-4*Φ*20+4*Φ*16 foi substituído pela Curva 10;

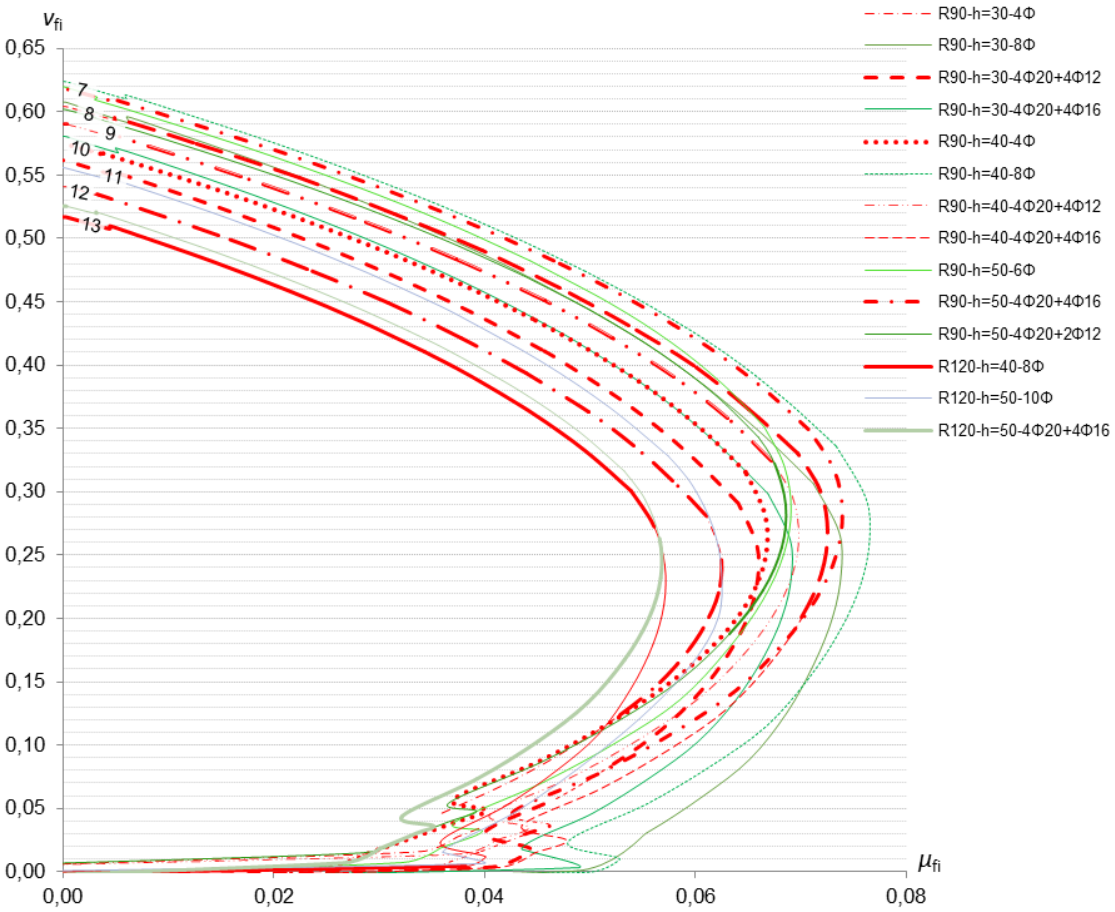


Figura 7.17 - Processo de definição das Curvas 7 a 13 do Gráfico 11.

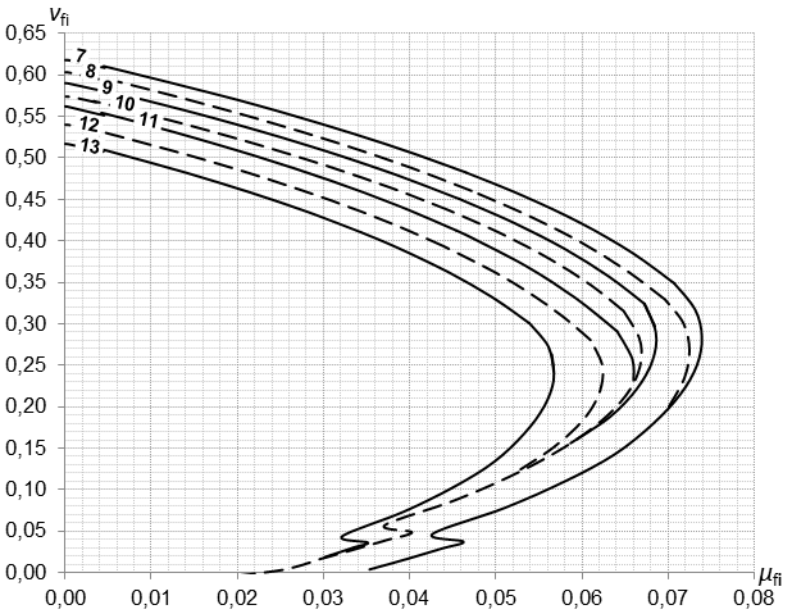


Figura 7.18 - Curvas 7 a 13 do Gráfico 11.

O critério seguido para a definição das Curvas 1 a 6 é semelhante ao exposto para as outras curvas. Na Figura 7.19 são representados os gráficos adimensionais de interação correspondentes às secções cuja resistência ao fogo pode ser verificada por esta gama de curvas, e na Figura 7.20 apresentam-se as curvas definitivas. Foi considerada a seguinte sequência para a definição destas curvas:

- ∴ A Curva 6, para $\nu_{fi} \geq 0{,}04$ é constituída pelo diagrama da secção R60-*h*=30-4*Φ* e para $\nu_{fi} \leq 0{,}04$ é comum à Curva 7;
- ∴ A Curva 5, para $\nu_{fi} \geq 0{,}20$ é constituída pelo diagrama da secção R60-*h*=40-4*Φ* e para $\nu_{fi} \leq 0{,}20$ é comum à Curva 6;
- ∴ A Curva 4, para $\nu_{fi} \geq 0{,}29$ é constituída pelo diagrama da secção R60-*h*=50-4*Φ*20+2*Φ*12 e para $\nu_{fi} \leq 0{,}29$ é comum à Curva 5;
- ∴ A Curva 3, para $\nu_{fi} \geq 0{,}29$ é constituída pelo diagrama da secção R60-*h*=40-4*Φ*20+4*Φ*16 e para $\nu_{fi} \leq 0{,}29$ pelo diagrama da secção R60-*h*=50-4*Φ*20+4*Φ*16;
- ∴ A Curva 2, para $\nu_{fi} \geq 0{,}26$ é constituída pelo diagrama da secção R60-*h*=30-8*Φ* e para $\nu_{fi} \leq 0{,}26$ pelo diagrama da secção R60-*h*=40-8*Φ*;
- ∴ A Curva 1, para $\nu_{fi} \geq 0{,}14$ é constituída pelo diagrama da secção R60-*h*=50-10*Φ* e para $\nu_{fi} \leq 0{,}14$ é comum à Curva 2;
- ∴ O diagrama correspondente à secção R60-*h*=40-10*Φ* foi substituído pela Curva 1;
- ∴ Os diagramas correspondentes às secções R60-*h*=30-4*Φ*20+4*Φ*16, R60-*h*=50-6*Φ* e R60-*h*=40-4*Φ*20+4*Φ*12 foram substituídos pela Curva 4;
- ∴ O diagrama correspondente à secção R60-*h*=30-4*Φ*20+4*Φ*12 foi substituído pela Curva 5;
- ∴ O diagrama correspondente à secção R90-*h*=50-10*Φ* foi substituído pela Curva 6;
- ∴ Os diagramas correspondentes às secções R60-*h*=40-6*Φ*20+2*Φ*16 e R60-*h*=50-6*Φ*20+2*Φ*16 foram substituídos pela Curva 3;

No Quadro 7.3 apresenta-se, para cada secção transversal dos pilares com as caraterísticas que se consideram abrangidas pelo Gráfico 11, a indicação da curva definitiva adotada para a verificação da sua resistência ao fogo.

Nas Figuras A7.5 a A7.15 do Anexo A7 mostram-se os diagramas de interação que serviram de base à elaboração de cada um dos restantes gráficos definitivos (gráficos semelhantes ao representado na Figura 7.13), acompanhadas pelos Quadros A7.4 a A7.14, correspondentes ao Quadro 7.3. No subcapítulo seguinte apresentam-se os gráficos definitivos propostos para a verificação da resistência ao fogo de pilares em betão armado.

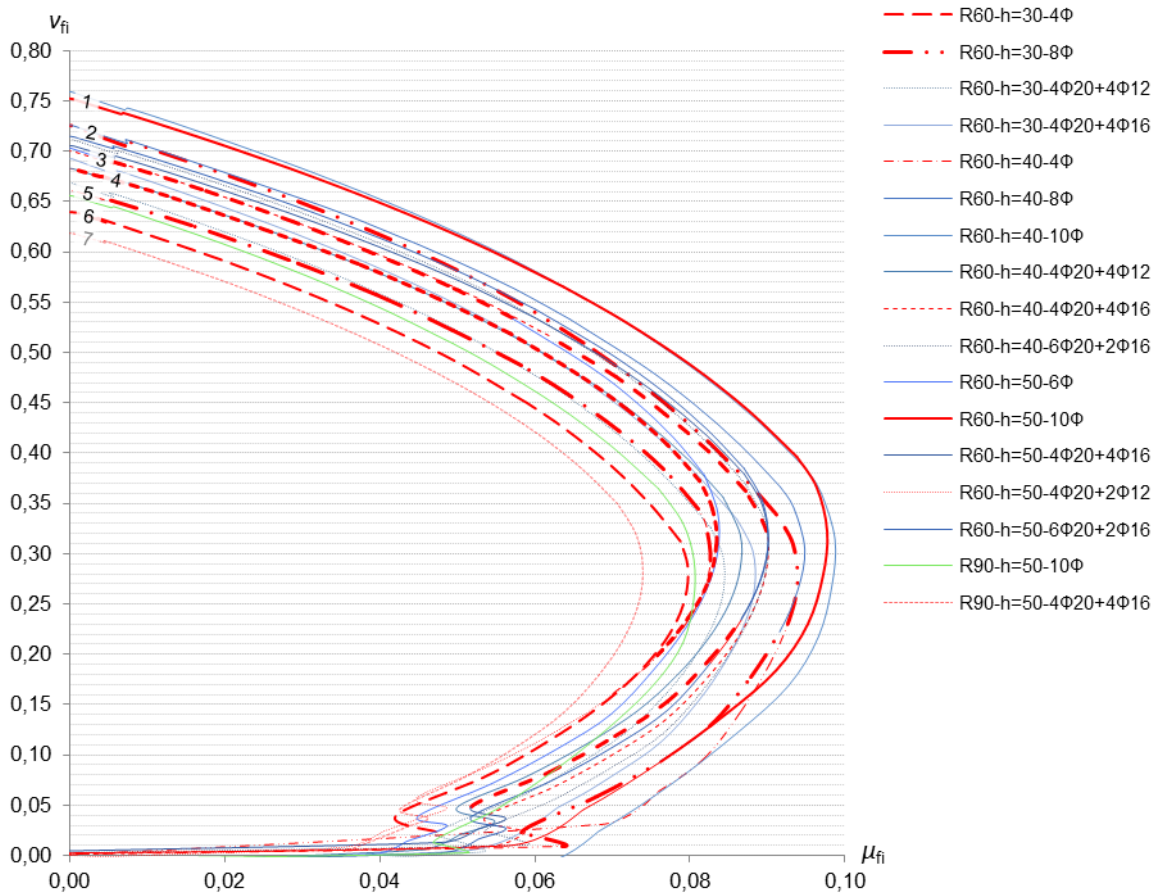


Figura 7.19 - Processo de definição das Curvas 1 a 6 do Gráfico 11.

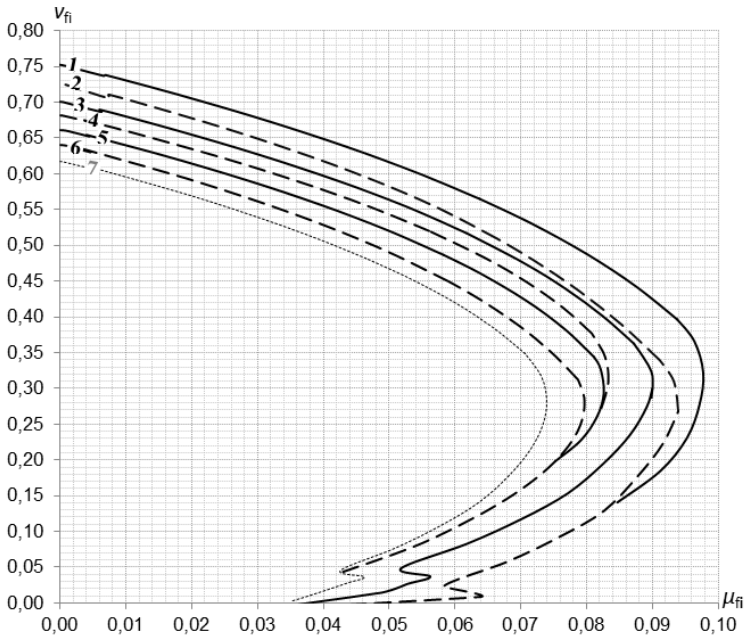


Figura 7.20 - Curvas 1 a 6 do Gráfico 11.

Quadro 7.3 - Curvas definitivas adotadas para os diferentes diagramas de interação, a utilizar na verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão *b*=300mm, recobrimento de 35mm, armadura longitudinal principal *Φ*20 e cintas *Φ*6, que constituem o Gráfico 11.

Caraterísticas da secção			R60		R90		R120	
b [cm]	*h* [cm]	Armadura longitudinal	Diagrama considerado	Curva	Diagrama considerado	Curva	Diagrama considerado	Curva
30	30	4Φ20	R60-*h*=30-4*Φ* Composto com Curva 7	6	R90-*h*=30-4*Φ* Composto com R90-*h*=40-4*Φ*	12	R120-*h*=30-4*Ø*	19
		6Φ20	R60-*h*=30-4*Φ* Composto com Curva 7	6	R90-*h*=30-4*Φ* Composto com R90-*h*=40-4*Φ*	12	R120-*h*=30-4*Ø*	19
		8Φ20	R60-*h*=30-8*Ø* Composto com R60-*h*=40-8*Ø*	2	R90-*h*=40-4*Φ*20+4*Φ*12 Composto com R90-*h*=50-4*Φ*20+2*Φ*12 Composto com Curva 10	9	R120-*h*=40-4*Ø*	16
		4Φ20+2Φ12	R60-*h*=30-4*Φ* Composto com Curva 7	6	R90-*h*=30-4*Φ* Composto com R90-*h*=40-4*Φ*	12	R120-*h*=30-4*Ø*	19
		4Φ20+2Φ16	R60-*h*=30-4*Φ* Composto com Curva 7	6	R90-*h*=30-4*Φ* Composto com R90-*h*=40-4*Φ*	12	R120-*h*=30-4*Ø*	19
		4Φ20+4Φ12	R60-*h*=40-4*Φ* Composto com Curva 6	5	R90-*h*=30-4*Φ*20+4*Φ*12 Composto com Curva 10	11	R120-*h*=30-4*Ø*20+4*Ø*12 Composto com R120-*h*=40-4*Ø*	18
		4Φ20+4Φ16	R60-*h*=50-4*Φ*20+2*Φ*12 Composto com Curva 5	4	R90-*h*=40-4*Φ*	10	R120-*h*=30-4*Ø*20+4*Ø*16 Composto com R120-*h*=40-4*Ø*	17
	40	4Φ20	R60-*h*=40-4*Φ* Composto com Curva 6	5	R90-*h*=40-4*Φ*	10	R120-*h*=40-4*Ø*	16
		6Φ20	R60-*h*=40-4*Φ* Composto com Curva 6	5	R90-*h*=40-4*Φ*	10	R120-*h*=40-4*Ø*	16
		8Φ20	R60-*h*=30-8*Ø*20	2	R90-*h*=50-4*Φ*20+4*Φ*16	7	R120-*h*=40-8*Φ* Composto com R120-*h*=50-4*Φ*20+4*Φ*16	13
		10Φ20	R60-*h*=50-10*Ø* Composto com Curva 2	1	R90-*h*=50-4*Φ*20+4*Φ*16	7	R120-*h*=40-8*Φ* Composto com R120-*h*=50-4*Φ*20+4*Φ*16	13
		4Φ20+2Φ12	R60-*h*=40-4*Φ* Composto com Curva 6	5	R90-*h*=40-4*Φ*	10	R120-*h*=40-4*Ø*	16
		4Φ20+2Φ16	R60-*h*=40-4*Φ* Composto com Curva 6	5	R90-*h*=40-4*Φ*	10	R120-*h*=40-4*Ø*	16
		4Φ20+4Φ12	R60-*h*=50-4*Φ*20+2*Φ*12 Composto com Curva 5	4	R90-*h*=40-4*Φ*20+4*Φ*12 Composto com R90-*h*=50-4*Φ*20+2*Φ*12 Composto com Curva 10	9	R120-*h*=40-4*Φ*20+4*Φ*12 Composto com R120-*h*=50-4*Φ*20+2*Φ*12	15
		4Φ20+4Φ16	R60-30x40-4*Ø*20+4*Ø*16	3	R90-*h*=40-4*Φ*20+4*Φ*12 Composto com Curva 7	8	R120-*h*=40-4*Φ*20+4*Φ*16 Composto com R120-*h*=50-4*Φ*20+2*Φ*12	14
		6Φ20+2Φ16	R60-30x40-4*Ø*20+4*Ø*16	3	R90-*h*=40-4*Φ*20+4*Φ*12 Composto com Curva 7	8	R120-*h*=40-4*Φ*20+4*Φ*16 Composto com R120-*h*=50-4*Φ*20+2*Φ*12	14

Quadro 7.3 - Continuação - Curvas definitivas adotadas para os diferentes diagramas de interação, a utilizar na verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão *b*=300mm, recobrimento de 35mm, armadura longitudinal principal Ø20 e cintas Ø6, que constituem o Gráfico 11.

Caraterísticas da secção			R60		R90		R120	
b [cm]	*h* [cm]	Armadura longitudinal	Diagrama considerado	Curva	Diagrama considerado	Curva	Diagrama considerado	Curva
30	50	6Φ20	R60-*h*=50-4Φ20+2Φ12 Composto com Curva 5	4	R90-*h*=40-4Φ20+4Φ12 Composto com R90-*h*=50-4Φ20+2Φ12 Composto com Curva 10	9	R120-*h*=40-4Φ20+4Φ16 Composto com R120-*h*=50-4Φ20+2Φ12	14
		8Φ20	R60-*h*=50-4Φ20+2Φ12 Composto com Curva 5	4	R90-*h*=40-4Φ20+4Φ12 Composto com R90-*h*=50-4Φ20+2Φ12 Composto com Curva 10	9	R120-*h*=40-8Φ Composto com R120-*h*=50-4Φ20+4Φ16	13
		10Φ20	R60-*h*=50-10Ø Composto com Curva 2	1	R60-*h*=30-4Φ Composto com Curva 7	6	R90-*h*=30-4Φ Composto com R90-*h*=40-4Φ	12
		4Φ20+2Φ12	R60-*h*=50-4Φ20+2Φ12 Composto com Curva 5	4	R90-*h*=40-4Φ20+4Φ12 Composto com R90-*h*=50-4Φ20+2Φ12 Composto com Curva 10	9	R120-*h*=40-4Φ20+4Φ16 Composto com R120-*h*=50-4Φ20+2Φ12	14
		4Φ20+2Φ16	R60-*h*=50-4Φ20+2Φ12 Composto com Curva 5	4	R90-*h*=40-4Φ20+4Φ12 Composto com R90-*h*=50-4Φ20+2Φ12 Composto com Curva 10	9	R120-*h*=40-4Φ20+4Φ16 Composto com R120-*h*=50-4Φ20+2Φ12	14
		4Φ20+4Φ12	R60-*h*=50-4Φ20+2Φ12 Composto com Curva 5	4	R90-*h*=40-4Φ20+4Φ12 Composto com R90-*h*=50-4Φ20+2Φ12 Composto com Curva 10	9	R120-*h*=40-4Φ20+4Φ16 Composto com R120-*h*=50-4Φ20+2Φ12	14
		4Φ20+4Φ16	R60-30x40-4Ø20+4Ø16	3	R90-*h*=50-4Φ20+4Φ16	7	R120-*h*=40-8Φ Composto com R120-*h*=50-4Φ20+4Φ16	13
		6Φ20+2Φ16	R60-30x40-4Ø20+4Ø16	3	R90-*h*=40-4Φ20+4Φ12 Composto com R90-*h*=50-4Φ20+2Φ12 Composto com Curva 10	9	R120-*h*=40-8Φ Composto com R120-*h*=50-4Φ20+4Φ16	13

7.4. GRÁFICOS DEFINITIVOS

7.4.1. GRÁFICOS DEFINITIVOS PROPOSTOS

Os gráficos definitivos apontados no Quadro 7.1, para a verificação da resistência ao fogo de pilares em betão armado com as caraterísticas aí indicadas, são apresentados nas Figuras 7.21 a 7.32. Nos Quadros 7.4 a 7.15 indicam-se as curvas correspondentes ao limite superior da resistência mecânica ao fogo a considerar para as diferentes secções transversais, para os escalões R60, R90 e R120. As curvas referentes aos limites máximos dos esforços atuantes em situação de incêndio são representadas apenas quando a discrepância entre estes esforços e os correspondentes à temperatura normal é significativa, como se expôs no Subcapítulo 6.3.5 do Capítulo 6.

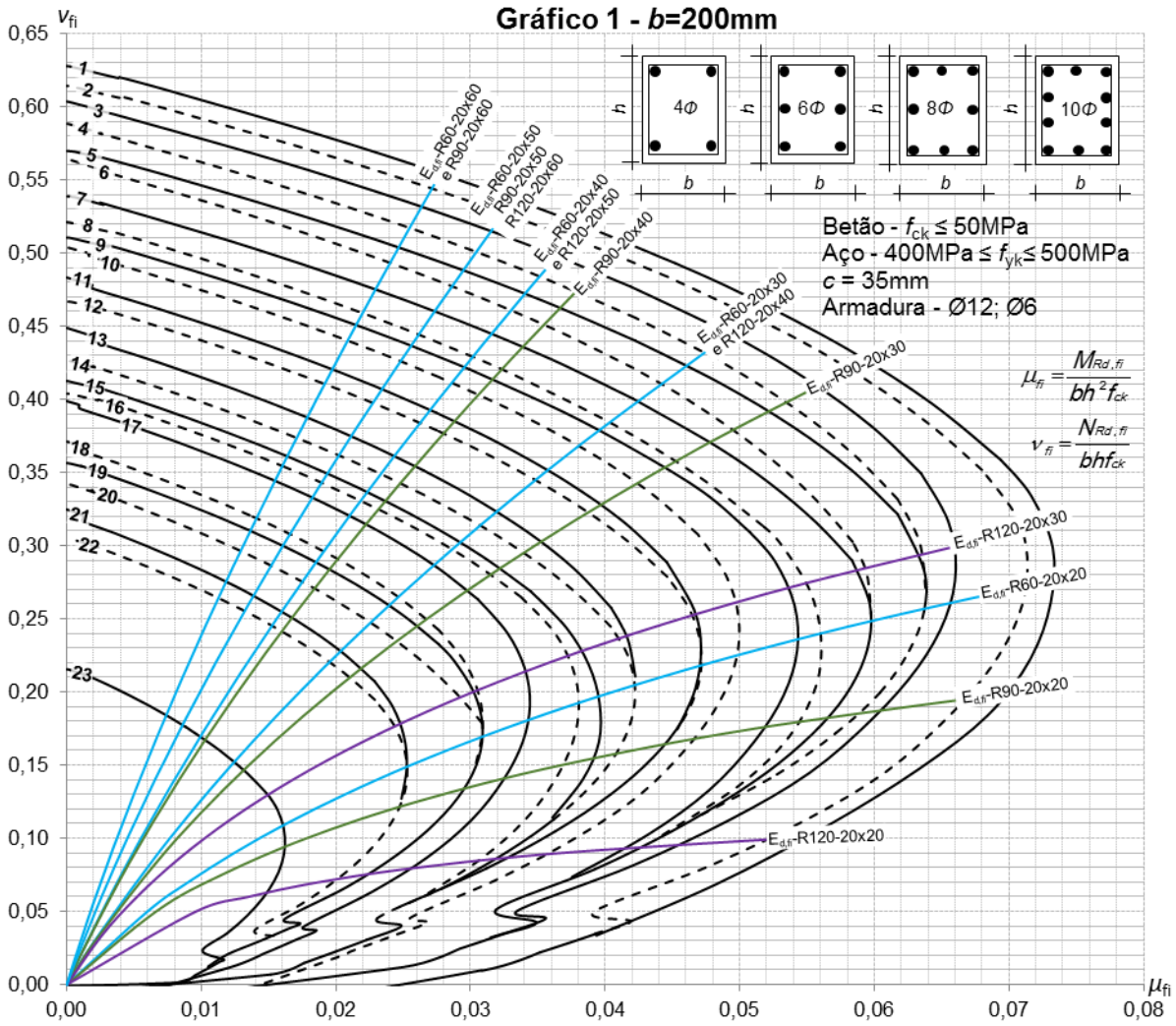


Figura 7.21 - Gráfico para a verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*12-*Φ*6. Válido para as secções indicadas no Quadro 7.4.

Quadro 7.4 - Dimensões da secção transversal e constituição da armadura dos pilares cuja resistência ao fogo pode ser verificada pela aplicação do Gráfico 1, Figura 7.21, para *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*12-*Φ*6.

*Φ*12 - *Φ*6					
Secção		Armadura	Curvas a consultar		
b [mm]	*h* [mm]		R60	R90	R120
200	200	4*Φ*12	12	20	23
	300	4*Φ*12	7	14	22
		6*Φ*12	6	13	21
		8*Φ*12	4	11	18
	400	4*Φ*12	5	12	19
		6*Φ*12	4	11	18
		8*Φ*12	3	10	17
		10*Φ*12	2	9	16
	500	6*Φ*12	3	10	17
		8*Φ*12	2	9	16
		10*Φ*12	1	8	15

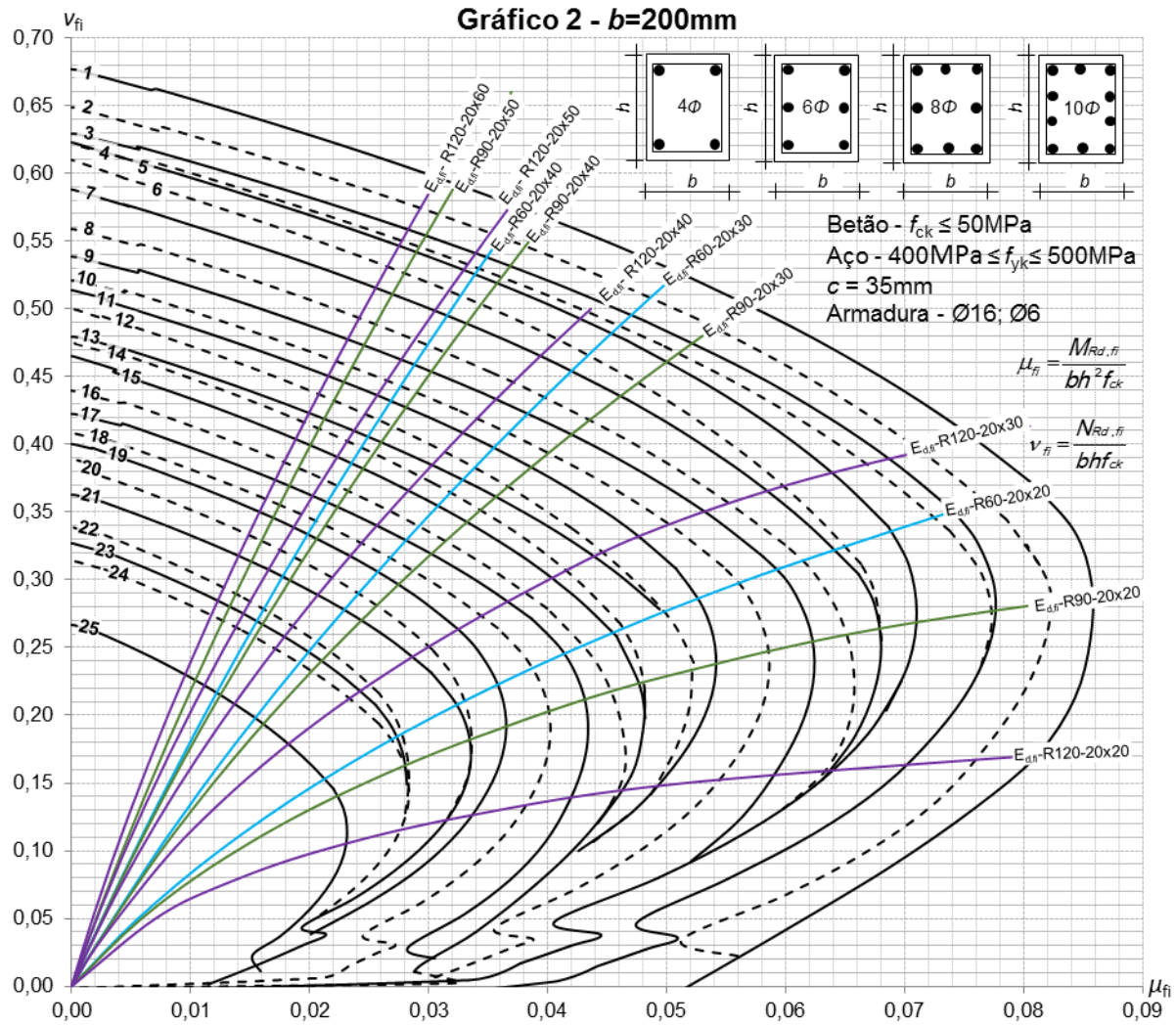


Figura 7.22 - Gráfico para a verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão *b*=200mm e armadura constituída por varões Φ16-Φ6. Válido para as secções indicadas no Quadro 7.5.

Quadro 7.5 - Dimensões da secção transversal e constituição da armadura dos pilares cuja resistência ao fogo pode ser verificada pela aplicação do Gráfico 2, Figura 7.22, para *b*=200mm e armadura constituída por varões Φ16-Φ6.

Φ16 - Φ6					
Secção		Armadura	Curvas a consultar		
b [mm]	*h* [mm]		R60	R90	R120
200	200	4Φ16	12	21	25
	300	4Φ16	8	16	24
		6Φ16	6	14	22
		8Φ16	3	11	19
		4Φ16+2Φ12	7	15	23

Φ16 - Φ6					
Secção		Armadura	Curvas a consultar		
b [mm]	*h* [mm]		R60	R90	R120
200	400	4Φ16	7	13	21
		6Φ16	5	12	20
		8Φ16	2	10	18
		10Φ16	1	8	16
		4Φ16+2Φ12	6	12	21
		4Φ16+4Φ12	4	11	19
	500	6Φ16	5	11	19
		8Φ16	2	9	17
		10Φ16	1	8	16
		4Φ16+2Φ12	5	11	19
		4Φ16+4Φ12	3	10	18

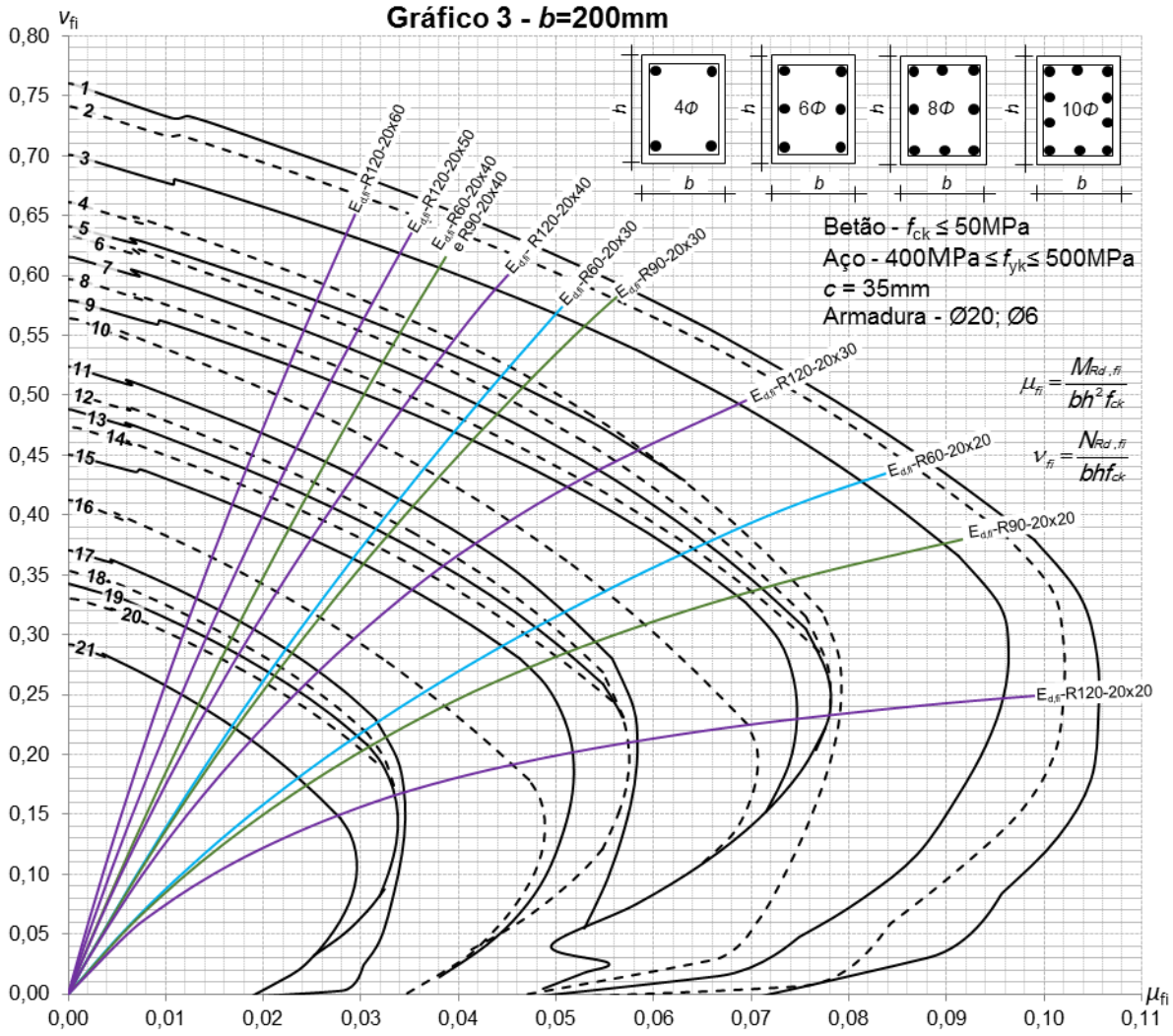


Figura 7.23 - Gráfico para a verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão *b*=200mm e armadura constituída por varões Φ20-Φ6. Válido para as secções indicadas no Quadro 7.6.

Quadro 7.6 - Dimensões da secção transversal e constituição da armadura dos pilares cuja resistência ao fogo pode ser verificada pela aplicação do Gráfico 3, Figura 7.23, para *b*=200mm e armadura constituída por varões Φ20-Φ6.

Ø20 - Ø6					
Secção		Armadura	Curvas a consultar		
b [mm]	*h* [mm]		R60	R90	R120
200	200	4Φ20	10	16	21
	300	4Φ20	8	14	20
		6Φ20	4	11	17
		4Φ20+2Φ12	7	13	19
		4Φ20+2Φ16	6	12	18
	400	4Φ20	7	13	19
		6Φ20	5	11	17
		8Φ20	3	9	15
		10Φ20	1	7	13
		4Φ20+2Φ12	6	12	18
		4Φ20+2Φ16	5	11	17

Ø20 - Ø6					
Secção		Armadura	Curvas a consultar		
b [mm]	*h* [mm]		R60	R90	R120
200	500	6Φ20	5	11	17
		8Φ20	3	9	15
		10Φ20	2	7	13
		4Φ20+2Φ12	5	11	17
		4Φ20+2Φ16	5	11	17

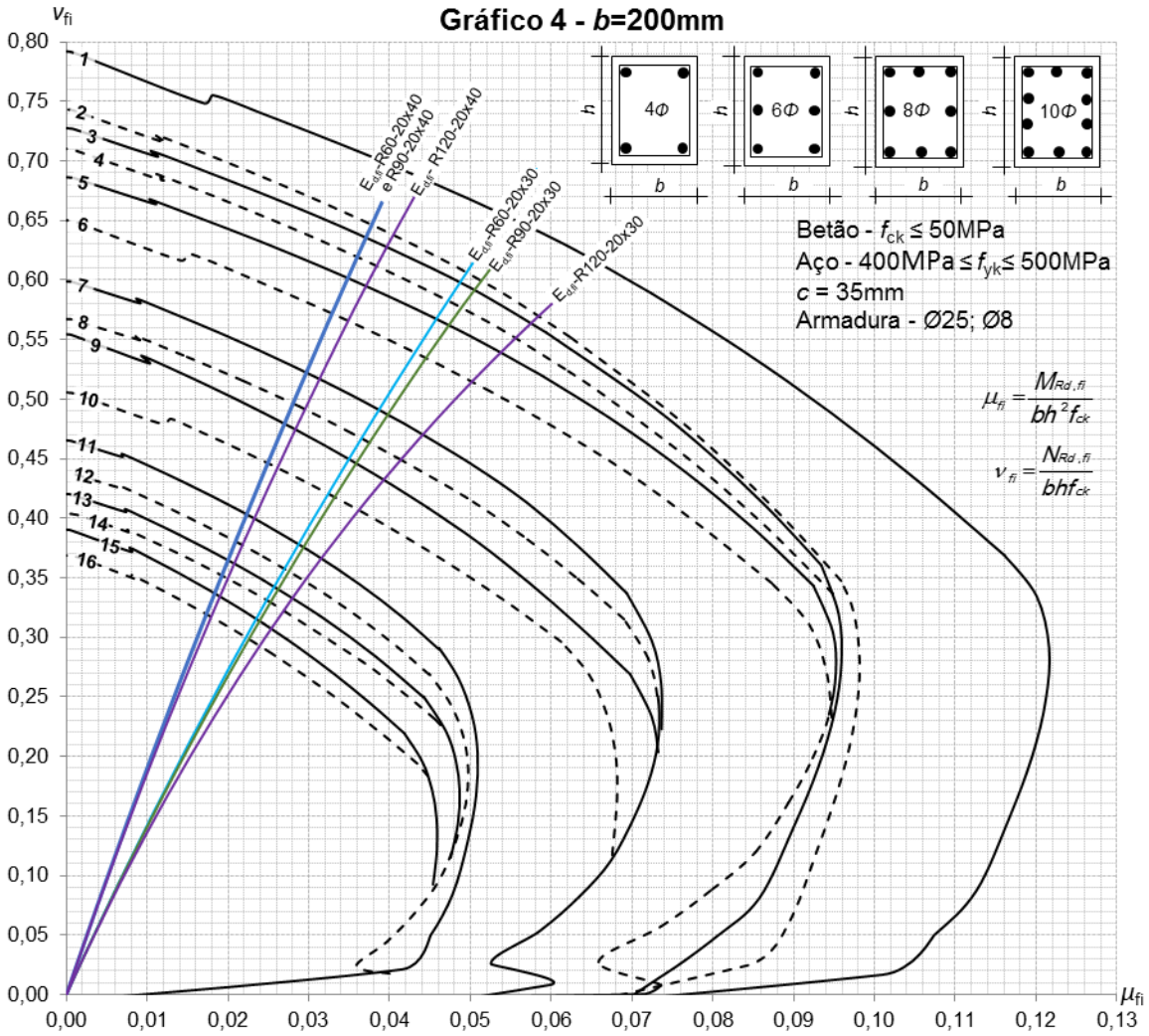


Figura 7.24 - Gráfico para a verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*25-*Φ*8. Válido para as secções indicadas no Quadro 7.7.

Quadro 7.7 - Dimensões da secção transversal e constituição da armadura dos pilares cuja resistência ao fogo pode ser verificada pela aplicação do Gráfico 4, Figura 7.24, para *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*25-*Φ*8.

*Φ*25 - *Φ*8					
Secção		Armadura	Curvas a consultar		
b [mm]	*h* [mm]		R60	R90	R120
200	300	4*Φ*25	6	10	16
		4*Φ*25+2*Φ*16	5	9	15
	400	4*Φ*25	6	10	14
		6*Φ*25	2	7	11
		4*Φ*25+2*Φ*16	5	8	13
		4*Φ*25+2*Φ*20	4	8	12
	500	6*Φ*25	3	7	11
		8*Φ*25	1	6	10
		4*Φ*25+2*Φ*16	5	8	12
		4*Φ*25+2*Φ*20	5	8	12

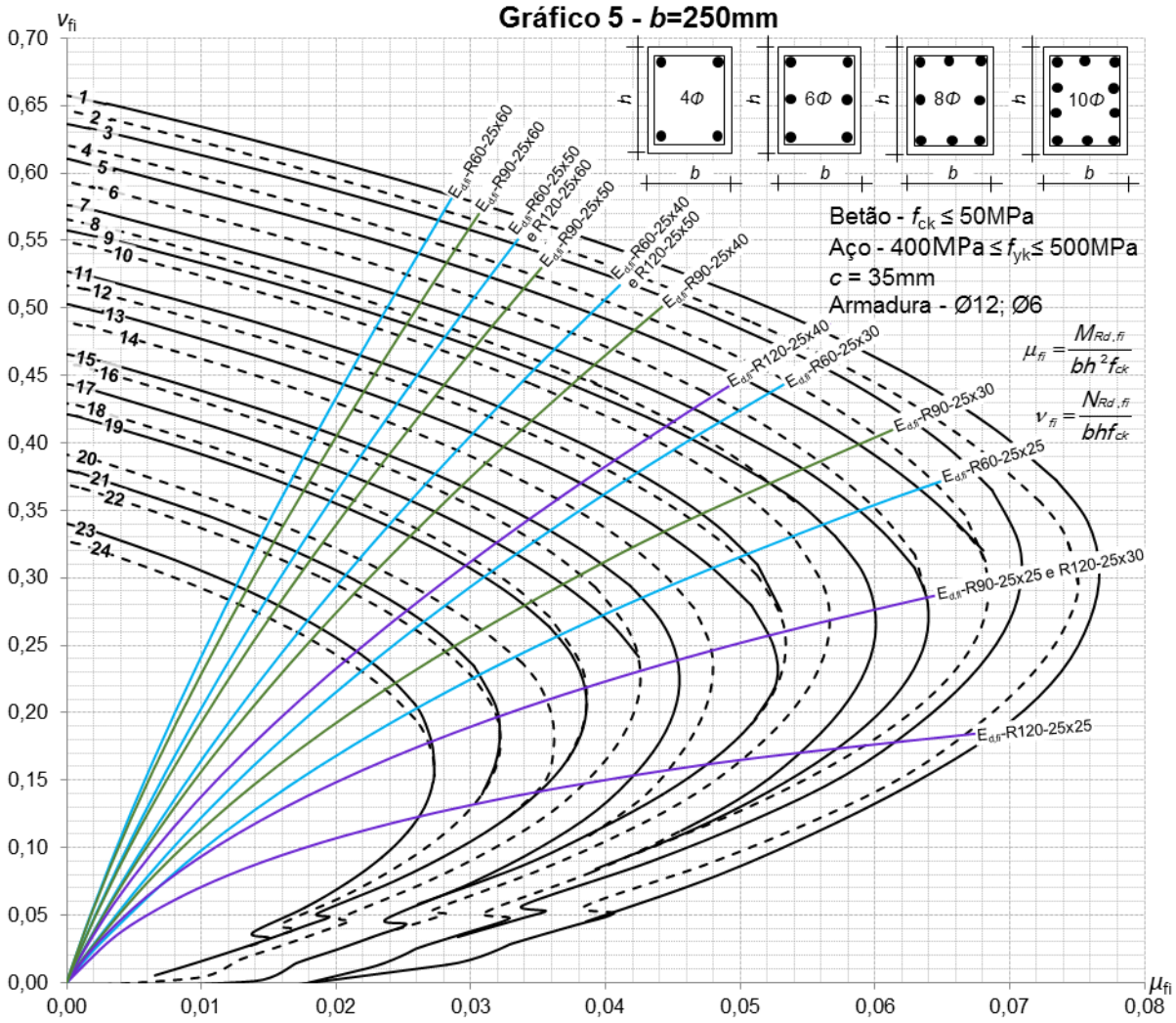


Figura 7.25 - Gráfico para a verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*12-*Φ*6. Válido para as secções indicadas no Quadro 7.8.

Quadro 7.8 - Dimensões da secção transversal e constituição da armadura dos pilares cuja resistência ao fogo pode ser verificada pela aplicação do Gráfico 5, Figura 7.25, para *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*12-*Φ*6.

*Φ*12 - *Φ*6					
Secção		Armadura	Curvas a consultar		
b [mm]	*h* [mm]		R60	R90	R120
250	250	4*Φ*12	10	17	24
		6*Φ*12	8	16	23
		8*Φ*12	6	14	21
	300	4*Φ*12	7	15	22
		6*Φ*12	6	14	21
		8*Φ*12	5	13	20

*Φ*12 - *Φ*6					
Secção		Armadura	Curvas a consultar		
b [mm]	*h* [mm]		R60	R90	R120
250	400	4*Φ*12	5	12	19
		6*Φ*12	4	11	18
		8*Φ*12	3	10	16
		10*Φ*12	2	10	16
	500	6*Φ*12	3	10	16
		8*Φ*12	2	9	15
		10*Φ*12	1	8	15

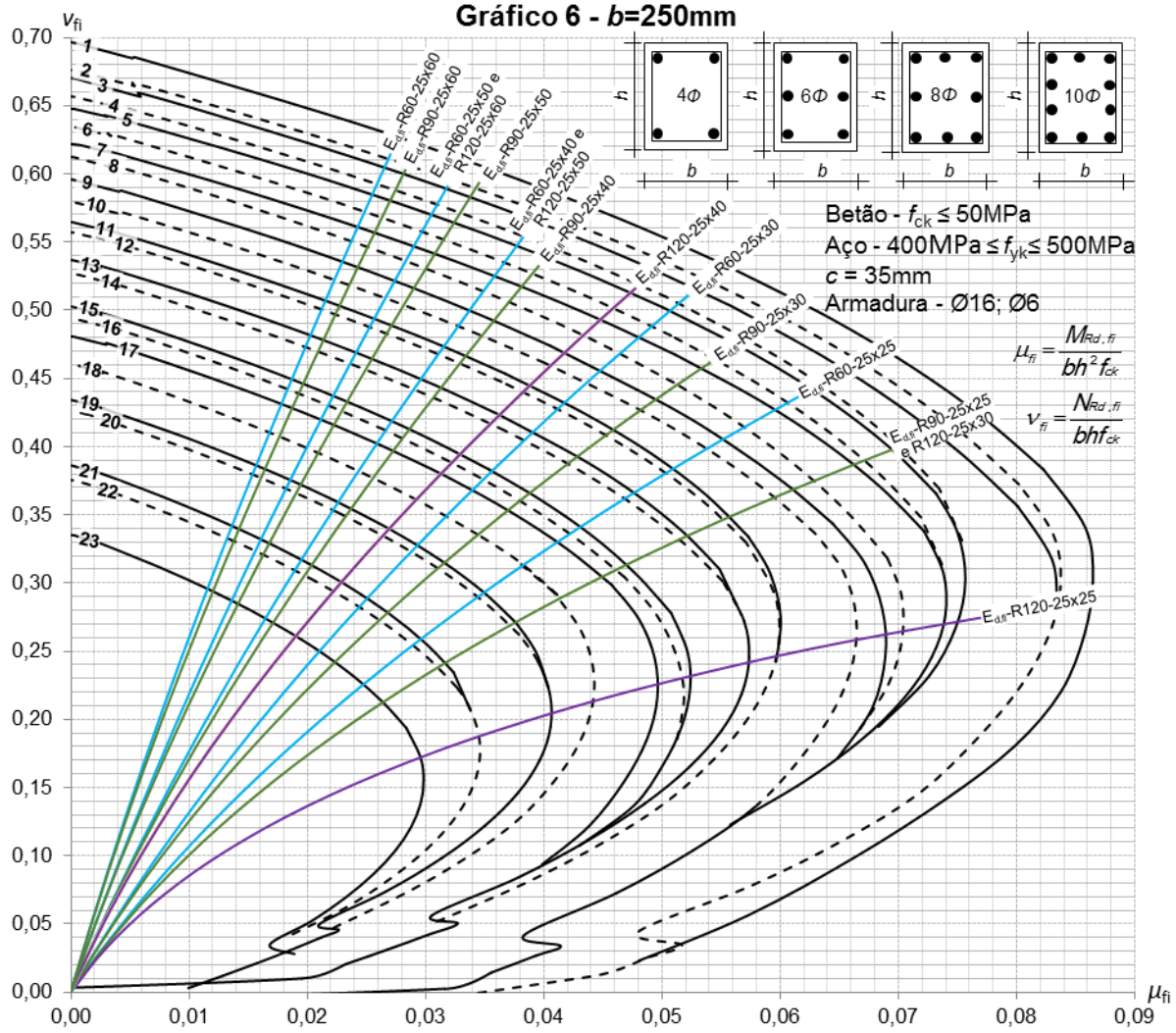


Figura 7.26 - Gráfico para a verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão *b*=250mm e armadura constituída por varões Φ16-Φ6. Válido para as secções indicadas no Quadro7.9.

Quadro 7.9 - Dimensões da secção transversal e constituição da armadura dos pilares cuja resistência ao fogo pode ser verificada pela aplicação do Gráfico 6, Figura 7.26, para *b*=250mm e armadura constituída por varões Φ16-Φ6.

Φ16 - Φ6					
Secção		Armadura	Curvas a consultar		
b [mm]	*h* [mm]		R60	R90	R120
250	250	4Φ16	11	18	23
		6Φ16	11	18	23
		8Φ16	6	13	19
	300	4Φ16	9	16	22
		6Φ16	8	15	21
		8Φ16	4	11	18
		4Φ16+2Φ12	8	15	21

Φ16 - Φ6					
Secção		Armadura	Curvas a consultar		
b [mm]	*h* [mm]		R60	R90	R120
250	400	4Φ16	7	14	20
		6Φ16	8	15	21
		8Φ16	3	11	18
		10Φ16	1	9	16
		4Φ16+2Φ12	6	13	19
	500	6Φ16	4	11	18
		8Φ16	2	10	17
		10Φ16	1	9	16
		4Φ16+2Φ12	5	12	18

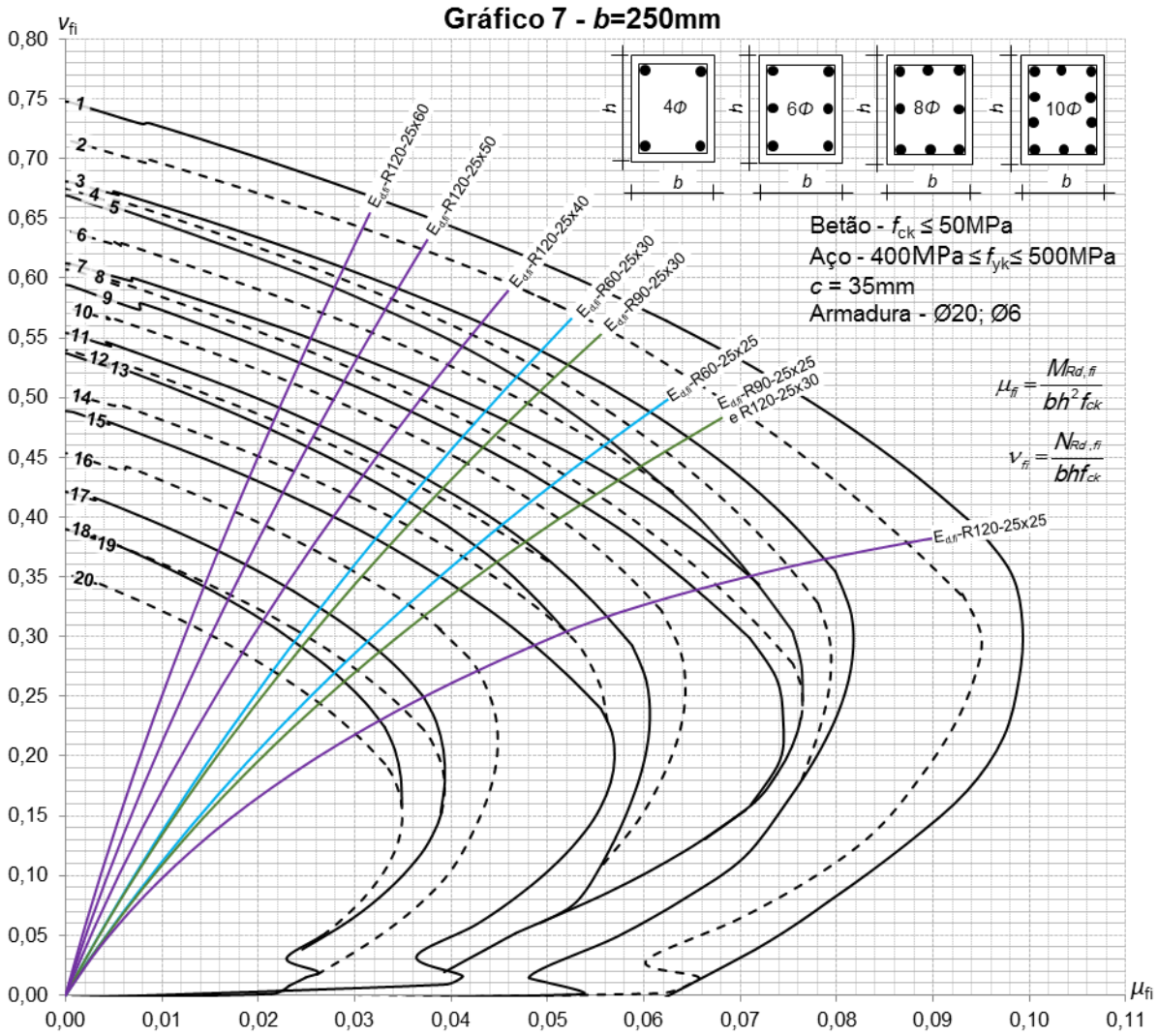


Figura 7.27 - Gráfico para a verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão *b*=250mm e armadura constituída por varões Φ20-Φ6. Válido para as secções indicadas no Quadro 7.10.

Quadro 7.10 - Dimensões da secção transversal e constituição da armadura dos pilares cuja resistência ao fogo pode ser verificada pela aplicação do Gráfico 7, Figura 7.27, para *b*=250mm e armadura constituída por varões Φ20-Φ6.

Φ20 - Φ6					
Secção		Armadura	Curvas a consultar		
b [mm]	*h* [mm]		R60	R90	R120
250	250	4Φ20	8	15	20
		6Φ20	5	13	19
		4Φ20+4Φ12	6	12	18
		4Φ20+4Φ16	4	11	17
	300	4Φ20	7	14	18
		6Φ20	4	11	17
		8Φ20	2	9	16
		4Φ20+2Φ12	6	12	18
		4Φ20+2Φ16	6	12	18

Φ20 - Φ6					
Secção		Armadura	Curvas a consultar		
b [mm]	*h* [mm]		R60	R90	R120
250	400	4Φ20	6	12	18
		6Φ20	3	10	16
		8Φ20	2	7	14
		10Φ20	1	6	12
		4Φ20+2Φ12	6	12	18
		4Φ20+2Φ16	4	11	17
	500	6Φ20	3	10	16
		8Φ20	2	7	14
		10Φ20	1	6	12
		4Φ20+2Φ12	4	10	16
		4Φ20+2Φ16	4	10	16

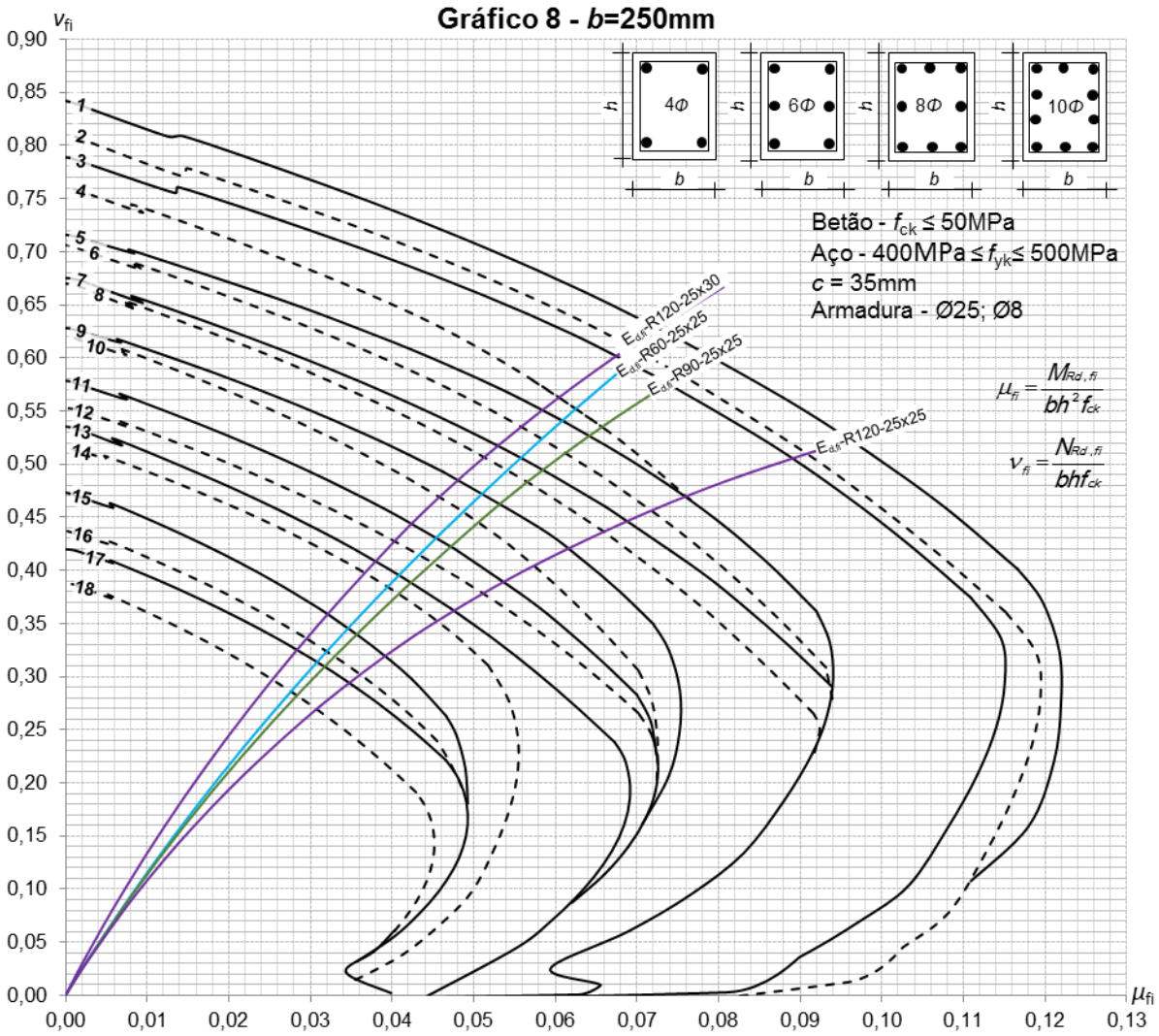


Figura 7.28 - Gráfico para a verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*25-*Φ*8. Válido para as secções indicadas no Quadro 7.11.

Quadro 7.11 - Dimensões da secção transversal e constituição da armadura dos pilares cuja resistência ao fogo pode ser verificada pela aplicação do Gráfico 8, Figura 7.28, para *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*25-*Φ*8.

*Φ*25 - *Φ*8					
Secção		Armadura	Curvas a consultar		
b [mm]	*h* [mm]		R60	R90	R120
250	250	4*Φ*25	8	13	18
	300	4*Φ*25	7	12	17
		6*Φ*25	4	10	15
		4*Φ*25+2*Φ*16	6	11	16
		4*Φ*25+2*Φ*20	6	11	16

*Φ*25 - *Φ*8					
Secção		Armadura	Curvas a consultar		
b [mm]	*h* [mm]		R60	R90	R120
250	400	4*Φ*25	7	11	16
		6*Φ*25	5	9	14
		8*Φ*25	2	7	12
		4*Φ*25+2*Φ*16	6	11	16
		4*Φ*25+2*Φ*20	5	10	15
	500	6*Φ*25	5	9	14
		8*Φ*25	3	7	12
		10*Φ*25	1	6	11
		4*Φ*25+2*Φ*16	6	11	16
		4*Φ*25+2*Φ*20	5	10	15

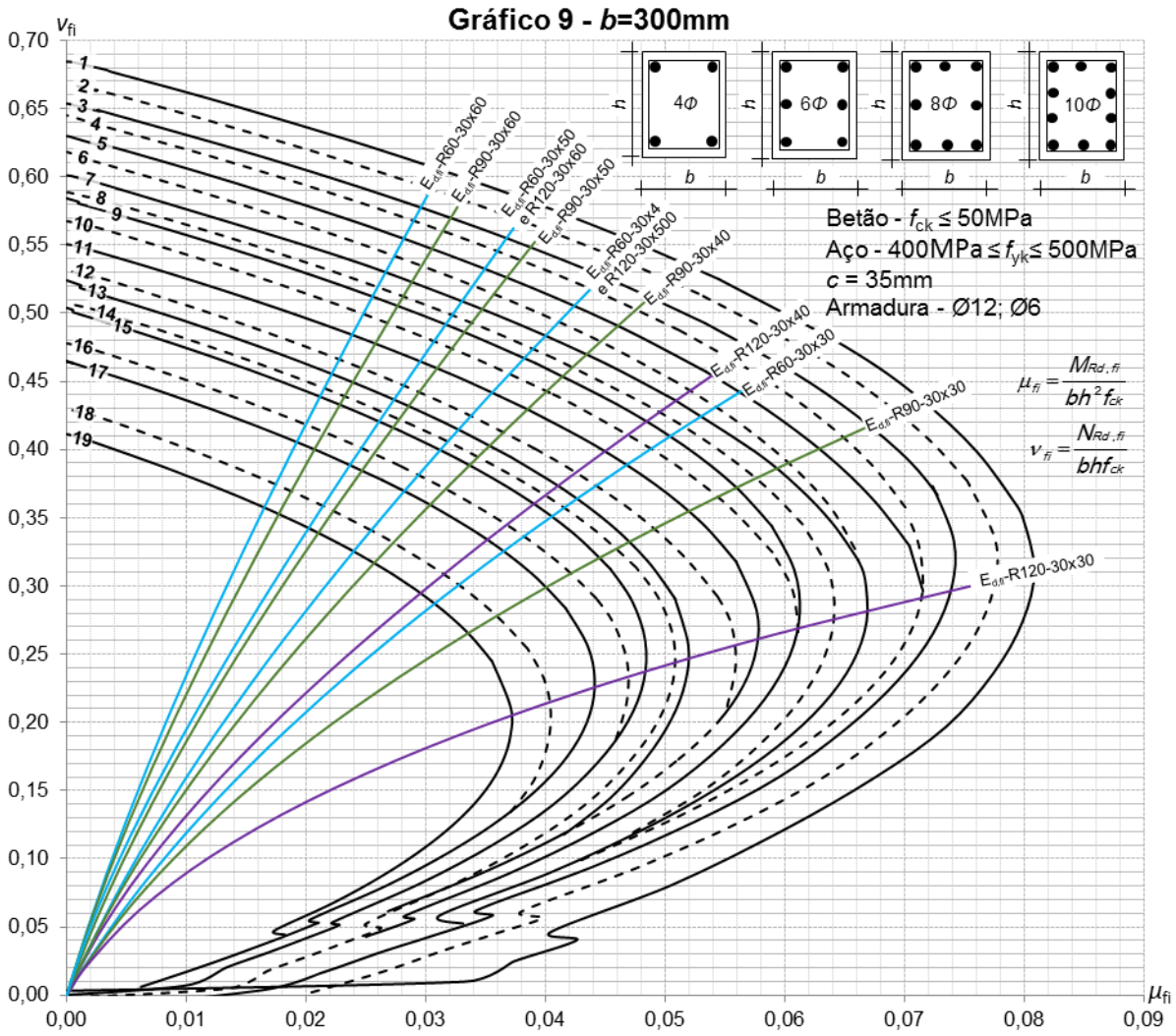


Figura 7.29 - Gráfico para a verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*12-*Φ*6. Válido para as secções indicadas no Quadro 7.12.

Quadro 7.12 - Dimensões da secção transversal e constituição da armadura dos pilares cuja resistência ao fogo pode ser verificada pela aplicação do Gráfico 9, Figura 7.29, para *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*12-*Φ*6.

*Φ*12 - *Φ*6					
Secção		Armadura	Curvas a consultar		
b [mm]	*h* [mm]		R60	R90	R120
30	30	4*Φ*12	7	14	19
		6*Φ*12	6	13	19
		8*Φ*12	5	12	18
	40	4*Φ*12	5	11	17
		6*Φ*12	4	11	17
		8*Φ*12	3	10	16
		10*Φ*12	3	10	16
	50	6*Φ*12	3	9	15
		8*Φ*12	2	8	14
		10*Φ*12	1	8	13

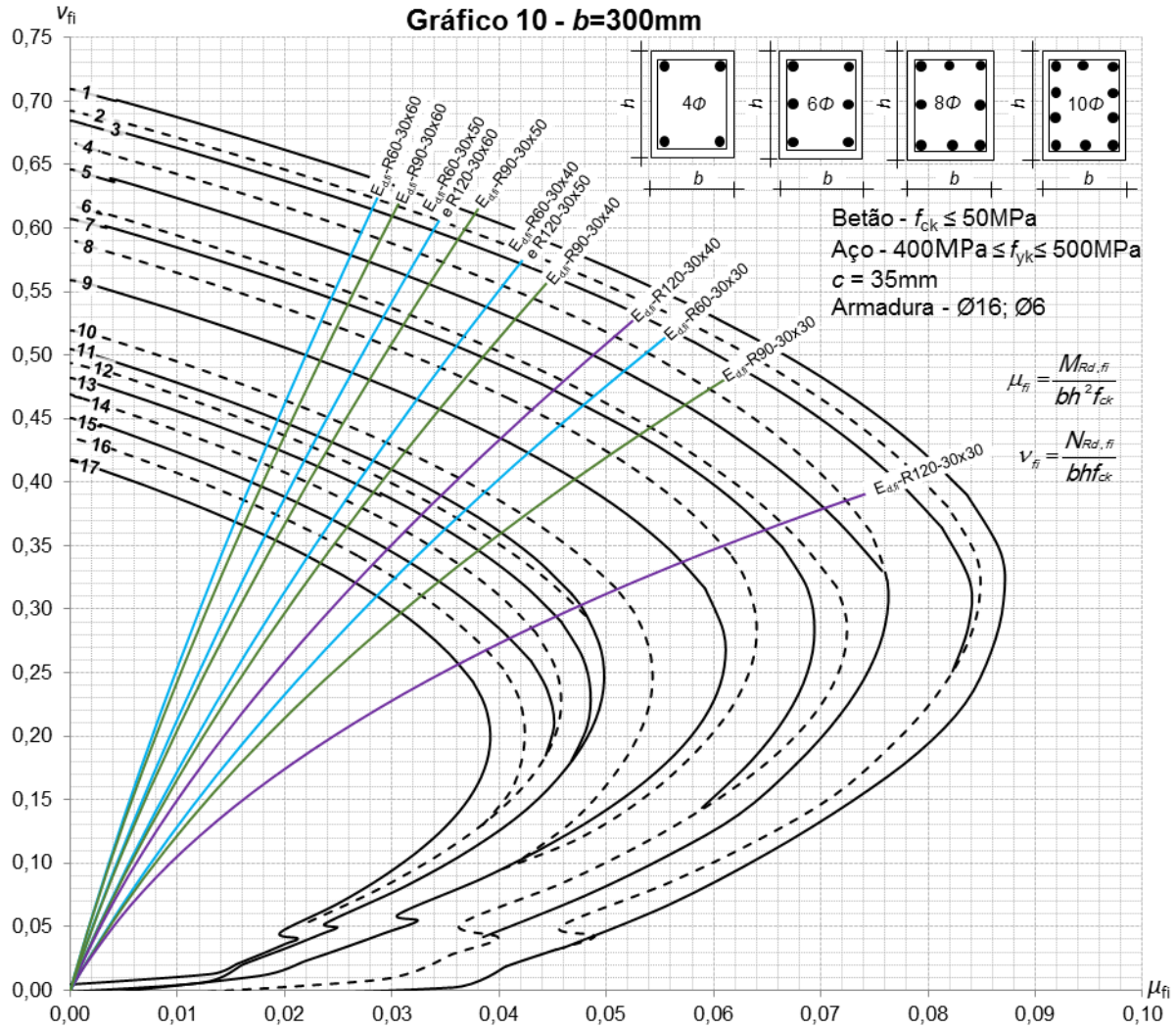


Figura 7.30 - Gráfico para a verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*16-*Φ*6. Válido para as secções indicadas no Quadro 7.13.

Quadro 7.13 - Dimensões da secção transversal e constituição da armadura dos pilares cuja resistência ao fogo pode ser verificada pela aplicação do Gráfico 10, Figura 7.30, para *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*16-*Φ*6.

*Φ*16 - *Φ*6					
Secção		Armadura	Curvas a consultar		
b [mm]	*h* [mm]		R60	R90	R120
300	300	4*Φ*16	6	10	17
		6*Φ*16	6	10	17
		8*Φ*16	4	8	15
		4*Φ*16+2*Φ*12	6	10	17
		4*Φ*16+4*Φ*12	5	8	16

*Φ*16 - *Φ*6					
Secção		Armadura	Curvas a consultar		
b [mm]	*h* [mm]		R60	R90	R120
300	400	4*Φ*16	5	9	14
		6*Φ*16	4	9	14
		8*Φ*16	3	8	12
		10*Φ*16	2	8	12
		4*Φ*16+2*Φ*12	4	9	14
		4*Φ*16+4*Φ*12	4	8	13
	500	6*Φ*16	4	8	11
		8*Φ*16	2	7	10
		10*Φ*16	1	7	10
		4*Φ*16+2*Φ*12	4	8	11

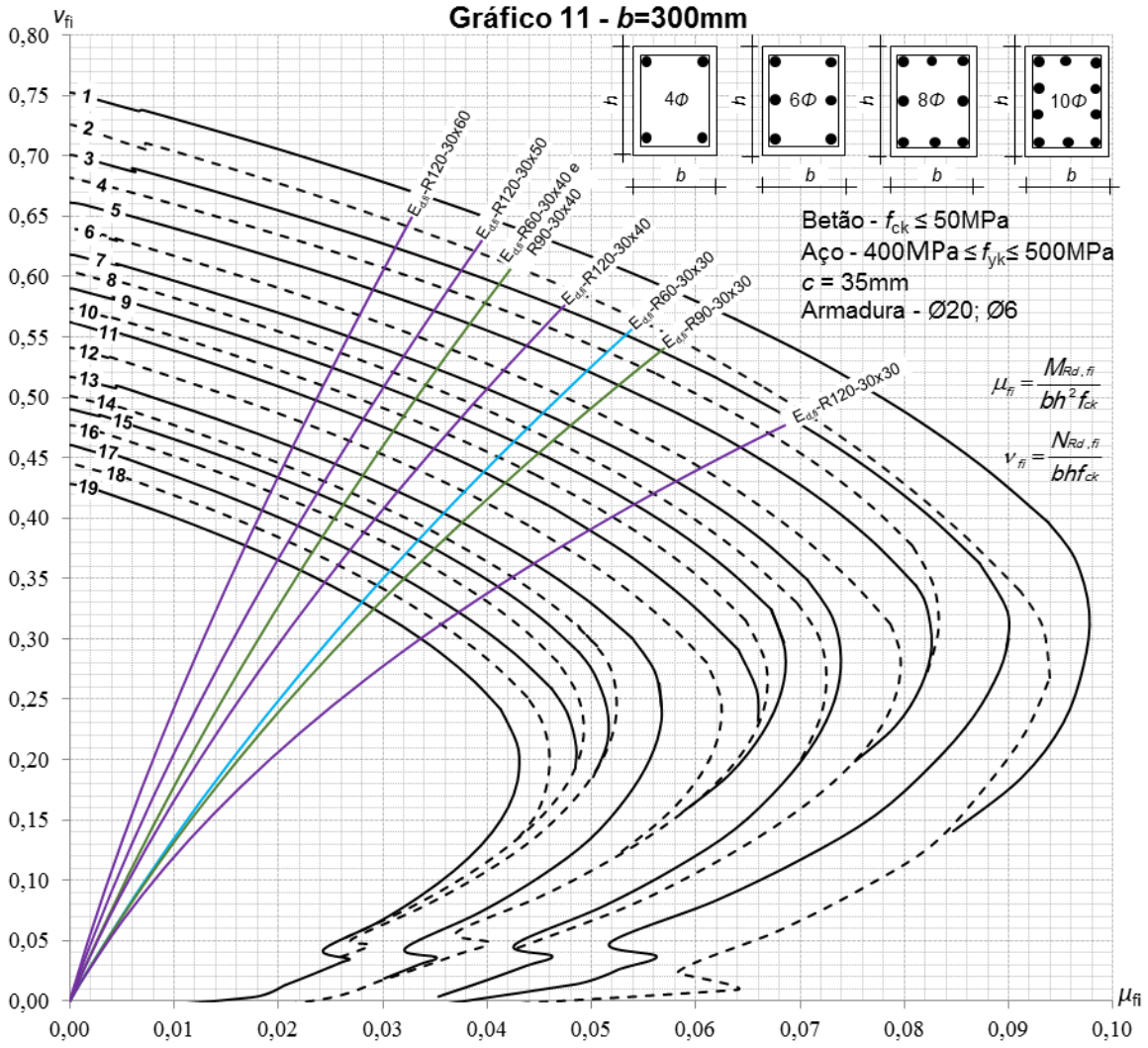


Figura 7.31 - Gráfico para a verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*20-*Φ*6. Válido para as secções indicadas no Quadro 7.14.

Quadro 7.14 - Dimensões da secção transversal e constituição da armadura dos pilares cuja resistência ao fogo pode ser verificada pela aplicação do Gráfico 11, Figura 7.31, para *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*20-*Φ*6.

*Φ*20 - *Φ*6					
Secção		Armadura	Curvas a consultar		
b [mm]	*h* [mm]		R60	R90	R120
300	300	4*Φ*20	6	12	19
		6*Φ*20	6	12	19
		8*Φ*20	2	9	16
		4*Φ*20+2*Φ*12	6	12	19
		4*Φ*20+2*Φ*16	6	12	19
		4*Φ*20+4*Φ*12	5	11	18
		4*Φ*20+4*Φ*16	4	10	17
	400	4*Φ*20	5	10	16
		6*Φ*20	5	10	16
		8*Φ*20	2	7	13
		10*Φ*20	1	7	13

*Φ*20 - *Φ*6					
Secção		Armadura	Curvas a consultar		
b [mm]	*h* [mm]		R60	R90	R120
300	400	4*Φ*20+2*Φ*12	5	10	16
		4*Φ*20+2*Φ*16	5	10	16
		4*Φ*20+4*Φ*12	4	9	15
		4*Φ*20+4*Φ*16	3	8	14
		6*Φ*20+2*Φ*16	3	8	14
	500	6*Φ*20	4	9	14
		8*Φ*20	4	9	13
		10*Φ*20	1	6	12
		4*Φ*20+2*Φ*12	4	9	14
		4*Φ*20+2*Φ*16	4	9	14
		4*Φ*20+4*Φ*12	4	9	14
		4*Φ*20+4*Φ*16	3	7	13
		6*Φ*20+2*Φ*16	3	9	13

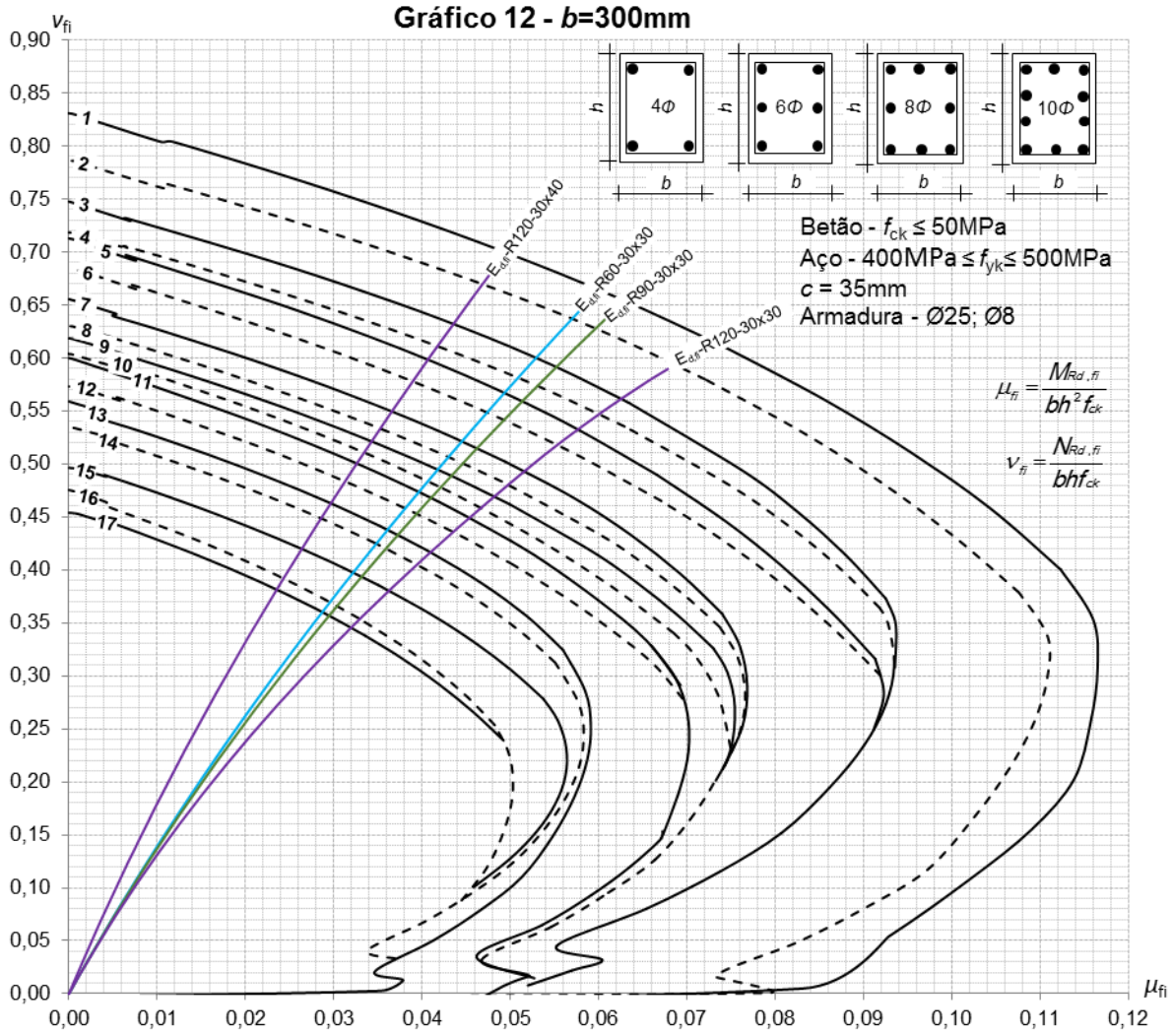


Figura 7.32 - Gráfico para a verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão *b*=300mm e armadura constituída por varões Φ25-Φ8. Válido para as secções indicadas no Quadro 7.15.

Quadro 7.15 - Dimensões da secção transversal e constituição da armadura dos pilares cuja resistência ao fogo pode ser verificada pela aplicação do Gráfico 12, Figura 7.32, para *b*=300mm e armadura constituída por varões Φ25-Φ8.

Φ25 - Φ8					
Secção		Armadura	Curvas a consultar		
b [mm]	*h* [mm]		R60	R90	R120
300	300	4Φ25	6	12	17
		6Φ25	4	12	16
		4Φ25+2Φ16	5	11	16
		4Φ25+2Φ20	5	11	16

Φ25 - Φ8					
Secção		Armadura	Curvas a consultar		
b [mm]	*h* [mm]		R60	R90	R120
300	400	4Φ25	6	12	15
		6Φ25	3	7	15
		8Φ25	2	6	12
		4Φ25+2Φ16	5	9	15
		4Φ25+2Φ20	5	9	15
	500	6Φ25	3	7	13
		8Φ25	2	6	12
		10Φ25	1	4	10
		4Φ25+2Φ16	4	8	14
		4Φ25+2Φ20	4	8	14

7.4.2. METODOLOGIA A ADOTAR PARA A APLICAÇÃO DOS GRÁFICOS

Pretende-se que os gráficos agora propostos constituam uma alternativa aos métodos que se apresentam sob a forma de tabelas na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), conduzindo a resultados menos conservativos, mas de modo a que a sua consulta seja célere e expedita. Observando os gráficos definitivos apresentados nas Figuras 7.21 a 7.32 pode ver-se que, para proceder à verificação da resistência mecânica de um pilar em situação de incêndio, há que determinar o valor do momento fletor reduzido, μ_{fi}, e o valor do esforço normal reduzido, ν_{fi}, recorrendo às Expressões (6.9) e (6.11) indicadas no Capítulo 6. À temperatura ambiente, estes parâmetros são calculados pela aplicação das Expressões (6.8) e (6.10) apresentadas no mesmo capítulo ou considerando, nestas duas últimas expressões, o valor de cálculo da tensão de rotura do betão à compressão, f_{cd}, em substituição do valor caraterístico, f_{ck}.

Os valores dos esforços resistentes em situação de incêndio podem ser determinados pelas Expressões (7.1) e (7.2), multiplicando os valores desses esforços, à temperatura ambiente, pelo fator de redução η_{fi}, determinado pela Expressão (4.11) apresentada no Capítulo 4.

$$M_{Rd,fi} = \eta_{fi} . M_{Rd} \tag{7.1}$$

$$N_{Rd,fi} = \eta_{fi} . N_{Rd} \tag{7.2}$$

Considerando as duas expressões anteriores pode concluir-se que os valores reduzidos dos esforços resistentes aí apontados, em situação de incêndio, μ_{fi} e ν_{fi}, podem ser determinados afetando os valores reduzidos desses esforços, à temperatura ambiente, pelo referido fator de redução, como se mostra nas Expressões (7.3) e (7.4), aplicáveis nas situações em que o projetista considere o valor caraterístico da tensão de rotura do betão à compressão, f_{ck}, para o cálculo desses valores reduzidos à temperatura ambiente, ou recorrendo às Expressões (7.5) e (7.6) se for considerado o valor de cálculo, f_{cd}.

$$\mu_{fi} = \eta_{fi} . \mu \tag{7.3}$$

$$\nu_{fi} = \eta_{fi} . \nu \tag{7.4}$$

$$\mu_{fi} = \frac{\eta_{fi}}{1,5} . \mu \tag{7.5}$$

$$\nu_{fi} = \frac{\eta_{fi}}{1,5} . \nu \tag{7.6}$$

O fator de redução, η_{fi}, pode ser tomado com o valor determinado pela aplicação da já referida Expressão (4.11), função das combinações das ações previstas em projeto ou, como simplificação, pode ser considerado com o valor 0,7. As consequências desta simplificação na verificação da resistência ao fogo dos pilares selecionados para estudo, nesta dissertação, quando considerados os métodos apresentados, na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), sob a forma de tabelas, foram apresentados no Capítulo 4. Recorrendo aos gráficos agora propostos, a verificação foi desenvolvida considerando os valores de η_{fi} determinados pela Expressão (4.11). Os resultados dessa análise são apresentados no Subcapítulo 7.5.

Devem ser, também, observados os valores máximos dos esforços atuantes representados pelas curvas adimensionais identificadas por "$E_{d,fi}$-escalão de resistência ao fogo-*b*x*h*", nas situações assim identificadas em cada um dos gráficos definitivos, isto é, do Gráfico 1 apresentado na Figura 7.21 ao Gráfico 12 apresentado na Figura 7.32. A metodologia adotada para a representação destas curvas e, portanto, para a necessidade de verificar o valor máximo dos esforços atuantes em situação de incêndio,

é apresentada no Subcapítulo 6.3.5 do Capítulo 6. Nos gráficos propostos, relativamente às secções em que não aparecem representados os diagramas adimensionais $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$, significa que não há que verificar o valor máximo destes esforços em situação de incêndio, pois se constatou que o desfasamento entre as curvas desenhadas para os escalões R60, R90 e R120 e as correspondentes à temperatura normal era desprezável ou não existia.

Os gráficos que agora se propõem, apresentados nas Figuras 7.21 a 7.32, podem ser utilizados, conservativamente, na verificação da resistência ao fogo de pilares com secções transversais de maiores dimensões ou com um maior número de varões, desde que apresentem o recobrimento das armaduras e um valor de *a* (distância do eixo dos varões da armadura longitudinal à face do pilar mais próxima sujeita a incêndio) previstos nesses gráficos. Por exemplo, para verificar se um pilar com a secção transversal de 30x60cm^2, armadura longitudinal constituída por 12Φ16, cintas Φ6 e recobrimento com 35mm, no escalão R90, verifica a resistência ao fogo que lhe é requerida, pode consultar-se o Gráfico 10, Figura 7.30 (b=300mm, Φ16-Φ6), e verificar se o par de valores dos esforços atuantes determinados para esse pilar, μ_{fi} e ν_{fi}, se encontram no interior da superfície limitada superiormente pela Curva 7 (R90-300x500-10Φ16-Φ6). Se esse par de valores se encontrarem para fora do limite dessa curva, deve então ser verificada a sua resistência ao fogo, considerando as caraterísticas específicas do pilar.

7.5. APLICAÇÃO DOS GRÁFICOS DEFINITIVOS NA VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO FOGO DOS PILARES ANALISADOS

7.5.1. INTRODUÇÃO

Utilizaram-se os gráficos definitivos apresentados no Subcapítulo 7.4.1 para verificar a resistência ao fogo dos pilares com valores da menor dimensão b=20cm, b=25cm e b=30cm, inseridos nas estruturas dos sessenta e três edifícios criteriosamente selecionados como se indica no Capítulo 3. As caraterísticas dos pilares, previstas nos respetivos projetos de estabilidade, são apresentadas no Anexo A3.4. Como já referido, foram desenvolvidos apenas os gráficos para a verificação da resistência ao fogo dos pilares que apresentam estes valores para a menor dimensão da sua secção transversal, e um recobrimento das armaduras de 35mm, por corresponderem às situações mais correntes, como se mostra no Capítulo 3. Como trabalho futuro, pretende desenvolver-se gráficos semelhantes para outros valores das dimensões da secção transversal e dos recobrimentos.

Apresenta-se, no subcapítulo seguinte, a aplicação dos gráficos definitivos na verificação da resistência ao fogo dos pilares com o valor da menor dimensão b=20cm e os respetivos resultados, e no Anexo A7 mostra-se a aplicação desses gráficos aos pilares com b=25cm e b=30cm.

7.5.2. APLICAÇÃO DOS GRÁFICOS DEFINITIVOS AOS PILARES COM b=200mm

Os Quadros 7.16, 7.17 e 7.18 correspondem à utilização do Gráfico 1, aplicável às secções com armadura constituída por Φ12-Φ6, para os escalões R60, o primeiro quadro, R90, o segundo quadro e

R120, o terceiro quadro, sendo essa aplicação ilustrada na Figura 7.33, Gráficos (a), (b) e (c) respetivamente. Os Quadros 7.19 a 7.21 correspondem à aplicação semelhante do Gráfico 2, para armadura constituída por *Φ*16-*Φ*6, ilustrada nos Gráficos (a), (b) e (c) da Figura 7.34, os Quadros 7.22 a 7.24 correspondem à aplicação do Gráfico 3, para armadura constituída por *Φ*20-*Φ*6, ilustrada nos Gráficos (a), (b) e (c) da Figura 7.35 e os Quadros 7.25 a 7.27 correspondem à aplicação do Gráfico 4, para armadura constituída por *Φ*25-*Φ*8, ilustrada nos Gráficos (a), (b) e (c) da Figura 7.36. Os Quadros 7.28 a 7.31 mostram as percentagens de pilares que verificam a resistência ao fogo, para cada valor da maior dimensão da secção transversal, *h*.

Nos Quadros 7.16 a 7.27, as células com preenchimento a cinza correspondem aos pilares que não verificam a resistência ao fogo requerida, assinalando-se estes pilares, nos gráficos, com um quadrado vermelho. Na verificação da resistência ao fogo dos pilares analisados pela aplicação dos gráficos desenvolvidos pela autora, consideraram-se os momentos correspondentes à excentricidade mínima apontada no Subcapítulo 6.1(4) da EN 1992-1-1 (EC2-1-1, 2010), $e_0 = h/30$, mas não inferior a 20mm, nos pilares em que tal excentricidade não tinha sido contemplada, apresentando um valor de momento final nulo ou inferior ao obtido pela aplicação desta excentricidade.

Quadro 7.16 - Resultados da aplicação do Gráfico 1 aos pilares analisados no escalão R60, com *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*12 - *Φ*6 (Gráfico (a) da Figura 7.33).

R60 - *b*=200mm - *Φ*12 - *Φ*6							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $M_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
1 a 6, 8 a 22, 24,26 a 31,33 a 42,45 a 53,56 a 99,105 a 120	12	20x20	4Φ12	141	141	0,153	0,032
P54	7	20x30	4Φ12	2	2	0,010	0,001
P1	4	20x40	6Φ12	8	8	0,038	0,001
P4	4	20x40	6Φ12	8	8	0,137	0,012
P51	4	20x40	6Φ12	6	6	0,224	0,028
P52	3	20x50	6Φ12	12	12	0,054	0,003
P52	3	20x60	6Φ12	6	6	0,085	0,007
P52	2	20x60	8Φ12	4	4	0,044	0,001
P52	1	20x80	10Φ12	4	4	0,017	0,0002

Quadro 7.17 - Resultados da aplicação do Gráfico 1 aos pilares analisados no escalão R90, com *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*12 - *Φ*6 (Gráfico (b) da Figura 7.33).

R90 - *b*=200mm - *Φ*12 - *Φ*6							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $M_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P16	20	20x20	4Φ12	4	4	0,071	0,019
P36	11	20x40	6Φ12	2	0	0,040	0,001
P30.3	11	20x40	6Φ12	2	2	0,014	0,015
P32.3	11	20x40	6Φ12	2	2	0,095	0,023
P33.3	11	20x40	6Φ12	2	2	0,074	0,026
P39.3	11	20x40	6Φ12	2	2	0,103	0,020
P43.3	11	20x40	6Φ12	2	0	0,060	0,032
P44.3	11	20x40	6Φ12	2	2	0,036	0,008
P45.3	11	20x40	6Φ12	2	2	0,036	0,008
P46.3	11	20x40	6Φ12	2	0	0,056	0,031
P53.2	11	20x40	6Φ12	2	0	0,058	0,033
P53.3	11	20x40	6Φ12	2	0	0,023	0,026
P56.1	11	20x40	6Φ12	2	2	0,145	0,033
P56.2	11	20x40	6Φ12	2	0	0,058	0,033
P56.3	10	20x40	8Φ12	2	0	0,020	0,048
P59.3	10	20x40	8Φ12	2	2	0,092	0,004

Quadro 7.17 - Continuação - Resultados da aplicação do Gráfico 1 aos pilares analisados no escalão R90, com *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*12 - *Φ*6 (Gráfico (b) da Figura 7.33).

R90 - *b*=200mm - *Φ*12 - *Φ*6							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $M_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P36	10	20x50	6Φ12	14	14	0,218	0,009
P22.1	10	20x60	6Φ12	2	2	0,225	0,010
P32.2	10	20x60	6Φ12	2	0	0,276	0,009
P33.2	10	20x60	6Φ12	2	2	0,208	0,009
P11.1	9	20x60	8Φ12	2	2	0,263	0,042
P21.1	9	20x60	8Φ12	2	2	0,109	0,029
P21.2	9	20x60	8Φ12	2	0	0,066	0,046
P22.2	9	20x60	8Φ12	2	2	0,067	0,020
P29.2	9	20x60	8Φ12	2	2	0,037	0,004
P30.1	9	20x60	8Φ12	2	2	0,019	0,011
P30.2	9	20x60	8Φ12	2	2	0,014	0,001
P31.2	9	20x60	8Φ12	2	2	0,122	0,045
P39.2	9	20x60	8Φ12	2	0	0,309	0,010
P43.2	9	20x60	8Φ12	2	2	0,119	0,027
P44.2	9	20x60	8Φ12	2	2	0,054	0,021
P45.2	9	20x60	8Φ12	2	2	0,054	0,023
P46.2	9	20x60	8Φ12	2	2	0,107	0,029
P58.2	9	20x60	8Φ12	2	2	0,164	0,009
P59.2	9	20x60	8Φ12	2	2	0,176	0,008
P60.2	9	20x60	8Φ12	2	2	0,080	0,013
P63.2	9	20x60	8Φ12	2	2	0,004	0,017
P63.3	9	20x60	8Φ12	2	2	0,004	0,024
P64.2	9	20x60	8Φ12	2	2	0,016	0,023
P64.3	9	20x60	8Φ12	2	2	0,015	0,023
P65.2	9	20x60	8Φ12	2	2	0,016	0,023
P65.3	9	20x60	8Φ12	2	2	0,015	0,023
P66.1	9	20x60	8Φ12	2	2	0,038	0,031
P66.2	9	20x60	8Φ12	2	2	0,015	0,022
P66.3	9	20x60	8Φ12	2	2	0,015	0,021
P34.3	8	20x80	10Φ12	2	2	0,055	0,009
P35.3	8	20x80	10Φ12	2	2	0,054	0,004
P36.3	8	20x80	10Φ12	2	2	0,055	0,004
P38.3	8	20x80	10Φ12	2	2	0,065	0,004

Quadro 7.18 - Resultados da aplicação do Gráfico 1 aos pilares analisados no escalão R120, com *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*12 - *Φ*6 (Gráfico (b) da Figura 7.33).

R120 - *b*=200mm - *Φ*12 - *Φ*6							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $M_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P8	23	20x20	4Φ12	24	0	1,904	0,190
P8	18	20x40	6Φ12	12	12	0,044	0,002
P43,44	17	20x50	6Φ12	40	40	0,165	0,011
P8	17	20x50	6Φ12	60	60	0,118	0,005
	17	20x50	6Φ12	16	16	0,052	0,002

Quadro 7.19 - Resultados da aplicação do Gráfico 2 aos pilares analisados no escalão R60, com *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*16 - *Φ*6 (Gráfico (a) da Figura 7.34).

R60 - *b*=200mm - *Φ*16 - *Φ*6							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $M_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P5	8	20x30	4Φ16	12	12	0,209	0,023
P52	6	20x30	6Φ16	6	0	0,254	0,017
P11	2	20x40	8Φ16	2	2	0,232	0,040
P11	5	20x40	6Φ16	4	4	0,147	0,033

Quadro 7.19 - Continuação - Resultados da aplicação do Gráfico 2 aos pilares analisados no escalão R60, com *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*16 - *Φ*6 (Gráfico (a) da Figura 7.34).

R60 - *b*=200mm - *Φ*16 - *Φ*6							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $M_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P28	7	20x40	4Φ16	52	52	0,327	0,020
P1	1	20x40	10Φ16 + 2Φ12	4	4	0,406	0,043
P28	5	20x50	4Φ16 + 2Φ12	16	16	0,251	0,010
P28	5	20x50	4Φ16 + 2Φ12	16	16	0,223	0,009
P27	5	20x60	4Φ16 + 2Φ12	8	8	0,267	0,009
P52	5	20x60	6Φ16	8	8	0,107	0,004
P28	5	20x70	4Φ16 + 2Φ12	8	8	0,115	0,003
P52	1	20x80	10Φ16	4	4	0,051	0,001
P52	2	20x80	8Φ16	6	6	0,036	0,002

Quadro 7.20 - Resultados da aplicação do Gráfico 2 aos pilares analisados no escalão R90, com *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*16 - *Φ*6 (Gráfico (b) da Figura 7.34).

R90 - *b*=200mm - *Φ*16 - *Φ*6							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $M_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P29	16	20x30	4Φ16	84	0	0,465	0,031
P30	16	20x30	4Φ16	140	140	0,149	0,010
P31	16	20x30	4Φ16	12	12	0,226	0,020
P34	16	20x30	4Φ16	8	8	0,207	0,018
P12	16	20x30	4Φ16	2	2	0,166	0,028
P12	16	20x30	4Φ16	4	4	0,107	0,035
P12	16	20x30	4Φ16	24	0	0,505	0,034
P12	14	20x30	6Φ16	12	0	0,549	0,037
P26	16	20x35	4Φ16	12	12	0,083	0,005
P32	16	20x35	4Φ16	14	14	0,090	0,005
P29.3	12	20x40	4Φ16 + 2Φ12	2	2	0,018	0,010
P31.3	12	20x40	4Φ16 + 2Φ12	2	0	0,065	0,060
P52.3	12	20x40	4Φ16 + 2Φ12	2	2	0,094	0,007
P58.3	12	20x40	4Φ16 + 2Φ12	2	2	0,086	0,016
P11.3	11	20x40	4Φ16 + 4Φ12	2	0	0,084	0,071
P19.3	11	20x40	4Φ16 + 4Φ12	2	2	0,084	0,036
P21.3	11	20x40	4Φ16 + 4Φ12	2	0	0,032	0,071
P40.3	10	20x40	8Φ16	2	2	0,060	0,039
P51.3	10	20x40	8Φ16	2	2	0,043	0,034
P60.3	10	20x40	8Φ16	2	2	0,042	0,031
P26	12	20x40	4Φ16+2Φ12	10	10	0,326	0,021
P30	13	20x40	4Φ16	76	76	0,135	0,008
P31	13	20x40	4Φ16	18	18	0,195	0,012
P32	12	20x40	6Φ16	12	0	0,486	0,024
P34	12	20x40	6Φ16	18	18	0,211	0,011
P29	13	20x40	4Φ16	36	36	0,196	0,011
P29	13	20x40	4Φ16	132	132	0,196	0,011
P36	11	20x50	4Φ16+2Φ12	13	13	0,100	0,016
P29	11	20x60	6Φ16	120	120	0,148	0,005
P29	11	20x60	6Φ16	120	120	0,438	0,015
P36.1	11	20x60	4Φ16 + 2Φ12	2	2	0,155	0,020
P36.2	11	20x60	4Φ16 + 2Φ12	2	2	0,112	0,016
P29.1	11	20x60	6Φ16	8	8	0,345	0,011
P29.2	11	20x60	6Φ16	4	4	0,309	0,010
P29	9	20x60	8Φ16	24	24	0,090	0,003
P29.3	11	20x60	6Φ16	120	120	0,448	0,015
P29.4	11	20x60	6Φ16	72	72	0,268	0,009
P26	11	20x60	4Φ16 + 2Φ12	16	16	0,103	0,003
P26	11	20x60	6Φ16	20	20	0,233	0,008
P26	11	20x60	6Φ16	20	20	0,345	0,011
P26	8	20x60	10Φ16	24	0	0,536	0,018
P30	11	20x60	6Φ16	30	30	0,202	0,007
P30	9	20x60	8Φ16	92	92	0,338	0,011

Quadro 7.20 - Continuação - Resultados da aplicação do Gráfico 2 aos pilares analisados no escalão R90, com *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*16 - *Φ*6 (Gráfico (b) da Figura 7.34).

R90 - *b*=200mm - *Φ*16 - *Φ*6							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $M_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P30	11	20x60	6Φ16	40	0	1,056	0,035
P30	11	20x60	6Φ16	6	6	0,021	0,001
P31	9	20x60	8Φ16	30	30	0,493	0,016
	9	20x60	8Φ16	54	54	0,316	0,011
P32	11	20x60	6Φ16	20	20	0,122	0,004
P32	9	20x60	8Φ16	30	30	0,356	0,012
P32	8	20x60	10Φ16	24	0	0,536	0,018
P34	8	20x60	10Φ16	24	24	0,525	0,017
P34	8	20x60	10Φ16	20	20	0,316	0,011
P34	8	20x60	10Φ16	12	12	0,468	0,016
P12	11	20x60	6Φ16	12	0	0,489	0,016
P12	11	20x60	6Φ16	6	6	0,104	0,024
P12	11	20x60	6Φ16	4	4	0,224	0,007
P12	11	20x60	6Φ16	8	8	0,147	0,009
P12	11	20x60	4Φ16 + 2Φ12	48	48	0,356	0,012
P12	11	20x60	6Φ16	20	20	0,185	0,015
P26	9	20x70	8Φ16	20	20	0,077	0,002
P26	11	20x70	4Φ16+4Φ12	20	20	0,342	0,010
P30	9	20x70	8Φ16	152	152	0,280	0,008
P30	11	20x70	6Φ16+4Φ12	110	110	0,170	0,005
P30	11	20x70	6Φ16	12	12	0,156	0,004
P31	9	20x70	8Φ16	24	24	0,257	0,007
P32	9	20x70	8Φ16	20	20	0,077	0,002
P32	11	20x70	4Φ16+4Φ12	20	20	0,342	0,010
P34	11	20x70	4Φ16+4Φ12	20	20	0,231	0,007
P12	11	20x70	4Φ16 + 4Φ12	24	24	0,471	0,013
P12		20x70	6Φ16	16	16	0,236	0,008
P12	11	20x70	4Φ16+4Φ12	2	2	0,204	0,019
P12	11	20x70	4Φ16+4Φ12	2	2	0,094	0,040
P12	11	20x70	4Φ16+4Φ12	2	2	0,176	0,050
P12	11	20x70	4Φ16+4Φ12	4	4	0,137	0,013

Quadro 7.21 - Resultados da aplicação do Gráfico 2 aos pilares analisados no escalão R120, com *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*16 - *Φ*6 (Gráfico (c) da Figura 7.34).

R120 - *b*=200mm - *Φ*16 - *Φ*6							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $M_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P8	24	20x30	4Φ16	4	0	1,067	0,071
P8	24	20x30	4Φ16	12	0	0,693	0,046
P8	22	20x40	4Φ16	16	16	0,160	0,010
P43,44	18	20x50	4Φ16+4Φ12	32	32	0,092	0,021
P8	19	20x60	4Φ16+2Φ12	8	8	0,334	0,018
P8	16	20x60	10Φ16	12	0	0,373	0,012
P8.7	16	20x60	4Φ16 + 2Φ12	50	50	0,299	0,013
P8	16	20x60	10Φ16	2	0	0,320	0,011
P8	19	20x60	6Φ16	18	0	0,267	0,009
P8	17	20x60	8Φ16	20	0	0,480	0,016
P8	17	20x60	8Φ16	4	0	0,160	0,005
P35	19	20x60	6Φ16	8	8	0,100	0,006
P8	17	20x70	8Φ16	12	0	0,640	0,018
P8	17	20x70	8Φ16	8	0	0,480	0,014
P15	19	20x70	6Φ16	8	8	0,073	0,002

Quadro 7.22 - Resultados da aplicação do Gráfico 3 aos pilares analisados no escalão R60, com *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*20 - *Φ*6 (Gráfico (a) da Figura 7.35).

R60 - *b*=200mm - *Φ*20 - *Φ*6							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $M_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P52	10	20x20	4Φ20	4	4	0,062	0,009
P5	10	20x25	4Φ20 + 2Φ16	6	0	0,379	0,048
P51	6	20x35	4Φ20 + 2Φ16	3	3	0,145	0,029
P5	3	20x40	8Φ20	10	10	0,482	0,034
P28	5	20x40	6Φ20	8	8	0,522	0,026
P12E	2	20x60	12Φ20	4	4	0,486	0,027
P15E	2	20x60	10Φ20	8	8	0,314	0,036
P52	5	20x70	4Φ20 + 10Φ16	12	12	0,053	0,002
P52	5	20x80	4Φ20 + 10Φ16	12	12	0,066	0,002

Quadro 7.23 - Resultados da aplicação do Gráfico 3 aos pilares analisados no escalão R90, com *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*20 - *Φ*6 (Gráfico (b) da Figura 7.35).

R90 - *b*=200mm - *Φ*20 - *Φ*6							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $M_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P29	7	20x60	10Φ20	18	0	0,634	0,021
P29	7	20x60	12Φ20	6	6	0,493	0,016
P29	11	20x60	6Φ20 + 2Φ16	60	0	0,553	0,018
P26	11	20x60	6Φ20 + 2Φ16	20	20	0,448	0,015
P26	7	20x60	12Φ20	20	20	0,553	0,018
P26	9	20x60	8Φ20	20	0	0,552	0,018
P26	9	20x60	8Φ20	42	0	0,630	0,021
P30	11	20x60	6Φ20 + 2Φ16	70	70	0,353	0,012
P32	11	20x60	6Φ20 + 2Φ16	20	20	0,448	0,015
P32	7	20x60	12Φ20	20	20	0,553	0,018
P32	9	20x60	8Φ20	20	20	0,552	0,018
P32	9	20x60	8Φ20	36	0	0,630	0,021
P12	11	20x60	6Φ20 + 2Φ16	60	60	0,290	0,024
P12	7	20x60	14Φ20	12	12	0,567	0,019
P12	7	20x60	8Φ20 + 6Φ16	6	6	0,535	0,018
P12	7	20x60	8Φ20 + 4Φ16	12	12	0,516	0,017

Quadro 7.24 - Resultados da aplicação do Gráfico 3 aos pilares analisados no escalão R120, com *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*20 - *Φ*6 (Gráfico (c) da Figura 7.35).

R120 - *b*=200mm - *Φ*20 - *Φ*6							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $M_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P55,59	19	20x45	4Φ20+2Φ12	4	4	0,143	0,009
P8	17	20x60	6Φ20 + 4Φ16	32	0	0,476	0,016
P8	13	20x60	10Φ20	6	0	0,449	0,015
P8	15	20x60	8Φ20 + 2Φ12	6	0	0,533	0,018
P8	17	20x60	4Φ20 + 2Φ12	18	0	0,427	0,014
P8	13	20x60	10Φ20	22	0	0,533	0,018
P10	17	20x60	6Φ20 + 4Φ16	36	0	0,602	0,020
P28	13	20x70	16Φ20	12	12	0,208	0,006
P15	15	20x70	8Φ20+ 2Φ16	4	0	0,580	0,017

Quadro 7.25 - Resultados da aplicação do Gráfico 4 aos pilares analisados no escalão R60, com *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*25 – *Φ*8 (Gráfico (a) da Figura 7.36).

R60 - *b*=200mm - *Φ*25 - *Φ*8							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $M_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P28	1	20x50	10Φ25	8	0	0,740	0,030

Quadro 7.26 - Resultados da aplicação do Gráfico 4 aos pilares analisados no escalão R90, com *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*25 – *Φ*8 (Gráfico (b) da Figura 7.36).

R90 - *b*=200mm - *Φ*25 - *Φ*8							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $M_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P26	6	20x30	4Φ25	24	24	0,441	0,029
P32	6	20x30	4Φ25	24	24	0,441	0,031
P26	7	20x40	8Φ25	24	0	0,697	0,035
P32	7	20x40	8Φ25	28	0	0,915	0,046
P12	7	20x60	6Φ25 + 2Φ20	24	0	0,653	0,022

Quadro 7.27 - Resultados da aplicação do Gráfico 4 aos pilares analisados no escalão R120, com *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*25 – *Φ*8 (Gráfico (c) da Figura 7.36).

R120 - *b*=200mm - *Φ*25 - *Φ*8							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $M_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P8.8	16	20x30	4Φ25	12	0	0,667	0,044
P55,59	15	20x35	4Φ25 + 2Φ20	4	4	0,205	0,017
P55,59	11	20x45	8Φ25	4	4	0,195	0,010
P55,59	12	20x45	4Φ25+2Φ20	4	4	0,186	0,010
P43,44	11	20x55	4Φ25+6Φ20	4	4	0,280	0,031
P8.1	11	20x60	4Φ25 + 8Φ20	56	0	0,641	0,021
P8.2	10	20x60	10Φ25	6	6	0,470	0,016
P8.3	11	20x60	6Φ25 + 6Φ20	16	0	0,655	0,022
P8.4	12	20x60	4Φ25 + 8Φ20	20	0	0,803	0,015
P8.5	12	20x60	4Φ25 + 2Φ12	36	0	0,656	0,022
P8.6	10	20x60	8Φ25 + 2Φ20	14	0	0,747	0,025
P8.7	10	20x80	10Φ25	9	9	0,453	0,011

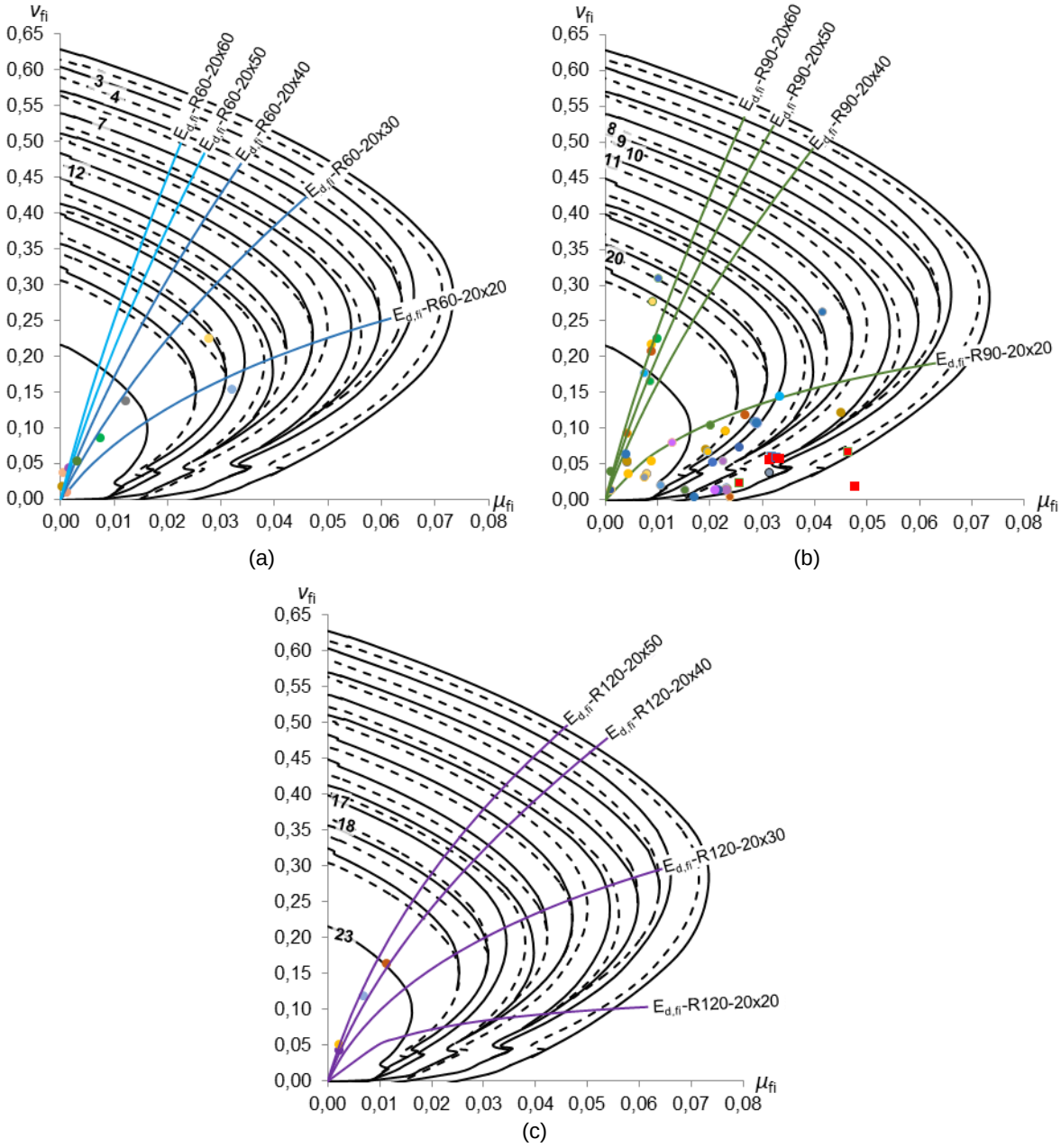


Figura 7.33 - Aplicação do Gráfico 1: verificação da resistência ao fogo dos pilares analisados com *b*=20cm e armadura constituída por *Φ*12-*Φ*6: (a) No escalão R60, (b) No escalão R90 e (c) No escalão R120.

Quadro 7.28 - Pilares que verificam a resistência ao fogo pela aplicação do Gráfico 1.

R60				R90				R120			
h [cm]	Número de pilares	Pilares que verificam		*h* [cm]	Número de pilares	Pilares que verificam		*h* [cm]	Número de pilares	Pilares que verificam	
		Nº	%			Nº	%			Nº	%
20	141	141	100,0%	20	4	4	100,0%	20	24	0	0,0%
30	2	2	100,0%	40	30	16	53,3%	40	12	12	100,0%
40	22	22	100,0%	50	14	14	100,0%	50	116	116	100,0%
50	12	12	100,0%	60	58	52	89,7%	-	-	-	-
60	10	10	100,0%	80	8	8	100,0%	-	-	-	-
80	4	4	100,0%	-	-	-	-	-	-	-	-

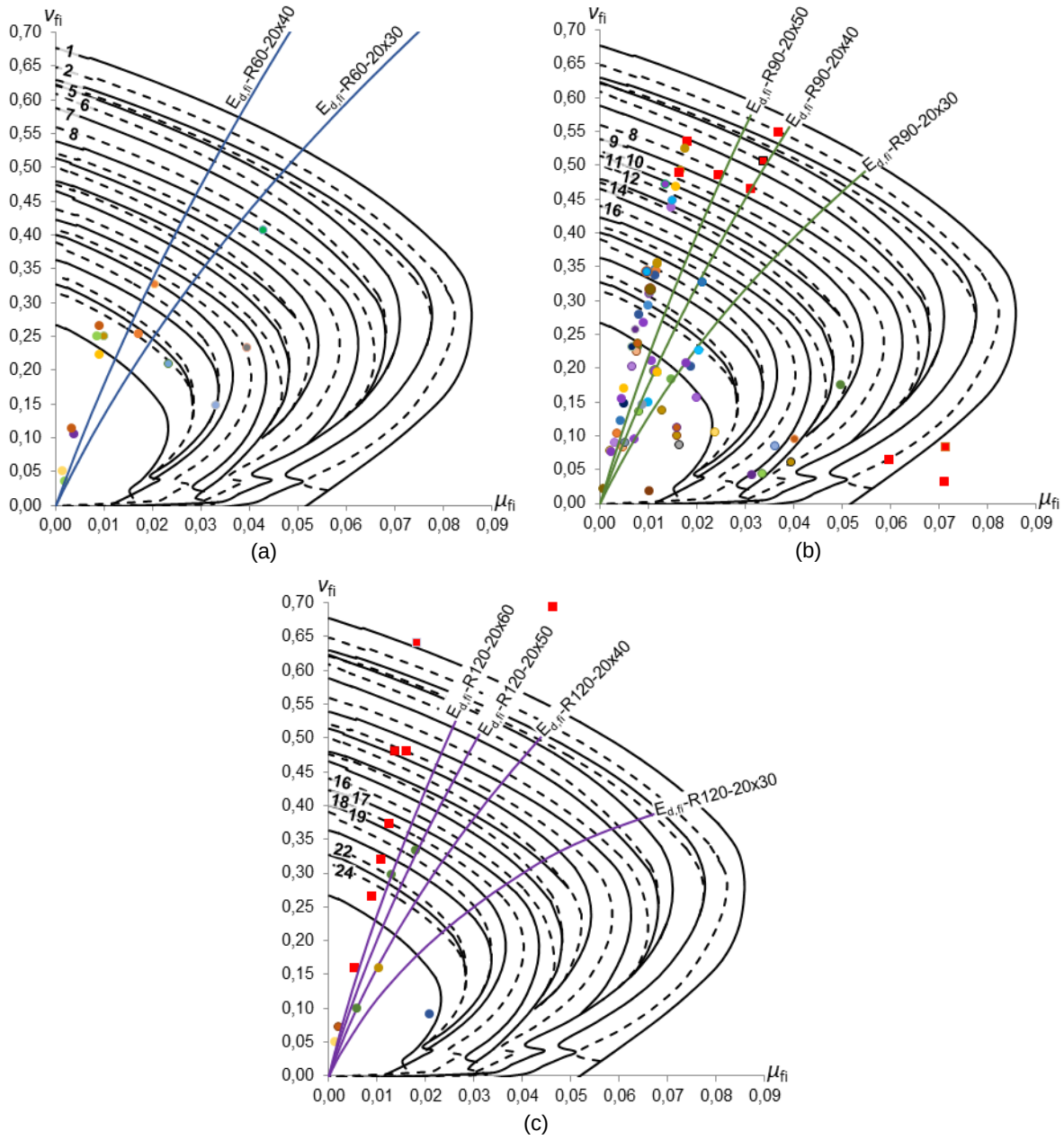


Figura 7.34 - Aplicação do Gráfico 2: verificação da resistência ao fogo dos pilares analisados com *b*=20cm e armadura constituída por *Φ*16-*Φ*6: (a) No escalão R60, (b) No escalão R90 e (c) No escalão R120.

Quadro 7.29 - Pilares que verificam a resistência ao fogo pela aplicação do Gráfico 2.

R60				R90				R120			
h [cm]	Número de pilares	Pilares que verificam		*h* [cm]	Número de pilares	Pilares que verificam		*h* [cm]	Número de pilares	Pilares que verificam	
		Nº	%			Nº	%			Nº	%
30	18	12	66,7%	30	286	166	58,0%	30	16	0	0,0%
40	62	62	100,0%	35	26	26	100,0%	40	16	16	100,0%
50	32	32	100,0%	40	322	304	94,4%	50	32	32	100,0%
60	56	56	100,0%	50	13	13	100,0%	60	122	66	54,1%
70	8	8	100,0%	60	1060	960	90,6%	70	28	8	28,6%
80	10	10	100,0%	70	448	448	100,0%	-	-	-	-

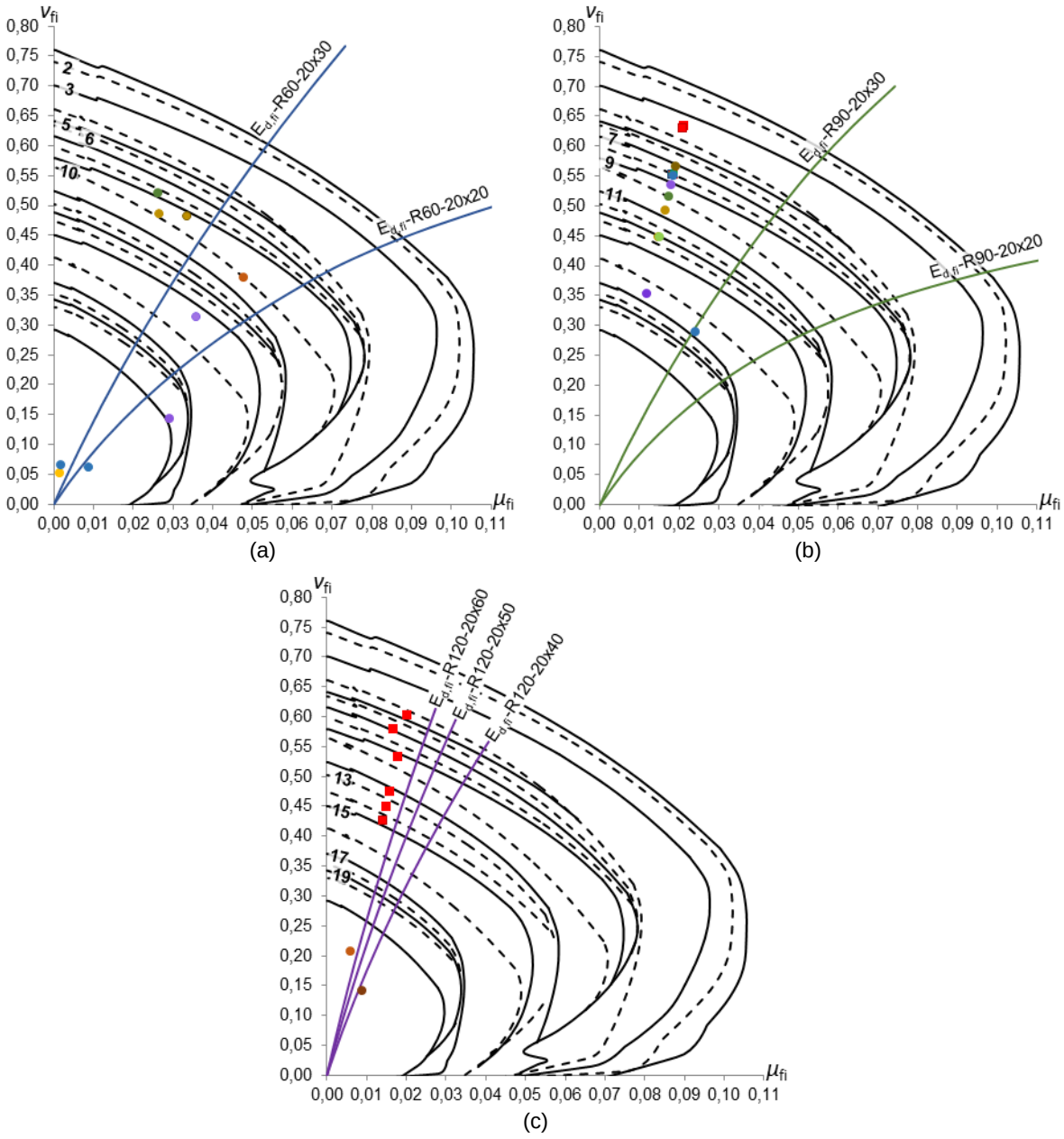


Figura 7.35 - Aplicação do Gráfico 3: verificação da resistência ao fogo dos pilares analisados com *b*=20cm e armadura constituída por *Φ*20-*Φ*6: (a) No escalão R60, (b) No escalão R90 e (c) No escalão R120.

Quadro 7.30 - Pilares que verificam a resistência ao fogo pela aplicação do Gráfico 3.

R60				R90				R120			
h [cm]	Número de pilares	Pilares que verificam		*h* [cm]	Número de pilares	Pilares que verificam		*h* [cm]	Número de pilares	Pilares que verificam	
		Nº	%			Nº	%			Nº	%
20	4	4	100,0%	60	442	266	60,2%	45	4	4	100,0%
25	6	0	0,0%	-	-	-	-	60	120	0	0,0%
35	3	3	100,0%	-	-	-	-	70	16	12	75,0%
40	18	18	100,0%	-	-	-	-	-	-	-	-
60	12	12	100,0%	-	-	-	-	-	-	-	-
70	12	12	100,0%	-	-	-	-	-	-	-	-
80	12	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-

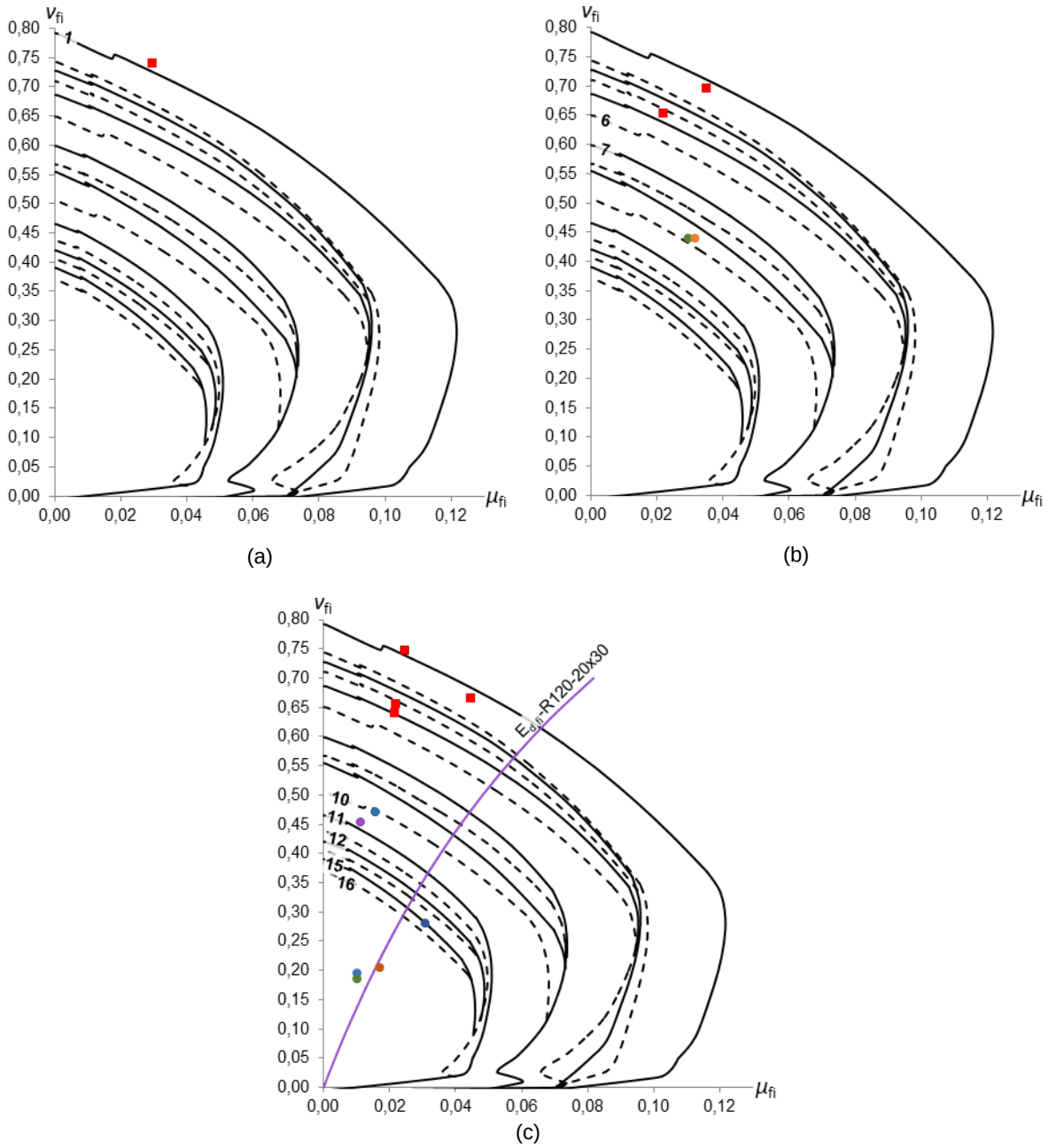


Figura 7.36 - Aplicação do Gráfico 4: verificação da resistência ao fogo dos pilares analisados com *b*=20cm e armadura constituída por *Φ*25-*Φ*8: (a) No escalão R60, (b) No escalão R90 e (c) No escalão R120.

Quadro 7.31 - Pilares que verificam a resistência ao fogo pela aplicação do Gráfico 4.

R60				R90				R120			
h [cm]	Número de pilares	Pilares que verificam		*h* [cm]	Número de pilares	Pilares que verificam		*h* [cm]	Número de pilares	Pilares que verificam	
		Nº	%			Nº	%			Nº	%
50	8	0	0,0%	30	48	48	100,0%	30	12	0	0,0%
-	-	-	-	40	52	0	0,0%	35	4	4	100,0%
-	-	-	-	60	24	0	0,0%	45	8	8	100,0%
-	-	-	-	-	-	-	-	55	4	4	100,0%
-	-	-	-	-	-	-	-	60	148	6	4,1%
-	-	-	-	-	-	-	-	80	9	9	100,0%

7.5.3. RESULTADOS DA APLICAÇÃO DOS GRÁFICOS PROPOSTOS AOS PILARES COM *b*=200mm, *b*=250mm e *b*=300mm

Utilizados os gráficos definitivos propostos nesta dissertação para a verificação da resistência ao fogo dos pilares com *b*=200mm, *b*=250mm e *b*=300mm, constituintes das estruturas dos edifícios analisados, considerando o recobrimento mínimo estipulado na normalização e aplicável a estes edifícios (35mm), e o fator de redução para o valor de cálculo do nível de carregamento em situação de incêndio, η_{fi}, explicitamente calculado para cada projeto, obtiveram-se os resultados apontados nos Quadros 7.28 a 7.31 do parágrafo anterior, para os pilares com *b*=200mm, e nos Quadros A7.18, A7.22, A7.26, A7.30, A7.34, A7.38, A7.42 e A7.46 apresentados no Anexo A7, para *b*=250mm e *b*=300mm. Observando cada um destes doze gráficos, podem ser tecidas as seguintes considerações:

- ∴ Quadro 7.28 – aplicação do Gráfico 1 - pilares com *b*=20cm e armadura *Φ*12-*Φ*6:
  - ∗ R60 – todos os pilares verificam a resistência ao fogo;
  - ∗ R90 – verificam a resistência ao fogo 53,3% dos pilares com *h*=40cm e 89,7% dos pilares com *h*=60cm; verificam todos os pilares com os restantes valores de *h*;
  - ∗ R120 – os pilares com *h*=20cm não verificam a resistência ao fogo, verificando todos os outros.
- ∴ Quadro 7.29 – aplicação do Gráfico 2 - pilares com *b*=20cm e armadura *Φ*16-*Φ*6:
  - ∗ R60 – verificam a resistência ao fogo 66,7% dos pilares com *h*=30cm; verificam todos os pilares com os restantes valores de *h*;
  - ∗ R90 – verificam a resistência ao fogo 58,0% dos pilares com *h*=30cm, 94,4% dos pilares com *h*=40cm e 90,6% dos pilares com *h*=60cm; verificam todos os pilares com os restantes valores de *h*;
  - ∗ R120 – os pilares com *h*=30cm não verificam a resistência ao fogo, verificando 54,1% dos pilares com *h*=60cm e apenas 28,6% com *h*=70cm; verificam todos os pilares com os restantes valores de *h*;
- ∴ Quadro 7.30 – aplicação do Gráfico 3 - pilares com *b*=20cm e armadura *Φ*20-*Φ*6:
  - ∗ R60 – os pilares com *h*=25cm não verificam a resistência ao fogo; verificam todos os pilares com os restantes valores de *h*;
  - ∗ R90 – verificam a resistência ao fogo 60,2% dos pilares neste escalão, todos com *h*=60cm;
  - ∗ R120 – os pilares com *h*=60cm não verificam a resistência ao fogo, verificando 75,0% dos pilares com *h*=70cm e todos os pilares com *h*=45cm;
- ∴ Quadro 7.31 – aplicação do Gráfico 4 - pilares com *b*=20cm e armadura *Φ*25-*Φ*8:
  - ∗ R60 – os oito pilares neste escalão, com *h*=50cm, não verificam a resistência ao fogo;
  - ∗ R90 – verificam a resistência ao fogo todos os pilares com *h*=30cm e não verificam os pilares com os restantes valores de *h*;
  - ∗ R120 – os pilares com *h*=30cm não verificam a resistência ao fogo, verificando apenas 4,1% dos pilares com *h*=60cm; verificam todos os pilares com os restantes valores de *h*;
- ∴ Quadro A7.18 - Anexo A7 – aplicação do Gráfico 5 - pilares com *b*=25cm e armadura *Φ*12-*Φ*6:
  - ∗ R60 – verificam a resistência ao fogo 88,9% dos pilares com *h*=35cm; verificam todos os pilares com os restantes valores de *h*;
  - ∗ R90 – verificam a resistência ao fogo 81,3% dos pilares neste escalão, todos com *h*=60cm;
  - ∗ R120 – os pilares com *h*=30cm não verificam a resistência ao fogo; verificam todos os pilares com os restantes valores de *h*;

- ∴ Quadro A7.22 - Anexo A7 – aplicação do Gráfico 6 - pilares com *b*=25cm e armadura *Φ*16-*Φ*6:
  - ∗ R60 – verificam a resistência ao fogo 56,3% dos pilares com *h*=35cm; verificam todos os pilares com os restantes valores de *h*;
  - ∗ R90 – verificam a resistência ao fogo todos os pilares neste escalão;
  - ∗ R120 – verificam a resistência ao fogo todos os pilares neste escalão;
- ∴ Quadro A7.26 - Anexo A7 – aplicação do Gráfico 7 - pilares com *b*=25cm e armadura *Φ*20-*Φ*6:
  - ∗ R60 – verificam a resistência ao fogo todos os pilares neste escalão;
  - ∗ R90 – verificam a resistência ao fogo todos os pilares neste escalão;
  - ∗ R120 – verificam a resistência ao fogo 74,4% dos pilares com *h*=60cm, não verificando os seis pilares com *h*=40cm;
- ∴ Quadro A7.30 - Anexo A7 – aplicação do Gráfico 8 - pilares com *b*=25cm e armadura *Φ*25-*Φ*8:
  - ∗ R60, R90 e R120 – verificam a resistência ao fogo todos os pilares;
- ∴ Quadro A7.34 - Anexo A7 – aplicação do Gráfico 9 - pilares com *b*=30cm e armadura *Φ*12-*Φ*6:
  - ∗ R60 – não verificam a resistência ao fogo, utilizando estes gráficos, os dois pilares com *h*=80cm; verificam todos os pilares com os restantes valores de *h*;
  - ∗ R90 – verificam a resistência ao fogo apenas 21,4% dos pilares neste escalão, todos previstos com *h*=30cm;
  - ∗ R120 – não verificam a resistência ao fogo os pilares com *h*=40cm e com *h*=60cm; verificam todos os pilares com os restantes valores de *h*;
- ∴ Quadro A7.38 - Anexo A7 – aplicação do Gráfico 10 - pilares com *b*=30cm e armadura *Φ*16-*Φ*6:
  - ∗ R60 – verificam a resistência ao fogo 86,9% dos pilares com *h*=30cm e 67,1% dos pilares com *h*=40cm; verificam todos os pilares com os restantes valores de *h*;
  - ∗ R90 – verificam a resistência ao fogo 95,7% dos pilares com *h*=30cm; verificam todos os pilares com os restantes valores de *h*;
  - ∗ R120 – verificam a resistência ao fogo metade dos pilares com *h*=30cm, 43,1% dos pilares com *h*=60cm e todos os pilares com *h*=55cm;
- ∴ Quadro A7.42 - Anexo A7 – aplicação do Gráfico 11 - pilares com *b*=30cm e armadura *Φ*20-*Φ*6:
  - ∗ R60 – verificam a resistência ao fogo 85,0% dos pilares com *h*=30cm e 89,7% dos pilares com *h*=40cm; verificam todos os pilares com os restantes valores de *h*;
  - ∗ R90 – verificam a resistência ao fogo apenas 40,8% dos pilares com *h*=70cm; verificam todos os pilares com os restantes valores de *h*;
  - ∗ R120 – os pilares com *h*=30cm não verificam a resistência ao fogo, verificando 46,7% dos pilares com *h*=60cm e dois dos quatro pilares com *h*=80cm;
- ∴ Quadro A7.46 - Anexo A7 – aplicação do Gráfico 12 - pilares com *b*=30cm e armadura *Φ*25-*Φ*8:
  - ∗ R60 – verificam a resistência ao fogo 57,1% dos pilares com *h*=30cm; verificam todos os pilares com os restantes valores de *h*;
  - ∗ R90 – verificam a resistência ao fogo 40,0% dos pilares com *h*=30cm e 86,7% dos pilares com *h*=70cm; verificam todos os pilares com os restantes valores de *h*;
  - ∗ R120 – verificam a resistência ao fogo 62,5% dos pilares com *h*=60cm, 40,0% dos pilares com *h*=70cm e todos os pilares com *h*=65cm;

No sentido de permitir uma eficaz perceção dos resultados obtidos, organizaram-se os gráficos mostrados nas Figuras 7.37 a 7.45 onde se comparam o número de pilares previstos nos projetos analisados (nas legendas identificados por “P”) com o número de pilares que verificam a resistência ao fogo (nas legendas identificados por “V”). Foi organizado um gráfico para cada valor de *b* (*b*=20cm,

b=25cm e *b*=30cm) e para cada escalão de resistência ao fogo (R60, R90 e R120), mostrando-se o número de pilares previstos por cada valor da maior dimensão da secção transversal, *h*, e diâmetro dos varões que constituem a armadura (*Φ*12-*Φ*6, *Φ*16-*Φ*6, *Φ*20-*Φ*6 e *Φ*25-*Φ*8).

Nas Figuras A7.24 a A7.32 do Anexo A7 expõem-se estes mesmos gráficos, desenvolvidos em termos percentuais, sendo cada percentagem calculada considerando a razão entre o número de pilares previstos ou o número de pilares que verificaram a resistência ao fogo, em cada escalão e para cada valor de *b* e de *h*, e o número total de pilares com os referidos valores da menor dimensão da secção transversal, *b* (7204 pilares).

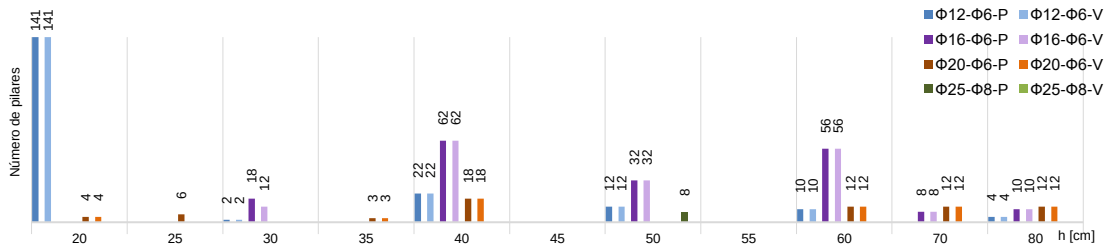


Figura 7.37 - Resultado da aplicação dos gráficos definitivos aos pilares com *b*=20cm, no escalão R60.

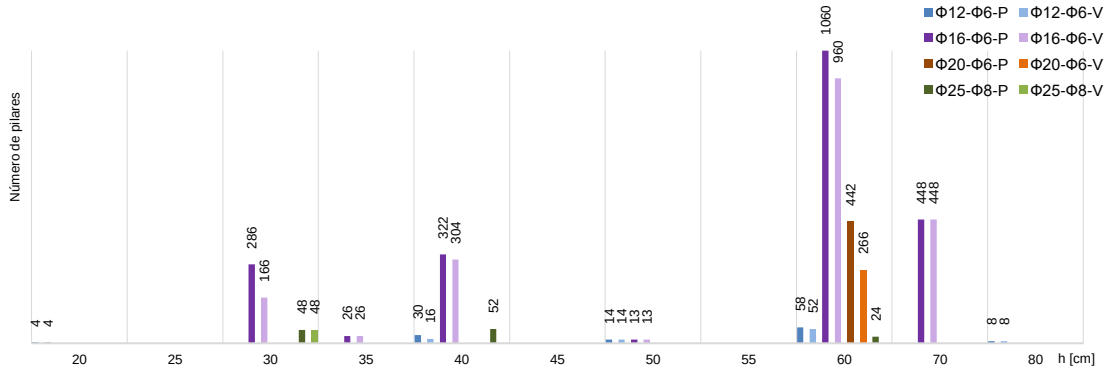


Figura 7.38 - Resultado da aplicação dos gráficos definitivos aos pilares com *b*=20cm, no escalão R90.

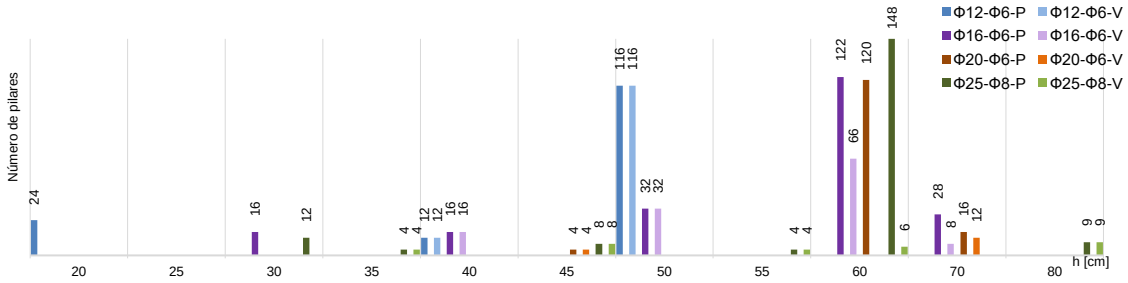


Figura 7.39 - Resultado da aplicação dos gráficos definitivos aos pilares com *b*=20cm, no escalão R120.

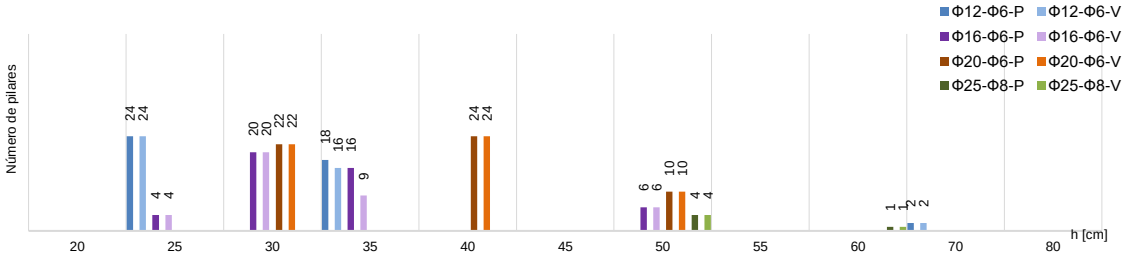


Figura 7.40 - Resultado da aplicação dos gráficos definitivos aos pilares com *b*=25cm, no escalão R60.

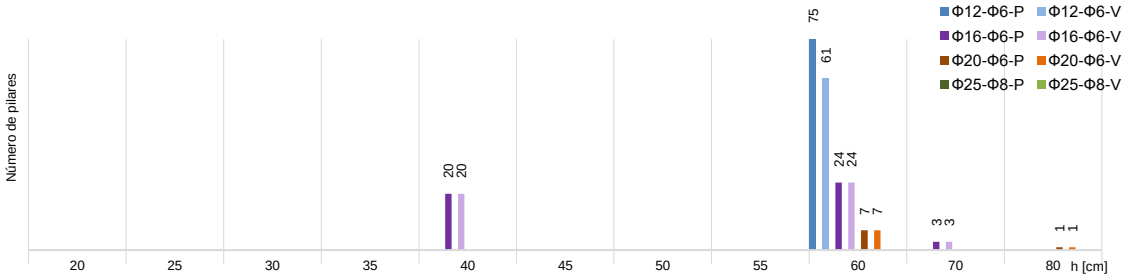


Figura 7.41 - Resultado da aplicação dos gráficos definitivos aos pilares com *b*=25cm, no escalão R90.

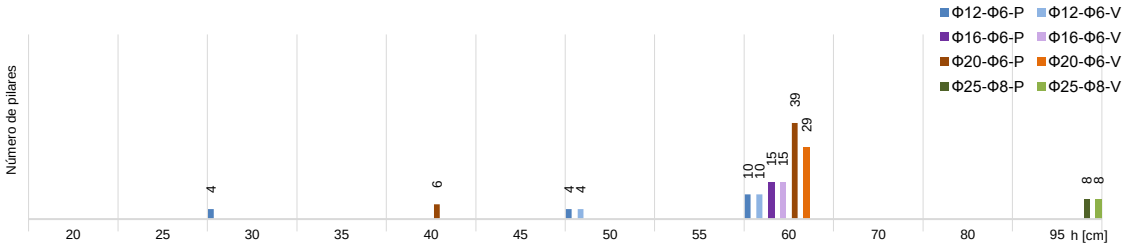


Figura 7.42 - Resultado da aplicação dos gráficos definitivos aos pilares com *b*=25cm, no escalão R120.

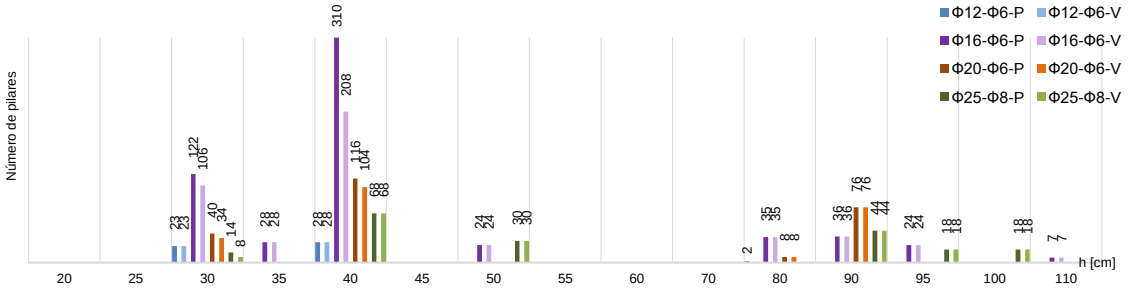


Figura 7.43 - Resultado da aplicação dos gráficos definitivos aos pilares com *b*=30cm, no escalão R60.

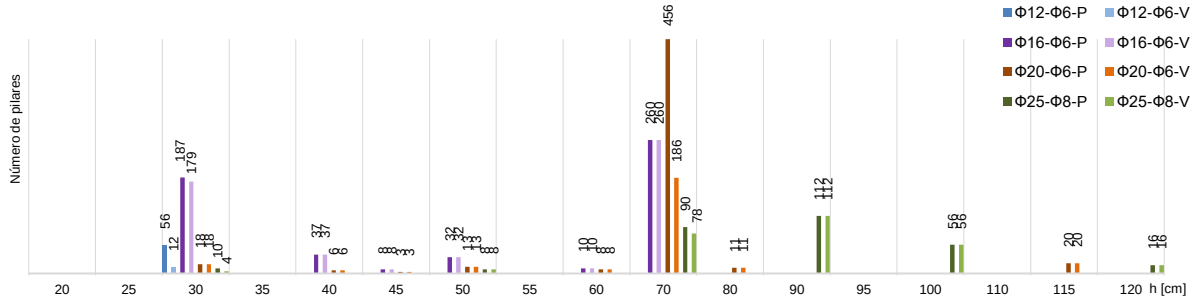


Figura 7.44 - Resultado da aplicação dos gráficos definitivos aos pilares com *b*=30cm, no escalão R90.

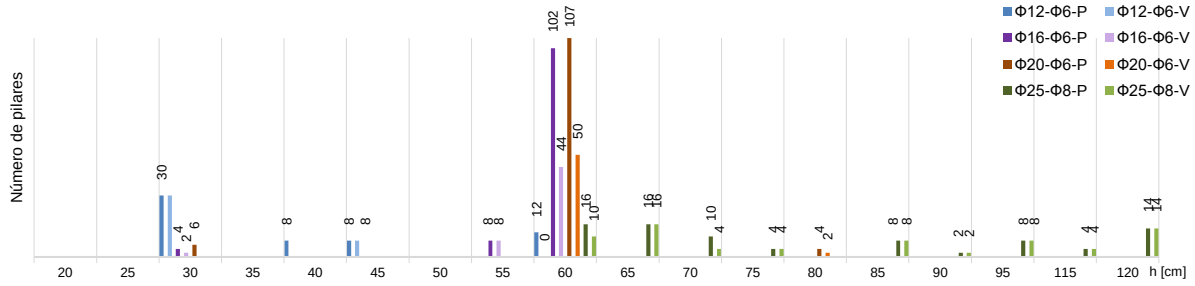


Figura 7.45 - Resultado da aplicação dos gráficos definitivos aos pilares com *b*=30cm, no escalão R120.

Analisando os gráficos mostrados nas Figuras 7.37 a 7.45 pode constatar-se o seguinte:

∴ Para o valor da menor dimensão *b*=20cm
- No escalão R60 os pilares previstos verificam a resistência ao fogo, com exceção de um reduzido número de pilares com *h*=30cm e armadura *Φ*16-*Φ*6;
- No escalão R90 as variações mais significativas entre o número de pilares previstos e o número de pilares que verificam a resistência ao fogo ocorrem nas secções com *h*=30cm e armadura *Φ*16-*Φ*6 e com *h*=60cm e armadura *Φ*16-*Φ*6 e *Φ*20-*Φ*6;
- No escalão R120 as variações mais significativas entre os pilares previstos e os que verificam surgem nos pilares com reduzidos valores de *h* (20cm e 30cm) e nos pilares com *h*=60cm para todas as armaduras previstas, sendo no entanto a variação menos significativa para *Φ*16-*Φ*6;

∴ Para o valor da menor dimensão *b*=25cm
- No escalão R60 os pilares verificam a resistência ao fogo, com exceção de um reduzido número de pilares com *h*=35cm, sendo que, para armaduras constituídas por *Φ*16-*Φ*6, esse reduzido número corresponde a quase metade dos pilares previstos;
- No escalão R90 observa-se uma ligeira diferença entre os pilares previstos e os que verificam a resistência ao fogo nas secções com *h*=60cm e armadura *Φ*12-*Φ*6;
- No escalão R120 constata-se que não verificam a resistência ao fogo os pilares com *h*=30cm e com *h*=40cm, assim como 10 dos 39 pilares com *h*=60cm e armadura *Φ*20-*Φ*6;

∴ Para o valor da menor dimensão *b*=30cm
- No escalão R60 as situações de não verificação da resistência ao fogo ocorrem essencialmente nas secções com *h*=30cm e com *h*=40cm e para armaduras *Φ*16-*Φ*6 e *Φ*20-*Φ*6, de forma mais significativa para armaduras *Φ*16-*Φ*6 na segunda secção e menos expressiva, em ambas as secções, para armaduras *Φ*20-*Φ*6;

* No escalão R90 as diferenças mais significativas entre os pilares previstos e os que verificam a resistência ao fogo acontecem nas secções com *h*=30cm e com *h*=70cm, na primeira para armaduras *Φ*12-*Φ*6 e na segunda para armaduras *Φ*20-*Φ*6;
* No escalão R120 as diferenças mais significativas entre os pilares previstos e os que verificam surgem nas secções com *h*=60cm e armaduras *Φ*20-*Φ*6 e *Φ*16-*Φ*6, nas secções com *h*=40cm e armaduras *Φ*12-*Φ*6, e nas secções com *h*=30cm e armaduras *Φ*20-*Φ*6 e *h*=70cm e armaduras *Φ*25-*Φ*8;

Os resultados globais da utilização dos gráficos propostos na verificação da resistência ao fogo dos 7204 pilares com *b*=20cm, *b*=25cm e *b*=30cm, com armaduras constituídas por *Φ*12-*Φ*6, *Φ*16-*Φ*6, *Φ*20-*Φ*6 e *Φ*25-*Φ*8, nos escalões R60, R90 e R120, são mostrados no Quadro 7.32 e nas Figuras 7.46 e 7.47.

Quadro 7.32 - Resultados da aplicação dos gráficos propostos aos pilares analisados.

Percentagens calculadas considerando os 7204 pilares									
Escalão	*b*=20cm			*b*=25cm			*b*=30cm		
	Previstos	Verificam	Não verificam	Previstos	Verificam	Não verificam	Previstos	Verificam	Não verificam
R60	6,27%	6,00%	0,28%	2,08%	1,96%	0,12%	14,87%	12,87%	2,00%
R90	39,35%	32,27%	7,08%	1,82%	1,62%	0,19%	19,67%	14,95%	4,72%
R120	9,59%	4,12%	5,47%	1,19%	0,92%	0,28%	5,15%	2,97%	2,18%

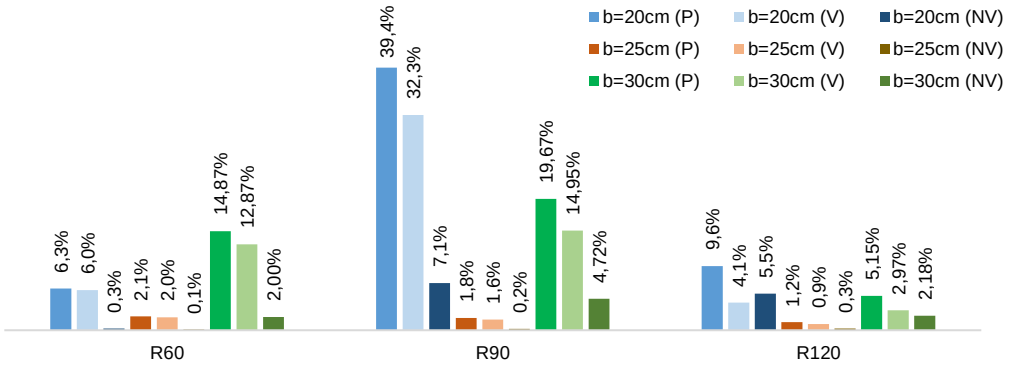


Figura 7.46 - Resultados da aplicação dos gráficos propostos aos pilares analisados.

Percentagens calculadas considerando os correspondentes pilares previstos em cada escalão e para cada valor de *b*			
Escalão	b=20cm	b=25cm	b=30cm
R60	95,6%	94,0%	86,6%
R90	82,0%	89,3%	76,0%
R120	43,0%	76,7%	57,7%

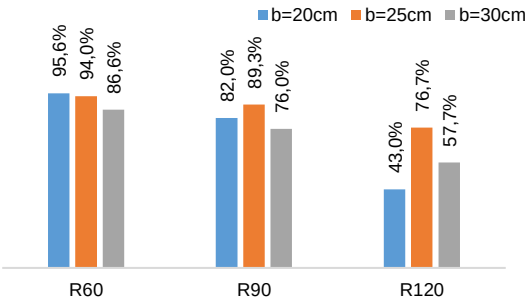


Figura 7.47 - Pilares analisados que verificam a resistência ao fogo pela aplicação dos gráficos propostos.

No Quadro 7.32 e no correspondente gráfico apresentado na Figura 7.46 as percentagens são calculadas considerando os 7204 pilares com as caraterísticas atrás apontadas. Como pode constatar-se, é para b=20cm no escalão R90 que um maior número de pilares não verifica a resistência ao fogo requerida (7,08% dos 7204 pilares), seguindo-se os pilares no escalão R120 com o mesmo valor de b (5,47% dos 7204 pilares) e os pilares com b=30cm no escalão R90 (4,72% dos 7204 pilares).

Para melhor compreensão do impacto da aplicação dos gráficos propostos, calcularam-se as percentagens de pilares que verificam a resistência ao fogo considerando o número de pilares previstos por valor da menor dimensão da secção transversal, b, e escalão de resistência ao fogo. Os resultados são apresentados na Figura 7.47. Observando esta figura conclui-se que é no escalão R120 que uma menor percentagem de pilares verifica a resistência ao fogo requerida. Efetivamente, neste escalão, verificam a resistência ao fogo apenas 43% dos pilares previstos com b=20cm, menos de metade dos pilares. Verificam 57,7% dos pilares com b=30cm e 76,7% dos pilares com b=25cm. Constatou-se, no decorrer do processo aqui apresentado de verificação da resistência ao fogo dos 7204 pilares, que, essencialmente para o escalão R120, os pilares não observavam a resistência ao fogo pelo facto de serem excedidos os valores máximos dos esforços atuantes em situação de incêndio, $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$.

7.6. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS PELA APLICAÇÃO DOS MÉTODOS TABELADOS COM OS RESULTANTES DA UTILIZAÇÃO DOS GRÁFICOS PROPOSTOS

Pretende-se que os gráficos propostos nesta dissertação constituam um método de verificação da resistência ao fogo dos pilares em betão armado alternativo aos métodos apontados sob a forma de tabelas na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), isto é, consistam numa ferramenta de utilização eficaz do ponto de vista da facilidade de consulta por parte dos projetistas de estruturas, com a vantagem de conduzirem a resultados menos conservativos. Para se poder constatar e comprovar este último objetivo, compararam-se os resultados obtidos na verificação da resistência ao fogo dos 7204 pilares com b=20cm, b=25cm e b=30cm, com armaduras constituídas por Φ12-Φ6, Φ16-Φ6, Φ20-Φ6 e Φ25-Φ8, nos escalões R60, R90 e R120, inseridos nas estruturas dos edifícios objeto deste estudo, aplicando os referidos métodos tabelados (veja-se o estudo desenvolvido no Capítulo 4) e os gráficos propostos nesta dissertação.

Na Figura 7.48 mostram-se as percentagens de pilares aos quais os métodos não são aplicáveis, as percentagens de pilares que não verificam a resistência ao fogo e as percentagens de pilares que verificam, para cada valor da menor dimensão da secção transversal, e na Figura 7.49 comparam-se os resultados correspondentes aos pilares que verificam a resistência ao fogo requerida, por valor da menor dimensão da secção transversal e para cada escalão de resistência ao fogo.

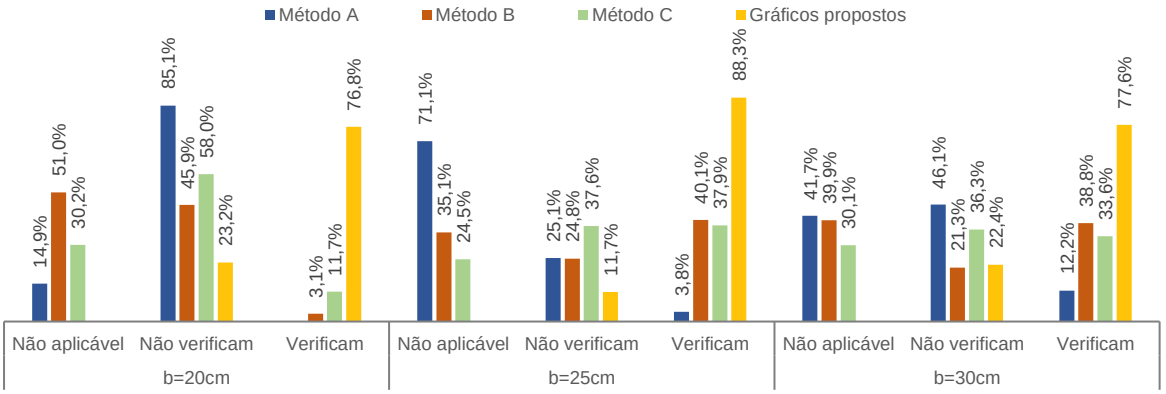


Figura 7.48 - Resultados da aplicação dos métodos que se apresentam na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) sob a forma de tabelas e dos gráficos propostos nesta dissertação, na verificação da resistência ao fogo dos 7204 pilares com *b*=20cm, *b*=25cm e *b*=30cm.

Pode ver-se, na Figura 7.48, que os métodos apontados na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) sob a forma de tabelas não são aplicáveis a todos os pilares, o que não ocorre com os gráficos propostos. Comparando os pilares que não verificam a resistência ao fogo (nos métodos tabelados, os pilares aos quais os métodos são aplicáveis, mas não verificam) constata-se que a percentagem correspondente aos gráficos propostos é inferior à observada para os restantes métodos, com exceção da referente aos pilares com *b*=30cm, onde se verifica que 22,4% dos pilares com este valor de *b* não verificam quando aplicados os gráficos propostos, percentagem ligeiramente superior à obtida pela aplicação do Método B (21,3%). No entanto, mesmo este método conduz a resultados mais conservativos que os gráficos propostos, já que é elevada a percentagem de pilares aos quais o método não é aplicável (39,9%). Para melhor poder interpretar os resultados referentes aos pilares que verificam a resistência ao fogo, desenvolveu-se o gráfico apresentado na Figura 7.49, onde se apresentam as percentagens destes pilares, para cada valor de *b* e escalão de resistência ao fogo.

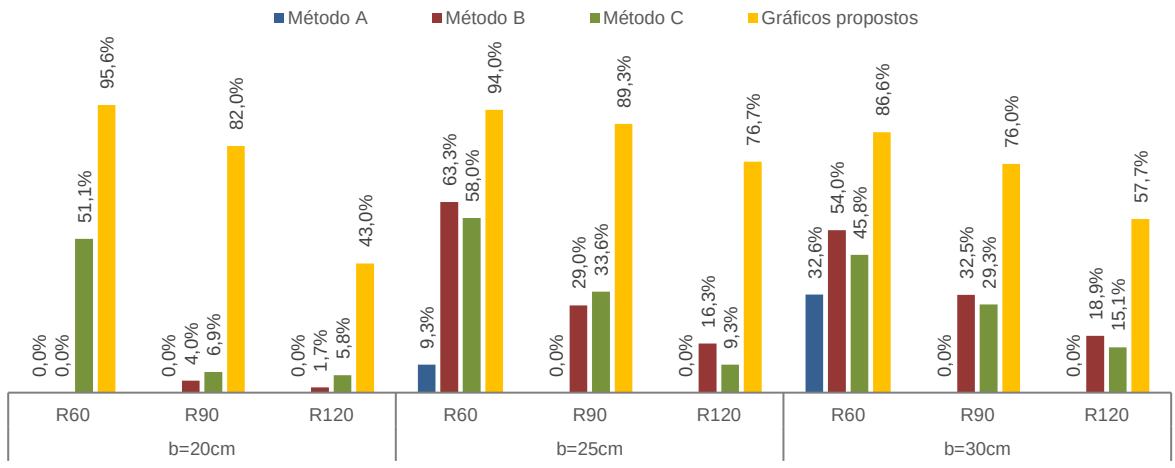


Figura 7.49 - Pilares que verificam a resistência ao fogo quando se utilizam os métodos que se apresentam na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) sob a forma de tabelas e os gráficos propostos nesta dissertação.

No gráfico apresentado na figura anterior, onde se comparam as percentagens de pilares que verificam a resistência ao fogo quando utilizados os diferentes métodos, é notória a vantagem da utilização dos gráficos propostos. As percentagens são determinadas pela razão entre o número de pilares, com um

valor de *b* e num dado escalão, que verificam a resistência ao fogo e o número de pilares previstos com essas caraterísticas. As diferenças mais notórias consequentes da utilização dos gráficos propostos ocorrem para os pilares com *b*=20cm. Para este valor da menor dimensão da secção transversal, nenhum dos pilares verifica a resistência ao fogo, nos três escalões, quando utilizado o Método A, verificam 4,0% e 1,7%, respetivamente para R90 e R120, quando aplicado o Método B, verificam 51,1%, 6,9% e 5,8%, respetivamente nos escalões R60, R90 e R120, quando utilizado o Método C e 95,6%, 82,0% e 43,0%, respetivamente nos escalões R60, R90 e R120, quando utilizados os gráficos propostos. Para os restantes valores de *b*, a menor percentagem de pilares que verificam a resistência ao fogo quando utilizados os gráficos propostos acontece para *b*=30cm no escalão R120, 57,7% dos pilares, contra 18,9% quando utilizado o Método B.

7.7. CONCLUSÕES

Um dos principais objetivos do trabalho apresentado nesta dissertação é contribuir para que a verificação da resistência ao fogo dos pilares em betão armado em edifícios correntes, a levar a efeito pelos projetistas de estruturas, seja mais eficaz em termos de tempo gasto nessa verificação, sem preterir a segurança. Assim, propõe-se uma ferramenta alternativa aos métodos propostos sob a forma de tabelas na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), o Método A, o Método B e o Método C, ferramenta esta que consiste na consulta de diagramas adimensionais de interação N_{fi}/M_{fi}. Para facilitar a sua consulta, estes gráficos foram desenvolvidos para o betão C50/60 e para o aço S400, de modo a poderem ser aplicados a qualquer classe de betão normal e a qualquer um dos dois tipos de aço utilizados em armaduras ordinárias, pelo que houve que estudar as consequências desta opção. Assim, analisou-se o desfasamento das curvas referentes aos diagramas de interação $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ correspondentes à utilização das diferentes classes de resistência do betão e tipo de aço, concluindo-se que:

- ∴ O desfasamento entre as curvas correspondentes à utilização de aço S400 e o aço S500 é mais notório nos diagramas referentes a pilares com maior percentagem de armadura e betão de menor classe de resistência (C25/30), para menores temperaturas nos eixos dos varões e, portanto, maiores valores de *a*, pelo que se pode concluir que os gráficos propostos serão mais conservativos para pilares com armadura constituída por aço S500, betões de menor classe de resistência, maiores valores de *a* e maior percentagem de armadura;
- ∴ Em pilares com as mesmas caraterísticas (com a mesma secção transversal e a mesma constituição da armadura) mas em escalões de resistência ao fogo diferentes, o desfasamento entre as curvas desenhadas considerando o aço S400 e o aço S500, para cada classe de resistência do betão, é menos significativa no escalão R120, pelo que se conclui que os gráficos propostos serão tanto menos conservativos, em pilares com armadura constituída por aço S500, quanto maior o escalão de resistência ao fogo;
- ∴ Fixando o tipo de aço, S400, constata-se que, para a mesma constituição das armaduras e para o mesmo valor do parâmetro *a*, o desfasamento das curvas correspondentes aos diagramas desenhados para as diferentes classes de resistência mecânica do betão (C25/30 a C50/60) a discrepância entre as curvas é tanto mais acentuada quanto maiores as dimensões da secção transversal, pelo que se conclui que os gráficos propostos serão mais conservativos, para as classes de resistência mecânica menos elevadas, nos pilares com maiores secções transversais.

Propõem-se doze gráficos para a verificação da resistência ao fogo de pilares em betão armado com os valores da menor dimensão da secção transversal b=20cm, b=25cm e b=30cm, com armaduras constituídas por Φ12-Φ6, Φ16-Φ6, Φ20-Φ6 e Φ25-Φ8, nos escalões R60, R90 e R120, os mais frequentes em edifícios correntes, como se mostra no Capítulo 3, sendo intenção desenvolver futuramente gráficos semelhantes para secções com outras caraterísticas geométricas, nomeadamente para pilares de secção transversal circular. As caraterísticas dos pilares aos quais esses gráficos são aplicáveis são indicadas no Quadro 7.1.

Cada um dos gráficos propostos foi desenvolvido de modo a constituir uma ferramenta de fácil aplicação, pelo que, dos numerosos diagramas de interação dos esforços resistentes, $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$, desenhados para as diferentes geometrias das secções transversais nele incluídas, muito próximos e que por vezes se intersectavam, dificultando a sua consulta, foram preteridos alguns dos diagramas e selecionados os que permitiam uma fácil leitura, correspondendo sempre essa escolha à opção pelo diagrama mais desfavorável, ou à composição do diagrama mais desfavorável, nas situações de intersecção dos diagramas. Relativamente à verificação dos esforços máximos atuantes, $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$, foram incluídos nos gráficos propostos os que apresentavam um desfasamento não negligenciável em relação aos desenhados para a temperatura ambiente, estudo apresentado no Subcapítulo 6.3.5 do Capítulo 6.

A verificação da resistência ao fogo dos pilares em betão armado utilizando os gráficos propostos é realizada a partir do momento fletor reduzido em situação de incêndio, μ_{fi}, e do esforço normal reduzido em situação de incêndio, ν_{fi}, sendo os valores destes parâmetros facilmente determinados a partir dos calculados aquando do processo de dimensionamento à temperatura normal, μ e ν, como se indicou no Subcapítulo 7.4.2.

Utilizaram-se os diagramas propostos para verificar a resistência ao fogo dos 7204 pilares com b=20cm, b=25cm e b=30cm, com armaduras constituídas por Φ12-Φ6, Φ16-Φ6, Φ20-Φ6 e Φ25-Φ8, nos escalões R60, R90 e R120, inseridos nas estruturas dos sessenta e três edifícios criteriosamente selecionados como se indica no Capítulo 3. Constatou-se que verificaram a resistência ao fogo:

- No escalão R60, 95,6% dos pilares com b=20cm, 94,0% dos pilares com b=25cm e 86,6% dos pilares com b=30cm;
- No escalão R90, 82,0% dos pilares com b=20cm, 89,3% dos pilares com b=25cm e 76,0% dos pilares com b=30cm;
- No escalão R120, 43,0% dos pilares com b=20cm, 76,7% dos pilares com b=25cm e 57,7% dos pilares com b=30cm;

A verificação da resistência ao fogo dos pilares com as caraterísticas apontadas no parágrafo anterior foi também levada a efeito utilizando os métodos propostos sob a forma de tabelas na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), obtendo-se os resultados apresentados no Capítulo 4. Comparados esses resultados com os obtidos pela aplicação dos gráficos propostos nesta dissertação, pode concluir-se que estes gráficos conduzem a resultados substancialmente menos conservativos, como pode ver-se no gráfico apresentado na Figura 7.49.

8

CONCLUSÕES E PERSPETIVAS DE DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

8.1. CONCLUSÕES

Os temas selecionados para investigação nesta dissertação foram direcionados ao exercício dos engenheiros projetistas de estruturas de edifícios correntes, no ato da verificação da resistência ao fogo dos pilares em betão armado. A verificação da resistência ao fogo das estruturas é um procedimento recente, sendo posto em prática considerando as recomendações apontadas na Parte 1-2 de quase todos os Eurocódigos Estruturais, parte que trata esta matéria. Começou por se desenvolver um estudo estatístico que permitisse verificar em que medida a introdução deste procedimento afetaria a prática corrente de dimensionamento dos pilares em betão armado. Uma primeira conclusão constatada na análise dos pilares inseridos nas estruturas dos edifícios analisados, licenciados até 2008, foi que a espessura do recobrimento das armaduras e a classe do betão não verificavam, em muitas situações, o disposto na EN 1992-1-1 (EC2-1-1, 2010), na EN 206-1 (2007) e na E 464 (2007), prática que carece ser alterada. No estudo estatístico referido, desenvolvido recorrendo à análise de 63 edifícios criteriosamente selecionados de modo a que constituíssem uma amostra representativa dos licenciados em Portugal, validando-se esta amostra por comparação com os dados do Instituto Nacional de Estatística (INE, 2009) sobre esta matéria, pôde concluir-se o seguinte:

- Considerando as utilizações-tipo mais frequentes nos edifícios analisados (UT I e UT IV), na UTI - Habitacionais, 56% dos edifícios apresentaram um risco de incêndio moderado (2ª categoria de risco), 32% um risco reduzido (1ª categoria) e 12% um risco elevado (3ª categoria), e na UT IV - Escolares, 72% apresentaram um risco elevado (3ª categoria), 21% um risco moderado (2ª categoria) e 7% um risco muito elevado (4ª categoria);
- Em edifícios correntes, o fator de redução do nível de carregamento, η_{fi}, variou entre 0,58 e 0,68 ($0{,}58 \leq \eta_{fi} \leq 0{,}68$), pelo que se recomenda a utilização de valores neste intervalo no cálculo do esforço axial inicial, em situação de incêndio ($N_{Ed,fi} = \eta_{fi}.N_{Rd}$) em ensaios experimentais ao fogo. Os valores mais frequentes foram η_{fi}=0,64 (24,9% das UT) e η_{fi}=0,65 (23,0% das UT);
- Os sessenta e três projetos analisados foram selecionados de modo a abranger as doze utilizações-tipo previstas no RJ-SCIE (2008). Uma vez que quase todos os edifícios eram de utilização mista, estes sessenta e três projetos englobaram 114 utilizações-tipo, devido à repetição daquelas doze UT, com caraterísticas de projeto distintas. Na sequência da respetiva

análise constatou-se que o maior número dessas 114 utilizações-tipo (36%) se insere no escalão R90, seguindo-se o escalão R60 (31%) e o escalão R120 (23%). Foram em percentagem substancialmente inferior (menos de metade) as utilizações-tipo no escalão R30 (8%) e R180 (3%);

Procedendo à análise estatística das caraterísticas dos pilares inseridos nas estruturas dos referidos edifícios, pela observação da variação dos parâmetros pertinentes para o desenvolvimento do presente estudo, expressos diretamente nos respetivos projetos ou determinados a partir dos elementos apresentados nesses projetos, concluiu-se o seguinte:

- Dos 14124 pilares constituintes das estruturas dos 63 edifícios, 9841 (70%) eram de secção retangular, 3397 (24%) de secção quadrangular e 886 (6%) de secção circular;
- Estudada a distribuição dos pilares pelos escalões de resistência ao fogo constatou-se que, dos 12243 pilares retangulares analisados (consideraram-se incluídos neste grupo os pilares quadrangulares), 44,6% inseriram-se no escalão R90, 31,7% no escalão R120, 19,2% no escalão R60, sendo muito reduzido o número de pilares nos escalões R30 e R180 (cerca de 2%), e que, dos 886 pilares circulares, 58,8% inseriram-se no escalão R120, 26,3% no escalão R90, 14,0% no escalão R60 e apenas 0,9% no escalão R30, não havendo pilares circulares no escalão R180;
- Nos pilares retangulares os valores mais frequentes do nível de carregamento à temperatura normal, n, estavam contidos nos intervalos $0,2<n\leq0,3$ e $0,3<n\leq0,4$ (14,9% de pilares em cada um destes intervalos), seguindo-se os valores nos intervalos $0,4<n\leq0,5$ (13,5%), e nos pilares circulares os valores mais frequentes deste parâmetro estavam contidos no intervalo $0,4<n\leq0,5$(27,9%), seguindo-se $0,7<n\leq0,8$ (15,7%, num intervalo de valores que conduz à não aplicabilidade dos métodos tabelados);
- Apresentaram valores de n superiores a 0,7, máximo previsto na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) para a aplicabilidade do Método B e do Método C, 14,4% dos pilares retangulares e 25,9% dos pilares circulares;

Confrontando-se os projetistas com a necessidade de proceder à verificação da resistência ao fogo das estruturas e, em particular, dos pilares, tendem a recorrer a métodos expeditos em termos de tempo gasto nessa verificação, em situações correntes, optando pela utilização dos métodos apresentados sob a forma de tabelas na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), o Método A, o Método B e o Método C. Aplicando estes métodos para proceder à verificação da resistência ao fogo requerida dos pilares objeto de análise neste estudo, concluiu-se o seguinte:

- Relativamente aos pilares retangulares, o Método B foi o método aplicável ao menor número de pilares e o método C o aplicável ao maior número de pilares; quando aplicável, o Método A foi o que levou a que um maior número de pilares não satisfizessem a resistência ao fogo requerida e o Método B é o que levou a um menor número;
- Utilizando os três métodos para verificar a resistência ao fogo dos pilares retangulares constatou-se que conduziram a resultados substancialmente gravosos, sendo o Método C o menos conservativo (verificam a resistência ao fogo 28,6% destes pilares) seguindo-se o Método B (verificam 26,7%) e o Método A (Verificam 19,7%);
- Considerando os pilares circulares, O Método B foi o que conduziu a uma menor aplicabilidade e o Método A o que conduziu à maior aplicabilidade; O Método C foi o método que, quando aplicável, levou a que um maior número de pilares não satisfizessem a resistência ao fogo requerida e o Método A é o que levou a um menor número;

- Aplicando os três métodos aos pilares circulares, o Método A foi o menos conservativo, conduzindo a que mais de 70% dos pilares verificassem a resistência ao fogo (71,1%), percentagem correspondente a cerca do dobro obtido pela aplicação do Método C (36,5%), o mais conservativo. Utilizando o Método B, verificaram 40,4% dos pilares;
- A simplificação conservativa de considerar η_{fi}=0,7 repercutiu-se de forma significativa nos pilares retangulares quando se utilizou o método C (redução de 4,4% dos pilares que verificaram a resistência ao fogo) e pouco significativa quando se utilizou o Método A (redução de 1,4%). Quando considerada na avaliação dos pilares circulares, repercutiu-se de forma significativa quando utilizado o Método A (redução de 10,4% dos pilares que verificaram a resistência ao fogo), não havendo qualquer repercussão quando utilizado o Método C;
- A adoção do recobrimento mínimo definido de acordo com a EN 1992-1-1 (EC2-1-1, 2010) e com as disposições indicadas na EN 206-1 (2007), na verificação da resistência ao fogo dos pilares levou, como expectável, a um aumento do número destes elementos estruturais que passaram a satisfazer a resistência requerida, por ser verificada a conformidade do parâmetro a_{min}. No entanto, as repercussões foram díspares, conforme o método de verificação utilizado;
- Os métodos tabelados conduziram a resultados substancialmente menos conservativos quando aplicados aos pilares circulares; De forma a contribuir para a otimização da aplicação destes métodos, desenvolveram-se quadros com a identificação do método que conduz aos resultados menos conservativos, em função dos valores da menor dimensão da secção transversal (ou do diâmetro, nos pilares circulares) e do escalão de resistência ao fogo.

Dependendo, muitos dos modelos numéricos desenvolvidos para a verificação da resistência ao fogo, nomeadamente dos pilares em betão armado, dos ensaios experimentais para a sua validação, compararam-se os resultados dos ensaios experimentais ao fogo de sete pilares, três de secção quadrangular e quatro de secção circular, levados a efeito no Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, realçando-se as seguintes conclusões:

- Nos ensaios experimentais, a resistência ao fogo dos pilares foi substancialmente afetada pelo grau de utilização em situação de incêndio, μ_{fi} e pelo nível de carregamento, n;
- Na verificação da resistência ao fogo dos três pilares quadrangulares recorrendo aos diagramas de interação N_{fi}/M_{fi}, constatou-se que os resultados foram substancialmente conservativos, quando comparados com os obtidos nos ensaios experimentais, e que o Método das Zonas conduziu a resultados menos conservativo que o Método da Isotérmica dos 500ºC, no desenho de $N_{Rd,fi}/ M_{Rd,fi}$, não sendo as curvas desenhadas para os esforços atuantes, $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$, afetadas pela escolha de qualquer um destes métodos. Os resultados foram mais conservativos nos pilares que apresentaram, no ensaio, um tempo de resistência ao fogo mais elevado;
- Comparando os valores dos esforços normais a que cada um dos sete pilares se encontrava submetido aos 60, 90 e 120 minutos, lidos no decorrer do ensaio, com os esforços normais resistentes calculados, nos mesmos momentos, recorrendo ao Método da Isotérmica dos 500ºC, contatou-se uma disparidade percentual muito significativa;
- Aplicando os Métodos dos Valores Tabelados (Método A e Método B) e os Métodos Simplificados (Método C, Método da Isotérmica dos 500ºC e Método das Zonas) aos sete pilares ensaiados concluiu-se que, dos métodos apresentados sob a forma de tabelas, apenas o Método C conduziu a que um dos pilares verificasse a resistência ao fogo requerida, e o Método das Zonas, o menos conservativo, a que três pilares verificassem. Os pilares classificados no escalão R120 não verificaram a resistência ao fogo observada nos ensaios experimentais;

- Os métodos referidos no parágrafo anterior conduzem a resultados substancialmente conservativos na verificação da resistência ao fogo de pilares em betão armado, quando comparados com os resultantes de ensaios experimentais, essencialmente quando classificados nos escalões de resistência ao fogo mais elevados.

Pretendendo-se desenvolver uma nova metodologia para a verificação da resistência ao fogo de pilares em betão armado, alternativa aos métodos tabelados, consistindo na consulta de diagramas de interação adimensionais N_{fi}/M_{fi}, desenhados recorrendo ao Método da Isotérmica dos 500ºC para o cálculo da secção útil de betão, e considerando a redução das caraterísticas mecânicas do aço das armaduras devido às elevadas temperaturas, compararam-se os valores dos parâmetros mais pertinentes envolvidos neste processo, permitindo formular as seguintes conclusões:

- A redução da área da secção transversal dos pilares provocada pelo facto de não se considerar a camada de betão danificada devido às elevadas temperaturas, variou entre 46,4% para os pilares de menores dimensões (20x20cm^2), e 24,8% para os de maiores dimensões (30x50cm^2), para o escalão R60, entre 63,2% e 33,2% respetivamente, para o escalão R90 e entre 76,2% e 42,1% para o escalão R120;
- Nas armaduras submetidas a menores valores de temperatura, nomeadamente nas armaduras dispostas nas faces do pilar, para elevados valores de a (no caso estudado, a=55mm) e no escalão R60, a redução da tensão de cedência em função da temperatura, $f_{sy,\theta}$, e a redução da extensão no aço correspondente a uma tensão limite de proporcionalidade em função da temperatura, $\varepsilon_{sp,\theta}$, foram menores nesta situação de incêndio, do que a redução dos mesmos parâmetros à temperatura ambiente, por se considerarem os valores de cálculo e não os valores caraterísticos;
- Os pilares retangulares com valores mais elevados da maior dimensão da secção transversal apresentaram uma maior resistência em situação de incêndio, no escalão R60, do que à temperatura ambiente, verificando-se esta ocorrência essencialmente nos Domínios 5, 6 e 7, domínios estes definidos em função dos valores limite da profundidade do eixo neutro, x. Considera-se que este facto, não expectável, estará relacionado com a metodologia apontada na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) para a aplicação do Método da Isotérmica dos 500ºC (situação que ocorre, também, quando se utiliza o Método das Zonas), segundo a qual a secção útil de betão, obtida retirando a camada danificada devido às elevadas temperaturas, é tratada como à temperatura ambiente;
- Em pilares de edifícios correntes, as variações das dimensões e dos vãos das vigas de travação, consideradas quando se determinam os efeitos das imperfeições geométricas e os efeitos de segunda ordem, não acarretam significativas variações nos desenhos dos diagramas de interação dos esforços atuantes $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$;
- O agravamento dos esforços, em situação de incêndio, foi substancialmente afetado pelos valores das temperaturas no eixo dos varões. Dependendo esses valores da distância do eixo dos varões à face do pilar mais próxima sujeita a incêndio, recomenda-se aos projetistas que ponderem a utilização de varões de maior diâmetro.

Desenvolveram-se os diagramas de interação para as secções transversais com as dimensões mais correntes e mais desfavoráveis (menor dimensão da secção transversal b=20cm, b=25cm e b=30cm, e maior dimensão até 50cm), e para os escalões de resistência ao fogo onde se constatou estar inserido o maior número de pilares (R60, R90 e R120), com o objetivo de desenhar os gráficos definitivos que se propõem, nesta dissertação, como método para a verificação da resistência ao fogo de pilares em betão armado. Havendo a preocupação de reduzir o número de gráficos e torná-los abrangentes, de modo a que o método fosse eficaz em termos de tempo de utilização, sem preterir a segurança, desenharam-se

os diagramas de interação considerando o betão C50/60 e o aço S400NR, aplicáveis às restantes classes de resistência de betões normais e ao aço S500NR. Assim, a aplicação deste método é tanto mais conservativa quanto menor a classe de resistência do betão normal, e mais conservativa quando utilizado o aço S500NR.

Utilizou-se esta nova metodologia para proceder à verificação da resistência ao fogo dos 7204 pilares retangulares com b=20cm, b=25cm e b=30cm, com armaduras constituídas por Φ12-Φ6, Φ16-Φ6, Φ20-Φ6 e Φ25-Φ8, nos escalões R60, R90 e R120, inseridos nas estruturas dos 63 edifícios analisados. Comparados os resultados com os obtidos pela aplicação dos métodos propostos sob a forma de tabelas, na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), pôde constatar-se, como a seguir se mostra, que a metodologia proposta conduziu a resultados substancialmente menos conservativos:

- Dos pilares com b=20cm, verificam a resistência ao fogo 76,8% quando se utilizam os gráficos propostos e apenas 11,7%, quando aplicado o Método C, o menos conservativo dos métodos tabelados nesta situação;
- Os pilares com b=25cm verificam quase todos a resistência ao fogo (88,3%) quando utilizados os gráficos propostos, atingindo 40,1% os pilares que verificam pela aplicação do Método B, o menos conservativo dos tabelados nesta situação;
- Para os pilares com b=30cm, verificam a resistência ao fogo 77,6% utilizando os gráficos propostos, e 38,8% quando aplicado o Método B, o menos conservativo dos tabelados para os pilares nesta situação.

A metodologia aqui proposta para a verificação da resistência ao fogo de pilares em betão armado de secção retangular, apesar de conduzir a resultados substancialmente menos conservativos que os métodos propostos sob a forma de tabelas, na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), ainda é conservativa. Efetivamente, além dos diagramas de interação N/M propostos terem sido desenvolvidos para a classe de resistência do betão C50/60 e para o aço S400NR, tornando-se conservativos para as restantes classes de betão normal e para o aço S500NR, e terem sido selecionados os mais desfavoráveis, na composição dos gráficos definitivos apresentados, cada diagrama que compõe estes gráficos foi desenhado recorrendo a um método já por si conservativo, como ficou explícito na comparação de resultados obtidos pela aplicação deste método com os resultantes de ensaios experimentais ao fogo e com os determinados recorrendo à aplicação do modelo SAFIR.

Conclui-se, pois, que a nova metodologia proposta nesta dissertação constitui uma ferramenta assaz eficaz para a verificação da resistência ao fogo de pilares em betão armado se secção retangular, como alternativa ao Método A, ao Método B e ao Método C, métodos apresentados sob a forma de tabelas na EN 1992-1-2 (2004).

8.2. PROPOSTAS PARA DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Muito há ainda a estudar na área versada nesta dissertação. Anotam-se algumas propostas para desenvolvimento de matérias mais intrinsecamente relacionadas com os temas versados, perspetivando-se o estudo de algumas a curto prazo.

- Comparar os resultados obtidos nos ensaios experimentais ao fogo de pilares em betão armado, realizados em diferentes laboratórios, nomeadamente no que se refere aos valores das temperaturas lidas nos eixos dos varões ao longo do tempo, comparar os valores dessas temperaturas nos momentos correspondentes aos escalões de resistência ao fogo e com as lidas nos perfis de temperatura que constam no Anexo A da EN 1992-1-2 (EC2-1 -2, 2010), e relacionar eventuais desfasamentos com as taxas de aquecimento do forno;
- Ponderar a metodologia apontada na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) para a aplicação do Método da Isotérmica dos 500ºC e do Método das Zonas, segundo a qual a secção útil de betão, obtida retirando a camada danificada devido às elevadas temperaturas, pode ser tratada como à temperatura ambiente;
- Desenvolver diagramas de interação adimensionais N_{fi}/M_{fi} para a verificação da resistência ao fogo de pilares de secção circular, considerando espessuras do recobrimento das armaduras com 35mm, 40mm e 45mm;
- Desenvolver diagramas de interação adimensionais N_{fi}/M_{fi} para a verificação da resistência ao fogo de pilares de secção retangular, considerando espessuras do recobrimento das armaduras com 40mm e 45mm, e dimensões da secção transversal não consideradas nos gráficos desenvolvidos nesta dissertação, mas com representatividade, que pode ser verificada no estudo estatístico das secções dos pilares aqui apresentada;
- Comparar os resultados da verificação da resistência ao fogo dos pilares inseridos nas estruturas dos edifícios selecionados para análise, obtidos pela aplicação da nova metodologia que se propõe nesta dissertação, com os resultantes de uma avaliação recorrendo a métodos de cálculo avançados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A

Aldea, C. M., Franssen, J. M., Dotrppe, J. C. (1997). *Fire test on normal and high-strenght reinforced concrete columns*. Proceedings of the International Workshop on Fire Performance of high-strenght concretre. 109-124. National Institute of Sandard and Technology. Gaithersburg, MD. USA.

Alexander, W.,Shackelford, J. (2000). *CRC Materials Science and Engineering Handbook*. Third Edition, University of California, USA. ISBN: 0-8493-2696-6.

Ali, F., O'Connor, D., Abu-Tair, A. (2001). *Explosive spalling of high-strength concrete columns in fire*. Magazine of Concrete Research. 53 (3), 197-204.

Ali, F., Nadjai A., Silcock, G., Abu-Tair, A. (2004). *Outcomes of a major research on fire resistance of concrete columns*. Fire Safety J., 39 (6), 433-445.

Al-Khaleefi, A. M., Terro, M. J., Alex, A. P., Wang, Y. (2002). *Prediction of fire resistance of concrete filled tubular steel columns using neural networks*. Fire Safety J., 37 (4), 339-352.

Amado, A. R. M., Rodrigues, J. P. C. (2008). *Uso de fibras para um melhor desempenho ao fogo de pilares de betão*. In Atas do Encontro Nacional de Betão Estrutural 2008, Guimarães, Portugal.

Anderberg, Y., Thelanderson, S. (1976). *Stress and Deformation Characteristics of Concrete at High Temperatures: Experimental Investigation and Material Behaviour Model*. Report N.º 34, Lund Institute of Technology. Sweden.

Anderberg, Y. (1991). *SUPER-TEMPCALC, A Commercial And User-friendly Computer Program With Automatic FE-Generation For Temperature Analysis Of Structures Exposed To Heat*. Fire Safety Design AB, Lund, Sweden.

Anderberg, Y. (1997). *TCD 5.0 - User´s Manual*. Fire Safety Design AB, Lund, Sweden.

Anderberg, Y. (2008). *The impact of various material models on structural fire behaviour prediction*. Proceedings of the 5th International Conference on Strutures in Fire, 253-265. Singapore.

Arioz, O. (2007). *Effects of elevated temperatures on properties of concrete*. Fire Safety J., 42 (8), 516-522.

ASTM E119-00 (2007). *Standard Methods of Fire Test of Building Construction and Materials*. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA. U.S.

B

Bailey, C. (2002). *Holistic behaviour of concrete buildings in fire*. ICE - Structures and Buildings, 152 (3), 199-212.

Balázs, G. L., Lublóy, E. (2012). *Post-heating strength of fiber-reinforced concretes*. Fire Safety J., 49, 100-106.

Bamonte, P., P. Gambarova, G., Meda, A. (2008). *Today's concretes exposed to fire - test results and sectional analysis*. Structural Concrete J., 9 (1), 19 –29.

Bamonte, P., Lo Monte, F. (2010). *Modeling R/C Columns in Fire According to Different Constitutive Models for Heated Concrete*. Proceedings of the 6th International Conference on Strutures in Fire, 320-327. Michigan State University. US.

Becker, J. M., Bresler, B. M. (1977). *Reinforced concrete frames in fire environments*. Journal of the Structural Division, 103 (1), 211–224.

Bingöl, F., Gül, R. (2009). *Residual bond strength between steel bars and concrete after elevated temperatures*. Fire Safety J., 44 (6), 854-859.

Bratina, S., Cas, B., Saje M. (2005). *Numerical modelling of behavior of reinforced concrete columns in fire and comparison with Eurocode 2*. Journal of Solids and Structures, 42I, 5715-5733.

BS-476 (1987). *British Standard 476 Fire Tests*. British Standards Institution, BSI. Fire tests on building materials and structures. London.

C

Caia, J., Burgess, I., Plank, R. (2003). *A generalised steel/reinforced concrete beam-column element model for fire conditions*. Engineering Structures J., 25, 817-833.

Caldas, R. B., Sousa, J. B. M. , Fakury, R. H. (2010). *Interaction diagrams for reinforced concrete sections subjected to fire*. Engineering Structures J., 32, 2832-2838.

Capua, D., Mari, A. R. (2007). *Nonlinear analysis of reinforced concrete cross-sections exposed to fire*. Fire Safety J., 42 (2), 139-149.

Cioni, P., Croce, P., Salvatore, W. (2001). *Assessing fire damage to r.c. elements*. Fire Safety J., 36 (2), 181-199.

Chang, W. T., Wang, C. T., Huang, C.W., Giang, Y.S. (1994). *Concrete at temperatures above 1000°C*. Fire Safety J., 23 (3), 223-243.

Chen, S. C., Lu, X. Z., Ren, A. Z., Jiang, J. J. (2007). *Fiber Beam Element Model for the Collapse Simulation of Concrete Structures under Fire*. Proceedings of the International Symposium on Computational Mechanics, 288. Beijing, China.

Chen, Y. H., Chang, Y. F., Yao, G. C., Sheu, M. S. (2009). *Experimental research on post-fire behaviour of reinforced concrete columns*. Fire Safety J., 44 (5), 741-748.

Chowdhury, E. U., Bisby, L. A., Green, M. F., Kodur, V. K. R. (2007). *Investigation of insulated FRP-wrapped reinforced concrete columns in fire*. Fire Safety J., 42 (6-7), 452-460.

Chung, J. H., Consolazio, G. R., McVay, M. C. (2006). *Finite element stress analysis of a reinforced high-strength concrete column in severe fires*. Computers & Structures, 84 (21), 1338-1352.

Correia, A. M., Rodrigues, J. P. C. (2003). *Resistência de colunas de aço e mistas de aço-betão em situação de incêndio - estudo experimental e numérico*. In Atas do 2º CILASCI – Congresso Ibero-Latino-Americano sobre Segurança Contra Incêndios, 177-186. Coimbra. Portugal

Cree, D., Chowdhury, E. U., Green, M. F., Bisby, L. A., Bénichou, N. (2012). *Performance in fire of FRP-strengthened and insulated reinforced concrete columns*. Fire Safety J., 54, 86-95.

Cree, D., Green, M., Noumowé, A. (2013). *Residual strength of concrete containing recycled materials after exposure to fire: A review*. Construction and Building Materials, 45, 208-223.

D

Despacho (2009). *Critérios Técnicos para Determinação da Densidade de Carga de Incêndio*. Despacho n.º 2074/2009, de 15 de Janeiro. Imprensa Nacional Casa da Moeda. Lisboa. Portugal.

Dimia, M. S., Guenfoud, M., Gernay, T., Franssen J. M. (2011). *Collapse of concrete columns during and after the cooling phase of a fire*. Journal of Fire Protection Engineering, 21 (4), 245-263.

D.L. n.º 224 (2015). Diploma que procede à primeira alteração ao *Regime Jurídico de Segurança contra Incêndios em Edifícios*. RJ-SCIE (2008), Decreto-Lei nº 224/2015, de 9 de Outubro. Imprensa Nacional Casa da Moeda. Lisboa. Portugal.

Don, G., Perry, R.H. (1997). *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. 7th Edition, McGraw-Hill.

Dotreppe, J. C., Franssen, J. M., Vanderzeipen, Y. (1999). *Calculation Method for Design of Reinforced Concrete Columns under Fire Conditions*. ACI Structural Journal, 96 (1), 9-18.

Du, Y., Li, G. (2012). *A new temperature-time curve for fire-resistance analysis of structures*. Fire Safety J., 54, 113-120.

Duthinh, D., McGrattan, K., Khaskia, A. (2008). *Recent advances in fire–structure analysis*. Fire Safety J., 43 (2), 161-167.

E

EC0 (2009). *Eurocódigo 0 – Bases para o projeto de estruturas*, NP/EN 1990. LNEC, Dezembro 2009. Lisboa.Portugal.

EC1-1-2 (2010). *Eurocódigo 1 – Ações em estruturas, Parte 1-2: Acções gerais. Ações em estruturas expostas ao fogo*. NP/EN 1991-1-2. LNEC, Março 2010. Lisboa.Portugal.

EC2-1-1 (2010). *Eurocódigo 2 – Projeto de estruturas de betão, Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios*. NP/EN 1992-1-1. LNEC, Março 2010. Lisboa.Portugal.

EC2-1-2 (2010). *Eurocódigo 2 – Projeto de estruturas de betão, Parte 1-2: Regras gerais. Verificação de resistência ao fogo*. NP/EN 1992-1-2. LNEC, Março 2010. Lisboa.Portugal.

EC7 (2010). Eurocódigo 7 – Projeto geotécnico. NP/EN 1997. LNEC, Março 2010. Lisboa.Portugal.

EC8 (2010). Eurocódigo 8 – Projeto de estruturas para resistência aos sismos. NP/EN 1992-1-1. LNEC, Março 2010. Lisboa.Portugal.

Elghazouli, A. Y., Cashell, K. A., Izzuddin, B.A. (2009). *Experimental evaluation of the mechanical properties of steel reinforcement at elevated temperature*. Fire Safety J., 44 (6), 909-919.

EN 206-1 (2007). Betão – Parte 1:Especificação, desempenho, produção e conformidade. NP/EN 206-1. ATIC, Junho 2007. Lisboa.Portugal.

E 464 (2007). Betão – Metodologia prescritiva para uma vida útil de projeto de 50 e de 100 anos face às ações ambientais. E 464-2007. LNEC, Novembro 2010. Lisboa.Portugal.

F

Faria, R., Xavier, H.F., Real, P.V. (2010). *Simplified Procedure for Shear Failure Assessment of RC Framed Structures Exposed to Fire*. Proceedings of the 6th International Conference on Strutures in Fire, 197-205. Michigan State University. US.

Faria, R., Teixeira, L. (2013). *Analysis and design of RC columns in framed RC buildings under the standard fire, according to the EC2*. Engineering Computations J., 30 (6), 873-887.

Figueiras, J., Barros, H. (2010). *Tabelas e Ábacos de Dimensionamento de Secções de Betão Solicitadas à Flexão e a Esforços Axiais Segundo o Eurocódigo 2*. FEUP Edições.

Fletcher, I. A., Welch, S., Torero, J.L., Carvel, R.O., Usmani, A. (2007). *Behaviour of concrete structures in fire*. Thermal Science, 2 (11), 37-52.

Franssen, J. M. (2003). *SAFIR: A thermal/structural program modelling structures under fire*. Proceedings of the North American Steel Construction Conf., American Inst. Of Steel Constr., Baltimore. USA.

Franssen, J. M., Dotreppe, J. C. (2003). *Fire tests and calculation methods for circular concrete columns*. Fire Techology, 39, 89-97.

Franssen J.M. (2005). *SAFIR. A Thermal/Structural Program Modelling Structures under Fire*. Engineering Journal, A.I.S.C., 42 (3), 143-158.

Franssen J.M. (2007). *SAFIR. A thermal/structural program modelling structures under fire*. V. 2007. Faculté des Sciences Appliquées. Université de Liège. Belgique.

G

Gernay, T., Franssen, J. M. (2011). *Economic analysis of Stainless Steel-Reinforced Concrete members designed for a Fire Resistance of 2 hours*. ISSF - International Stainless Steel Forum.

Gernay, T., Franssen, J. M. (2011). *SAFIR Manual. Materials SILCON_ETC and CALCON_ETC*. Faculté des Sciences Appliquées. Université de Liège. Belgique.

Gernay, T. (2012a). *Effect of Transient Creep Strain Model on the Behavior of Concrete Columns Subjected to Heating and Cooling*. Fire Technology J., 48 (2), 313-329.

Gernay, T., Franssen, J.M. (2012b). *A formulation of the Eurocode 2 concrete model at elevated temperature that includes an explicit term for transient creep*. Fire Safety J., 51, 1-9.

Gernay, T., Dimia, M.S. (2013). *Structural behaviour of concrete columns under natural fires*. Engineering Computations, 30 (6), 854 - 87.

Gonçalves, M.C. (2007). *Comportamento ao fogo de elementos estruturais de betão. Análise numérica e metodologia*. Tese de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Portugal.

Goncalves, M.C., Rodrigues, J.P.C. (2007a). *Ultimate bending moment capacity of reinforced concrete beam sections at high temperatures*. Proceedings of the International workshop of fire design of concrete structures, 281-288. Coimbra. Portugal.

Goncalves, M.C., Franssen, J.M., Abrantes, V., Rodrigues, J.P.C. (2009). *Numerical Analysis of concrete columns in fire. Advanced versus simplified calculation methods*. Proceedings of the International Conference "Applications of Structural Fire Engineering", 222-227. Prague. Czech Republic.

Goncalves, M.C., Rodrigues, J.P.C. (2010). *Um método de cálculo simplificado para pilares de betão armado sujeitos ao fogo*. In Atas do BE2010 - Encontro Nacional Betão Estrutural. Lisboa.

Goncalves, M.C., Guimarães, N.B., Rodrigues, J.P. C. (2011). *Modelação numérica dos métodos das tabelas e simplificados do cálculo da resistência ao fogo de estruturas de betão armado*. In Atas do Congresso de Métodos Numéricos em Engenharia 2011. Coimbra.

Gottfried, J.S., Rein, G. (2012). *Travelling fires for structural design–Part I: Literature review*. Fire Safety J., 54, 74-85.

Gottfried, J.S., Rein, G. (2012). *Travelling fires for structural design-Part II: Design methodology*. Fire Safety J., 54, 96-112.

Gritzo, L.A., Senseny, P.E., Xin, Y., Thomas, R.J. (2005). *The international FORUM of fire research directors: A position paper on verification and validation of numerical fire models*. Fire Safety J., 40 (5), 485-490.

Grosshandler, W. L. (2003). *The international Forum of fire research directors: A position paper on evaluation of structural fire resistance*. Fire Safety J., 38 (7), 645–650.

Guimarães, N.B.T. (2010). *Resistência ao fogo de estruturas de betão. Modelação numérica dos Métodos Tabelados e Simplificados e aplicação a um projeto*. Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Portugal.

H

Haddad, R. H., Al-Saleh, R. J., Al-Akhras N. M. (2008). *Effect of elevated temperature on bond between steel reinforcement and fiber reinforced concrete*. Fire Safety J., 43 (5), 334-343.

Harada, K. (2004). *Actual State of the Codes on Fire Design in Japan*. Proceedings of the workshop Fire Design of Concrete Structures: What now? What next?, 11-20.

Hertz, K. D. (2003). *Limits of spalling of fire-exposed concrete*. Fire Safety J., 38 (2), 103-116.

Hertz, K. D., Sorensen L. S. (2005). *Test method for spalling of fire exposed concrete*. Fire Safety J., 40 (5), 466-476.

Hietanen, T. (2004). *Actual State of the Codes on Fire Design in Europe*. Fire Design of Concrete Structures: What now? What next?, 21-24.

Holmberg, S., Anderberg, Y. (1993). *Computer simulations and design method for fire exposed concrete structures*. FSD Project n.º 92-52, Stockholm, Sweden.

Huang, Z., Burgess, I.W., Plank, R.J. (2003). *Modelling membrane action of concrete slabs in composite buildings in fire. Part I: Theoretical development*. Journal of Structural Engineering, ASCE, 129 (8), 1093-1102.

Huang, Z., Burgess, I.W., Plank, R.J. (2006). *Behaviour of reinforced concrete structures in fire*. Proceedings of the 4th International Conference on Strutures in Fire, 561-572. Aveiro. Portugal.

Husem, M. (2006). *The effects of high temperature on compressive and flexural strengths of ordinary and high-performance concrete*. Fire Safety J., 41 (2), 155-163.

I

ISO 834 (1975). *Essais de Résistance au Feu*. Organisation Internationale de Normalisation. Norme Internationale, Genève, Switzerland.

INE (2009). *Estatísticas da Construção e Habitação2008*. Instituto Nacional de Estatística, I.P., Lisboa. Portugal.

J

Jansson, R. (2013). *Fire Spalling of Concrete. Theorical and ExperimentalStudies*. Ph.D thesis. KTH Royal Institute of Technology. Stockholm. Sweden.

Jau, W.C., Huang, K.L. (2008). *A study of reinforced concrete corner columns after fire*. Cement and Concrete Composites J., 30 (7), 622-638.

Jennings, T.M. (2009). *UT Fire, a Preprocessor for SAFIR2007, for Analysis of Heat Transfer for Structural Members Exposed to Fire*. MSc thesis. University of Texas. Austin. USA.

K

Khoury, G.A. (2000). *Effect of Fire on Concrete and Concrete Structures. Progress in Structural Engi neering and Materials*, 2 (4), 429-447.

Kodur, V. K. R., Wang, T. C., Cheng, F. P. (2004). *Predicting the fire resistance behaviour of high strength concrete columns*. Cement &Concrete Composites, 26 (2), 141-153.

Kodur, V.R., McGrath, R., Leroux P., Latour, J.C. (2005). *Experimental Studies for Evaluating the Fire Endurance of High-Strength Concrete Columns*. National Research Council Canada. Internal Report N.º 197.

Kodur, V. K. R., Bisby, L. A., Green, M. F. (2006). *Experimental evaluation of the fire behaviour of insulated fibre-reinforced-polymer-strengthened reinforced concrete columns*. Fire Safety J., 41 (7), 547-557.

Kodur, V. K. R., Lie, T. T. (1996). *A Computer Program to Calculate the Fire Resistance of Rectangular Reinforced Concrete Columns*. Proceedings of the Third Canadian Conference on Computing in Civil and Building Engineering, 11-20. Ottawa. Canada.

Korzen, M., Rodrigues, J.P.C., Correia, A.M. (2009). *Thermal restraint effects on the fire resistance of steel and composite steel and concrete columns*. Proceedings of the International Conference "Applications of Structural Fire Engineering", 512-517. Prague. Czech Republic.

L

Law, A.H., Gillie, M. (2008). *Load induced thermal strain: implications for structural behaviour*. Proceedings of the 5th International Conference on Strutures in Fire, 448-496. Singapore.

Law, A.H. (2010a). *The Assessment and Response of Concrete Structures Subject to Fire*. PhD thesis. University of Edinburgh. UK.

Law, A., Gillie, M. (2010b). *Interaction diagrams for ambient and heated concrete sections*. Engineering Structures J., 32 (6), 1641–1649.

Lea, F.C. (1922). *The resistance to fire of concrete and reinforced concrete*. Journal of the Society of Chemical Industry, 395R-396R.

Lennon, T., Moore, D. (2003). *The natural fire safety concept—full-scale tests at Cardington*. Fire Safety J., 38 (7), 623-643.

Li, L., Purkiss. J. (2005). *Stress-strain constitutive equations of concrete material at elevated temperatures.* Fire Safety J., 40 (7), 669-686.

Li, Y.H., Franssen, J.M. (2011). *Residual compressive strength of concrete after a fire*. Structural Fire Engineering J., 2 (1), 29-44.

Lie, T. T., Lin, T. D. (1986). *Influence of Restraint on Fire Performance of Reinforced Concrete Columns*. Fire Safety Science, 1, 291-300.

Lie, T.T., Woolerton, J.L. (1988). *Fire Resistance of Reinforced Concrete Columns - Test Results*. National Research Council Canada, Internal Report N.º 569.

Lie, T.T., Celikkol, B. (1991). *Method to calculate the fire resistance of circular reinforced concrete columns*. ACI Structural Journal, 88 (1), 84–91.

Lie, T. T., Irwin, R. J. (1993). *Method to calculate the fire resistance of reinforced concrete columns with rectangular cross section*. ACI Structural Journal, 90 (1), 52-60.

Lourenço, L., Barros, J., Marques, P., Marques, R. (2008). *Propagação de ondas ultra-sónicas em provetes de betão expostos a temperaturas elevadas*. In Atas do Encontro Nacional de Betão Estrutural 2008, Guimarães, Portugal.

M

Marques, A. M., Correia, J. R., Brito, J. (2013). *Post-fire residual mechanical properties of concrete made with recycled rubber aggregate*. Fire Safety J., 58, 49-57.

Martins, A. M. B., Rodrigues, J. P. C. (2010). *Behaviour of concrete columns subjected to fire*. Proceedings of the 6th International Conference on Strutures in Fire, 181-188. Michigan, United States.

Martins, A. M. B., Rodrigues, J. P. C. (2009). *Fire resistance tests on concrete columns with restrained thermal elongation*. Proceedings of the International Conference "Applications of Structural Fire Engineering", 277-282. Prague. Czech Republic.

Martins, A. M. B., Rodrigues, J. P. C. (2010). Fire resistance of reinforced concrete columns with elastically restrained thermal elongation. Engineering Structures J., 32 (10), 3330–3337.

Meda, A., Gambarova, P.G., Bonomi, M. (2002). *High-performance concrete in fire-exposed reinforced concrete sections*. ACI Structural Journal, 99 (3), 277-287.

Melandinos, A. (2007). *Fire behaviour of reinforced concrete columns in real buildings*. PhD thesis. University of Manchester. Manchester. UK.

Mindeguia, J.C., Pimienta, P., Hager, I., Laborderie, C., Carré, H. (2006). *Experimental study of transient thermal strain and creep of an ordinary concrete at high temperatures*. Proceedings of the 4th International Conference on Strutures in Fire, 697-708. Aveiro. Portugal.

Montoya, J., Meseguer, G., Cabré, M. (2000). *Hormigón Armado*. 14ª Edición. Editorial Gustavo Gili, SA. ISBN: 84-252-1825-x.

Morita, T., Nishida, A., Yarnazaki, N., Schneider, U., Diederichs, U. (2000). *An Experimental Study On Spalling Of High Strength Concrete Elements Under Fire Attack*. Fire Safety Science, 8, 271-278.

Mosley, B., Bungey, J., Hulse, R. (2012). *Reinforced Concrete Design to Eurocode 2*. 7th Edition. Palgrave Macmillan Publisher. ISBN: 9780230302853.

Mostafaei, H., Sultan, M.A., Bénichou, N. (2009). *Performance of Structural Systems in Fire*. Proceedings of the International Conference Applications of Structural Fire Engineering, 604-609. Prague.

Mostafaei, H. (2013). *Hybrid fire testing for assessing performance of structures in fire - Application*. Fire Safety J., 56, 30-38.

Mostafaei, H. (2013). *Hybrid fire testing for assessing performance of structures in fire - Methodology*. Fire Safety J., 58, 170-179.

Myllyrnaki, J., Baroudi, D. (2000). *Simple Method To Predict Fire Resistance Of Composite Columns*. Fire Safety Science, 6, 879-890.

N

Najjar, S.R., Burgess, I.W., (1996). *A non-linear analysis for three-dimensional steel frames in fire conditions*. Engineering Structures J., 18 (1), 77-89.

Netinger, I., Kesegic, I., Guljas, I. (2011). *The effect of high temperatures on the mechanical properties of concrete made with different types of aggregates*. Fire Safety J., 46 (7), 425-430.

Neves, I. C; Tadeu, A. J. B; Rodrigues, J. P. C; Valente, J. C; Silvestre, N. M. (1994). *Influência da Percentagem de Aço na Evolução de Temperaturas em Secções de Betão Armado e Pré-esforçado sujeitas a Incêndio*. Encontro Nacional de Betão Estrutural.

Neves, I. C. ; Rodrigues, J. P. C., Loureiro, A. P. (1996). *Mechanical Properties of Reinforcing and Pre-stressing Steels After Heating*. Journal of Materials in Civil Engineering, 8 (4), 189 - 194.

Neves, I. C., Valente, J. C, Rodrigues, J. P. C. (2002). *Thermal restraint and fire resistance of columns*. Fire Safety J., 37 (8), 753 - 771.

Nota Técnica (2013). *Segurança Contra Incêndio em Edifícios NT – 01, Referência I.I.01*. Ministério da Administração Interna. Autoridade Nacional de Proteção Civil, 2013-12-01.

P

Phan, L. (2004). *Codes and Standards for Fire Safety Design of Concrete Structures in the US*. Fire Design of Concrete Structures: What now? What next?, 25-34.

Pina, C., Pontífice, P. (2008). *Situação dos Eurocódigos Estruturais a nível nacional*. CT 115-ONS/LNEC, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 5 de Dezembro.

Pires, T.A.C. (2013). *Fire Resistance of Composite Columns made of Concrete Filled Circular Hollow Sections and With Restrained Thermal Elongation*. Tese de Doutoramento, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Coimbra. Portugal.

Pires, T.A.C., Rodrigues, J. P. C., Rêgo, J. J. (2013). *Simulação numérica de pilares tubulares em aço preenchidos por concreto sujeitos a incêndio*. In Atas do 2º CILASCI – Congresso Ibero-Latino-Americano sobre Segurança Contra Incêndios, 169-176. Coimbra. Portugal.

Poling, B.E., Prausnitz, J.M., O'Connell, J.P. (2001). *Properties of Gases and Liquids*. 5th Edition. McGraw-Hill.

Portaria (2009). *Regime de credenciação para emissão de pareceres, realização de vistorias e de inspeções das condições de SCIE*. Portaria 64/2009, de 22 de Janeiro. Imprensa Nacional Casa da Moeda. Lisboa. Portugal.

R

Ramalho, M. A. (1994). *Consequências da aplicação do Regulamento de Segurança contra Incêndios em Edifícios de Habitação*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Portugal.

Ramalho, M. A., Gonçalves, M. C. R., Rodrigues, J.P., Laím, L.M.S. (2012). *Resistência ao fogo de pilares em betão armado de secção quadrada e circular. Avaliação experimental e numérica*. In Atas do Encontro Nacional Betão Estrutural - BE2012. Porto. Portugal

Ramalho, M. A., Gonçalves, M. C. R. (2013). *Resistência ao fogo de pilares em betão armado. Consequências da aplicação dos Eurocódigos à prática corrente de dimensionamento em Portugal*. In Atas do 2º CILASCI – Congresso Ibero-Latino-Americano sobre Segurança Contra Incêndios, 323-332. Coimbra. Portugal.

Ramalho, M. A., Gonçalves, M. C. R. (2013a). *Pertinência do contraventamento no dimensionamento ao fogo de pilares em betão armado*. In Atas do 2º CILASCI – Congresso Ibero-Latino-Americano sobre Segurança Contra Incêndios, 333-342. Coimbra. Portugal.

Raut, N., Kodur, V. (2010). *Modeling the Fire Response of Reinforced Concrete Columns Under Biaxial Bending*. Proceedings of the 6th International Conference on Strutures in Fire, 206-215. Michigan. US.

Real, P. J. V. (2003). *Incêndio em Estruturas Metálicas-Cálculo Estrutural*. Eds. ORION, 2003, ISBN: 972-8620-04-7.

Recomendações Técnicas para Habitação Social. (1985). Diário da República 2.ª Série, n.º38, de 14 de Fevereiro. Imprensa Nacional Casa da Moeda. Lisboa. Portugal.

Regulamento de Salubridade das Edificações Urbanas (1903), Decreto-Lei n.º 14 de 1903. Imprensa Nacional Casa da Moeda. Lisboa. Portugal.

Regulamento Geral da Construção Urbana para a cidade de Lisboa (1930). Câmara Municipal de Lisboa. Lisboa. Portugal

Regulamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales (2007). Guia Técnica de Aplicación. Real Dcreto 2267/2004 de 3 de Diciembre. ISBN: 978-84-283-3029-9.

Regulamento Sobre Construção Civil na Parte Referente à Defesa contra Incêndios. (1944), Edital n.º6/44, de 14 de Março. Câmara Municipal do Porto. Porto. Portugal.

RGEU (1951). *Regulamento Geral das Edificações Urbanas*. Decreto-Lei n.º 38382 de 7 de Agosto de 1951. Imprensa Nacional Casa da Moeda. Lisboa. Portugal.

RJ-SCIE (2008). *Regime Jurídico de Segurança contra Incêndios em Edifícios*, Decreto-Lei n.º 220/2008, de 12 de Novembro. Imprensa Nacional Casa da Moeda. Lisboa. Portugal.

RSA (1983). *Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes*, Decreto-Lei n.°235/83 de 31 de Maio. Imprensa Nacional Casa da Moeda. Lisboa. Portugal.

Rodrigues, J.P.C. (2001). *Fire Resistance of Steel Columns with Restrained Thermal Elongation*. Tese de Doutoramento, Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa. Portugal.

Rodrigues, J.P.C; Laim, L. M; Correia, A. J. P. (2010). *Behaviour of fiber reinforced concrete columns in fire*. Composite Structures, 92 (5), 1263 - 1268.

Rodrigues, J.P.C.; Laim, L. M., Gonçalves, M.C. (2012). *Fire resistance of square and circular cross-section concrete columns*. Proceedings of the 7th International Conference on Strutures in Fire, 823-832. Zurich.

RSCIEH (1990). *Regulamento de Segurança Contra Incêndios em Edifícios de Habitação*. Decreto-Lei n.º 64/90 de 21 de Fevereiro. Imprensa Nacional Casa da Moeda. Lisboa. Portugal.

RT-SCIE (2008). *Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios*. Portaria 1532/2008, de 29 de Dezembro. Imprensa Nacional Casa da Moeda. Lisboa. Portugal.

S

Sadaoui, A., Illouli, S., Khennane, A. (2013). *Effect of restraints on the response of RC columns in a parametric fire*. Proceedings of the 8th International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures. University of Castilla La-Mancha. Toledo. Spain

Santos, C. C; Rodrigues, J. P. C; Coelho, A. L. (2010). *Influência do Processo de Arrefecimento e do Carregamento na Resistência Residual à Compressão de Betões Normais após Incêndio*. In Atas do Reabilitar 2010 - Encontro Nacional sobre Conservação e Reabilitação de Estruturas, LNEC. Lisboa. Portugal.

Santos, C. C., Rodrigues, J. P. C. (2013). *Resistência à compressão a altas temperaturas do betão com agregados reciclados de borracha de pneu*. In Atas do 2º CILASCI – Congresso Ibero-Latino-Americano sobre Segurança Contra Incêndios. Coimbra. Portugal.

Schneider, U. (1973). *Loss of strength due to kinetic reactions of normal concretes up to 1000ºC*. PhD. thesis. Technical University. Braunschweig. Germany.

Schneider, U., Schneider, M., Franssen, J.M. (2008). *Consideration of nonlinear creep strain of siliceous concrete on calculation of mechanical strain under transient temperatures as a function of load history*. Proceedings of the 5th International Conference on Structures in Fire, 463-476. Singapore.

Silva, V. P., Costa, C.N. (2006). *Revisão histórica das curvas padronizadas de incêndio*. In Atas do Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projetos na Construção de Edifícios, 13-25. São Paulo. Brasil.

Suhaendi, S. L., Horiguchi, T. (2005). *Fiber-reinforced High-strength Concrete Under Elevated Temperature - Effect of Fibers on Residual Properties*. Fire Safety Science, 8, 271-278.

T

Taerwe, L. (2007). *From Member Design to Global Structural Behaviour*. Proceedings of the Workshop on Fire Design of Concrete Structures. From Materials Modelling to Structural Performance, 253-270. Coimbra. Portugal.

Tan, H.T., Tang, C.Y. (2002). *A simple and rational approach for fire resistance prediction of RC columns*. Proceedings of the 2th International Conference on Strutures in Fire, 53-60. New Zealand.

Tan, K. H., Tang, C. Y. (2004). *Interaction Formula for Reinforced Concrete Columns in Fire Conditions*. ACI Structural Journal, 101 (1), 19-28.

Tan, H.K., Nguyen, T.T. (2012). *Restraint forces induced in reinforced concrete columns subjected to eccentric loads at elevated temperatures*. Proceedings of the 7th International Conference on Strutures in Fire, 599-608. Zurich.

Tao, Z., Han, L. H., Uy, B., Chen, X. (2011). *Post-fire bond between the steel tube and concrete in concrete-filled steel tubular columns*. Journal of Constructional Steel Research, 67 (3), 484-496.

Tao, Z., Yu, Q. (2012). *Residual bond strength in steel reinforced concrete columns after fire exposure*. Fire Safety J., 53, 19-27.

Teixeira, L. P. (2011). *Análise e Verificação da Segurança de Pilares de Betão Armado de Edifícios em Situação de Incêndio*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Portugal.

Terro, M. J. (1998). *Numerical Modelling of the Behaviour of Concrete Structures in Fire*. ACI Structural J., 95 (2), 183-193.

Thelanderson, S. (1974). *Mechanical Behaviour of Heated Concrete Under Torsional Loading at Transient High Temperature Conditions*. Bulletin 46. Lund Institute of Technology. Sweden.

Tondini, N., Vassart, O., Franssen, J.M. (2012). *Development of an interface between CFD and FE software*. Proceedings of the 7th International Conference on Strutures in Fire, 459-468. Zurich.

U

Uesugi, H., Seki, M., Niwa, H., Saito, H. (1997). *Numerical Analysis of Load Bearing Capacity of Concrete-filled Steel Tubular Columns Exposed to the Standard Fire*. Fire Safety Science, 5, 1069-1080.

W

Wang, Y.C. (2002). *Steel and Composite Structures: Behaviour and Design for Fire Safety*. ISBN: 0.203.34625.4. Adobe eReader Format.

Wu, B., Xu, Y. (2009). *Behavior of axially-and-rotationally restrained concrete columns with '+'-shaped cross section and subjected to fire*. Fire Safety J., 44 (2), 212-218.

X

Xavier, H.F.B. (2009). *Analysis of Reinforced Concrete Frames Exposed to Fire Based on Advanced Calculation Methods*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Portugal.

Xavier, H.F., Faria, R., Real, P.V. (2010). *Influence of Thermal Elongation of Beams on the Fire Resistance of RC Frames*. Proceedings of the 6th International Conference on Strutures in Fire, 262-269. Michigan State University. US.

Xu, Y., Wu, B. (2009). *Fire resistance of reinforced concrete columns with L-, T-, and +-shaped cross-sections*. Fire Safety J., 44 (6), 869-880.

Y

Yao, Y., Hai, T.K. (2009). *A theoretical model for RC columns subjected to natural fire*. Proceedings of the International Conference "Applications of Structural Fire Engineering", 307-312. Prague. Czech Republic.

Yang, H., Lin, Y., Hsiao, C., Liu, J.Y. (2009). *Evaluating residual compressive strength of concrete at elevated temperatures using ultrasonic pulse velocity*. Fire Safety J., 44 (1), 121-130.

Yaqub, M., Bailey, C. G. (2011). *Repair of fire damaged circular reinforced concrete columns with FRP composites*. Construction and Building Materials, 25 (1), 359-370.

Yaqub, M., Bailey, C. G., Nedwell, P. (2011). *Axial capacity of post-heated square columns wrapped with FRP composites*. Cement and Concrete Composites, 33, (6), 694-701.

Yin, J., Zha, X., Li L. (2006). *Fire resistance of axially loaded concrete filled steel tube columns*. Journal of Constructional Steel Research, 62 (7), 723-72.

Yu, J.-T., Lu, Z.-D., Xie, Q. (2007). *Nonlinear analysis of SRC columns subjected to fire*. Fire Safety J., 42 (1), 1-10.

Z

Zha, X. X. (2003). *Three dimensional non-linear analysis of reinforced concrete members in fire*. Building and Environment, 38,297-307.

Zhang, H. L., Davie, C. T. (2013). *A numerical investigation of the influence of pore pressures and thermally induced stresses for spalling of concrete exposed to elevated temperatures*. Fire Safety J., 59, 102-110.

ANEXO A3.1

CÁLCULO DO EFETIVO DAS UTILIZAÇÕES-TIPO INSERIDAS NOS EDIFÍCIOS ANALISADOS

A3.1.1. INTRODUÇÃO

De acordo com a definição indicada no Regime Jurídico de Segurança contra Incêndios em Edifícios (RJ-SCIE, 2008), *efetivo* é "o número máximo estimado de pessoas que pode ocupar em simultâneo um dado espaço de um edifício ou recinto" e *efetivo de público* " o número máximo estimado de pessoas que pode ocupar em simultâneo um edifício ou recinto que recebe público, excluindo o número de funcionários e quaisquer outras pessoas afetas ao seu funcionamento".

O efetivo é um parâmetro que pode ser determinado de acordo com o estipulado no Artigo 51.º do "Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios" (RT-SCIE, 2008), constituindo um dos fatores de risco a considerar na definição do escalão de resistência ao fogo das utilizações-tipo indicadas no Quadro A3.1.1.

Ainda de acordo com o RJ-SCIE (2008), os edifícios e recintos podem ser de utilização exclusiva ou de utilização mista, quando integrem uma única ou diversas utilizações-tipo. Para verificar se a um espaço com um determinado tipo de ocupação, integrado num edifício de utilização-tipo diferente, se aplicam as disposições dessa utilização-tipo onde se insere ou se esse espaço deverá ser tratado como uma utilização-tipo diversa, há que observar os limites estipulados, para cada situação, nas alíneas a), b) e c) do parágrafo n.º3 do Artigo 8.º deste regime jurídico.

Assim, aplicam-se aos espaços a seguir referenciados, previstos com diferentes tipos de ocupação e integrados numa dada utilização-tipo, as disposições gerais e as específicas da utilização-tipo onde se inserem, desde que sejam observadas as seguintes condições:

a) Espaços onde se desenvolvam atividades administrativas, de arquivo documental e de armazenamento, necessárias ao funcionamento das entidades que exploram as utilizações-tipo IV a XII, desde que sejam geridos sob a sua responsabilidade, não estejam normalmente acessíveis ao público e cada um desses espaços não possua uma área bruta superior a:

i) 10% da área bruta afeta às utilizações-tipo IV a VII, IX e XI;
ii) 20% da área bruta afeta às utilizações-tipo VIII, X e XII;

b) Espaços de reunião, culto religioso, conferências e palestras, ou onde se possam ministrar ações de formação, desenvolver atividades desportivas ou de lazer e, ainda, os estabelecimentos de restauração e bebidas, desde que esses espaços sejam geridos sob a responsabilidade das entidades exploradoras de utilizações-tipo III a XII e o seu efetivo não seja superior a 200 pessoas, em edifícios, ou a 1000 pessoas, ao ar livre;

c) Espaços comerciais, de bibliotecas, de exposição e oficinas, bem como os postos médicos, de socorros e de enfermagem, desde que sejam geridos sob a responsabilidade das entidades exploradoras de utilizações-tipo III a XII e possuam uma área útil não superior a 200m^2.

Como pode verificar-se no Quadro A3.1.1 constitui fator de risco, nas Utilizações-tipo IV, V e VII, o efetivo em locais de risco D ou E. A classificação dos locais dos edifícios e dos recintos, com exceção dos espaços interiores de cada fogo, e das vias horizontais e verticais de evacuação, de acordo com a natureza do risco, é estabelecida no Artigo 10.º do já citado RJ-SCIE (2008). De acordo com este diploma, devem ser considerados locais de risco D ou E os espaços com as caraterísticas que a seguir se indicam.

Local de risco D:

- Local de um estabelecimento com permanência de pessoas acamadas ou destinado a receber crianças com idade não superior a seis anos ou pessoas limitadas na mobilidade ou nas capacidades de perceção e reação a um alarme;

Local de risco E:

- Local de um estabelecimento destinado a dormida, em que as pessoas não apresentam as limitações indicadas nos locais de risco D.

Quadro A3.1.1 - Utilizações-tipo em que o efetivo é um fator de risco.

Utilização-tipo								
UT III Administrativos	UT IV Escolares	UT V Hospitalares e Lares de idosos	UT VI Espetáculos e Reuniões públicas	UT VII Hoteleiros e Restauração	UT VIII Comerciais e Gares de transporte	UT IX Desportivos e de Lazer	UT X Museus e Galerias de arte	UT XI Bibliotecas e Arquivos
Efetivo	Efetivo	Efetivo	Efetivo	Efetivo	Efetivo	Efetivo	Efetivo	Efetivo
	Efetivo em locais de risco D ou E	Efetivo em locais de risco D ou E		Efetivo em locais de risco D ou E				

Neste Anexo expõe-se o cálculo do efetivo das utilizações-tipo previstas nos projetos dos edifícios analisados no âmbito deste estudo, essencialmente apresentado em quadros, de modo a proporcionar uma fácil leitura.

A3.1.2. CÁLCULO DO EFETIVO

Processo P2 – UT I "Habitacionais"

Ocupação – Pisos (-1,-2,-3) - estacionamento
Piso 0 - comércio
Pisos restantes - habitação

A_u (comércio) = 374,94 m^2 > 200m^2 ⇒ UT VIII "Comerciais"

Estacionamento – UT II "Estacionamentos"

Edifício de utilização mista

Quadro A3.1.2 - Cálculo do efetivo - Processo P2.

Efetivo da utilização-tipo VIII "Comerciais"			
Uso do espaço	*A*	*B*	Efetivo *A* x *B* [pessoas]
	Área do espaço [m^2]	Número de ocupantes por unidade de área [pessoas/m^2]	
Local de venda localizado no piso do plano de referência com área superior a 300 m^2	374,94	0,6	225

Processo P4 - UT I "Habitacionais"

Ocupação – Piso (-2) estacionamento
Pisos (-1,0) comércio
Pisos restantes - habitação

A_u (comércio) = 583,00 m^2 > 200m^2 ⇒ UT VIII "Comerciais"

Estacionamento – UT II "Estacionamentos"

Edifício de utilização mista

Quadro A3.1.3 - Cálculo do efetivo - Processo P4 - UT I "Habitacionais".

Efetivo da utilização-tipo VIII "Comerciais"				
Uso do espaço	*A*	*B*	Efetivo [pessoas]	
	Área do espaço [m^2]	Número de ocupantes por unidade de área [pessoas/m^2]	*A* x *B*	Total
Local de venda localizado um piso abaixo do plano de referência	291,5	0,35	102	248
Local de venda localizado no piso do plano de referência com área inferior a 300 m^2	291,5	0,5	146	

Processo P8 - UT IV "Escolares"

Ocupação – Salas de aula, anfiteatros e auditório

Auditório principal – Efetivo = 498 pessoas > 200 pessoas

⇒ UT VI "Espetáculos e reuniões públicas"

Edifício de utilização mista

A área bruta dos espaços ocupados por cada um dos restantes tipos de ocupação (arquivo documental, secretarias e gabinetes) é inferior a 10% da área bruta afeta à utilização-tipo IV "Escolares" pelo que se aplicam, àqueles espaços, as disposições previstas para esta UT.

Quadro A3.1.4 - Cálculo do efetivo - Processo P8 - UT IV "Escolares".

Efetivo da utilização-tipo IV "Escolares"						
Utilização-tipo	Uso do espaço		*A*	*B*	Efetivo [pessoas]	
			Área do espaço [m^2]	Número de ocupantes por unidade de área [pessoas/m^2]	Parcial	Total
UT IV	Piso 0	Serviços de apoio à UT IV	1046,20	0,10	105 *	7723
		Arquivo documental	734,00	0,03	23 *	
	Piso 1	Número de lugares fixos em auditórios	-	-	2708	
		Gabinetes de escritório	196,00	0,10	20 *	
		Secretarias	252,00	0,20	51 *	
		Gabinetes de escritório	86,80	0,10	9 *	
		Vestiários exclusivos para funcionários	41,60	0,30	13 *	
	Piso 2	Salas de aula	665,60	0,60	400 *	
		Salas de aula	506,00	0,60	304 *	
		Salas de aula	345,30	0,60	208 *	
		Número de lugares fixos em auditórios	-	-	498	
		Gabinetes de escritório	212,80	0,10	22 *	
		Salas de atos académicos	135,00	0,50	68 *	
	Piso 3	Salas de aula	718,70	0,60	432 *	
		Salas de aula	693,40	0,60	416 *	
		Salas de aula	642,60	0,60	386 *	
		Salas de aula	371,20	0,60	223 *	
		Salas de aula	544,20	0,60	327 *	
		Gabinetes de escritório	347,80	0,10	35 *	
	Piso 4	Salas de aula	939,30	0,60	564 *	
		Salas de aula	693,10	0,60	416 *	
		Salas de aula	824,40	0,60	495 *	
(*) Parcial = *A* x *B*						

Processo P10 - UT XI "Bibliotecas e Arquivos"

Ocupação – Biblioteca

Edifício de utilização exclusiva

Quadro A3.1.5 - Cálculo do efetivo - Processo P10 - UT XI “Bibliotecas e Arquivos”.

Efetivo da utilização-tipo XI “Bibliotecas e arquivos”						
Utilização-tipo	Uso do espaço		*A*	*B*	Efetivo [pessoas]	
			Área do espaço [m^2]	Número de ocupantes por unidade de área [pessoas/m^2]	Parcial	Total
UT XI	Piso 0	Bar	67,60	2	136 *	1062
		Gabinetes de escritório	86,70	0,10	9 *	
	Piso 1	Átrio	128,10	0,20	26 *	
		Secretaria	32,00	0,20	7 *	
		Exposições temporárias	94,70	0,35	34 *	
		Serviços técnicos	76,60	0,10	8 *	
		Gabinetes de escritório	56,30	0,10	6 *	
		Sala de reuniões	31,00	3	93 *	
	Pisos 2, 3, 4 e 5	Lugares fixos de leitura	-	-	672	
	Piso 6	Salas de leitura sem lugares fixos	74,40	0,20	15 *	
	Piso 7	Salas para ocupação não especificada	195,4	0,20	40 *	
		Gabinetes reservados (16)	-	-	16	
(*) Parcial = *A* x *B*						

<u>Processo P11</u> - UT I “Habitacionais”

Ocupação – Piso (-2,-1) estacionamento
Pisos 0 comércio
Pisos restantes - habitação

A_u (comércio) = 819,00 m^2 > 200m^2 ⇒ UT VIII “Comerciais”
Estacionamento – UT II “Estacionamentos”

Edifício de utilização mista

Quadro A3.1.6 - Cálculo do efetivo - Processo P11 - UT I “Habitacionais”.

Efetivo da utilização-tipo VIII “Comerciais”				
Utilização-tipo	Uso do espaço	*A*	*B*	Efetivo *A* x *B* [pessoas]
		Área do espaço [m^2]	Número de ocupantes por unidade de área [pessoas/m^2]	
UT VIII	Local de venda localizado no piso do plano de referência com área superior a 300 m^2	819,00	0,6	492

<u>Processo P12</u> - UT IV “Escolares”

Ocupação – Piso 0 – Espaço de reserva para salas de reunião e de estudo
Pisos 1, 2, 3, 4 e 5 - Laboratórios e gabinetes

A_u (laboratórios) = 2129,90 m^2 > 200 m^2 ⇒ UT XII “Industriais, oficinas e armazéns”

Edifício de utilização mista

O edifício foi considerado da utilização-tipo IV "Escolares" pois os laboratórios são utilizados como salas para lecionar aulas práticas.

A área bruta dos espaços ocupados por cada um dos restantes tipos de ocupação (secretarias e gabinetes) é inferior a 10% da área bruta afeta à utilização-tipo IV "Escolares" pelo que se aplicam, àqueles espaços, as disposições previstas para esta UT.

Quadro A3.1.7 - Cálculo do efetivo - Processo P12 - UT IV "Escolares".

Efetivo da utilização-tipo IV "Escolares"						
Utilização-tipo	Uso do espaço		*A*	*B*	Efetivo [pessoas]	
			Área do espaço [m^2]	Número de ocupantes por unidade de área [pessoas/m^2]	Parcial	Total
UT IV	Piso 0	Espaço de reserva para salas de reunião e de estudo	619,00	0,50	310 *	942
		Armazém	207,50	0,03	7 *	
	Piso 1	Laboratórios	732,80	0,20	147 *	
		Gabinetes de escritório	14,30m	0,10	2 *	
		Sala de reuniões	30,50	0,50	16 *	
		Secretaria	42,90	0,20	9 *	
	Piso 2	Laboratórios	333,70	0,20	67 *	
		Gabinetes de escritório	406,70	0,10	41 *	
		Salas de leitura sem lugares fixos	69,00	0,50	35 *	
	Pisos 3 e 4	Laboratórios	366,10	0,20	74 * x 2 = 148	
		Gabinetes de escritório	308,80	0,10	31 * x 2 = 62	
	Piso 5	Laboratórios	331,20	0,20	67 *	
		Gabinetes de escritório	308,80	0,10	31 *	
(*) Parcial = *A* x *B*						

Processo P13 - UT VII "Hoteleiros e restauração"

Ocupação – Restaurante

Quadro A3.1.8 - Cálculo do efetivo - Processo P13 - UT VII "Hoteleiros e restauração".

Efetivo da utilização-tipo				
Utilização-tipo	Uso do espaço	*A*	*B*	Efetivo *A* x *B* [pessoas]
		Área do espaço [m^2]	Número de ocupantes por unidade de área [pessoas/m^2]	
UT VII	Restaurante	805,00	1,00	805

Processo P14 - UT I "Habitacionais"

Ocupação – Pisos (-4,-3,-2) estacionamento
Pisos (-1,0,1) comércio
Pisos restantes - habitação

A_u (comércio) = 502,04 m^2 > 200m^2 ⇒ UT VIII "Comerciais"

Estacionamento – UT II "Estacionamentos"

Edifício de utilização mista

Quadro A3.1.9 - Cálculo do efetivo - Processo P14 - UT I "Habitacionais".

Efetivo da utilização-tipo VIII "Comerciais"				
Utilização-tipo	Uso do espaço	*A* Área do espaço [m^2]	*B* Número de ocupantes por unidade de área [pessoas/m^2]	Efetivo *A* x *B* [pessoas]
UT VIII	Local de venda localizado no piso do plano de referência com área superior a 300 m^2	502,04	0,6	302

Processo P15 - UT X "Museus e galerias de arte"

Ocupação – Oceanário

Quadro A3.1.10 - Cálculo do efetivo - Processo P15 - UT X "Museus e galerias de arte".

Efetivo da utilização-tipo X "Museus e galerias de arte"				
Utilização-tipo	Uso do espaço	*A* Área do espaço [m^2]	*B* Número de ocupantes por unidade de área [pessoas/m^2]	Efetivo *A* x *B* [pessoas]
UT X	Oceanário	1875,00	1,00	1875

Processo P16 – UT VII "Hoteleiros e restauração"

Ocupação – Pisos (-1,-2) - Estacionamento
Piso 0 - Restaurante
Pisos 1,2,3,4,5 – Quartos

Estacionamento – UT II "Estacionamentos"

Edifício de utilização mista

Efetivo em locais de risco E:
Zonas de quartos – 16 quartos duplos/piso x 2 pessoas/quarto x 5 pisos = 160 pessoas
Efetivo em zonas de restauração:
400,25m² x 1,00p/ m² = 401pessoas

Efetivo em locais de risco E = 160 pessoas
Efetivo total = 561 pessoas

Processo P18 - UT VIII "Comerciais e gares de transporte"

Ocupação – Piso (-3) – Manutenção e espaços técnicos
Pisos (-2,-1) - Estacionamento
Pisos 0,1,2,3 – Estacionamento, comércio
Piso 4 – Zona de restauração, salas de cinema

Estacionamento – UT II "Estacionamentos"

Edifício de utilização mista

Quadro A3.1.11 - Cálculo do efetivo - Processo P18 - UT VIII "Comerciais e gares de transporte".

Efetivo considerando cada utilização-tipo						
Utilização-tipo	Uso do espaço		*A*	*B*	Efetivo [pessoas]	
			Área do espaço [m^2]	Número de ocupantes por unidade de área [pessoas/m^2]	Parcial	Total
UT VIII "Comerciais"	Piso 0	Local de venda localizado no piso do plano de referência com área superior a 300 m^2	6930,00	0,60	4158 *	13962
	Piso 1	Local de venda localizado um piso acima do plano de referência	5530,00	0,35	1936 *	
	Pisos 2 e 3	Locais de venda localizados mais de um piso acima do plano de referência	2x5530,00 = 11060	0,20	2212 *	
UT VII "Hoteleiros e restauração"	Piso 4	Zona de restauração	4530,00	1,00	4530 *	
UT VI "Espetáculos"	Piso 4	Salas de cinema	-	-	1126	
(*) Parcial = *A* x *B*						

Processo P20 – UT IV "Escolares"

Ocupação – Piso 0 - Creche

Efetivo em locais de risco D:
Zonas de salas – 216,00 m² x 0,60p/ m² = 130 pessoas

Efetivo em escritórios e secretarias:
63,25 m² x 0,20p/ m² = 13 pessoas

Efetivo em locais de risco D = 130 pessoas
Efetivo total = 143 pessoas

Processo P22 - UT IV "Escolares"

Ocupação – Centro de acolhimento temporário
Pisos 0 e 1 – Quartos e zonas de convívio

Efetivo em locais de risco D:
Zonas de quartos – 24 camas individuais x 1,0p/ cama = 24 pessoas

Efetivo em salas de convívio e refeitórios com possibilidade de ocupação por pessoas não consideradas no efetivo de outros espaços:

285,00 m² x 1,00p/ m² = 285 pessoas

Efetivo em escritórios e secretarias:

26,20 m² x 0,20p/ m² = 6 pessoas

Efetivo em locais de risco D = 24 pessoas
Efetivo total = 315 pessoas

Processo P24 - UT VII "Hoteleiros e restauração"

Ocupação – Piso (-2) - Estacionamento
Piso (-1) – Estacionamento, squash
Pisos 0,1 – Restaurante, salas de reuniões, health-club
Pisos restantes – Quartos e suites

Estacionamento – UT II "Estacionamentos"

Edifício de utilização mista

Quadro A3.1.12 - Cálculo do efetivo - Processo P24 - UT VII "Hoteleiros e restauração".

Efetivo da utilização-tipo VII "Hoteleiros e restauração"							
Utilização-tipo	Uso do espaço		*A*	*B*	Efetivo [pessoas]		
			Área do espaço [m^2]	Número de ocupantes por unidade de área [pessoas/m^2]	Parcial		Total
UT VII	Piso -1	Squash	73,40	0,15	12 *		1518
	Piso 0	Restaurante	208,71	1,00	209 *		
		Salas de reuniões	149,10	1,00	150 *		
		Health club	622,24	0,15	94 *		
	Piso 1	Restaurante e sala de reuniões	206,30	1,00	207 *		
		Health club	298,50	0,15	45 *		
		Zonas comuns	222,50	1,00	223 *		
	Piso 2	Salas de reuniões	196,90	1,00	197 *		
	Piso 3	Bar	129,90	1,00	130 *		
	Locais de risco D	1 quarto para deficientes (3 pessoas/quarto)	-	-	3	251	
	Locais de risco E	112 quartos duplos (2 pessoas/quarto)	-	-	224		
		6 suites (4 pessoas/suite)	-	-	24		
(*) Parcial = *A* x *B*							

Squash e health club – efetivo = 151 pessoas < 200 pessoas ⇒
Aplicam-se as disposições gerais e as específicas da utilização-tipo onde se inserem.

Efetivo em locais de risco D e E = 251 pessoas
Efetivo total = 1518 pessoas

Processo P25 - UT III "Administrativos"

Ocupação – Gabinetes e secretarias

Efetivo em gabinetes e secretarias:
1733,15m² x 0,20p/ m² = 347 pessoas
Efetivo total = 347 pessoas

Processo P26 - UT IV "Escolares"

Ocupação – Laboratórios, gabinetes, salas de reunião e de estudo

O edifício foi considerado da utilização-tipo IV "Escolares" pois os laboratórios são utilizados como salas para lecionar aulas práticas.

A_u (laboratórios) = 1928,70 m^2 > 200 m^2 ⇒ UT XII "Industriais, oficinas e armazéns"

Edifício de utilização mista

Nos espaços onde são previstos outros tipos de ocupação não são ultrapassados os valores apontados no parágrafo n.º 3 do Artigo 8.º do RJ-SCIE (2008) pelo que se aplicam, a esses espaços, as disposições correspondentes à UT IV "Escolares" onde se inserem.

Quadro A3.1.13 - Cálculo do efetivo - Processo P26 - UT IV "Escolares".

Efetivo da utilização-tipo IV "Escolares"						
Utilização-tipo	Uso do espaço		*A*	*B*	Efetivo [pessoas]	
			Área do espaço [m^2]	Número de ocupantes por unidade de área [pessoas/m^2]	Parcial (*AxB*)	Total
UT IV	Piso 1	Laboratórios e oficinas	571,80	0,20	115	609
		Salas de apoio	54,40	0,20	11	
	Piso 2	Laboratórios	363,30	0,20	73	
		Gabinetes de escritório	28,60	0,10	3	
		Biblioteca	37,70	0,20	8	
		Área administrativa	38,00	0,20	8	
		Sala de reuniões	32,30	0,50	17	
		Salas de apoio	41,20	0,20	9	
		Galeria de exposições	81,20	0,35	29	
	Piso 3	Laboratórios	313,90	0,20	63	
		Gabinetes de escritório	98,70	0,10	10	
		Área administrativa	36,70	0,20	8	
		Sala de informática	39,60	0,10	4	
		Museu de jazigos minerais	150,30	0,35	53	
	Piso 4	Laboratórios e oficinas	354,80	0,20	71	
		Gabinetes de escritório	315,90	0,10	32	
	Piso 5	Laboratórios e oficinas	324,90	0,20	65	
		Gabinetes de escritório	298,00	0,10	30	

Processo P28 - UT III "Administrativos"

Ocupação – Centro de cálculo, com espaços de investigação não dedicados ao ensino.

Efetivo no centro de cálculo

952,80m² x 0,20p/ m² = 191 pessoas

Processo P29 - UT IV "Escolares"

Ocupação – Laboratórios, oficinas, museu, arquivos e gabinetes

O edifício foi considerado da utilização-tipo IV "Escolares" pois os laboratórios são utilizados como salas para lecionar aulas práticas.

A_u (laboratórios) =1153,60 m^2 > 200 m^2 ⇒ UT XII "Industriais, oficinas e armazéns"
Edifício de utilização mista

Nos espaços onde são previstos outros tipos de ocupação não são ultrapassados os valores apontados no parágrafo n.º 3 do Artigo 8.º do RJ-SCIE (2008) pelo que se aplicam, a esses espaços, as disposições correspondentes à UT IV "Escolares" onde se inserem.

Quadro A3.1.14 - Cálculo do efetivo - Processo P29 - UT IV "Escolares".

Efetivo da utilização-tipo IV "Escolares"						
Utilização-tipo	Uso do espaço		*A*	*B*	Efetivo [pessoas]	
			Área do espaço [m^2]	Número de ocupantes por unidade de área [pessoas/m^2]	Parcial	Total
UT IV	Piso 1	Laboratórios	930,00	0,20	186 *	781
		Gabinetes de escritório	120,00	0,10	12 *	
		Secretarias	225,60	0,20	46 *	
		Sala de reuniões	60,80	0,50	31 *	
	Piso 2	Laboratórios	243,60	0,20	49 *	
		Gabinetes de escritório	531,60	0,10	54 *	
		Secretaria	13,20	0,20	3 *	
		Sala de reuniões	215,80	0,50	108 *	
		Biblioteca	36,00	0,20	8 *	
		Arquivo	33,60	0,03	1 *	
	Pisos 3 e 4	Área administrativa	102,2	0,20	21 *	107x2 =214
		Gabinetes de escritório	282,00	0,10	29 *	
		Sala de reuniões	84,00	0,50	42 *	
		Salas de apoio	73,40	0,20	15 *	
	Piso 5	Área administrativa	102,20	0,20	21 *	
		Gabinetes de escritório	324,00	0,10	33 *	
		Salas de apoio	73,40	0,20	15 *	
(*) Parcial = *A* x *B*						

Processo P30 - UT IV - Escolares

Ocupação – Laboratórios, oficinas, museu, arquivos e gabinetes

O edifício foi considerado da utilização-tipo IV "Escolares" pois os laboratórios são utilizados como salas para lecionar aulas práticas.

A_u (laboratórios) =2765,10 m^2 > 200 m^2 ⇒ UT XII "Industriais, oficinas e armazéns"
Edifício de utilização mista

A_u (UT IV) =5980,3 m^2
10% X 5980,3 m^2 = 598,0 m^2
A_u (Arquivo documental) = 57,6 m^2 < 598,0 m^2
A_u (Armazéns) = 142,9 m^2 < 598,0 m^2
A_u (Atividades administrativas) = 324,0 m^2 < 598,0 m^2

Foi considerada a comparação de áreas úteis, já que as diferentes ocupações são distribuídas pelos vários pisos e as circulações interiores (escadas, rampas), instalações sanitárias e outros compartimentos de função similar, são comuns e servem todos esses espaços.

Quadro A3.1.15 - Cálculo do efetivo - Processo P30 - UT IV "Escolares".

Efetivo da utilização-tipo IV - Escolares							
Utilização-tipo	Uso do espaço		*A*	*B*	Efetivo [pessoas]		
			Área do espaço [m^2]	Número de ocupantes por unidade de área [pessoas/m^2]	Parcial		Total
UT IV	Piso 0	Laboratórios e oficinas	128,30	0,20	26 *		934
		Museu	231,30	0,35	81 *		
		Arquivo e armazém	200,50	0,03	6 *		
		Economato	59,50	0,50	30 *		
	Piso 1	Laboratórios	913,2	0,20	183 *		
		Gabinetes de escritório	52,80	0,10	6 *		
		Área administrativa e secretaria	128,00	0,20	26 *		
		Sala de reuniões	64,40	0,50	33 *		
	Pisos 2, 3 e 4	Secretarias	72,0	0,20	15 *	181x3 =543	
		Gabinetes de escritório	395,20	0,10	40 *		
		Laboratórios	628,4	0,20	126 *		
(*) Parcial = *A* x *B*							

Processo P31 - UT IV "Escolares"

Ocupação – Laboratórios, oficinas, museu, arquivos e gabinetes

O edifício foi considerado da utilização-tipo IV "Escolares" pois os laboratórios são utilizados como salas para lecionar aulas práticas.

A área bruta ocupada por cada um dos restantes tipos de ocupação (secretarias, arquivos, armazéns e gabinetes) é inferior a 10% da área bruta afeta à utilização-tipo IV "Escolares" aplicando-se, assim, as disposições previstas para esta UT.

A_u (laboratórios) =5388,60 m^2 > 200 m^2 ⇒ UT XII "Industriais, oficinas e armazéns"
Edifício de utilização mista

Quadro A3.1.16 - Cálculo do efetivo - Processo P31 - UT IV "Escolares".

Efetivo da utilização-tipo IV "Escolares"						
Utilização-tipo	Uso do espaço		*A*	*B*	Efetivo [pessoas]	
			Área do espaço [m^2]	Número de ocupantes por unidade de área [pessoas/m^2]	Parcial (*A* x *B*)	Total
UT IV	Piso 0	Laboratórios	2049,00	0,20	410	898
		Armazenamento	54,80	0,03	2	
		Secretarias	35,20	0,20	7	
	Piso 1	Laboratórios e áreas de investigação	1609,90	0,20	322	
		Gabinetes de escritório	182,40	0,10	19	
		Laboratórios de hidráulica e zonas de tanques (excluída a área desta zona)	57,50	0,20	12	
	Pisos 2	Gabinetes de escritório	91,20	0,10	10	
		Laboratórios	265,70	0,20	54	
	Piso 3	Laboratórios	115,30	0,20	24	
		Gabinetes de escritório	121,60	0,10	13	
		Sala de desenho	35,20	0,10	4	
		Arquivo	35,20	0,03	2	
		Sala de reuniões	36,10	0,50	19	

<u>Processo P32</u> - UT IV "Escolares"

Ocupação – Laboratórios, oficinas, museu, arquivos e gabinetes

O edifício foi considerado da utilização-tipo IV "Escolares" pois os laboratórios são utilizados como salas para lecionar aulas práticas.

A_u (laboratórios) = 1540,30 m^2 > 200 m^2 ⇒ UT XII "Industriais, oficinas e armazéns"

Edifício de utilização mista

A área bruta ocupada por cada um dos restantes tipos de ocupação (arquivos, zonas administrativas e gabinetes) é inferior a 10% da área bruta afeta à utilização-tipo IV "Escolares" aplicando-se, assim, as disposições previstas para esta UT.

Quadro A3.1.17 - Cálculo do efetivo - Processo P32 - UT IV "Escolares".

Efetivo da utilização-tipo IV "Escolares"						
Utilização-tipo	Uso do espaço		*A*	*B*	Efetivo [pessoas]	
			Área do espaço [m^2]	Número de ocupantes por unidade de área [pessoas/m^2]	Parcial *A* x *B*	Total
UT IV	Piso 0	Laboratórios	617,40	0,20	124	Ver quadro seguinte
		Gabinetes	20,80	0,10	3	
	Piso 1	Laboratórios	453,50	0,20	91	
		Secretarias	65,60	0,20	14	
		Arquivo	34,80	0,20	1	
		Laboratórios	216,00	0,20	44	

Quadro A3.1.17 - Continuação - Cálculo do efetivo - Processo P32 - UT IV "Escolares".

Efetivo da utilização-tipo IV "Escolares"						
Utilização-tipo	Uso do espaço		*A*	*B*	Efetivo [pessoas]	
			Área do espaço [m^2]	Número de ocupantes por unidade de área [pessoas/m^2]	Parcial *A* x *B*	Total
UT IV	Pisos 2	Gabinetes de escritório	185,20	0,10	19	769
		Laboratórios	216,00	0,20	44	
		Área administrativa	136,80	0,20	28	
		Salas de reuniões	50,5	0,50	26	
		Sala de aula	50,2	0,60	31	
	Piso 3	Secretaria	28,00	0,20	6	
		Gabinetes de escritório	305,00	0,10	31	
		Sala de opções e investigação	154,00	0,50	77	
		Sala de CAD	110,90	0,20	23	
		Sala de reuniões	23,10	0,50	12	
		Arquivo	13,40	0,03	1	
	Piso 4	Gabinetes	276,20	0,10	28	
		Secretaria	28,00	0,20	6	
		Sala de reuniões	37,10	0,50	19	
		Sala de opções e investigação	154,00	0,50	77	
		Sala de CAD	80,20	0,20	16	
		Arquivo	13,40	0,03	1	
	Piso 5	Gabinetes de escritório	288,00	0,10	29	
		Secretaria	37,70	0,20	8	
		Laboratórios	266,60	0,20	54	

<u>Processo P33</u> - UT IV "Escolares"

Ocupação – Laboratórios, oficinas, área administrativa e gabinetes

O edifício foi considerado da utilização-tipo IV "Escolares" pois os laboratórios são utilizados como salas para lecionar aulas práticas.

A_u (laboratórios) = 1774,30 m^2 > 200 m^2 ⇒ UT XII "Industriais, oficinas e armazéns"

Edifício de utilização mista

A área bruta ocupada por cada um dos restantes tipos de ocupação (áreas administrativas e gabinetes) é inferior a 10% da área bruta afeta à utilização-tipo IV "Escolares" aplicando-se, assim, as disposições previstas para esta UT.

Quadro A3.1.18 - Cálculo do efetivo - Processo P33 - UT IV "Escolares".

Efetivo da utilização-tipo IV "Escolares"						
Utilização-tipo	Uso do espaço		*A*	*B*	Efetivo [pessoas]	
			Área do espaço [m^2]	Número de ocupantes por unidade de área [pessoas/m^2]	Parcial *A* x *B*	Total
UT IV	Piso 1	Laboratórios	1656,00	0,20	332	Ver quadro seguinte
		Área administrativa	35,50	0,20	8	
		Sala de aula	31,40	0,60	19	

Quadro A3.1.18 - Continuação - Cálculo do efetivo - Processo P33 - UT IV "Escolares".

Efetivo da utilização-tipo IV "Escolares"						
Utilização-tipo	Uso do espaço		*A*	*B*	Efetivo [pessoas]	
			Área do espaço [m^2]	Número de ocupantes por unidade de área [pessoas/m^2]	Parcial *A* x *B*	Total
UT IV	Piso 2	Área administrativa	33,60	0,20	7	434
		Gabinetes de escritório	229,40	0,10	23	
		Laboratórios	118,30	0,20	24	
	Pisos 3	Gabinetes de escritório	131,00	0,10	14	
		Área administrativa	33,6	0,20	7	

Processo P34 - UT IV "Escolares"

Ocupação – Laboratórios, oficinas, área administrativa e gabinetes

O edifício foi considerado da utilização-tipo IV "Escolares" pois os laboratórios são utilizados como salas para lecionar aulas práticas.

A_u (laboratórios) = 805,20 m^2 > 200 m^2 ⇒ UT XII "Industriais, oficinas e armazéns"

Edifício de utilização mista

A área bruta ocupada por cada um dos restantes tipos de ocupação (áreas administrativas e gabinetes) é inferior a 10% da área bruta afeta à utilização-tipo IV "Escolares" aplicando-se, assim, as disposições previstas para esta UT.

Quadro A3.1.19 - Cálculo do efetivo - Processo P34 - UT IV "Escolares".

Efetivo da utilização-tipo IV "Escolares"						
Utilização-tipo	Uso do espaço		*A*	*B*	Efetivo [pessoas]	
			Área do espaço [m^2]	Número de ocupantes por unidade de área [pessoas/m^2]	Parcial *A* x *B*	Total
UT IV	Piso 0	Laboratórios	318,40	0,20	64	213
	Piso 1	Laboratórios	92,40	0,20	19	
		Gabinetes de escritório	128,00	0,10	13	
	Pisos 2	Gabinetes de escritório	196,00	0,10	20	
		Laboratórios	162,70	0,20	33	
	Piso 3	Laboratórios	231,7	0,20	47	
		Gabinetes de escritório	101,00	0,10	11	
		Área administrativa	27,0	0,20	6	

Processo P35 - UT V "Hospitalares e lares de idosos"

Ocupação – Espaços inerentes ao funcionamento de edifício hospitalar

Edifício principal: Espaços de restauração e bebidas – Efetivo = 1041 pessoas > 200 pessoas
Edifício de utilização mista

Nos espaços onde são previstos outros tipos de ocupação não são ultrapassados os valores apontados no parágrafo n.º 3 do Artigo 8.º do RJ-SCIE (2008) pelo que se aplicam, a esses espaços, as disposições correspondentes à UT V "Hospitalares e lares de idosos" onde se inserem.

Quadro A3.1.20 - Cálculo do efetivo - Processo P35, Edifício principal - UT V "Hospitalares e lares de idosos".

Efetivo da utilização-tipo						
Utilização-tipo	Uso do espaço		*A*	*B*	Efetivo [pessoas]	
			Área do espaço [m^2]	Número de ocupantes por unidade de área [pessoas/m^2]	Parcial	Total
UT V	Piso 1	Medicina física e reabilitação	769,90	0,15	116 *	Ver quadro seguinte
		Secretarias	141,90	0,20	29 *	
		Salas de espera de exames e de Consultas	573,60	1,00	574 *	
		Urgência	1352,00	0,30	406 *	
		Espaços de repouso e recobro de doentes – 14 camas x 3,2	-	-	45	
		Quartos para pessoal médico – 6 camas x 1,0	-	-	6	
		Blocos operatórios	153,40	0,10	16 *	
		Gabinetes	180,2	0,10	19 *	
		Salas de reuniões	68,00	0,50	34 *	
		Zona de restauração e bebidas	41,40	1,00	42 *	
		Arrumos	117,00	0,03	4 *	
	Piso 2	Gabinetes de consulta e bancos de urgência	1146,30	0,30	344 *	
		Salas de espera de exames e de consultas	113,40	1,00	114	
		Enfermarias e zonas de macas – 20 camas x 3,2	-	-	64	
		Quartos para pessoal médico -8 camas x 1,0	-	-	8	
		Salas de reuniões	84,80	0,50	43 *	
		Gabinetes	442,50	0,10	45 *	
		Secretarias	30,70	0,20	7 *	
		Laboratórios de análises	1066,20	0,20	214 *	
		Biblioteca	32,90	0,20	7 *	
		Arquivos e armazéns	722,00	0,03	22 *	
	Piso 3	Gabinetes de consulta	312,10	0,30	94 *	
		Salas de espera de exames e de consultas	600,90	1,00	601 *	
		Enfermarias e quartos para doentes acamados – 15 camas x 3,2	-	-	48	
		Quartos para pessoal médico -4 camas x 1,0	-	-	4	
		Salas de reuniões	162,00	0,50	81 *	
		Gabinetes	696,40	0,10	70 *	
		Secretarias	76,60	0,20	16 *	
		Laboratórios e esterilização	263,00	0,20	53 *	
		Arrumos, arquivos e armazéns	768,40	0,03	24 *	
		Oficinas	394,20	0,03	12 *	
		Blocos operatórios e cuidados especiais	421,10	0,10	43 *	
		Espaços de repouso e recobro de doentes – 8 camas x 3,2	-	-	26	
		Refeitório e bares	704,80	1,00	705 *	
		Cozinha	306,00	0,03	10 *	
	Piso 4	Salas de espera de exames e de consultas	124,6	1,00	125 *	
		Enfermarias – 42 camas x 3,2	-	-	135	
		Salas de reuniões	202,70	0,50	102 *	
		Gabinetes	369,80	0,10	37 *	
		Gabinetes de consulta	441,80	0,30	132 *	
		Enfermarias de crianças – 10 berços x 3,2	-	-	32	
		Secretarias	119,50	0,20	24 *	
		Refeitório	63,30	1,00	64 *	
		Armazéns e arquivos	201,60	0,03	7 *	
		Capela – 38 lugares sentados	-	-	38	
(*) Parcial = *A* x *B*						

Quadro A3.1.20 - Continuação - Cálculo do efetivo - Processo P35
Edifício principal - UT V "Hospitalares e lares de idosos".

Efetivo da utilização-tipo						
Utilização-tipo	Uso do espaço		*A*	*B*	Efetivo [pessoas]	
			Área do espaço [m^2]	Número de ocupantes por unidade de área [pessoas/m^2]	Parcial	Total
UT V	Piso 4	Quartos para pessoal médico e pais de crianças acamadas – 12 camas	-	-	12	6448
		Anfiteatro – 75 lugares sentados	-	-	75	
		Biblioteca	90,90	0,20	19 *	
	Piso 5	Enfermarias e quartos para doentes acamados – 81 camas x 3,2	-	-	260	
		Gabinetes de consulta	60,00	0,30	18 *	
		Gabinetes	155,50	0,10	16 *	
		Salas de reuniões	113,60	0,50	57 *	
		Berçário – 25 berços	-	-	25	
		Armazéns e arrumos	114,30	0,03	4 *	
		Secretaria	16,00	0,20	4 *	
		Salas de espera de exames e de consultas	91,00	1,00	91 *	
		Refeitório	30,00	1,00	30 *	
	Piso 6	Enfermarias - 54 camas x 3,2	-	-	173	
		Armazém	72,70	0,03	3 *	
		Gabinetes de consulta	113,80	0,30	35 *	
		Gabinetes	88,00	0,10	9 *	
		Salas de espera	44,800	1,00	45 *	
		Refeitório	50,00	1,00	50 *	
		Sala de reuniões	24,00	0,50	12 *	
	Pisos 7 e 8	Enfermarias e quartos para doentes acamados – 2x54x3,2	-	-	346	
		Armazéns – 2x101,40	202,80	0,03	7 *	
		Gabinetes de consulta – 2x60,8	121,60	0,30	37 *	
		Gabinetes – 2x106,30	212,60	0,10	22 *	
		Salas de espera – 2x44,80	89,60	1,00	90 *	
		Refeitório – 2x50,00	100,00	1,00	100 *	
		Salas de reuniões – 2x24,00	48,00	0,50	24 *	
	Piso 9	Enfermarias e quartos para doentes acamados – 36 camas x 3,2	-	-	116	
		Armazéns e arrumos	158,60	0,03	5 *	
		Gabinetes	79,40	0,10	8 *	
		Sala de reuniões	35,60	0,50	18 *	
		Refeitório	50,00	1,00	50 *	
		Salas de espera	44,80	1,00	45 *	
(*) Parcial = *A* x *B*						

Nos Pisos 1, 3, 4, 6, 7, 8 e 9 não foi incluído o efetivo nos vestiários, nos termos do estipulado no ponto n.º9 do Artigo 51.º do RT-SCIE (2008), já que estes espaços vão ser ocupados pelas mesmas pessoas consideradas em outros locais, em tempos diferentes.

Efetivo da UT VII "Hoteleiros e restauração" – 1041 pessoas
Efetivo em locais de risco D - 1270 pessoas
Efetivo total – 6448 pessoas

Processo P36 - UT IV "Escolares"

Ocupação – Laboratórios, gabinetes, serviços administrativos

O edifício foi considerado da utilização-tipo IV "Escolares" pois os laboratórios são utilizados como salas para lecionar aulas práticas.

A_u (laboratórios) = 740,30 m^2 > 200 m^2 ⇒ UT XII "Industriais, oficinas e armazéns"
A_b (UT IV) = 1795,0 m²; 10% x 1795,0m^2 = 179,5m^2
A_u (atividades administrativas) = 248,0m^2 > 179,5m^2 ⇒ UT III "Administrativos"

Edifício de utilização mista

Quadro A3.1.21 - Cálculo do efetivo - Processo P36 - UT IV "Escolares".

Efetivo da utilização-tipo IV "Escolares"						
Utilização-tipo	Uso do espaço		*A*	*B*	Efetivo [pessoas]	
			Área do espaço [m^2]	Número de ocupantes por unidade de área [pessoas/m^2]	Parcial *A* x *B*	Total
UT IV	Piso -1	Laboratórios	371,50	0,20	75	287
		Refeitório	36,50	1,00	37	
		Arrumos e arquivos	54,40	0,03	2	
		Entrada	48,60	0,10	5	
	Piso 0	Sala de bolseiros	18,50	0,10	2	
		Laboratórios	368,80	0,20	74	
	Pisos 1	Gabinetes de escritório	294,50	0,10	30	
		Open space (zona administrativa)	248,00	0,20	50	
		Salas de reuniões	23,00	0,50	12	

Processo P37 - UT III "Administrativos"

Ocupação - Serviços administrativos, gabinetes, zonas de exposições
A_u (exposições) = 140,20m² < 200m² ⇒ aplicam-se as disposições gerais e as específicas da UT III
A_u (laboratórios) = 240,20 m^2 > 200 m^2 ⇒ UT XII "Industriais, oficinas e armazéns"
Bar e zona de jogos – efetivo = 373 pessoas > 200 pessoas ⇒ UT VII "Hoteleiros e restauração"

Edifício de utilização mista

Quadro A3.1.22 - Cálculo do efetivo - Processo P37 - UT III "Administrativos".

Efetivo da utilização-tipo III "Administrativos"						
Utilização-tipo	Uso do espaço		*A*	*B*	Efetivo [pessoas]	
			Área do espaço [m^2]	Número de ocupantes por unidade de área [pessoas/m^2]	Parcial *A* x *B*	Total
UT III	Piso -1	Sala polivalente	158,10	3,00	475	Ver quadro seguinte
		Gabinete	21,00	0,10	3	
	Piso 0	Área de exposições	140,20	0,35	50	
		Gabinetes de apoio	27,40	0,10	3	
	Pisos 1	Bar e zona de jogos	186,30	2,00	373	
		Átrio	32,50	0,50	17	

Quadro A3.1.22 - Continuação - Cálculo do efetivo - Processo P37 - UT III "Administrativos".

Efetivo da utilização-tipo III "Administrativos"						
Utilização-tipo	Uso do espaço		*A*	*B*	Efetivo [pessoas]	
			Área do espaço [m^2]	Número de ocupantes por unidade de área [pessoas/m^2]	Parcial *A* x *B*	Total
UT III	Piso 2	Átrio	18,40	0,50	10	1332
		Gabinetes	78,00	0,10	8	
		Open space (computadores e operadores)	158,20	0,20	32	
		Arrumos	4,00	0,03	1	
	Pisos 3 e 7	Átrio	18,40	0,50	10	2x62 =124
		Arrumos	4,00	0,03	1	
		Gabinetes	53,30	0,10	6	
		Open space (computadores e operadores)	158,20	0,20	32	
		Sala de reuniões	24,70	0,50	13	
	Piso 4	Átrio	18,40	0,50	10	
		Gabinetes	53,30	0,10	6	
		Arrumos	4,00	0,03	1	
		Open space (Serviços administrativos)	114,70	0,20	23	
		Open space (Arquivo documental)	43,50	0,03	2	
		Sala de reuniões	24,70	0,50	13	
	Piso 5	Átrio	18,40	0,50	10	
		Arrumos	4,00	0,03	1	
		Gabinetes	117,10	0,10	12	
		Secretaria	39,80	0,20	8	
		Sala de reuniões	79,30	0,50	40	
	Piso 6	Átrio	18,40	0,50	10	
		Arquivo	26,30	0,03	1	
		Gabinetes	36,90	0,10	4	
		Serviços administrativos	177,00	0,20	36	
	Pisos 8	Átrio	18,40	0,50	10	
		Laboratórios	240,20	0,20	49	

<u>Processo P39</u> - UT VIII "Comerciais e gares de transporte"

Ocupação - Pisos (-6 a -3) – Estacionamento, armazéns
Piso -2 – Estacionamento, atividades administrativas e de apoio aos funcionários
Restantes pisos – Zonas comerciais

DL 220/2008 - Art.º 8.º n.º 3:

A_b (UT VIII - Atividades comerciais) = 47884,17 m^2
A_b (Armazéns) = 4522,62 m^2
0,20 x 47884,17 m^2= 9576,83 m^2
4522,62 m^2 < 9576,83 m^2 ⇒ aplicam-se, às zonas de armazéns, as disposições gerais e as específicas da UT VIII

Nos espaços onde são previstos outros tipos de ocupação não são ultrapassados os valores apontados no parágrafo n.º 3 do Artigo 8.º do RJ-SCIE (2008) pelo que se aplicam, a esses espaços, as disposições correspondentes à UT IV "Escolares" onde se inserem.

Estacionamento – UT II "Estacionamentos"

Edifício de utilização mista

Quadro A3.1.23 - Cálculo do efetivo - Processo P39 - UT VIII "Comerciais e gares de transporte".

Efetivo da utilização-tipo VIII "Comerciais e gares de transporte"						
Utilização-tipo	Uso do espaço		*A*	*B*	Efetivo [pessoas]	
			Área do espaço [m^2]	Número de ocupantes por unidade de área [pessoas/m^2]	Parcial *A* x *B*	Total
UT VIII	Piso -6	Armazém	400,00	0,03	12	16028
	Piso -5	Armazém	396,50	0,03	12	
	Piso -4	Armazém	302,85	0,03	10	
	Piso -3	Armazém	390,85	0,03	12	
	Piso -2	Armazém	211,10	0,03	7	
		Vestiários	1363,55	0,30	410	
		Gabinetes médicos	186,25	0,30	56	
		Sala de espera dos gabinetes médicos	24,15	0,20	5	
		Gabinetes da administração	101,41	0,10	11	
		Sala de convívio dos funcionários	235,3	1,00	236	
	Piso -1	Armazém	1610,82	0,03	49	
		Salas arrefecidas para tratamento de alimentos	839,02	0,03	26	
		Supermercado	3130,00	0,35	1096	
		Cafetarias com lugares sentados	4710,60	1,00	4711	
		Zonas comerciais diversas	394,10	0,35	138	
		Zonas de preparação de refeições	390,32	0,20	79	
	Piso 0	Armazém	27,25	0,03	1	
		Zona comercial	4214,29	0,60	2529	
	Piso 1	Armazém	27,77	0,03	1	
		Bar com lugares sentados	131,44	1,00	132	
		Zona comercial	4461,61	0,35	1562	
	Piso 2	Armazém	27,77	0,03	1	
		Bar com lugares sentados	131,44	1,00	132	
		Zona comercial	4461,61	0,20	893	
	Piso 3	Armazém	346,78	0,03	11	
		Zona comercial	4214,29	0,20	843	
	Pisos 4 e 5	Armazém	355,26	0,03	11	2x801
		Zona comercial	3945,27	0,20	790	=1602
	Piso 6	Armazém	70,41	0,03	3	
		Zona comercial	2800,19	0,20	561	
		Restaurante e cafetarias	807,79	1,00	808	
		Zona de preparação de refeições	18,71	0,20	4	
		Sala cultural (anfiteatro) – 46 lugares	-	-	46	
		Gabinetes	282,68	0,10	29	

<u>Processo P41</u> - UT XII "Industriais, oficinas e armazéns"

Ocupação - Armazenamento e acondicionamento de colchões, atividades administrativas

DL 220/2008 - Art.º 8.º n.º 3:

A_b (UT XII - Industriais, oficinas e armazéns) = 1371,12 m^2
A_b (Atividades administrativas) = 740,72 m^2
0,20 x 1371,12 m^2= 274,22 m^2
740,72 m^2 > 274,22 m^2 ⇒ UT III "Administrativos"

Edifício de utilização mista

Quadro A3.1.24 - Cálculo do efetivo para a UT III - Processo P41 - UT XII "Industriais, oficinas e armazéns".

Efetivo da utilização-tipo III "Administrativos"						
Utilização-tipo	Uso do espaço		*A*	*B*	Efetivo [pessoas]	
			Área do espaço [m^2]	Número de ocupantes por unidade de área [pessoas/m^2]	Parcial *A* x *B*	Total
UT III	Piso 0	Refeitório	18,04	1,00	19	94
		Sala de reuniões	18,04	0,50	10	
		Área de exposições	86,74	0,35	31	
	Piso 1	Escritórios	290,76	0,10	30	
		Sala de espera	17,46	0,20	4	

<u>Processo P42</u> - UT XII "Industriais, oficinas e armazéns"

Ocupação – Cartonagem (produção de embalagens em cartão compacto), atividades administrativas

DL 220/2008 - Art.º 8.º n.º 3:

A_b (UT XII - Industriais, oficinas e armazéns) = 4725,78 m^2
A_b (Atividades administrativas) = 1072,39 m^2
0,20 x 4725,78 m^2= 945,16 m^2
1072,39 m^2 > 945,16 m^2 ⇒ UT III "Administrativos"

Edifício de utilização mista

Quadro A3.1.25 - Cálculo do efetivo para a UT III - Processo P42 - UT XII "Industriais, oficinas e armazéns".

Efetivo da utilização-tipo III "Administrativos"						
Utilização-tipo	Uso do espaço		*A*	*B*	Efetivo [pessoas]	
			Área do espaço [m^2]	Número de ocupantes por unidade de área [pessoas/m^2]	Parcial *A* x *B*	Total
UT III	Piso 0	Hall de entrada, receção	92,59	0,20	19	200
		Oficina	13,60	0,03	1	
	Piso 1	Refeitório	82,30	1,00	83	
		Arrumos	42,80	0,03	2	
		Open space (escritórios)	707,10	0,10	71	
		Sala de espera	34,10	0,20	7	
		Gabinete da gerência	21,50	0,10	3	
		Sala de reuniões	27,80	0,50	14	

<u>Processo P43</u> ≈ **<u>Processo P44</u>** - UT III "Administrativos"

Ocupação – Pisos (-1, -2) - estacionamento
Pisos restantes - escritórios em open-space

Estacionamento – UT II "Estacionamentos"

Edifício de utilização mista

Quadro A3.1.26 - Cálculo do efetivo - Processos P43 e P44 - UT III "Administrativos".

Efetivo da utilização-tipo						
Utilização-tipo	Uso do espaço		*A*	*B*	Efetivo [pessoas]	
			Área do espaço [m^2]	Número de ocupantes por unidade de área [pessoas/m^2]	Parcial *A* x *B*	Total
UT III	Piso 0	Sala de gestão do condomínio	111,16 (126,89)	0,50	56 (64)	1581 (1639)
	Pisos 1 a 9	Escritórios em open-space	846,68 x 9 = 7620,12 (874,94 x 9 = 7874,46)	0,20	1525 (1575)	
Nota: Os elementos correspondentes ao processo P44 são apresentados entre parêntesis						

<u>Processo P47</u> - UT IV "Escolares"

Ocupação – Salas de aula, laboratórios, gabinetes, serviços administrativos
A_u (laboratórios) = 588,10 m^2 > 200 m^2 ⇒ UT XII "Industriais, oficinas e armazéns"
A_u (Biblioteca e mediateca) = 265,60 m^2 > 200 m^2 ⇒ UT XI "Bibliotecas e arquivos"

Edifício de utilização mista

Quadro A3.1.27 - Cálculo do efetivo - Processo P47 - UT IV "Escolares".

Efetivo da utilização-tipo IV "Escolares"						
Utilização-tipo	Uso do espaço		*A*	*B*	Efetivo [pessoas]	
			Área do espaço [m^2]	Número de ocupantes por unidade de área [pessoas/m^2]	Parcial *A* x *B*	Total
UT IV	Piso -1	Átrio de entrada	176,00	0,10	18	1692
		Arrumos e arquivos	96,20	0,03	3	
		Refeitório	197,20	1,00	198	
		Zona de preparação de refeições	83,30	0,20	17	
		Salas de convívio	149,70	1,00	150	
		Foyer	159,50	1,00	160	
		Gabinetes	48,60	0,10	5	
		Bibliotecas	174,90	0,20	35	
	Piso 0	Papelaria	27,80	0,20	6	
		Gabinetes	151,70	0,10	16	
		Salas de aula	174,60	0,60	105	
		Laboratórios	126,00	0,20	26	
		Arrumos e arquivos	69,50	0,03	3	
		Mediateca	90,70	0,20	19	
		Secretaria	73,30	0,20	15	
		Salas de reuniões	30,10	0,50	16	
		Sala de convívio dos professores	96,90	1,00	97	
		Átrio	136,40	0,20	28	
		Anfiteatro - 82 lugares fixos	-	-	82	
	Piso 1	Laboratórios	139,50	0,20	28	
		Gabinetes	267,70	0,10	27	
		Salas de reuniões	93,70	0,50	47	
		Arrumos e arquivos	21,90	0,03	1	
		Salas de aula	527,10	0,60	317	
	Piso 2	Laboratórios	322,60	0,20	65	
		Arrumos	21,90	0,03	1	
		Salas de aula	344,00	0,60	207	

Efetivo da UT XI "Bibliotecas" – 54 pessoas

Efetivo total - 1692 pessoas

Processo P48 - UT IX "Desportivos e de lazer"

Ocupação – Pavilhão desportivo

Cálculo do efetivo – Quadro A3.1.28

Quadro A3.1.28 - Cálculo do efetivo - Processo P48 - UT IX "Desportivos e de lazer".

Efetivo da utilização-tipo IX "Desportivos e de lazer"						
Utilização-tipo	Uso do espaço		*A*	*B*	Efetivo [pessoas]	
			Área do espaço [m^2]	Número de ocupantes por unidade de área [pessoas/m^2]	Parcial *A* x *B*	Total
UT IX	Piso 0	Ginásio	1083,90	0,15	163	868
		Balneários e vestiários	227,00	1,00	227	
		Buffet	26,70	1,00	27	
		Gabinete de professores	13,60	0,10	2	
		Arrecadação geral	59,80	0,03	2	
	Piso 1	Galeria pública	148,70	3,00	447	

Processo P49 - UT V "Hospitalares e lares de idosos"

Ocupação – Salas de radioterapia e outros espaços inerentes ao funcionamento de edifício hospitalar

D.L. n.º 220/2008, Art.º 8.º, n.º 3 a):
A_b (UT V) = 6242,76m²
0,10x 6242,76=624,27m²

Atividades administrativas - A_b=506,16m² < 624,27m²
Laboratórios - A_b=597,84m² < 624,27m²
⇒ Edifício de utilização exclusiva

Quadro A3.1.29 - Cálculo do efetivo - Processo P49 - UT V "Hospitalares e lares de idosos".

Efetivo da utilização-tipo V "Hospitalares e lares de idosos"						
Utilização-tipo	Uso do espaço		*A*	*B*	Efetivo [pessoas]	
			Área do espaço [m^2]	Número de ocupantes por unidade de área [pessoas/m^2]	Parcial *A* x *B*	Total
UT V	Piso 0	Arrecadações	121,00	0,03	4	Ver quadro seguinte
		Vestiários	109,40	0,3	33	
		Laboratórios e oficinas de apoio	91,20	0,20	19	
		Gabinetes	691,50	0,10	70	
		Gabinetes de consulta	804,70	0,30	242	
		Salas de espera de exames e de consultas	217,90	1,00	218	
		Salas de reuniões	76,00	0,50	38	
		Secretaria	86,00	0,20	18	
		Receção/átrio/espera	260,00	1,00	260	

Quadro A3.1.29 - Continuação - Cálculo do efetivo - Processo P49 - UT V "Hospitalares e lares de idosos".

Efetivo da utilização-tipo V "Hospitalares e lares de idosos"						
Utilização-tipo	Uso do espaço		*A*	*B*	Efetivo [pessoas]	
			Área do espaço [m^2]	Número de ocupantes por unidade de área [pessoas/m^2]	Parcial *A* x *B*	Total
UT V	Piso 0	Cafetaria	72,00	1,00	72	1478
		Sala de tratamentos	105,90	0,20	22	
		Espera de acamados - 6 lugares reservados a acamados x 3,2	-	-	20	
		Salas de recobro - 34 lugares reservados a acamados x 3,2	-	-	109	
		Salas de radioterapia (ocupação semelhante à das salas de intervenção cirúrgica e de partos)	1120,00	0,10	112	
	Piso 1	Área administrativa	335,80	0,20	68	
		Gabinetes	25,00	0,10	3	
		Armazéns	51,80	0,03	2	
		Laboratórios	407,00	0,20	82	
		Sala e arquivo geral (com ocupação equivalente a sala de escritórios)	429,00	0,20	86	

Efetivo em locais de risco D:

Sala de tratamentos – 22 pessoas
Espera de acamados – 20 pessoas
Salas de recobro – 109 pessoas
Salas de radioterapia – 112 pessoas
Efetivo em locais de risco D = 263 pessoas

<u>Processo P50</u> - UT VI "Espetáculos e reuniões públicas"

Ocupação – Espetáculos, reuniões públicas e serviços de apoio

Quadro A3.1.30 - Cálculo do efetivo - Processo P50 - UT VI "Espetáculos e reuniões públicas".

Efetivo da utilização-tipo VI "Espetáculos e reuniões públicas"						
Utilização-tipo	Uso do espaço		*A*	*B*	Efetivo [pessoas]	
			Área do espaço [m^2]	Número de ocupantes por unidade de área [pessoas/m^2]	Parcial *A* x *B*	Total
UT VI	Piso 0	Fosso de orquestra (situação mais desfavorável para a respetiva área – orquestra sinfónica)	-	-	90	Ver quadro seguinte
		Arrumos e sala técnica	77,76	0,03	3	
		Corredor de circulação interna e de apoio ao funcionamento da sala multifuncional	107,68	0,20	22	
	Piso 1	Foyer *	488,62	-	-	
		Sala multifuncional – situação mais desfavorável – 672 lugares sentados	-	-	672	
		Entrada de artistas e técnicos	18,12	0,30	6	
		Zona de cargas e descargas	93,78	0,03	3	
		Arrumos de apoio	13,60	0,03	1	
		Camarim coletivo	11,49	0,30	4	
	Piso 2	Circulações / acessos internos	107,68	0,20	22	
		Sala técnica	13,16	0,20	3	
	Piso 3	Sala de reuniões	24,68	0,50	13	
		Sala da administração	13,69	0,10	2	

Quadro A3.1.30 - Continuação - Cálculo do efetivo - Processo P50
UT VI "Espetáculos e reuniões públicas".

Efetivo da utilização-tipo VI "Espetáculos e reuniões públicas"						
Utilização-tipo	Uso do espaço		*A*	*B*	Efetivo [pessoas]	
			Área do espaço [m^2]	Número de ocupantes por unidade de área [pessoas/m^2]	Parcial *A* x *B*	Total
UT VI		Sala da direção	26,18	0,10	3	931
	Piso 3	Camarins	43,44	0,30	13	
		Sala técnica	27,59	0,20	6	
		Circulações / acessos internos	107,68	0,20	22	
	Piso 4	Circulações / acessos internos	107,68	0,20	22	
	Piso 5	Varandins técnicos - situação mais desfavorável	232,80	0,10	24	
(*) As pessoas que ocupam o foyer são as que, em tempos distintos, permanecerão na sala multifuncional. Assim, pela aplicação do disposto no n.º9 do Art.º51º do RT-SCIE 2008), considerar-se-á apenas o efetivo calculado para este último espaço.						

<u>Processo P51</u> - UT IV "Escolares"

Ocupação – Academia de música. Salas de aula, auditório

D.L. n.º220/2008, Art.º 8.º, n.º 3 b):
Efetivo do auditório = 378 pessoas > 200 pessoas ⇒ UT VI "Espetáculos e reuniões públicas"

Edifício de utilização mista

Quadro A3.1.31 - Cálculo do efetivo - Processo P51 - UT IV "Escolares".

Efetivo da utilização-tipo						
Utilização-tipo	Uso do espaço		*A*	*B*	Efetivo [pessoas]	
			Área do espaço [m^2]	Número de ocupantes por unidade de área [pessoas/m^2]	Parcial *A* x *B*	Total
UT IV	Piso -1	Salas de aula	146,25	0,60	88	Ver quadro seguinte
		Área técnica	51,50	0,20	11	
		Área técnica (bastidor informático)	9,27	0,20	2	
		Camarins	22,70	0,30	7	
		Circulações	48,28	0,20	10	
		Átrio	29,11	0,35	11	
		Arrumos	14,40	0,03	1	
	Piso 0	Salas de aula	144,50	0,60	87	
		Sala de orquestra (situação mais desfavorável: orquestra de câmara com uma composição de 15 a 45 elementos)	51,70	-	45	
		Auditório (entrada)	29,80	3,00	90	
		Secretarias	42,90	0,20	9	
		Auditório (bancada fixa) – 14 bancadas com lugares sentados não individualizados – 8,39mx2p/m=17 pessoas; 17 pessoasx14 bancadas	-	-	238	
		Auditório (palco) – A situação mais desfavorável para um palco com esta área corresponde à atuação de coro ou orquestra de câmara (45 a 50 pessoas)	38,05	-	50	
		Mediateca	27,45	0,20	6	
		Circulações	69,26	0,20	14	
		Sala multimédia	43,60	x0,20	9	
		Foyer *	-	-	-	

Quadro A3.1.31 - Continuação - Cálculo do efetivo - Processo P51 - UT IV "Escolares".

Efetivo da utilização-tipo						
Utilização-tipo	Uso do espaço		*A*	*B*	Efetivo [pessoas]	
			Área do espaço [m^2]	Número de ocupantes por unidade de área [pessoas/m^2]	Parcial *A* x *B*	Total
UT IV	Piso 1	Gabinete da direção	14,61	0,10	2	703
		Sala de reuniões	14,55	0,50	8	
		Sala de professores	29,65	0,50	15	
(*) As pessoas que ocupam o foyer são as que, em tempos distintos, permanecerão na sala multifuncional. Assim, pela aplicação do disposto no n.º9 do Art.º51º do RT-SCIE (2008), considerar-se-á apenas o efetivo calculado para este último espaço.						

Efetivo da UT VI "Espetáculos" - 378 pessoas

Efetivo total – 703 pessoas

Processo P52 - UT VI "Espetáculos e reuniões públicas"

Ocupação – Espetáculos, reuniões públicas e serviços de apoio

Quadro A3.1.32 - Cálculo do efetivo - Processo P52 - UT VI "Espetáculos e reuniões públicas".

Efetivo da utilização-tipo VI "Espetáculos e reuniões públicas"						
Utilização-tipo	Uso do espaço		*A*	*B*	Efetivo [pessoas]	
			Área do espaço [m^2]	Número de ocupantes por unidade de área [pessoas/m^2]	Parcial *A* x *B*	Total
UT VI	Piso 0	Sala de espetáculos – 194 lugares sentados	-	-	194	431
		Palco – 69,49m^2. A situação mais desfavorável para esta área corresponde à utilização por coro ou orquestra sinfónica, a que corresponde um efetivo de 60 pessoas	-	-	60	
		Fosso de orquestra / tradução simultânea/ ponto – 10,28m^2. A situação mais desfavorável para esta área corresponde à utilização por grupo instrumental a que corresponde um efetivo de 10 pessoas	-	-	10	
		Foyer *	-	-	-	
	Piso 1	Sala de espetáculos – 82 lugares sentados	-	-	82	
		Cafetaria	70,34	1,00	71	
		Circulações / apoio técnico	28,35	0,20	6	
		Gabinete de projeção e de som	36,27	0,20	8	
(*) As pessoas que ocupam o foyer são as que, em tempos distintos, permanecerão na sala multifuncional. Assim, pela aplicação do disposto no n.º9 do Art.º51º do RT-SCIE (2008), considerar-se-á apenas o efetivo calculado para este último espaço.						

Processo P61 ≈ **Processo P62** - UT III "Administrativos"

Ocupação – Pisos (-1, -2) - estacionamento
Pisos restantes - escritórios em open-space

Estacionamento – UT II "Estacionamentos"

Edifício de utilização mista

Quadro A3.1.33 - Cálculo do efetivo - Processos P61 e P62 - UT III “Administrativos”.

Efetivo da utilização-tipo III “Administrativos”						
Utilização-tipo	Uso do espaço		*A*	*B*	Efetivo [pessoas]	
			Área do espaço [m^2]	Número de ocupantes por unidade de área [pessoas/m^2]	Parcial *A* x *B*	Total
UT III	Piso 0	Sala de gestão do condomínio	101,38 (109,46)	0,50	51 (55)	1495 (1536)
	Pisos 1 a 9	Escritórios em open-space	802,20 x 9 = 7219,8 (822,7 x 9 = 7404,3)	0,20	1444 (1481)	
Nota: Os elementos correspondentes ao processo P62 são apresentados entre parêntesis						

.

ANEXO A3.2

CÁLCULO DA DENSIDADE DE CARGA DE INCÊNDIO

A3.2.1. INTRODUÇÃO

O Regime Jurídico de Segurança contra Incêndios em Edifícios (RJ-SCIE, 2008) aponta, sobre o tema objeto deste anexo, as seguintes definições:

Carga de incêndio - a quantidade de calor suscetível de ser libertada pela combustão completa da totalidade de elementos contidos num espaço, incluindo o revestimento das paredes, divisórias, pavimentos e tetos.

Densidade de carga de incêndio - a carga de incêndio por unidade de área útil de um dado espaço ou, para o caso de armazenamento, por unidade de volume.

Densidade de carga de incêndio modificada - a densidade de carga de incêndio afetada de coeficientes referentes ao grau de perigosidade e ao índice da ativação dos combustíveis.

Neste mesmo diploma, são indicados os fatores de risco a considerar na definição da categoria de risco de cada uma das utilizações-tipo. A densidade de carga de incêndio modificada constitui um fator de risco para a UT XI "Bibliotecas e arquivos" e para a UT XII "Industriais, oficinas e armazéns". Os valores limite deste parâmetro, condicionantes na definição de cada uma das quatro categorias de risco, constam no RJ-SCIE (2008), sendo indicados no Quadro IX, para bibliotecas e arquivos e no Quadro X, para utilizações industriais, oficinas e armazéns.

A densidade de carga de incêndio e a densidade de carga de incêndio modificada são determinadas de acordo com o estipulado nos "Critérios técnicos para determinação da densidade de carga de incêndio modificada", Despacho n.º 2074/2009 (Despacho, 2009). Neste documento são indicadas as expressões a considerar na quantificação deste parâmetro, conforme as situações em análise que a seguir se transcrevem.

Para o cálculo da densidade de carga de incêndio de muitos dos laboratórios estudados no desenvolvimento desta dissertação houve que recorrer a literatura especializada para a consulta das

características dos produtos químicos armazenados, nomeadamente a massa, o poder calorífico inferior, o ponto de inflamação e a tensão de vapor a 15ºC. Consultaram-se as publicações de Poling, B.E., *et al*. (2001), de Don, G. e Perry, R.H. (1997) e de Alexander, W.,Shackelford, J. (2000).

Recorreu-se ainda à consulta dos "Critérios técnicos para determinação da densidade de carga de incêndio modificada" (Despacho, 2009), à EN 1991-1-2 (EC1-1-2, 2010) e ao "Regulamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales" (2007), para quantificar alguns dos parâmetros necessários ao cálculo da densidade de carga de incêndio modificada nos edifícios industriais, nas bibliotecas e nas mediatecas dos edifícios escolares, e nos espaços de arquivo e de armazém dos edifícios hospitalares.

A3.2.2. EXPRESSÕES PARA O CÁLCULO DA DENSIDADE DE CARGA DE INCÊNDIO MODIFICADA

Neste trabalho, a densidade de carga de incêndio modificada foi determinada recorrendo às expressões apontadas no Artigo 3.º "Densidade de carga de incêndio modificada de cada compartimento corta-fogo" e Artigo 4.º "Densidade de carga de incêndio modificada da totalidade da utilização-tipo" dos "Critérios técnicos para determinação da densidade de carga de incêndio modificada" (Despacho, 2009). Apresentam-se, a seguir, as expressões para o cálculo deste parâmetro relativo a cada compartimento corta-fogo com uma única atividade, com atividades distintas sem armazenamento e com atividades de armazenamento, e ainda a expressão para o cálculo da densidade de carga de incêndio modificada da totalidade da utilização-tipo.

Densidade de carga de incêndio modificada de cada compartimento corta-fogo

A densidade de carga de incêndio modificada, q_s, em MJ/m^2, de cada compartimento corta-fogo afeto às utilizações-tipo XI e XII, pode ser calculada utilizando a Expressão (A3.2.1), aplicável aos compartimentos corta-fogo com uma única atividade, a Expressão (A3.2.2), aplicável aos compartimentos corta-fogo com atividades distintas desde que não sejam de armazenamento, ou a Expressão (A3.2.3), adequada a atividades de armazenamento.

- Cálculo da densidade de carga de incêndio modificada de cada compartimento corta-fogo com uma única atividade:

$$q_s = \frac{\sum_{i=1}^{N_c} M_i H_i C_i R_{ai}}{S} \text{ [MJ/m}^2\text{]} \qquad \text{(A3.2.1)}$$

Em que:

M_i	massa do constituinte combustível (i), [kg];
H_i	poder calorífico inferior do constituinte combustível (i), [MJ/kg];
C_i	coeficiente adimensional de combustibilidade do constituinte combustível (i);
R_{ai}	coeficiente adimensional de ativação do constituinte combustível (i);
N_c	número de constituintes combustíveis presentes no compartimento;
S	área útil do compartimento corta-fogo, [m^2].

- Cálculo da densidade de carga de incêndio modificada de cada compartimento corta-fogo com diversas atividades, exceto armazenamento:

$$q_s = \frac{\sum_{i=1}^{Na} q_{si} S_i C_i R_{ai}}{\sum_{i=1}^{Na} S_i} [MJ/m^2] \quad (A3.2.2)$$

Em que:

- q_{si} densidade de carga de incêndio relativa ao tipo de atividade (i), [MJ/m^2];
- S_i área afeta à zona de atividade (i), englobando todo o compartimento corta-fogo, [MJ/m^2];
- C_i coeficiente adimensional de combustibilidade do constituinte combustível de maior risco de combustibilidade presente na zona de atividade (i);
- R_{ai} coeficiente adimensional de ativação do constituinte combustível (i);
- N_a número de zonas de atividades distintas, englobando a totalidade do compartimento corta-fogo.

- Cálculo da densidade de carga de incêndio modificada de cada compartimento corta-fogo para atividades de armazenamento:

$$q_s = \frac{\sum_{i=1}^{Nar} q_{vi} h_i S_i C_i R_{ai}}{\sum_{i=1}^{Nar} S_i} [MJ/m^2] \quad (A3.2.3)$$

Em que:

- q_{vi} densidade de carga de incêndio por unidade de volume relativa à zona de armazenamento (i), [MJ/m^3];
- h_i altura de armazenagem da zona de armazenamento (i), [m];
- S_i área afeta à zona de armazenamento (i), englobando todo o compartimento corta-fogo, [m^2];
- C_i coeficiente adimensional de combustibilidade relativo ao constituinte combustível armazenado na zona (i);
- R_{ai} coeficiente adimensional de ativação do constituinte combustível armazenado na zona *i*;
- N_{ar} número de zonas de armazenamento distintas, englobando todo o compartimento corta-fogo.

- <u>Densidade de carga de incêndio modificada da totalidade da utilização-tipo</u>

A densidade de carga de incêndio modificada, q, em MJ/m^2, da totalidade dos compartimentos corta-fogo das utilizações tipo XI e XII, é calculada de acordo com a Expressão (A3.2.4).

$$q = \frac{\sum_{k=1}^{N} q_{sk} S_k}{\sum_{k=1}^{N} S_k} [MJ/m^2] \quad (A3.2.4)$$

Em que:

- q_{sk} densidade de carga de incêndio modificada de cada compartimento corta-fogo (k), [MJ/m^2];
- S_k área útil de cada compartimento corta-fogo (k), considerando toda a utilização-tipo, [m^2];
- N número de compartimentos corta-fogo de toda a utilização-tipo.

O poder calorífico inferior de diversos elementos combustíveis é apresentado no Quadro 1 do Anexo dos "Critérios técnicos para determinação da densidade de carga de incêndio modificada" (Despacho, 2009), a densidade de carga de incêndio e o coeficiente adimensional de ativação, para diversas atividades industriais e de armazenamento, constam no Quadro II deste mesmo Anexo e os valores do coeficiente adimensional de combustibilidade são indicados no Artigo 6.º, para as diferentes tipologias de risco.

A3.2.3. DENSIDADE DE CARGA DE INCÊNDIO DOS EDIFÍCIOS ANALISADOS

A3.2.3.1. Introdução

Apresenta-se, nas páginas seguintes, o cálculo da densidade de carga de incêndio modificada para as utilizações-tipo XI e XII inseridas nos projetos analisados. Para as situações mais complexas, envolvendo um grande número de variáveis, o processo de cálculo é apresentado em quadros.

Nos Quadros A3.2.5, A3.2.7, A3.2.9, A3.2.11, A3.2.13, A3.2.15, A3.2.17, A3.2.19 e A3.2.22, correspondentes aos processos P26, P29, P30, P31, P32, P33, P34 e P36, respetivamente, apresenta-se o cálculo da densidade de carga de incêndio modificada da totalidade de cada uma das utilizações-tipo previstas em cada projeto, existindo atividades distintas, sem armazenamento, em cada compartimento corta-fogo.

Para determinar a densidade de carga de incêndio modificada da totalidade de cada uma das utilizações-tipo, pela aplicação da Expressão (A3.2.4), há que calcular previamente a densidade de carga de incêndio modificada de cada compartimento corta-fogo utilizando a Expressão (A3.2.2), pois existem diversas atividades, sem armazenamento, em cada compartimento.

É de salientar que os projetos correspondentes aos edifícios analisados foram elaborados antes da entrada em vigor do RT-SCIE (2008). Assim, não foi observado o disposto no parágrafo n.º3 do Artigo 14.º deste regulamento, no que concerne à compartimentação corta-fogo, referindo que "utilizações-tipo diferentes, no mesmo edifício, devem constituir compartimentos corta-fogo independentes, contemplando-se as exceções previstas no mesmo regulamento", exceções estas não observadas nos projetos em estudo.

Constata-se, nestes projetos, que cada piso constitui um único compartimento corta-fogo, mesmo quando existem utilizações-tipo diferentes. Nas situações mais frequentes são previstos, no mesmo piso, laboratórios (UT XII) e gabinetes (UT III).

A densidade de carga de incêndio modificada de cada utilização-tipo foi calculada de modo a que os valores obtidos traduzissem a situação que se considerou correspondente à que ocorreria se fosse corretamente prevista a compartimentação corta-fogo e não conduzisse a resultados demasiado conservativos, descabidos do espírito da referida legislação, considerando-se carga de incêndio onde não existe, no compartimento corta-fogo.

Assim, nos processos atrás identificados, determinou-se, em quadros próprios, a carga de incêndio correspondente a cada zona afeta a cada uma das atividades existentes em cada piso. Na coluna (1) dos quadros A3.2.5, A3.2.7, A3.2.9, A3.2.11, A3.2.13, A3.2.15, A3.2.17, A3.2.19 e A3.2.22 apresenta-se o somatório dessas cargas de incêndio em cada piso. Para determinar a densidade de carga de incêndio modificada de cada compartimento corta-fogo, coluna (3) dividiu-se a carga de incêndio indicada na coluna (1) pela área útil do respetivo compartimento corta-fogo, indicando-se os valores destas áreas na coluna (2).

A densidade de carga de incêndio modificada da totalidade da UT XII foi determinada como se indica na coluna (4) dos mesmos quadros, considerando a área do compartimento corta-fogo e não a área da UT pois, como já referido, não é prevista a compartimentação corta-fogo de cada uma das UT previstas em cada piso, sendo a área útil do compartimento corta-fogo maior que a área da UT, em cada piso.

A3.2.3.2. Cálculo da densidade de carga de incêndio

Apresenta-se, neste subcapítulo, o cálculo da densidade de carga de incêndio referente aos processos onde este parâmetro constitui um dos fatores de risco a tomar em consideração para a definição da categoria de risco das correspondentes utilizações-tipo.

São resumidas as caraterísticas de cada um dos edifícios, indicando-se apenas as estritamente necessárias ao desenvolvimento da matéria a tratar neste anexo.

Processo 10 – UT XI – Bibliotecas e Arquivos

Tipo de ocupação - Biblioteca

Em todos os compartimentos corta-fogo, as características dos espaços destinados a arquivo documental são idênticos, pelo que o valor da densidade de carga de incêndio é igual. Assim, conjugando e simplificando as Expressões (A3.2.3) e (A3.2.4), pois N_{ar}=1 e N=1, respetivamente, pode determinar-se diretamente a densidade de carga de incêndio modificada da totalidade da utilização-tipo, considerando os valores indicados no Quadro A3.2.1.

$$q = \frac{2000 \times 2,4 \times 1674,8 \times 1,00 \times 3,0}{2517,6} = 9579,4 [MJ/m2]$$

Quadro A3.2.1 - Cálculo da densidade de carga de incêndio modificada - Processo 10.

q_{vi} Densidade de carga de incêndio [MJ/m^3]	h_i Altura de armazenagem [m]	S_i Área da zona de armazenamento [m^2]	C_i Coeficiente adimensional de combustibilidade	R_{ai} Coeficiente adimensional de ativação	S_k [m^2]	q Densidade de carga de incêndio modificada do compartimento corta-fogo [MJ/m^2]
2000	2.4	1674.8	1.00	3.0	2517.6	9579.4

<u>Processo 12</u> – UT IV – Escolares

Tipo de ocupação - piso 0 – Espaço de reserva para salas de reunião e de estudo
pisos 1, 2, 3, 4 e 5 - gabinetes e laboratórios que funcionam, também, como salas de aula

Portaria 1532/2008, Art.º 106, Quadro XXXV
Volume de líquidos combustíveis (com ponto de inflamação menor que 21ºC)
V = 89,55l> 20l ⇒ Considerar local de armazenamento

D.L. n.º 220/2008, Art.º 8.º, n.º 3:
Laboratórios – A_u = 2129,9m^2> 200 m^2 ⇒ Edifício de utilização mista

Em cada um dos laboratórios deste edifício existem variadíssimos constituintes combustíveis, apresentando-se a sua listagem no Quadro A3.2.2. O objetivo deste quadro é determinar as diferentes parcelas do somatório ($M_iH_iC_i$), em numerador, da Expressão (A3.2.1).

O cálculo da densidade de carga de incêndio modificada da totalidade da utilização-tipo é desenvolvido no Quadro A3.2.3.

Quadro A3.2.2 - Cálculo da carga de incêndio modificada correspondente aos constituintes combustíveis em cada laboratório - Processo 12.

Designação do constituinte combustível	Densidade [g/cm^3]	Volume armazenado [cm^3]	M_i Massa [g]	M_i Massa [Kg]	H_i Poder calorífico inferior [MJ/Kg]	Ponto de inflamação [°C]	Tensão de vapor a 15°C	C_i Coeficiente adimensional de combustibilidade	$M_iH_iC_i$ [MJ]
Acetato de etilo	0,897	18850	16908,5	13,90	50,00	-4		1,60	1112,00
Acetofenona	1,090	150	163,5	0,16	31,40	77	0,6 hPa (25°C)	1,30	6,53
Acetonitrilo	0,782	2500	1955		24,50	6		1,60	0,00
Acetona	0,788	8000	6304	5,12	29,30	-17		1,60	240,03
Ácido acético	1,049	800	839,2		16,70	39		1,30	0,00
Ácido acético glacial 100%	1,050	4000	4200	4,2	16,70	42,3		1,30	91,18
Ácido fórmico	1,221	4500	5494,5		4,76	50		1,30	0,00
Ácido clorídrico 37%	1,180	1100	1298	0,12	4,76	NI		1,00	0,57
Ácido clorosulfónico	1,753	300	525,9	0,53	4,20	NI		1,00	2,23
Ácido diazobenzolsulfónico	1,753	100	175,3	0,18	39,45	149		1,00	7,10
Ácido fluorídrico 48%	0,992	800	793,6	0,8	4,76	NI		1,00	3,81
Ácido nítrico 65%	1,390	3900	5421	1,53	29,30	NI		1,00	44,83
Ácido orto-fosfórico 85%	1,840	2600	4784	2,76	29,30	NI		1,00	80,87
Ácido sulfúrico 95-97%	1,840	5800	10672	7,36	4,76	NI		1,00	35,03

Quadro A3.2.2 - Continuação - Cálculo da carga de incêndio modificada correspondente aos constituintes combustíveis em cada laboratório - Processo 12.

Designação do constituinte combustível	Densidade [g/cm³]	Volume armazenado [cm³]	M_i Massa [g]	M_i Massa [Kg]	H_i Poder calorífico inferior [MJ/Kg]	Ponto de inflamação [°C]	Tensão de vapor a 15°C	C_i Coeficiente adimensional de combustibilidade	$M_iH_iC_i$ [MJ]
Álcool benzílico	1,044	650	678,6	6,79	34,55	104,5		1,00	234,59
Álcool isoamílico puro	0,825	10100	8332,5	8,33	42,00	45,6		1,30	454,95
Álcool isobutílico	0,825	2200	1815	1,82	33,50	27,8		1,60	97,28
Álcool n-amílico	0,825	1850	1526,25	1,53	42,00	11,2		1,60	102,56
Álcool n-propílico	0,825	2050	1691,25	1,69	46,00	11,2		1,60	124,48
Amoníaco slução 25%	0,730	2500	1825	1,83	18,58	/		1,00	33,91
Anidrido acético	0,980	4000	3920	3,92	16,70	132		1,00	65,46
Benzaldeído	1,042	2700	2813,4	2,81	33,50	-63		1,60	150,80
Benzeno(benzol)	0,876	2000	1752	1,75	42,00	-11		1,60	117,73
Benzoato de etilo	1,167	400	466,8	0,47	42,00	88		1,30	25,49
Bromo	3,119	180	561,42	0,56	2,01	48		1,30	1,47
Butanol-1 (álcool n-butílico)	0,810	5000	4050	4,05	46,00	11,2		1,60	298,08
Butanol-ter	0,810	1000	810	0,81	25,02	128,3		1,00	20,27
Butilamina	0,740	1000	740	0,74	40,90	-1,1		1,60	48,43
Butirato de etilo	0,923	200	184,6	0,18	30,67	23,91		1,60	9,06
Cádmio (solução padrão 1000p.p.m.)	6,700	500	3350	3,35		NI		1,00	0,00
Chumbo II (solução padrão 1000p.p.m.)		0	1,999	0,00	12,30	NI		1,00	0,02
Ciclohexano	0,794	1100	873,4	0,87	46,00	20		1,60	64,28
Cinamato de etilo 99%-trans		140	140	0,14				1,00	0,00
Cloreto de ácido adípico	1,250	100	125	0,13	11,2	160		1,00	1,40
Clorofórmio (triclorometano)	1,492	17800	26557,6	26,56	10,88	60		1,30	375,63
Cobre (solução padrão 1000p.p.m.)	4,450	900	4005	4,01		NI		1,00	0,00
Diclorometano (cloreto de metileno)	1,326	7000	9282	9,28	12,30	0	-	1,60	182,67
Dietilenoglicol	1,120	400	448	0,45	22,36	123,9	-	1,00	10,02
Dietanolamina	1,090	500	545	0,55	42,00	134	-	1,00	22,89
Dimetilanilina-n,n	0,942	800	753,6	0,75	42,00	-6,6	-	1,60	50,64
Dodecanol-1 (álcool laurílico)	0,755	1200	906	0,91	41,84	126,7	-	1,00	37,91
Etanol absoluto	0,790	17000	13430	13,43	50,20	12,8	-	1,60	1078,70
Éter de petróleo	1,253	1500	1879,5	1,88	34,72	12,8	-	1,60	104,41
Éter dietílico	0,714	2000	1428	1,43	36,50	-41	-	1,60	83,40
Éter dietílico/Éter de petróleo (recuperado)	1,220	3600	4392	4,39	38,91	-41	-	1,60	273,43
Fenilhidrazina	1,154	100	115,4	0,12	28,40	-	-	1,00	3,28
Ferro (solução padrão 1000p.p.m.)	1,290	500	645	0,65	-	NI	-	1,00	0,00
Fosfatasse alcalina	1,025	0,5	0,5125	0,00	-	-	-	1,00	0,00
Formol 37% (solução de formaldeido a 37%)	1,090	500	545	0,55	-	50	-	1,30	0,00
Hexanol 1	0,700	1000	700	0,70	46,00	-22	17	1,60	51,52
Hexanodiamina 1,6 (hexametilenodiamina)	1,020	400	408	0,41	46,00	29	17	1,60	30,03
Hexano-n 95%	0,814	6500	5291	5,29	46,00	-22	17	1,60	389,42
Hidróxido de tetrabutilamónio	-	25	25	0,03	30,12	37,8	-	1,60	1,20
Hidrogenosulfito de sódio	1,250	950	1187,5	1,19	138,00	NI	-	1,00	163,88
Isobutilmetilcetona	0,802	600	481,2	0,48	45,00	-	-	1,00	21,65

Quadro A3.2.2 - Continuação - Cálculo da carga de incêndio modificada correspondente aos constituintes combustíveis em cada laboratório - Processo 12.

Designação do constituinte combustível	Densidade [g/cm³]	Volume armazenado [cm³]	M_i Massa [g]	M_i Massa [Kg]	H_i Poder calorífico inferior [MJ/Kg]	Ponto de inflamação [°C]	Tensão de vapor a 15°C	C_i Coeficiente adimensional de combustibilidade	$M_iH_iC_i$ [MJ]
Manganês (solução padrão)	4,870	400	1948	1,95	27,82	-	-	1,00	54,19
Magnésio (solução padrão 1000p.p.m.)	1,740	200	348	0,35	25,10	-	-	1,00	8,73
Metanol	0,791	2100	1661,1	1,66	50,20	11	-	1,60	133,42
Metil-4 2-pentanol	0,878	1300	1141,4	1,14	50,20	49	-	1,30	74,49
Metil-2 1-butanol	0,808	50	40,4	0,04	35,98	22,8	-	1,60	2,33
Metilciclohexanol-4	0,805	500	402,5	0,40	43,93	17,8	-	1,60	28,29
Nitrobenzeno	0,884	900	795,6	0,80	24,23	77,28	-	1,30	25,06
Óleo de silicone	-	1000	1000	1,00	44,80	-	-	1,00	44,80
Parafina líquida	0,790	2000	1580	1,58	42,00	108	-	1,00	66,36
Potássio (solução padrão)	2,002	600	1201,2	1,20	4,68	-	-	1,00	5,62
Propanol2	0,896	1000	896	0,90	29,00	-30	-	1,60	41,57
Propionato de etilo	0,805	300	241,5	0,24	28,03	51,7	-	1,30	8,80
Sódio (solução padrão 1000p.p.m.)	0,979	500	489,5	0,49	4,20	-	-	1,00	2,06
Tetracloreto de carbono	1,584	4500	7128	7,13	19,42	NI	-	1,00	138,43
Tolueno	0,866	1000	866	0,87	42,00	4,4	-	1,60	58,20
Trietilamina	0,728	500	364	0,36	39,61	-6,67	-	1,60	23,07
Zinco (solução padrão 1000p.p.m.)	1,010	600	606	0,61	4,20	732,00	-	1,00	2,55

Quadro A3.2.3 - Cálculo da densidade de carga de incêndio modificada - Processo 12.

Em cada laboratório				Número de laboratórios em cada compartimento corta-fogo		$\Sigma(M_iH_iC_iR_{ai})$ Em cada compartimento corta-fogo [MJ]	S Área útil do compartimento corta-fogo [m²]	$q_s = \Sigma(M_iH_iC_iR_{ai})/S$ Densidade de carga de incêndio modificada do compartimento corta-fogo [MJ/m²]	q Densidade de carga de incêndio modificada da totalidade da utilização-tipo [MJ/m²]
$\Sigma(M_iH_iC_i)$ [MJ]	Risco de ativação	R_{ai} Coeficiente adimensional de ativação	$\Sigma(M_iH_iC_iR_{ai})$ [MJ]						
7073,07	Alto	3	21219,21	Piso 1	9	190972,90	820,5	232,75	615357,13 / 3519,6
				Piso 2	3	63657,63	709,3	89,75	
				Piso 3	6	127315,27	674,9	188,64	
				Piso 4	6	127315,27	674,9	188,64	
				Piso 5	5	106096,06	640,0	165,78	
				Σ		615357,13	3519,6		174,84
				Nota: Em todos os laboratórios existem os mesmos produtos armazenados;					

<u>Processo 26</u> – UT IV – Escolares

Tipo de ocupação - Gabinetes, salas de reunião, salas de estudo e laboratórios que funcionam, também, como salas de aula

D.L. n.º 220/2008, Art.º 8.º, n.º 3:
Laboratórios – A_u = 1928,7 m² > 200 m² ⇒ Edifício de utilização mista

O cálculo da densidade de carga de incêndio modificada de cada compartimento corta-fogo determina-se pela aplicação da Expressão (A3.2.2).

O destino dos laboratórios inseridos neste edifício e em cada compartimento corta-fogo é muito diverso, como se constata pela observação do Quadro A3.2.4. Assim, a aplicação direta da Expressão (A3.2.2) conduziria a um cálculo complexo, pelo facto de apresentar muitos termos. Optou-se, então, por determinar as parcelas correspondentes ao somatório dos produtos que constam no numerador da referida expressão ($q_{si}S_iC_iR_{ai}$), como se apresenta no Quadro A3.2.4. O cálculo da densidade de carga de incêndio modificada da totalidade da utilização-tipo em estudo, é desenvolvido no Quadro A3.2.5.

Quadro A3.2.4 - Cálculo da carga de incêndio nos laboratórios, por piso (compartimento corta-fogo)
Processo 26.

Piso	Designação do espaço	q_{si} Densidade de carga de incêndio relativa ao tipo de atividade [MJ/m²]	S_i [m²]	C_i Coeficiente adimensional de combustibilidade		R_{ai} Coeficiente adimensional de ativação		$q_{si}S_iC_iR_{ai}$ [MJ]
				Tipologia de risco	Valor	Risco de ativação	Valor	
1	Laboratório de mecânica das rochas	200	87,40	baixo	1,00	baixo	1,0	17480,0
	Laboratório de ensaios contínuos	200	212,30	baixo	1,00	baixo	1,0	42460,0
	Laboratório de deformação	200	78,10	baixo	1,00	baixo	1,0	15620,0
	Laboratório de extração e fusão de metais	800	114,60	médio	1,30	médio	1,5	178776,0
2	Laboratório de metalografia	200	117,30	baixo	1,00	baixo	1,0	23460,0
	Laboratório de ensaios descontínuos	200	82,40	baixo	1,00	baixo	1,0	16480,0
	Laboratório de ensaios contínuos	200	163,60	baixo	1,00	baixo	1,0	32720,0
3	Laboratório de mineralogia microscópia e análise de imagem	200	40,10	baixo	1,00	baixo	1,0	8020,0
	Laboratório de investigação	200	103,70	baixo	1,00	baixo	1,0	20740,0
	Laboratório de pulverometalurgia e cerâmica	200	82,40	baixo	1,00	baixo	1,0	16480,0
	Laboratório de tratamentos térmicos	200	87,70	baixo	1,00	baixo	1,0	17540,0
4	Laboratório de investigação	200	179,70	baixo	1,00	baixo	1,0	35940,0
	Laboratório de análises clínicas	200	85,9	baixo	1,00	baixo	1,0	17180,0
	Laboratório de corrosão e degradação	200	89,8	baixo	1,00	baixo	1,0	17960,0
5	Laboratório de hidromineralogia	200	87,40	baixo	1,00	baixo	1,0	17480,0
	Laboratório de prospeção	200	88,50	baixo	1,00	baixo	1,0	17700,0
	Laboratório de cálculo automático	400	86,2	médio	1,30	médio	1,5	67236,0
	Laboratório de cartografia e geologia	400	63,8	médio	1,30	médio	1,5	49764,0

Quadro A3.2.5 - Cálculo da densidade de carga de incêndio modificada - Processo 26.

Piso	Carga de incêndio da zona afeta à atividade $\Sigma(q_{si}*S_i*C_i*R_{ai})$ [MJ]	Área útil do compartimento corta-fogo $\sum S_{iCF}$ [m²]	Densidade de carga de incêndio modificada do compartimento corta-fogo $q_{sk}=\Sigma(q_{si}*S_i*C_i*R_{ai}) / \Sigma S_{iCF}$ [MJ/m²]	Densidade de carga de incêndio modificada da totalidade da utilização-tipo $q=\Sigma(q_{sk} \times S_{iCF}) / \sum S_{iCF}$ [MJ/m²]
	(1)	(2)	(3)	(4)
1	254336	626,2	406,2	192,7
2	72660	622,3	116,8	
3	62780	639,2	98,2	
4	71080	670,7	106,0	
5	152180	622,9	244,3	

<u>Processo 29</u> – UT IV – Escolares

Tipo de ocupação - Oficinas, museu, arquivos, gabinetes e laboratórios que funcionam, também, como salas de aula

D.L. n.º 220/2008, Art.º 8.º, n.º 3:
Laboratórios – A_u =1153,6 m² > 200 m² ⇒ Edifício de utilização mista

Este processo é semelhante ao anterior, pelo que será tratado de forma idêntica. Assim, apresentam-se no Quadro A3.2.6, as parcelas correspondentes ao somatório dos produtos que constam no numerador da Expressão (A3.2.2), ($q_{si}S_iC_iR_{ai}$), para cada laboratório. O cálculo da densidade de carga de incêndio modificada da totalidade da utilização-tipo é desenvolvido no Quadro A3.2.7.

Quadro A3.2.6 - Cálculo da carga de incêndio nos laboratórios, por piso (compartimento corta-fogo) Processo 29.

Piso	Designação do espaço	q_{si} Densidade de carga de incêndio relativa ao tipo de atividade [MJ/m²]	S_i [m²]	C_i Coeficiente adimensional de combustibilidade		R_{ai} Coeficiente adimensional de ativação		$q_{si}S_iC_iR_{ai}$ [MJ]
				Tipologia de risco	Valor	Risco de ativação	Valor	
1	Laboratório de ensaios físicos	200	9,40	baixo	1,00	baixo	1,0	1880,0
	Oficina	200	24,00	baixo	1,00	baixo	1,0	4800,0
	Laboratório de ensaios químicos	500	16,00	médio	1,30	médio	1,5	15600,0
	Câmaras higrotérmicas	200	91,20	baixo	1,00	baixo	1,0	18240,0
	Laboratório de higrotermia	200	111,00	baixo	1,00	baixo	1,0	22200,0
	Laboratório de vias de comunicação	200	189,40	baixo	1,00	baixo	1,0	37880,0
	Laboratório de ensaios pesados	200	384,00	baixo	1,00	baixo	1,0	76800,0
	Ensaios de modelos	200	21,00	baixo	1,00	baixo	1,0	4200,0
	Câmaras reverberantes	200	84,00	baixo	1,00	baixo	1,0	16800,0
2	Laboratórios de planeamento do território	400	56,8	médio	1,30	médio	1,5	44304,0
	Laboratório de informações geográficas	400	49,8	médio	1,30	médio	1,5	38844,0
	Laboratório de análise de tráfego	400	117,0	médio	1,30	médio	1,5	91260,0
3,4,5	Gabinetes, áreas administrativas, bibliotecas	-	-	-	-	-	-	-

Quadro A3.2.7 - Cálculo da densidade de carga de incêndio modificada - Processo 29.

Piso	Carga de incêndio da zona afeta à atividade $\Sigma(q_{si}*S_i*C_i*R_{ai})$ [MJ]	Área útil do compartimento corta-fogo $\sum S_{iCF}$ [m²]	Densidade de carga de incêndio modificada do compartimento corta-fogo $q_{sk}=\Sigma(q_{si}*S_i*C_i*R_{ai}) / \Sigma S_{iCF}$ [MJ/m²]	Densidade de carga de incêndio modificada da totalidade da utilização-tipo $q=\Sigma(q_{sk} \times S_{iCF}) / \sum S_{iCF}$ [MJ/m²]
	(1)	(2)	(3)	(4)
1	198400,0	1336,4	148,5	153,5
2	174408,0	1091,8	159,7	

<u>Processo 30</u> – UT IV – Escolares

Tipo de ocupação - Oficinas, museu, arquivos, gabinetes e laboratórios que funcionam, também, como salas de aula

D.L. n.º 220/2008, Art.º 8.º, n.º 3:
Laboratórios – A_u =2765,1 m² > 200 m² ⇒ Edifício de utilização mista

A_u (UT IV) = 4945,2 m²
10% x 4945,2 m² = 494,52 m²

A_u (Arquivo documental) = 57,6 m² < 494,52 m²
A_u (Armazéns) = 142,9 m² < 494,52 m²
⇒ Aplicam-se a estas duas ocupações as disposições gerais e as específicas da utilização-tipo onde se inserem (UT IV).

Este processo é semelhante aos dois anteriores. Apresentam-se, no Quadro A3.2.8, as parcelas correspondentes ao somatório dos produtos que constam no numerador da Expressão (A3.2.2), ($q_{si}S_iC_iR_{ai}$), para cada laboratório. O cálculo da densidade de carga de incêndio modificada da totalidade da utilização-tipo é desenvolvido no Quadro A3.2.9.

Quadro A3.2.8 - Cálculo da carga de incêndio nos laboratórios, por piso (compartimento corta-fogo) Processo 30.

Piso	Designação do espaço	q_{si} Densidade de carga de incêndio relativa ao tipo de atividade [MJ/m²]	S_i [m²]	C_i Coeficiente adimensional de combustibilidade		R_{ai} Coeficiente adimensional de ativação		$q_{si}S_iC_iR_{ai}$ [MJ]
				Tipologia de risco	Valor	Risco de ativação	Valor	
0	Laboratório de reserva	400	57,1	médio	1,30	baixo	1,0	29692,0
	Oficina de eletricidade	600	57,6	médio	1,30	médio	1,5	67392,0
1	Laboratório de eletroquímica	600	210,0	médio	1,30	médio	1,5	245700,0
	Laboratório de eletromagnetismo	400	84,0	médio	1,30	baixo	1,0	43680,0
	Laboratório de física	400	124,6	médio	1,30	baixo	1,0	64792,0
	Laboratório de química aplicada à eletrónica	300	61,0	alto	1,60	alto	3,0	87840,0
	Laboratório de computadores	500	78,0	médio	1,30	baixo	1,0	50700,0

Quadro A3.2.8 - Continuação - Cálculo da carga de incêndio nos laboratórios, por piso (compartimento corta-fogo) - Processo 30.

Piso	Designação do espaço	q_{si} Densidade de carga de incêndio relativa ao tipo de atividade [MJ/m²]	S_i [m²]	C_i Coeficiente adimensional de combustibilidade		R_{ai} Coeficiente adimensional de ativação		$q_{si}S_iC_iR_{ai}$ [MJ]
				Tipologia de risco	Valor	Risco de ativação	Valor	
1	Laboratório de circuitos e sistemas	600	84,0	médio	1,30	médio	1,5	98280,0
	Laboratório de sistemas digitais	500	63,0	médio	1,30	baixo	1,0	40950,0
	Laboratório	400	61,6	médio	1,30	baixo	1,0	32032,0
	Laboratório de instrumentação e medidas	400	63,0	baixo	1,00	baixo	1,0	25200,0
	Laboratório de eletrónica	500	84,0	médio	1,30	baixo	1,0	54600,0
2	Laboratório de controlo de potência	400	150,2	médio	1,30	baixo	1,0	78104,0
	Laboratório de controlo industrial	200	123,0	baixo	1,00	baixo	1,0	24600,0
	Laboratório de eletrónica	500	41,0	médio	1,30	baixo	1,0	26650,0
	Laboratório de informática médica	400	66,2	médio	1,30	baixo	1,0	34424,0
	Laboratório de computadores	500	84,0	médio	1,30	baixo	1,0	54600,0
	Laboratório de micros e VLSI	600	82,0	médio	1,30	médio	1,5	95940,0
	Laboratório de desenvolvimento de hardware	500	41,0	médio	1,30	baixo	1,0	26650,0
	Laboratório de processamento de sinal	400	41,0	médio	1,30	baixo	1,0	21320,0
3	Laboratório de computadores	500	84,0	médio	1,30	baixo	1,0	54600,0
	Laboratório de instrumentação eletrónica	500	82,0	médio	1,30	baixo	1,0	53300,0
	Laboratório de eletrónica	500	41,0	médio	1,30	baixo	1,0	26650,0
	Laboratório de automação e controle	400	41,0	médio	1,30	baixo	1,0	21320,0
	Laboratório de eletroacústica	500	66,2	médio	1,30	baixo	1,0	43030,0
	Laboratório de redes	500	66,2	médio	1,30	baixo	1,0	43030,0
	Laboratório de computadores	500	84,0	médio	1,30	baixo	1,0	54600,0
	Laboratório de robótica	500	82,0	médio	1,30	baixo	1,0	53300,0
	Laboratório de inteligência artificial	500	41,0	médio	1,30	baixo	1,0	26650,0
	Laboratório de processamento de imagem	400	41,0	médio	1,30	baixo	1,0	21320,0
4	Laboratório de controlo de sistemas robóticos	500	42,0	médio	1,30	baixo	1,0	27300,0
	Laboratório de simulação	400	63,0	médio	1,30	baixo	1,0	32760,0
	Laboratório de sistemas	400	123,0	médio	1,30	baixo	1,0	63960,0
	Laboratório de otimização	400	41,0	médio	1,30	baixo	1,0	21320,0
	Laboratório de reserva	400	42,0	médio	1,30	baixo	1,0	21840,0
	Laboratório de radiação e propagação	500	63,0	médio	1,30	baixo	1,0	40950,0
	Laboratório de telecomunicações	400	82,0	médio	1,30	baixo	1,0	42640,0
	Laboratório de propagação guiada	500	41,0	médio	1,30	baixo	1,0	26650,0
	Laboratório de processamento de sinal para transmissão	500	41,0	médio	1,30	baixo	1,0	26650,0

Quadro A3.2.9 - Cálculo da densidade de carga de incêndio modificada - Processo 30.

Piso	Carga de incêndio da zona afeta à atividade $\Sigma(q_{si}*S_i*C_i*R_{ai})$ [MJ]	Área útil do compartimento corta-fogo $\sum S_{iCF}$ [m²]	Densidade de carga de incêndio modificada do compartimento corta-fogo $q_{sk}=\Sigma(q_{si}*S_i*C_i*R_{ai}) / \Sigma S_{iCF}$ [MJ/m²]	Densidade de carga de incêndio modificada da totalidade da utilização-tipo $q=\Sigma(q_{sk} \times S_{iCF}) / \sum S_{iCF}$ [MJ/m²]
	(1)	(2)	(3)	(4)
0	97084,0	619,6	156,7	376,1
1	743774,0	1158,4	642,1	
2	362288,0	1095,6	330,7	
3	397800,0	1095,6	363,1	
4	304070,0	1095,6	277,5	

<u>Processo 31</u> – UT IV – Escolares

Tipo de ocupação - Oficinas, museu, arquivos, gabinetes e laboratórios que funcionam, também, como salas de aula

D.L. n.º 220/2008, Art.º 8.º, n.º 3:
Laboratórios – A_u =5388,6m^2 > 200 m^2 ⇒ Edifício de utilização mista

À semelhança dos anteriores, apresentam-se, no Quadro A3.2.10, as parcelas correspondentes ao somatório dos produtos que constam no numerador da Expressão (A3.2.2), ($q_{si}S_iC_iR_{ai}$), para cada laboratório. O cálculo da densidade de carga de incêndio modificada da totalidade da utilização-tipo é desenvolvido no Quadro A3.2.11.

Quadro A3.2.10 - Cálculo da carga de incêndio nos laboratórios, por piso (compartimento corta-fogo) Processo 31.

Piso	Designação do espaço	q_{si} Densidade de carga de incêndio relativa ao tipo de atividade [MJ/m²]	S_i [m²]	C_i Coeficiente adimensional de combustibilidade		R_{ai} Coeficiente adimensional de ativação		$q_{si}S_iC_iR_{ai}$ [MJ]
				Tipologia de risco	Valor	Risco de ativação	Valor	
0	Sala de calibração	200	22,80	baixo	1,00	baixo	1,0	4560,0
	Laboratórios e área de apoio ao seu funcionamento	200	439,80	baixo	1,00	baixo	1,0	87960,0
	Área climatizada e sistema de automação	400	155,20	baixo	1,00	baixo	1,0	62080,0
	Área de ensaios de materiais de construção	200	657,20	baixo	1,00	baixo	1,0	131440,0
	Secção de estruturas	200	774,00	baixo	1,00	baixo	1,0	154800,0
1	Áreas de investigação (estruturas)	400	197,3	baixo	1,00	médio	1,5	118380,0
	Laboratório de hidráulica e zonas de tanques (50% da área totaç)	200	575,70	baixo	1,00	baixo	1,0	115140,0
	Sala de calibração	200	66,10	baixo	1,00	baixo	1,0	13220,0
	Laboratório de estruturas	200	801,90	baixo	1,00	baixo	1,0	160380,0
	Laboratório de materiais de construção	200	544,60	baixo	1,00	baixo	1,0	108920,0

Quadro A3.2.10 - Continuação - Cálculo da carga de incêndio nos laboratórios, por piso (compartimento corta-fogo) - Processo 31.

Piso	Designação do espaço	q_{si} Densidade de carga de incêndio relativa ao tipo de atividade [MJ/m²]	S_i [m²]	C_i Coeficiente adimensional de combustibilidade		R_{ai} Coeficiente adimensional de ativação		$q_{si}S_iC_iR_{ai}$ [MJ]
				Tipologia de risco	Valor	Risco de ativação	Valor	
2	Laboratório de materiais compósitos	2000	43,70	alto	1,60	alto	3,0	419520,0
	Laboratório de química	500	38,10	alto	1,60	médio	1,5	45720,0
	Salas de cimentos	40	79,4	baixo	1,00	baixo	1,0	3176,0
	Laboratório de ensaios de durabilidade	200	39,7	baixo	1,00	baixo	1,0	7940,0
	Hidráulica - salas de demonstração	200	64,80	baixo	1,00	baixo	1,0	12960,0
3	Laboratório de dinâmica	200	39,10	baixo	1,00	baixo	1,0	7820,0
	Laboratório de estruturas	200	76,20	baixo	1,00	baixo	1,0	15240,0
	Sala de desenho	400	35,2	baixo	1,00	médio	1,5	21120,0

Quadro A3.2.11 - Cálculo da densidade de carga de incêndio modificada - Processo 31.

Piso	Carga de incêndio da zona afeta à atividade $\Sigma(q_{si}*S_i*C_i*R_{ai})$ [MJ]	Área útil do compartimento corta-fogo $\sum S_{iCF}$ [m²]	Densidade de carga de incêndio modificada do compartimento corta-fogo $q_{sk}=\Sigma(q_{si}*S_i*C_i*R_{ai}) / \Sigma S_{iCF}$ [MJ/m²]	Densidade de carga de incêndio modificada da totalidade da utilização-tipo $q=\Sigma(q_{sk} \times S_{iCF}) / \sum S_{iCF}$ [MJ/m²]
	(1)	(2)	(3)	(4)
0	440840,0	2235,0	197,2	281,0
1	516040,0	2368,0	217,9	
2	489316,0	356,9	1371,0	
3	44180,0	343,4	128,7	

<u>Processo 32</u> – UT IV – Escolares

Tipo de ocupação - Oficinas, museu, arquivos, gabinetes e laboratórios que funcionam, também, como salas de aula

D.L. n.º 220/2008, Art.º 8.º, n.º 3:
Laboratórios – A_u =1540,3m^2 > 200 m^2 ⇒ Edifício de utilização mista

Para este processo apresentam-se no Quadro A3.2.12, à semelhança dos anteriores, as parcelas correspondentes ao somatório dos produtos que constam no numerador da Expressão (A3.2.2), ($q_{si}S_iC_iR_{ai}$), para cada laboratório. O cálculo da densidade de carga de incêndio modificada da totalidade da utilização-tipo é desenvolvido no Quadro A3.2.13.

Quadro A3.2.12 - Cálculo da carga de incêndio nos laboratórios, por piso (compartimento corta-fogo) Processo 32.

Piso	Designação do espaço	q_{si} Densidade de carga de incêndio relativa ao tipo de atividade [MJ/m²]	S_i [m²]	C_i Coeficiente adimensional de combustibilidade		R_{ai} Coeficiente adimensional de ativação		$q_{si}S_iC_iR_{ai}$ [MJ]
				Tipologia de risco	Valor	Risco de ativação	Valor	
0	Laboratórios de mecânica	200	161,00	baixo	1,00	baixo	1,0	32200,0
	Laboratório de ótica	400	136,20	baixo	1,00	baixo	1,0	54480,0
	Laboratório de robótica	400	78,20	baixo	1,00	baixo	1,0	31280,0
	Laboratório óleo hidráulico	200	242,00	baixo	1,00	baixo	1,0	48400,0
1	Laboratório de I&D	400	81,20	baixo	1,00	médio	1,5	48720,0
	Laboratório de autómatos industria	400	121,00	baixo	1,00	baixo	1,0	48400,0
	Laboratório de circuitos lógicos	400	39,40	baixo	1,00	baixo	1,0	15760,0
	Laboratório de controlo automático	400	121,00	baixo	1,00	médio	1,5	72600,0
	Laboratório de instrumentação e medida	200	39,40	baixo	1,00	baixo	1,0	7880,0
	Laboratório de eletricidade aplicada	600	51,50	médio	1,30	médio	1,5	60255,0
2	Laboratório de ensaios de materiais e processos tecnológicos	200	159,60	baixo	1,00	baixo	1,0	31920,0
	Laboratório de metalografia	200	43,20	baixo	1,00	baixo	1,0	8640,0
3	Sala de opções de investigação	400	154,00	baixo	1,00	médio	1,5	92400,0
	Sala de CAD	400	110,90	baixo	1,00	médio	1,5	66540,0
4	Sala de opções de investigação	400	154,00	baixo	1,00	médio	1,5	92400,0
	Sala de CAD	400	80,20	baixo	1,00	médio	1,5	48120,0
5	Laboratório de climatização	1000	76,60	médio	1,30	Alto	3,0	298740,0
	Laboratório de refrigeração e permutadores	1000	118,00	médio	1,30	Alto	3,0	460200,0
	Laboratório de térmica solar	200	72,00	baixo	1,00	baixo	1,0	14400,0

Quadro A3.2.13 - Cálculo da densidade de carga de incêndio modificada - Processo 32.

Piso	Carga de incêndio da zona afeta à atividade $\Sigma(q_{si}*S_i*C_i*R_{ai})$ [MJ]	Área útil do compartimento corta-fogo $\sum S_{iCF}$ [m²]	Densidade de carga de incêndio modificada do compartimento corta-fogo $q_{sk}=\Sigma(q_{si}*S_i*C_i*R_{ai}) / \Sigma S_{iCF}$ [MJ/m²]	Densidade de carga de incêndio modificada da totalidade da utilização-tipo $q=\Sigma(q_{sk} \times S_{iCF}) / \sum S_{iCF}$ [MJ/m²]
	(1)	(2)	(3)	(4)
0	166360,00	638,2	260,7	420,5
1	253615,00	553,9	457,9	
2	40560,00	638,7	63,5	
3	158940,00	634,4	250,5	
4	140520,00	588,9	238,6	

Processo 33 – UT IV – Escolares

Tipo de ocupação - Oficinas, área administrativa, gabinetes e laboratórios que funcionam, também, como salas de aula

D.L. n.º 220/2008, Art.º 8.º, n.º 3:
Laboratórios – A_u =1774,3m^2 > 200 m^2 ⇒ Edifício de utilização mista

Apresentam-se no Quadro A3.2.14, à semelhança dos anteriores, as parcelas correspondentes ao somatório dos produtos que constam no numerador da Expressão (A3.2.2), ($q_{si}S_iC_iR_{ai}$), para cada laboratório. O cálculo da densidade de carga de incêndio modificada da totalidade da utilização-tipo é desenvolvido no Quadro A3.2.15.

Quadro A3.2.14 - Cálculo da carga de incêndio nos laboratórios, por piso (compartimento corta-fogo) Processo 33.

Piso	Designação do espaço	q_{si} Densidade de carga de incêndio relativa ao tipo de atividade [MJ/m²]	S_i [m²]	C_i Coeficiente adimensional de combustibilidade		R_{ai} Coeficiente adimensional de ativação		$q_{si}S_iC_iR_{ai}$ [MJ]
				Tipologia de risco	Valor	Risco de ativação	Valor	
1	Laboratórios de fluidos e calor	500	392,10	alto	1,60	médio	1,5	470520,0
	Sala de montagens didáticas	400	16,00	baixo	1,00	médio	1,5	9600,0
	Oficinas didáticas	400	60,00	baixo	1,00	médio	1,5	36000,0
	Oficinas	200	60,00	baixo	1,00	baixo	1,0	12000,0
	Laboratório de tratamentos térmicos	400	146,30	baixo	1,00	médio	1,5	87780,0
	Laboratório de soldadura	800	162,40	médio	1,30	médio	1,5	253344,0
	LET-CEFAD	200	425,60	baixo	1,00	baixo	1,0	85120,0
	Laboratório de tribologia	200	76,10	baixo	1,00	baixo	1,0	15220,0
	Laboratório de deformabilidade	200	65,50	baixo	1,00	baixo	1,0	13100,0
2	Laboratório didático	400	62,60	baixo	1,00	médio	1,5	37560,0
	Sala de CAD	400	55,70	baixo	1,00	médio	1,5	33420,0
3	Área administrativa e gabinetes	-	-	-	-	-	-	-

Quadro A3.2.15 - Cálculo da densidade de carga de incêndio modificada - Processo 33.

Piso	Carga de incêndio da zona afeta à atividade $\Sigma(q_{si}*S_i*C_i*R_{ai})$ [MJ]	Área útil do compartimento corta-fogo $\sum S_{iCF}$ [m²]	Densidade de carga de incêndio modificada do compartimento corta-fogo $q_{sk}=\Sigma(q_{si}*S_i*C_i*R_{ai}) / \Sigma S_{iCF}$ [MJ/m²]	Densidade de carga de incêndio modificada da totalidade da utilização-tipo $q=\Sigma(q_{sk} \times S_{iCF}) / \sum S_{iCF}$ [MJ/m²]
	(1)	(2)	(3)	(4)
1	982684,00	1470,9	668,1	568,9
2	70980,00	381,3	186,2	

<u>Processo 34</u> – UT IV – Escolares

Tipo de ocupação - Oficinas, área administrativa, gabinetes e laboratórios que funcionam, também, como salas de aula

D.L. n.º 220/2008, Art.º 8.º, n.º 3:
Laboratórios – A_u =805,2m^2 > 200 m^2 ⇒ Edifício de utilização mista

Apresentam-se no Quadro A3.2.16, à semelhança dos anteriores, as parcelas correspondentes ao somatório dos produtos que constam no numerador da Expressão (A3.2.2), ($q_{si}S_iC_iR_{ai}$), para cada laboratório. O cálculo da densidade de carga de incêndio modificada da totalidade da utilização-tipo é desenvolvido no Quadro A3.2.17.

Quadro A3.2.16 - Cálculo da carga de incêndio nos laboratórios, por piso (compartimento corta-fogo) Processo 34.

Piso	Designação do espaço	q_{si} Densidade de carga de incêndio relativa ao tipo de atividade [MJ/m²]	S_i [m²]	C_i Coeficiente adimensional de combustibilidade		R_{ai} Coeficiente adimensional de ativação		$q_{si}S_iC_iR_{ai}$ [MJ]
				Tipologia de risco	Valor	Risco de ativação	Valor	
0	Laboratório de máquinas elétricas	400	43,2	médio	1,30	baixo	1,0	22464,0
	Laboratório de física	400	144,0	médio	1,30	baixo	1,0	74880,0
	Laboratório de alta tensão	600	131,2	médio	1,30	médio	1,5	153504,0
1	Laboratório de máquinas elétricas	400	36,1	médio	1,30	baixo	1,0	18772,0
	Laboratório de física	400	32,3	médio	1,30	baixo	1,0	16796,0
	Laboratório de alta tensão	600	24,0	médio	1,30	médio	1,5	28080,0
2	Laboratório de análise de redes	500	162,7	médio	1,30	baixo	1,0	105755,0
3	Laboratório de análise de redes	500	231,7	médio	1,30	baixo	1,0	150605,0

Quadro A3.2.17 - Cálculo da densidade de carga de incêndio modificada - Processo 34.

Piso	Carga de incêndio da zona afeta à atividade $\Sigma(q_{si}*S_i*C_i*R_{ai})$ [MJ]	Área útil do compartimento corta-fogo $\sum S_{iCF}$ [m²]	Densidade de carga de incêndio modificada do compartimento corta-fogo $q_{sk}=\Sigma(q_{si}*S_i*C_i*R_{ai}) / \Sigma S_{iCF}$ [MJ/m²]	Densidade de carga de incêndio modificada da totalidade da utilização-tipo $q=\Sigma(q_{sk} \times S_{iCF}) / \sum S_{iCF}$ [MJ/m²]
	(1)	(2)	(3)	(4)
0	250848,0	318,4	787,8	573,9
1	63648,0	220,4	288,8	
2	256360,0	358,7	714,7	
3	150605,0	359,7	418,7	

<u>Processo 35</u> – UT V – Hospitalares e lares de idosos

Blocos A1 e A2 - UT XII – Industriais, oficinas e armazéns

Tipo de ocupação - Tratamento e armazenamento de roupa suja e limpa

<u>Cálculo da densidade de carga de incêndio modificada</u>

Despacho n.º 2074/2009:

Piso 3:

Tratamento de roupa

$$q_s = \frac{\sum_{i=1}^{Na} q_{si} S_i C_i R_{ai}}{\sum_{i=1}^{Na} S_i} = \frac{200 \text{x} 443,9 \text{x} 1,00 \text{x} 1,0}{443,9} = 200 [MJ/m^2]$$

Piso 4:

Tratamento de roupa

$$q_s = \frac{\sum_{i=1}^{Na} q_{si} S_i C_i R_{ai}}{\sum_{i=1}^{Na} S_i} = \frac{200 \text{x} 370,8 \text{x} 1,00 \text{x} 1,0}{370,8} = 200 [MJ/m^2]$$

Armazenamento de roupa limpa

$$q_s = \frac{\sum_{i=1}^{Na} q_{si} S_i C_i R_{ai}}{\sum_{i=1}^{Na} S_i} = \frac{1000 \text{x} 2,5 \text{x} 156,0 \text{x} 1,00 \text{x} 3,0}{156,0} = 7500 [MJ/m^2]$$

Densidade de carga de incêndio modificada da totalidade desta utilização-tipo:

$$q = \frac{\sum_{k=1}^{N} q_{sk} S_k}{\sum_{k=1}^{N} S_k} = \frac{200 \text{x} 443,9 + 7500 \text{x} 227,0 + 200 \text{x} 395,8}{443,9 + 227,0 + 395,8} = 1753,5 [MJ/m^2]$$

Processo 36 – UT IV – Escolares

Tipo de ocupação - Gabinetes, serviços administrativos e laboratórios que funcionam, também, como salas de aula

D.L. n.º 220/2008, Art.º 8.º, n.º 3:
Laboratórios – A_u =740,3 m² > 200 m² ⇒ Edifício de utilização mista

Apresentam-se no Quadro A3.2.18, como nos processos anteriores, as parcelas correspondentes ao somatório dos produtos que constam no numerador da Expressão (A3.2.2), ($q_{si}S_iC_iR_{ai}$), para cada laboratório. O cálculo da densidade de carga de incêndio modificada da totalidade da utilização-tipo é desenvolvido no Quadro A3.2.19.

Quadro A3.2.18 - Cálculo da carga de incêndio nos laboratórios, por piso (compartimento corta-fogo) Processo 36.

Piso	Designação do espaço	q_{si} Densidade de carga de incêndio relativa ao tipo de atividade [MJ/m²]	S_i [m²]	C_i Coeficiente adimensional de combustibilidade		R_{ai} Coeficiente adimensional de ativação		$q_{si}S_iC_iR_{ai}$ [MJ]
				Tipologia de risco	Valor	Risco de ativação	Valor	
-1	Carpintaria	700	20,90	baixo	1,00	médio	1,5	21945,0
	Silicones	2000	30,00	alto	1,60	alto	3,0	288000,0
	Acabamento de protótipos	400	37,50	baixo	1,00	baixo	1,0	15000,0
	Pintura	500	9,60	alto	1,60	médio	1,5	11520,0
	Laboratório de ceras	1300	26,80	alto	1,60	alto	3,0	167232,0
	Laboratório de ambiente	200	49,70	baixo	1,00	baixo	1,0	9940,0
	Laboratório CEMACOM	500	65,50	baixo	1,00	médio	1,5	49125,0
	Sala de amostras	200	19,80	baixo	1,00	baixo	1,0	3960,0
	Oficina de eólica	200	37,10	baixo	1,00	baixo	1,0	7420,0
0	Laboratório de prototipagem rápida	400	52,70	baixo	1,00	médio	1,5	31620,0
	Laboratórios	400	316,10	baixo	1,00	médio	1,5	189660,0
1	Gabinetes e salas de reunião	-	-	-	-	-	-	-

Quadro A3.2.19 - Cálculo da densidade de carga de incêndio modificada - Processo 36.

Piso	Carga de incêndio da zona afeta à atividade $\Sigma(q_{si}*S_i*C_i*R_{ai})$ [MJ]	Área útil do compartimento corta-fogo $\sum S_{iCF}$ [m²]	Densidade de carga de incêndio modificada do compartimento corta-fogo $q_{sk}=\Sigma(q_{si}*S_i*C_i*R_{ai}) / \Sigma S_{iCF}$ [MJ/m²]	Densidade de carga de incêndio modificada da totalidade da utilização-tipo $q=\Sigma(q_{sk} \times S_{iCF}) / \sum S_{iCF}$ [MJ/m²]
	(1)	(2)	(3)	(4)
-1	574142,0	1470,9	390,3	429,4
0	221280,0	381,3	580,3	

Processo 37 – UT III – Administrativos

Tipo de ocupação - Serviços administrativos, gabinetes, zonas de exposições, laboratório de física

D.L. n.º 220/2008, Art.º 8.º, n.º 3:
Laboratórios – A_u =240,2m² > 200 m2 ⇒ Edifício de utilização mista

Cálculo da densidade de carga de incêndio modificada

Despacho n.º 2074/2009:

$$q_s = \frac{\sum_{i=1}^{Na} q_{si} S_i C_i R_{ai}}{\sum_{i=1}^{Na} S_i} = \frac{200x240,2x1,00x1,0}{240,2} = 200[MJ/m^2]$$

Densidade de carga de incêndio modificada da totalidade desta utilização-tipo:

$$q = \frac{\sum_{k=1}^{N} q_{sk} S_k}{\sum_{k=1}^{N} S_k} = \frac{200x240,2}{2351,0} = 20,43[MJ/m^2]$$

Processo 38 – UT XII – Industriais, oficinas e armazéns

Tipo de ocupação - Laboratórios

A densidade de carga de incêndio modificada da totalidade da utilização-tipo é calculada pela aplicação da Expressão (A3.2.4), depois de determinar a densidade de carga de incêndio modificada de cada compartimento corta-fogo.

No Quadro A3.2.20 apresenta-se o cálculo da densidade de carga de incêndio modificada correspondente a um compartimento de armazenamento de materiais no piso -1, pela aplicação da Expressão (A3.2.1). No Quadro A3.2.21 calcula-se este mesmo parâmetro para os compartimentos onde se encontram instalados os laboratórios, no restante espaço do piso -1 e nos pisos 0 e 1, recorrendo à Expressão (A3.2.2).

A expressão seguinte traduz numericamente o processo seguido, no Quadro A3.2.22, para a determinação da densidade de carga de incêndio modificada da totalidade da utilização-tipo em estudo, e o respetivo resultado.

$$q = \frac{1422,95x126,5+6525,19x15,1+200,0x337,9+462,4x1353,8+3189,98x142,4+1950,0x129,4}{126,5+15,1+337,9+1353,8+142,4+129,4}$$

$$q = 797,44[MJ/m^2]$$

Quadro A3.2.20 - Cálculo da densidade de carga de incêndio modificada no compartimento de armazenamento de materiais no piso (-1) - Processo 38.

Piso	Designação do constituinte combustível	Densidade [g/cm³]	M_i Massa do produto armazenado [Kg]	H_i Poder calorífico inferior [MJ/Kg]	Ponto de inflamação [ºC]	C_i Coeficiente adimensional de combustibilidade	Risco de ativação	R_{ai} Coeficiente adimensional de ativação	MHC_iR_{ai} [MJ]	$\Sigma(M_iH_iC_iR_{ai})$ [MJ]	S_i Área útil do compartimento corta-fogo [m²]	$q_s = \Sigma(M_iH_iC_iR_{ai})/S_i$ Densidade de carga de incêndio modificada do compartimento corta-fogo [MJ/m²]
-1	Polipropileno	—	400,0	42,0	—	1,60	Alto	3	80640,0	180003,0	126,5	1422,9
	Polietileno	—	200,0	42,0	—	1,60	Alto	3	40320,0			
	Aglomerado de cortiça	—	100,0	24,5	—	1,00	Médio	1,5	3675,0			
	Tubos de plástico	—	200,0	42,0	—	1,60	Alto	3	40320,0			
	Fibra de coco	—	250,0	12,5	—	1,60	Alto	3	15048,0			
	Resina	—	400,0	42,0	38,0	1,60	Alto	3	80640,0	98530,4	15,1	6525,2
	Acetona	1,221	39,4	29,3	-17,0	1,60	Alto	3	5541,2			
	Álcool	1,044	20,6	42,0	104,5	1,30	Alto	3	3379,2			
	Peróxidos		50,0	46,0	80,0	1,30	Alto	3	8970,0			

Quadro A3.2.21 - Cálculo da carga de incêndio nos laboratórios, por piso (compartimento corta-fogo) Processo 38.

Piso	Designação do espaço	q_{si} Densidade de carga de incêndio relativa ao tipo de atividade [MJ/m²]	S_i [m²]	C_i Coeficiente adimensional de combustibilidade		R_{ai} Coeficiente adimensional de ativação		$q_{si}S_iC_iR_{ai}$ [MJ]	$\Sigma(q_{si}S_iC_iR_{ai})$ [MJ]	ΣS_i [m²]	$q_s=\Sigma(q_{si}S_iC_iR_{ai}) / \Sigma S_i$ Densidade de carga de incêndio modificada do compartimento corta-fogo [MJ/m²]
				Tipologia de risco	Valor	Risco de ativação	Valor				
-1	Laboratórios de mecânica	200	304,00	Baixo	1,00	Baixo	1,0	60800,0	67580,00	337,90	200,00
	Sala de ferramentas	200	17,90	Baixo	1,00	Baixo	1,0	3580,0			
	Sala de corte	200	16,00	Baixo	1,00	Baixo	1,0	3200,0			
0	Área de stands	200	1027,30	Baixo	1,00	Baixo	1,0	205460,0	625992,00	1353,80	462,40
	Laboratório de ensaios de chapas	800	261,20	Médio	1,30	Médio	1,5	407472,0			
	Laboratório de cerâmicas	200	65,30	Baixo	1,00	Baixo	1,0	13060,0			
1	Laboratório de pilhas e hidrogénio	500	33,10	médio	1,30	médio	1,5	32272,5	454252,50	142,40	3189,98
	Laboratório de fumo e fogo	500	109,30	Médio	1,30	Alto	3,0	213135,0			
	Laboratório de combustão	500	107,10	Médio	1,30	Alto	3,0	208845,0	252330,00	129,4	1950,00
	Sala de apoio ao laboratório de combustão	500	22,3	médio	1,30	Alto	3,0	43485,0			

Quadro A3.2.22 - Cálculo da densidade de carga de incêndio modificada - Processo 38.

Piso	Designação do espaço	S_k Área útil de cada compartimento corta-fogo [m²]	q_s [MJ/m²]	Σ q_s x S_k [MJ]	Σ S_k [m²]	q = Σ(q_{sk} x S_k) / Σ S_k Densidade de carga de incêndio modificada da totalidade da utilização-tipo [MJ/m²]
-1	Laboratórios de mecânica	337,90	200,00	67580	2105,10	797,44
	Sala de ferramentas					
	Sala de corte					
	Armazém 1	126,5	1422,95	180003		
	Armazém 2	15,1	6525,19	98530,41		
0	Área de stands	1353,80	462,40	625992		
	Laboratório de ensaios de chapas					
	Laboratório de cerâmicas					
1	Laboratório de pilhas e hidrogénio	142,40	3189,98	454252,5		
	Laboratório de fumo e fogo					
	Laboratório de combustão	129,40	1950,00	252330		
	Sala de apoio ao laboratório de combustão					

ANEXO A3.3

DEFINIÇÃO DOS ESCALÕES DE RESISTÊNCIA AO FOGO DOS EDIFÍCIOS ESTUDADOS

A3.3.1. INTRODUÇÃO

Neste anexo, essencialmente de apoio ao Capítulo 3, indicam-se os escalões de resistência ao fogo e os fatores de risco que permitiram defini-los, correspondentes às utilizações-tipo inseridas nos edifícios analisados.

No parágrafo n.º1 do Artigo 15.º do "Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios" (RT-SCIE, 2008) é referido que "Consoante o seu tipo, os elementos estruturais de edifícios devem possuir uma resistência ao fogo que garanta as suas funções de suporte de cargas, de isolamento térmico e de estanquidade durante todas as fases de combate ao incêndio, incluindo o rescaldo, ou, em alternativa, devem possuir a resistência ao fogo padrão mínima indicada no Quadro IX deste regulamento". O Quadro A3.3.1 abaixo apresentado corresponde ao citado.

Quadro A3.3.1 - Resistência ao fogo padrão mínima de elementos estruturais de edifícios.

Escalão de resistência ao fogo padrão mínima de elementos estruturais de edifícios					
Utilizações-tipo	Categoria de risco				Função do elemento estrutural
	1.ª	2.ª	3.ª	4.ª	
I, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X	R 30	R 60	R 90	R 120	Apenas suporte
	REI 30	REI 60	REI 90	REI 120	Suporte e compartimentação
II, XI, XII	R 60	R 90	R 120	R 180	Apenas suporte
	REI 60	REI 90	REI 120	REI 180	Suporte e compartimentação

Como se pode constatar pela observação deste quadro, para definir o escalão de resistência ao fogo de cada utilização-tipo, há que determinar previamente a categoria de risco, procedendo nos termos do "Regime Jurídico de Segurança contra Incêndios em Edifícios" (RJ- SCIE, 2008).

Deste diploma cita-se o parágrafo n.º1 do Artigo 12.º - Categorias e fatores de risco: "As utilizações-tipo dos edifícios e recintos em matéria de risco de incêndio podem ser da 1.ª, 2.ª, 3.ª e 4.ª categoria, nos

termos dos quadros I a X do Anexo III e são consideradas respetivamente de risco reduzido, risco moderado, risco elevado e risco muito elevado." No parágrafo n.º2 do mesmo artigo são apontados os fatores de risco a tomar em consideração para cada uma das doze utilizações-tipo previstas. Esses fatores de risco e os respetivos valores são indicados nos quadros que se seguem, para cada uma das utilizações-tipo inseridas nos projetos analisados.

É também indicado, no Artigo 10.º, "que todos os locais dos edifícios e dos recintos, com exceção dos espaços interiores de cada fogo, e das vias horizontais e verticais de evacuação, são classificados, de acordo com a natureza do risco", em seis tipos de locais de risco distintos, classificados de A, F. Para a definição da categoria de risco das utilizações-tipo, só os locais de risco D e E interferem, em termos de efetivo nestes locais.

Nas alíneas d) e e) do parágrafo n.º1 do Artigo 10.º do RJ- SCIE (2008) são indicadas as caraterísticas dos espaços e a natureza do risco de incêndio da sua ocupação para a atribuição da classificação de local de risco D ou E, respetivamente, e nos parágrafos n.º 4 e n.º5 do mesmo artigo são apontados exemplos de ocupações abrangidas por cada uma destas classificações. Transcrevem-se, a seguir, as definições de local de risco D e de local de risco E apontadas neste regime jurídico.

- Local de risco D - local de um estabelecimento com permanência de pessoas acamadas ou destinado a receber crianças com idade não superior a seis anos ou pessoas limitadas na mobilidade ou nas capacidades de perceção e reação a um alarme.

- Local de risco E - local de um estabelecimento destinado a dormida, em que as pessoas não apresentem as limitações indicadas nos locais de risco D.

A3.3.2. ESCALÕES DE RESISTÊNCIA AO FOGO DOS EDIFÍCIOS ANALISADOS

Nos quadros que se seguem são assinalados, a sombreado amarelo, os fatores de risco inerentes a cada utilização-tipo de cada edifício, identificado pelo correspondente número de processo. Estes fatores são definidos de acordo com as caraterísticas de cada projeto, atribuindo-se, depois, a categoria de risco em função dos seus valores, tomando em consideração os quadros que constam no Anexo III do "Regime Jurídico de Segurança contra Incêndios em Edifícios" (RJ- SCIE, 2008).

Para a definição da categoria de risco de cada utilização-tipo e da categoria de risco dos edifícios analisados, nos quadros que se seguem, seguiu-se a metodologia indicada no Artigo 13.º do referido diploma, isto é:

- A categoria de risco de cada uma das utilizações-tipo é a mais baixa que satisfaça integralmente os critérios que lhe correspondem.

- É atribuída a categoria de risco superior a uma dada utilização-tipo, sempre que for excedido um dos valores da classificação na categoria de risco.

- Os edifícios e os recintos de utilização mista são classificados na categoria de risco mais elevada das respetivas utilizações-tipo, independentemente da área ocupada por cada uma dessas utilizações.

Nas situações particulares dos processos P2, P8, P12, P14, P18, P24, P26, P29, P30, P35.1, P36 e P47, referentes a edifícios de utilização mista, o escalão de resistência ao fogo que consta nos Quadros A3.3.2 a A3.3.19 (evidenciado em células pintadas a cinza), para algumas das utilizações-tipo, não corresponde ao indicado no Quadro A3.3.1 para a correspondente categoria de risco. A metodologia adotada para a definição desses escalões foi descrita no Subcapítulo 3.2.2 do Capítulo 3.

Nos Quadros A3.3.2 a A3.3.25, os escalões de resistência ao fogo dos edifícios de utilização mista foram definidos para as duas situações distintas apontadas no Subcapítulo 3.4.1 do Capítulo 3, isto é, correspondentes às diferentes interpretações do parágrafo n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE (2008), "Não considerando a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE" e "Considerando a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE".

Quadro A3.3.2 - Definição do escalão de resistência ao fogo.
Ocupação principal - UT I – Habitacionais
Outras ocupações - UT II – Estacionamentos e UT VIII – Comerciais e gares de transporte.

Ocupação principal – UT I - Habitacionais																					
Identificação do processo	UT I - Habitacionais				UT II - Estacionamentos					UT VIII – Comerciais e gares de transporte					Não considerando a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE			Considerando a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE		
	Fatores de risco				Fatores de risco					Fatores de risco										
	Altura da UT I [m]	Nº de pisos ocupados pela UT I abaixo do plano de referência	Categoria de risco	R	Altura da UT II [m]	Área bruta ocupada pela UT II [m²]	Nº de pisos ocupados pela UT II abaixo do plano de referência	Categoria de risco	R	Altura da UT VIII [m]	Nº de pisos ocupados pela UT VIII abaixo do plano de referência	Efetivo da UT VIII	Categoria de risco	R	UT	CR	R	UT	CR	R
Processo 1	≤9	≤1	1.ª	R30	≤9	≤3200	≤1	1.ª	R60						UT I	2.ª	R60	UT I	2.ª	R60
	≤28	≤3	2.ª	R60	≤28	≤9600	≤3	2.ª	R90						UT II	1.ª	R60	UT II		R90
Processo 2	≤9	≤1	1.ª	R30	≤9	≤3200	≤1	1.ª	R60	≤9	0	≤100	1.ª	R30	UT I	3.ª	R90	UT I	3.ª	R90
	≤28	≤3	2.ª	R60	≤28	≤9600	≤3	2.ª	R90	≤28	≤1	≤1000	2.ª	R60	UT II	2.ª	R90	UT II		R120
	≤50	≤5	3.ª	R90	≤28	≤32000	≤5	3.ª	R120	≤28	≤2	≤5000	3.ª	R90	UT VIII	2.ª	R90	UT VIII		R90
Processo 3	≤9	≤1	1.ª	R30	≤9	≤3200	≤1	1.ª	R60						UT I	1.ª	R30	UT I	1.ª	R30
Processo 4	≤9	≤1	1.ª	R30	≤9	≤3200	≤1	1.ª	R60	≤9	0	≤100	1.ª	R30	UT I	2.ª	R60	UT I	2.ª	R60
	≤28	≤3	2.ª	R60	≤28	≤9600	≤3	2.ª	R90	≤28	≤1	≤1000	2.ª	R60	UT II	1.ª	R60	UT II		R90
															UT VIII	2.ª	R60	UT VIII		R60
Processo 5	≤9	≤1	1.ª	R30	≤9	≤3200	≤1	1.ª	R60						UT I	1.ª	R30	UT I	1.ª	R30
															UT II	1.ª	R60	UT II		R60
Processo 6	≤9	≤1	1.ª	R30	≤9	≤3200	≤1	1.ª	R60						UT I	1.ª	R30	UT I	1.ª	R30
Processo 7	≤9	≤1	1.ª	R30	≤9	≤3200	≤1	1.ª	R60						UT I	2.ª	R60	UT I	2.ª	R60
	≤28	≤3	2.ª	R60	≤28	≤9600	≤3	2.ª	R90						UT II	1.ª	R60	UT II		R90
Processo 9	≤9	≤1	1.ª	R30	≤9	≤3200	≤1	1.ª	R60						UT I	1.ª	R30	UT I	1.ª	R30
															UT II	1.ª	R60	UT II		R60
Processo 11	≤9	≤1	1.ª	R30	≤9	≤3200	≤1	1.ª	R60	≤9	0	≤100	1.ª	R30	UT I	2.ª	R60	UT I	2.ª	R60
	≤28	≤3	2.ª	R60	≤28	≤9600	≤3	2.ª	R90	≤28	≤1	≤1000	2.ª	R60	UT II	2.ª	R90	UT II		R90
															UT VIII	2.ª	R60	UT VIII		R60
Processo 14	≤9	≤1	1.ª	R30	≤9	≤3200	≤1	1.ª	R60	≤9	0	≤100	1.ª	R30	UT I	3.ª	R90	UT I	3.ª	R90
	≤28	≤3	2.ª	R60	≤28	≤9600	≤3	2.ª	R90	≤28	≤1	≤1000	2.ª	R60	UT II	2.ª	R90	UT II		R120
	≤50	≤5	3.ª	R90	≤28	≤32000	≤5	3.ª	R120	≤28	≤2	≤5000	3.ª	R90	UT VIII	2.ª	R90	UT VIII		R90
Processo 17	≤9	≤1	1.ª	R30	≤9	≤3200	≤1	1.ª	R60						UT I	3.ª	R90	UT I	3.ª	R90
	≤28	≤3	2.ª	R60	≤28	≤9600	≤3	2.ª	R90											
	≤50	≤5	3.ª	R90	≤28	≤32000	≤5	3.ª	R120						UT II	2.ª	R90	UT II		R120

Quadro A3.3.3 - Definição do escalão de resistência ao fogo.
Ocupação principal - UT I – Habitacionais
Outras ocupações - UT II – Estacionamentos – P19, P45, P46, P53 a P56.

Ocupação principal – UT I - Habitacionais																	
Identificação do processo	UT I - Habitacionais				UT II - Estacionamentos					Não considerando a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE			Considerando a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE				
	Fatores de risco		Categoria de risco	Escalão de resistência ao fogo	Fatores de risco			Categoria de risco	Escalão de resistência ao fogo	UT	CR	R	UT	CR	R		
	Altura da UT I [m]	Nº de pisos ocupados pela UT I abaixo do plano de referência			Altura da UT II [m]	Área bruta ocupada pela UT II [m^2]	Nº de pisos ocupados pela UT II abaixo do plano de referência										
Processo 19	≤9	≤1	1.ª	R30	≤9	≤3200	≤1	1.ª	R60	UT I	1.ª	R30	UT I	1.ª	R30		
										UT II	1.ª	R60	UT II		R60		
Processo 45	≤9	≤1	1.ª	R30	≤9	≤3200	≤1	1.ª	R60	UT I	2.ª	R60	UT I	3.ª	R90		
	≤28	≤3	2.ª	R60	≤28	≤9600	≤3	2.ª	R90	UT II	3.ª	R120	UT II		R120		
	≤50	≤5	3.ª	R90	≤28	≤32000	≤5	3.ª	R120								
Processo 46	≤9	≤1	1.ª	R30	≤9	≤3200	≤1	1.ª	R60	UT I	2.ª	R60	UT I	3.ª	R90		
	≤28	≤3	2.ª	R60	≤28	≤9600	≤3	2.ª	R90	UT II	3.ª	R120	UT II		R120		
	≤50	≤5	3.ª	R90	≤28	≤32000	≤5	3.ª	R120								
Processo 53	≤9	≤1	1.ª	R30	≤9	≤3200	≤1	1.ª	R60	UT I	2.ª	R60	UT I	3.ª	R90		
	≤28	≤3	2.ª	R60	≤28	≤9600	≤3	2.ª	R90	UT II	3.ª	R120	UT II		R120		
	≤50	≤5	3.ª	R90	≤28	≤32000	≤5	3.ª	R120								
Processo 54	≤9	≤1	1.ª	R30	≤9	≤3200	≤1	1.ª	R60	UT I	2.ª	R60	UT I	3.ª	R90		
	≤28	≤3	2.ª	R60	≤28	≤9600	≤3	2.ª	R90	UT II	3.ª	R120	UT II		R120		
	≤50	≤5	3.ª	R90	≤28	≤32000	≤5	3.ª	R120								
Processo 55	≤9	≤1	1.ª	R30	≤9	≤3200	≤1	1.ª	R60	UT I	2.ª	R60	UT I	3.ª	R90		
	≤28	≤3	2.ª	R60	≤28	≤9600	≤3	2.ª	R90	UT II	3.ª	R120	UT II		R120		
	≤50	≤5	3.ª	R90	≤28	≤32000	≤5	3.ª	R120								
Processo 56	≤9	≤1	1.ª	R30	≤9	≤3200	≤1	1.ª	R60	UT I	2.ª	R60	UT I	3.ª	R90		
	≤28	≤3	2.ª	R60	≤28	≤9600	≤3	2.ª	R90	UT II	3.ª	R120	UT II		R120		
	≤50	≤5	3.ª	R90	≤28	≤32000	≤5	3.ª	R120								

Quadro A3.3.4 - Definição do escalão de resistência ao fogo.
Ocupação principal - UT I – Habitacionais
Outras ocupações - UT II – Estacionamentos – P57 a P60.

Ocupação principal – UT I - Habitacionais																
Identificação do processo	UT I - Habitacionais				UT II - Estacionamentos					Não considerando a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE			Considerando a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE		
	Fatores de risco		Categoria de risco	Escalão de resistência ao fogo	Fatores de risco			Categoria de risco	Escalão de resistência ao fogo						
	Altura da UT I [m]	Nº de pisos ocupados pela UT I abaixo do plano de referência			Altura da UT II [m]	Área bruta ocupada pela UT II [m^2]	Nº de pisos ocupados pela UT II abaixo do plano de referência			UT	CR	R	UT	CR	R
Processo 57	≤9	≤1	1.ª	R30	≤9	≤3200	≤1	1.ª	R60	UT I	2.ª	R60	UT I	3.ª	R90
	≤28	≤3	2.ª	R60	≤28	≤9600	≤3	2.ª	R90	UT II	3.ª	R120	UT II		R120
	≤50	≤5	3.ª	R90	≤28	≤32000	≤5	3.ª	R120						
Processo 58	≤9	≤1	1.ª	R30	≤9	≤3200	≤1	1.ª	R60	UT I	2.ª	R60	UT I	3.ª	R90
	≤28	≤3	2.ª	R60	≤28	≤9600	≤3	2.ª	R90	UT II	3.ª	R120	UT II		R120
	≤50	≤5	3.ª	R90	≤28	≤32000	≤5	3.ª	R120						
Processo 59	≤9	≤1	1.ª	R30	≤9	≤3200	≤1	1.ª	R60	UT I	2.ª	R60	UT I	3.ª	R90
	≤28	≤3	2.ª	R60	≤28	≤9600	≤3	2.ª	R90	UT II	3.ª	R120	UT II		R120
	≤50	≤5	3.ª	R90	≤28	≤32000	≤5	3.ª	R120						
Processo 60	≤9	≤1	1.ª	R30	≤9	≤3200	≤1	1.ª	R60	UT I	2.ª	R60	UT I	3.ª	R90
	≤28	≤3	2.ª	R60	≤28	≤9600	≤3	2.ª	R90	UT II	3.ª	R120	UT II		R120
	≤50	≤5	3.ª	R90	≤28	≤32000	≤5	3.ª	R120						

Quadro A3.3.5 - Definição do escalão de resistência ao fogo.
Ocupação exclusiva - UT I – Habitacionais.

Ocupação – UT I – Habitacionais				
Identificação do processo	UT I – Habitacionais			
	Fatores de risco		Categoria de risco	Escalão de resistência ao fogo
	Altura da UT I [m]	Nº de pisos ocupados pela UT I abaixo do plano de referência		
Processo 21	≤9	≤1	1.ª	R30
Processo 23	≤9	≤1	1.ª	R30
Processo 40	≤9	≤1	1.ª	R30

Quadro A3.3.6 - Definição do escalão de resistência ao fogo.
Ocupação exclusiva - UT II – Estacionamentos.

Ocupação – UT II – Estacionamentos					
Identificação do processo	UT II - Estacionamentos				
	Fatores de risco			Categoria de risco	Escalão de resistência ao fogo
	Altura da UT II [m]	Área bruta ocupada pela UT II [m^2]	Nº de pisos ocupados pela UT II abaixo do plano de referência		
Processo 27	≤9	≤3200	≤1	1.ª	R60

Quadro A3.3.7 - Definição do escalão de resistência ao fogo.
Ocupação principal - UT III - Administrativos
Outras ocupações - UT XII – Industriais, oficinas e armazéns.

Ocupação principal – UT III – Administrativos														
Identificação do processo	UT III - Administrativos				UT XII – Industriais, oficinas e armazéns				Não considerando a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE			Considerando a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE		
	Fatores de risco		Categoria de risco	Escalão de resistência ao fogo	Fatores de risco		Categoria de risco	Escalão de resistência ao fogo	UT	CR	R	UT	CR	R
	Altura da UT III [m]	Efetivo da UT III			Carga de incêndio modificada [MJ/m^2]	Nº de pisos ocupados pela UT XII abaixo do plano de referência								
Processo 25	≤9	≤100	1.ª	R30					UT III	2.ª	R60	UT III	2.ª	R60
	≤28	≤1000	2.ª	R60										
Processo 28	≤9	≤100	1.ª	R30					UT III	2.ª	R60	UT III	2.ª	R60
	≤28	≤1000	2.ª	R60										
Processo 37	≤9	≤100	1.ª	R30	(*)≤500	0	1.ª	R60	UT III	3.ª	R90	UT III	3.ª	R90
	≤28	≤1000	2.ª	R60	(*)≤5000	≤1	2.ª	R90						
	≤50	≤5000	3.ª	R90	(*)≤15000	≤1	3.ª	R120	UT XII	1.ª	R60	UT XII		R120

Quadro A3.3.8 - Definição do escalão de resistência ao fogo.
Ocupação principal - UT III - Administrativos
Outras ocupações - UT II – Estacionamentos.

Ocupação principal – UT III – Administrativos																
Identificação do processo	UT III - Administrativos				UT II – Estacionamentos					Não considerando a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE			Considerando a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE			
	Fatores de risco		Categoria de risco	Escalão de resistência ao fogo	Fatores de risco			Categoria de risco	Escalão de resistência ao fogo							
	Altura da UT III [m]	Efetivo da UT III			Altura da UT II [m]	Área bruta ocupada pela UT II [m^2]	Nº de pisos ocupados pela UT II abaixo do plano de referência			UT	CR	R	UT	CR	R
Processo 43	≤9	≤100	1.ª	R30	≤9	≤3200	≤1	1.ª	R60	UT III	3.ª	R90	UT III	3.ª	R90
	≤28	≤1000	2.ª	R60	≤28	≤9600	≤3	2.ª	R90						
	≤50	≤5000	3.ª	R90	≤28	≤32000	≤5	3.ª	R120	UT II	3.ª	R120	UT II		R120
Processo 44	≤9	≤100	1.ª	R30	≤9	≤3200	≤1	1.ª	R60	UT III	3.ª	R90	UT III	3.ª	R90
	≤28	≤1000	2.ª	R60	≤28	≤9600	≤3	2.ª	R90						
	≤50	≤5000	3.ª	R90	≤28	≤32000	≤5	3.ª	R120	UT II	3.ª	R120	UT II		R120
Processo 61	≤9	≤100	1.ª	R30	≤9	≤3200	≤1	1.ª	R60	UT III	3.ª	R90	UT III	3.ª	R90
	≤28	≤1000	2.ª	R60	≤28	≤9600	≤3	2.ª	R90						
	≤50	≤5000	3.ª	R90	≤28	≤32000	≤5	3.ª	R120	UT II	3.ª	R120	UT II		R120
Processo 62	≤9	≤100	1.ª	R30	≤9	≤3200	≤1	1.ª	R60	UT III	3.ª	R90	UT III	3.ª	R90
	≤28	≤1000	2.ª	R60	≤28	≤9600	≤3	2.ª	R90						
	≤50	≤5000	3.ª	R90	≤28	≤32000	≤5	3.ª	R120	UT II	3.ª	R120	UT II		R120

Quadro A3.3.9 - Definição do escalão de resistência ao fogo.
Ocupação principal - UT IV - Escolares
Outras ocupações - UT VI – Espetáculos e reuniões públicas.

Ocupação principal – UT IV – Escolares																	
Identificação do processo	UT IV - Escolares					UT VI – Espetáculos e reuniões públicas					Não considerando a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE			Considerando a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE		
	Fatores de risco			Categoria de risco	Escalão de resistência ao fogo	Fatores de risco			Categoria de risco	Escalão de resistência ao fogo							
	Altura da UT IV [m]	Efetivo da UT IV				Altura da UT VI [m]	Nº de pisos ocupados pela UT VI abaixo do plano de referência	Efetivo da UT VI			UT	CR	R	UT	CR	R
		Efetivo	Efetivo em locais de risco D ou E													
Processo 8	≤9	≤100	≤25	1.ª	R30	≤9	0	≤100	1.ª	R30	UT IV	4.ª	R120	UT IV	4.ª	R120
	≤9	(*)≤500	≤100	2.ª	R60	≤28	≤1	≤1000	2.ª	R60						
	≤28	(*)≤1500	≤400	3.ª	R90	≤28	≤2	≤5000	3.ª	R90	UT VI	2.ª	R120	UT VI		R120
	>28	>1500	>400	4.ª	R120	>28	>2	>5000	4.ª	R120						
	(*) Onde não existam locais de risco D ou E estes limites máximos podem aumentar 50%															
Processo 51	≤9	≤100	≤25	1.ª	R30	≤9	0	≤100	1.ª	R30	UT IV	2.ª	R60	UT IV	2.ª	R60
	≤9	(*)≤500	≤100	2.ª	R60	≤28	≤1	≤1000	2.ª	R60	UT VI	2.ª	R60	UT VI		R60
	(*) Onde não existam locais de risco D ou E estes limites máximos podem aumentar 50%															

Quadro A3.3.10 - Definição do escalão de resistência ao fogo.
Ocupação principal - UT IV - Escolares
Outras ocupações - UT XII – Industriais, oficinas e armazéns.

Ocupação principal – UT IV - Escolares															
Identificação do processo	UT IV - Escolares					UT XII – Industriais, oficinas e armazéns				Não considerando a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE			Considerando a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE		
	Fatores de risco			Categoria de risco	Escalão de resistência ao fogo	Fatores de risco		Categoria de risco	Escalão de resistência ao fogo						
	Altura da UT IV [m]	Efetivo da UT IV				Carga de incêndio modificada [MJ/m^2]	Nº de pisos ocupados pela UT XII abaixo do plano de referência			UT	CR	R	UT	CR	R
		Efetivo	Efetivo em locais de risco D ou E												
Processo 12	≤9	≤100	≤25	1.ª	R30	(**)≤500	0	1.ª	R60	UT IV	3.ª	R90	UT IV	3.ª	R90
	≤9	(*)≤500	≤100	2.ª	R60	(**)≤5000	≤1	2.ª	R90						
	≤28	(*)≤1500	≤400	3.ª	R90	(**)≤15000	≤1	3.ª	R120	UT XII	1.ª	R90	UT XII		R120
Processo 26	≤9	≤100	≤25	1.ª	R30	(**)≤500	0	1.ª	R60	UT IV	3.ª	R90	UT IV	3.ª	R90
	≤9	(*)≤500	≤100	2.ª	R60	(**)≤5000	≤1	2.ª	R90						
	≤28	(*)≤1500	≤400	3.ª	R90	(**)≤15000	≤1	3.ª	R120	UT XII	1.ª	R90	UT XII		R120
Processo 29	≤9	≤100	≤25	1.ª	R30	(**)≤500	0	1.ª	R60	UT IV	3.ª	R90	UT IV	3.ª	R90
	≤9	(*)≤500	≤100	2.ª	R60	(**)≤5000	≤1	2.ª	R90						
	≤28	(*)≤1500	≤400	3.ª	R90	(**)≤15000	≤1	3.ª	R120	UT XII	1.ª	R90	UT XII		R120
Processo 30	≤9	≤100	≤25	1.ª	R30	(**)≤500	0	1.ª	R60	UT IV	3.ª	R90	UT IV	3.ª	R90
	≤9	(*)≤500	≤100	2.ª	R60	(*)≤5000	≤1	2.ª	R90						
	≤28	(*)≤1500	≤400	3.ª	R90	(**)≤15000	≤1	3.ª	R120	UT XII	2.ª	R90	UT XII		R120
Processo 31	≤9	≤100	≤25	1.ª	R30	(**)≤500	0	1.ª	R60	UT IV	3.ª	R90	UT IV	3.ª	R90
	≤9	(*)≤500	≤100	2.ª	R60	(**)≤5000	≤1	2.ª	R90						
	≤28	(*)≤1500	≤400	3.ª	R90	(**)≤15000	≤1	3.ª	R120	UT XII	2.ª	R90	UT XII		R120
Processo 32	≤9	≤100	≤25	1.ª	R30	(**)≤500	0	1.ª	R60	UT IV	3.ª	R90	UT IV	3.ª	R90
	≤9	(*)≤500	≤100	2.ª	R60	(**)≤5000	≤1	2.ª	R90						
	≤28	(*)≤1500	≤400	3.ª	R90	(**)≤15000	≤1	3.ª	R120	UT XII	2.ª	R90	UT XII		R120
Processo 33	≤9	≤100	≤25	1.ª	R30	(**)≤500	0	1.ª	R60	UT IV	3.ª	R90	UT IV	3.ª	R90
	≤9	(*)≤500	≤100	2.ª	R60	(**)≤5000	≤1	2.ª	R90						
	≤28	(*)≤1500	≤400	3.ª	R90	(**)≤15000	≤1	3.ª	R120	UT XII	2.ª	R90	UT XII		R120
Processo 34	≤9	≤100	≤25	1.ª	R30	(*)≤500	0	1.ª	R60	UT IV	3.ª	R90	UT IV	3.ª	R90
	≤9	(*)≤500	≤100	2.ª	R60	(*)≤5000	≤1	2.ª	R90						
	≤28	(*)≤1500	≤400	3.ª	R90	(*)≤15000	≤1	3.ª	R120	UT XII	2.ª	R90	UT XII		R120

(*) Onde não existam locais de risco D ou E estes limites máximos podem aumentar 50%
(**) Nas UT XII, destinadas exclusivamente a armazéns, estes limites máximos devem ser 10 vezes superiores aos indicados

Quadro A3.3.11 - Definição do escalão de resistência ao fogo.
Ocupação exclusiva - UT IV – Escolares.

Ocupação principal – UT IV - Escolares									
Identificação do processo	UT IV - Escolares					Edifício	Resumo		
	Fatores de risco			Categoria de risco	Escalão de resistência ao fogo	Categoria de risco	UT	CR	R
	Altura da UT IV [m]	Efetivo da UT IV							
		Efetivo	Efetivo em locais de risco D ou E						
Processo 20	≤9	≤100	≤25	1.ª	R30	3.ª	UT IV	3.ª	R90
	≤9	(*)≤500	≤100	2.ª	R60				
	≤28	(*)≤1500	≤400	3.ª	R90				
Processo 22	≤9	≤100	≤25	1.ª	R30	2.ª	UT IV	2.ª	R60
	≤9	(*)≤500	≤100	2.ª	R60				
(*) Onde não existam locais de risco D ou E estes limites máximos podem aumentar 50%									

Quadro A3.3.12 - Definição do escalão de resistência ao fogo.
Ocupação principal - UT IV - Escolares
Outras ocupações - UT III – Administrativos e UT XII – Industriais, oficinas e armazéns.

Ocupação principal – UT IV - Escolares																			
Identificação do processo	UT IV - Escolares					UT III – Administrativos				UT XII – Industriais, oficinas e armazéns				Não considerando a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE			Considerando a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE		
	Fatores de risco			Categoria de risco	Escalão de resistência ao fogo	Fatores de risco		Categoria de risco	Escalão de resistência ao fogo	Fatores de risco		Categoria de risco	Escalão de resistência ao fogo	UT	CR	R	UT	CR	R
	Altura da UT IV [m]	Efetivo da UT IV				Altura da UT III [m]	Efetivo da UT III			Carga de incêndio modificada [MJ/m²]	Nº de pisos ocupados pela UT XII abaixo do plano de referência								
		Efetivo	Efetivo em locais de risco D ou E																
Processo 36	≤9	≤100	≤25	1.ª	R30	≤9	≤100	1.ª	R30	(*)≤500	0	1.ª	R60	UT IV	2.ª	R60	UT IV	2.ª	R60
														UT III	1.ª	R60	UT III		R60
	≤9	(*)≤500	≤100	2.ª	R60	≤28	≤1000	2.ª	R60	(*)≤5000	≤1	2.ª	R90	UT XII	2.ª	R90	UT XII		R90
	(*) Onde não existam locais de risco D ou E estes limites máximos podem aumentar 50%									(*) Nas UT XII, destinadas exclusivamente a armazéns, estes limites máximos devem ser 10 vezes superiores aos indicados									

Quadro A3.3.13 - Definição do escalão de resistência ao fogo.
Ocupação principal - UT IV - Escolares
Outras ocupações - UT XI – Bibliotecas e arquivos e UT XII – Industriais, oficinas e armazéns.

Ocupação principal – UT IV - Escolares																					
Identificação do processo	UT IV - Escolares					UT XI – Bibliotecas e arquivos						UT XII – Industriais, oficinas e armazéns				Não considerando a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE			Considerando a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE		
	Fatores de risco					Fatores de risco						Fatores de risco									
	Altura da UT IV [m]	Efetivo da UT IV		CR	Escalão de resistência ao fogo	Altura da UT XI [m]	Nº de pisos ocupados pela UT XI abaixo do plano de referência	Efetivo da UT XI	Carga de incêndio modificada [MJ/m^2]	CR	Escalão de resistência ao fogo	Carga de incêndio modificada [MJ/m^2]	Nº de pisos ocupados pela UT XII abaixo do plano de referência	CR	Escalão de resistência ao fogo	UT	CR	R	UT	CR	R
		Efetivo	Efetivo em locais de risco D ou E																		
Processo 47	≤9	≤100	≤25	1.ª	R30	≤9	0	≤100	≤5000	1.ª	R60	(*)≤500	0	1.ª	R60	UT IV	3.ª	R90	UT IV		R90
	≤9	(*)≤500	≤100	2.ª	R60	≤28	≤1	≤500	≤50000	2.ª	R90	(*)≤5000	≤1	2.ª	R90	UT XI	2.ª	R90	UT XI	3.ª	R120
	≤28	(*)≤1500	≤400	3.ª	R90	≤28	≤2	≤1500	≤150000	3.ª	R120	(*)≤15000	≤1	3.ª	R120	UT XII	1.ª	R90	UT XII		R120
	(*) Onde não existam locais de risco D ou E estes limites máximos podem aumentar 50%											(*) Nas UT XII, destinadas exclusivamente a armazéns, estes limites máximos devem ser 10 vezes superiores aos indicados									

Quadro A3.3.14 - Definição do escalão de resistência ao fogo.
Ocupação principal - UT V – Hospitalares e lares de idosos
Outras ocupações - UT VII – Hoteleiros e restauração.

Ocupação principal – UT V – Hospitalares e lares de idosos																
Identificação do processo	UT V – Hospitalares e lares de idosos					UT VII – Hoteleiros e restauração					Não considerando a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE			Considerando a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE		
	Fatores de risco			Categoria de risco	Escalão de resistência ao fogo	Fatores de risco			Categoria de risco	Escalão de resistência ao fogo						
	Altura da UT V [m]	Efetivo da UT V				Altura da UT VII [m]	Efetivo da UT VII				UT	CR	R	UT	CR	R
		Efetivo	Efetivo em locais de risco D ou E				Efetivo	Efetivo em locais de risco D ou E								
Processo 35,1	≤9	≤100	≤25	1.ª	R30	≤9	≤100	≤50	1.ª	R30	UT V	4.ª	R120	UT V	4.ª	R120
	≤9	≤500	≤100	2.ª	R60	≤9	≤500	≤200	2.ª	R60						
	≤28	≤1500	≤400	3.ª	R90	≤28	≤1500	≤800	3.ª	R90	UT VII	3.ª	R120	UT VII		R120
	>28	>1500	>400	4.ª	R120	>28	>1500	>800	4.ª	R120						

Quadro A3.3.15 - Definição do escalão de resistência ao fogo.
Ocupação exclusiva - UT V – Hospitalares e lares de idosos.

Ocupação – UT V – Hospitalares e lares de idosos					
Identificação do processo	UT V – Hospitalares e lares de idosos				
	Fatores de risco			Categoria de risco	Escalão de resistência ao fogo
	Altura da UT V [m]	Efetivo da UT V			
		Efetivo	Efetivo em locais de risco D ou E		
Processo 49	≤9	≤100	≤25	1.ª	R30
	≤9	≤500	≤100	2.ª	R60
	≤28	≤1500	≤400	3.ª	R90

Quadro A3.3.16 - Definição do escalão de resistência ao fogo.
Ocupação exclusiva – UT VI – Espetáculos e reuniões públicas.

Ocupação – UT VI – Espetáculos e reuniões públicas					
Identificação do processo	UT VI – Espetáculos e reuniões públicas				
	Fatores de risco			Categoria de risco	Escalão de resistência ao fogo
	Altura da UT VI [m]	Nº de pisos ocupados pela UT VI abaixo do plano de referência	Efetivo da UT VI		
Processo 50	≤9	0	≤100	1.ª	R30
	≤28	≤1	≤1000	2.ª	R60
Processo 52	≤9	0	≤100	1.ª	R30
	≤28	≤1	≤1000	2.ª	R60

Quadro A3.3.17 - Definição do escalão de resistência ao fogo.
Ocupação principal - UT VII - Hoteleiros e restauração
Outras ocupações - UT II – Estacionamentos.

Ocupação principal – UT VII - Hoteleiros e restauração																	
Identificação do processo	UT VII – Hoteleiros e restauração					UT II – Estacionamentos					Não considerando a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE			Considerando a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE		
	Fatores de risco			Categoria de risco	Escalão de resistência ao fogo	Fatores de risco			Categoria de risco	Escalão de resistência ao fogo							
	Altura da UT VII [m]	Efetivo da UT VII				Altura da UT II [m]	Área bruta ocupada pela UT II [m^2]	Nº de pisos ocupados pela UT II abaixo do plano de referência			UT	CR	R	UT	CR	R
		Efetivo	Efetivo em locais de risco D ou E													
Processo 16	≤9	≤100	≤50	1.ª	R30	≤9	≤3200	≤1	1.ª	R60	UT VII	3.ª	R90	UT VII	3.ª	R90
	≤9	≤500	≤200	2.ª	R60	≤28	≤9600	≤3	2.ª	R90						
	≤28	≤1500	≤800	3.ª	R90	≤28	≤32000	≤5	3.ª	R120	UT II	2.ª	R90	UT II		R120
Processo 24	≤9	≤100	≤50	1.ª	R30	≤9	≤3200	≤1	1.ª	R60	UT VII	4.ª	R120	UT VII	4.ª	R120
	≤9	≤500	≤200	2.ª	R60	≤28	≤9600	≤3	2.ª	R90						
	≤28	≤1500	≤800	3.ª	R90	≤28	≤32000	≤5	3.ª	R120	UT II	2.ª	R120	UT II		R180
	>28	>1500	>800	4.ª	R120	>28	>32000	>5	4.ª	R180						

Quadro A3.3.18 - Definição do escalão de resistência ao fogo.
Ocupação exclusiva – UT VII – Hoteleiros e restauração.

Ocupação – UT VII - Hoteleiros e restauração					
Identificação do processo	UT VII – Hoteleiros e restauração				
	Fatores de risco			Categoria de risco	Escalão de resistência ao fogo
	Altura da UT VII [m]	Efetivo da UT VII			
		Efetivo	Efetivo em locais de risco D ou E		
Processo 13	≤9	≤100	≤50	1.ª	R30
	≤9	≤500	≤200	2.ª	R60
	≤28	≤1500	≤800	3.ª	R90

Quadro A3.3.19 - Definição do escalão de resistência ao fogo.
Ocupação principal - UT VIII – Comerciais e gares de transporte
Outras ocupações - UT VI – Espetáculos e reuniões públicas e UT II – Estacionamentos.

Ocupação principal – UT VIII – Comerciais e gares de transporte																					
Identificação do processo	UT VIII – Comerciais e gares de transporte					UT VI – Espetáculos e reuniões públicas					UT II - Estacionamentos					Não considerando a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE			Considerando a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE		
	Fatores de risco			CR	Escalão de resistência ao fogo	Fatores de risco			CR	Escalão de resistência ao fogo	Fatores de risco			CR	Escalão de resistência ao fogo	UT	CR	R	UT	CR	R
	Altura da UT VIII [m]	Nº de pisos ocupados pela UT VIII abaixo do plano de referência	Efetivo da UT VIII			Altura da UT VI [m]	Nº de pisos ocupados pela UT VI abaixo do plano de referência	Efetivo da UT VI			Altura da UT II [m]	Área bruta ocupada pela UT II [m^2]	Nº de pisos ocupados pela UT II abaixo do plano de referência								
Processo 18	≤9	0	≤100	1.ª	R30	≤9	0	≤100	1.ª	R30	≤9	≤3200	≤1	1.ª	R60	UT VIII	4.ª	R120	UT VIII	4.ª	R120
	≤28	≤1	≤1000	2.ª	R60	≤28	≤1	≤1000	2.ª	R60	≤28	≤9600	≤3	2.ª	R90						
	≤28	≤2	≤5000	3.ª	R90	≤28	≤2	≤5000	3.ª	R90	≤28	≤32000	≤5	3.ª	R120	UT VI	3.ª	R120	UT VI		R120
	>28	>2	>5000	4.ª	R120	>28	>2	>5000	4.ª	R120	>28	>32000	>5	4.ª	R180	UT II	4.ª	R180	UT II		R180

Quadro A3.3.20 - Definição do escalão de resistência ao fogo.
Ocupação principal - UT VIII – Comerciais e gares de transporte
Outras ocupações - UT II – Estacionamentos.

Ocupação principal – UT VIII – Comerciais e gares de transporte															
Identificação do processo	UT VIII – Comerciais e gares de transporte					UT II - Estacionamentos					Não considerando a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE			Considerando a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE		
	Fatores de risco			Categoria de risco	Escalão de resistência ao fogo	Fatores de risco			Categoria de risco	Escalão de resistência ao fogo	UT	CR	R	UT	CR	R
	Altura da UT VIII [m]	Nº de pisos ocupados pela UT VIII abaixo do plano de referência	Efetivo da UT VIII			Altura da UT II [m]	Área bruta ocupada pela UT II [m^2]	Nº de pisos ocupados pela UT II abaixo do plano de referência								
Processo 39	≤9	0	≤100	1.ª	R30	≤9	≤3200	≤1	1.ª	R60	UT VIII	4.ª	R120	UT VIII	4.ª	R120
	≤28	≤1	≤1000	2.ª	R60	≤28	≤9600	≤3	2.ª	R90						
	≤28	≤2	≤5000	3.ª	R90	≤28	≤32000	≤5	3.ª	R120	UT II	4.ª	R180	UT II		R180
	>28	>2	>5000	4.ª	R120	>28	>32000	>5	4.ª	R180						

Quadro A3.3.21 - Definição do escalão de resistência ao fogo.
Ocupação exclusiva – UT IX – Desportivos e de lazer.

Ocupação – UT IX – Desportivos e de lazer					
Identificação do processo	UT IX – Desportivos e de lazer				
	Fatores de risco			Categoria de risco	Escalão de resistência ao fogo
	Altura da UT IX [m]	Nº de pisos ocupados pela UT IX abaixo do plano de referência	Efetivo da UT IX		
Processo 48	≤9	0	≤100	1.ª	R30
	≤28	≤1	≤1000	2.ª	R60

Quadro A3.3.22 - Definição do escalão de resistência ao fogo.
Ocupação exclusiva – UT X - Museus e galerias de arte.

Ocupação – UT X – Museus e galerias de arte				
Identificação do processo	UT X - Museus e galerias de arte			
	Fatores de risco		Categoria de risco	Escalão de resistência ao fogo
	Altura da UT X [m]	Efetivo da UT X		
Processo 15	≤9	≤100	1.ª	R30
	≤28	≤500	2.ª	R60
	≤28	≤1500	3.ª	R90
	>28	>1500	4.ª	R120

Quadro A3.3.23 - Definição do escalão de resistência ao fogo.
Ocupação exclusiva – UT XI – Bibliotecas e arquivos.

Ocupação – UT XI – Bibliotecas e arquivos						
Identificação do processo	UT XI - Bibliotecas e arquivos					
	Fatores de risco				Categoria de risco	Escalão de resistência ao fogo
	Altura da UT XI [m]	Nº de pisos ocupados pela UT XI abaixo do plano de referência	Efetivo da UT XI	Carga de incêndio modificada [MJ/m^2]		
Processo 10	≤9	0	≤100	≤5000	1.ª	R60
	≤28	≤1	≤500	≤50000	2.ª	R90
	≤28	≤2	≤1500	≤150000	3.ª	R120

Quadro A3.3.24 - Definição do escalão de resistência ao fogo.
Ocupação exclusiva – UT XII – Industriais, oficinas e armazéns.

Ocupação – UT XII – Industriais, oficinas e armazéns				
Identificação do processo	UT XII – Industriais, oficinas e armazéns			
	Fatores de risco		Categoria de risco	Escalão de resistência ao fogo
	Carga de incêndio modificada [MJ/m^2]	Nº de pisos ocupados pela UT XII abaixo do plano de referência		
Processo 38	(*)≤500	0	1.ª	R60
	(*)≤5000	≤1	2.ª	R90
Processo 35.A1/A2	(*)≤500	0	1.ª	R60
	(*)≤5000	≤1	2.ª	R90
(*) Nas UT XII, destinadas exclusivamente a armazéns, estes limites máximos devem ser 10 vezes superiores aos indicados				

Quadro A3.3.25 - Definição do escalão de resistência ao fogo.
Ocupação principal - UT XII – Industriais, oficinas e armazéns
Outras ocupações - UT III – Administrativos.

Ocupação principal – UT XII – Industriais, oficinas e armazéns															
Identificação do processo	UT XII – Industriais, oficinas e armazéns				UT III - Administrativos				Não considerando a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE			Considerando a aplicação do n.º5 do Artigo 13.º do RJ-SCIE		
	Fatores de risco		Categoria de risco	Escalão de resistência ao fogo	Fatores de risco		Categoria de risco	Escalão de resistência ao fogo	UT	CR	R	UT	CR	R
	Carga de incêndio modificada [MJ/m^2]	Nº de pisos ocupados pela UT XII abaixo do plano de referência			Altura da UT III [m]	Efetivo da UT III								
Processo 41	(*)≤500	0	1.ª	R60	≤9	≤100	1.ª	R30	UT XII	4.ª	R180	UT XII	4.ª	R180
	(*)≤5000	≤1	2.ª	R90	≤28	≤1000	2.ª	R60						
	(*)≤15000	≤1	3.ª	R120	≤50	≤5000	3.ª	R90	UT III	1.ª	R30	UT III		R120
	(*)>15000	>1	4.ª	R180	>50	>5000	4.ª	R120						
	(*) Nas UT XII, destinadas exclusivamente a armazéns, estes limites máximos devem ser 10 vezes superiores aos indicados													
Processo 42	(*)≤500	0	1.ª	R60	≤9	≤100	1.ª	R30	UT XII	3.ª	R120	UT XII	3.ª	R120
	(*)≤5000	≤1	2.ª	R90	≤28	≤1000	2.ª	R60						
	(*)≤15000	≤1	3.ª	R120	≤50	≤5000	3.ª	R90	UT III	2.ª	R60	UT III		R90
	(*) Nas UT XII, destinadas exclusivamente a armazéns, estes limites máximos devem ser 10 vezes superiores aos indicados													

ANEXO A3.4

CARATERÍSTICAS DOS PILARES ANALISADOS

A3.4.1. INTRODUÇÃO

Analisaram-se sessenta e três projetos de edifícios predominantemente no Norte do país, de modo a que as suas ocupações se inserissem nas doze utilizações-tipo e nas quatro categorias de risco previstas no Regime Jurídico de Segurança contra Incêndio em Edifícios (RJ-SCIE, 2008), selecionados de forma a constituírem amostra representativa dos licenciados em Portugal continental. A metodologia de seleção é apresentada no Capítulo 3 desta dissertação.

Retirou-se a informação disponível referente aos elementos que serviram de base ao dimensionamento dos pilares previstos nas estruturas desses edifícios selecionados. Esta informação encontra-se organizada e compilada nos quadros A3.4.3 a A3.4.40 para os pilares de secção transversal retangular e nos quadros A3.4.41 a A3.4.44 para os pilares de secção transversal circular, de modo a facilitar a consulta dos parâmetros necessários à aplicação dos diversos métodos de verificação da resistência ao fogo apontados na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010).

Registaram-se as características geométricas das secções transversais dos pilares, a constituição da armadura longitudinal e das cintas, o recobrimento das armaduras, o comprimento, o esforço axial e os momentos fletores atuantes, a classe do betão e o tipo de aço utilizados. Indicou-se, também, o nível de carregamento à temperatura normal, n, e a taxa mecânica de armaduras, ω, parâmetros determinados de acordo com as expressões apontadas na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010). O recobrimento das armaduras foi considerado, em todos os projetos, como a camada de betão entre a face exterior da cinta e a face exterior mais próxima do pilar.

Os quadros A3.4.3 a A3.4.40, onde se apontam as caraterísticas dos pilares retangulares, foram organizados considerando um quadro para cada valor da menor dimensão da sua secção transversal, b, e para cada escalão de resistência ao fogo. Os quadros A3.4.41 a A3.4.44, correspondentes aos pilares circulares, organizaram-se considerando um quadro para cada escalão de resistência ao fogo.

Determinou-se, também, para cada utilização-tipo prevista em cada um dos projetos, o fator de redução para o cálculo do nível de carregamento em situação de incêndio, η_{fi}. Os valores são apresentados no Quadro A3.4.1.

A3.4.2. FATOR DE REDUÇÃO, η_{fi}

O fator de redução para o valor de cálculo do nível de carregamento em situação de incêndio, η_{fi}, é determinado pela aplicação da Expressão (A3.4.1) apontada na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), considerando as combinações fundamentais das ações indicadas na EN 1990 (EC0, 2009).

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}} \qquad \text{(A3.4.1)}$$

Em que:

- G_k valor caraterístico das ações permanentes, [kN/m^2];
- $Q_{k,1}$ valor caraterístico da ação variável de base da combinação, [kN/m^2];
- γ_G coeficiente parcial relativo às ações permanentes
- $\gamma_{Q,1}$ coeficiente parcial relativo à ação variável 1;
- ψ_{fi} coeficiente de combinação para os valores frequente ou quase-permanente representados, respetivamente, por $\psi_{1,1}$ ou $\psi_{2,1.}$

Foram considerados os valores dos coeficientes parciais relativos às ações permanentes (G_k) e à ação variável sobrecarga (q_k) apontados no parágrafo 2.4.2 da EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), respetivamente γ_G=1,35 e γ_Q=1,5, por nada ser referido em contrário nos Anexos Nacionais.

No parágrafo 4.3.1(2) da EN 1991-1-2 (EC1-1-2, 2010) é referido que o valor representativo da ação variável Q_1 pode ser considerado como o valor quase-permanente $\psi_{2,1}Q_1$ ou, em alternativa, como o valor frequente $\psi_{1,1}Q_1$. No Anexo Nacional desta norma, parágrafo NA-4.3.1(2) é recomendada a adoção do valor frequente, $\psi_{1,1}Q_1$. Assim, na quantificação de η_{fi}, adotou-se o valor frequente da ação variável sobrecarga q_k e a expressão (A3.4.2) adaptada da expressão (A3.4.1) à situação presente.

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_1 q_k}{1{,}35 G_k + 1{,}5 q_k} \qquad \text{(A3.4.2)}$$

No Quadro A3.4.1 indicam-se os valores de η_{fi} calculados para as diferentes utilizações-tipo de todos os projetos analisados. Os valores das ações permanentes, G_k, e os valores da sobrecarga, q_k, são os que constam nos correspondentes projetos de estabilidade. Os valores considerados para o coeficiente ψ_1 são os indicados no Quadro A1.1 da EN 1990 (EC0, 2009) para cada tipo de ocupação prevista. Nas atividades industriais, processos P12 e P38, destinados a laboratórios de investigação, por não corresponder a zonas de armazenamento, considerou-se ψ_1 = 0,7.

A3.4.3. NÍVEL DE CARREGAMENTO À TEMPERATURA NORMAL, *n*

O nível de carregamento à temperatura normal, *n*, foi determinado considerando a aplicação da Expressão (A3.4.3) apontada no parágrafo 5.3.3(2) da EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010).

$$n = \frac{N_{0Ed,fi}}{0{,}7\ (A_c f_{cd} + A_s f_{yd})} \tag{A3.4.3}$$

Em que:

- $N_{0Ed,fi}$ esforço normal atuante em situação de incêndio, [kN];
- A_c área da secção transversal de betão, [m^2];
- A_s área da secção transversal dos varões da armadura longitudinal, [m^2];
- f_{cd} valor de cálculo da tensão de rotura do betão à compressão, [kN/m^2];
- f_{yd} valor de cálculo da tensão de cedência à tração do aço das armaduras, [kN/m^2].

Nos quadros A3.4.3 a A3.4.44 apresentam-se os valores do nível de carregamento à temperatura normal, *n*, para todos os pilares. Para o cálculo deste parâmetro, os valores dos esforços normais atuantes em situação de incêndio ($N_{0Ed,fi}$) foram determinados a partir dos valores dos esforços normais atuantes à temperatura normal indicados nos projetos de estabilidade, aplicando a Expressão (A3.4.4).

$$N_{0Ed,fi} = \eta_{fi} N_{0Ed} \tag{A3.4.4}$$

A3.4.4. TAXA MECÂNICA DE ARMADURAS, ω

A taxa mecânica de armaduras à temperatura normal, ω, é determinada pela aplicação da Expressão (A3.4.5).

$$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}} \tag{A3.4.5}$$

Em que:

- A_s área da secção transversal dos varões da armadura longitudinal, [m^2];
- A_c área da secção transversal de betão, [m^2];
- f_{cd} valor de cálculo da tensão de rotura do betão à compressão, [kN/m^2];
- f_{yd} valor de cálculo da tensão de cedência à tração do aço das armaduras, [kN/m^2].

A3.4.5. QUADROS

Quadro A3.4.1 - Valores de η_{fi} correspondentes às utilizações-tipo previstas em cada projeto analisado.

Número do processo	Tipo de utilização	G_k [kN/m²]	q_k [kN/m²]	ψ_1	γ_G	γ_Q	η_{fi}
P1	Habitação	7,25	2,0	0,5	1,35	1,5	0,65
P2	Habitação	7,25	2,0	0,5	1,35	1,5	0,65
	Comércio	6,32	3,0	0,7	1,35	1,5	0,65
P3	Habitação	7,25	2,0	0,5	1,35	1,5	0,65
P4	Habitação	7,25	2,0	0,5	1,35	1,5	0,65
P5	Habitação	6,44	2,0	0,5	1,35	1,5	0,64
P6	Habitação	5,36	2,0	0,5	1,35	1,5	0,62
P7	Habitação	6,74	2,0	0,5	1,35	1,5	0,64
P8	Escola	6,05	3,0	0,7	1,35	1,5	0,64
P9	Habitação	7,25	2,0	0,5	1,35	1,5	0,65
P10	Biblioteca	8,12	3,0	0,7	1,35	1,5	0,66
P11	Habitação	7,35	2,0	0,5	1,35	1,5	0,65
P12	Industrial	12,15	5,0	0,7	1,35	1,5	0,66
P13	Restaurante	6,75	4,0	0,7	1,35	1,5	0,63
P14	Habitação	10,56	2,0	0,5	1,35	1,5	0,67
	Comércio	10,08	4,0	0,7	1,35	1,5	0,66
	Estacionamento	6,95	2,5	0,7	1,35	1,5	0,66
P15	Oceanário	12,75	5,0	0,7	1,35	1,5	0,66
P16	Hotel - quartos	7,16	2,0	0,5	1,35	1,5	0,64
	Hotel - restante	14,16	4,0	0,7	1,35	1,5	0,68
P17	Habitação	7,32	2,0	0,5	1,35	1,5	0,65
P18	Comércio	12,10	4,0	0,7	1,35	1,5	0,67
P19	Habitação	7,20	2,0	0,5	1,35	1,5	0,65
P20	Escola	5,85	3,0	0,7	1,35	1,5	0,64
P21	Habitação	7,23	2,0	0,5	1,35	1,5	0,65
P22	Escola	5,97	3,0	0,7	1,35	1,5	0,64
P23	Habitação	7,25	2,0	0,5	1,35	1,5	0,65
P24	Hotel - quartos	6,97	2,0	0,5	1,35	1,5	0,64
	Hotel - restante	14,97	4,0	0,7	1,35	1,5	0,68
P25	Administrativo	8,93	3,0	0,5	1,35	1,5	0,63
P26	Escola	6,03	3,0	0,7	1,35	1,5	0,64
P27	Estacionamento	7,45	3,0	0,7	1,35	1,5	0,66
P28	Administrativo	12,44	3,0	0,5	1,35	1,5	0,66
P29	Escola	6,12	3,0	0,7	1,35	1,5	0,64
P30	Escola	6,12	3,0	0,7	1,35	1,5	0,64
P31	Escola	6,12	3,0	0,7	1,35	1,5	0,64
P32	Escola	6,12	3,0	0,7	1,35	1,5	0,64
P33	Escola	6,12	3,0	0,7	1,35	1,5	0,64
P34	Escola	6,12	3,0	0,7	1,35	1,5	0,64
P35	Hospital - geral	10,69	5,0	0,7	1,35	1,5	0,65
	Hospital - quartos	10,96	2,0	0,5	1,35	1,5	0,67
P 35.A1/A2	Hospital - armazéns, tratamento de roupa	9,15	5,0	0,7	1,35	1,5	0,64
P36	Escola	5,98	3,0	0,7	1,35	1,5	0,64
P37	Administrativo	8,78	3,0	0,5	1,35	1,5	0,63
P38	Industrial	12,23	5,0	0,7	1,35	1,5	0,66
P39	Comércio	11,30	6,0	0,7	1,35	1,5	0,64
	Estacionamento	9,80	5,0	0,5	1,35	1,5	0,59
P40	Habitação	7,26	2,0	0,5	1,35	1,5	0,65
P41	Industrial	4,70	5,0	0,9	1,35	1,5	0,66
P42	Industrial	4,64	5,0	0,9	1,35	1,5	0,66
P43	Administrativo	9,06	3,0	0,5	1,35	1,5	0,63
P44	Administrativo	9,23	3,0	0,5	1,35	1,5	0,63
P45	Habitação	7,47	2,0	0,5	1,35	1,5	0,65
P46	Habitação	8,06	2,0	0,5	1,35	1,5	0,65
P47	Escola	7,82	3,0	0,7	1,35	1,5	0,66
	Auditório	7,02	5,0	0,7	1,35	1,5	0,62
P48	Desporto	9,25	3,0	0,7	1,35	1,5	0,67
P49	Lar de idosos - geral	9,66	4,0	0,7	1,35	1,5	0,65
	Lar de idosos - quartos	7,25	2,0	0,5	1,35	1,5	0,65
P50	Espetáculos	8,30	5,0	0,7	1,35	1,5	0,63

Quadro A3.4.1 - Continuação - Valores de η_{fi} correspondentes às utilizações-tipo previstas em cada projeto analisado.

Número do processo	Tipo de utilização	G_k [kN/m^2]	q_k [kN/m^2]	ψ_1	γ_G	γ_Q	η_{fi}
P51	Escola	6,72	4,0	0,7	1,35	1,5	0,63
P52	Espetáculos	7,23	5,0	0,7	1,35	1,5	0,62
P53	Habitação	7,21	2,0	0,5	1,35	1,5	0,65
P54	Habitação	7,23	2,0	0,5	1,35	1,5	0,65
P55	Habitação	7,19	2,0	0,5	1,35	1,5	0,65
P56	Habitação	8,02	2,0	0,5	1,35	1,5	0,65
P57	Habitação	7,25	2,0	0,5	1,35	1,5	0,65
P58	Habitação	7,32	2,0	0,5	1,35	1,5	0,65
P59	Habitação	7,33	2,0	0,5	1,35	1,5	0,65
P60	Habitação	8,16	2,0	0,5	1,35	1,5	0,65
P61	Administrativo	8,98	3,0	0,5	1,35	1,5	0,63
P62	Administrativo	9,43	3,0	0,5	1,35	1,5	0,63

Quadro A3.4.2 - Exemplo de quadro organizado para cada processo.

Quadro A3.24 - Características geométricas dos pilares – UT III "Administrativos" Processo 43 — Aço A500NR — Betão C 25/30

Referências dos autores dos projectos	Localização	Tipo de ocupação	Categoria de risco de incêndio	Recobrimento das armaduras	Resistência ao fogo	Pilar	Secção do pilar: Rectangular 20x50 — 6ø12	20x50 — 4ø16+4ø12	20x55 — 4ø25+6ø20	30x90 — 14ø25+4ø20	30x90 — 16ø25	30x90 — 20ø25	35x90 — 16ø25	35x90 — 22ø25	35x90 — 24ø25	40x90 — 28ø25	40x95 — 24ø25	40x95 — 26ø25	45x90 — 30ø25	45x95 — 28ø25	45x95 — 32ø25	50x95 — 30ø25	50x95 — 36ø25	50x100 — 36ø25	55x95 — 38ø25	55x100 — 42ø25	55x110 — 46ø25	Estribos	Comprimento l [m]	Comprimento de encurvadura l0(x) [m]	Comprimento de encurvadura l0(y) [m]	Esforço Axial máximo N [KN]	Momento flector Mx [KN.m]	Momento flector My [KN.m]
Autor do projecto de Arquitectura - A25 ; Autor do projecto de Estabilidade - E25 ; Programa de cálculo automático - CA25	Vila Nova de Gaia	Escritórios em open-space + estacionamento	3.ª - Risco elevado	2,5 cm	R120	PC10,12	3																				ø6/.15	3,40	2,39	2,39	653,50	22,50	35,30
									1																		ø6/.20	3,40	1,15	1,15	1223,10	73,60	36,90
						PC11		2																			ø6/.15	3,40	2,75	2,75	366,80	41,00	51,00
					R90	PC22,27						8															ø8/.30	3,00	2,25	2,25	2984,90	339,80	249,40
															4												ø8/.30	3,00	2,25	2,25	4929,70	366,30	278,70
																	2										ø8/.30	3,00	2,25	2,25	5971,10	403,00	$283,2
																			2								ø8/.30	3,00	2,25	2,25	6995,40	417,90	371,80
																					2						ø8/.30	3,00	2,25	2,25	8015,90	439,10	363,90
																								2			ø8/.30	3,00	2,25	2,25	9088,70	514,90	471,70
					R120																				4		ø8/.30	3,40	3,99	3,99	11413,30	387,70	382,30
																										2	ø8/.30	3,40	2,75	2,75	12433,00	393,10	403,70
					R90	PC23,29,32					15																ø8/.30	3,00	2,25	2,25	3392,50	106,10	233,20
													4														ø8/.30	3,00	2,25	2,25	3392,50	106,10	233,20
																9											ø8/.30	3,00	2,25	2,25	6606,20	159,90	288,40
																			2								ø8/.30	3,00	2,25	2,25	7425,40	182,50	373,30
					R120																	9					ø8/.30	3,40	2,75	2,75	9744,20	194,90	319,50
					R90	PC24,30,33									18												ø8/.30	3,00	2,25	2,25	4744,60	442,90	276,40
																	3										ø8/.30	3,00	2,25	2,25	5735,70	494,40	280,90
																				6							ø8/.30	3,00	2,25	2,25	7658,30	498,30	358,30
																								6			ø8/.30	3,00	3,15	3,15	9853,90	523,10	461,50
					R120																				6		ø8/.30	3,40	2,75	2,75	11892,00	370,00	391,00
					R90	PC25,28,31								15														ø8/.30	3,00	2,25	2,25	3896,70	469,10	299,50
																		6									ø8/.30	3,00	2,25	2,25	5845,10	523,10	306,50
																				9							ø8/.30	3,00	2,25	2,25	7800,60	542,70	387,60
					R120																					12	ø8/.30	3,40	2,25	2,25	7800,60	542,70	387,60
					R90	PC26				5																	ø8/.25	3,00	2,25	2,25	3382,60	127,80	236,10
																4											ø8/.30	3,00	2,25	2,25	6569,30	192,60	294,20
					R120																			3			ø8/.30	3,40	2,10	2,10	9353,80	237,90	412,10
			Número de pilares		R90		0	0	0	5	15	8	4	15	22	13	5	6	2	2	15	2	0	0	8	0	0							
					R120		3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	3	0	10	14	UT III "Administrativos"						
					Total		5		1	28			41			13	11		2	17		11		3	8	10	14							

Quadro A3.4.3 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,15m; Escalão resistência ao fogo R60.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT VI	P52	6Φ12	Φ6/.14	3,0	3,95	171,20	1,12	3,48	C20/25	S400	12	0,12	0,236	0,50
		8Φ20	Φ6/.14	3,0	3,95	378,14	1,83	1,59			4	0,18	0,874	0,50
UT I	P1	10Φ12	Φ6/.15	3,0	2,95	25,7	4,63	23,51	C16/20	S400	1	0,02	0,410	0,60
UT VI	P52	6Φ12	Φ6/.14	3,0	3,95	287,80	0,68	0,63	C20/25	S500	4	0,17	0,246	0,60
UT IV	P51	8Φ12	Φ6/.15	3,0	3,5	298,50	25,10	13,00	C25/30	S400	2	0,13	0,180	0,70

Quadro A3.4.4 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,15m; Escalão resistência ao fogo R90.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT VII	P16	4Φ12	Φ6/.14	2,0	3,0	7,90	3,40	3,30	C25/30	S500	1	0,01	0,262	0,30
		4Φ12	Φ6/.14	2,0	3,0	8,90	2,80	5,50			1	0,01	0,262	0,30
		4Φ12	Φ6/.14	2,0	3,0	9,10	3,60	9,10			2	0,01	0,262	0,30
UT I	P45,46	6Φ12	Φ6/.15	2,5	3,0	125,80	102,50	14,30	C25/30	S500	36	0,07	0,131	0,60

Quadro A3.4.5 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,15m; Escalão resistência ao fogo R120.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT I	P55,59	6Φ12	Φ8/.19	2,5	3,0	551,46	12,69	2,7	C25/30	S500	2	0,30	0,131	0,60

A3.4.6 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,20m; Escalão resistência ao fogo R30.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT I	P5	4Φ12	Φ6/.15	2,5	3,0	49,30	8,60	6,60	C16/20	S400	22	0,08	0,369	0,20
		4Φ16	Φ6/.15	2,5	3,0	12,20	13,00	1,70			1	0,02	0,656	0,20
	P23	4Φ12	Φ6/.15	2,0	3	11,30	1,60	3,40	C16/20	S400	1	0,02	0,369	0,20
UT I	P5	4Φ16	Φ6/.20	2,5	3	91,20	17,50	13,30	C16/20	S400	1	0,10	0,525	0,25
		4Φ20 + 2Φ12	Φ6/.15	2,5	3	273,40	27,10	23,00			1	0,24	0,967	0,25
	P3	4Φ12	Φ6/.15	2,0	3	280,50	10,20	8,80	C20/25	S400	2	0,32	0,236	0,25
		4Φ16 + 2Φ12	Φ6/.15	2,0	3	109,90	9,80	28,00			1	0,10	0,538	0,25
		4Φ20 + 2Φ12	Φ6/.15	2,0	3	286,70	20,70	20,10			2	0,23	0,774	0,25
	P23	4Φ12	Φ6/.15	2,0	3	200,00	9,10	14,40	C16/20	S400	11	0,27	0,295	0,25
UT I	P5	4Φ12	Φ6/.15	2,5	3	228,30	15,50	8,50	C16/20	S400	5	0,26	0,246	0,30
		4Φ12	Φ6/.15	2,5	3	216,00	10,20	7,70			5	0,25	0,246	0,30
		6Φ12	Φ6/.15	2,5	3	359,90	18,40	12,40			4	0,38	0,369	0,30
	P3	4Φ12	Φ6/.15	2,0	3	412,30	16,20	13,10	C20/25	S400	8	0,40	0,197	0,30
		6Φ12	Φ6/.15	2,0	3	205,80	23,80	10,70			2	0,18	0,295	0,30
		6Φ16	Φ6/.15	2,0	3	466,60	22,30	11,40			1	0,36	0,525	0,30
	P23	4Φ12	Φ6/.15	2,0	3	73,00	4,80	7,60	C16/20	S400	2	0,09	0,246	0,30
UT I	P5	6Φ12	Φ6/.15	2,5	3	245,80	27,30	13,80	C16/20	S400	8	0,21	0,277	0,40
		6Φ12	Φ6/.15	2,5	3	530,70	16,10	12,90			14	0,45	0,277	0,40
		4Φ16+ 2Φ12	Φ6/.15	2,5	3	471,10	24,30	22,80			1	0,36	0,420	0,40
		4Φ20+ 2Φ16	Φ6/.20	2,5	3	705,00	28,30	30,80			4	0,45	0,676	0,40
		6Φ20	Φ6/.20	2,5	3	324,40	26,70	70,50			5	0,20	0,768	0,40
	P3	6Φ12	Φ6/.15	2,0	3	493,60	39,20	13,10	C20/25	S400	1	0,35	0,221	0,40
		4Φ16+ 2Φ12	Φ6/.15	2,0	3	611,70	22,50	12,20			2	0,40	0,336	0,40
		6Φ16	Φ6/.20	2,0	3	624,70	25,60	13,40			3	0,39	0,393	0,40
		4Φ20+ 2Φ12	Φ6/.15	2,0	3	639,20	21,40	12,80			2	0,38	0,484	0,40

Quadro A3.4.6 - Continuação - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,20m; Escalão resistência ao fogo R30.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT I	P5	8Φ12	Φ6/.15	2,5	3,0	108,60	18,10	8,00	C16/20	S400	4	0,06	0,246	0,60
		4Φ16+ 6Φ12	Φ6/.15	2,5	3,0	437,00	47,10	57,60			6	0,22	0,403	0,60
		8Φ16	Φ6/.20	2,5	3,0	192,40	51,40	6,10			2	0,10	0,437	0,60
		4Φ20+ 6Φ16	Φ6/.20	2,5	3,0	1098,10	47,40	40,30			4	0,47	0,669	0,60
		6Φ20	Φ6/.20	2,5	3,0	441,90	63,90	12,50			1	0,21	0,512	0,60
		8Φ20	Φ6/.20	2,5	3,0	709,40	70,80	15,30			1	0,30	0,683	0,60

Quadro A3.4.7 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,20m; Escalão resistência ao fogo R60.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT IV	P51	4Φ12	Φ6/.15	3,0	3,5	243,30	10,20	10,20	C25/30	S400	141	0,27	0,236	0,20
UT VI	P52	4Φ20	Φ6/.19	3,0	3,6	80,05	2,3	15,23	C20/25	S400	4	0,07	0,820	0,20
UT I	P5	4Φ20 + 2Φ16	Φ6/.20	2,5	3	473,90	14,90	20,40	C16/20	S400	6	0,39	1,082	0,25
UT I	P5	4Φ16	Φ6/.20	2,5	3	488,80	16,40	12,10	C16/20	S400	12	0,49	0,437	0,30
UT IV	P51	4Φ12	Φ6/.15	3,0	3	23,20	0,90	1,70	C25/30	S400	2	0,02	0,157	0,30
UT VI	P52	6Φ16	Φ8/.14	3,0	3,95	492,10	0,23	3,34	C20/25	S400	6	0,36	0,525	0,30
UT IV	P51	4Φ20 + 2Φ16	Φ6/.20	3,0	3	401,40	28,30	47,40	C25/30	S400	3	0,21	0,495	0,35
UT I	P1	8Φ16	Φ6/.20	3,0	2,9	457,5	31,15	33,57	C16/20	S400	2	0,30	0,656	0,40
UT I		6Φ16	Φ6/.20	3,0	2,9	289,5	26,06	29,24	C16/20	S400	4	0,21	0,492	0,40
UT I		6Φ12	Φ6/.15	3,0	2,9	74,2	0,44	0	C16/20	S400	8	0,06	0,277	0,40
UT I	P4	6Φ12	Φ6/.15	3,0	3	269,90	9,58	0	C16/20	S400	8	0,23	0,277	0,40
UT I	P5	8Φ20	Φ6/.20	2,5	3	963,70	26,90	30,50	C16/20	S400	10	0,51	1,024	0,40

Quadro A3.4.7 - Continuação - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,20m; Escalão resistência ao fogo R 60.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT III	P28	4Φ16	Φ6/.19	3,0	3,5	792,0	19,84	0	C20/25	S400	52	0,55	0,262	0,40
		6Φ20	Φ6/.20	3,0	3,5	1581,0	0	0			8	0,87	0,615	0,40
UT IV	P51	6Φ12	Φ6/.15	3,0	3	712,50	35,10	17,80	C25/30	S400	6	0,41	0,177	0,40
UT I	P1	10Φ16 + 2Φ12	Φ6/.15	3,0	2,9	800,2	33,82	36,81	C16/20	S400	4	0,46	0,912	0,40
UT III	P28	4Φ16 + 2Φ12	Φ6/.19	3,0	3,5	760,0	0	0	C20/25	S400	16	0,42	0,269	0,50
		4Φ16 + 2Φ12	Φ6/.19	3,0	3,5	677,0	0	0			16	0,38	0,269	0,50
		10Φ25	Φ6/.19	3,0	3,5	2802,0	0	0			8	0,87	1,281	0,50
UT VI	P52	6Φ12	Φ6/.14	3,0	3,95	172,86	4,86	1,52	C20/25	S400	12	0,10	0,177	0,50
UT I	P5	12Φ20	Φ6/.20	2,5	3	1456,50	47,70	50,60	C16/20	S400	4	0,51	1,024	0,60
		10Φ20	Φ6/.20	2,5	3	941,20	64,80	20,90			8	0,36	0,854	0,60
UT II	P27	4Φ16 + 2Φ12	Φ6/.19	3,0	3	970,00	0,00	0,00	C20/25	S400	8	0,47	0,224	0,60
	P28	4Φ16 + 2Φ12	Φ6/.14	3,0	3,5	914	0,00	0,00	C20/25	S400	40	0,44	0,224	0,60
UT VI	P52	6Φ12	Φ8/.16	3,0	3,55	330,37	17,04	1,98	C20/25	S400	6	0,16	0,148	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,0	7,5	170,14	2,16	2,44			4	0,08	0,197	0,60
		6Φ16	Φ8/.15	3,0	3,95	413,04	0,00	0,00			8	0,18	0,262	0,60
UT III	P28	4Φ16 + 2Φ12	Φ6/.14	3,0	3,5	488,0	0	0	C20/25	S400	8	0,21	0,192	0,70
UT VI	P52	4Φ20 + 10Φ16	Φ6/.14	3,0	3,95	240,76	0,36	0,76	C20/25	S400	12	0,07	0,609	0,70
UT VI	P52	10Φ12	Φ6/.14	3,0	7,50	90,21	0,99	1,94	C20/25	S400	4	0,03	0,184	0,80
		4Φ20+ 10Φ16	Φ6/.20	3,0	3,95	338,38	0,43	2,51			12	0,09	0,533	0,80
		10Φ16	Φ8/.20	3,0	8,7	262,18	3,94	1,62			4	0,08	0,328	0,80
		8Φ16	Φ8/.15	3,0	7,50	184,29	6,77	0,57			6	0,06	0,262	0,80

Quadro A3.4.8 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,20m; Escalão resistência ao fogo R90.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT VII	P16	4Φ12	Φ6/.14	2,0	3,0	104,90	5,60	13,10	C25/30	S500	4	0,12	0,295	0,20
UT IV	P29	4Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	872,0	0	0	C20/25	S400	84	0,74	0,350	0,30
	P26	4Φ25	Φ8/.20	3,0	3,0	826	0	0	C20/25	S400	24	0,51	0,854	0,30
	P30	4Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	280,0	0	0	C20/25	S400	140	0,24	0,350	0,30
	P31	4Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	423	11,46	0	C20/25	S400	12	0,36	0,350	0,30
	P32	4Φ25	Φ8/.20	3,0	3,0	826	0	0	C20/25	S400	24	0,51	0,854	0,30
	P34	4Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	389,00	9,9	0	C20/25	S400	8	0,33	0,350	0,30
UT XII	P12	4Φ16	Φ6/.19	3,0	3,5	301,65	15,12	3,51	C20/25	S400	2	0,26	0,350	0,30
		4Φ16	Φ6/.19	3,0	3,5	195,02	25,70	5,63	C20/25	S400	4	0,17	0,350	0,30
		4Φ16	Φ6/.19	3,0	3,5	918	0	0	C20/25	S400	24	0,80	0,350	0,30
		6Φ16	Φ6/.19	3,0	3,5	999	0	0	C20/25	S400	12	0,77	0,525	0,30
UT IV	P26	4Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	182	0	0	C20/25	S400	12	0,14	0,300	0,35
	P32	4Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	196	0	0	C20/25	S400	14	0,15	0,300	0,35
UT IV	P29	4Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	489,0	11,36	0	C20/25	S400	36	0,33	0,262	0,40
		4Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	489,0	11,36	0			132	0,33	0,262	0,40
UT IV	P36	6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	124,0	1,3	13	C25/30	S500	2	0,07	0,221	0,40
		6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	43,0	19,2	20	C25/30	S500	2	0,02	0,221	0,40
		6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	298,0	28,8	7,7	C25/30	S500	2	0,17	0,221	0,40
		6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	231,0	32,1	3	C25/30	S500	2	0,13	0,221	0,40
		6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	323,0	25,3	18,2	C25/30	S500	2	0,18	0,221	0,40
		6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	189,0	58,2	12,5	C25/30	S500	2	0,11	0,221	0,40
		6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	114,0	9,9	12,2	C25/30	S500	2	0,06	0,221	0,40
		6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	114,0	9,9	13,5	C25/30	S500	2	0,06	0,221	0,40
		6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	174,0	59,1	10,7	C25/30	S500	2	0,10	0,221	0,40
		6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	182,0	50,4	9,6	C25/30	S500	2	0,10	0,221	0,40
		6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	71,0	55,1	2,1	C25/30	S500	2	0,04	0,221	0,40
		6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,5	452,0	41,6	1,6	C25/30	S500	2	0,25	0,221	0,40
		6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	182,0	50,7	7,3	C25/30	S500	2	0,10	0,221	0,40
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	61,0	59,5	5,2	C25/30	S500	2	0,03	0,295	0,40

Quadro A3.4.8 - Continuação - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,20m; Escalão resistência ao fogo R90.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
	P36	8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	287,0	5,2	50,4	C25/30	S500	2	0,15	0,295	0,40
		4Φ16 + 2Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	57,0	12,6	49,6	C25/30	S500	2	0,03	0,336	0,40
		4Φ16 + 2Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	202,0	74,5	15,7	C25/30	S500	2	0,10	0,336	0,40
		4Φ16 + 2Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	295,0	9	54,4	C25/30	S500	2	0,15	0,336	0,40
		4Φ16 + 2Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	268,0	20,5	45,7	C25/30	S500	2	0,14	0,336	0,40
		4Φ16 + 4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	261,0	89,2	19,5	C25/30	S500	2	0,13	0,410	0,40
		4Φ16 + 4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	262,0	45,2	42,4	C25/30	S500	2	0,13	0,410	0,40
UT IV	P36	4Φ16 + 4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	99,0	89	3,5	C25/30	S500	2	0,05	0,410	0,40
		8Φ16	Φ6/.19	3,5	3,8	189,0	49,3	52,8	C25/30	S500	2	0,09	0,525	0,40
		8Φ16	Φ6/.19	3,5	3,8	135,0	42	71,8	C25/30	S500	2	0,06	0,525	0,40
		8Φ16	Φ6/.19	3,5	3,8	131,0	39,1	63,4	C25/30	S500	2	0,06	0,525	0,40
	P26	4Φ16+ 2Φ12	Φ6/.14	3,0	3,0	1019	26,38	0	C20/25	S400	10	0,65	0,336	0,40
		8Φ25	Φ8/.20	3,0	3,0	2178	0	0	C20/25	S400	24	0,82	1,281	0,40
	P30	4Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	338	7,96	0	C20/25	S400	76	0,23	0,262	0,40
	P31	4Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	487,0	11,74	0	C20/25	S400	18	0,33	0,262	0,40
	P32	6Φ16	Φ6/.14	3,0	3,0	1215	0	0	C20/25	S400	12	0,75	0,393	0,40
		8Φ25	Φ8/.20	3,0	3,0	2287	0	0	C20/25	S400	28	0,86	1,281	0,40
	P34	6Φ16	Φ6/.14	3,0	3,0	527,00	0	0	C20/25	S400	18	0,32	0,393	0,40
UT IV	P36	6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	853,0	13,3	49,9	C25/30	S500	14	0,40	0,177	0,50
		4Φ16 + 2Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	389,0	31,2	86,2	C25/30	S500	13	0,17	0,269	0,50
UT IV	P29	6Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	555	0,00	0,00	C20/25	S400	120	0,25	0,262	0,60
		6Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	1644,0	0,00	0,00			120	0,74	0,262	0,60
UT IV	P36	6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,5	1055,0	27,96	9,10	C25/30	S500	2	0,42	0,148	0,60
		6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	1293,0	15,50	4,50	C25/30	S500	2	0,52	0,148	0,60
		6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	973,0	24,36	8,60	C25/30	S500	2	0,39	0,148	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,5	1232	117,1	10,8	C25/30	S500	2	0,47	0,197	0,60

Quadro A3.4.8 - Continuação - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,20m; Escalão resistência ao fogo R90.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT IV	P36	8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	146,0	21,20	7,20	C25/30	S500	2	0,06	0,197	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,5	513,0	80,30	2,70	C25/30	S500	2	0,20	0,197	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	310,0	130,60	8,80	C25/30	S500	2	0,12	0,197	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	314,0	55,40	5,50	C25/30	S500	2	0,12	0,197	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	173,0	12,30	71,60	C25/30	S500	2	0,07	0,197	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,5	91,0	30,00	0,80	C25/30	S500	2	0,03	0,197	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	66,0	3,00	12,90	C25/30	S500	2	0,03	0,197	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	574,0	126,40	9,60	C25/30	S500	2	0,22	0,197	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	1448,0	15,60	20,20	C25/30	S500	2	0,55	0,197	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	557,0	74,90	12,60	C25/30	S500	2	0,21	0,197	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	252,0	57,70	6,90	C25/30	S500	2	0,10	0,197	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	251,0	63,30	5,00	C25/30	S500	2	0,10	0,197	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	500,0	81,70	29,20	C25/30	S500	2	0,19	0,197	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	771,0	24,40	52,70	C25/30	S500	2	0,29	0,197	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	825,0	21,50	51,50	C25/30	S500	2	0,32	0,197	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	377,0	35,90	86,70	C25/30	S500	2	0,14	0,197	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	18,0	47,80	0,90	C25/30	S500	2	0,01	0,197	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	18,0	67,40	1,20	C25/30	S500	2	0,01	0,197	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	75,0	65,30	2,20	C25/30	S500	2	0,00	0,197	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	68,0	65,70	0,00	C25/30	S500	2	0,00	0,197	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	73,0	64,70	3,10	C25/30	S500	2	0,00	0,197	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	71,0	65,20	0,00	C25/30	S500	2	0,00	0,197	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,5	179,0	88,00	4,10	C25/30	S500	2	0,07	0,197	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	69,0	60,60	4,90	C25/30	S500	2	0,01	0,197	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	69,0	58,60	4,60	C25/30	S500	2	0,01	0,197	0,60
		4Φ16 + 2Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	728,0	56,20	49,30	C25/30	S500	2	0,27	0,224	0,60
		4Φ16 + 2Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	524,0	44,90	73,00	C25/30	S500	2	0,20	0,224	0,60
	P29	6Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	1292,0	0,00	0,00	C20/25	S400	8	0,58	0,262	0,60
		6Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	1160,0	0,00	0,00	C20/25	S400	4	0,53	0,262	0,60
		10Φ20	Φ6/.20	3,0	3,0	2376,0	0,00	0,00	C20/25	S400	18	0,81	0,683	0,60

Quadro A3.4.8 - Continuação - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,20m; Escalão resistência ao fogo R90.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT IV	P29	12Φ20	Φ6/.19	3,0	3,0	1849,0	0,00	0,00	C20/25	S400	6	0,58	0,820	0,60
		8Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	336,0	0,00	0,00	C20/25	S400	24	0,14	0,350	0,60
		6Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	1681,0	0,00	0,00	C20/25	S400	120	0,76	0,262	0,60
		6Φ20 + 2Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	2075,0	0,00	0,00	C20/25	S400	60	0,79	0,497	0,60
		4Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	1005,0	0,00	0,00	C20/25	S400	72	0,49	0,175	0,60
	P26	4Φ16 + 2Φ12	Φ6/.19	3,0	3,0	386	0,00	0,00	C20/25	S400	16	0,18	0,224	0,60
		6Φ20 + 2Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	1681	0,00	0,00	C20/25	S400	20	0,64	0,497	0,60
		12Φ20	Φ6/.19	3,0	3,0	2075	0,00	0,00	C20/25	S400	20	0,65	0,820	0,60
		8Φ20	Φ6/.19	3,0	3,0	2069	0,00	0,00	C20/25	S400	20	0,76	0,546	0,60
		6Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	872	0,00	0,00	C20/25	S400	20	0,39	0,262	0,60
		6Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	1292	0,00	0,00	C20/25	S400	20	0,58	0,262	0,60
		10Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	2009	0,00	0,00	C20/25	S400	24	0,80	0,437	0,60
		8Φ20	Φ6/.19	3,0	3,0	2362	0,00	0,00	C20/25	S400	42	0,87	0,546	0,60
	P30	6Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	756	0,00	0,00	C20/25	S400	30	0,34	0,262	0,60
		6Φ20 + 2Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	1324	0,00	0,00	C20/25	S400	70	0,51	0,497	0,60
		8Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	1267	0,00	0,00	C20/25	S400	92	0,54	0,350	0,60
		6Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	3961,0	0,00	0,00	C20/25	S400	40	1,79	0,262	0,60
		4Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	80,0	0,00	0,00	C20/25	S400	6	0,04	0,175	0,60
	P31	8Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	1849,0	0,00	0,00	C20/25	S400	30	0,78	0,350	0,60
		8Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	1186,0	0,00	0,00	C20/25	S400	54	0,50	0,350	0,60
	P32	6Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	458	0,00	0,00	C20/25	S400	20	0,21	0,262	0,60
		6Φ20 + 2Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	1681	0,00	0,00	C20/25	S400	20	0,64	0,497	0,60
		12Φ20	Φ6/.19	3,0	3,0	2075	0,00	0,00	C20/25	S400	20	0,65	0,820	0,60
		8Φ20	Φ6/.19	3,0	3,0	2069	0,00	0,00	C20/25	S400	20	0,76	0,546	0,60
		8Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	1100	0,00	0,00	C20/25	S400	28	0,47	0,350	0,60
		8Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	1335	0,00	0,00	C20/25	S400	30	0,57	0,350	0,60
		10Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	2009	0,00	0,00	C20/25	S400	24	0,80	0,437	0,60
		8Φ20	Φ6/.19	3,0	3,0	2362	0,00	0,00	C20/25	S400	36	0,87	0,546	0,60
	P34	10Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	1967,00	0,00	0,00	C20/25	S400	24	0,78	0,437	0,60
		10Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	1186,00	0,00	0,00	C20/25	S400	20	0,47	0,437	0,60
		10Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	1756,00	0,00	0,00	C20/25	S400	12	0,70	0,437	0,60

Quadro A3.4.8 - Continuação - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,20m; Escalão resistência ao fogo R90.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT IV	P12	6Φ25 + 2Φ20	Φ8/.20	3,0	3,5	2970,00	0,00	0,00	C20/25	S400	24	0,98	0,777	0,60
		6Φ16	Φ6/.19	3,0	3,5	1778,00	0,00	0,00	C20/25	S400	12	0,83	0,262	0,60
		6Φ20 + 2Φ16	Φ6/.19	3,0	3,5	1053,00	52,00	47,00	C20/25	S400	60	0,41	0,497	0,60
		6Φ16	Φ6/.19	3,0	3,5	379,02	51,94	70,41	C20/25	S400	6	0,18	0,262	0,60
		6Φ16	Φ6/.19	3,0	3,5	814,84	12,79	6,37	C20/25	S400	4	0,38	0,262	0,60
		6Φ16	Φ6/.19	3,0	3,5	535,38	18,97	18,10	C20/25	S400	8	0,25	0,262	0,60
		4Φ16 + 2Φ12	Φ6/.14	3,0	3,5	1293	0,00	0,00	C20/25	S400	48	0,62	0,224	0,60
		14Φ20	Φ6/.20	3,0	3,5	2061,00	41,22	0,00	C20/25	S400	12	0,82	0,956	0,60
		6Φ16	Φ6/.19	3,0	3,5	671,00	32,00	19,00	C20/25	S400	20	0,31	0,262	0,60
		8Φ20 + 6Φ16	Φ6/.19	3,0	3,5	2432,00	48,64	0,00	C20/25	S400	6	0,81	0,809	0,60
		8Φ20 + 4Φ16	Φ6/.19	3,0	3,5	2345	0,00	0,00	C20/25	S400	12	0,80	0,721	0,60
	P26	8Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	336	0,00	0,00	C20/25	S400	20	0,13	0,300	0,70
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,0	3,0	1496	0,00	0,00	C20/25	S400	20	0,59	0,234	0,70
	P30	8Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	1225,0	0,00	0,00	C20/25	S400	152	0,46	0,300	0,70
		6Φ16+4Φ12	Φ6/.24	3,0	3,0	744,0	0,00	0,00	C20/25	S400	110	0,28	0,309	0,70
		6Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	681,0	0,00	0,00	C20/25	S400	12	0,27	0,225	0,70
	P31	8Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	1126	0,00	0,00	C20/25	S400	24	0,42	0,300	0,70
	P32	8Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	336	0,00	0,00	C20/25	S400	20	0,13	0,300	0,70
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,0	3,0	1496	0,00	0,00	C20/25	S400	20	0,59	0,234	0,70
	P34	4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,0	3,0	1012,00	0,00	0,00	C20/25	S400	20	0,40	0,234	0,70
UT XII	P12	4Φ16 + 4Φ12	Φ6/.14	3,0	3,5	1997	0	0	C20/25	S400	24	0,82	0,234	0,70
		6Φ16	Φ6/.19	3,0	3,5	1002,14	23,16	27,98	C20/25	S400	16	0,41	0,225	0,70
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.19	3,0	7,0	863,42	55,68	14,39	C20/25	S400	2	0,35	0,234	0,70
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.19	3,0	3,5	399,71	129,32	43,14	C20/25	S400	2	0,16	0,234	0,70
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.20	3,0	3,5	747,92	157,29	67,48	C20/25	S400	2	0,31	0,234	0,70
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.19	3,0	3,5	581,29	37,75	43,79	C20/25	S400	4	0,24	0,234	0,70
	P36	10Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	341,0	43,90	25,90	C25/30	S500	2	0,10	0,184	0,80
		10Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	335,0	20,70	37,50	C25/30	S500	2	0,10	0,184	0,80
		10Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	344,0	20,20	40,30	C25/30	S500	2	0,10	0,184	0,80
		10Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	405,0	19,60	28,20	C25/30	S500	2	0,12	0,184	0,80

Quadro A3.4.9 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,20m; Escalão resistência ao fogo R120.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT IV	P8	4Φ12	Φ6/.125	3,0	3,0	2975	4	23	C20/25	S400	24	3,94	0,295	0,20
		4Φ25	Φ8/.20	3,0	3,0	1250	0	0	C20/25	S400	12	0,77	0,854	0,30
		4Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	2000	0	0			4	1,69	0,350	0,30
		4Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	1300	0	0			12	1,10	0,350	0,30
UT I	P55,59	4Φ25 + 2Φ20	Φ8/.19	2,5	3,0	551,46	15,99	2,7	C25/30	S500	4	0,22	0,966	0,35
UT IV	P8	6Φ12	Φ6/.14	3,0	3,0	109	1	10	C20/25	S400	12	0,08	0,221	0,40
		4Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	400	10,2	0			16	0,27	0,262	0,40
UT I	P55,59	4Φ20+2Φ12	Φ6/.14	2,5	3,0	493,59	13,74	19,25	C25/30	S500	4	0,21	0,430	0,45
		8Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	673,82	15,54	8,18			4	0,20	1,138	0,45
		4Φ25+2Φ20	Φ8/.19	2,5	3,0	645,33	15,98	3,75			4	0,23	0,751	0,45
UT III	P43,44	6Φ12	Φ6/.15	2,5	3,4	653,50	22,50	35,30	C25/30	S500	40	0,30	0,177	0,50
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.15	2,5	3,4	366,80	41,00	51,00			32	0,16	0,269	0,50
UT IV	P8	6Φ12	Φ6/.14	3,0	3,0	369	0	1	C20/25	S400	60	0,21	0,177	0,50
		6Φ12	Φ6/.14	3,0	3,0	162	0	16			16	0,09	0,177	0,50
UT III	P43,44	4Φ25+6Φ20	Φ8/.20	2,5	3,4	1223,10	73,60	36,90	C25/30	S500	4	0,31	0,913	0,55
UT IV	P8	4Φ25 + 8Φ20	Φ8/.24	3,0	3,0	3006	1	21	C20/25	S400	56	0,87	0,973	0,60
		6Φ20 + 4Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	2230	10	7			32	0,80	0,585	0,60
		10Φ20	Φ8/.20	3,0	3,0	2106	42,12	10			6	0,74	0,683	0,60
		10Φ25	Φ8/.20	3,0	3,0	2263	2	25			6	0,63	1,067	0,60
		6Φ25 + 6Φ20	Φ8/.24	3,0	3,0	3068	18	12			16	0,86	1,050	0,60
		4Φ16 + 2Φ12	Φ6/.14	3,0	3,0	1251	40	2			8	0,58	0,224	0,60
		4Φ25 + 8Φ20	Φ8/.24	3,0	3,0	3012	34	17			20	0,87	0,973	0,60
		10Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	1400	0	0			12	0,56	0,437	0,60
		4Φ25 + 2Φ12	Φ8/.20	3,0	3,0	2460	0	0			36	0,97	0,476	0,60
		8Φ25 + 2Φ20	Φ8/.20	3,0	3,0	2800	0	0			14	0,80	0,990	0,60
		8Φ20 + 2Φ12	Φ6/.20	3,0	3,0	2500	0	0			6	0,90	0,596	0,60
		4Φ20 + 2Φ12	Φ6/.20	3,0	3,0	2000	0	0			18	0,86	0,322	0,60
		10Φ20	Φ6/.20	3,0	3,0	2500	0	0			22	0,85	0,683	0,60
		4Φ16 + 2Φ12	Φ6/.20	3,0	3,0	1400	36,24	0			50	0,65	0,224	0,60
		10Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	1200	0	0			2	0,48	0,437	0,60
		6Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	1000	0	0			18	0,45	0,262	0,60
		8Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	1800	0	0			20	0,76	0,350	0,60
		8Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	600	0	0			4	0,25	0,350	0,60

Quadro A3.4.9 - Continuação - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,20m; Escalão resistência ao fogo R120.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT V	P35	6Φ16	2Φ6/0.20	4,0	4,9	363,97	12,48	101,83	C20/25	S500	8	0,16	0,328	0,60
UT XI	P10	6Φ20 + 4Φ16	Φ6/.19	3,0	3,9	2737	0	0	C20/25	S400	36	1,02	0,585	0,60
UT IV	P8	8Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	2800	0	0	C20/25	S400	12	1,06	0,300	0,70
		8Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	2100	0	0			8	0,79	0,300	0,70
	P28	16Φ20	Φ6/.19	3,0	3,0	883,0	0	0	C20/25	S400	12	0,23	0,937	0,70
UT XI	P15	8Φ20+ 2Φ16	Φ6/.14	3,0	3,9	2461	0	0	C20/25	S400	4	0,81	0,543	0,70
		6Φ16	Φ6/.19	3,0	3,9	310	0	0			8	0,13	0,225	0,70
UT IV	P8	10Φ25	Φ8/.20	3,0	3,0	2263	2	25	C20/25	S400	9	0,54	0,800	0,80

Quadro A3.4.10 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,25m; Escalão resistência ao fogo R30.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT I	P3	4Φ12	Φ6/.15	2,0	3,0	46,7	16,9	4,1	C20/25	S400	1	0,04	0,189	0,25
	P5	4Φ12	Φ6/.20	2,5	3,0	488,80	16,40	12,10	C16/20	S400	23	0,54	0,236	0,25
		6Φ16	Φ6/.20	2,5	3,0	119,10	12,10	24,40			7	0,10	0,629	0,25
		4Φ20	Φ6/.25	2,5	3,0	576,30	18,30	26,70			3	0,48	0,656	0,25
	P6	4Φ12	Φ6/.15	2,5	3,0	248,60	20,80	13,80	C20/25	S400	21	0,22	0,189	0,25
	P9	8Φ16	Φ6/.15	2,5	3,0	111,3	23,1	13,7	C25/30	S500	5	0,06	0,671	0,25
		8Φ16	Φ6/.15	2,5	3,0	3,6	33,5	30,2			2	0,00	0,671	0,25
		4Φ20+ 4Φ16	Φ6/.15	2,5	3,0	240,3	33,4	2			2	0,12	0,860	0,25
		4Φ20+ 4Φ16	Φ6/.15	2,5	3,0	207,1	50,7	12,1			4	0,10	0,860	0,25
	P23	4Φ12	Φ6/.15	2,0	3,0	30,1	3,7	9,8	C16/20	S400	13	0,03	0,236	0,25
UT I	P3	4Φ12	Φ6/.15	2,0	3,0	523,70	12,60	24,50	C20/25	S400	4	0,42	0,157	0,30
		6Φ12	Φ6/.15	2,0	3,0	556,40	25,90	12,20			2	0,42	0,236	0,30
		4Φ16	Φ6/.15	2,0	3,0	321,90	28,40	26,60			1	0,23	0,280	0,30
		6Φ20	Φ6/.15	2,0	3,0	799,80	25,60	23,40			2	0,45	0,656	0,30
UT I	P5	4Φ12	Φ6/.15	2,5	3,0	209,60	10,70	22,40	C16/20	S400	3	0,20	0,197	0,30
		4Φ12	Φ6/.15	2,5	3,0	152,20	22,50	5,50			6	0,15	0,197	0,30
		4Φ12	Φ6/.15	2,5	3,0	160,90	24,80	6,30			1	0,15	0,197	0,30
		6Φ12	Φ6/.15	2,5	3,0	87,20	20,30	18,00			1	0,08	0,295	0,30
		6Φ12	Φ6/.15	2,5	3,0	304,30	34,60	9,80			6	0,27	0,295	0,30
		6Φ12	Φ6/.15	2,5	3,0	417,80	35,90	14,60			1	0,37	0,295	0,30

Quadro A3.4.10 - Continuação - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,25m; Escalão resistência ao fogo R30.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT I	P5	4Φ16	Φ6/.20	2,5	3,0	355,70	24,40	27,80	C16/20	S400	2	0,30	0,350	0,30
		4Φ16	Φ6/.20	2,5	3,0	431,50	38,90	15,80			3	0,37	0,350	0,30
		4Φ16 + 2Φ12	Φ6/.20	2,5	3,0	476,20	39,10	13,50			5	0,38	0,448	0,30
		4Φ16 + 4Φ12	Φ6/.20	2,5	3,0	539,10	26,10	32,50			1	0,43	0,448	0,30
		4Φ20	Φ6/.15	2,5	3,0	209,60	10,70	22,40			2	0,15	0,546	0,30
	P3	6Φ12	Φ6/.15	2,0	3,0	368,10	30,20	9,40	C20/25	S400	2	0,24	0,202	0,35
		6Φ12	Φ6/.15	2,0	3,0	114,20	16,10	20,10			1	0,08	0,202	0,35
UT I	P5	4Φ16 + 2Φ12	Φ6/.15	2,5	3,0	495,80	21,10	25,00	C16/20	S400	2	0,32	0,336	0,40
		4Φ16 + 2Φ12	Φ6/.15	2,5	3,0	424,30	55,40	10,00			4	0,27	0,336	0,40
		6Φ16	Φ6/.20	2,5	3,0	848,30	31,30	31,60			3	0,52	0,393	0,40
		6Φ20	Φ6/.25	2,5	3,0	671,50	63,00	13,40			1	0,36	0,615	0,40
	P3	4Φ16 + 2Φ12	Φ6/.15	2,0	3,0	322,10	47,80	11,90	C20/25	S400	1	0,18	0,269	0,40
		4Φ20 + 2Φ12	Φ6/.15	2,0	3,0	600,30	63,90	15,80			2	0,33	0,269	0,40
UT I	P9	4Φ20 + 4Φ16	Φ6/.15	2,5	3,0	133,5	79,8	22,8	C25/30	S500	1	0,04	0,430	0,50
		4Φ20+ 4Φ16	Φ6/.15	2,5	3,0	480,7	112,6	3,9			2	0,15	0,430	0,50
		8Φ20	Φ6/.15	2,5	3,0	228,8	1,9	87,5			4	0,07	0,525	0,50
UT I	P23	4Φ16 + 4Φ12	Φ6/.15	2,0	3,7	261,30	29,70	13,70	C16/20	S400	6	0,12	0,273	0,60
UT I	P23	4Φ16 + 4Φ12	Φ6/.15	2,0	3,7	338,70	43,00	17,60	C16/20	S400	3	0,14	0,252	0,65

Quadro A3.4.11 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,25m; Escalão resistência ao fogo R60.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT I	P19	4Φ16	Φ8/.15	3,0	3,0	481,33	34,11	0	C25/30	S500	4	0,31	0,336	0,25
UT III	P37	8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,60	64,00	12,70	0,00	C25/30	S500	2	0,04	0,378	0,25
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,60	146	6,1	22,2	C25/30	S500	2	0,09	0,378	0,25
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,60	40	12,3	0	C25/30	S500	2	0,03	0,378	0,25
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,60	132	6,1	40,5	C25/30	S500	2	0,08	0,378	0,25
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,60	64	12,6	0	C25/30	S500	2	0,04	0,378	0,25
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,60	41	0	9,4	C25/30	S500	2	0,03	0,378	0,25
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,60	39	0	13,5	C25/30	S500	2	0,02	0,378	0,25
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,60	150	20,3	6,5	C25/30	S500	2	0,09	0,378	0,25
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,60	65	0	13,4	C25/30	S500	2	0,04	0,378	0,25

Quadro A3.4.11 - Continuação - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,25m; Escalão resistência ao fogo R60.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT III	P37	8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,6	64	10,1	0	C25/30	S500	2	0,04	0,378	0,25
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,6	129	2	40	C25/30	S500	2	0,08	0,378	0,25
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,6	64	10,1	0	C25/30	S500	2	0,04	0,378	0,25
UT I	P5	4Φ16 + 2Φ12	Φ6/.15	2,5	3,0	491,30	22,50	18,70	C16/20	S400	4	0,38	0,448	0,30
		6Φ20	Φ6/.25	2,5	3,0	761,50	31,10	33,80			12	0,47	0,820	0,30
		4Φ20	Φ6/.25	2,5	3,0	640,00	25,80	15,50			10	0,47	0,546	0,30
		4Φ16 + 4Φ12	Φ6/.15	2,5	3,0	681,80	24,50	18,00			6	0,50	0,546	0,30
		6Φ16 + 2Φ12	Φ6/.15	2,5	3,0	706,80	26,70	18,50			10	0,49	0,623	0,30
UT I	P1	4Φ12 + 2Φ10	Φ6/.13	3,0	2,8	55,1	10,8	29,04	C16/20	S400	2	0,04	0,227	0,35
		4Φ12 + 2Φ10		3,0	2,9	466,7	33,21	18,41			6	0,37	0,227	0,35
UT I		4Φ12	Φ6/.15	3,0	2,9	583,3	24,22	0	C16/20	S400	6	0,48	0,169	0,35
UT I		8Φ16	Φ6/.18	3,0	2,8	587,9	1,05	57,2	C16/20	S400	6	0,35	0,599	0,35
		6Φ16	Φ6/.18	3,0	2,95	132,5	33,21	48,83	C16/20	S400	2	0,09	0,450	0,35
UT I	P4	4Φ16 + 2Φ12	Φ6/.15	3,0	2,7	468,60	17,81	0	C16/20	S400	6	0,33	0,384	0,35
UT I	P1	8Φ16	Φ6/.18	3,0	2,8	704,9	1,92	73,81	C16/20	S400	1	0,44	0,599	0,35
		6Φ16	Φ6/.15	3,0	3,18	631,7	51,69	0	C16/20	S400	1	0,43	0,450	0,35
UT I	P45,46	6Φ12	Φ6/.15	2,5	3,0	37,40	15,50	5,00	C25/30	S500	2	0,02	0,202	0,35
		6Φ12	Φ6/.15	2,5	3,0	197,30	80,30	48,20	C25/30	S500	2	0,10	0,202	0,35
UT I	P5	6Φ20 + 2Φ16	Φ6/.20	2,5	3,0	1074,30	40,00	40,80	C16/20	S400	8	0,52	0,746	0,40
		6Φ20 + 2Φ16	Φ6/.20	2,5	3,0	909,20	41,40	19,10			16	0,44	0,746	0,40
UT I	P4	8Φ20	Φ6/.25	3,0	3,5	788,10	49,61	44,15	C16/20	S400	2	0,32	0,656	0,50
UT I		4Φ20 + 4Φ16	Φ6/.20	3,0	3,0	693,40	64,55	31,60	C16/20	S400	2	0,30	0,538	0,50
UT I		8Φ16	Φ6/.15	3,0	3,0	513,10	61,78	28,82	C16/20	S400	2	0,24	0,420	0,50
UT I		4Φ16 + 4Φ12	Φ6/.15	3,0	3,0	335,70	54,46	25,93	C16/20	S400	4	0,17	0,328	0,50
UT I		8Φ25	Φ8/.25	3,0	3,0	975,50	98,66	19,36	C16/20	S400	2	0,33	1,024	0,50
UT I		4Φ25 + 4Φ20	Φ8/.20	3,0	3,0	723,40	97,49	20,19	C16/20	S400	2	0,27	0,840	0,50
UT I		8Φ20	Φ6/.25	3,0	3,0	472,10	89,56	19,55	C16/20	S400	4	0,19	0,656	0,50
UT I		10Φ20	Φ6/.25	3,0	2,7	1322,10	65,55	30,16	C16/20	S400	2	0,51	0,820	0,50
UT IV	P51	10Φ12	Φ6/.15	3,0	3,0	706,00	30,90	70,50	C25/30	S400	2	0,19	0,135	0,70

Quadro A3.4.12 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,25m; Escalão resistência ao fogo R90.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT VII	P16	6Φ16	Φ6/.19	2,0	3,0	54,60	7,90	69,40	C25/30	S500	20	0,02	0,315	0,40
UT I	P17	8Φ12	Φ8/.20	4,0	3,0	31,44	58,58	1,61	C25/30	S500	3	0,01	0,157	0,60
UT VII	P16	4Φ20+ 4Φ16	Φ8/.20	4,0	3,0	31,44	58,58	1,61	C25/30	S500	1	0,51	0,358	0,60
		6Φ16	Φ6/0.19	2,0	3,0	1777,40	79,40	87,70	C25/30	S500	4	0,42	0,210	0,60
		6Φ16	Φ6/0.19	2,0	3,0	1306,10	71,70	82,70	C25/30	S500	5	0,45	0,210	0,60
		4Φ25+ 2Φ20	Φ6/0.19	2,0	4,0	1392,00	60,40	41,00	C25/30	S500	1	0,58	0,451	0,60
		6Φ20	Φ8/.24	2,0	3,0	2173,50	62,00	94,70	C25/30	S500	1	0,46	0,328	0,60
		6Φ16	Φ6/.24	2,0	3,0	1582,80	51,30	93,70	C25/30	S500	3	0,32	0,210	0,60
		6Φ16	Φ6/.19	2,0	3,0	1006,00	39,90	83,70	C25/30	S500	5	0,46	0,210	0,60
		8Φ20	Φ6/.19	2,0	3,0	1438,60	56,30	52,70	C25/30	S500	1	0,43	0,437	0,60
		4Φ20+ 2Φ16	Φ6/.24	2,0	4,0	1589,50	84,10	80,30	C25/30	S500	3	0,47	0,288	0,60
		6Φ16	Φ6/.19	2,0	3,0	1573,70	88,40	79,50	C25/30	S500	3	0,37	0,210	0,60
		4Φ20+ 2Φ16	Φ6/.19	2,0	3,0	1145,00	84,20	68,00	C25/30	S500	1	0,25	0,288	0,60
		6Φ16	Φ6/.19	2,0	4,0	836,20	62,60	120,70	C25/30	S500	4	0,14	0,210	0,60
UT III	P37	6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	1243,00	4,30	11,90	C25/30	S500	1	0,40	0,118	0,60
		6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	1005,00	4,80	13,60	C25/30	S500	1	0,32	0,118	0,60
		6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	443,00	2,00	27,00	C25/30	S500	1	0,14	0,118	0,60
		6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	296,00	1,40	24,80	C25/30	S500	1	0,10	0,118	0,60
		6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	194,00	14,90	0,00	C25/30	S500	1	0,06	0,118	0,60
		6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	230,00	15,00	0,00	C25/30	S500	1	0,07	0,118	0,60
		6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	195,00	16,70	0,00	C25/30	S500	1	0,06	0,118	0,60
		6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	1234	4,5	20,8	C25/30	S500	1	0,40	0,118	0,60
		6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	1001,00	4,90	24,60	C25/30	S500	1	0,32	0,118	0,60
		6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	406,00	1,90	49,80	C25/30	S500	1	0,13	0,118	0,60
		6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	1323,00	16,80	4,30	C25/30	S500	1	0,43	0,118	0,60
		6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	1071,00	18,60	4,60	C25/30	S500	1	0,34	0,118	0,60
		6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	409,00	12,70	19,50	C25/30	S500	1	0,13	0,118	0,60
		6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	301,00	30,00	7,20	C25/30	S500	1	0,10	0,118	0,60
		6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	131,00	4,30	0,00	C25/30	S500	1	0,04	0,118	0,60
		6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	170,00	2,00	0,00	C25/30	S500	1	0,05	0,118	0,60
		6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	144,00	6,00	0,00	C25/30	S500	1	0,05	0,118	0,60
		6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	117,00	10,70	0,00	C25/30	S500	1	0,04	0,118	0,60
		6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	1428,00	0,00	20,90	C25/30	S500	1	0,46	0,118	0,60
		6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	1206,00	0,00	21,20	C25/30	S500	1	0,39	0,118	0,60

Quadro A3.4.12 - Continuação - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,25m; Escalão resistência ao fogo R90.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT III	P37	6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	978,00	0,00	24,60	C25/30	S500	1	0,31	0,118	0,60
		6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	395,00	2,10	49,70	C25/30	S500	1	0,13	0,118	0,60
		6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	263,00	2,10	45,50	C25/30	S500	1	0,08	0,118	0,60
		6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	131,00	4,30	0,00	C25/30	S500	1	0,04	0,118	0,60
		6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	170,00	2,00	0,00	C25/30	S500	1	0,05	0,118	0,60
		6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	143,00	10,40	0,00	C25/30	S500	1	0,05	0,118	0,60
		6Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	117	10,7	0	C25/30	S500	1	0,04	0,118	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	132	1,2	0	C25/30	S500	1	0,04	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	172	0,5	0	C25/30	S500	1	0,05	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	145	0,6	0	C25/30	S500	1	0,05	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	117	19,3	0	C25/30	S500	1	0,04	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	92	18,3	0	C25/30	S500	1	0,03	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	101	13,7	0	C25/30	S500	1	0,03	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	1865	3,2	26,2	C25/30	S500	1	0,58	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	1463	3,8	16,3	C25/30	S500	1	0,46	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	157	16,3	0	C25/30	S500	1	0,05	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	119	15,3	0	C25/30	S500	1	0,04	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	80	14	0	C25/30	S500	1	0,02	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	1849	3,7	30,6	C25/30	S500	1	0,58	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	1457	3,9	21,3	C25/30	S500	1	0,45	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	270	1,4	45,7	C25/30	S500	1	0,08	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	134	1	0	C25/30	S500	1	0,04	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	173	0,7	0	C25/30	S500	1	0,05	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	146	0,7	0	C25/30	S500	1	0,05	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	118	19,1	0	C25/30	S500	1	0,04	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	93	18	0	C25/30	S500	1	0,03	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	64	16,5	0	C25/30	S500	1	0,02	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	129	0	15,6	C25/30	S500	1	0,04	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	168	0	16,9	C25/30	S500	1	0,05	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	144	0	19,7	C25/30	S500	1	0,04	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	116	0	18,7	C25/30	S500	1	0,04	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	86	0	17,2	C25/30	S500	1	0,03	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	55	0	15,4	C25/30	S500	1	0,02	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	189	0	16	C25/30	S500	1	0,06	0,157	0,60

Quadro A3.4.12 - Continuação - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,25m; Escalão resistência ao fogo R90.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT III	P37	8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	233	0	15,9	C25/30	S500	1	0,07	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	190	0	18	C25/30	S500	1	0,06	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	148	0	17,2	C25/30	S500	1	0,05	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	107	0	15,8	C25/30	S500	1	0,03	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	69	0	15,8	C25/30	S500	1	0,02	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	1959	31,7	3,8	C25/30	S500	1	0,61	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	1553	21,8	4,1	C25/30	S500	1	0,48	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	132	0	10,8	C25/30	S500	1	0,04	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	178	0	9,6	C25/30	S500	1	0,06	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	145	0	11,1	C25/30	S500	1	0,05	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	123	0	20,8	C25/30	S500	1	0,04	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	97	0	19,8	C25/30	S500	1	0,03	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	103	0	14,9	C25/30	S500	1	0,03	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	90	10,8	0	C25/30	S500	1	0,03	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	61	10,7	0	C25/30	S500	1	0,02	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	1813	0	30,5	C25/30	S500	1	0,56	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	90	10,8	0	C25/30	S500	1	0,03	0,157	0,60
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	61	10,7	0	C25/30	S500	1	0,02	0,157	0,60
UT I	P17	8Φ16	Φ8/.20	4,0	3,0	187,01	91,11	1,08	C25/30	S500	3	0,05	0,240	0,70
UT I	P17	4Φ20 + 8Φ16	Φ8/.20	4,0	3,0	3184,23	99,41	66,54	C25/30	S500	1	0,65	0,374	0,80

Quadro A3.4.13 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,25m; Escalão resistência ao fogo R120.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT I	P57	6Φ12	Φ6/.14	2,5	3,0	403,28	11,42	3,51	C25/30	S500	4	0,24	0,236	0,30
UT VII	P24	4Φ20+ 4Φ12	Φ6/.15	2,5	3,2	473,60	3,50	13,20	C25/30	S500	6	0,19	0,446	0,40
UT III	P61	8Φ12	Φ6/.14	2,5	3,5	64,93	5,11	0,09	C25/30	S500	4	0,02	0,189	0,50
UT III	P43	8Φ12	Φ6/.14	2,5	3,4	232,98	6,47	11,51	C25/30	S500	10	0,07	0,157	0,60
UT V	P35	4Φ20+8Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,4	331,00	97,84	70,68	C20/25	S500	12	0,08	0,498	0,60
UT VII	P24	8Φ20	Φ8/.15	2,5	3,2	2471,40	63,60	127,60	C25/30	S500	10	0,67	0,437	0,60
		8Φ16	Φ8/.15	2,5	3,2	1517,40	53,30	220,60	C25/30	S500	15	0,46	0,280	0,60
		12Φ20	Φ8/.15	2,5	3,2	1080,60	1,00	59,90	C25/30	S500	7	0,25	0,656	0,60

Quadro A3.4.13 - Continuação - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,25m; Escalão resistência ao fogo R120.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT VII	P24	12Φ20	Φ8/.15	2,5	3,2	3497,00	3,40	74,00	C25/30	S500	10	0,82	0,656	0,60
UT I	P53	6Φ25 +	Φ8	2,5	3,0	991,44	12,43	83,51	C25/30	S500	4	0,15	0,544	0,95
	P56	6Φ25 +	Φ8/19	2,5	3,0	975,33	0,99	29,09	C25/30	S500	4	0,15	0,544	0,95

Quadro A3.4.14 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,30m; Escalão resistência ao fogo R60.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT I	P1	6Φ16	Φ6/.18	3,0	2,9	486,5	3,29	0	C16/20	S400	2	0,33	0,437	0,30
		4Φ16	Φ6/.18	3,0	2,9	296,5	6,93	0	C16/20	S400	4	0,22	0,291	0,30
		4Φ16+	Φ6/.15	3,0	3,18	550,2	49,03	19,58	C16/20	S400	24	0,37	0,455	0,30
		4Φ12	Φ6/.15	3,0	2,9	305,8	21,76	20,54	C16/20	S400	8	0,25	0,164	0,30
		8Φ16 + 2Φ12	Φ6/.15	3,0	2,9	766,1	27,57	32,24	C16/20	S400	8	0,45	0,665	0,30
		4Φ16 + 4Φ12	Φ6/.15	3,0	2,9	770,2	16,14	37,53	C16/20	S400	10	0,51	0,455	0,30
		6Φ16	Φ6/.18	3,0	2,9	357,6	41,29	0	C16/20	S400	2	0,24	0,437	0,30
UT I	P4	6Φ20	Φ6/.25	3,0	2,7	1261,60	7,43	63,1	C16/20	S400	4	0,73	0,683	0,30
		4Φ16	Φ6/.20	3,0	2,7	353,10	8,56	0	C16/20	S400	4	0,26	0,291	0,30
		4Φ20	Φ6/.25	3,0	3,2	626,00	22,01	0	C16/20	S400	8	0,42	0,455	0,30
		4Φ16	Φ6/.20	3,0	3,0	282,20	12,60	0	C16/20	S400	6	0,21	0,291	0,30
		4Φ25 + 2Φ20	Φ8/.25	3,0	3,5	1296,5	39,95	0	C16/20	S400	2	0,65	0,939	0,30
		6Φ20	Φ6/.25	3,0	3,0	1015,3	5,28	0	C16/20	S400	2	0,58	0,683	0,30
		4Φ20 + 2Φ16	Φ6/.20	3,0	3,0	737,6	19,75	0	C16/20	S400	2	0,45	0,601	0,30
		6Φ16	Φ6/.20	3,0	3,0	462,4	11,98	2,23	C16/20	S400	4	0,31	0,437	0,30
		4Φ25 +	Φ6/.20	3,0	3,0	619,00	60,49	0	C16/20	S400	2	0,25	1,376	0,30
		4Φ25 + 2Φ20	Φ8/.25	3,0	3,0	453,80	55,90	0	C16/20	S400	6	0,23	0,939	0,30
UT I	P11	4Φ16	Φ6/.19	2,5	4,0	461,00	30,50	0,00	C20/25	S400	4	0,29	0,233	0,30
		4Φ20	Φ6/.24	2,5	3,0	485,00	35,40	30,20	C20/25	S400	24	0,28	0,364	0,30
		4Φ16	Φ6/.19	2,5	4,0	731,00	32,60	3,90	C20/25	S400	26	0,46	0,233	0,30
		8Φ12	Φ6/.14	2,5	3,0	356,00	18,00	73,80	C20/25	S400	6	0,22	0,262	0,30
		4Φ16+ 4Φ12	Φ6/.14	2,5	3,0	433,00	25,60	82,30	C20/25	S400	2	0,25	0,364	0,30
		8Φ16	Φ6/.19	2,5	4,0	909,00	50,60	67,10	C20/25	S400	10	0,48	0,466	0,30
UTIII	P28	4Φ16	Φ6/.19	3,0	3,5	389,0	8,78	0	C20/25	S400	8	0,25	0,233	0,30
UT VI	P51	6Φ12	Φ6/.15	3,0	3,5	26,10	2,70	14,00	C25/30	S400	2	0,01	0,157	0,30

Quadro A3.4.14 - Continuação - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,30m; Escalão resistência ao fogo R60.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT I	P1	6Φ16	Φ6/.15	3,0	3,18	704,9	1,92	73,81	C16/20	S400	4	0,47	0,437	0,30
		8Φ16	Φ6/.18	3,0	3,1	875,13	46,17	0	C16/20	S400	4	0,53	0,583	0,30
	P45,46	6Φ12	Φ6/.15	2,5	3,0	151,90	22,70	11,60	C25/30	S500	4	0,04	0,197	0,30
		6Φ12	Φ6/.15	2,5	3,0	148,20	26,10	4,60	C25/30	S500	4	0,04	0,197	0,30
	P4	6Φ25	Φ8/.30	3,0	3,2	1518,1	44,69	0	C16/20	S400	4	0,71	1,067	0,30
UT I	P45,46	4Φ16	Φ6/.20	2,5	3,0	138,90	33,90	13,60	C25/30	S500	4	0,03	0,200	0,35
		4Φ16	Φ6/.15	2,5	3,0	89,20	47,30	17,00	C25/30	S500	4	0,04	0,200	0,35
		4Φ16	Φ6/.15	2,5	3,0	85,40	18,50	6,40	C25/30	S500	4	0,02	0,200	0,35
		4Φ16	Φ6/.15	2,5	3,0	49,2	34,10	8,10	C25/30	S500	4	0,00	0,200	0,35
		4Φ16	Φ6/.15	2,5	3,0	95,20	17,40	5,00	C25/30	S500	4	0,03	0,200	0,35
		4Φ16	Φ6/.15	2,5	3,0	124,40	23,80	3,40	C25/30	S500	4	0,01	0,200	0,35
		4Φ16	Φ6/.15	2,5	3,0	136,00	26,30	2,90	C25/30	S500	4	0,02	0,200	0,35
UT I	P1	6Φ12	Φ6/.13	3,0	2,8	55,1	10,8	29,04	C16/20	S400	2	0,03	0,184	0,40
		6Φ12	Φ6/.15	3,0	2,8	380,4	35,18	7,36	C16/20	S400	20	0,23	0,184	0,40
UT I	P4	8Φ25	Φ8/.30	3,0	3,2	1633,00	43,52	125,88	C16/20	S400	4	0,57	1,067	0,40
		8Φ20	Φ6/.25	3,0	3,0	1174,90	32,23	99,76	C16/20	S400	2	0,51	0,683	0,40
		8Φ16	Φ6/.20	3,0	3,0	874,40	28,11	94,22	C16/20	S400	2	0,44	0,437	0,40
		4Φ16+	Φ6/.15	3,0	3,0	575,00	24,57	84,79	C16/20	S400	4	0,31	0,341	0,40
		4Φ20+2Φ16	Φ6/.20	3,0	3,0	721,20	16,85	0	C16/20	S400	2	0,36	0,451	0,40
		6Φ16	Φ6/.20	3,0	3,0	526,20	16,13	0	C16/20	S400	4	0,29	0,328	0,40
		6Φ12	Φ6/.15	3,0	3,0	141,30	21,46	0	C16/20	S400	2	0,09	0,184	0,40
		6Φ25 + 2Φ16	Φ8/.20	3,0	3,0	1459,60	48,63	126,72	C16/20	S400	2	0,55	0,910	0,40
		6Φ20+2Φ16	Φ6/.20	3,0	3,0	1071,00	41,29	118,75	C16/20	S400	2	0,48	0,621	0,40
		4Φ20+	Φ6/.20	3,0	3,0	682,40	34,87	110,76	C16/20	S400	2	0,32	0,560	0,40
		8Φ16	Φ6/.20	3,0	3,0	293,40	22,58	116,06	C16/20	S400	2	0,15	0,437	0,40
		8Φ16	Φ6/.20	3,0	3,5	945,10	43,66	0	C16/20	S400	4	0,48	0,437	0,40
		4Φ16+	Φ6/.15	3,0	3,0	549,60	33,13	0	C16/20	S400	2	0,30	0,341	0,40
		4Φ16+	Φ6/.20	3,0	3,0	352,20	26,34	0	C16/20	S400	4	0,20	0,280	0,40
UT I	P11	6Φ20+4Φ16	Φ6/.19	2,5	3,0	1064,00	63,10	102,70	C20/25	S400	14	0,39	0,585	0,40
		4Φ16+6Φ12	Φ6/.14	2,5	3,0	222,00	63,1	0,00	C20/25	S400	6	0,10	0,322	0,40
		10Φ16	Φ6/.19	2,5	3,0	290,00	77,70	0,00	C20/25	S400	2	0,12	0,437	0,40
		4Φ25+6Φ20	Φ8/.24	2,5	3,0	1468,00	19,80	124,40	C20/25	S400	14	0,46	0,837	0,40
		6Φ16+4Φ12	Φ6/.14	2,5	3,0	226,00	88,80	0,00	C20/25	S400	16	0,10	0,361	0,40
		6Φ25+4Φ20	Φ8/.24	2,5	3,0	1537,00	55,20	140,40	C20/25	S400	6	0,47	0,913	0,40

Quadro A3.4.14 - Continuação - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,30m; Escalão resistência ao fogo R60.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT I	P11	4Φ25+6Φ20	Φ8/.24	2,5	3,0	1068,00	74,50	93,20	C20/25	S400	4	0,34	0,837	0,40
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	2,5	3,0	1431,00	0,00	11,00	C20/25	S400	10	0,65	0,273	0,40
		8Φ16+4Φ12	Φ6/.14	2,5	3,0	1418,00	0,00	56,70	C20/25	S400	6	0,57	0,448	0,40
		4Φ25+8Φ20	Φ8/.24	2,5	3,0	2214,00	0,00	67,10	C20/25	S400	4	0,65	0,973	0,40
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	2,5	3,0	973,00	0,00	95,20	C20/25	S400	4	0,44	0,273	0,40
		6Φ16+4Φ12	Φ6/.14	2,5	3,0	1356,00	0,00	67,70	C20/25	S400	10	0,58	0,361	0,40
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	2,5	3,0	860,00	21,6	107,30	C20/25	S400	10	0,39	0,273	0,40
		4Φ16+6Φ12	Φ6/.14	2,5	3,0	476,00	65,30	43,90	C20/25	S400	8	0,21	0,322	0,40
		4Φ20+6Φ16	Φ6/.19	2,5	3,0	1273,00	31,46	91,90	C20/25	S400	6	0,48	0,535	0,40
		6Φ25+4Φ20	Φ8/.24	2,5	3,0	1826,00	58,80	82,10	C20/25	S400	4	0,55	0,913	0,40
		4Φ16+6Φ12	Φ6/.14	2,5	3,0	1309,00	0,00	46,50	C20/25	S400	10	0,57	0,322	0,40
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	2,5	3,0	624,00	14,48	102,70	C20/25	S400	16	0,28	0,273	0,40
		4Φ20+6Φ16	Φ6/.19	2,5	3,0	1933,00	0,00	17,00	C20/25	S400	10	0,73	0,535	0,40
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	2,5	3,0	140,00	57,70	0,00	C20/25	S400	8	0,06	0,273	0,40
		10Φ16	Φ6/.19	2,5	3,0	740,00	34,10	81,10	C20/25	S400	4	0,30	0,437	0,40
		10Φ20	Φ6/.24	2,5	3,0	1043,00	42,40	96,90	C20/25	S400	8	0,36	0,683	0,40
		4Φ25+6Φ20	Φ8/.24	2,5	3,0	1354,00	49,60	96,00	C20/25	S400	4	0,43	0,837	0,40
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	2,5	3,0	206,00	58,50	0,00	C20/25	S400	16	0,09	0,273	0,40
		4Φ20+6Φ16	Φ6/.19	2,5	3,0	761,00	38,30	113,90	C20/25	S400	32	0,29	0,535	0,40
		6Φ20+4Φ16	Φ6/.19	2,5	3,0	1090,00	43,60	120,90	C20/25	S400	4	0,40	0,585	0,40
		6Φ25+4Φ20	Φ8/.24	2,5	3,0	1426,00	52,10	117,80	C20/25	S400	4	0,43	0,913	0,40
		10Φ16	Φ6/.19	2,5	3,0	430,00	61,50	68,00	C20/25	S400	22	0,17	0,437	0,40
		6Φ20+4Φ16	Φ6/.19	2,5	3,0	634,00	59,70	99,60	C20/25	S400	4	0,23	0,585	0,40
		6Φ20+4Φ16	Φ6/.19	2,5	3,0	762,00	59,90	76,70	C20/25	S400	8	0,28	0,585	0,40
		4Φ16+6Φ12	Φ6/.14	2,5	3,0	756,00	125,40	11,27	C20/25	S400	16	0,33	0,322	0,40
		4Φ16+8Φ12	Φ6/.14	2,5	3,0	319,00	73,40	0,00	C20/25	S400	2	0,13	0,372	0,40
		4Φ25+6Φ20	Φ8/.24	2,5	3,0	852,00	42,50	91,30	C20/25	S400	8	0,27	0,837	0,40
		4Φ25+8Φ20	Φ8/.24	2,5	3,0	1263,00	52,40	96,10	C20/25	S400	2	0,37	0,973	0,40
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	2,5	3,0	131,00	48,50	0,00	C20/25	S400	4	0,06	0,273	0,40
		4Φ16+6Φ12	Φ6/.14	2,5	3,0	187,00	65,90	0,00	C20/25	S400	4	0,08	0,322	0,40
		4Φ25+6Φ20	Φ8/.24	2,5	3,0	1425,00	14,70	77,60	C20/25	S400	10	0,45	0,837	0,40
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	2,5	3,0	255,00	56,40	0,00	C20/25	S400	6	0,12	0,273	0,40
		8Φ16	Φ6/.19	2,5	3,0	333,00	76,20	0,00	C20/25	S400	2	0,14	0,350	0,40
		6Φ20+4Φ16	Φ6/.19	2,5	3,0	1033,00	62,40	61,60	C20/25	S400	10	0,38	0,585	0,40

Quadro A3.4.14 - Continuação - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,30m; Escalão resistência ao fogo R60.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT I	P11	4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	2,5	3,0	717,00	16,94	110,30	C20/25	S400	18	0,33	0,273	0,40
		4Φ16+6Φ12	Φ6/.14	2,5	3,0	890,00	21,9	115,50	C20/25	S400	28	0,39	0,322	0,40
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	2,5	3,0	1426,00	0,00	24,00	C20/25	S400	30	0,65	0,273	0,40
		4Φ20+4Φ16	Φ6/.19	2,5	3,0	1817,00	0,00	16,00	C20/25	S400	2	0,73	0,448	0,40
		10Φ12	Φ6/.19	2,5	3,0	196,00	18,80	57,00	C20/25	S400	4	0,09	0,246	0,40
		12Φ16	Φ6/.19	2,5	3,0	788,00	84,30	58,20	C20/25	S400	4	0,30	0,525	0,40
UT VII	P13	8Φ16	Φ6/.20	3,0	3,4	513,03	72,76	60,70	C20/25	S400	26	0,21	0,350	0,40
UT I	P4	8Φ25	Φ8/.30	3,0	2,7	1789,90	0,76	55,63	C16/20	S400	2	0,63	1,067	0,40
		6Φ20	Φ6/.25	3,0	3,2	932,00	32,04	0	C16/20	S400	6	0,45	0,512	0,40
		4Φ20+4Φ16	Φ6/.20	3,0	2,7	1407,20	38,14	0	C16/20	S400	4	0,65	0,560	0,40
UT I	P45,46	6Φ16+2Φ12	Φ6/.15	2,5	4,0	1964,60	61,30	68,70	C25/30	S500	24	0,58	0,249	0,50
UT I	P4	8Φ25	Φ8/.30	3,0	3,0	1518,50	142,12	21,72	C16/20	S400	6	0,48	0,854	0,50
UT I	P45,46	8Φ25+8Φ20	Φ8/.25	2,5	4,0	3623,00	156,20	138,60	C25/30	S500	24	0,51	0,747	0,75
UT I	P4	10Φ16	Φ6/.20	3,0	3,2	590,10	118,58	0	C16/20	S400	1	0,17	0,273	0,80
		10Φ16	Φ6/.20	3,0	3,5	479,90	176,67	0	C16/20	S400	1	0,14	0,273	0,80
		4Φ16 + 6Φ12	Φ6/.15	3,0	3,0	386,10	216,84	0	C16/20	S400	3	0,12	0,201	0,80
		10Φ12	Φ6/.15	3,0	3,0	193,00	229,71	0	C16/20	S400	2	0,06	0,154	0,80
UT I	P45,46	4Φ16 + 10Φ12	Φ6/.15	2,5	3,0	2206,60	172,20	74,70	C25/30	S500	24	0,42	0,210	0,80
		14Φ16	Φ6/.20	2,5	3,0	2635,90	166,30	119,50	C25/30	S500	4	0,47	0,306	0,80
		12Φ20+2Φ16	Φ6/.20	2,5	3,0	3364,40	165,60	107,50	C25/30	S500	8	0,54	0,453	0,80
UT I	P4	10Φ16	Φ6/.20	3,0	2,7	679,80	33,66	0	C16/20	S400	2	0,19	0,273	0,80
UT I	P4	10Φ16	Φ6/.20	3,0	3,2	356,90	99,28	0	C16/20	S400	1	0,09	0,243	0,90
		10Φ16	Φ6/.20	3,0	3,5	288,20	128,27	0	C16/20	S400	1	0,07	0,243	0,90
		10Φ16	Φ6/.20	3,0	3,0	210,80	140,32	0	C16/20	S400	1	0,05	0,243	0,90
		4Φ16 + 6Φ12	Φ6/.15	3,0	3,0	135,60	125,96	0	C16/20	S400	3	0,04	0,179	0,90
UT I	P45,46	4Φ16+10Φ12	Φ6/.15	2,5	3,0	2642,10	144,90	243,30	C25/30	S500	28	0,46	0,187	0,90
	P45,46	16Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	4081,70	71,70	202,70	C25/30	S500	8	0,48	0,759	0,90
	P45,46	14Φ20	Φ6/.25	2,5	3,0	3288,00	212,00	136,60	C25/30	S500	36	0,48	0,425	0,90
	P45,46	14Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	4901,80	152,40	228,50	C25/30	S500	36	0,61	0,664	0,90
	P45,46	12Φ20+2Φ16	Φ6/.20	2,5	3,0	3519,80	186,80	188,00	C25/30	S500	40	0,52	0,403	0,90
UT I	P4	10Φ16	Φ6/.20	3,0	2,7	421,20	54,66	0	C16/20	S400	2	0,11	0,243	0,90
UT I	P45,46	4Φ25+10Φ20	Φ8/.25	2,5	3,0	4548,50	178,40	194,00	C25/30	S500	18	0,61	0,467	0,95
		4Φ16+12Φ12	Φ6/.15	2,5	3,0	3247,40	133,80	182,60	C25/30	S500	24	0,53	0,198	0,95
UT I	P45,46	4Φ25 + 10Φ20	Φ8/.25	2,5	3,0	5243,30	68,10	175,70	C25/30	S500	18	0,67	0,444	1,00

Quadro A3.4.14 - Continuação - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,30m; Escalão resistência ao fogo R60.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT I	P4	14Φ16	Φ6/.20	3,0	3,2	590,30	81,57	0	C16/20	S400	3	0,12	0,278	1,10
		12Φ16	Φ6/.20	3,0	3,0	230,90	115,4	0	C16/20	S400	1	0,05	0,238	1,10
		4Φ16 + 8Φ12	Φ6/.15	3,0	3,0	163,50	35,25	0	C16/20	S400	3	0,04	0,169	1,10

Quadro A3.4.15 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,30m; Escalão resistência ao fogo R90.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT I	P2	4Φ12	Φ6/.14	3,0	3,05	485,98	8,26	0	C16/20	S400	4	0,40	0,164	0,30
		6Φ12	Φ6/.14	3,0	3,61	176,24	15,31	0	C16/20	S400	4	0,14	0,246	0,30
		6Φ25	Φ8/.30	3,0	3,0	254,06	36,58	0	C16/20	S400	2	0,05	1,067	0,30
		4Φ25+ 2Φ20	Φ8/.25	3,0	3,05	130,15	31,67	0	C16/20	S400	2	0,06	0,939	0,30
		4Φ20	Φ8/.24	3,0	3,0	784,08	31,63	0	C16/20	S400	2	0,52	0,455	0,30
		4Φ25 + 2Φ20	Φ8/.25	3,0	3,6	581,99	69,07	0	C16/20	S400	2	0,31	0,811	0,30
		4Φ25 + 2Φ20	Φ8/.25	3,0	3,95	184,78	117,65	0	C16/20	S400	2	0,10	0,811	0,30
UT I	P2	4Φ12	Φ6/.14	3,0	3,0	508,05	8,32	0	C16/20	S400	8	0,42	0,164	0,30
		6Φ12	Φ6/.14	3,0	3,6	168,32	20,56	0	C16/20	S400	4	0,13	0,246	0,30
		8Φ12	Φ6/.14	3,0	3,95	88,86	18,08	0	C16/20	S400	4	0,05	0,328	0,30
		6Φ12	Φ6/.14	3,0	3,05	676,50	11,82	0	C16/20	S400	32	0,53	0,246	0,30
		6Φ16	Φ6/.19	3,0	3,05	141,22	35,85	0	C16/20	S400	8	0,08	0,437	0,30
UT VII	P13	4Φ16	Φ6/.20	3,0	3,4	247,12	32,04	0,00	C20/25	S400	16	0,15	0,233	0,30
	P16	4Φ16	Φ6/.19	2,0	4,0	560,60	41,90	33,60	C25/30	S500	7	0,29	0,233	0,30
		4Φ20	Φ6/.24	2,0	3,0	904,30	32,50	59,80	C25/30	S500	8	0,43	0,364	0,30
		4Φ16	Φ6/.19	2,0	3,0	865,20	32,90	50,90	C25/30	S500	16	0,45	0,233	0,30
		4Φ16	Φ6/.19	2,0	3,0	981,80	31,80	45,70	C25/30	S500	10	0,52	0,233	0,30
		4Φ16	Φ6/.19	2,0	3,0	713,20	19,30	30,60	C25/30	S500	5	0,37	0,233	0,30
		4Φ16	Φ6/.19	2,0	3,0	527,50	29,30	33,70	C25/30	S500	4	0,28	0,233	0,30
		4Φ20+ 2Φ16	Φ6/.19	2,0	3,0	965,50	58,50	54,40	C25/30	S500	3	0,42	0,481	0,30
		4Φ16	Φ6/.19	2,0	3,0	795,00	28,30	21,40	C25/30	S500	4	0,42	0,233	0,30
		4Φ16	Φ6/.19	2,0	3,0	534,10	32,60	19,40	C25/30	S500	37	0,28	0,233	0,30
		4Φ20	Φ6/.24	2,0	4,0	356,30	45,80	42,30	C25/30	S500	5	0,17	0,364	0,30
UT IV	P30	4Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	120,0	0	0	C20/25	S400	80	0,07	0,233	0,30
UT I	P2	4Φ16	Φ6/.19	3,0	3,05	250,73	38,22	0	C16/20	S400	8	0,15	0,219	0,40

Quadro A3.4.15 - Continuação - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,30m; Escalão resistência ao fogo R90.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT I	P2	4Φ16	Φ6/.19	3,0	3,05	459,57	30,84	0	C16/20	S400	8	0,27	0,219	0,40
UT VII	P16	6Φ16	Φ6/.19	2,0	4,0	981,80	31,80	45,70	C25/30	S500	4	0,38	0,262	0,40
		6Φ16	Φ6/.19	2,0	3,0	846,40	41,30	39,90	C25/30	S500	8	0,33	0,262	0,40
		6Φ16	Φ6/.19	2,0	4,0	713,20	19,30	30,60	C25/30	S500	2	0,27	0,262	0,40
		6Φ16	Φ6/.19	2,0	4,0	527,50	29,30	33,70	C25/30	S500	2	0,20	0,262	0,40
		6Φ20	Φ6/.24	2,0	3,0	924,50	96,0	21,80	C25/30	S500	2	0,32	0,410	0,40
		4Φ20	Φ6/.24	2,0	3,0	284,10	67,00	16,40	C25/30	S500	6	0,11	0,273	0,40
		4Φ20	Φ6/.24	2,0	4,0	349,50	63,8	10,30	C25/30	S500	4	0,13	0,273	0,40
		4Φ16	Φ6/.19	2,0	3,0	178,40	38,5	11,80	C25/30	S500	10	0,05	0,175	0,40
		4Φ16	Φ6/.19	2,0	4,0	750,50	63,50	41,80	C25/30	S500	2	0,31	0,175	0,40
UT I	P2	4Φ16+2Φ10	Φ6/.125	3,0	3,05	518,68	43,45	0	C16/20	S400	4	0,27	0,232	0,45
		4Φ16+2Φ10	Φ6/.125	3,0	3,05	908,82	31,27	0	C16/20	S400	4	0,48	0,232	0,45
UT VII	P16	6Φ20	Φ6/.24	2,0	4,0	1190,80	79,80	31,50	C25/30	S500	3	0,38	0,364	0,45
UT I	P2	4Φ16+2Φ10	Φ6/.125	3,0	3,05	781,41	35,87	0	C16/20	S400	16	0,38	0,209	0,50
		4Φ16+2Φ10	Φ6/.125	3,0	3,05	1370,00	28,14	0	C16/20	S400	6	0,66	0,209	0,50
UT VII	P16	4Φ25 + 4Φ20	Φ8/.24	2,0	3,0	1901,90	137,30	46,10	C25/30	S500	8	0,47	0,560	0,50
		4Φ20+ 2Φ16	Φ6/.19	2,0	3,0	1427,40	78,70	48,30	C25/30	S500	9	0,43	0,288	0,50
		4Φ20+ 2Φ16	Φ6/.19	2,0	4,0	1366,50	110,40	35,80	C25/30	S500	4	0,41	0,288	0,50
		6Φ16	Φ6/.19	2,0	3,0	1023,50	115,00	34,20	C25/30	S500	10	0,33	0,210	0,50
UT VII	P16	6Φ20	Φ6/24	2,0	4,0	1933,40	63,50	55,70	C25/30	S500	2	0,49	0,273	0,60
		4Φ20+ 2Φ16	Φ6/.19	2,0	4,0	1830,00	42,50	51,30	C25/30	S500	6	0,48	0,240	0,60
		6Φ16	Φ6/.19	2,0	4,0	1733,50	43,50	48,70	C25/30	S500	10	0,48	0,175	0,60
UT IV	P29	8Φ16	Φ6/19	3,0	3,0	205,0	0	0	C20/25	S400	70	0,06	0,200	0,70
		4Φ16+4Φ12	Φ6/19	3,0	3,0	1496,0	0	0	C20/25	S400	64	0,42	0,156	0,70
UT IV	P29	12Φ16	Φ6/24	3,0	3,0	2935,0	0	0	C20/25	S400	8	0,74	0,300	0,70
		10Φ20	Φ6/24	3,0	3,0	2935,0	0	0	C20/25	S400	8	0,69	0,390	0,70
		16Φ20	Φ6/24	3,0	3,0	4079,0	0	0	C20/25	S400	8	0,82	0,624	0,70
		16Φ20	Φ6/24	3,0	3,0	3939,0	0	0	C20/25	S400	24	0,79	0,624	0,70
		10Φ25+8Φ20	Φ6/24	3,0	3,0	3727,0	0	0	C20/25	S400	18	0,63	0,922	0,70
UT IV	P26	10Φ20	Φ6/24	3,0	3,0	2935	0	0	C20/25	S400	20	0,69	0,390	0,70
		16Φ20	Φ6/24	3,0	3,0	4079	0	0	C20/25	S400	20	0,82	0,624	0,70
		14Φ20	Φ6/24	3,0	3,0	3889	0	0	C20/25	S400	24	0,82	0,546	0,70
		10Φ25+4Φ20	Φ6/24	3,0	3,0	4357	0	0	C20/25	S400	24	0,81	0,766	0,70
UT IV	P30	8Φ16	Φ6/19	3,0	3,0	636,0	0	0	C20/25	S400	58	0,17	0,200	0,70

Quadro A3.4.15 - Continuação - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,30m; Escalão resistência ao fogo R90.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT IV	P30	4Φ20+4Φ16	Φ6/24	3,0	3,0	3916,0	0	0	C20/25	S400	208	1,02	0,256	0,70
UT IV	P31	8Φ16	Φ6/24	3,0	3,0	205,0	0	0	C20/25	S400	6	0,06	0,200	0,70
		10Φ25+8Φ20	Φ6/24	3,0	3,0	3727	0	0	C20/25	S400	12	0,63	0,922	0,70
		4Φ20+4Φ16	Φ6/24	3,0	3,0	4585	0	0	C20/25	S400	6	1,19	0,256	0,70
UT IV	P32	10Φ20	Φ6/24	3,0	3,0	2935	0	0	C20/25	S400	20	0,69	0,390	0,70
		16Φ20	Φ6/24	3,0	3,0	4079	0	0	C20/25	S400	20	0,82	0,624	0,70
		14Φ20	Φ6/24	3,0	3,0	3889	0	0	C20/25	S400	24	0,82	0,546	0,70
		10Φ25+4Φ20	Φ8/20	3,0	3,0	4357	0	0	C20/25	S400	24	0,81	0,766	0,70
UT IV	P34	10Φ20	Φ8/20	3,0	3,0	2178,00	0	0	C20/25	S400	10	0,51	0,390	0,70
		10Φ20	Φ8/20	3,0	3,0	3842,00	0	0	C20/25	S400	12	0,90	0,390	0,70
UT XII	P12	14Φ20	Φ6/20	3,0	3,0	5506,00	0	0	C20/25	S400	4	1,20	0,546	0,70
		24Φ25	Φ8/.30	3,0	3,5	6737,00	0	0	C20/25	S400	12	0,92	1,463	0,70
		10Φ20	Φ6/.24	3,0	3,5	1345,00	9,0	308,0	C20/25	S400	24	0,33	0,390	0,70
		16Φ20	Φ6/.24	3,0	3,5	4899,00	0	0	C20/25	S400	24	1,02	0,624	0,70
		8Φ16	Φ6/19	3,0	3,5	3102,00	0	0	C20/25	S400	24	0,87	0,200	0,70
		8Φ16	Φ6/19	3,0	3,5	1443,00	0	0	C20/25	S400	12	0,40	0,200	0,70
		8Φ16	Φ6/19	3,0	3,5	1863,41	48,8	11,40	C20/25	S400	4	0,52	0,200	0,70
		8Φ16	Φ6/19	3,0	3,5	1159,44	10,10	42,74	C20/25	S400	8	0,33	0,200	0,70
		8Φ16	Φ6/19	3,0	3,5	797,34	70,37	67,95	C20/25	S400	6	0,22	0,200	0,70
UT I	P17	4Φ20 + 6Φ16	Φ8/.20	4,0	3,0	2881,12	96,21	57,79	C25/30	S500	4	0,53	0,268	0,80
		10Φ20	Φ8/.20	4,0	3,0	2881,12	96,21	57,79	C25/30	S500	4	0,50	0,341	0,80
		4Φ20 + 8Φ16	Φ8/.20	4,0	3,0	3708,25	84,08	74,73	C25/30	S500	3	0,66	0,311	0,80
UT III	P44	20Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	2984,90	339,80	249,40	C25/30	S500	32	0,31	0,949	0,90
		16Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	3392,50	106,10	233,20	C25/30	S500	60	0,39	0,759	0,90
		14Φ25+4Φ20	Φ8/.25	2,5	3,0	3382,60	127,80	236,10	C25/30	S500	20	0,38	0,785	0,90
UT I	P14	6Φ25 + 8Φ20	Φ8/.15	3,0	4,0	3057,96	103,39	8,51	C30/37	S500	16	0,34	0,396	1,10
		18Φ25	Φ10/.15	3,0	3,0	1475,03	117,90	37,76	C30/37	S500	24	0,14	0,640	1,10
		6Φ25 + 8Φ20	Φ8/.15	3,0	3,5	3751,60	44,95	0,58	C30/37	S500	16	0,42	0,396	1,10
UT I	P14	6Φ20 + 8Φ16	Φ8/.15	3,0	3,5	3064,17	7,92	5,45	C30/37	S500	16	0,34	0,220	1,15
		6Φ20 + 8Φ16	Φ8/.15	3,0	4,0	2581,27	60,53	28,95	C30/37	S500	4	0,29	0,220	1,15
UT I	P14	12Φ25 + 8Φ20	Φ10/.15	3,0	4,0	3327,74	42,25	26,03	C30/37	S500	16	0,29	0,507	1,2

Quadro A3.4.16 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,30m; Escalão resistência ao fogo R120.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT I	P46	6Φ12	Φ6/.15	2,5	4,0	330,60	26,8	10,40	C25/30	S500	8	0,17	0,197	0,30
UT I	P58	6Φ12	Φ6/.14	2,5	3,0	422,18	15,68	22,56	C25/30	S500	20	0,22	0,197	0,30
UT X	P15	12Φ16	Φ6/.19	3,5	4,2	900,00	55,00	100,00	C30/37	S500	2	0,30	0,583	0,30
		4Φ20+4Φ16	Φ6/.19	3,5	4,2	715,00	100,00	45,00	C30/37	S500	2	0,25	0,498	0,30
		6Φ16	Φ6/.19	3,5	4,2	824,00	62,00	51,00	C30/37	S500	2	0,33	0,291	0,30
		4Φ12	Φ6/.14	3,5	4,2	508,00	37,00	35,00	C30/37	S500	2	0,24	0,109	0,30
UT I	P54	8Φ12	Φ6/.14	2,5	3,5	977,36	9,56	5,23	C25/30	S500	8	0,38	0,197	0,40
UT IV	P8	6Φ20	Φ6/.24	3,0	3,0	1900	0	0	C20/25	S400	4	0,77	0,410	0,40
UT I	P56,60	8Φ12	Φ6/.14	2,5	3,0	189,60	0,92	0,29	C25/30	S500	4	0,07	0,175	0,45
UT III	P43,44	8Φ12	Φ6/.14	2,5	3,5	516,93	16,37	0,54	C25/30	S500	4	0,18	0,175	0,45
UT I	P55,59	4Φ16+2Φ12	Φ8	2,5	3,0	205,32	1,71	1,53	C25/30	S500	8	0,06	0,163	0,55
UT III	P61,62	10Φ12	Φ8	2,5	3,5	5325,85	22,93	19,45	C25/30	S500	12	1,37	0,164	0,60
UT IV	P8	6Φ20+6Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	2532	12	37	C20/25	S400	12	0,67	0,448	0,60
		6Φ25+4Φ20	Φ6/.19	3,0	3,0	2532	12	37	C20/25	S400	4	0,60	0,609	0,60
		8Φ16+2Φ12	Φ6/.19	3,0	3,0	3000	0	0	C20/25	S400	8	0,90	0,266	0,60
UT VII	P24	4Φ20+ 6Φ16	Φ8/15	2,5	3,2	630,80	169,80	115,30	C25/30	S500	4	0,15	0,357	0,60
		10Φ16	Φ8/15	2,5	3,2	494,50	119,20	130,20	C25/30	S500	16	0,12	0,291	0,60
		14Φ20	Φ8/15	2,5	3,2	3288,80	119,20	12,60	C25/30	S500	4	0,65	0,637	0,60
		10Φ16	Φ8/15	2,5	3,2	2057,90	220,50	138,00	C25/30	S500	24	0,52	0,291	0,60
		10Φ16	Φ8/15	2,5	3,2	1741,60	82,10	72,60	C25/30	S500	16	0,44	0,291	0,60
		10Φ20	Φ8/15	2,5	3,2	1161,10	5,70	25,90	C25/30	S500	4	0,26	0,455	0,60
		10Φ16	Φ8/15	2,5	3,2	711,00	3,60	30,10	C25/30	S500	8	0,18	0,291	0,60
		10Φ20	Φ8/15	2,5	3,2	3906,50	56,30	15,30	C25/30	S500	4	0,87	0,455	0,60
		10Φ16	Φ8/15	2,5	3,2	1405,40	211,10	157,50	C25/30	S500	4	0,35	0,291	0,60
		18Φ20	Φ8/15	2,5	3,2	7240,80	124,40	12,50	C25/30	S500	4	1,29	0,820	0,60
		14Φ20	Φ8/15	2,5	3,2	5837,30	131,70	8,80	C25/30	S500	4	1,15	0,637	0,60
		10Φ20	Φ8/15	2,5	3,2	4484,90	58,40	3,50	C25/30	S500	4	1,00	0,455	0,60
		10Φ16	Φ8/15	2,5	3,2	3571,40	97,60	27,70	C25/30	S500	10	0,90	0,291	0,60
		14Φ20	Φ8/15	2,5	3,2	753,60	199,40	29,10	C25/30	S500	4	0,15	0,637	0,60
		8Φ20	Φ8/15	2,5	3,2	622,50	158,80	162,40	C25/30	S500	12	0,15	0,364	0,60
		10Φ20	Φ8/15	2,5	3,2	2717,60	209,60	33,30	C25/30	S500	2	0,60	0,455	0,60
		14Φ25	Φ8/15	2,5	3,2	6190,80	17,50	22,50	C25/30	S500	6	1,00	0,996	0,60
		14Φ20	Φ8/15	2,5	3,2	5186,20	47,20	41,50	C25/30	S500	2	1,03	0,637	0,60
		8Φ20	Φ8/15	2,5	3,2	4284,50	2,20	23,20	C25/30	S500	4	1,02	0,364	0,60

Quadro A3.4.16 - Continuação - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,30m; Escalão resistência ao fogo R120.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT VII	P24	20Φ20	Φ8/15	2,5	3,2	7066,50	152,40	0,50	C25/30	S500	2	1,20	0,911	0,60
		14Φ20	Φ8/15	2,5	3,2	5725,60	19,30	8,80	C25/30	S500	2	1,13	0,637	0,60
		10Φ20	Φ8/15	2,5	3,2	4820,50	44,10	38,60	C25/30	S500	4	1,07	0,455	0,60
		10Φ16	Φ8/15	2,5	3,2	4012,40	17,80	24,50	C25/30	S500	4	1,01	0,291	0,60
		28Φ20	Φ8/15	2,5	3,2	3300,10	98,40	154,30	C25/30	S500	4	0,47	1,275	0,60
		14Φ20	Φ8/15	2,5	3,2	1761,00	347,60	97,30	C25/30	S500	2	0,35	0,637	0,60
		14Φ20	Φ8/15	2,5	3,2	1761,00	347,60	97,30	C25/30	S500	2	0,35	0,637	0,60
		10Φ20	Φ8/15	2,5	3,2	2344,80	51,80	216,20	C25/30	S500	4	0,52	0,455	0,60
		10Φ16	Φ8/15	2,5	3,2	1938,50	12,60	123,30	C25/30	S500	4	0,49	0,291	0,60
		14Φ25	Φ8/15	2,5	3,2	915,90	195,80	157,90	C25/30	S500	2	0,15	0,996	0,60
		8Φ25+6Φ20	Φ8/15	2,5	3,2	769,20	247,60	93,50	C25/30	S500	4	0,14	0,842	0,60
		14Φ20	Φ8/15	2,5	3,2	600,70	175,00	115,20	C25/30	S500	4	0,12	0,637	0,60
		14Φ16	Φ8/15	2,5	3,2	440,80	194,50	114,60	C25/30	S500	4	0,10	0,408	0,60
		14Φ20	Φ6/.15	2,5	3,2	473,60	3,50	13,20	C25/30	S500	4	0,09	0,637	0,60
		14Φ16	Φ8/15	2,5	3,2	1886,80	17,40	17,60	C25/30	S500	4	0,43	0,408	0,60
		14Φ20	Φ8/15	2,5	3,2	1539,40	0,90	6,00	C25/30	S500	10	0,30	0,637	0,60
		14Φ20	Φ8/15	2,5	3,2	6166,20	20,80	6,00	C25/30	S500	5	1,22	0,637	0,60
UT I	P53,57	14Φ25	Φ8	2,5	3,0	663,17	9,34	31,20	C25/30	S500	8	0,10	0,919	0,65
	P56,60	10Φ25+2Φ20	Φ8/24	2,5	3,0	673,64	0,00	5,22	C25/30	S500	4	0,11	0,741	0,65
		8Φ25+8Φ20	Φ8/24	2,5	3,0	2603,09	29,25	13,39	C25/30	S500	4	0,40	0,862	0,65
UT I	P55,59	8Φ25 + 8Φ20	Φ8/19	2,5	3,0	2853,02	28,47	12,44	C25/30	S500	4	0,42	0,800	0,70
UT IV	P8	6Φ25+4Φ20	Φ8/24	3,0	3,0	5000	0	0	C20/25	S400	6	1,07	0,522	0,70
UT I	P53,57	12Φ25	Φ8	2,5	3,0	2724,85	24,23	15,13	C25/30	S500	2	0,40	0,683	0,75
UT I	P56,60	6Φ25 + 8Φ20	Φ8/.24	2,5	3,0	2706,63	24,33	35,25	C25/30	S500	2	0,41	0,633	0,75
UT I	P24	18Φ20	Φ8/.15	2,5	3,2	8281,80	4,50	5,30	C25/30	S500	2	1,25	0,615	0,80
UT VII		10Φ20	Φ8/.15	2,5	3,2	4100,20	55,10	28,30	C25/30	S500	2	0,74	0,341	0,80
UT I	P53,57	16Φ25	Φ8	2,5	3,0	963,50	1,15	82,65	C25/30	S500	4	0,12	0,803	0,85
UT I	P56,60	18Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	3749,15	11,26	23,70	C25/30	S500	4	0,43	0,904	0,85
UT I	P54,58	18Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	3039,52	27,96	61,22	C25/30	S500	2	0,34	0,854	0,90
UT I	P45,46	6Φ25+8Φ20	Φ8/.25	2,5	4,0	3949,20	189,80	267,50	C25/30	S500	4	0,51	0,500	0,95
UT I	P54,58	4Φ25+10Φ20	Φ8/.19	2,5	3,0	1204,26	14,91	102,45	C25/30	S500	4	0,16	0,467	0,95
UT I	P45,46	6Φ25 + 10Φ20	Φ8	2,5	3,0	3631,96	38,45	93,16	C25/30	S500	2	0,40	0,460	1,15
UT I	P56,60	6Φ25 + 10Φ20	Φ8/.24	2,5	3,0	3619,02	38,63	47,37	C25/30	S500	2	0,40	0,460	1,15
UT I	P53,57	6Φ25 + 10Φ16	Φ8	2,5	3,0	3512,99	25,95	184,38	C25/30	S500	2	0,40	0,359	1,20
UT I	P56,60	6Φ25 + 10Φ16	Φ8/.24	2,5	3,0	3480,71	27,67	95,51	C25/30	S500	12	0,40	0,359	1,20

Quadro A3.4.17 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,35m; Escalão resistência ao fogo R60.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT I	P1	4Φ12+2Φ10	Φ6/.13	3,0	2,8	619,1	15,91	34,47	C16/20	S400	2	0,38	0,162	0,35
		4Φ12	Φ6/.15	3,0	3,18	785,3	49,74	0	C16/20	S400	2	0,50	0,120	0,35
UT I	P11	6Φ20+4Φ16	Φ6/.19	2,5	3,0	1709,00	0,00	12,70	C20/25	S400	2	0,57	0,501	0,40
		12Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	2609,00	0,00	78,50	C20/25	S400	4	0,62	1,098	0,40
		12Φ20	Φ6/.14	2,5	3,0	1031,00	0,00	121,30	C20/25	S400	2	0,30	0,702	0,40
		12Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	2302,00	71,10	99,20	C20/25	S400	6	0,55	1,098	0,40
		4Φ25+8Φ20	Φ8/24	2,5	3,0	947,00	75,10	124,30	C20/25	S400	2	0,26	0,834	0,40
		4Φ25+8Φ20	Φ8/24	2,5	3,0	1980,00	57,30	108,00	C20/25	S400	8	0,54	0,834	0,40
		10Φ16	Φ6/.14	2,5	3,0	271,00	69,00	0,00	C20/25	S400	4	0,10	0,375	0,40
		10Φ20	Φ6/.24	2,5	3,0	337,00	79,90	0,00	C20/25	S400	4	0,11	0,585	0,40
		6Φ25+4Φ20	Φ8/24	2,5	3,0	1765,00	59,40	139,40	C20/25	S400	4	0,49	0,783	0,40
		10Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	2097,00	62,70	128,20	C20/25	S400	4	0,54	0,915	0,40
		10Φ20	Φ6/.19	2,5	3,0	1032,00	70,20	119,90	C20/25	S400	6	0,32	0,585	0,40
		6Φ16+4Φ12	Φ6/.14	2,5	3,0	1073,00	0,00	121,60	C20/25	S400	2	0,41	0,309	0,40
		4Φ25+6Φ20	Φ6/.24	2,5	3,0	2622,00	0,00	10,00	C20/25	S400	4	0,76	0,717	0,40
		4Φ20+4Φ16	Φ6/.19	2,5	3,0	1701,00	0,00	19,90	C20/25	S400	2	0,61	0,384	0,40
		4Φ20+6Φ16	Φ6/.19	2,5	3,0	817,00	71,00	109,60	C20/25	S400	4	0,28	0,459	0,40
		4Φ16+6Φ12	Φ6/.14	2,5	3,0	374,00	103,60	0,00	C20/25	S400	6	0,15	0,276	0,40
UT I	P45,46	10Φ25 + 4Φ20	Φ8/.25	2,5	3,0	5850,70	132,00	209,10	C25/30	S500	36	0,69	0,511	0,90
		16Φ25	Φ8/.25	2,5	3,0	5850,70	132,00	209,10	C25/30	S500	36	0,63	0,650	0,90
		16Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	6099,00	164,60	330,80	C25/30	S500	40	0,65	0,650	0,90
UT I	P45,46	6Φ25 + 10Φ20	Φ8/.25	2,5	3,0	5313,20	225,80	179,30	C25/30	S500	36	0,60	0,478	0,95
		18Φ25	Φ8/.30	2,5	4,0	6588,40	169,90	412,40	C25/30	S500	48	0,65	0,693	0,95
		16Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	5590,80	245,60	317,90	C25/30	S500	36	0,58	0,616	0,95
UT I	P45,46	20Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	6998,80	219,50	212,90	C25/30	S500	18	0,64	0,732	1,00
UT I	P45,46	16Φ20	Φ6/.25	2,5	3,0	5904,40	178,40	170,00	C25/30	S500	18	0,66	0,357	1,05

Quadro A3.4.18 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,35m; Escalão resistência ao fogo R90.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT I	P2	4Φ16	Φ8/.19	3,0	3,05	877,83	2,75	0	C16/20	S400	8	0,51	0,214	0,35
		6Φ16	Φ8/.19	3,0	3,05	660,45	81,10	0	C16/20	S400	8	0,36	0,321	0,35
		4Φ16 + 2Φ12	Φ8/.15	3,0	3,05	803,34	33,48	0	C16/20	S400	16	0,45	0,274	0,35
UT XII	P12	4Φ16	Φ6/.19	3,0	3,5	205,22	7,40	7,04	C20/25	S400	4	0,10	0,171	0,35
		4Φ16	Φ6/.19	3,0	3,5	1275,00	23,30	13,04	C20/25	S400	4	0,63	0,171	0,35
		4Φ16	Φ6/.19	3,0	3,5	1447,00	19,05	11,12	C20/25	S400	6	0,71	0,171	0,35
UT VII	P16	4Φ20+2Φ16	Φ6/.19	2,0	3,0	2582,60	67,70	63,80	C25/30	S500	6	0,59	0,206	0,60
		4Φ20+2Φ16	Φ6/.19	2,0	3,0	1559,20	103,40	126,50	C25/30	S500	6	0,36	0,206	0,60
UT III	P43,44	24Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	4929,70	366,30	278,70	C25/30	S500	16	0,43	0,976	0,90
		16Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	3392,50	106,10	233,20	C25/30	S500	16	0,35	0,650	0,90
		24Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	4744,60	442,90	276,40	C25/30	S500	72	0,41	0,976	0,90
		22Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	3896,70	469,10	299,50	C25/30	S500	60	0,35	0,894	0,90

Quadro A3.4.19 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,35m; Escalão resistência ao fogo R120.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT X	P15	4Φ16 + 2Φ12	Φ6/.14	3,5	4,2	900,00	54,00	100,00	C30/37	S500	2	0,29	0,183	0,35
		6Φ12	Φ6/.14	3,5	4,2	1100,00	60,00	60,00	C30/37	S500	2	0,38	0,120	0,35
		2Φ20 + 6Φ16	Φ6/.19	3,5	4,2	1433,00	95,00	75,00	C30/37	S500	2	0,42	0,326	0,35
UT X	P15	6Φ20+2Φ16	Φ6/.19	3,5	4,2	1821,00	170,00	92,00	C30/37	S500	2	0,41	0,316	0,45
		6Φ20+2Φ16	Φ6/.19	3,5	4,2	2075,00	113,00	117,00	C30/37	S500	2	0,47	0,316	0,45
UT III	P61,62	10Φ12	Φ6/.19	2,5	3,5	682,88	21,11	29,03	C25/30	S500	4	0,18	0,169	0,50
UT I	P53,57	14Φ25 + 2Φ20	Φ8	2,5	3,0	1204,02	6,44	104,08	C25/30	S500	4	0,13	0,621	0,90
UT I	P54,58	8Φ25 + 10Φ20	Φ8/.24	2,5	3,0	4128,31	8,51	94,40	C25/30	S500	4	0,46	0,585	0,90
		16Φ20	Φ6/.24	2,5	3,0	3609,55	32,00	118,81	C25/30	S500	4	0,45	0,416	0,90
UT I	P53,57	18Φ25	Φ8	2,5	3,0	4559,93	18,24	52,53	C25/30	S500	4	0,45	0,693	0,95
UT I	P56,60	14Φ25 + 2Φ20	Φ8/.24	2,5	3,0	4604,64	22,25	50,11	C25/30	S500	12	0,49	0,588	0,95
UT I	P54,58	4Φ25+12Φ20	Φ8/.24	2,5	3,0	4005,08	37,79	103,83	C25/30	S500	2	0,45	0,427	1,00
UT I	P53,57	8Φ25 + 10Φ20	Φ8	2,5	3,0	1687,86	4,22	180,00	C25/30	S500	2	0,16	0,458	1,15
UT I	P56,60	8Φ25+ 10Φ20	Φ8/.24	2,5	3,0	5531,14	7,87	60,60	C25/30	S500	4	0,53	0,458	1,15

Quadro A3.4.20 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,40m; Escalão resistência ao fogo R60.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT I	P4	8Φ20	Φ6/.25	3,0	3,2	875,8	17,62	0	C16/20	S400	6	0,32	0,512	0,40
		4Φ20+4Φ16	Φ6/.20	3,0	3,0	511,7	61,89	0	C16/20	S400	2	0,20	0,420	0,40
		8Φ16	Φ6/.20	3,0	3,0	385,00	48,65	0	C16/20	S400	6	0,16	0,328	0,40
		10Φ16	Φ6/.20	3,0	3,2	1607,00	62,68	0	C16/20	S400	4	0,62	0,410	0,40
		6Φ16+2Φ12	Φ6/.15	3,0	3,0	924,40	12,16	0	C16/20	S400	2	0,39	0,292	0,40
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.15	3,0	3,0	586,30	11,48	0	C16/20	S400	2	0,25	0,256	0,40
		8Φ12	Φ6/.15	3,0	3,0	250,80	14,21	0	C16/20	S400	2	0,12	0,184	0,40
		8Φ25+4Φ16	Φ8/.30	3,0	3,5	1848,30	60,93	151,53	C16/20	S400	2	0,51	0,964	0,40
UT I	P11	12Φ20	Φ6/.24	2,5	3,0	1330,00	79,00	108,50	C20/25	S400	18	0,36	0,615	0,40
		4Φ20 + 8Φ16	Φ6/.19	2,5	3,0	351,00	104,30	0,00	C20/25	S400	6	0,10	0,467	0,40
		8Φ25 + 4Φ20	Φ8/.24	2,5	3,0	1939,00	13,40	167,30	C20/25	S400	2	0,46	0,845	0,40
		12Φ25	Φ8/.24	2,5	3,0	1939,00	13,40	167,30	C20/25	S400	2	0,43	0,960	0,40
		4Φ25 + 8Φ20	Φ8/.24	2,5	3,0	965,00	182,30	96,30	C20/25	S400	4	0,24	0,730	0,40
		12Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	2773,00	84,50	110,30	C20/25	S400	8	0,62	0,960	0,40
		4Φ25 + 8Φ20	Φ8/.24	2,5	3,0	1150,00	85,00	126,70	C20/25	S400	4	0,29	0,730	0,40
		4Φ20 + 8Φ16	Φ6/.19	2,5	3,0	1862,00	0,00	14,30	C20/25	S400	2	0,55	0,467	0,40
UT I	P11	4Φ20 + 8Φ16	Φ6/.19	2,5	3,0	2167,00	0,00	14,80	C20/25	S400	8	0,64	0,467	0,40
		4Φ20 + 8Φ16	Φ6/.19	2,5	3,0	215,00	122,00	0,00	C20/25	S400	2	0,06	0,467	0,40
		12Φ20	Φ6/.24	2,5	3,5	603,00	196,40	0,00	C20/25	S400	6	0,16	0,615	0,40
		12Φ25	Φ8/.30	2,5	3,5	2553,00	74,00	119,30	C20/25	S400	4	0,57	0,960	0,40
		4Φ20 + 8Φ16	Φ6/.14	2,5	3,0	451,00	93,40	0,00	C20/25	S400	4	0,13	0,467	0,40
		12Φ25	Φ8/.30	2,5	3,5	2745,00	74,90	134,00	C20/25	S400	6	0,61	0,960	0,40
		4Φ16 + 8Φ12	Φ6/.14	2,5	3,0	400,00	93,70	0,00	C20/25	S400	4	0,14	0,279	0,40
		4Φ25 + 8Φ20	Φ8/.24	2,5	3,0	1678,00	52,80	95,00	C20/25	S400	16	0,42	0,730	0,40
		4Φ20 + 8Φ16	Φ6/.19	2,5	4,0	683,00	129,50	2,60	C20/25	S400	20	0,20	0,467	0,40
		12Φ20	Φ6/.24	2,5	3,0	940,00	164,90	35,50	C20/25	S400	22	0,25	0,615	0,40
		4Φ20 + 8Φ16	Φ6/.19	2,5	3,0	2036,00	0,00	16,20	C20/25	S400	6	0,60	0,467	0,40
		12Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	2929,00	124,90	8,90	C20/25	S400	4	0,65	0,960	0,40
		14Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	3134,00	115,60	25,60	C20/25	S400	2	0,64	1,120	0,40
		12Φ16	Φ6/.19	2,5	3,5	588,00	144,40	16,50	C20/25	S400	20	0,18	0,393	0,40
UT I	P4	8Φ20 + 2Φ16	Φ6/.20	3,0	2,7	2424,00	12,96	0	C16/20	S400	4	0,83	0,594	0,40
		12Φ25	Φ8/.30	3,0	2,7	2752,80	2,40	73,01	C16/20	S400	4	0,68	1,201	0,40
UT I	P11	4Φ20+8Φ16	Φ8/.24	2,5	3,0	1868,00	15,90	166,10	C20/25	S400	2	0,47	0,374	0,50
		4Φ25+8Φ20	Φ8/.24	2,5	4,0	2540,00	94,20	127,00	C20/25	S400	4	0,56	0,584	0,50

Quadro A3.4.20 - Continuação - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,40m; Escalão resistência ao fogo R60.

UT	Número	Armadura	Cintas	Recobrimento	Comprimento	N_{Ed}	M_x	M_y	Betão	Aço	Número	*n*	*ω*	*h*
UT I	P11	8Φ25+4Φ20	Φ8/.24	2,5	3,5	2322,00	14,60	176,80	C20/25	S400	2	0,48	0,676	0,50
		16Φ25	Φ8/.30	2,5	4,0	1865,00	189,70	119,20	C20/25	S400	4	0,32	1,024	0,50
		14Φ25	Φ8/.30	2,5	4,0	3638,00	135,00	6,90	C20/25	S400	16	0,67	0,896	0,50
		12Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	3291,00	97,80	52,80	C20/25	S400	4	0,65	0,768	0,50
		4Φ25+8Φ20	Φ8/.24	2,5	3,0	1348,00	101,40	180,30	C20/25	S400	2	0,30	0,584	0,50
		4Φ20+8Φ16	Φ6/.19	2,5	3,5	2225,00	0,00	11,30	C20/25	S400	2	0,56	0,374	0,50
		4Φ20+8Φ16	Φ6/.14	2,5	3,5	2578,00	0,00	6,00	C20/25	S400	4	0,65	0,374	0,50
		12Φ20	Φ6/.24	2,5	4,0	364,00	51,40	0,00	C20/25	S400	2	0,08	0,492	0,50
		4Φ20+8Φ16	Φ6/.19	2,5	4,0	490,00	28,30	48,30	C20/25	S400	4	0,12	0,374	0,50
		12Φ20	Φ6/.24	2,5	4,0	1629,00	80,80	23,20	C20/25	S400	4	0,38	0,492	0,50
		4Φ25+8Φ20	Φ8/.24	2,5	3,5	2438,00	12,40	84,60	C20/25	S400	4	0,54	0,584	0,50
		12Φ20	Φ6/.24	2,5	4,0	558,00	8,20	0,00	C20/25	S400	4	0,13	0,492	0,50
		4Φ25+8Φ20	Φ8/.24	2,5	4,0	2473,00	19,60	39,20	C20/25	S400	4	0,54	0,584	0,50
		4Φ25+8Φ20	Φ6/.24	2,5	4,0	1257,00	135,80	98,00	C20/25	S400	4	0,28	0,584	0,50
		4Φ25+8Φ20	Φ8/.24	2,5	4,0	2825,00	98,40	4,20	C20/25	S400	8	0,62	0,584	0,50
		14Φ20	Φ6/.24	2,5	4,0	2235,00	93,70	13,50	C20/25	S400	12	0,49	0,574	0,50
		4Φ20+10Φ16	Φ6/.19	2,5	4,0	881,00	119,60	18,00	C20/25	S400	4	0,22	0,426	0,50
UT I	P4	6Φ20 + 6Φ16	Φ6/.20	3,0	3,2	1503,50	279,30	217,56	C16/20	S400	1	0,36	0,388	0,65
		6Φ20 + 6Φ16	Φ6/.20	3,0	3,5	1211,30	466,41	212,07	C16/20	S400	1	0,29	0,388	0,65
		6Φ20 + 4Φ16	Φ6/.20	3,0	3,0	963,30	356,67	159,66	C16/20	S400	1	0,24	0,337	0,65
		4Φ20 + 6Φ16	Φ6/.20	3,0	3,0	714,40	294,46	139,08	C16/20	S400	1	0,18	0,309	0,65
		4Φ20 + 2Φ16+4Φ12	Φ6/.15	3,0	3,0	466,10	215,45	106,04	C16/20	S400	1	0,12	0,265	0,65
		6Φ16 + 4Φ12	Φ6/.15	3,0	3,0	220,40	137,03	126,28	C16/20	S400	1	0,06	0,208	0,65
		6Φ20 + 6Φ16	Φ6/.20	3,0	2,7	1799,20	109,38	138,21	C16/20	S400	1	0,43	0,388	0,65
	P45,46	18Φ25	Φ8/.30	2,5	4,0	7375,30	234,20	252,20	C25/30	S500	6	0,61	0,524	1,10

Quadro A3.4.21 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,40m; Escalão resistência ao fogo R90.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT I	P2	4Φ16 + 2Φ10	Φ8/.125	3,0	3,05	882,64	66,9	0	C16/20	S400	4	0,40	0,196	0,40
		4Φ20 + 4Φ10	Φ8/.24	3,0	3,05	569,66	129,21	0	C16/20	S400	2	0,23	0,320	0,40
		4Φ16 + 2Φ10	Φ8/.125	3,0	3,05	993,44	14,38	0	C16/20	S400	12	0,45	0,196	0,40

Quadro A3.4.21 - Continuação - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,40m; Escalão resistência ao fogo R90.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT I	P2	4Φ20 + 4Φ10	Φ8/.24	3,0	3,05	174,07	55,85	0	C16/20	S400	4	0,07	0,320	0,40
		4Φ16 + 2Φ10	Φ8/.125	3,0	3,05	743,77	42,27	0	C16/20	S400	6	0,34	0,196	0,40
		4Φ20 + 4Φ12	Φ8/.15	3,0	3,05	896,79	77,54	0	C16/20	S400	4	0,36	0,348	0,40
		4Φ25+ 4Φ20	Φ8/.25	3,0	3,05	526,79	149,07	0	C16/20	S400	2	0,17	0,656	0,40
		6Φ25	Φ8/.30	3,0	3,05	1054,95	17,57	0	C16/20	S400	4	0,36	0,600	0,40
		8Φ25	Φ8/.30	3,0	3,05	443,35	9,09	0	C16/20	S400	2	0,13	0,800	0,40
		4Φ20 + 4Φ10	Φ8/.125	3,0	3,05	815,74	61,69	0	C16/20	S400	2	0,34	0,320	0,40
		4Φ16 + 4Φ10	Φ8/.125	3,0	3,05	650,84	46,41	0	C16/20	S400	2	0,29	0,228	0,40
		6Φ25	Φ8/.30	3,0	3,05	483,40	128,14	0	C16/20	S400	2	0,16	0,600	0,40
		4Φ16 + 4Φ10	Φ8/.125	3,0	3,05	446,53	22,11	0	C16/20	S400	18	0,20	0,228	0,40
		4Φ16 + 4Φ10	Φ8/.125	3,0	3,05	387,18	5,01	0	C16/20	S400	6	0,17	0,228	0,40
		4Φ16 + 2Φ10	Φ8/.125	3,0	3,05	1319,10	16,91	0	C16/20	S400	16	0,60	0,196	0,40
		4Φ16 + 2Φ10	Φ8/.125	3,0	3,05	1452,53	34,33	0	C16/20	S400	16	0,66	0,196	0,40
UT VII	P13	8Φ16	Φ6/.20	3,0	4,0	818,21	56,41	78,15	C20/25	S400	2	0,27	0,262	0,40
		8Φ16	Φ6/.20	3,0	4,0	1109,08	43,23	38,02	C20/25	S400	2	0,37	0,262	0,40
UT IV	P36	4Φ16 + 2Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	359	39,3	70,8	C25/30	S500	2	0,11	0,168	0,40
		4Φ16 + 2Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	410	13,7	54,7	C25/30	S500	2	0,12	0,168	0,40
		4Φ16 + 2Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	411	13,1	61,6	C25/30	S500	2	0,12	0,168	0,40
		4Φ16 + 2Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	407	16	70,9	C25/30	S500	2	0,12	0,168	0,40
		4Φ16 + 2Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	646	29,1	65,7	C25/30	S500	2	0,19	0,168	0,40
UT IV	P29	4Φ16+4Φ12	Φ6/.19	3,0	3,0	1571,0	0	0	C20/25	S400	48	0,56	0,205	0,40
UT XII	P12	12Φ25 + 8Φ20	Φ8/.24	3,0	3,5	4214	0	0	C20/25	S400	12	0,79	1,370	0,40
UT I	P2	4Φ20+2Φ12	Φ8/.15	3,0	3,05	2092,04	12,92	0	C16/20	S400	4	0,80	0,269	0,45
		4Φ20+2Φ10	Φ8/.125	3,0	3,05	1538,98	16,14	0	C16/20	S400	4	0,59	0,256	0,45
		4Φ16+2Φ10	Φ8/.125	3,0	3,05	996,6	44,37	0	C16/20	S400	2	0,38	0,256	0,45
UT I	P2	4Φ20+4Φ10	Φ8/.125	2,5	3,05	1253,18	44,43	0	C16/20	S400	4	0,43	0,256	0,50
UT I	P11	12Φ20	Φ6/.24	2,5	4,0	1691,00	89,40	92,60	C20/25	S400	4	0,39	0,492	0,50
		4Φ20+8Φ16	Φ6/.19	2,5	4,0	1211,00	64,20	0,00	C20/25	S400	12	0,31	0,374	0,50
		14Φ25	Φ8/.30	2,5	4,0	2722,00	92,00	151,00	C20/25	S400	2	0,50	0,896	0,50
		4Φ25+8Φ20	Φ8/.24	2,5	4,0	2390,00	103,80	82,90	C20/25	S400	4	0,53	0,584	0,50
		14Φ25	Φ8/.30	2,5	4,0	3669,00	139,60	105,10	C20/25	S400	6	0,67	0,896	0,50
		12Φ20	Φ6/.19	2,5	4,0	2576,00	0,00	82,30	C20/25	S400	6	0,60	0,492	0,50
		12Φ20	Φ6/.24	2,5	4,0	2574,00	0,00	83,80	C20/25	S400	6	0,60	0,492	0,50
		4Φ25+8Φ20	Φ8/.30	2,5	4,0	2970,00	0,00	91,80	C20/25	S400	4	0,65	0,584	0,50

Quadro A3.4.21 - Continuação - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,40m; Escalão resistência ao fogo R90.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT I	P11	12Φ25	Φ8/.30	2,5	4,0	2831,00	85,10	128,50	C20/25	S400	2	0,56	0,768	0,50
		12Φ20	Φ6/.24	2,5	4,0	528,00	4,60	0,00	C20/25	S400	4	0,12	0,492	0,50
		12Φ25	Φ8/.30	2,5	4,0	3030,00	2,00	137,20	C20/25	S400	2	0,60	0,768	0,50
		12Φ25	Φ8/.30	2,5	4,0	1969,00	83,40	180,00	C20/25	S400	4	0,39	0,768	0,50
		12Φ25	Φ8/.30	2,5	4,0	2817,00	94,30	49,20	C20/25	S400	2	0,55	0,768	0,50
		4Φ20+8Φ16	Φ6/.19	2,5	4,0	1242,00	60,00	0,00	C20/25	S400	4	0,31	0,374	0,50
		4Φ20+8Φ16	Φ6/.19	2,5	4,0	2455,00	0,00	4,50	C20/25	S400	4	0,62	0,374	0,50
		12Φ25	Φ8/.30	2,5	3,5	3272,00	158,60	9,80	C20/25	S400	6	0,64	0,768	0,50
UT I	P2	4Φ16+2Φ10	Φ6/.125	3,0	3,95	1254,10	13,15	0	C16/20	S400	4	0,43	0,142	0,55
		6Φ16+2Φ10	Φ6/.125	3,0	3,95	1862,52	24,65	0	C16/20	S400	4	0,61	0,202	0,55
UT I	P11	4Φ25+8Φ20	Φ8/.24	2,5	4,0	3051,00	155,60	9,80	C20/25	S400	2	0,60	0,487	0,60
UT VII	P16	4Φ20+6Φ16	Φ6/0.19	2,0	4,0	1791,60	77,40	82,90	C25/30	S500	2	0,34	0,268	0,60
		4Φ25+4Φ20	Φ8/0.24	2,0	4,0	3640,80	95,30	146,90	C25/30	S500	2	0,65	0,350	0,60
UT III	P43,44	28Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	6606,20	159,90	288,40	C25/30	S500	36	0,50	0,996	0,90
		28Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	6569,30	192,60	294,20	C25/30	S500	16	0,49	0,996	0,90
UT III	P43,44	24Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	5971,10	403,00	283,20	C25/30	S500	8	0,47	0,809	0,95
		24Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	5735,70	484,40	280,90	C25/30	S500	12	0,45	0,809	0,95
		26Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	5845,10	523,10	306,50	C25/30	S500	24	0,44	0,876	0,95
UT I	P11	14Φ16	Φ6/.19	2,5	4,0	804,00	20,80	61,60	C20/25	S400	2	0,12	0,184	1,00
UT I	P14	14Φ25 + 8Φ20	Φ10/.15	3,0	3,5	3515,65	13,87	4,76	C30/37	S500	16	0,24	0,425	1,20

Quadro A3.4.22 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,40m; Escalão resistência ao fogo R120.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT V	P35	4Φ20 + 4Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,4	3180,00	0,00	0,00	C20/25	S500	2	0,99	0,420	0,40
		4Φ40	Φ8/.30	4,0	3,9	620,08	1463,09	22,54	C20/25	S500	2	0,14	1,024	0,40
		4Φ25 + 4Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	629,16	137,10	121,33	C20/25	S500	2	0,17	0,656	0,40
		10Φ25	2Φ8/0.25	4,0	4,9	278,87	222,58	151,24	C20/25	S500	2	0,06	1,000	0,40
		4Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,9	918,91	113,47	0,00	C20/25	S500	40	0,32	0,256	0,40
		4Φ25	Φ8/.30	4,0	4,9	195,06	131,50	10,87	C20/25	S500	16	0,06	0,400	0,40
		8Φ20	2Φ6/0.25	4,0	4,9	262,17	151,78	53,74	C20/25	S500	16	0,08	0,512	0,40
		4Φ25 + 4Φ20	2Φ8/0.25	4,0	4,9	283,83	158,76	67,54	C20/25	S500	32	0,08	0,656	0,40

Quadro A3.4.22 - Continuação - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão b = 0,40m; Escalão resistência ao fogo R120.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	n	ω	h [m]
UT V	P35	4Φ25 + 4Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	465,31	140,38	119,00	C20/25	S500	8	0,12	0,656	0,40
		4Φ25	Φ8/.30	4,0	4,9	196,83	99,36	72,88	C20/25	S500	4	0,06	0,400	0,40
		10Φ25	2Φ8/0.30	4,0	4,9	561,93	198,01	157,70	C20/25	S500	8	0,12	1,000	0,40
		4Φ20	Φ8/.25	4,0	5,4	160,50	30,72	26,88	C20/25	S500	8	0,06	0,256	0,40
		4Φ20	Φ8/.25	4,0	4,9	437,55	14,90	112,17	C20/25	S500	4	0,15	0,256	0,40
		4Φ25+ 2Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	188,55	91,71	153,35	C20/25	S500	4	0,05	0,528	0,40
		4Φ25 + 4Φ20	2Φ8/0.25	4,0	4,9	1349,98	10,80	195,40	C20/25	S500	6	0,36	0,656	0,40
		8Φ16	2Φ6/0.20	4,0	4,9	816,21	35,38	136,84	C20/25	S500	2	0,27	0,328	0,40
		4Φ20	Φ8/.25	4,0	3,4	159,12	0,00	45,31	C20/25	S500	8	0,06	0,256	0,40
		4Φ20	Φ8/.25	4,0	3,4	337,15	68,34	35,44	C20/25	S500	16	0,11	0,256	0,40
		4Φ20	Φ8/.25	4,0	3,4	489,53	68,68	0,00	C20/25	S500	10	0,17	0,256	0,40
		4Φ25	Φ8/.30	4,0	5,4	127,83	60,02	142,17	C20/25	S500	6	0,04	0,400	0,40
		4Φ25 + 4Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	138,03	197,84	70,98	C20/25	S500	12	0,04	0,656	0,40
		4Φ25	Φ8/.30	4,0	5,4	127,47	143,93	46,72	C20/25	S500	2	0,04	0,400	0,40
		4Φ25	Φ8/.30	4,0	3,9	150,51	121,07	8,43	C20/25	S500	8	0,05	0,400	0,40
		4Φ20 + 4Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,9	508,09	168,03	31,29	C20/25	S500	8	0,16	0,420	0,40
		4Φ25 + 4Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,9	418,52	183,68	91,26	C20/25	S500	20	0,11	0,656	0,40
		8Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,9	432,10	194,73	93,75	C20/25	S500	8	0,11	0,800	0,40
		8Φ20	2Φ6/0.25	4,0	3,9	655,03	127,16	100,20	C20/25	S500	12	0,19	0,512	0,40
		4Φ25 + 4Φ20	2Φ8/0.25	4,0	4,9	457,34	151,83	110,57	C20/25	S500	8	0,12	0,656	0,40
		4Φ25 + 4Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	1679,99	99,88	124,36	C20/25	S500	16	0,45	0,656	0,40
		8Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,4	509,68	141,15	157,30	C20/25	S500	12	0,13	0,800	0,40
		4Φ25 + 4Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	732,83	132,67	135,40	C20/25	S500	12	0,20	0,656	0,40
		8Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,4	208,95	139,42	158,47	C20/25	S500	12	0,05	0,800	0,40
		8Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,4	245,66	168,25	158,47	C20/25	S500	8	0,06	0,800	0,40
		10Φ25	2Φ8/0.30	4,0	5,4	247,38	157,71	186,69	C20/25	S500	16	0,05	1,000	0,40
		4Φ25	Φ8/.30	4,0	5,4	114,30	110,71	6,35	C20/25	S500	2	0,04	0,400	0,40
UT X	P15	8Φ16 + 2Φ12	Φ6/.14	3,5	4,2	1700,00	143,00	91,00	C30/37	S500	2	0,40	0,249	0,40
		8Φ16	Φ6/.19	3,5	4,2	1700,00	110,00	91,00	C30/37	S500	2	0,41	0,219	0,40
		4Φ16	Φ6/.19	3,5	4,2	1277,00	86,00	71,00	C30/37	S500	2	0,34	0,109	0,40
UT V	P35	12Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,9	2146,73	233,35	48,54	C20/25	S500	6	0,39	0,960	0,50
		8Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,9	642,39	161,68	129,40	C20/25	S500	6	0,14	0,640	0,50
		6Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,9	418,93	97,21	0,00	C20/25	S500	56	0,12	0,197	0,50
		4Φ25+2Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,9	1166,00	157,00	123,00	C20/25	S500	10	0,29	0,423	0,50

Quadro A3.4.22 - Continuação - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão b = 0,40m; Escalão resistência ao fogo R120.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	n	ω	h [m]
UT V	P35	4Φ20+2Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,4	190,00	88,00	97,00	C20/25	S500	6	0,05	0,270	0,50
		4Φ25+4Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,9	1926,51	253,84	11,06	C20/25	S500	4	0,45	0,525	0,50
		10Φ25	2Φ8/0.25	4,0	4,9	750,50	392,66	78,22	C20/25	S500	2	0,15	0,800	0,50
		4Φ25+4Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,9	2075,20	222,87	1,42	C20/25	S500	8	0,48	0,525	0,50
		4Φ25+2Φ20	2Φ8/0.25	4,0	4,9	958,85	250,39	57,88	C20/25	S500	4	0,24	0,423	0,50
		4Φ25+2Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,9	1532,42	216,03	81,82	C20/25	S500	4	0,38	0,423	0,50
		6Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,4	270,30	142,12	3,93	C20/25	S500	4	0,08	0,197	0,50
		8Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,4	1153,42	246,56	131,50	C20/25	S500	2	0,25	0,640	0,50
		6Φ25	2Φ8/0.30	4,0	4,9	710,32	199,29	137,76	C20/25	S500	2	0,17	0,480	0,50
		6Φ25	2Φ8/0.30	4,0	4,9	594,17	239,82	43,72	C20/25	S500	12	0,14	0,480	0,50
		4Φ25+2Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	236,81	164,63	9,18	C20/25	S500	8	0,06	0,423	0,50
		8Φ25	2Φ8/0.30	4,0	4,9	1063,46	228,36	112,11	C20/25	S500	12	0,23	0,640	0,50
		4Φ25+4Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	427,06	173,57	94,72	C20/25	S500	4	0,10	0,525	0,50
		4Φ25+4Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,9	1265,92	217,04	237,00	C20/25	S500	8	0,29	0,525	0,50
		10Φ25	2Φ8/0.30	4,0	4,9	542,91	295,57	100,57	C20/25	S500	4	0,11	0,800	0,50
		4Φ25+4Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,9	2046,07	150,19	97,37	C20/25	S500	8	0,47	0,525	0,50
		8Φ25	2Φ8/0.30	4,0	4,9	613,62	242,04	44,18	C20/25	S500	4	0,13	0,640	0,50
		8Φ25	2Φ8/0.30	4,0	4,9	1009,83	300,04	101,13	C20/25	S500	8	0,22	0,640	0,50
		4Φ25+2Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	949,10	55,58	241,87	C20/25	S500	6	0,24	0,423	0,50
		4Φ25+2Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	259,98	85,55	206,72	C20/25	S500	8	0,06	0,423	0,50
		4Φ20+2Φ16	2Φ6/0.20	4,0	4,9	831,07	119,06	123,62	C20/25	S500	8	0,23	0,270	0,50
		6Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	437,64	31,62	214,06	C20/25	S500	6	0,12	0,307	0,50
		6Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,4	258,67	139,19	178,08	C20/25	S500	8	0,06	0,480	0,50
		6Φ40	2Φ8/0.30	4,0	3,4	1339,04	1042,75	141,56	C20/25	S500	4	0,21	1,229	0,50
		10Φ25	2Φ8/0.30	4,0	4,9	1072,87	160,39	265,98	C20/25	S500	2	0,21	0,800	0,50
		8Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,4	404,40	53,80	248,86	C20/25	S500	2	0,09	0,640	0,50
		6Φ16	2Φ6/0.20	4,0	4,9	640,27	65,07	82,15	C20/25	S500	4	0,19	0,197	0,50
		4Φ20+2Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,4	167,63	112,65	77,27	C20/25	S500	4	0,05	0,270	0,50
		6Φ16	2Φ6/0.20	4,0	4,9	918,01	112,85	73,69	C20/25	S500	4	0,27	0,197	0,50
		4Φ20+2Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,4	353,31	143,96	79,99	C20/25	S500	4	0,10	0,270	0,50
		4Φ16+2Φ12	2Φ6/0.15	4,0	3,9	778,58	47,96	0,00	C20/25	S500	8	0,24	0,168	0,50
		6Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,4	408,14	107,78	0,00	C20/25	S500	8	0,12	0,197	0,50
		4Φ20+2Φ16	2Φ6/0.20	4,0	4,9	180,57	122,26	0,00	C20/25	S500	8	0,05	0,270	0,50
		10Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,9	2409,95	23,76	69,35	C20/25	S500	4	0,64	0,328	0,50

Quadro A3.4.22 - Continuação - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão b = 0,40m; Escalão resistência ao fogo R120.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	n	ω	h [m]
UT V	P35	4Φ16+6Φ12	2Φ6/0.15	4,0	3,4	1555,06	3,29	119,93	C20/25	S500	4	0,44	0,242	0,50
		10Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,9	2067,03	127,43	0,00	C20/25	S500	4	0,55	0,328	0,50
		4Φ20+6Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,4	1372,80	215,08	16,06	C20/25	S500	4	0,35	0,402	0,50
		4Φ16+6Φ12	2Φ6/0.15	4,0	3,9	1951,98	127,11	5,00	C20/25	S500	2	0,56	0,242	0,50
		10Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,9	2003,78	122,82	7,35	C20/25	S500	8	0,53	0,328	0,50
		4Φ16+6Φ12	2Φ6/0.15	4,0	3,4	760,54	199,14	164,75	C20/25	S500	6	0,22	0,242	0,50
		12Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,9	3455,56	132,40	73,36	C20/25	S500	4	0,62	0,960	0,50
		4Φ25+4Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	638,60	203,08	124,21	C20/25	S500	4	0,15	0,525	0,50
		4Φ25+6Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	1996,74	212,67	50,40	C20/25	S500	4	0,43	0,627	0,50
		10Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,4	504,01	176,17	53,11	C20/25	S500	4	0,13	0,328	0,50
		4Φ16+2Φ12	2Φ6/0.15	4,0	3,9	337,38	45,63	15,06	C20/25	S500	2	0,10	0,168	0,50
		6Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,4	231,08	73,90	0,00	C20/25	S500	12	0,07	0,197	0,50
		4Φ25+4Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	194,54	188,94	127,90	C20/25	S500	12	0,05	0,525	0,50
		4Φ25+2Φ20	2Φ8/0.25	4,0	5,4	266,69	35,45	179,94	C20/25	S500	10	0,07	0,423	0,50
		8Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	386,82	42,25	200,06	C20/25	S500	8	0,10	0,410	0,50
		4Φ20+2Φ16	2Φ6/0.20	4,0	5,4	254,54	85,56	132,37	C20/25	S500	2	0,07	0,270	0,50
		4Φ25+6Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	2052,96	195,43	92,37	C20/25	S500	32	0,45	0,627	0,50
		8Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	1576,85	13,18	183,44	C20/25	S500	12	0,40	0,410	0,50
		4Φ25+6Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	1646,26	128,48	194,06	C20/25	S500	16	0,36	0,627	0,50
		10Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,4	2203,95	263,12	9,34	C20/25	S500	16	0,43	0,800	0,50
		4Φ25+4Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	1828,54	223,92	81,44	C20/25	S500	24	0,42	0,525	0,50
		6Φ25	2Φ8/0.30	4,0	5,4	930,42	160,13	4,26	C20/25	S500	4	0,22	0,480	0,50
		12Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,4	282,02	333,19	153,45	C20/25	S500	6	0,05	0,960	0,50
		4Φ25+2Φ20	2Φ8/0.25	4,0	5,4	279,25	244,15	14,57	C20/25	S500	2	0,07	0,423	0,50
		4Φ25+2Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	766,47	124,65	160,12	C20/25	S500	12	0,19	0,423	0,50
		6Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	1432,75	182,30	80,71	C20/25	S500	12	0,39	0,307	0,50
		4Φ25+6Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	1614,37	1,24	254,79	C20/25	S500	12	0,35	0,627	0,50
		4Φ25+2Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	1418,38	199,00	73,55	C20/25	S500	12	0,35	0,423	0,50
		4Φ25+4Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,9	894,08	268,76	9,35	C20/25	S500	8	0,21	0,525	0,50
		8Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,9	913,51	303,63	11,57	C20/25	S500	8	0,20	0,640	0,50
		10Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,9	1162,35	334,65	2,85	C20/25	S500	12	0,23	0,800	0,50
		12Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,9	1510,29	347,72	17,72	C20/25	S500	12	0,27	0,960	0,50
		4Φ25+4Φ20	2Φ8/0.25	4,0	4,9	933,23	221,58	69,18	C20/25	S500	12	0,22	0,525	0,50
		8Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,4	774,67	21,38	215,71	C20/25	S500	8	0,22	0,262	0,50

Quadro A3.4.22 - Continuação - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão b = 0,40m; Escalão resistência ao fogo R120.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	n	ω	h [m]
UT V	P35	12Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	2374,97	211,85	9,49	C20/25	S500	8	0,52	0,615	0,50
		12Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,4	1406,71	176,20	121,17	C20/25	S500	8	0,25	0,960	0,50
		4Φ16+4Φ12	2Φ6/0.15	4,0	3,4	1320,92	202,05	1,31	C20/25	S500	16	0,39	0,205	0,50
		4Φ16+4Φ12	2Φ6/0.15	4,0	3,4	1017,03	146,38	0,10	C20/25	S500	8	0,30	0,205	0,50
		4Φ16+4Φ12	2Φ6/0.15	4,0	3,4	1592,71	12,50	132,19	C20/25	S500	8	0,47	0,205	0,50
		4Φ25+4Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	2172,40	14,69	201,37	C20/25	S500	16	0,50	0,525	0,50
		12Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	2338,44	216,37	11,03	C20/25	S500	8	0,51	0,615	0,50
		12Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,4	2184,00	142,65	11,44	C20/25	S500	8	0,55	0,393	0,50
		4Φ25+8Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	2133,05	227,92	86,54	C20/25	S500	44	0,44	0,730	0,50
		10Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,4	2092,07	74,12	244,07	C20/25	S500	8	0,41	0,800	0,50
		10Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,4	2168,16	88,92	245,60	C20/25	S500	8	0,43	0,800	0,50
		8Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,4	1123,66	158,71	219,14	C20/25	S500	8	0,24	0,640	0,50
		10Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,4	2225,06	249,02	89,19	C20/25	S500	16	0,44	0,800	0,50
		12Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,4	1105,18	102,28	355,92	C20/25	S500	8	0,20	0,960	0,50
		4Φ20+4Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,4	1054,46	239,77	53,81	C20/25	S500	8	0,28	0,336	0,50
		4Φ16+4Φ12	2Φ6/0.15	4,0	3,4	766,97	173,13	39,14	C20/25	S500	8	0,23	0,205	0,50
		4Φ16+4Φ12	2Φ6/0.15	4,0	3,9	1447,42	19,92	92,61	C20/25	S500	6	0,42	0,205	0,50
		10Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,4	1273,62	168,27	239,18	C20/25	S500	8	0,25	0,800	0,50
		8Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,4	784,02	63,35	279,64	C20/25	S500	8	0,17	0,640	0,50
		4Φ25+4Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,9	1137,12	63,90	226,61	C20/25	S500	12	0,26	0,525	0,50
		8Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,9	1548,47	14,41	197,27	C20/25	S500	12	0,39	0,410	0,50
		8Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,9	2085,16	14,72	200,29	C20/25	S500	12	0,45	0,640	0,50
		4Φ25+6Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	1492,73	260,65	81,91	C20/25	S500	12	0,32	0,627	0,50
		4Φ25+6Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	475,37	154,07	205,75	C20/25	S500	2	0,10	0,627	0,50
		8Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,4	481,05	147,92	25,05	C20/25	S500	10	0,13	0,262	0,50
		4Φ20+4Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,4	431,15	10,02	225,79	C20/25	S500	10	0,11	0,336	0,50
		4Φ25+2Φ20	2Φ8/0.25	4,0	5,4	643,84	211,23	51,25	C20/25	S500	24	0,16	0,423	0,50
		4Φ25+2Φ20	2Φ8/0.25	4,0	5,4	608,89	184,55	109,55	C20/25	S500	4	0,15	0,423	0,50
		6Φ25	2Φ8/0.30	4,0	5,4	1104,68	266,74	62,94	C20/25	S500	2	0,26	0,480	0,50
		6Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,4	374,89	0,70	73,32	C20/25	S500	2	0,11	0,197	0,50
		10Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,4	2140,14	16,53	242,09	C20/25	S500	4	0,42	0,800	0,50
UT I	P53,57	8Φ25 + 4Φ20	Φ8	2,5	3,0	2386,14	35,52	111,94	C25/30	S500	4	0,37	0,615	0,55
UT I	P56,60	6Φ25+4Φ20	Φ6/.24	2,5	3,0	3601,35	30,00	58,72	C25/30	S500	4	0,61	0,498	0,55

Quadro A3.4.22 - Continuação - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão b = 0,40m; Escalão resistência ao fogo R120.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	n	ω	h [m]
UT IV	P8	6Φ20+2Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	4000	0	0	C20/25	S400	16	0,92	0,249	0,60
UT V	P35	6Φ20+4Φ25	2Φ8/0.25	4,0	3,9	4320,00	0,00	0,00	C20/25	S500	2	0,84	0,523	0,60
		10Φ20	2Φ6/0.25	4,0	3,4	550,00	151,00	151,00	C20/25	S500	4	0,11	0,427	0,60
		10Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,9	4371,00	27,00	27,00	C20/25	S500	2	0,77	0,667	0,60
		4Φ20+2Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,4	2606,00	60,00	60,00	C20/25	S500	14	0,63	0,225	0,60
		4Φ25+2Φ20	2Φ6/0.25	4,0	4,9	2603,00	136,00	136,00	C20/25	S500	2	0,57	0,352	0,60
		14Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,9	4261,34	221,21	23,38	C20/25	S500	4	0,65	0,934	0,60
		4Φ25+4Φ20	2Φ6/0.25	4,0	3,4	3124,69	203,67	18,42	C20/25	S500	4	0,64	0,438	0,60
		4Φ25+2Φ20	2Φ6/0.25	4,0	4,9	1197,42	305,91	81,68	C20/25	S500	4	0,26	0,352	0,60
		4Φ20+2Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,4	542,83	66,00	124,90	C20/25	S500	4	0,13	0,225	0,60
		4Φ25+2Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	238,30	166,05	9,19	C20/25	S500	4	0,05	0,352	0,60
		10Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,9	4289,18	7,59	40,46	C20/25	S500	2	0,76	0,667	0,60
		10Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,4	3143,12	20,86	85,77	C20/25	S500	2	0,73	0,273	0,60
		4Φ16+6Φ12	2Φ6/0.15	4,0	4,9	2004,73	12,78	56,65	C20/25	S500	4	0,49	0,201	0,60
		4Φ16+6Φ12	2Φ6/0.15	4,0	3,4	2668,45	106,38	10,32	C20/25	S500	4	0,65	0,201	0,60
		4Φ16+6Φ12	2Φ6/0.15	4,0	4,9	1716,98	91,69	93,43	C20/25	S500	4	0,42	0,201	0,60
		4Φ16+6Φ12	2Φ6/0.15	4,0	4,9	2085,30	30,55	0,86	C20/25	S500	4	0,51	0,201	0,60
		10Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,9	3763,63	59,62	0,41	C20/25	S500	2	0,78	0,427	0,60
		10Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,4	631,89	194,28	134,43	C20/25	S500	2	0,15	0,273	0,60
		4Φ25+6Φ20	2Φ6/0.25	4,0	3,9	3683,99	85,87	72,91	C20/25	S500	2	0,71	0,523	0,60
		10Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	2737,50	126,16	127,26	C20/25	S500	2	0,57	0,427	0,60
		10Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,9	4358,42	27,48	14,62	C20/25	S500	2	0,77	0,667	0,60
		4Φ20+6Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,4	3236,48	52,53	1,69	C20/25	S500	2	0,71	0,335	0,60
		4Φ25+6Φ20	2Φ6/0.25	4,0	3,9	3966,42	9,06	58,08	C20/25	S500	2	0,77	0,523	0,60
		4Φ20+6Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,4	490,28	177,19	156,63	C20/25	S500	6	0,11	0,335	0,60
		4Φ20+4Φ16	2Φ6/0.20	4,0	5,4	904,30	79,34	187,59	C20/25	S500	12	0,21	0,280	0,60
		6Φ20	2Φ8/0.25	4,0	5,4	1290,26	95,87	205,00	C20/25	S500	2	0,30	0,256	0,60
		4Φ20+2Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,4	569,95	139,15	11,89	C20/25	S500	2	0,14	0,225	0,60
		6Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,4	450,29	264,06	12,69	C20/25	S500	4	0,09	0,400	0,60
		4Φ25+4Φ20	2Φ6/0.25	4,0	3,4	3080,23	20,90	141,05	C20/25	S500	12	0,63	0,438	0,60
		10Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,9	1670,45	52,21	2168,20	C20/25	S500	12	0,30	0,667	0,60
		10Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,9	3157,15	11,49	196,85	C20/25	S500	12	0,56	0,667	0,60
		14Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,9	4186,02	24,30	139,36	C20/25	S500	12	0,64	0,934	0,60
		6Φ25	2Φ8/0.30	4,0	5,4	1278,87	80,04	350,73	C20/25	S500	4	0,27	0,400	0,60

Quadro A3.4.22 - Continuação - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão b = 0,40m; Escalão resistência ao fogo R120.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	n	ω	h [m]
UT V	P35	4Φ20+2Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,4	557,08	0,00	127,99	C20/25	S500	4	0,13	0,225	0,60
UT VII	P24	14Φ25	Φ8/0.15	2,5	3,2	3189,00	90,50	46,80	C25/30	S500	2	0,44	0,747	0,60
		14Φ20	Φ8/0.15	2,5	3,2	2684,50	106,90	42,70	C25/30	S500	2	0,44	0,478	0,60
		18Φ25	Φ8/0.15	2,5	3,2	9103,40	59,30	16,80	C25/30	S500	2	1,13	0,960	0,60
		14Φ25	Φ8/0.15	2,5	3,2	7893,00	56,50	7,60	C25/30	S500	2	1,10	0,747	0,60
		22Φ20	Φ8/0.15	2,5	3,2	8406,90	148,40	8,60	C25/30	S500	4	1,17	0,751	0,60
		24Φ20	Φ8/0.15	2,5	3,2	3882,70	117,20	156,10	C25/30	S500	4	0,52	0,820	0,60
		22Φ25	Φ8/0.15	2,5	3,2	3232,70	74,20	48,60	C25/30	S500	2	0,36	1,174	0,60
		16Φ25	Φ8/0.15	2,5	3,2	1053,90	350,90	42,70	C25/30	S500	2	0,14	0,854	0,60
		14Φ20	Φ8/0.15	2,5	3,2	2401,40	28,90	11,20	C25/30	S500	2	0,39	0,478	0,60
		14Φ20	Φ8/0.15	2,5	3,2	4600,30	25,80	4,00	C25/30	S500	2	0,76	0,478	0,60
UT V	P35	4Φ25+4Φ20	2Φ8/0.25	4,0	4,9	1063,93	278,26	189,24	C20/25	S500	12	0,20	0,375	0,70
		8Φ25	2Φ8/0.25	4,0	3,9	3200,30	233,24	131,56	C20/25	S500	6	0,55	0,457	0,70
		12Φ25	2Φ8/0.25	4,0	3,9	3487,05	21,47	283,74	C20/25	S500	12	0,52	0,686	0,70
		10Φ25	2Φ8/0.25	4,0	4,9	1956,27	307,37	212,87	C20/25	S500	12	0,31	0,572	0,70
UT VII	P24	22Φ25	Φ8/.15	2,5	3,2	4035,30	77,70	44,60	C25/30	S500	1	0,39	0,880	0,80
		18Φ25	Φ8/.15	2,5	3,2	3567,50	43,80	19,10	C25/30	S500	2	0,38	0,720	0,80
		22Φ25	Φ8/.15	2,5	3,2	10032,80	14,40	3,60	C25/30	S500	1	0,97	0,880	0,80
		22Φ20	Φ8/.15	2,5	3,2	9421,60	15,20	4,30	C25/30	S500	2	1,10	0,563	0,80
		24Φ20	Φ8/.15	2,5	3,2	4308,90	4,00	73,60	C25/30	S500	2	0,49	0,615	0,80
UT I	P55,59	12Φ25	Φ8/30	2,5	3,0	4114,08	22,07	33,7	C25/30	S500	2	0,46	0,452	0,85
UT I	P45,46	4Φ25 + 10Φ20	Φ8/.25	2,5	4,0	3807,30	101,00	216,50	C25/30	S500	6	0,43	0,370	0,90
		22Φ25	Φ8/.30	2,5	4,0	7079,30	152,60	509,60	C25/30	S500	4	0,61	0,783	0,90
UT I	P55,59	4Φ25 + 10Φ20	Φ8/.19	2,5	3,0	2142,64	16,12	47,24	C25/30	S500	2	0,24	0,370	0,90
		14Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	4525,22	30,04	27,32	C25/30	S500	2	0,47	0,498	0,90
UT I	P45,46	12Φ25 + 2Φ16	Φ8/.20	2,5	4,0	4114,70	261,30	130,90	C25/30	S500	6	0,42	0,432	0,95
		14Φ25	Φ8/.30	2,5	4,0	6529,60	139,00	433,10	C25/30	S500	24	0,65	0,472	0,95
		16Φ25	Φ8/.30	2,5	4,0	6987,00	146,90	212,10	C25/30	S500	6	0,67	0,539	0,95
		8Φ25+10Φ20	Φ8/.25	2,5	4,0	6848,30	167,90	153,50	C25/30	S500	6	0,68	0,485	0,95
		8Φ25+10Φ20	Φ8/.25	2,5	4,0	6848,30	167,90	153,50	C25/30	S500	6	0,68	0,485	0,95
UT I	P54,58	12Φ20+2Φ16	Φ6/19	2,5	3,0	3004,52	28,52	114,02	C25/30	S500	2	0,34	0,286	0,95
		16Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	1578,08	4,48	140,81	C25/30	S500	4	0,15	0,539	0,95
		8Φ25+10Φ20	Φ8/.24	2,5	3,0	4676,52	7,24	70,86	C25/30	S500	2	0,46	0,485	0,95
		14Φ25+4Φ20	Φ8/.24	2,5	3,0	5072,54	32,05	98,01	C25/30	S500	2	0,48	0,558	0,95

Quadro A3.4.22 - Continuação - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,40m; Escalão resistência ao fogo R120.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT I	P55,59	18Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	5170,79	3,18	24,72	C25/30	S500	6	0,47	0,607	0,95
		22Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	5722,57	6,85	30,45	C25/30	S500	2	0,48	0,741	0,95
UT I	P45,46	20Φ25	Φ8/.30	2,5	4,0	8121,40	170,80	241,20	C25/30	S500	6	0,69	0,640	1,00
UT I	P54,58	18Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	5334,63	7,59	104,67	C25/30	S500	4	0,47	0,576	1,00
		16Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	1643,62	5,05	153,73	C25/30	S500	2	0,15	0,512	1,00
UT I	P45,46	18Φ25	Φ8/.30	2,5	4,0	7684,90	196,90	184,60	C25/30	S500	6	0,66	0,549	1,05
		6Φ25+10Φ20	Φ8/.25	2,5	4,0	6591,60	165,00	461,70	C25/30	S500	6	0,63	0,378	1,05
UT I	P55,59	8Φ25 + 10Φ20	Φ8/.19	2,5	3,0	5181,41	14,22	33,94	C25/30	S500	4	0,48	0,439	1,05
UT I	P54,58	20Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	5469,33	35,31	152,47	C25/30	S500	2	0,44	0,582	1,10
UT I	P53,57	12Φ25 + 4Φ20	Φ8	2,5	3,0	5387,91	14,52	159,29	C25/30	S500	2	0,46	0,405	1,15
UT I	P55,59	18Φ25	Φ8/30	2,5	3,0	5729,81	17,22	88,82	C25/30	S500	4	0,46	0,501	1,15
UT I	P56,60	22Φ25	Φ8/30	2,5	3,0	6043,98	44,71	31,94	C25/30	S500	2	0,45	0,612	1,15
UT I	P45,46	18Φ25	Φ8/.30	2,5	4,0	6162,00	323,90	140,40	C25/30	S500	6	0,48	0,480	1,20
		10Φ25 + 6Φ20	Φ8/.25	2,5	4,0	4944,20	155,80	18,70	C25/30	S500	6	0,42	0,369	1,20
UT I	P53,57	20Φ25	Φ8	2,5	3,0	6092,77	9,33	124,65	C25/30	S500	2	0,46	0,534	1,20
UT I	P54,58	16Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	4998,89	39,55	286,24	C25/30	S500	2	0,41	0,427	1,20
UT I	P55,59	26Φ25	Φ8/30	2,5	3,0	6659,96	3,51	119,67	C25/30	S500	2	0,45	0,666	1,25
UT I	P54,58	20Φ25	Φ8/30	2,5	3,0	6447,33	24,42	247,25	C25/30	S500	2	0,46	0,493	1,30
UT I	P56,60	20Φ25	Φ8/30	2,5	3,0	6702,66	0,84	115,75	C25/30	S500	2	0,48	0,493	1,30
UT I	P53,57	20Φ25	Φ8	2,5	3,0	6705,40	10,72	384,52	C25/30	S500	2	0,46	0,457	1,40

Quadro A3.4.23 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,45m; Escalão resistência ao fogo R60.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT III	P37	4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,6	155	44	39	C25/30	S500	1	0,04	0,162	0,45
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,6	124	44	39,9	C25/30	S500	1	0,03	0,162	0,45
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,6	26	42,3	4,9	C25/30	S500	1	0,01	0,162	0,45
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,6	125	42,3	47,9	C25/30	S500	1	0,03	0,162	0,45

Quadro A3.4.24 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,45m; Escalão resistência ao fogo R90.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT I	P2	4Φ20 + 4Φ10	Φ8/.125	3,0	3,05	1681,86	63,86	0	C16/20	S400	5	0,58	0,253	0,45
		4Φ20 + 4Φ12	Φ8/.15	3,0	3,05	1274,4	75,1	0	C16/20	S400	2	0,43	0,275	0,45
		6Φ20+ 2Φ16+ 2Φ10	Φ8/.125	3,0	3,05	1674,62	19,36	0	C16/20	S400	2	0,52	0,394	0,45
		4Φ20 + 4Φ10	Φ8/.125	3,0	3,05	1157,10	60,33	0	C16/20	S400	2	0,40	0,253	0,45
		4Φ16 + 4Φ10	Φ8/.125	3,0	3,05	473,03	17,91	0	C16/20	S400	5	0,17	0,180	0,45
		6Φ16 + 2Φ10	Φ8/.125	3,0	3,05	824,33	6,91	0	C16/20	S400	6	0,29	0,220	0,45
		4Φ16 + 4Φ10	Φ8/.125	3,0	3,05	721,31	2,29	0	C16/20	S400	2	0,26	0,180	0,45
		4Φ20 + 4Φ10	Φ8/.125	3,0	3,05	1549,15	20,01	0	C16/20	S400	4	0,53	0,253	0,45
		4Φ20 + 4Φ10	Φ8/.125	3,0	3,05	1780,31	42,89	0	C16/20	S400	4	0,61	0,253	0,45
UT III	P37	4Φ16+2Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	890,00	50,60	40,1	C25/30	S500	1	0,21	0,133	0,45
		4Φ16+2Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	613,00	45,40	30,1	C25/30	S500	1	0,14	0,133	0,45
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	1101,00	72,70	42,1	C25/30	S500	1	0,25	0,162	0,45
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	488,00	44,70	30,3	C25/30	S500	1	0,11	0,162	0,45
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	296,00	27,60	39,6	C25/30	S500	1	0,07	0,162	0,45
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	299,00	47,00	38,1	C25/30	S500	1	0,07	0,162	0,45
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,45	19	35,6	22	C25/30	S500	1	0,00	0,162	0,45
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	1059	64,2	66,6	C25/30	S500	1	0,24	0,162	0,45
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	809	50,5	53,2	C25/30	S500	1	0,19	0,162	0,45
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	431	28,6	51,3	C25/30	S500	1	0,10	0,162	0,45
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	336	28,4	47,9	C25/30	S500	1	0,08	0,162	0,45
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	246	27,8	44,6	C25/30	S500	1	0,06	0,162	0,45
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	256	46,9	38,3	C25/30	S500	1	0,06	0,162	0,45
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,45	5	20,8	38,6	C25/30	S500	1	0,00	0,162	0,45
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	275	48,6	11,4	C25/30	S500	1	0,06	0,162	0,45
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	197	38,3	9,9	C25/30	S500	1	0,05	0,162	0,45
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	161	30,9	9,6	C25/30	S500	1	0,04	0,162	0,45
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	125	32,1	9,5	C25/30	S500	1	0,03	0,162	0,45
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	128	41	8	C25/30	S500	1	0,03	0,162	0,45
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	84	41,8	5,9	C25/30	S500	1	0,02	0,162	0,45
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	28	28,9	4,9	C25/30	S500	1	0,01	0,162	0,45
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	1077	60,7	72,6	C25/30	S500	1	0,25	0,162	0,45

Quadro A3.4.24 - Continuação - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,45m; Escalão resistência ao fogo R90.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT III	P37	4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	824	47,8	58,3	C25/30	S500	1	0,19	0,162	0,45
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	681	39,3	47,9	C25/30	S500	1	0,16	0,162	0,45
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	447	32,4	47,2	C25/30	S500	1	0,10	0,162	0,45
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	234	23,4	46,2	C25/30	S500	1	0,05	0,162	0,45
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	263	42,2	48,7	C25/30	S500	1	0,06	0,162	0,45
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	4	17,7	38	C25/30	S500	1	0,00	0,162	0,45
UT IV	P36	4Φ16 + 4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,5	2616	2,9	59,9	C25/30	S500	1	0,61	0,162	0,45
		4Φ16 + 4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	1595	12,3	88,5	C25/30	S500	1	0,37	0,162	0,45
		4Φ16 + 4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,5	3066	6,1	26,6	C25/30	S500	1	0,71	0,162	0,45
		4Φ16 + 4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	1865	16	84,7	C25/30	S500	1	0,43	0,162	0,45
		4Φ16 + 4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,5	3067	5,7	20	C25/30	S500	1	0,72	0,162	0,45
		4Φ16 + 4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	1865	15,6	83,7	C25/30	S500	1	0,43	0,162	0,45
		4Φ16 + 4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,5	3040	2,7	15,6	C25/30	S500	1	0,71	0,162	0,45
		4Φ16 + 4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	1851	17,3	75,9	C25/30	S500	1	0,43	0,162	0,45
		4Φ16 + 4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,5	3143	8,3	43,7	C25/30	S500	1	0,73	0,162	0,45
		4Φ16 + 4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	1925	23	103,6	C25/30	S500	1	0,45	0,162	0,45
UT I	P2	6Φ20+2Φ12	Φ8/.15	3,0	3,95	2320,69	45,46	0	C16/20	S400	4	0,69	0,306	0,50
		2Φ32 +6Φ25 + 2Φ12	Φ8/.15	3,0	3,95	2594,51	61,42	0	C16/20	S400	2	0,59	0,693	0,50
		6Φ25+2Φ12	Φ8/.15	3,0	3,05	2215,33	70,73	0	C16/20	S400	2	0,59	0,460	0,50
		4Φ20+4Φ16	Φ8/.20	3,0	3,05	1842,48	74,15	0	C16/20	S400	2	0,55	0,299	0,50
		4Φ20+4Φ12	Φ8/.20	3,0	3,05	1464,92	80,07	0	C16/20	S400	1	0,45	0,248	0,50
		8Φ16	Φ8/.19	3,0	3,95	1493,89	13,59	0	C16/20	S400	1	0,47	0,233	0,50
		4Φ16+4Φ10	Φ8/.125	3,0	3,05	1361,20	13,37	0	C16/20	S400	6	0,45	0,162	0,50
UT I	P2	4Φ20+4Φ12	Φ8/.15	3,0	3,05	2663,28	9,75	0	C16/20	S400	4	0,76	0,225	0,55
		4Φ20+4Φ12	Φ8/.15	3,0	3,05	1518,77	43,37	0	C16/20	S400	4	0,44	0,225	0,55
UT XII	P38	24Φ16	Φ8/.20	3,5	8,9	388,74	94,8	60	C25/30	S500	3	0,06	0,509	0,55
		24Φ16	Φ8/.20	3,5	8,9	388,74	292,8	31,5	C25/30	S500	1	0,06	0,509	0,55
		20Φ16	Φ8/.20	3,5	8,9	377,67	503,18	31,5	C25/30	S500	9	0,06	0,424	0,55
		20Φ16	Φ8/.20	3,5	8,9	194,37	75	96,9	C25/30	S500	1	0,03	0,424	0,55
		14Φ20+12Φ16	Φ8/.20	3,5	4,0	388,74	261,3	31,5	C25/30	S500	3	0,05	0,718	0,55
UT XII	P38	12Φ20+12Φ16	Φ8/.20	3,5	8,9	755,34	347,25	60	C25/30	S500	3	0,09	0,512	0,70
		12Φ20+12Φ16	Φ8/.20	3,5	8,9	1064,49	540,98	31,5	C25/30	S500	1	0,13	0,512	0,70
		14Φ20+6Φ16	Φ8/.20	3,5	8,9	500,97	286,95	157,2	C25/30	S500	1	0,06	0,464	0,70
		26Φ20	Φ8/.20	3,5	4,0	2340,99	261,3	31,5	C25/30	S500	3	0,25	0,676	0,70

Quadro A3.4.24 - Continuação - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,45m; Escalão resistência ao fogo R90.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT XII	P38	20Φ20	Φ8/.20	3,5	8,9	194,37	102,6	30	C25/30	S500	9	0,02	0,520	0,70
		26Φ20	Φ8/.20	3,5	4,0	1064,49	261,3	31,5	C25/30	S500	3	0,11	0,676	0,70
UT III	P43,44	30Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	7425,40	182,50	373,30	C25/30	S500	4	0,51	0,949	0,90
UT III	P43,44	28Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	6995,40	417,90	371,80	28Φ25	S500	4	0,48	0,839	0,95
		32Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	7658,30	498,30	358,30	32Φ25	S500	12	0,49	0,959	0,95
		32Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	7800,60	542,70	387,60	32Φ25	S500	18	0,50	0,959	0,95

Quadro A3.4.25 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,45m; Escalão resistência ao fogo R120.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT IV	P8	8Φ20	Φ6/.24	3,0	3,0	800	0	0	C20/25	S400	8	0,20	0,324	0,45
UT V	P35	8Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,4	1090,6	201,4	177,46	C20/25	S500	2	0,23	0,632	0,45
		8Φ20	2Φ8/0.25	4,0	4,9	655,19	170,17	124,10	C20/25	S500	2	0,16	0,405	0,45
		8Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,9	2916,73	121,24	115,33	C20/25	S500	13	0,73	0,405	0,45
UT X	P15	12Φ16	Φ6/.19	3,5	4,2	2700,0	137,0	130,00	C30/37	S500	2	0,50	0,259	0,45
		10Φ16	Φ6/.19	3,5	4,2	2605,0	126,00	126,00	C30/37	S500	1	0,50	0,216	0,45
UT I	P56,60	6Φ25	Φ8/.30	2,5	3,05	2926,74	33,84	40,89	C25/30	S500	2	0,54	0,341	0,50
UT I	P45,46	20Φ25	Φ8/.30	2,5	4,0	9853,0	215,00	207,60	C25/30	S500	6	0,78	0,569	1,00

Quadro A3.4.26 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,50m; Escalão resistência ao fogo R60.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT III	P37	8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,6	41	8,1	0	C25/30	S500	2	0,01	0,094	0,50
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,6	389	18,5	39,5	C25/30	S500	2	0,08	0,094	0,50
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,6	326	3,5	39,3	C25/30	S500	2	0,06	0,094	0,50
		8Φ16	Φ6/.19	3,5	3,6	354	48,2	8,7	C25/30	S500	2	0,07	0,168	0,50
		8Φ16	Φ6/.19	3,5	3,6	155	51,2	22	C25/30	S500	2	0,03	0,168	0,50
UT I	P11	16Φ25	Φ8/.30	2,5	4,0	4465,0	151,30	6,40	C20/25	S400	6	0,62	0,683	0,60

Quadro A3.4.27 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,50m; Escalão resistência ao fogo R90.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT I	P2	4Φ20 + 2Φ16+ 2Φ12	Φ8/.15	3,0	3,95	2108,23	24,84	0	C16/20	S400	4	0,59	0,246	0,50
		4Φ20 + 4Φ10	Φ8/.125	3,0	3,05	1784,96	25,25	0	C16/20	S400	4	0,52	0,205	0,50
		6Φ20 + 2Φ10	Φ8/.125	3,0	3,05	2299,24	18,08	0	C16/20	S400	2	0,63	0,266	0,50
		4Φ20 + 2Φ12+ 2Φ10	Φ8/.125	3,0	3,05	1503,53	60,82	0	C16/20	S400	2	0,43	0,214	0,50
		6Φ16 + 2Φ10	Φ8/.125	3,0	3,05	1294,54	12,48	0	C16/20	S400	6	0,38	0,178	0,50
		4Φ16 + 4Φ10	Φ8/.125	3,0	3,05	1130,68	3,57	0	C16/20	S400	2	0,34	0,146	0,50
UT III	P37	8Φ12	Φ6/.14	3,5	4,0	955	19,7	14,8	C25/30	S500	1	0,19	0,094	0,50
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	827	23,1	21,2	C25/30	S500	1	0,16	0,094	0,50
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	1353	46,70	20,9	C25/30	S500	1	0,27	0,094	0,50
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	4,0	1821,00	12,40	24,9	C25/30	S500	1	0,36	0,094	0,50
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	4,0	1605,00	28,80	45,2	C25/30	S500	1	0,32	0,094	0,50
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	1960,00	19,80	11,4	C25/30	S500	1	0,39	0,094	0,50
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	1712,00	26,70	14,1	C25/30	S500	1	0,34	0,094	0,50
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	1429,00	36,70	14,1	C25/30	S500	1	0,28	0,094	0,50
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	575,00	30,20	7,6	C25/30	S500	1	0,11	0,094	0,50
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	1681,00	11,70	2,8	C25/30	S500	1	0,33	0,094	0,50
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	600,00	19,30	16	C25/30	S500	1	0,12	0,094	0,50
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	692,00	20,90	47	C25/30	S500	1	0,14	0,094	0,50
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	1694,00	17,80	11,2	C25/30	S500	1	0,33	0,094	0,50
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	1674,00	7,40	17,1	C25/30	S500	1	0,33	0,094	0,50
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	585,00	3,80	47	C25/30	S500	1	0,12	0,094	0,50
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	4,0	675,00	8,50	10,7	C25/30	S500	1	0,13	0,094	0,50
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	4,0	1863,00	10,40	24,3	C25/30	S500	1	0,37	0,094	0,50
		8Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	1641,00	27,60	42,9	C25/30	S500	1	0,32	0,094	0,50
		4Φ16+2Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	2220,00	21,20	10,5	C25/30	S500	1	0,43	0,108	0,50
		4Φ16+2Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	2221,00	7,90	1,8	C25/30	S500	1	0,43	0,108	0,50
		4Φ16+2Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	2010,00	14,60	17,1	C25/30	S500	1	0,39	0,108	0,50
		4Φ16+2Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	2075,00	19,70	12,6	C25/30	S500	1	0,40	0,108	0,50
		4Φ16+2Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	784,00	63,20	25	C25/30	S500	1	0,15	0,108	0,50
		4Φ16+2Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	2244,00	0,80	5	C25/30	S500	1	0,44	0,108	0,50
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	2596,00	34,20	24,6	C25/30	S500	1	0,50	0,131	0,50
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	2565,00	2,30	33,3	C25/30	S500	1	0,49	0,131	0,50
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	1419,00	58,90	83,7	C25/30	S500	1	0,27	0,131	0,50
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	2599,00	17,20	1	C25/30	S500	1	0,50	0,131	0,50

Quadro A3.4.27 - Continuação - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,50m; Escalão resistência ao fogo R90.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT III	P37	4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	2494,00	17,60	4,3	C25/30	S500	1	0,48	0,131	0,50
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	405,00	58,30	2,6	C25/30	S500	1	0,08	0,131	0,50
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,35	2652,00	10,60	16,4	C25/30	S500	1	0,51	0,131	0,50
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	2673,00	18,70	14,2	C25/30	S500	1	0,51	0,131	0,50
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	636,00	62,10	24,7	C25/30	S500	1	0,12	0,131	0,50
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	597,00	18,60	16,6	C25/30	S500	1	0,11	0,131	0,50
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	2489,00	0,00	33,4	C25/30	S500	1	0,48	0,131	0,50
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,5	3,8	1453,00	69,10	81,8	C25/30	S500	1	0,28	0,131	0,50
		8Φ16	Φ6/.19	3,5	4,0	3091,00	2,60	10,6	C25/30	S500	1	0,57	0,168	0,50
		8Φ16	Φ6/.19	3,5	3,8	2788,00	14,00	20,9	C25/30	S500	1	0,52	0,168	0,50
		8Φ16	Φ6/.19	3,5	4,0	3183,00	4,70	16,3	C25/30	S500	1	0,59	0,168	0,50
		8Φ16	Φ6/.19	3,5	3,8	2895,00	7,80	27	C25/30	S500	1	0,54	0,168	0,50
		8Φ16	Φ6/.19	3,5	4,0	2835,00	10,40	2,3	C25/30	S500	1	0,52	0,168	0,50
		8Φ16	Φ6/.19	3,5	3,45	108,00	6,20	10,1	C25/30	S500	1	0,02	0,168	0,50
		8Φ16	Φ6/.19	3,5	3,35	2829,00	1,80	4,3	C25/30	S500	1	0,52	0,168	0,50
		8Φ16	Φ6/.19	3,5	3,45	299,00	21,10	80,5	C25/30	S500	1	0,06	0,168	0,50
		8Φ16	Φ6/.19	3,5	3,35	3325,00	4,90	15	C25/30	S500	1	0,61	0,168	0,50
		8Φ16	Φ6/.19	3,5	3,45	159,00	85,60	92,5	C25/30	S500	1	0,03	0,168	0,50
		8Φ16	Φ6/.19	3,5	4,0	3219,00	11,70	4,6	C25/30	S500	1	0,60	0,168	0,50
		8Φ16	Φ6/.19	3,5	3,8	2959,00	17,60	9,8	C25/30	S500	1	0,55	0,168	0,50
		8Φ16	Φ6/.19	3,5	3,35	480,00	60,90	23,7	C25/30	S500	1	0,09	0,168	0,50
		8Φ16	Φ6/.19	3,5	3,35	319,00	57,80	22,1	C25/30	S500	1	0,06	0,168	0,50
		8Φ16	Φ6/.19	3,5	3,35	2860,00	7,90	0,9	C25/30	S500	1	0,53	0,168	0,50
		8Φ16	Φ6/.19	3,5	3,45	156,00	78,60	90,8	C25/30	S500	1	0,03	0,168	0,50
		8Φ16	Φ6/.19	3,5	4,0	3349,00	10,00	2,8	C25/30	S500	1	0,62	0,168	0,50
		8Φ16	Φ6/.19	3,5	3,8	3030,00	23,80	10,5	C25/30	S500	1	0,56	0,168	0,50
		8Φ16	Φ6/.19	3,5	3,8	2678,00	31,80	14,8	C25/30	S500	1	0,50	0,168	0,50
		8Φ16	Φ6/.19	3,5	3,8	395,00	55,30	13,9	C25/30	S500	1	0,07	0,168	0,50
		8Φ16	Φ6/.19	3,5	4,0	3036,00	0,00	16,5	C25/30	S500	1	0,56	0,168	0,50
		8Φ16	Φ6/.19	3,5	3,8	2799,00	0,00	26,8	C25/30	S500	1	0,52	0,168	0,50
UT I	P2	6Φ20+2Φ12	Φ8/.15	3,0	3,95	3251,91	2,6	0	C16/20	S400	4	0,77	0,229	0,60
		6Φ20+2Φ12	Φ8/.15	3,0	3,95	1787,33	38,06	0	C16/20	S400	4	0,42	0,229	0,60
UT I	P11	14Φ25	Φ8/.30	2,5	4,0	4740,00	159,20	18,50	C20/25	S400	6	0,69	0,598	0,60
UT I	P2	6Φ16+2Φ10	Φ6/.125	3,0	3,0	2000,03	14,15	0	C16/20	S400	8	0,51	0,148	0,60

Quadro A3.4.27 - Continuação - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,50m; Escalão resistência ao fogo R90.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT I	P2	6Φ16+2Φ10	Φ6/.125	3,0	3,0	2000,03	14,15	0	C16/20	S400	8	0,51	0,148	0,60
		6Φ16 + 4Φ12	Φ6/.15	3,0	3,0	2376,43	11,21	0	C16/20	S400	8	0,58	0,180	0,60
UT III	P43,44	30Φ25	Φ8/30	2,5	3,0	8015,90	439,10	363,90	C25/30	S500	4	0,50	0,809	0,95

Quadro A3.4.28 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,50m; Escalão resistência ao fogo R120.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT V	P35	4Φ25+4Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	3036,44	149,78	91,02	C20/25	S500	10	0,60	0,420	0,50
		10Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,4	2157,83	233,19	263,81	C20/25	S500	28	0,37	0,640	0,50
		8Φ16	2Φ8/0.25	4,0	3,4	187,29	156,50	146,39	C20/25	S500	12	0,04	0,210	0,50
		8Φ16	2Φ8/0.25	4,0	3,4	606,11	97,72	27,61	C20/25	S500	12	0,14	0,210	0,50
		8Φ25	2Φ8/0.25	4,0	6,0	398,91	127,35	60,03	C20/25	S500	12	0,07	0,512	0,50
		8Φ25	2Φ8/0.25	4,0	3,4	2039,67	252,63	196,49	C20/25	S500	8	0,38	0,512	0,50
		8Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	1417,64	246,71	122,77	C20/25	S500	4	0,30	0,328	0,50
		4Φ20+4Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,4	1106,93	226,47	125,21	C20/25	S500	4	0,25	0,269	0,50
		8Φ16	2Φ8/0.25	4,0	3,4	797,57	164,26	126,01	C20/25	S500	12	0,19	0,210	0,50
		4Φ16+8Φ12	2Φ6/0.15	4,0	3,9	1466,47	101,96	99,02	C20/25	S500	10	0,34	0,223	0,50
		8Φ25	2Φ8/0.25	4,0	3,4	2901,36	154,13	161,26	C20/25	S500	10	0,54	0,512	0,50
UT I	P53,57	12Φ25	Φ8	2,5	3,0	2958,64	54,19	103,11	C25/30	S500	4	0,38	0,559	0,55
UT V	P35	12Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,9	4296,83	108,51	204,98	C20/25	S500	8	0,62	0,640	0,60
		4Φ25+6Φ20	2Φ8/0.25	4,0	4,9	1235,13	392,45	109,44	C20/25	S500	8	0,21	0,418	0,60
		4Φ25+4Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,9	4484,76	48,45	10,79	C20/25	S500	2	0,78	0,350	0,60
		4Φ20+4Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,4	3296,20	32,66	49,96	C20/25	S500	4	0,63	0,224	0,60
		8Φ20	2Φ8/0.25	4,0	4,9	2122,39	173,16	250,43	C20/25	S500	2	0,39	0,273	0,60
		8Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,4	892,85	31,45	120,31	C20/25	S500	2	0,18	0,175	0,60
		4Φ25+4Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	493,84	81,14	304,36	C20/25	S500	8	0,09	0,350	0,60
		4Φ25+4Φ20	2Φ8/0.25	4,0	4,9	1587,15	152,04	315,97	C20/25	S500	8	0,28	0,350	0,60
		4Φ20+4Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,9	3809,32	9,89	15,74	C20/25	S500	8	0,73	0,224	0,60
		4Φ25+4Φ20	2Φ8/0.25	4,0	4,9	2024,05	260,66	239,14	C20/25	S500	8	0,35	0,350	0,60
		4Φ20+4Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,4	781,11	136,07	131,01	C20/25	S500	4	0,15	0,224	0,60
		10Φ25	2Φ8/0.30	4,0	4,9	2385,78	314,40	289,77	C20/25	S500	8	0,37	0,534	0,60
		4Φ25+10Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	4292,87	22,02	186,74	C20/25	S500	48	0,65	0,555	0,60

Quadro A3.4.28 - Continuação - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão b = 0,50m; Escalão resistência ao fogo R120.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	n	ω	h [m]
UT V	P35	12Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,9	3079,82	112,88	127,97	C20/25	S500	12	0,58	0,262	0,60
		10Φ16	2Φ6/0.20	4,0	6,0	1426,51	83,40	208,12	C20/25	S500	2	0,26	0,202	0,65
		12Φ16	2Φ6/0.20	4,0	6,0	1449,68	163,30	19,22	C20/25	S500	10	0,25	0,242	0,65
		10Φ16	2Φ6/0.20	4,0	6,0	826,91	139,03	124,97	C20/25	S500	10	0,15	0,202	0,65
		12Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,4	3860,58	390,93	215,52	C20/25	S500	8	0,50	0,549	0,70
		4Φ25+8Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	3266,14	285,28	296,21	C20/25	S500	8	0,47	0,417	0,70
		10Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	2624,42	338,53	173,01	C20/25	S500	8	0,41	0,293	0,70
		12Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,4	4018,18	191,07	389,77	C20/25	S500	12	0,52	0,549	0,70
		4Φ25+8Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	2938,89	323,88	305,35	C20/25	S500	12	0,42	0,417	0,70
		10Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,4	4630,13	211,68	187,71	C20/25	S500	12	0,64	0,457	0,70
		12Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,4	3296,40	446,19	307,30	C20/25	S500	16	0,43	0,549	0,70
		4Φ20+6Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,4	1563,26	75,93	298,32	C20/25	S500	8	0,26	0,229	0,70
		14Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,4	4924,92	242,07	4,32	C20/25	S500	8	0,61	0,640	0,70
		4Φ20+6Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,4	3467,53	29,30	218,53	C20/25	S500	8	0,57	0,229	0,70
		4Φ20+6Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,4	4523,70	57,62	7,35	C20/25	S500	16	0,74	0,229	0,70
		4Φ20+6Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,4	3654,92	23,90	6,37	C20/25	S500	8	0,60	0,229	0,70
		4Φ20+6Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,4	3415,42	9,97	151,91	C20/25	S500	8	0,56	0,229	0,70
		10Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,4	4672,33	11,56	242,49	C20/25	S500	16	0,65	0,457	0,70
		14Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,4	4933,60	246,70	5,71	C20/25	S500	8	0,61	0,640	0,70
		14Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	4626,75	169,14	10,26	C20/25	S500	8	0,66	0,410	0,70
		14Φ25	2Φ8/0.30	4,0	4,9	4581,35	449,99	715,14	C20/25	S500	24	0,56	0,640	0,70
		14Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,4	3897,28	194,13	438,20	C20/25	S500	6	0,48	0,640	0,70
		14Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,4	4103,56	191,85	443,01	C20/25	S500	6	0,51	0,640	0,70
		4Φ25+6Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	2128,24	286,35	339,19	C20/25	S500	6	0,32	0,359	0,70
		14Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,4	4087,21	367,28	303,45	C20/25	S500	12	0,50	0,640	0,70
		10Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,4	3181,77	266,93	370,94	C20/25	S500	6	0,44	0,457	0,70
		10Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	2220,11	491,96	143,54	C20/25	S500	6	0,35	0,293	0,70
		4Φ20+6Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,4	1787,25	390,17	129,74	C20/25	S500	6	0,29	0,229	0,70
		14Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	1610,36	143,11	495,54	C20/25	S500	6	0,23	0,410	0,70
		4Φ25+8Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	1533,22	157,09	502,92	C20/25	S500	6	0,22	0,417	0,70
UT III	P43,44	36Φ25	Φ8/30	2,5	3,4	9744,20	194,90	319,50	C25/30	S500	36	0,56	0,971	0,95
UT III	P43,44	36Φ25	Φ8/.30	2,5	3,4	9353,80	237,90	412,10	C25/30	S500	12	0,53	0,922	1,00
UT V	P35	14Φ25	2Φ8/0.30	4,0	4,9	2654,49	330,92	1139,18	C20/25	S500	8	0,26	0,448	1,00
		4Φ25+10Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,9	5166,22	17,29	432,87	C20/25	S500	4	0,55	0,333	1,00

Quadro A3.4.28 - Continuação - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,50m; Escalão resistência ao fogo R120.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT V	P35	14Φ25	2Φ8/0.30	4,0	4,9	4615,23	519,20	527,74	C20/25	S500	4	0,45	0,448	1,00
		4Φ25+10Φ20	2Φ8/0.25	4,0	4,9	3428,83	604,54	446,38	C20/25	S500	8	0,36	0,333	1,00
		12Φ25	2Φ8/0.30	4,0	5,4	2459,01	1254,91	19,63	C20/25	S500	8	0,25	0,384	1,00
		12Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,9	4661,82	304,06	2,10	C20/25	S500	6	0,53	0,246	1,00
		4Φ25+10Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	6114,69	291,53	10,14	C20/25	S500	6	0,65	0,333	1,00
		12Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	4696,22	3,93	275,64	C20/25	S500	6	0,53	0,246	1,00
		12Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	5721,64	35,58	62,61	C20/25	S500	12	0,65	0,246	1,00
		12Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,9	5129,74	0,21	192,52	C20/25	S500	6	0,58	0,246	1,00
		4Φ20+8Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,4	4314,85	1,48	144,21	C20/25	S500	4	0,51	0,187	1,00
		4Φ25+8Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,9	6381,56	7,28	178,69	C20/25	S500	12	0,70	0,292	1,00
		4Φ25+10Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,9	6170,09	287,23	6,42	C20/25	S500	4	0,65	0,333	1,00
		4Φ20+10Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,4	5812,36	200,61	13,75	C20/25	S500	6	0,68	0,213	1,00
		16Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,4	5312,54	473,07	593,65	C20/25	S500	24	0,50	0,512	1,00
		18Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,9	5679,63	1,77	184,54	C20/25	S500	6	0,51	0,576	1,00
		18Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,4	5348,06	417,38	590,16	C20/25	S500	6	0,48	0,576	1,00
		4Φ25+10Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	3370,32	337,88	556,26	C20/25	S500	6	0,36	0,333	1,00
		12Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,4	4199,66	498,64	498,03	C20/25	S500	6	0,43	0,384	1,00
		4Φ20+10Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,9	5223,38	78,23	0,00	C20/25	S500	6	0,61	0,213	1,00
		4Φ20+10Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,4	2236,02	599,28	181,25	C20/25	S500	6	0,26	0,213	1,00
		22Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,4	2949,67	495,06	1000,17	C20/25	S500	6	0,24	0,704	1,00
		22Φ25	2Φ8/0.30	4,0	3,4	2776,72	332,76	993,40	C20/25	S500	6	0,23	0,704	1,00
		20Φ32	2Φ8/0.30	4,0	3,9	917,18	7,58	2092,56	C20/25	S500	6	0,06	1,049	1,00
UT V	P35	14Φ20	2Φ8/0.25	4,0	4,9	5759,00	388,42	767,94	C20/25	S500	4	0,51	0,221	1,30
UT V	P35	14Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	6407,41	269,54	1176,35	C20/25	S500	6	0,54	0,205	1,40

Quadro A3.4.29 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,55m; Escalão resistência ao fogo R90.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT I	P2	6Φ20 + 2Φ12	Φ8/.15	3,0	3,6	2567,3	74,16	0	C16/20	S400	1	0,60	0,228	0,55
		6Φ25 + 2Φ12	Φ8/.15	3,0	3,6	2908,5	87,04	0	C16/20	S400	1	0,62	0,342	0,55
		6Φ20 + 4Φ12	Φ8/.15	3,0	3,05	2942,34	15,20	0	C16/20	S400	2	0,68	0,252	0,55
		4Φ20 + 4Φ16	Φ8/.20	3,0	3,05	1865,10	59,89	0	C16/20	S400	2	0,44	0,222	0,55

Quadro A3.4.29 - Continuação - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,55m; Escalão resistência ao fogo R90.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
		8Φ16	Φ8/.19	3,0	3,6	1642,79	20,42	0	C16/20	S400	1	0,40	0,173	0,55
		6Φ16 + 2Φ12	Φ8/.15	3,0	3,05	1820,42	3,70	0	C16/20	S400	6	0,45	0,154	0,55
		4Φ16 + 4Φ10	Φ8/.125	3,0	3,05	1548,42	6,80	0	C16/20	S400	2	0,40	0,121	0,55
		4Φ20 + 2Φ16+ 2Φ12	Φ8/.15	3,0	3,6	2432,48	26,18	0	C16/20	S400	4	0,58	0,203	0,55
UT III	P43,44	38Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	9088,70	514,90	471,70	C25/30	S500	4	0,49	0,931	0,95
		38Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	9853,90	523,10	461,50	C25/30	S500	12	0,53	0,931	0,95

Quadro A3.4.30 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,55m; Escalão resistência ao fogo R120.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT III	P43,44	42Φ25	Φ8/.30	2,5	3,4	11413,30	387,70	382,30	C25/30	S500	8	0,57	0,978	1,00
		42Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	11892,00	370,00	391,00	C25/30	S500	12	0,59	0,978	1,00
UT III	P43,44	46Φ25	Φ8/.30	2,5	3,4	12433,00	393,10	403,70	C25/30	S500	4	0,56	0,974	1,10
		46Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	7800,60	542,70	387,60	C25/30	S500	24	0,35	0,974	1,10

Quadro A3.4.31 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,60m; Escalão resistência ao fogo R90.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT I	P2	4Φ25 + 4Φ12	Φ8/.15	3,0	3,0	3191,49	74,14	0	C16/20	S400	1	0,63	0,219	0,60
		6Φ20 + 4Φ12	Φ8/.15	3,0	3,05	3599,08	12,31	0	C16/20	S400	2	0,72	0,212	0,60
		6Φ25+ 2Φ16 + 2Φ12	Φ8/.15	3,0	3,05	2234,62	57,20	0	C16/20	S400	1	0,41	0,324	0,60
		4Φ25 + 4Φ12	Φ8/.15	3,0	3,05	2050,41	63,34	0	C16/20	S400	1	0,41	0,219	0,60
		6Φ20 + 2Φ12	Φ8/.15	3,0	3,0	1970,00	76,80	0	C16/20	S400	2	0,40	0,191	0,60
		6Φ16 + 2Φ12	Φ8/.15	3,0	3,05	1969,52	3,98	0	C16/20	S400	2	0,42	0,130	0,60
		6Φ20 + 4Φ12	Φ8/.15	3,0	3,0	3054,58	48,02	0	C16/20	S400	2	0,61	0,212	0,60
		4Φ32 + 4Φ12	Φ8/.15	3,0	3,0	3519,07	59,37	0	C16/20	S400	1	0,64	0,332	0,60
		4Φ20 + 4Φ16	Φ8/.20	3,0	3,0	3117,88	6,59	0	C16/20	S400	8	0,64	0,187	0,60
UT I	P2	6Φ20+2Φ12	Φ8/.15	3,0	3,0	4001,07	64,88	0	C16/20	S400	4	0,76	0,177	0,65
		6Φ20+2Φ12	Φ8/.15	3,0	3,6	2270,58	28,66	0	C16/20	S400	4	0,43	0,177	0,65

Quadro A3.4.32 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,60m; Escalão resistência ao fogo R120.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT V	P35	12Φ16	2Φ6/0.20	4,0	3,4	3550,04	54,59	38,82	C20/25	S500	4	0,57	0,219	0,60
		4Φ25+8Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	4396,10	175,60	256,83	C20/25	S500	16	0,61	0,406	0,60
		4Φ25+4Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	1996,55	153,04	483,63	C20/25	S500	4	0,30	0,292	0,60
UT V	P35	12Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	1976,99	485,98	162,83	C20/25	S500	4	0,29	0,341	0,60
UT V	P35	16Φ25	3Φ8/0.30	4,0	3,9	6701,82	44,07	318,07	C20/25	S500	3	0,70	0,610	0,70
UT V	P35	20Φ25	3Φ8/0.30	4,0	3,4	7808,35	362,51	467,18	C20/25	S500	12	0,64	0,593	0,90
		12Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,4	5498,41	11,30	389,12	C20/25	S500	6	0,59	0,228	0,90
UT V	P35	20Φ25	3Φ8/0.30	4,0	3,4	7969,70	371,82	706,82	C20/25	S500	12	0,61	0,534	1,00
		12Φ25	3Φ8/0.30	4,0	3,4	6055,99	372,02	741,69	C20/25	S500	3	0,54	0,320	1,00
		14Φ25	3Φ8/0.30	4,0	3,4	6342,36	452,90	728,21	C20/25	S500	3	0,54	0,373	1,00
UT V	P35	20Φ25	3Φ8/0.30	4,0	3,9	10281,82	121,06	1159,65	C20/25	S500	12	0,63	0,381	1,40
UT V	P35	18Φ25	3Φ8/0.30	4,0	3,9	6794,98	339,97	1223,74	C20/25	S500	3	0,40	0,320	1,50
		22Φ25	3Φ8/0.30	4,0	3,4	10401,10	520,33	1748,12	C20/25	S500	12	0,59	0,391	1,50
		18Φ20	2Φ8/0.25	4,0	3,9	9613,69	55,25	139,91	C20/25	S500	3	0,63	0,205	1,50
		16Φ25	3Φ8/0.30	4,0	3,4	8372,63	655,71	1637,48	C20/25	S500	3	0,51	0,285	1,50
UT III	P43,44	8Φ25+10Φ20	Φ8/0.25	2,5	3,5	7880,92	10,15	4,73	C25/30	S500	4	0,35	0,201	1,70

Quadro A3.4.33 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,65m; Escalão resistência ao fogo R90.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT I	P2	8Φ20 + 4Φ12	Φ8/.15	3,0	3,6	2567,3	74,16	0	C16/20	S400	2	0,43	0,229	0,65
		8Φ20 + 4Φ10	Φ8/.125	3,0	3,6	4291,00	10,48	0	C16/20	S400	2	0,73	0,218	0,65
		6Φ20 + 4Φ12	Φ8/.15	3,0	3,95	2714,50	35,26	0,00	C16/20	S400	6	0,47	0,180	0,65
UT III	P37	4Φ20+2Φ16	Φ6/.19	3,5	3,35	3573	1,4	19,1	C25/30	S500	1	0,41	0,102	0,65
		4Φ20+2Φ16	Φ6/.19	3,5	3,35	3582	30,5	7,8	C25/30	S500	1	0,42	0,102	0,65
		4Φ20+4Φ16	Φ6/.19	3,5	3,35	4229	2,7	32,1	C25/30	S500	1	0,48	0,127	0,65
		4Φ20+4Φ16	Φ6/.19	3,5	3,35	4035	1,2	38,5	C25/30	S500	1	0,46	0,127	0,65
		4Φ20+4Φ16	Φ6/.19	3,5	3,35	4202	42,1	22	C25/30	S500	1	0,48	0,127	0,65
		8Φ20	Φ6/.24	3,5	3,35	4723	0	54,1	C25/30	S500	1	0,52	0,155	0,65
		12Φ16	Φ6/.19	3,5	3,8	5247	3,5	30,1	C25/30	S500	1	0,58	0,149	0,65
		12Φ16	Φ6/.19	3,5	3,8	4820	6,8	37,5	C25/30	S500	1	0,54	0,149	0,65
		12Φ16	Φ6/.19	3,5	3,8	5308	30,6	10,7	C25/30	S500	1	0,59	0,149	0,65

Quadro A3.4.33 - Continuação - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,65m; Escalão resistência ao fogo R90.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT III	P37	12Φ16	Φ6/.19	3,5	3,8	4724	40	19,8	C25/30	S500	1	0,53	0,149	0,65
		4Φ20+8Φ16	Φ6/.19	3,5	4,0	5934	2,2	19,9	C25/30	S500	1	0,64	0,177	0,65
		4Φ20+8Φ16	Φ6/.19	3,5	4,0	6761	2,5	30,6	C25/30	S500	1	0,73	0,177	0,65
		4Φ20+8Φ16	Φ6/.19	3,5	3,8	6065	4,5	45,2	C25/30	S500	1	0,66	0,177	0,65
		4Φ20+8Φ16	Φ6/.19	3,5	3,8	5379	4,8	55,2	C25/30	S500	1	0,58	0,177	0,65
		4Φ20+8Φ16	Φ6/.19	3,5	4,0	5965	18,5	2,6	C25/30	S500	1	0,65	0,177	0,65

Quadro A3.4.34 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,65m; Escalão resistência ao fogo R120.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT III	P61,62	16Φ25	Φ8/.15	2,5	3,5	2431,28	0,34	25,37	C25/30	S500	14	0,21	0,485	0,65

Quadro A3.4.35 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,70m; Escalão resistência ao fogo R90.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT I	P2	6Φ20 + 6Φ10	Φ8/.15	3,0	3,0	4999,11	8,39	0	C16/20	S400	2	0,77	0,157	0,70
		8Φ20 + 4Φ12	Φ8/.15	3,0	3,0	4999,11	8,39	0	C16/20	S400	2	0,74	0,197	0,70
		6Φ20 + 6Φ10	Φ8/.15	3,0	3,0	3152,85	20,54	0	C16/20	S400	6	0,48	0,157	0,70

Quadro A3.4.36 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,70m; Escalão resistência ao fogo R120.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT V	P35	16Φ16	2Φ6/0.20	4,0	6,0	1617,47	332,71	15,51	C20/25	S500	6	0,19	0,214	0,70

Quadro A3.4.37 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,75m; Escalão resistência ao fogo R120.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT VIII	P39	60Φ25	Φ10/.20	3,0	4,5	16500,00	618,75	618,75	C35/45	S500	20	0,58	0,976	0,75

Quadro A3.4.38 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,75m; Escalão resistência ao fogo R180.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT VIII	P39	60Φ25	Φ10/.15	3,0	4,5	24750,00	1485,00	1183,11	C35/45	S500	260	0,67	0,610	1,20

Quadro A3.4.39 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,80m; Escalão resistência ao fogo R120.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT III	P43,44	24Φ25	Φ8/.20	2,5	3,5	6690,69	23,15	56,83	C25/30	S500	8	0,38	0,480	0,80
UT VIII	P18	12Φ25	Φ8/.20	3,0	6,0	8787,01	334,75	206,48	C30/37	S500	4	0,55	0,200	0,80
		12Φ25	Φ8/.20	3,0	6,0	6725,00	929,45	494,67	C30/37	S500	4	0,42	0,200	0,80
UT XI	P10	12Φ20	Φ6/.24	3,0	3,9	7046	0	0	C20/25	S400	12	0,67	0,154	0,80

Quadro A3.4.40 - Caraterísticas dos pilares retangulares analisados.
Menor dimensão *b* = 0,80m; Escalão resistência ao fogo R180.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	*n*	*ω*	*h* [m]
UT VIII	P18	16Φ25	16Φ25	3,0	3,0	6	11188,98	304,26	709,64	S500	8	0,60	0,237	0,80

Quadro A3.4.41 - Caraterísticas dos pilares circulares analisados.
Escalão resistência ao fogo R30.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	n	ω	Φ [m]
UT I	P21	8Φ16	Φ6/.20	2,0	3,0	69,3	6,8	0	C16/20	S400	8	0,04	0,545	0,35

Quadro A3.4.42 - Caraterísticas dos pilares circulares analisados.
Escalão resistência ao fogo R60.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	n	ω	Φ [m]
UT I	P1	6Φ12	Φ6/.16	3,0	2,95	33,4	9,75	0	C16/20	S400	1	0,04	0,451	0,25
		6Φ16	Φ6/.16	3,0	2,95	165	19,92	0	C16/20	S400	1	0,16	0,801	0,25
UT IV	P22	6Φ16	Φ6/.16	2,5	3,0	223,7	21,2	0	C20/25	S400	2	0,12	1,710	0,25
UT IX	P48	8Φ12	Φ6/.14	2,5	2,85	174,9	11,2	0	C30/37	S500	4	0,12	0,401	0,25
UT I	P1	6Φ16	Φ6/.14	3,0	2,9	584,4	27,1	0	C16/20	S400	2	0,46	0,557	0,30
		6Φ12	Φ6/.15	3,0	3,18	128,8	12,8	0	C16/20	S400	4	0,12	0,313	0,30
		6Φ12	Φ6/.15	3,0	2,9	359,2	19,89	21,65	C16/20	S400	2	0,34	0,313	0,30
UT VI	P52	8Φ20	Φ6/.19	3,0	3,95	93,27	32,42	5,13	C20/25	S400	11	0,05	0,928	0,30
		6Φ12	Φ6/.15	3,0	3,95	197,89	6,78	9,92	C20/25	S400	4	0,15	0,250	0,30
UT IV	P22	6Φ16	Φ6/.20	2,5	3,0	495,2	18,72	0	C20/25	S400	2	0,33	0,445	0,30
UT IV	P22	6Φ20	Φ6/.25	2,5	3,0	562,3	28,32	0	C20/25	S400	8	0,32	0,696	0,30
UT IV	P22	8Φ20	Φ6/.20	2,5	3,0	684,7	34,6	0	C20/25	S400	4	0,34	0,928	0,30
UT III	P28	4Φ25+4Φ16	Φ8/.19	3,0	3,5	2740,0	0	0	C20/25	S400	26	0,98	0,575	0,40
UT VI	P52	6Φ16	Φ6/.19	3,0	3,95	746,19	2,06	8,13	C20/25	S400	8	0,32	0,250	0,40
UT II	P27	8Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	500,00	0	0	C20/25	S400	36	0,15	0,214	0,50
UT I	P7	16Φ20	Φ6/.25	3,0	3,5	1037,70	103,4	0	C20/25	S400	9	0,20	0,552	0,55

Quadro A3.4.43 - Caraterísticas dos pilares circulares analisados.
Escalão resistência ao fogo R90.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	n	ω	Φ [m]
UT I	P1	6Φ16	Φ6/.19	3,0	3,28	686,5	35,29	0	C16/20	S400	4	0,54	0,557	0,30
UT I	P7	6Φ16	Φ6/.20	3,0	3,0	596,3	27,35	0	C20/25	S400	6	0,41	0,445	0,30
UT I	P2	7Φ25+3Φ20	Φ8/.25	3,0	3,0	1001,71	5,69	0	C16/20	S400	10	0,32	1,136	0,40
		7Φ25+4Φ20	Φ8/.25	3,0	3,0	407,80	15,09	0	C16/20	S400	4	0,13	1,218	0,40
UT I	P2	7Φ25+5Φ20	Φ8/.25	3,0	3,0	1606,86	5,45	0	C16/20	S400	6	0,43	1,027	0,45
UT I	P2	6Φ25+4Φ20	Φ8/.25	3,0	3,0	2226,60	7,66	0	C16/20	S400	10	0,58	0,698	0,50
		8Φ20	Φ6/.25	3,0	3,95	2431,40	35,21	0	C16/20	S400	12	0,76	0,417	0,50
		6Φ20	Φ8/.125	3,0	3,0	1780,31	42,89	0	C16/20	S400	10	0,60	0,313	0,50
UT I	P17	6Φ16	Φ8/.20	3,0	4,0	983,20	32,90	0	C25/30	S500	12	0,24	0,160	0,50
UT I	P45/46.B2	16Φ25	Φ8/.24	2,5	3,8	2866,18	19,35	0	C25/30	S500	8	0,40	1,043	0,50
UT I	P2	4Φ25+5Φ20	Φ8/.25	3,0	3,0	2862,69	9,65	0	C16/20	S400	12	0,71	0,485	0,55
		8Φ20	Φ6/.25	3,0	3,6	2775,43	40,52	0	C16/20	S400	16	0,76	0,345	0,55
UT I	P2	6Φ25+4Φ20	Φ8/.25	3,0	3,0	3514,35	12,65	0	C16/20	S400	6	0,73	0,485	0,60
		4Φ25+3Φ20	Φ8/.25	3,0	3,0	3187,90	9,78	0	C16/20	S400	5	0,74	0,335	0,60
		8Φ20	Φ6/.25	3,0	3,0	3123,76	40,59	0	C16/20	S400	8	0,75	0,290	0,60
UT I	P2	4Φ25+6Φ20	Φ8/.25	3,0	3,6	4203,21	14,33	0	C16/20	S400	2	0,80	0,378	0,65
		4Φ25+6Φ20	Φ8/.25	3,0	3,6	2824,04	41,59	0	C16/20	S400	2	0,54	0,378	0,65
		8Φ16	Φ6/.20	3,0	3,95	2420,03	17,32	0	C16/20	S400	2	0,55	0,158	0,65
UT III	P61,62	22Φ25	Φ8/.30	2,5	3,8	5325,85	22,93	19,45	C25/30	S500	98	0,47	0,849	0,65

Quadro A3.4.44 - Caraterísticas dos pilares circulares analisados.
Escalão resistência ao fogo R120.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	n	ω	Φ [m]
UT XII	P41	6Φ12	Φ6/.15	3,0	3,4	248,2	24,9	0	C20/25	S400	10	0,26	0,361	0,25
UT IV	P26	8Φ12	Φ6/.14	3,0	3,0	30	0	0	C20/25	S400	4	0,02	0,334	0,30
UT IV	P32	8Φ12	Φ6/.14	3,0	3,0	30	0	0	C20/25	S400	8	0,02	0,334	0,30
UT IV	P47	10Φ12	Φ6/.15	2,5	3,5	328,73	28,79	0	C30/37	S500	18	0,16	0,348	0,30
UT IV	P32	8Φ12	Φ6/.14	3,0	3,0	527	1	18	C20/25	S400	4	0,24	0,188	0,40
		8Φ12	Φ6/.14	3,0	3,0	575	9	8	C20/25	S400	4	0,26	0,188	0,40
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,0	3,0	725	16	10	C20/25	S400	15	0,31	0,261	0,40

Quadro A3.4.44 - Continuação - Caraterísticas dos pilares circulares analisados.
Escalão resistência ao fogo R120.

UT	Número do processo	Armadura longitudinal	Cintas	Recobrimento [cm]	Comprimento [m]	N_{Ed} [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	Betão	Aço	Número de Pilares	n	ω	Φ [m]
UT IV	P32	4Φ25+8Φ20	Φ8/.24	3,0	3,0	2975	4	23	C20/25	S400	6	0,84	0,929	0,40
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,0	3,0	1256	29	3	C20/25	S400	6	0,54	0,261	0,40
		4Φ20+4Φ16	Φ6/.14	3,0	3,0	1256	29	3	C20/25	S400	6	0,48	0,428	0,40
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,0	6,8	725	16	10	C20/25	S400	8	0,31	0,261	0,40
		8Φ25+8Φ20	Φ8/.20	3,0	6,8	3500	0	0	C20/25	S400	8	0,82	1,337	0,40
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.20	3,0	6,8	3000	0	0	C20/25	S400	12	1,30	0,261	0,40
		4Φ16+4Φ12	Φ6/.20	3,0	6,8	3000	0	0	C20/25	S400	20	1,30	0,261	0,40
UT IV	P26	4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,0	3,0	1219	0	0	C20/25	S400	6	0,53	0,261	0,40
UT IV	P30	8Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	1362	0	0	C20/25	S400	20	0,56	0,334	0,40
UT IV	P32	4Φ16+4Φ12	Φ6/.14	3,0	3,0	1219	0	0	C20/25	S400	4	0,53	0,261	0,40
UT IV	P47	8Φ25	Φ8/.20	2,5	3,5	1828,3	37,6	0	C30/37	S500	44	0,41	0,679	0,40
UT IV	P8	8Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	2300	0	0	C20/25	S400	11	0,66	0,214	0,50
		8Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	2200	0	0	C20/25	S400	8	0,63	0,214	0,50
		10Φ25	Φ8/.30	3,0	3,0	3800	0	0	C20/25	S400	10	0,80	0,652	0,50
UT IV	P29	8Φ16	Φ6/.19	3,0	3,0	1600,0	0	0	C20/25	S400	58	0,46	0,214	0,50
UT IV	P30	8Φ16	Φ6/.20	3,0	3,0	1705,0	0	0	C20/25	S400	10	0,49	0,214	0,50
UT IV	P12	12Φ25	Φ8/.30	3,0	3,5	4378,00	0	0	C20/25	S400	8	0,88	0,783	0,50
		8Φ16	Φ6/.19	3,0	3,5	641	0	0	C20/25	S400	7	0,19	0,214	0,50
		8Φ16	Φ6/.19	3,0	3,5	1241	0	0	C20/25	S400	8	0,37	0,214	0,50
UT IV	P47	10Φ25	Φ8/.25	2,5	3,5	2628,8	43,6	0	C30/37	S500	10	0,41	0,543	0,50
UT I	P2	10Φ20	Φ6/.25	3,0	3,0	3487,55	21,93	0	C16/20	S400	10	0,79	0,362	0,60
UT IV	P8	10Φ25	Φ8/.30	3,0	3,0	4900	0	0	C20/25	S400	16	0,82	0,453	0,60
UT XII	P12	8Φ16	Φ6/.19	3,0	3,5	1596,00	0	0	C20/25	S400	12	0,35	0,148	0,60
UT III	P61,62	22Φ25	Φ8/.30	2,5	3,0	5325,85	22,93	19,45	C25/30	S500	40	0,47	0,849	0,65
UT I	P2	6Φ25+4Φ20	Φ8/.25	3,0	2,9	4906,38	5,54	0	C16/20	S400	4	0,82	0,356	0,70
		4Φ25+3Φ20	Φ8/.25	3,0	2,9	3430,35	22,93	0	C16/20	S400	7	0,62	0,246	0,70
		10Φ16	Φ6/.20	3,0	2,9	2891,17	3,55	0	C16/20	S400	6	0,56	0,170	0,70
UT III	P61,62	26Φ25	Φ8/.25	2,5	3,5	6450,59	27,46	4,17	C25/30	S500	12	0,49	0,865	0,70
UT III	P61,62	24Φ25	Φ8/.25	2,5	3,5	6450,59	27,46	4,17	C25/30	S500	4	0,46	0,696	0,75
UT III	P61,62	24Φ25	Φ8/.25	2,5	3,5	6672,38	4,11	47,42	C25/30	S500	4	0,44	0,611	0,80
UT XI	P10	4Φ25+4Φ20	Φ8/.20	3,0	3,9	2744	0	0	C20/25	S400	8	0,33	0,167	0,80
UT VIII	P39	48Φ25	Φ10/.15	3,0	4,5	14347,4	248,70	0,00	C35/45	S500	65	0,46	0,559	1,00

ANEXO A4

APLICAÇÃO DOS MÉTODOS QUE SE APRESENTAM SOB A FORMA DE TABELAS

A4.1. TABELAS PARA A APLICAÇÃO DO MÉTODO C

A EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010) prevê a utilização de um Método Simplificado, apresentado sob a forma de tabela, na verificação da resistência ao fogo dos pilares em betão armado, o Método C, baseado na estimativa da curvatura.

Na referida norma são apresentadas nove tabelas, aplicáveis de acordo com os valores da taxa mecânica de armadura, ω, (0,100, 0,500 e 1,000) e da ordem de grandeza do momento de primeira ordem (momento de primeira ordem baixo, e=0,025b com $e \geq$ 10mm, momento de primeira ordem moderado, e=0,25b com $e \leq$ 100mm e momento de primeira ordem elevado, e=0,5b com $e \leq$ 200mm). No Subcapítulo 4.5.1 apresenta-se o Quadro 4.17. onde se indicam os limites de aplicabilidade de cada uma dessas nove tabelas, transcritas nos Quadros A4.1 a A4.9 do presente anexo.

Como mencionado no Subcapítulo 4.5.1 desta dissertação, o objetivo da apresentação de métodos de verificação da resistência ao fogo sob a forma de tabela, na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), é tornar essa verificação expedita, aos projetistas de estruturas. Assim, na aplicação do Método C aos pilares objeto de análise neste estudo, considerou-se apenas a interpolação linear entre as diferentes linhas e colunas de cada um dos quadros. A opção da tabela a consultar, para valores intermédios de ω, foi efetuada de modo a ser considerada a situação mais desfavorável. Para tornar mais eficaz a aplicação deste método, em termos de tempo gasto na sua utilização, elaboraram-se os Quadros A4.10 a A4.15. Exemplificou-se, no aludido subcapítulo, a metodologia seguida na aplicação destes quadros.

Quadro A4.1 - Dimensões mínimas e distâncias ao eixo para pilares em betão armado; secção retangular e circular. Taxa mecânica de armadura ω=0,1. Momento de primeira ordem baixo: e=0,025b com e≥10mm Quadro C1 do EC2-1-2 (2010).

Resistência ao fogo padrão	λ	Dimensões mínimas (mm) Largura do pilar b_{min}/distância ao eixo a			
		Pilar exposto em mais de um lado			
		n = 0,15	n = 0,3	n = 0,5	n = 0,7
1	2	3	4	5	6
R 30	30	150/25*	150/25*	150/25*	150/25*
	40	150/25*	150/25*	150/25*	150/25*
	50	150/25*	150/25*	150/25*	200/25*
	60	150/25*	150/25*	200/25*	250/25*
	70	150/25*	150/25*	250/25*	300/25*
	80	150/25*	200/25*	250/30:300/25*	350/25*
R 60	30	150/25*	150/25*	200/25*	200/30:250/25*
	40	150/25*	150/25*	200/25*	250/25*
	50	150/25*	200/25*	250/25*	300/25
	60	150/25*	200/40:250/25*	250/40:300/25*	350/30:400/25*
	70	200/25*	250/30:300/25*	300/40:350/25*	450/35:550/25*
	80	200/30:250/25*	250/40:300/25*	400/30:450/25*	550/60:600/35
R 90	30	150/25*	200/25*	200/50:250/25*	250/30:300/25*
	40	150/35:200/25*	200/30:250/25*	250/25*	300/25
	50	200/25*	250/25*	300/25*	350/50:400/25*
	60	200/35:250/25*	250/40:300/25*	350/35:400/25*	450/50:550/25*
	70	250/25*	300/35:350/25*	400/45:550/25*	600/40
	80	250/30:300/25*	350/35:400/25*	550/40:600/25*	(1)
R 120	30	200/25*	250/25*	250/25*	300/45:350/25
	40	250/25*	250/25*	300/25*	400/25*
	50	250/25*	300/25*	350/50:400/25*	450/50:500/25*
	60	250/25*	350/25*	450/400:500/25*	550/50
	70	250/50:300/25*	400/25*	500/60:550/25*	(1)
	80	300/25*	450/40:500/25*	600/45	(1)
R 180	30	250/25*	250/25*	350/25*	400/50:450/25*
	40	250/25*	300/30:350/25*	400/25*	450/50:500/25*
	50	250/50:300/25*	350/50:400/25*	450/40:500/25*	550/60:600/35
	60	300/40:350/25*	450/25*	550/40:600/25	(1)
	70	350/30:400/25*	500/25*	600/80	(1)
	80	400/30:450/25*	550/45:600/25*	(1)	(1)
R 240	30	250/25*	350/25*	450/25*	500/40:550/25*
	40	300/25*	400/25*	500/25*	600/25*
	50	350/25*	450/25*	550/50:600/25*	(1)
	60	400/25*	500/60:550/25*	600/80	(1)
	70	450/25*	600/25*	(1)	(1)
	80	500/25*	600/80	(1)	(1)

** O recobrimento especificado na EN 1992-1-1 é, em geral, condicionante.*

(1) Requer uma largura superior a 600 mm. É necessária uma avaliação específica da encurvadura.

Quadro A4.2 - Dimensões mínimas e distâncias ao eixo para pilares em betão armado; secção retangular e circular. Taxa mecânica de armadura ω=0,1. Momento de primeira ordem moderado: e=0,25b com e≤100mm Quadro C2 do EC2-1-2 (2010).

Resistência ao fogo padrão	λ	Dimensões mínimas (mm) Largura do pilar b_{min}/distância ao eixo a			
		Pilar exposto em mais de um lado			
		n = 0,15	n = 0,3	n = 0,5	n = 0,7
1	2	3	4	5	6
R 30	30	150/25*	150/25*	200/30:250/25*	300/30:350/25*
	40	150/25*	150/30:200/25*	300/25*	500/40:550/25*
	50	150/25	200/40:250/25*	350/40:500/25*	550/25*
	60	150/25*	300/25*	550/25*	600/30
	70	200/25*	350/40:500/25*	550/30:600/25*	(1)
	80	250/25*	550/25*	(1)	(1)
R 60	30	150/30:200/25*	200/40:300/25*	300/40:500/25*	500/25*
	40	200/30:250/25*	300/35:350/25*	450/50:550/25*	550/40:600/25*
	50	200/40:300/25*	350/45:550/25*	550/30:600/30	600/55
	60	250/35:400/25*	450/50:550/25*	600/35	(1)
	70	300/40:500/25*	550/30:600/25*	600/80	(1)
	80	400/40:550/25*	600/30	(1)	(1)
R 90	30	200/40:250/25*	300/40:400/25*	500/50:550/25*	550/40:600/25*
	40	250/40:350/25*	350/50:550/25*	550/35:600/25*	600/50
	50	300/40:500/25*	500/60:550/25*	600/40	(1)
	60	300/50:550/25*	550/45:600/25*	(1)	(1)
	70	400/50:550/25*	600/45	(1)	(1)
	80	500/60:600/25*	(1)	(1)	(1)
R 120	30	250/50:350/25*	400/50:550/25*	550/25*	550/60:600/45
	40	300/50:500/25*	500/50:550/25*	550/50:600/25	(1)
	50	400/50:550/25*	550/50:600/25*	600/60	(1)
	60	500/50:550/25*	550/55:600/50	(1)	(1)
	70	500/60:600/25*	600/60	(1)	(1)
	80	550/50:600/25*	(1)	(1)	(1)
R 180	30	400/50:500/25*	500/60:550/25*	550/60:600/30	(1)
	40	500/50:550/25*	550/50:600/25*	600/80	(1)
	50	550/25*	600/60	(1)	(1)
	60	550/50:600/25*	600/80	(1)	(1)
	70	600/55	(1)	(1)	(1)
	80	600/70	(1)	(1)	(1)
R 240	30	500/60:550/25*	550/40:600/25*	600/75	(1)
	40	550/25*	600/60	(1)	(1)
	50	550/60:600/25*	600/80	(1)	(1)
	60	600/60	(1)	(1)	(1)
	70	600/80	(1)	(1)	(1)
	80	(1)	(1)	(1)	(1)

** O recobrimento especificado na EN 1992-1-1 é, em geral, condicionante.*
(1) Requer uma largura superior a 600 mm. É necessária uma avaliação específica da encurvadura.

Quadro A4.3 - Dimensões mínimas e distâncias ao eixo para pilares em betão armado; secção retangular e circular. Taxa mecânica de armadura ω=0,1. Momento de primeira ordem elevado: e=0,5b com e≤200mm Quadro C3 do EC2-1-2 (2010).

Resistência ao fogo padrão	λ	Dimensões mínimas (mm) Largura do pilar b_{min}/distância ao eixo a			
		Pilar exposto em mais de um lado			
		n = 0,15	n = 0,3	n = 0,5	n = 0,7
1	2	3	4	5	6
R 30	30	150/25*	400/40:550/25*	550/25*	(1)
	40	200/25*	550/25*	550/35:600/30	(1)
	50	250/30:300/25*	550/30:600/25*	(1)	(1)
	60	300/40:550/25*	600/50	(1)	(1)
	70	400/40:550/25*	(1)	(1)	(1)
	80	550/25	(1)	(1)	(1)
R 60	30	300/35:500/25*	500/50:550/25*	550/50:600/40	(1)
	40	350/40:550/25*	550/40:600/30	(1)	(1)
	50	450/50:550/25*	550/50:600/40	(1)	(1)
	60	550/30	600/80	(1)	(1)
	70	550/35	(1)	(1)	(1)
	80	550/40	(1)	(1)	(1)
R 90	30	350/50:550/25*	550/45:600/40	600/80	(1)
	40	500/60:600/30	550/60:600/50	(1)	(1)
	50	550/40	600/80	(1)	(1)
	60	550/50:600/45	(1)	(1)	(1)
	70	550/60:600/50	(1)	(1)	(1)
	80	600/70	(1)	(1)	(1)
R 120	30	550/40:600/30	550/50	(1)	(1)
	40	550/50:600/45	600/70	(1)	(1)
	50	550/55:600/50	(1)	(1)	(1)
	60	550/60:600/50	(1)	(1)	(1)
	70	600/70	(1)	(1)	(1)
	80	(1)	(1)	(1)	(1)
R 180	30	550/50	600/80	(1)	(1)
	40	550/60	(1)	(1)	(1)
	50	600/70	(1)	(1)	(1)
	60	(1)	(1)	(1)	(1)
	70	(1)	(1)	(1)	(1)
	80	(1)	(1)	(1)	(1)
R 240	30	600/70	(1)	(1)	(1)
	40	(1)	(1)	(1)	(1)
	50	(1)	(1)	(1)	(1)
	60	(1)	(1)	(1)	(1)
	70	(1)	(1)	(1)	(1)
	80	(1)	(1)	(1)	(1)

** O recobrimento especificado na EN 1992-1-1 é, em geral, condicionante.*

(1) Requer uma largura superior a 600 mm. É necessária uma avaliação específica da encurvadura.

Quadro A4.4 - Dimensões mínimas e distâncias ao eixo para pilares em betão armado; secção retangular e circular. Taxa mecânica de armadura ω=0,500. Momento de primeira ordem baixo: e=0,025b com e≥10mm
Quadro C4 do EC2-1-2 (2010).

Resistência ao fogo padrão	λ	Dimensões mínimas (mm) Largura do pilar b_{min}/distância ao eixo a			
		Pilar exposto em mais de um lado			
		n = 0,15	n = 0,3	n = 0,5	n = 0,7
1	2	3	4	5	6
R 30	30	150/25*	150/25*	150/25*	150/25*
	40	150/25*	150/25*	150/25*	150/25*
	50	150/25*	150/25*	150/25*	200/25*
	60	150/25*	150/25*	150/25*	200/30:250/25*
	70	150/25*	150/25*	200/25*	250/25*
	80	150/25*	150/25*	200/30:250/25*	300/25*
R 60	30	150/25*	150/25*	150/30:200/25*	200/35:250/25*
	40	150/25*	150/25*	200/25*	250/30:300/25*
	50	150/25*	150/35:200/25*	200/40:250/25*	250/40:350/25*
	60	150/25*	200/30:250/25*	250/30:300/25*	300/40:450/25
	70	150/25*	200/35:250/25*	250/40:350/25*	350/45:600/25
	80	150/35:200/25*	250/30:300/25*	300/40:500/25*	450/50:600/35
R 90	30	150/25*	150/40:200/25*	200/40:250/25*	250/40:300/25*
	40	150/25*	200/35:250/25*	250/30:300/25*	300/40:400/25*
	50	150/40:200/25*	200/45:250/25*	250/45:350/25*	350/45:550/25*
	60	200/25*	250/35:300/25*	300/45:400/25*	400/50:600/35
	70	200/35:250/25*	250/45:350/25*	350/45:600/25*	550/50:600/45
	80	200/45:250/25*	250/50:400/25*	400/50:600/35	600/60
R 120	30	150/35:200/25*	200/40:250/25*	250/45:300/25*	350/45:500/25*
	40	200/25*	250/25*	300/45:350/25*	400/50:550/25*
	50	200/40:250/25*	250/45:300/25*	350/45:450/25*	450/50:600/25*
	60	200/50:250/25*	300/45:350/25*	400/50:550/25*	500/60:600/35
	70	250/35:300/25*	350/45:450/25*	500/50:600/40	600/45
	80	250/45:300/25*	400/50:550/25	500/60:600/45	600/60
R 180	30	200/45:250/25*	250/35:300/25*	350/45:400/25*	450/45:500/25*
	40	250/25*	300/45:350/25*	450/25*	500/55:600/50
	50	250/35:300/25*	350/45:400/25*	500/40:550/25	600/65
	60	300/40:350/25*	450/25*	500/60:600/55	600/80
	70	350/25*	500/40:550/25*	600/65	(1)
	80	400/30:450/25*	500/55:600/45	600/80	(1)
R 240	30	250/25*	350/25*	450/45:500/25*	550/65:600/50
	40	250/40:300/25*	400/45:450/25*	500/60:550/25*	600/75
	50	350/30:400/25*	450/50:500/25*	550/70:600/55	(1)
	60	400/35:450/25*	500/50:600/25*	600/75	(1)
	70	450/30:500/25*	550/75:600/50	(1)	(1)
	80	500/40:550/25*	600/70	(1)	(1)

** O recobrimento especificado na EN 1992-1-1 é, em geral, condicionante.*
(1) Requer uma largura superior a 600 mm. É necessária uma avaliação específica da encurvadura.

Quadro A4.5 - Dimensões mínimas e distâncias ao eixo para pilares em betão armado; secção retangular e circular. Taxa mecânica de armadura ω=0,500. Momento de primeira ordem moderado: e=0,25b com e≤100mm Quadro C5 do EC2-1-2 (2010).

Resistência ao fogo padrão	λ	Dimensões mínimas (mm) Largura do pilar b_{min}/distância ao eixo a			
		Pilar exposto em mais de um lado			
		n = 0,15	n = 0,3	n = 0,5	n = 0,7
1	2	3	4	5	6
R 30	30	150/25*	150/25*	150/25*	200/30:250/25*
	40	150/25*	150/25*	150/25*	300/45:350/25*
	50	150/25*	150/25*	200/30:250/25*	350/40:450/25*
	60	150/25*	150/25*	250/30:300/25*	500/30:550/25*
	70	150/25*	150/35:200/25*	350/30:400/25	550/35:600/30
	80	150/25*	200/30:250:25*	400/40:500/25	600/50
R 60	30	150/25*	150/35:200/25*	250/35:350/25*	350/40:550/25
	40	150/25*	200/30:300/25*	300/35:500/25*	450/50:600/30
	50	150/30:200/25*	200/40:350/25*	300/45:550/25*	500/50:600/35
	60	150/35:200/25*	250/40:500/25*	400/45:600/30	600/45
	70	200/30:300/25*	300/40:500/25*	500/40:600/35	600/80
	80	200/35:300/25*	350/40:600/25*	550/55:600/40	(1)
R 90	30	150/35:200/25*	200/45:300/25*	300/45:550/25*	500/50:600/40
	40	200/35:250/25*	250/45:500/25*	350/50:600/25*	550/50:600/45
	50	200/40:300/25*	300/45:550/25*	500/50:600/35	600/55
	60	200/50:400/25	350/50:600/25*	550/50:600/45	(1)
	70	300/35:500/25*	400/50:600/35	600/50	(1)
	80	300/40:600/25*	500/55:600/40	600/80	(1)
R 120	30	200/45:300/25*	300/45:550/25*	450/50:600/25*	500/60:600/50
	40	200/50:350/25*	350/50:550/25*	500/50:600/40	600/55
	50	250/45:450/25*	450/50:600/25*	500/55:550/45	600/80
	60	300/50:500/25*	500/45:600/40	550/60:600/60	(1)
	70	350/50:550/25*	500/50:550/45	600/75	(1)
	80	400/50:600/25*	500/55:550/50	(1)	(1)
R 180	30	300/45:450/25*	450/50:600/25*	500/60:600/50	600/75
	40	350/50:500/25*	500/50:600/25*	600/60	(1)
	50	450/50:500/25*	500/60:600/50	600/70	(1)
	60	500/50:600/25*	550/60:600/55	(1)	(1)
	70	500/55:600/35	600/65	(1)	(1)
	80	500/60:600/55	600/75	(1)	(1)
R 240	30	450/45:500/25*	550/55:600/25	600/70	(1)
	40	450/50:550/25*	600/50	600/80	(1)
	50	500/55:600/25*	600/65	(1)	(1)
	60	550/55:600/40	600/75	(1)	(1)
	70	600/60	(1)	(1)	(1)
	80	600/70	(1)	(1)	(1)

** O recobrimento especificado na EN 1992-1-1 é, em geral, condicionante.*
(1) Requer uma largura superior a 600 mm. É necessária uma avaliação específica da encurvadura.

Quadro A4.6 - Dimensões mínimas e distâncias ao eixo para pilares em betão armado; secção retangular e circular. Taxa mecânica de armadura ω=0,500. Momento de primeira ordem elevado: e=0,5b com e≤200mm Quadro C6 do EC2-1-2 (2010).

Resistência ao fogo padrão	λ	Dimensões mínimas (mm) Largura do pilar b_{min}/distância ao eixo a			
		Pilar exposto em mais de um lado			
		n = 0,15	n = 0,3	n = 0,5	n = 0,7
1	2	3	4	5	6
R 30	30	150/25*	150/25*	250/35:300/25*	500/40:550/25*
	40	150/25*	150/30:200/25*	300/35:450/25*	550/30
	50	150/25*	200/30:250/25*	400/40:500/25*	550/50:600/40
	60	150/25*	200/35:300/25*	450/50:550/25*	(1)
	70	150/25*	250/40:400/25*	500/40:600/30	(1)
	80	150/25*	300/40:500/25*	550/50:600/40	(1)
R 60	30	150/30:200/25*	200/40:450/25*	450/50:550/30	550/50:600/40
	40	150/35:250/25*	250/40:500/25*	500/40:550/35	600/60
	50	200/35:300/25*	300/45:550/25*	500/55:550/40	(1)
	60	200/40:500/25*	400/40:600/30	550/50:600/45	(1)
	70	200/40:550/25*	500/40:550/35	600/60	(1)
	80	250/40:600/25*	500/45:600/35	(1)	(1)
R 90	30	250/40:450/25*	300/50:500/25*	500/55:600/40	600/80
	40	200/50:500/25*	350/50:550/35	550/60:600/50	(1)
	50	250/45:550/25*	500/45:550/40	600/60	(1)
	60	250/50:550/30	500/50:550/45	600/80	(1)
	70	300/50:550/35	550/50:600/45	(1)	(1)
	80	350/50:600/35	550/60:600/50	(1)	(1)
R 120	30	250/50:550/25*	500/50:550/40	550/50	(1)
	40	300/50:600/25*	500/55:550/45	550/60:600/55	(1)
	50	400/50:550/35	500/60:600/45	600/80	(1)
	60	450/50:600/40	550/50	(1)	(1)
	70	500/50:550/45	550/60:600/55	(1)	(1)
	80	550/50:600/45	600/70	(1)	(1)
R 180	30	500/45:550/30	550/55	600/75	(1)
	40	500/50:600/40	550/60	(1)	(1)
	50	500/60:550/50	600/70	(1)	(1)
	60	550/55	600/75	(1)	(1)
	70	550/60	(1)	(1)	(1)
	80	600/60	(1)	(1)	(1)
R 240	30	550/50:600/45	600/70	(1)	(1)
	40	550/60:600/55	600/75	(1)	(1)
	50	600/65	(1)	(1)	(1)
	60	600/70	(1)	(1)	(1)
	70	600/75	(1)	(1)	(1)
	80	600/80	(1)	(1)	(1)

** O recobrimento especificado na EN 1992-1-1 é, em geral, condicionante.*
(1) Requer uma largura superior a 600 mm. É necessária uma avaliação específica da encurvadura.

Quadro A4.7 - Dimensões mínimas e distâncias ao eixo para pilares em betão armado; secção retangular e circular. Taxa mecânica de armadura ω=1,0. Momento de primeira ordem baixo: e=0,025b com e≥10mm Quadro C7 do EC2-1-2 (2010).

Resistência ao fogo padrão	λ	Dimensões mínimas (mm) Largura do pilar b_{min}/distância ao eixo a			
		Pilar exposto em mais de um lado			
		n = 0,15	n = 0,3	n = 0,5	n = 0,7
1	2	3	4	5	6
R 30	30	150/25*	150/25*	150/25*	150/25*
	40	150/25*	150/25*	150/25*	150/25*
	50	150/25*	150/25*	150/25*	150/30:200/25*
	60	150/25*	150/25*	150/25*	200/30:250/25*
	70	150/25*	150/25*	150/30:200/25*	250/25*
	80	150/25*	150/25*	200/30:250/25*	250/30:300/25*
R 60	30	150/25*	150/25*	150/25*	200/40:300/25*
	40	150/25*	150/25*	200/30:250/25*	250/35:350/25*
	50	150/25*	150/30:200/25*	200/40:250/25*	250/40:350/25*
	60	150/25*	150/40:250/25*	250/35:300/25*	300/40:600/25*
	70	150/25*	200/35:250/25*	250/40:400/25*	350/40:450/35
	80	150/30:200/25*	200/40:300/25*	300/40:550/25*	350/45:450/40
R 90	30	150/25*	200/25*	200/40:250/25*	250/45:600/25*
	40	150/25*	200/35:250/25*	250/35:350/25*	300/45:600/30
	50	150/35:200/25*	200/40:250/25*	250/45:400/25*	350/45:600/35
	60	150/40:250/25*	250/55:300/25*	300/45:550/25*	400/50:600/40
	70	200/35:250/25*	300/35:350/25*	350/45:600/35	550/50:600/45
	80	200/40:250/25*	300/40:500/25	350/50:600/40	550/65:600/55
R 120	30	150/40:200/25*	200/45:250/25*	250/40:400/25*	400/40:600/25*
	40	200/30:250/25*	250/25*	300/45:400/25*	400/50:600/30
	50	200/40:250/25*	250/35:300/25*	350/40:550/25*	550/45:600/40
	60	200/45:250/25*	250/45:400/25*	400/50:600/25*	550/60:600/50
	70	250/25*	350/35:450/25*	550/40:600/35	600/70
	80	250/35:300/25*	350/40:550/25*	550/50:600/45	(1)
R 180	30	200/50:250/25*	300/25*	350/45:450/25*	500/50:600/45
	40	250/25*	300/45:350/25*	450/45:550/25*	550/60:600/55
	50	250/30:300/25*	350/40:450/25*	450/50:600/40	600/70
	60	250/40:350/25*	350/50:500/25*	550/55:600/50	600/80
	70	300/45:400/25*	450/45:600/35	550/70:600/65	(1)
	80	350/40:450/25*	550/50:600/40	600/75	(1)
R 240	30	250/25*	350/40:400/25*	500/40:600/25*	550/70:600/60
	40	250/40:350/25*	400/50:450/25*	500/60:600/40	600/75
	50	350/30:400/25*	450/45:550/25*	550/55:600/50	(1)
	60	350/45:450/25*	500/50:600/35	600/70	(1)
	70	400/50:500/25*	500/60:600/45	(1)	(1)
	80	450/45:550/25*	550/60:600/50	(1)	(1)

** O recobrimento especificado na EN 1992-1-1 é, em geral, condicionante.*
(1) Requer uma largura superior a 600 mm. É necessária uma avaliação específica da encurvadura.

Quadro A4.8 - Dimensões mínimas e distâncias ao eixo para pilares em betão armado; secção retangular e circular. Taxa mecânica de armadura ω=1,0. Momento de primeira ordem moderado: e=0,25b com e≤100mm Quadro C8 do EC2-1-2 (2010).

Resistência ao fogo padrão	λ	Dimensões mínimas (mm) Largura do pilar b_{min}/distância ao eixo a			
		Pilar exposto em mais de um lado			
		n = 0,15	n = 0,3	n = 0,5	n = 0,7
1	2	3	4	5	6
R 30	30	150/25*	150/25*	150/25*	200/30:300/25
	40	150/25*	150/25*	150/25*	250/30:450/25*
	50	150/25*	150/25*	200/25*	300/35:500/25*
	60	150/25*	150/25*	200/30:250/25*	400/40:550/25*
	70	150/25*	150/25*	250/35:300/25*	500/35:600/30
	80	150/25*	150/30:250/25*	300/35:500/25*	500/60:600/35
R 60	30	150/25*	150/30:200/25*	200/40:400/25*	300/50:600/30
	40	150/25*	150/40:250/25*	250/40:500/25*	400/50:600/35
	50	150/25*	200/35:400/25*	300/40:600/25*	500/45:600/40
	60	150/30:200/25*	200/40:450/25*	400/40:600/30	550/40:600/40
	70	150/35:200/25*	240/40:550/25*	450/45:500/35	600/60
	80	200/30:250/25	300/40:550/25	500/50:600/40	600/80
R 90	30	200/25*	200/40:300/25*	250/40:550/25*	500/50:600/45
	40	200/30:250/25*	200/50:400/25*	300/50:600/35	500/60:600/50
	50	200/35:300/25*	250/50:550/25*	400/50:600/40	600/55
	60	200/40:400/25	300/45:600/25*	500/50:600/45	600/70
	70	200/45:450/25*	300/50:600/35	550/55:600/50	(1)
	80	200/50:500/25*	400/50:600/35	600/55	(1)
R 120	30	200/40:250/25	250/50:400/25*	450/45:600/30	600/60
	40	200/45:300/25*	300/40:500/25*	500/50:600/35	(1)
	50	250/40:400/25*	400/40:550/25*	550/50:600/45	(1)
	60	250/50:450/25*	400/50:500/35	600/55	(1)
	70	300/40:500/25*	500/45:600/35	(1)	(1)
	80	300/50:550/25*	500/60:600/40	(1)	(1)
R 180	30	300/35:400/25*	450/50:550/25*	500/60:600/45	(1)
	40	300/40:450/25*	500/40:600/30	550/65:600/60	(1)
	50	400/40:500/25*	500/45:600/35	600/75	(1)
	60	400/45:550/25*	500/55:600/45	(1)	(1)
	70	400/50:600/30	500/65:600/50	(1)	(1)
	80	500/45:600/35	600/70	(1)	(1)
R 240	30	400/45:500/25*	500/40:600/30	600/60	(1)
	40	450/45:550/25*	500/55:600/40	600/80	(1)
	50	450/50:600/25*	500/65:600/45	(1)	(1)
	60	500/45:600/35	550/70:600/55	(1)	(1)
	70	500/50:600/40	600/75	(1)	(1)
	80	500/60:600/45	(1)	(1)	(1)

** O recobrimento especificado na EN 1992-1-1 é, em geral, condicionante.*
(1) Requer uma largura superior a 600 mm. É necessária uma avaliação específica da encurvadura.

Quadro A4.9 - Dimensões mínimas e distâncias ao eixo para pilares em betão armado; secção retangular e circular. Taxa mecânica de armadura ω=1,0. Momento de primeira ordem elevado: e=0,5b com e≤200mm Quadro C9 do EC2-1-2 (2010).

Resistência ao fogo padrão	λ	Dimensões mínimas (mm) Largura do pilar b_{min}/distância ao eixo a			
		Pilar exposto em mais de um lado			
		n = 0,15	n = 0,3	n = 0,5	n = 0,7
1	2	3	4	5	6
R 30	30	150/25*	150/25*	200/30:300/25*	500/30:550/25
	40	150/25*	150/25*	250/30:450/25*	500/40:600/30
	50	150/25*	150/30:200/25*	300/35:500/25*	550/35
	60	150/25*	200/30:250/25*	350/40:500/25*	550/50
	70	150/25*	200/30:300/25*	450/50:550/25*	(1)
	80	150/25*	250/30:350/25*	500/35:600/30	(1)
R 60	30	150/25*	200/35:450/25*	350/40:600/30	550/45:600/40
	40	150/30:200/25*	200/40:500/25*	450/50:500/35	600/60
	50	150/35:250/25*	250/40:550/25*	500/40:600/35	600/80
	60	200/30:350/25*	300/40:600/25*	500/50:600/40	(1)
	70	250/30:450/25*	350/40:600/30	550/50:600/45	(1)
	80	250/55:500/25*	450/40:500/35	600/70	(1)
R 90	30	200/35:300/25*	250/50:550/25*	500/50:600/40	600/70
	40	200/40:450/25*	300/50:600/30	500/55:600/45	(1)
	50	200/45:500/25*	350/50:600/35	550/50	(1)
	60	200/50:550/25*	450/50:600/40	600/60	(1)
	70	250/45:600/30	500/50:600/45	600/80	(1)
	80	250/50:500/35	500/55:600/45	(1)	(1)
R 120	30	200/50:450/25*	450/45:600/25*	550/55:600/50	(1)
	40	250/50:500/25*	500/40:600/30	600/65	(1)
	50	300/40:550/25*	500/50:600/35	(1)	(1)
	60	350/45:550/25*	500/60:600/40	(1)	(1)
	70	450/40:600/30	550/60:600/50	(1)	(1)
	80	450/45:600/30	600/65	(1)	(1)
R 180	30	350/45:550/25*	500/45:600/40	600/80	(1)
	40	450/45:600/30	500/60:600/45	(1)	(1)
	50	450/50:600/35	500/70:600/55	(1)	(1)
	60	500/45:600/40	550/70:600/65	(1)	(1)
	70	500/50:600/40	600/75	(1)	(1)
	80	500/55:600/45	(1)	(1)	(1)
R 240	30	500/40:600/35	550/55:600/50	(1)	(1)
	40	500/50:600/40	550/65:600/55	(1)	(1)
	50	500/55:600/45	600/70	(1)	(1)
	60	500/60:600/45	(1)	(1)	(1)
	70	500/70:600/50	(1)	(1)	(1)
	80	550/60:600/55	(1)	(1)	(1)

** O recobrimento especificado na EN 1992-1-1 é, em geral, condicionante.*
(1) Requer uma largura superior a 600 mm. É necessária uma avaliação específica da encurvadura.

Quadro A4.10 - Escolha conservativa da tabela a utilizar, entre a C1 e a C4.

Tabela	ω	e	
C1	0,100	0,025b	≥ 10mm
C4	0,500	0,025b	≥ 10mm

Tabela a utilizar				
R	n	λ	Mais conservativa	
			C1	C4
R30	Todos	Todos	x	
R60	0,15	Todos	x	
	0,3	Todos	x	
	0,5	30 a 70	x	
		80	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
	0,7	30		x
		40		x
		50	x	
		60	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		70	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		80	x	
R90	0,15	Todos	x	
	0,3	30	x	
		40		x
		50 a 80	x	
	0,5	30	x	
		40		x
		50	x	
		60	X	
		70	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		80	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
	0,7	30		x
		40		x
		50	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		60	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		70	x	
		80	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
R120	0,15	Todos	x	
	0,3	30 a 70	x	
		80	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
	0,5	30		x
		40		X
		50	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		60	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		70	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		80	x	
	0,7	30 a 60		X
		70,80	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
R180	0,15	Todos	x	
	0,3	30		X
		40		x
		50	X	
		60	X	
		70		X
		80	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
	0,5	30 a 50		x
		60	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		70	X	
		80	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
	0,7	30 a 50		x
		60 a 80	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	

Quadro A4.11 - Escolha conservativa da tabela a utilizar, entre a C2 e a C5.

Tabela	ω	e	
C2	0,100	0,25b	≤ 100mm
C5	0,500	0,25b	≤ 100mm

Tabela a utilizar				
R	n	λ	Mais conservativa	
			C2	C5
R30	0,15	Todos	x	
	0,3	Todos	x	
	0,5	30 a 70	x	
		80	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
	0,7	30 a 60	x	
		70,80	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
R60	0,15	Todos	x	
	0,3	Todos	x	
	0,5	30 a 50	x	
		60,70	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		80	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
	0,7	30	x	
		40	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		50	x	
		60, 70, 80	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
R90	0,15	Todos	x	
	0,3	30 a 70	x	
		80	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
	0,5	30,40,50	x	
		60,70,80	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
	0,7	30	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		40	x	
		50 a 80	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
R120	0,15	Todos	x	
	0,3	30 a 70	x	
		80	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
	0,5	30	x	
		40	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		50	x	
		60,70,80	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
	0,7	30	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		40 a 80	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
R180	0,15	Todos	x	
	0,3	30	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		40 a 60	x	
		70,80	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
	0,5	30	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		40	x	
		50 a 80	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
	0,7	Todos	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	

Quadro A4.12 - Escolha conservativa da tabela a utilizar, entre a C3 e a C6.

Tabela	ω	e	
C3	0,100	0,5b	≤ 200mm
C6	0,500	0,5b	≤ 200mm

Tabela a utilizar				
R	n	λ	Mais conservativa	
			C3	C6
R30	0,15	Todos	x	
	0,3	30 a 60	x	
		70,80	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
	0,5	30,40	x	
		50 a 80	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
	0,7	Todos	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
R60	0,15	Todos	x	
	0,3	30 a 60	x	
		70,80	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
	0,5	30	x	
		40 a 80	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
	0,7	Todos	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
R90	0,15	Todos	x	
	0,3	30,40,50	x	
		60,70,80	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
	0,5	30	x	
		40 a 80	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
	0,7	Todos	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
R120	0,15	30 a 70	x	
		80	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
	0,3	30,40	x	
		50 a 80	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
	0,5	Todos	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
	0,7	Todos	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
R180	0,15	30,40,50	x	
		60,70,80	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
	0,3	30	x	
		40 a 80	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
	0,5	Todos	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
	0,7	Todos	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	

Quadro A4.13 - Escolha conservativa da tabela a utilizar, entre a C4 e a C7.

Tabela	ω	e	
C4	0,100	0,025b	≥ 10mm
C7	0,500	0,025b	≥ 10mm

Tabela a utilizar				
R	n	λ	Mais conservativa	
			C4	C7
R30	Todos	Todos	x	
R60	0,15	Todos	x	
	0,3	Todos	x	
	0,5	30	x	
		40 a 80		x
	0,7	30 a 60		x
		40		x
		50		x
		70, 80	x	
R90	0,15	Todos	x	
	0,3	30		x
		40 a 60	x	
		70, 80		x
	0,5	30 a 70		x
		80	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
	0,7	30,40,50,60,70		x
		80	x	
R120	0,15	30 a 50		x
		60 a 80	x	
	0,3	30,40		x
		50	x	
		60	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		70,80	x	
	0,5	30	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		40		X
		50	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		60		x
		70	2º conjunto b_{min}/a_{min}	1º conjunto b_{min}/a_{min}
		80	x	
	0,7	30 a 70		X
		80	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
R180	0,15	30,40		x
		50 a 80	x	
	0,3	30,40		X
		50	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		60	X	
		70	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		80	2º conjunto b_{min}/a_{min}	1º conjunto b_{min}/a_{min}
	0,5	30,40		x
		50	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		60	2º conjunto b_{min}/a_{min}	1º conjunto b_{min}/a_{min}
		70,80	x	
	0,7	30 a 60		X
		70,80	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	

Quadro A4.14 - Escolha conservativa da tabela a utilizar, entre a C5 e a C8.

Tabela	ω	e	
C5	0,500	0,25b	≤ 100mm
C8	1,0	0,25b	≤ 100mm

Tabela a utilizar				
R	n	λ	Mais conservativa	
			C5	C8
R30	0,15	Todos	x	
	0,3	Todos	x	
	0,5	Todos	x	
	0,7	30		x
		40,50	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		60,70,80	x	
R60	0,15	Todos	x	
	0,3	30,40	x	
		50	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		60	x	
		70	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		80	x	
	0,5	30	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		40	x	
		50	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		60,70,80	x	
	0,7	30,40,50	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		60,70	x	
		80	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
R90	0,15	30		x
		40 a 80	x	
	0,3	Todos	x	
	0,5	30,40	x	
		50	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		60,70,80	x	
	0,7	30		x
		40	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		50	x	
		60,70,80	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
R120	0,15	Todos	x	
	0,3	30,40,50,60	x	
		70	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		80		x
	0,5	30	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		40	x	
		50		x
		60	2º conjunto b_{min}/a_{min}	
		70,80	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
	0,7	30		x
		40 a 80	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
R180	0,15	Todos	x	
	0,3	30	x	
		40	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		50 a 80	x	
	0,5	30,40	x	
		50		x
		60,70,80	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
	0,7	Todos	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	

Quadro A4.15 - Escolha conservativa da tabela a utilizar, entre a C6 e a C9.

Tabela	ω	e	
C6	0,500	0,5b	≤ 200mm
C9	1,0	0,5b	≤ 200mm

Tabela a utilizar				
R	n	λ	Mais conservativa	
			C6	C9
R30	0,15	Todos	x	
	0,3	Todos	x	
	0,5	Todos	x	
	0,7	30,40,50	x	
		60,70,80	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
R60	0,15	30 a 60	x	
		70,80	2º conjunto b_{min}/a_{min}	1º conjunto b_{min}/a_{min}
	0,3	30 a 60	x	
		70	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		80	x	
	0,5	30	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		40	x	
		50	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		60,70	x	
		80	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
	0,7	30,40	x	
		50 a 80	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
R90	0,15	30 a 60	x	
		70	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		80	x	
	0,3	30 a 70	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		80	x	
	0,5	30 a 60	x	
		70,80	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
	0,7	30	x	
		40 a 80	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
R120	0,15	30 a 60	x	
		70	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		80	x	
	0,3	30,40	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		50 a 80	x	
	0,5	30	x	
		40		x
		50 a 80		b>600mm; avaliação específica da encurvadura
	0,7	Todos	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
R180	0,15	30,40	x	
		50	1º conjunto b_{min}/a_{min}	2º conjunto b_{min}/a_{min}
		60 a 80	x	
	0,3	30 a 60	x	
		70,80	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
	0,5	30		x
		40 a 80	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	
	0,7	Todos	b>600mm; avaliação específica da encurvadura	

A4.2. RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO A, DO MÉTODO B E DO MÉTODO C AOS PILARES ANALISADOS

Os gráficos das Figuras A4.1, A4.2 e A4.3 complementam os apresentados no Capítulo 4 referentes à aplicação do Método A, do Método B e do Método C aos pilares retangulares analisados. Em cada um destes três gráficos são apresentadas as percentagens de pilares previstos nos projetos de estabilidade dos edifícios selecionados para análise, as percentagens de pilares aos quais o método não é aplicável, as percentagens de pilares que não verificam a resistência ao fogo requerida e as percentagens de pilares que verificam, para cada escalão de resistência ao fogo e valor da menor dimensão da secção transversal desses pilares.

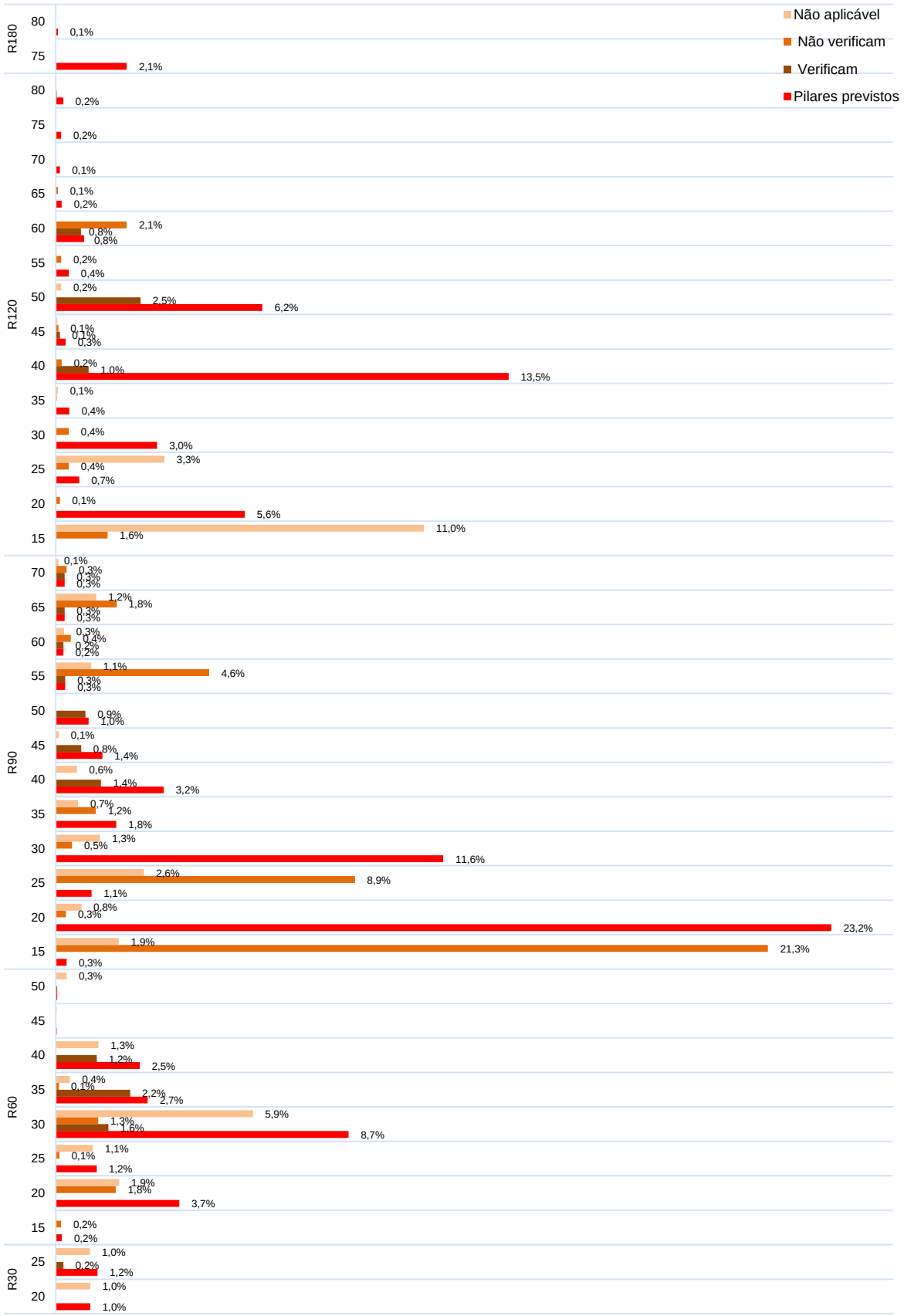


Figura A4.1 - Resultado da aplicação do Método A aos pilares retangulares analisados, por escalão de resistência ao fogo e por valor da menor dimensão, considerando η_{fi} e c_{nom} com os valores de projeto.

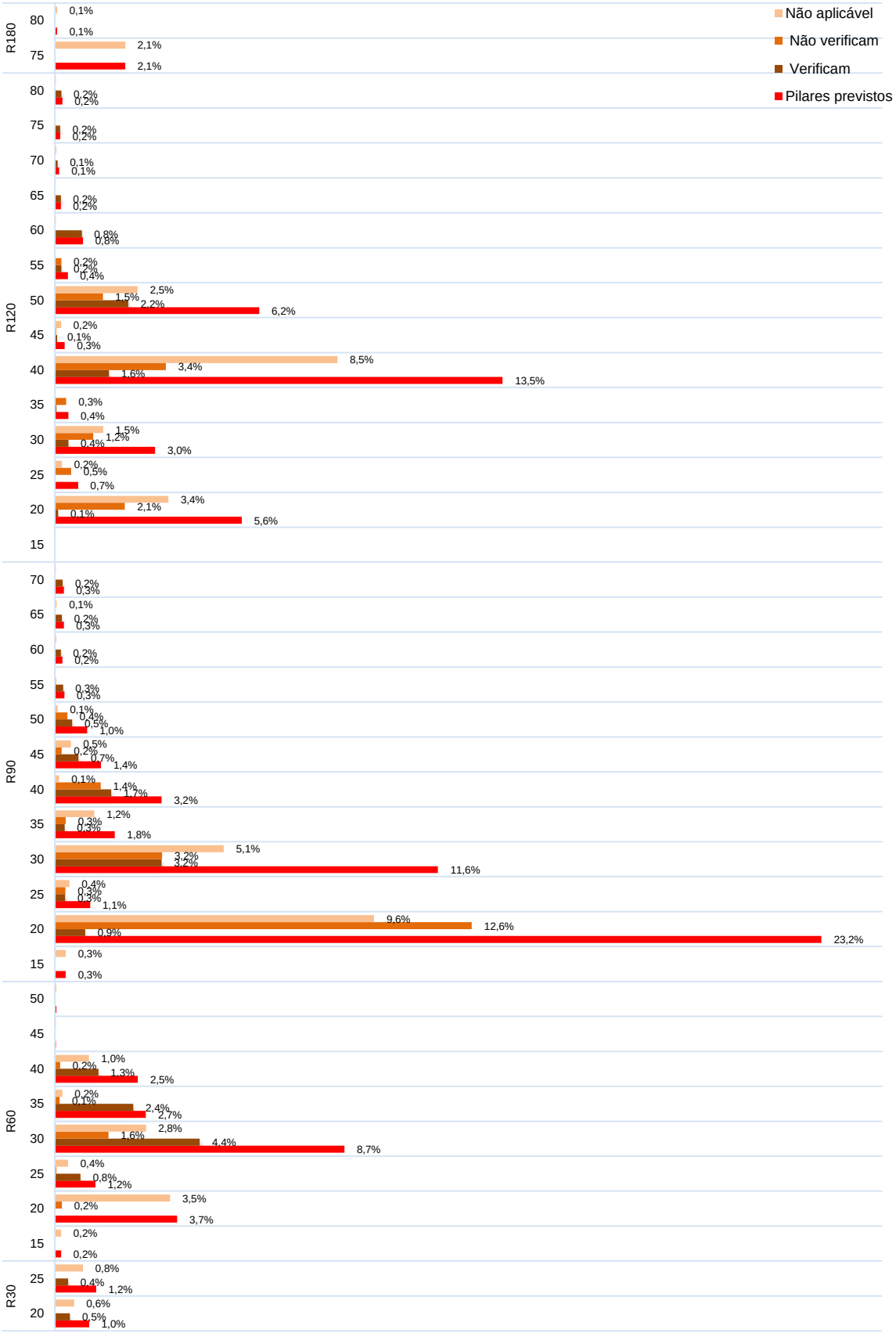


Figura A4.2 - Resultado da aplicação do Método B aos pilares retangulares analisados, por escalão de resistência ao fogo e por valor da menor dimensão, considerando η_{fi} e c_{nom} com os valores de projeto.

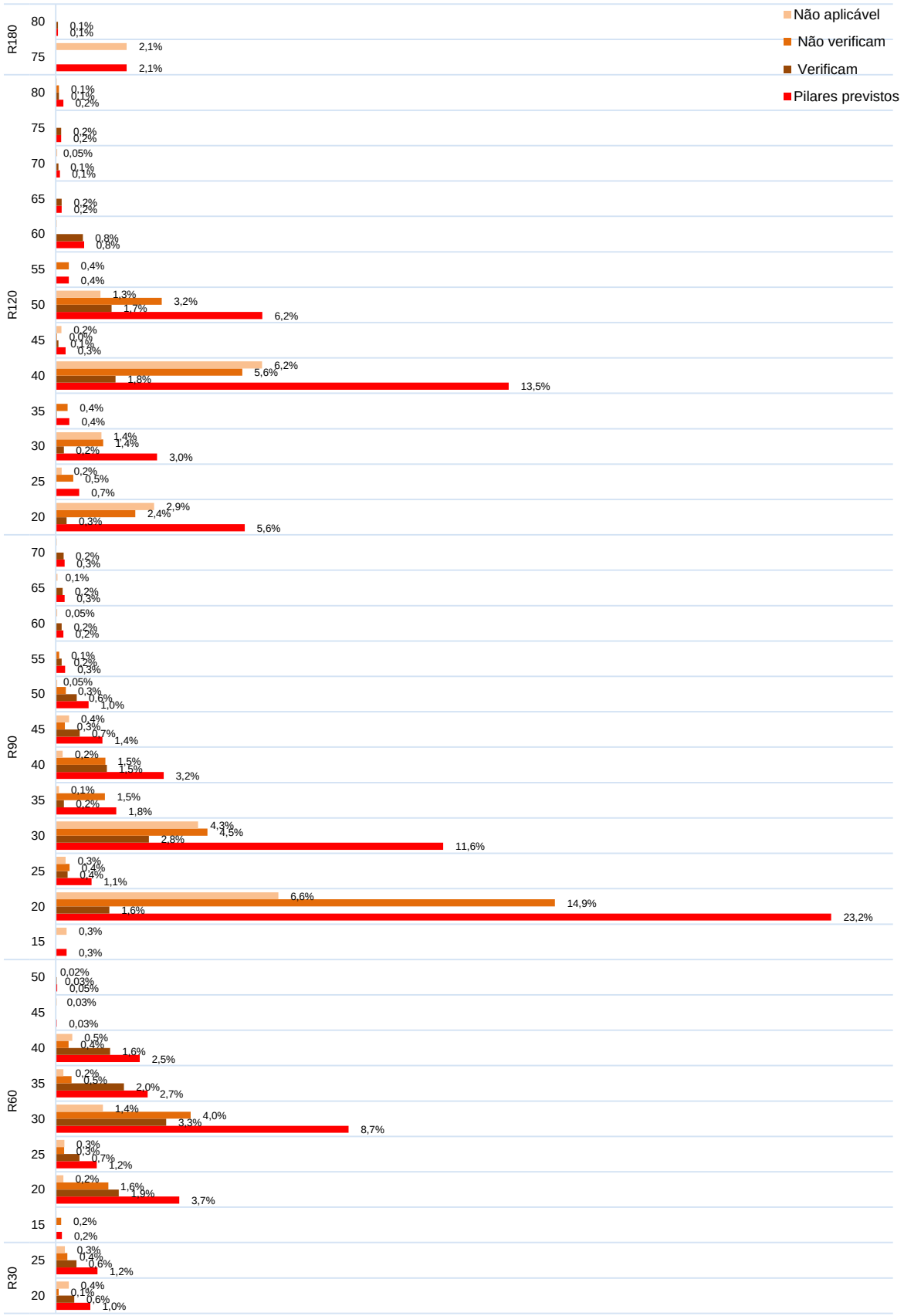


Figura A4.3 - Resultado da aplicação do Método C aos pilares retangulares analisados, por escalão de resistência ao fogo e por valor da menor dimensão, considerando η_{fi} e c_{nom} com os valores de projeto.

A4.3. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS PELA APLICAÇÃO DOS TRÊS MÉTODOS

A4.3.1. PILARES RETANGULARES

As Figuras A4.4 a A4.8 mostram as percentagens de pilares que não observam a_{min} e b_{min} e a_{min} em simultâneo, considerando o recobrimento de projeto e o recobrimento mínimo, para cada valor da menor dimensão da secção transversal e escalão de resistência ao fogo, utilizando os três métodos que se apresentam sob a forma de tabelas na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010). Observando estas figuras, pode concluir-se:

- Escalão R30, Figura A4.2 - todos os pilares verificam a_{min}, mesmo quando se utiliza o Método C.
- Escalão R60, Figura A4.3 - passam a verificar a_{min} todos os pilares, com exceção dos que apresentam b=15cm e b=35cm, quando se utiliza o Método A e todos os pilares quando se aplica o Método B. Considerando o Método C passam a verificar todos os pilares com b=20cm, notando-se uma redução substancial da percentagem de pilares que não observavam a_{min}, para as secções com b=30cm e b=40cm.
- Escalão R90, Figura A4.4 - as repercussões mais significativas da adoção do recobrimento mínimo são observadas nos pilares de menores valores de b e essencialmente quando se utiliza o Método B e o Método C.
- Escalão R120, Figura A4.5 - a adoção do recobrimento mínimo repercute-se muito significativamente na verificação de a_{min} quando se utiliza o Método A e de forma menos expressiva quando se utiliza o Método B e o Método C.
- Escalão R180, Figura A4.6 - a adoção do recobrimento mínimo não se repercute na verificação de a_{min}.

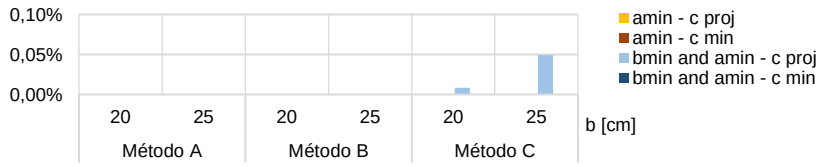


Figura A4.4 - Escalão R30 - Percentagem de pilares retangulares que não verificam a_{min} e b_{min} e a_{min} em simultâneo pela aplicação do Método A, do Método B e do Método C, para cada valor da menor dimensão da secção transversal, considerando o recobrimento de projeto, c_{proj} e o recobrimento mínimo, c_{min}.

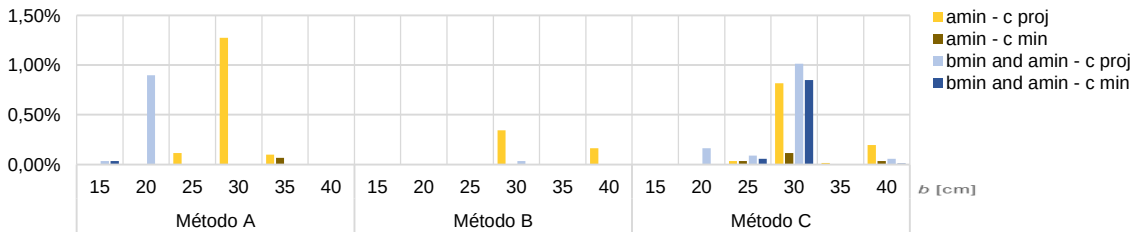


Figura A4.5 - Escalão R60 - Percentagem de pilares retangulares que não verificam a_{min} e b_{min} e a_{min} em simultâneo pela aplicação do Método A, do Método B e do Método C, para cada valor da menor dimensão da secção transversal, considerando o recobrimento de projeto, c_{proj} e o recobrimento mínimo, c_{min}.

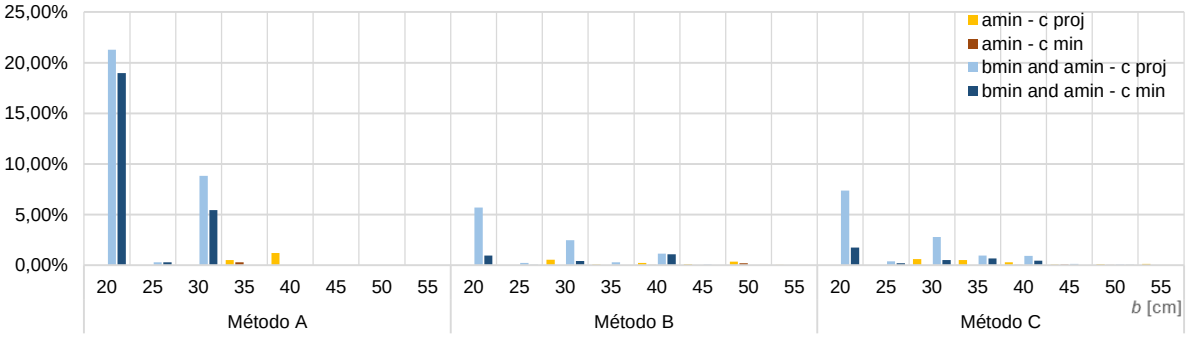


Figura A4.6 - Escalão R90 - Percentagem de pilares retangulares que não verificam a_{min} e b_{min} e a_{min} em simultâneo pela aplicação do Método A, do Método B e do Método C, para cada valor da menor dimensão da secção transversal, considerando o recobrimento de projeto, c_{proj} e o recobrimento mínimo, c_{min}.

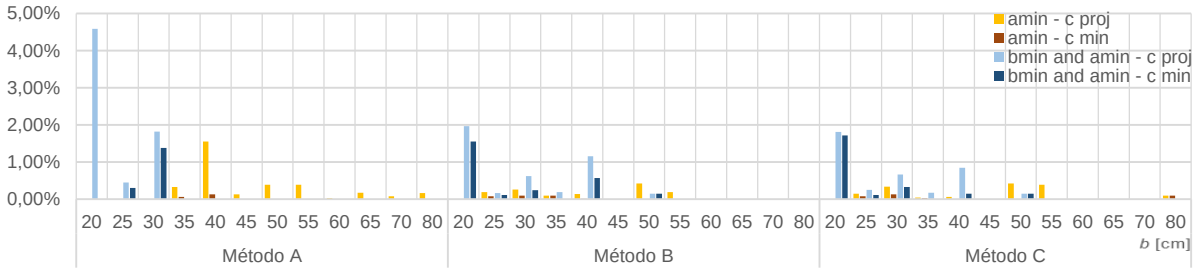


Figura A4.7 - Escalão R120 - Percentagem de pilares retangulares que não verificam a_{min} e b_{min} e a_{min} em simultâneo pela aplicação do Método A, do Método B e do Método C, para cada valor da menor dimensão da secção transversal, considerando o recobrimento de projeto, c_{proj} e o recobrimento mínimo, c_{min}.

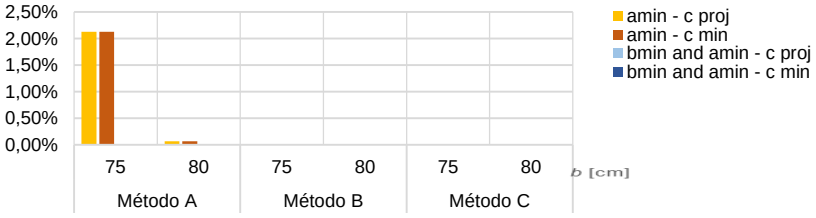


Figura A4.8 - Escalão R180 - Percentagem de pilares retangulares que não verificam a_{min} e b_{min} e a_{min} em simultâneo pela aplicação do Método A, do Método B e do Método C, para cada valor da menor dimensão da secção transversal, considerando o recobrimento de projeto, c_{proj} e o recobrimento mínimo, c_{min}.

Nas Figuras A4.9, A4.10 e A4.11 apresentam-se gráficos que traduzem os resultados da aplicação do Método A, do Método B e do Método C aos pilares retangulares analisados, para cada escalão de resistência ao fogo e para cada valor da menor dimensão da secção transversal. Pela observação desses gráficos pode verificar-se, nomeadamente, qual o método de verificação menos conservativo para um determinado escalão e valor de *b*. Considerou-se o fator de redução do nível de carregamento com os valores de projeto e o recobrimento mínimo regulamentar.

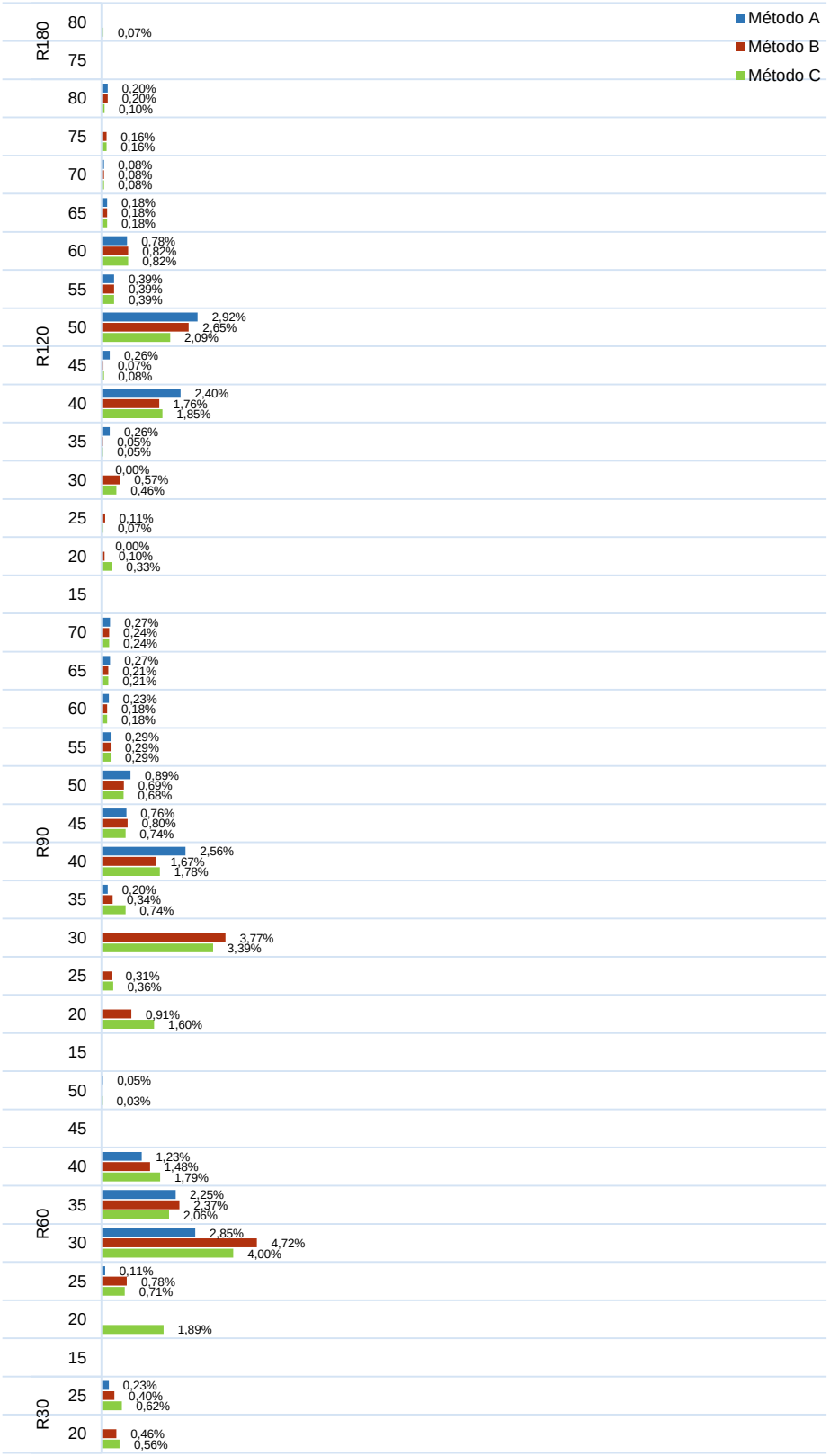


Figura A4.9 - Pilares retangulares que verificam a resistência ao fogo, por valor da menor dimensão da secção transversal, considerando a aplicação do Método A, do Método B e do Método C, tomando o fator de redução com os valores de projeto e o recobrimento mínimo regulamentar.

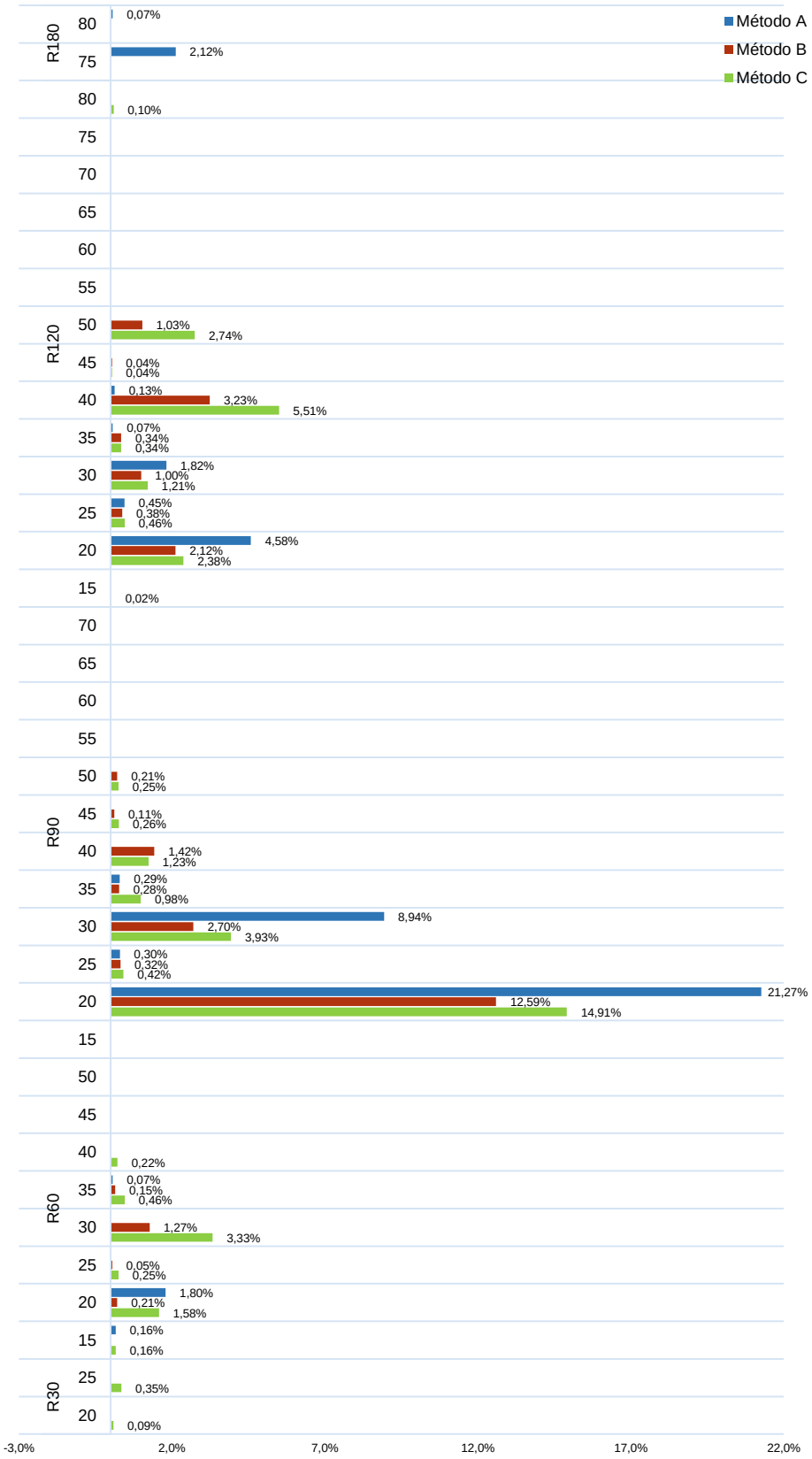


Figura A4.10 - Pilares retangulares que não verificam a resistência ao fogo considerando a aplicação do Método A, do Método B e do Método C, tomando o fator de redução com os valores de projeto e o recobrimento mínimo regulamentar.

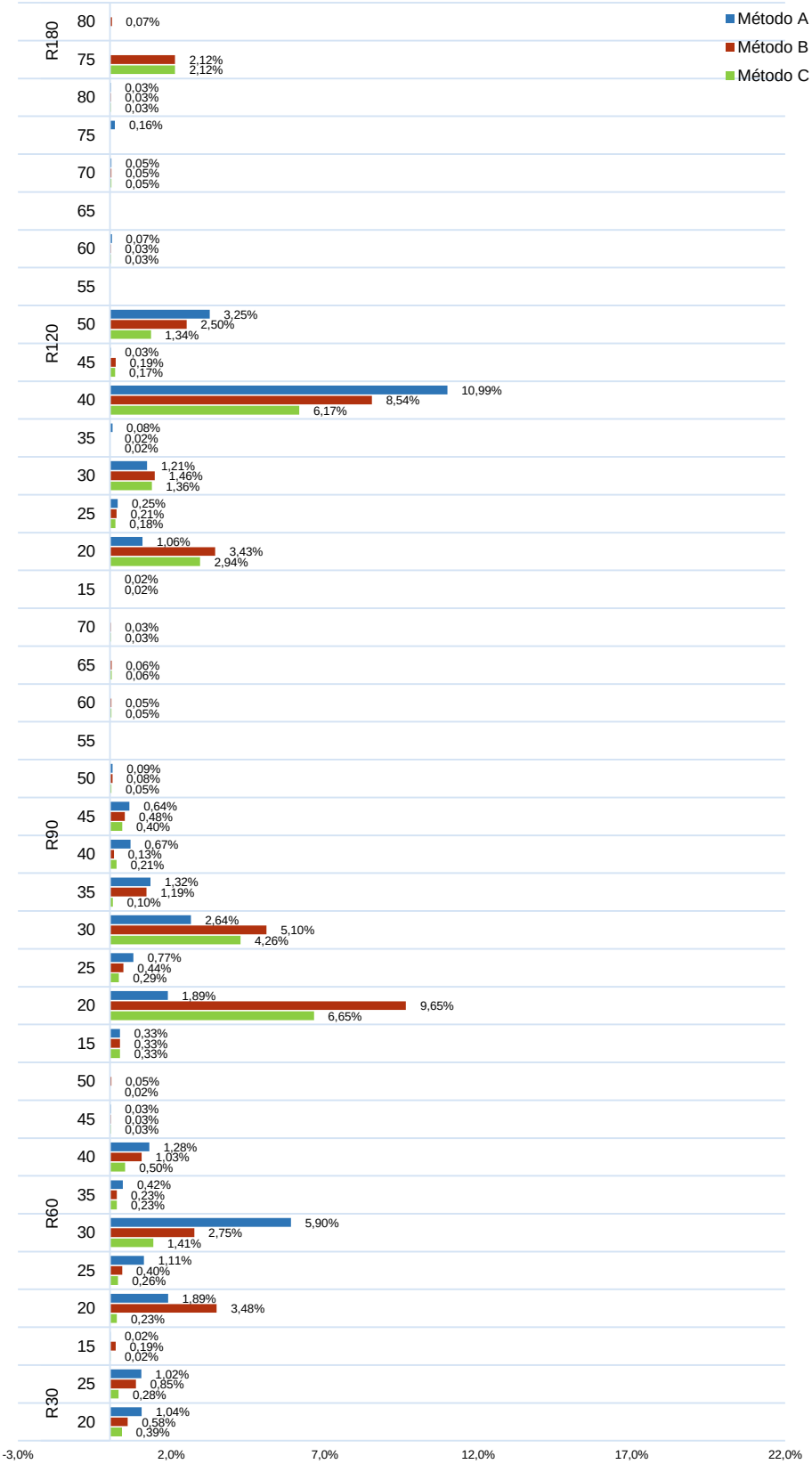


Figura A4.11 - Pilares retangulares aos quais o Método A, o Método B e o Método C não são aplicáveis, considerando o fator de redução com os valores de projeto e o recobrimento mínimo regulamentar.

A4.3.2. PILARES CIRCULARES

Apresentam-se, nas Figuras A4.12, A4.13 e A4.14 três gráficos que traduzem os resultados da aplicação do Método A, do Método B e do Método C aos pilares circulares analisados, para cada escalão de resistência ao fogo e para cada valor de diâmetro da sua secção transversal, Φ. Pela observação desses gráficos pode verificar-se, nomeadamente, qual o método de verificação menos conservativo para um determinado escalão e valor de Φ. Considerou-se o fator de redução do nível de carregamento com os valores de projeto e o recobrimento mínimo regulamentar.

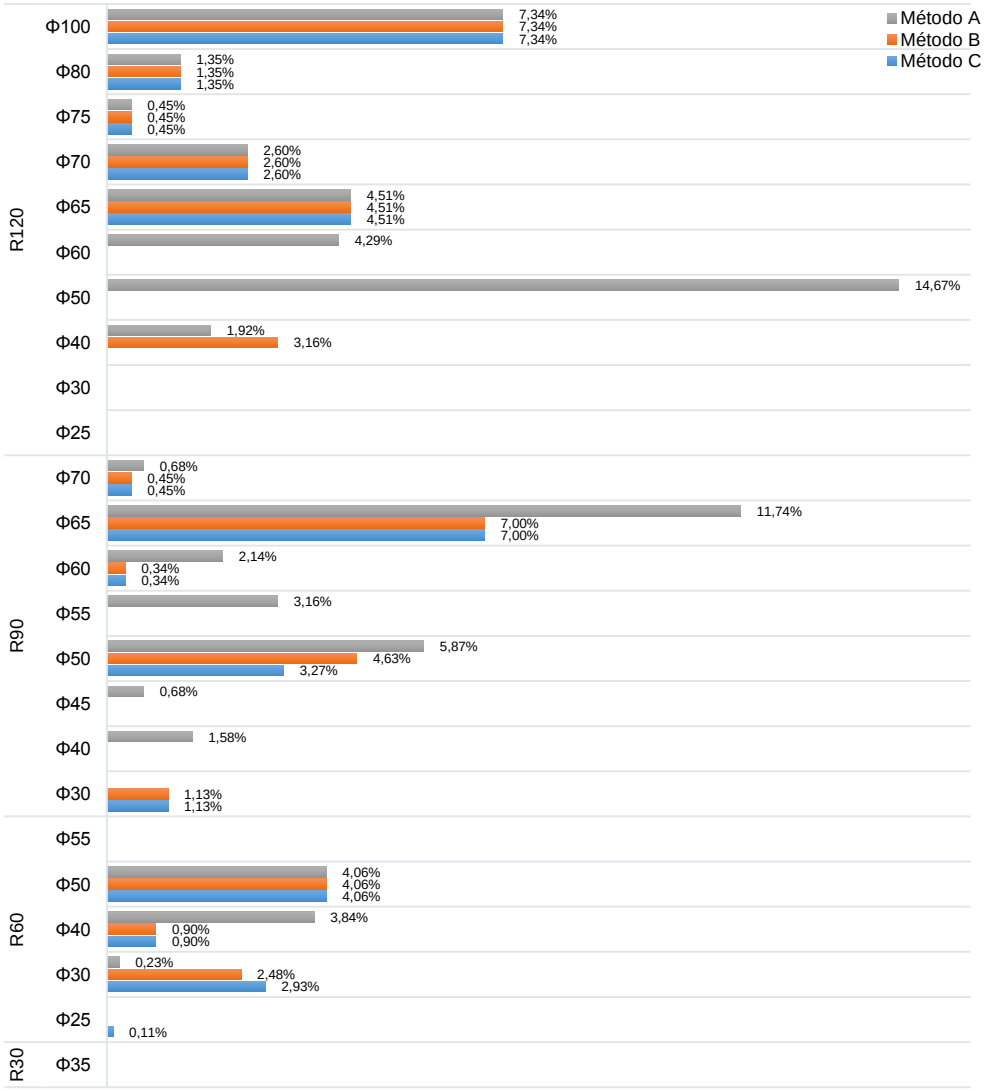


Figura A4.12 - Pilares circulares que verificam a resistência ao fogo considerando a aplicação do Método A, do Método B e do Método C, tomando o fator de redução com os valores de projeto e o recobrimento mínimo regulamentar.

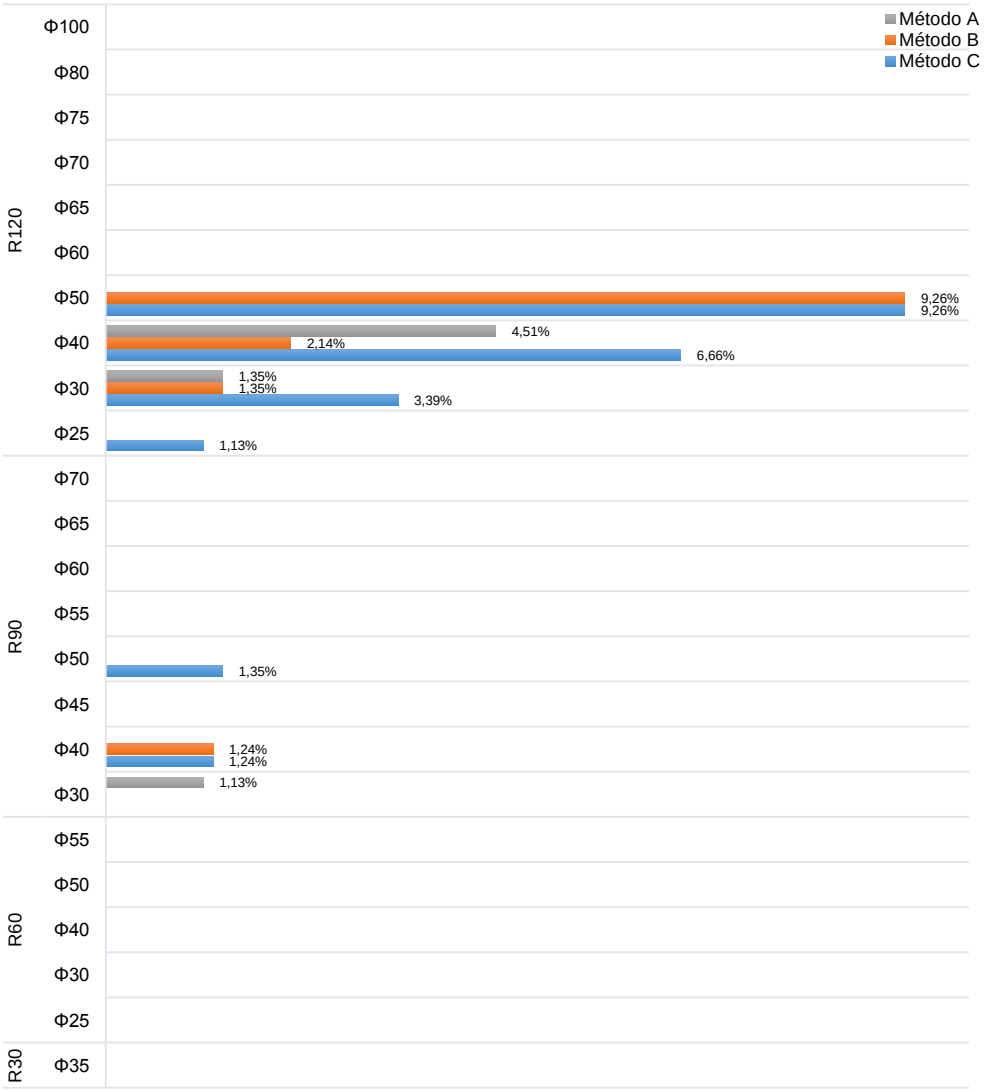


Figura A4.13 - Pilares circulares que não verificam a resistência ao fogo considerando a aplicação do Método A, do Método B e do Método C, tomando o fator de redução com os valores de projeto e o recobrimento mínimo regulamentar.

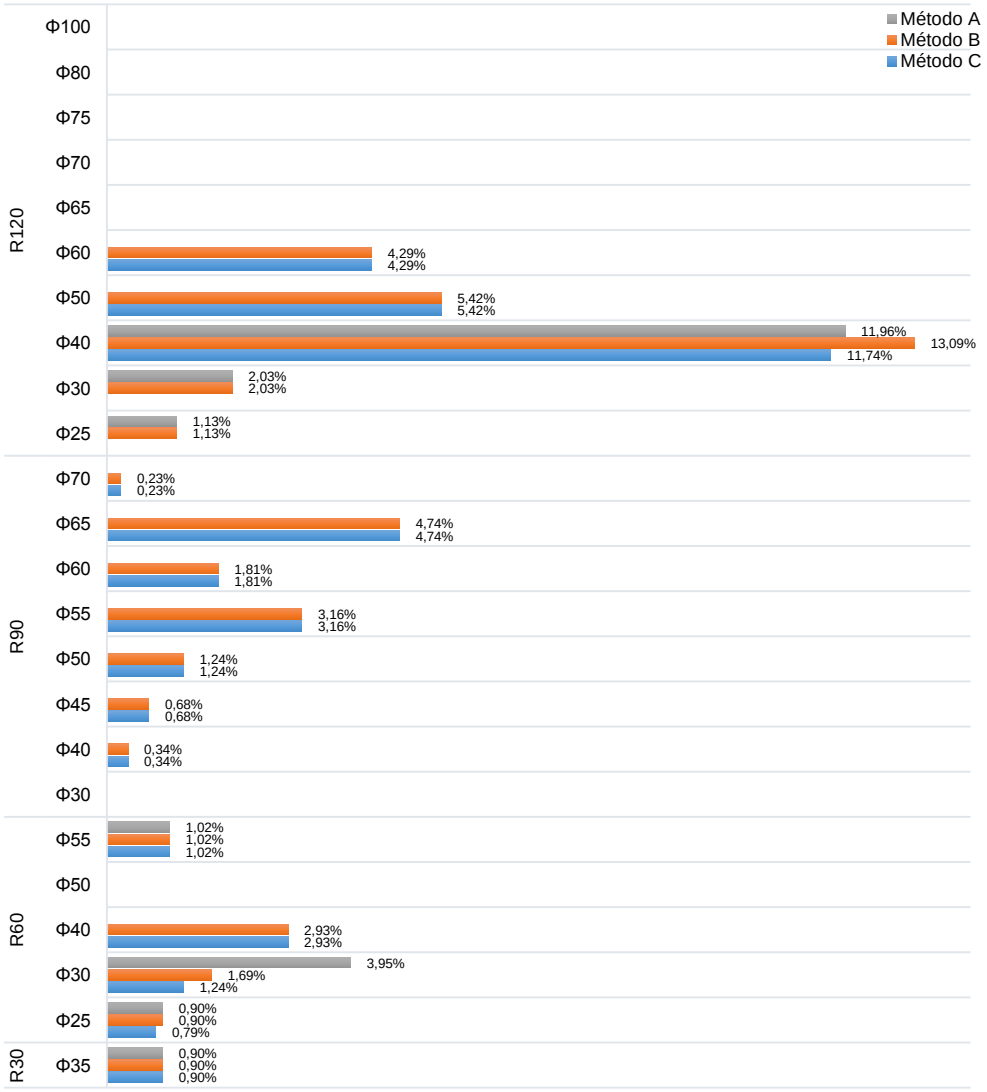


Figura A4.14 - Pilares circulares aos quais o Método A, o Método B e o Método C não são aplicáveis, considerando o fator de redução com os valores de projeto e o recobrimento mínimo regulamentar.

Anexo A6

DIAGRAMAS DE INTERAÇÃO N_{fi}/M_{fi}

A6.1. INTRODUÇÃO

No Capítulo 6 apresentam-se os procedimentos para a análise numérica da resistência ao fogo dos pilares. Como referido nesse capítulo, para avaliar a conformidade destes elementos estruturais, nomeadamente em situação de incêndio, há que tomar em consideração dois aspetos distintos:

- A resistência do pilar, que pode ser definida traçando a linha que limita a resistência da secção transversal, à flexão composta ou à flexão desviada, obtendo o diagrama de interação $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$;

- Os esforços atuantes máximos (esforço normal e momento fletor), determinados tomando em consideração as imperfeições geométricas e os efeitos de segunda ordem, obtendo o diagrama dos esforços atuantes $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$.

A máxima capacidade resistente do pilar, para cada escalão de resistência ao fogo, é definida pela intersecção da curva correspondente ao diagrama de interação $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$, com a referente aos esforços máximos atuantes $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$. Nos subcapítulos A6.2 e A6.3 apresenta-se detalhadamente todas as fases do processo que conduziu à definição das expressões que permitem quantificar os parâmetros intervenientes no desenho destes dois diagramas.

A6.2. DIAGRAMAS DE INTERAÇÃO $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ EM FLEXÃO COMPOSTA

A6.2.1. INTRODUÇÃO

Os diagramas de interação podem ser desenvolvidos, quer para situações em que os pilares se encontram à flexão composta, quer à flexão desviada. No Capítulo 6, apoiado pelo presente anexo, desenvolver-se-ão apenas os diagramas para pilares à flexão composta.

Os diagramas de interação entre esforços normais e esforços de flexão são estabelecidos para estados limite últimos de resistência, considerando extensões limite para o betão e para o aço. Para o aço das armaduras consideraram-se as extensões limite indicadas na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), apresentadas na Figura 6.2 do Capítulo 6. Aplicou-se o método simplificado clássico da resistência dos materiais, o método do diagrama retangular, para calcular os pares de esforços $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ correspondentes aos diferentes domínios das extensões. Consideraram-se positivos os esforços devidos a compressões na secção transversal e negativos os devidos a trações.

Apresentar-se-ão as expressões deduzidas para a quantificação dos parâmetros utilizados no desenho dos diagramas $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ em secções de betão com armaduras longitudinais constituídas por quatro, seis, oito ou dez varões.

A6.2.2. EXPRESSÕES PARA O DESENHO DOS DIAGRAMAS DE INTERAÇÃO PARA CADA UM DOS DOMÍNIOS DAS EXTENSÕES

Apresentam-se, neste subcapítulo, as expressões que permitem quantificar os parâmetros que intervêm no desenho dos diagramas de interação, para secções transversais dos pilares com armaduras constituídas por quatro varões. Esta informação é apresentada em quadros e ilustrada esquematicamente, correspondendo à situação em que a armadura se encontra no interior da secção útil do betão (A_{cu}). A secção útil, como já referido em capítulo próprio, é definida retirando à secção transversal do pilar a camada de betão danificada pelas elevadas temperaturas, em situação de incêndio. A espessura desta camada pode ser determinada pelo Método da Isotérmica dos 500°C ou pelo Método das Zonas.

As Figuras A6.1 a A6.7 mostram as variações das extensões no aço das armaduras em secções transversais de elementos em betão e os limites das extensões no betão e no aço, para cada domínio. Nestas figuras, a secção útil de betão é representada a tracejado. Nos Quadros A6.1 a A6.12 indicam-se as expressões para a quantificação dos parâmetros que intervêm no desenho dos diagramas de interação $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$.

Considerou-se a seguinte nomenclatura:

- h maior dimensão da secção transversal;
- h_{fi} maior dimensão da secção transversal reduzida;
- b_{fi} menor dimensão da secção transversal reduzida;
- d altura útil da secção;
- d_{fi} altura útil da secção reduzida;
- a' camada de betão danificada, calculada pelo Método da Isotérmica dos 500°C ou pelo Método das Zonas;
- a distância do eixo dos varões da armadura longitudinal à face mais próxima;
- A_s, A'_s armadura longitudinal;
- x profundidade do eixo neutro;
- y altura da zona comprimida do betão;
- A_{cy} área da zona comprimida do betão;
- ε_c, ε_s extensões no betão e no aço, respetivamente;
- $\sigma_s(\theta)$ tensão reduzida no aço;

f_{ck} valor caraterístico da tensão de rotura do betão à compressão;
S_y momento estático da zona comprimida do betão em relação ao eixo da armadura A_s;
$N_{Rd,fi}$ esforço normal resistente em situação de incêndio;
e_1 excentricidade de $N_{Rd,fi}$ em relação ao eixo da armadura A_s;
e excentricidade de $N_{Rd,fi}$ em relação ao centro de gravidade da secção;
$M_{Rd,fi}$ momento resistente em situação de incêndio.

❖ <u>Domínio 1</u> - domínio definido pelas extensões do aço no intervalo $0{,}15 \leq \varepsilon_s \leq 0{,}20$

Como pode observar-se na Figura A6.1 a secção de betão, neste domínio, encontra-se na sua quase totalidade à tração. É uma situação que não ocorre em pilares, pelo que não vai considerar-se este domínio no decorrer do trabalho.

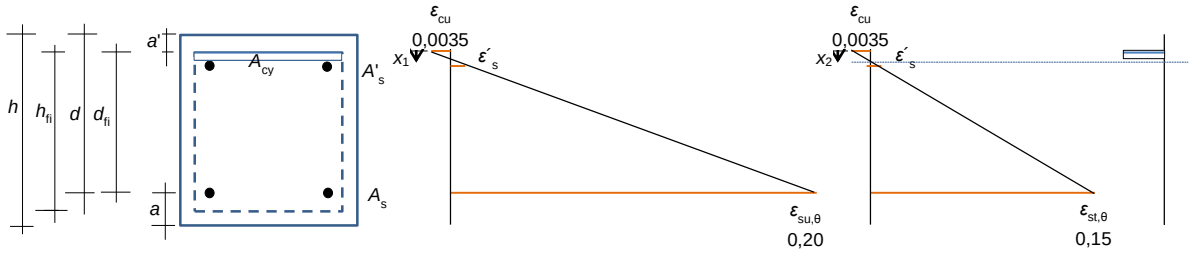


Figura A6.1 - Representação esquemática dos limites das extensões no aço e no betão, para o domínio 1.

❖ <u>Domínio 2</u> - domínio definido pelas extensões do aço no intervalo $0{,}02 \leq \varepsilon_s \leq 0{,}15$

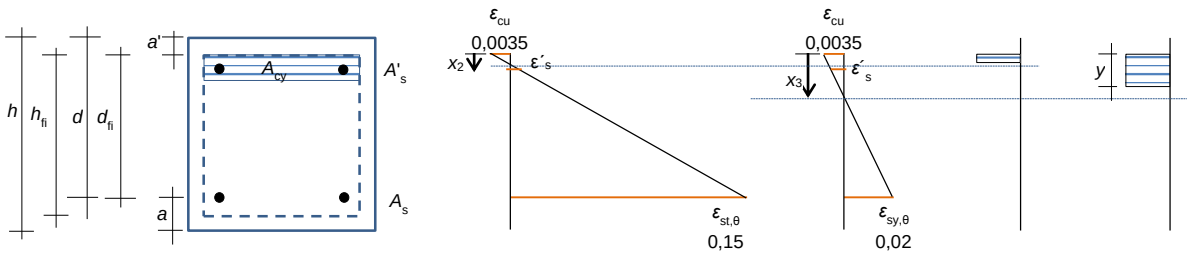


Figura A6.2 - Representação esquemática dos limites das extensões no aço e no betão, para o domínio 2.

Quadro A6.1 - Domínio 2 - Expressões para o cálculo de x, y, ε_s e σ_s.

Profundidade do eixo neutro		y	A_{cy}	Armadura A_s		Armadura $A´_s$			
				Tração		Extensões		Tensões	
						Tração	Compressão	$\varepsilon_{sp,\theta} < \varepsilon´_s < \varepsilon_{sy,\theta}$	$\varepsilon´_s < \varepsilon_{sp,\theta}$
x_2	x_3			ε_s	$\sigma_s(\theta)$	$\varepsilon´_s$	$\varepsilon´_s$	$\sigma´_s(\theta)$	$\sigma´_s(\theta)$
$(3{,}5/153{,}5).d_{fi}$	$(3{,}5/23{,}5).d_{fi}$	$0{,}8.x$	$b_{fi}.y$	$0{,}0035(d_{fi}-x)/x$	$f_{sy,\theta}$	$0{,}0035[(a-a´)-x]/x$	$0{,}0035[x-(a-a´)]/x$	$f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon´_s)^2]^{0,5}$	$\varepsilon´_s.E_{s,\theta}$

Quadro A6.2 - Domínio 2 - Expressões para o cálculo de $N_{Rd,fi}$, S_y, e e $M_{Rd,fi}$.

Profundidade do eixo neutro	Esforço normal resistente		Momento resistente em relação à armadura A_s			Excentricidade		Momento resistente em relação ao centro de gravidade da secção
	$N_{Rd,fi}$		Momento estático	$N_{Rd,fi}.e_1$		e		
	$A'_s \rightarrow$ Tração	$A'_s \rightarrow$ Compressão	S_y	$A'_s \rightarrow$ Tração	$A'_s \rightarrow$ Compressão	$e_1>(h/2)-a$	$e_1<(h/2)-a$	$M_{Rd,fi}$
$x_2 \leq x \leq x_3$	$0{,}85f_{ck}.A_{cy} - A´_s.\sigma´_s(\theta) - A_s.\sigma_s(\theta)$	$0{,}85f_{ck}.A_{cy} + A´_s.\sigma´_s(\theta) - A_s.\sigma_s(\theta)$	$A_{cy}.(d_{fi}-y/2)$	$0{,}85f_{ck}.S_y - A´_s.\sigma´_s(\theta).(d-a)$	$0{,}85f_{ck}.S_y + A´_s.\sigma´_s(\theta).(d-a)$	$e_1-(h/2)+a$	$(h/2)-a-e_1$	$N_{Rd,fi}.e$

❖ <u>Domínio 3</u> - domínio definido pelas extensões do aço no intervalo $\varepsilon_{sp,\theta} \leq \varepsilon_s \leq 0{,}02$

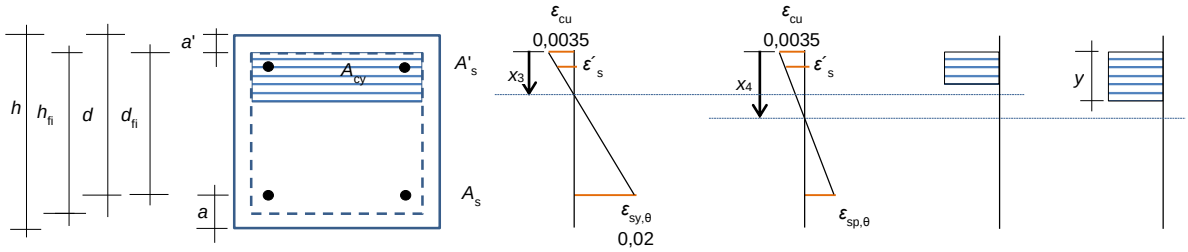


Figura A6.3 - Representação esquemática dos limites das extensões no aço e no betão, para o domínio 3.

Quadro A6.3 - Domínio 3 - Expressões para o cálculo de x, y, ε_s e σ_s.

Profundidade do eixo neutro		y	A_{cy}	Armadura A_s Tração $\varepsilon_{sp,\theta} < \varepsilon_s < \varepsilon_{sy,\theta}$		Armadura A´s		
						Extensões		Tensões
						Tração	Compressão	$\varepsilon_{sp,\theta} < \varepsilon´_s < \varepsilon_{sy,\theta}$
x_3	x_4			ε_s	$\sigma_s(\theta)$	$\varepsilon´_s$	$\varepsilon´_s$	$\sigma´_s(\theta)$
$(3{,}5/23{,}5).d_{fi}$	$[(0{,}0035/(0{,}0035+\varepsilon_{sp,\theta})].d_{fi}$	$0{,}8.x$	$b_{fi}.y$	$0{,}0035(d_{fi}-x)/x$	$f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon_s)^2]^{0,5}$	-	$0{,}0035[x-(a-a´)]/x$	$f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon´_s)^2]^{0,5}$

Quadro A6.4 - Domínio 3 - Expressões para o cálculo de $N_{Rd,fi}$, S_y, e e $M_{Rd,fi}$.

Profundidade do eixo neutro	Esforço normal resistente	Momento resistente em relação à armadura A_s		Excentricidade	Momento resistente em relação ao centro de gravidade da secção
	$N_{Rd,fi}$	Momento estático	$N_{Rd,fi}.e_1$	e	
$x_3 \leq x \leq x_4$	$A'_s \rightarrow$ Compressão	S_y	$A'_s \rightarrow$ Compressão	$e_1>(h/2)-a$	$M_{Rd,fi}$
	$0{,}85f_{ck}.A_{cy} + A´_s.\sigma´_s(\theta)-A_s.\sigma_s(\theta)$	$A_{cy}.(d_{fi}-y/2)$	$0{,}85f_{ck}.S_y+A´_s.\sigma´_s.(d-a)$	$e_1-(h/2)+a$	$N_{Rd,fi}.e$

❖ <u>Domínio 4</u> - domínio definido pelas extensões do aço no intervalo $0 \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sp,\theta}$

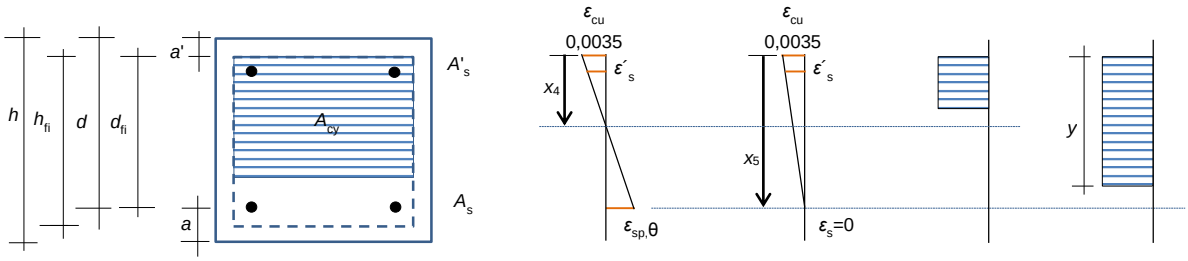


Figura A6.4 - Representação esquemática dos limites das extensões no aço e no betão, para o domínio 4.

Quadro A6.5 - Domínio 4 - Expressões para o cálculo de x, y, ε_s e σ_s.

Profundidade do eixo neutro		y	A_{cy}	Armadura A_s Tração		Armadura $A´s$		
						Extensões		Tensões
						Tração	Compressão	$\varepsilon_{sp,\theta} < \varepsilon´_s < \varepsilon_{sy,\theta}$
x_4	x_5			ε_s	$\sigma_s(\theta)$	$\varepsilon´_s$	$\varepsilon´_s$	$\sigma´_s(\theta)$
$[(0{,}0035/(0{,}0035+\varepsilon_{sp,\theta})].d_{fi}$	d_{fi}	$0{,}8.x$	$b_{fi}.y$	$0{,}0035(d_{fi}-x)/x$	$\varepsilon_s.E_{s,\theta}$	-	$0{,}0035[x-(a-a´)]/x$	$f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon´_s)^2]^{0,5}$

Quadro A6.6 - Domínio 4 - Expressões para o cálculo de $N_{Rd,fi}$, S_y, e e $M_{Rd,fi}$.

Profundidade do eixo neutro	Esforço normal resistente	Momento resistente em relação à armadura A_s		Excentricidade	Momento resistente em relação ao centro de gravidade da secção
	$N_{Rd,fi}$	Momento estático	$N_{Rd,fi}.e_1$	e	
$x_4 \le x \le x_5$	$A'_s \rightarrow$ Compressão	S_y	$A'_s \rightarrow$ Compressão	$e_1>(h/2)-a$	$M_{Rd,fi}$
	$0,85f_{ck}.A_{cy} + A'_s.\sigma'_s(\theta)-A_s.\sigma_s(\theta)$	$A_{cy}.(d_{fi}-y/2)$	$0,85f_{ck}.S_y+A'_s.\sigma'_s(\theta).(d-a)$	$e_1-(h/2)+a$	$N_{Rd,fi}.e$

❖ <u>Domínio 5</u> - domínio definido pela profundidade do eixo neutro no intervalo $d_{fi} \le x \le h_{fi}$

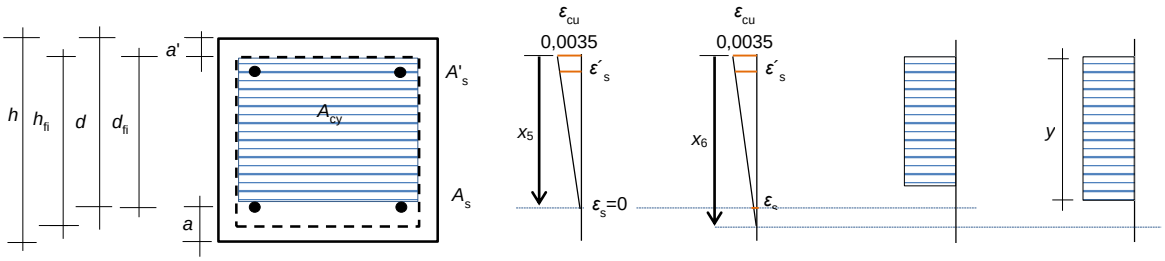


Figura A6.5 - Representação esquemática dos limites das extensões no aço e no betão, para o domínio 5.

Quadro A6.7 - Domínio 5 - Expressões para o cálculo de x, y, ε_s e σ_s.

Profundidade do eixo neutro		y	A_{cy}	Armadura A_s		Armadura A'_s		
				Compressão		Extensões		Tensões
						Tração	Compressão	$\varepsilon_{sp,\theta} < \varepsilon'_s < \varepsilon_{sy,\theta}$
x_5	x_6			ε_s	$\sigma_s(\theta)$	ε'_s	ε'_s	$\sigma'_s(\theta)$
d_{fi}	h_{fi}	$0,8.x$	$b_{fi}.y$	$0,0035(x-d_{fi})/x$	$\varepsilon_s.E_{s,\theta}$	-	$0,0035[x-(a-a')]/x$	$f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon'_s)^2]^{0,5}$

Quadro A6.8 - Domínio 5 - Expressões para o cálculo de $N_{Rd,fi}$, S_y, e e $M_{Rd,fi}$.

Profundidade do eixo neutro	Esforço normal resistente	Momento resistente em relação à armadura A_s		Excentricidade	Momento resistente em relação ao centro de gravidade da secção
	$N_{Rd,fi}$	Momento estático	$N_{Rd,fi}.e_1$	e	
$x_5 \le x \le x_6$	$A'_s \rightarrow$ Compressão	S_y	$A'_s \rightarrow$ Compressão	$e_1>(h/2)-a$	$M_{Rd,fi}$
	$0,85f_{ck}.A_{cy}+A'_s.\sigma'_s(\theta)+A_s.\sigma_s(\theta)$	$A_{cy}.(d_{fi}-y/2)$	$0,85f_{ck}.S_y+A'_s.\sigma'_s(\theta).(d-a)$	$e_1-(h/2)+a$	$N_{Rd,fi}.e$

❖ <u>Domínio 6</u> - domínio definido pela profundidade do eixo neutro no intervalo $h_{fi} \le x \le 1,25h_{fi}$

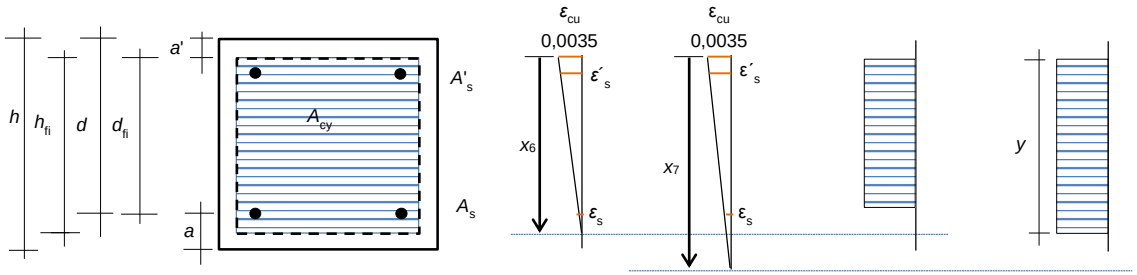


Figura A6.6 - Representação esquemática dos limites das extensões no aço e no betão, para o domínio 6.

Quadro A6.9 - Domínio 6 - Expressões para o cálculo de x, y, ε_s e σ_s.

Profundidade do eixo neutro		y	A_{cy}	Armadura A_s		Armadura A´s		
				Compressão		Extensões		Tensões
						Tração	Compressão	$\varepsilon_{sp,\theta} < \varepsilon'_s < \varepsilon_{sy,\theta}$
x_6	x_7			ε_s	$\sigma_s(\theta)$	ε'_s	ε'_s	$\sigma'_s(\theta)$
h_{fi}	$1{,}25h_{fi}$	$0{,}8.x$	$b_{fi}.y$	$0{,}0035(x-d_{fi})/x$	$\varepsilon_s.E_{s,\theta}$	-	$0{,}0035[x-(a-a')]/x$	$f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon'_s)^2]^{0,5}$

Quadro A6.10 - Domínio 6 - Expressões para o cálculo de $N_{Rd,fi}$, S_y, e e $M_{Rd,fi}$.

Profundidade do eixo neutro	Esforço normal resistente	Momento resistente em relação à armadura A_s		Excentricidade	Momento resistente em relação ao centro de gravidade da secção
	$N_{Rd,fi}$	Momento estático	$N_{Rd,fi}.e_1$	e	
$x_6 \le x \le x_7$	$A'_s \rightarrow$ Compressão	S_y	$A'_s \rightarrow$ Compressão	$e_1>(h/2)-a$	$M_{Rd,fi}$
	$0{,}85f_{ck}.A_{cy}+A'_s.\sigma'_s(\theta)+A_s.\sigma_s(\theta)$	$A_{cy}.(d_{fi}-y/2)$	$0{,}85f_{ck}.S_y+A'_s.\sigma'_s(\theta).(d-a)$	$e_1-(h/2)+a$	$N_{Rd,fi}.e$

❖ <u>Domínio 7</u> - domínio definido pela profundidade do eixo neutro $x > 1{,}25h_{fi}$

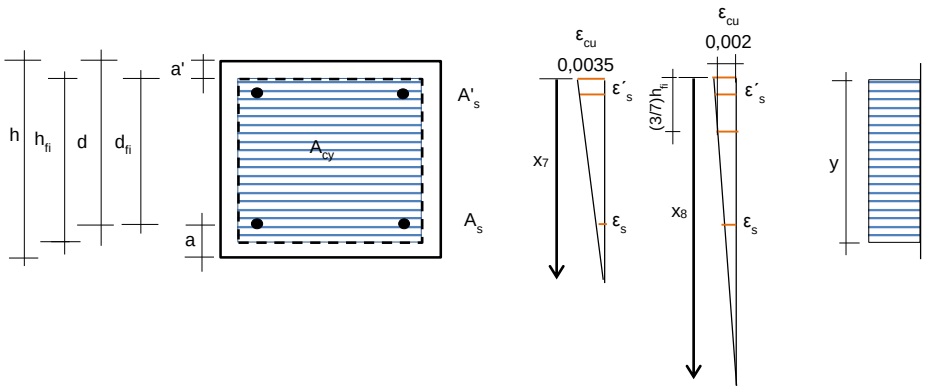


Figura A6.7 - Representação esquemática dos limites das extensões no aço e no betão, para o domínio 7.

Quadro A6.11 - Domínio 7 - Expressões para o cálculo de x, y, ε_s e σ_s.

Profundidade do eixo neutro		y	A_{cy}	Armadura A_s			Armadura A´s		
				Compressão			Extensões		Tensões
				ε_s	$\sigma_s(\theta)$		Tração	Compressão	$\varepsilon_{sp,\theta} < \varepsilon'_s < \varepsilon_{sy,\theta}$
x_7	x_8				$\varepsilon_{sp,\theta} < \varepsilon_s < \varepsilon_{sy,\theta}$	$\varepsilon_s < \varepsilon_{sp,\theta}$	ε'_s	ε'_s	$\sigma'_s(\theta)$
$1{,}25h_{fi}$	∞	h_{fi}	$b_{fi}.y$	$0{,}002(x-d_{fi})/x-(3/7)h_{fi}$	$f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon_s)^2]^{0,5}$	$\varepsilon_s.E_{s,\theta}$	-	$0{,}002[x-(a-a')]/x-(3/7)h_{fi}$	$f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon'_s)^2]^{0,5}$

Quadro A6.12 - Domínio 7 - Expressões para o cálculo de $N_{Rd,fi}$, S_y, e e $M_{Rd,fi}$.

Profundidade do eixo neutro	Esforço normal resistente	Momento resistente em relação à armadura A_s		Excentricidade	Momento resistente em relação ao centro de gravidade da secção
	$N_{Rd,fi}$	Momento estático	$N_{Rd,fi}.e_1$	e	
$x_7 \le x$	$A'_s \rightarrow$ Compressão	S_y	$A'_s \rightarrow$ Compressão	$e_1>(h/2)-a$	$M_{Rd,fi}$
	$0{,}85f_{ck}.A_{cy}+A'_s.\sigma'_s(\theta)+A_s.\sigma_s(\theta)$	$A_{cy}.(d_{fi}-y/2)$	$0{,}85f_{ck}.S_y+A'_s.\sigma'_s(\theta).(d-a)$	$e_1-(h/2)+a$	$N_{Rd,fi}.e$

A6.2.3. EXPRESSÕES PARA O DESENHO DOS DIAGRAMAS DE INTERAÇÃO PARA ARMADURAS CONSTITUÍDAS POR SEIS VARÕES

As expressões que permitem quantificar os valores dos parâmetros necessários para desenhar os diagramas de interação $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ de secções com armaduras longitudinais constituídas por mais de quatro varões foram definidas utilizando a mesma metodologia seguida para as secções constituídas por quatro varões.

A Figura A6.8 representa a secção estudada com armadura constituída por seis varões, representando-se as extensões para as situações em que a armadura a meia altura se encontra à compressão e à tração, para ilustrar as expressões deduzidas para esta armadura. As expressões deduzidas em A6.2.2 para armaduras constituídas por quatro varões mantêm-se exceto as correspondentes aos parâmetros relacionados com a armadura A_{s2}, correspondendo A_{s1} a A'_s e A_{s3} a A_s. Apresenta-se, no Quadro A6.13, as expressões para quantificar os parâmetros relacionados com a armadura a meia altura, A_{s2}.

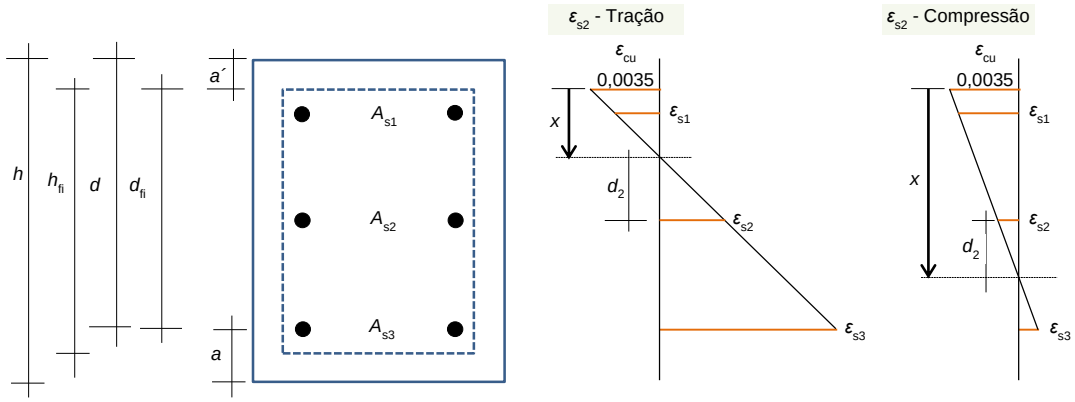


Figura A6.8 - Representação esquemática da secção transversal de um pilar com armadura constituída por seis varões.

Quadro A6.13 - Expressões para a quantificação dos parâmetros relacionados com a armadura a meia face, A_{s2}.

Armadura A_{s2}				Esforço normal resistente	Momento resistente em relação à armadura A_{s3}
Tração		Compressão		$N_{Rd,fi}$	$N_{Rd,fi}.e_1$
d_2	ε_{s2}	d_2	ε_{s2}		
$0,5h_{fi}$-x	$0,0035(0,5h_{fi}-x)/x$	x-$0,5h_{fi}$	$0,0035(x-0,5h_{fi})/x$	$0,85f_{ck}.A_{cy}+\sum A_{si}.\sigma_{si}(\theta)$	$0,85f_{ck}.S_y \pm A_{s1}.\sigma_{s1}(\theta).(d-a) \pm A_{s2}.\sigma_{s2}(\theta).(0,5h-a)$

A6.2.4. EXPRESSÕES PARA O DESENHO DOS DIAGRAMAS DE INTERAÇÃO PARA ARMADURAS CONSTITUÍDAS POR OITO VARÕES

Os parâmetros intervenientes nos desenhos dos diagramas de interação $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ em secções de betão com armaduras constituídas por oito varões, dispostos como se representa na Figura A6.9, são quantificados utilizando as expressões apresentadas nos dois subcapítulos anteriores, com exceção do esforço normal resistente, $N_{Rd,fi}$ e do momento resistente em relação à armadura A_s, $N_{Rd,fi}.e_1$. Nesta figura,

o índice “mf” identifica as armaduras dispostas a meio das faces correspondentes à menor dimensão do pilar e o índice “c” identifica as armaduras dispostas nos cantos.

Efetivamente, apesar das extensões nos varões a meia face ($A_{s1,mf}$ e $A_{s3,mf}$) serem iguais às extensões nos varões de canto previstos na mesma camada ($A_{s1,c}$ e $A_{s3,c}$, respetivamente), as tensões serão diferentes, pelo facto das temperaturas serem diferentes nos varões de canto e nos varões a meia face, como se exporá em parágrafo próprio. As expressões para a quantificação de $N_{Rd,fi}$ e $N_{Rd,fi}.e_1$ são apresentadas no Quadro A6.14.

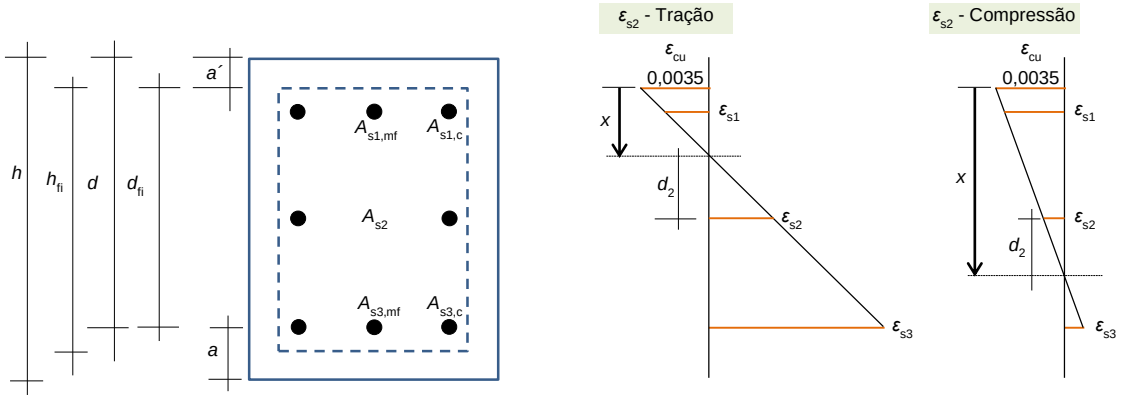


Figura A6.9 - Representação esquemática da secção transversal de um pilar com armadura constituída por oito varões.

Quadro A6.14 - Expressões para a quantificação de $N_{Rd,fi}$ e $N_{Rd,fi}.e_1$ em secções constituídas por oito varões.

Esforço normal resistente	Momento resistente em relação à armadura A_{s3}
$N_{Rd,fi}$	$N_{Rd,fi}.e_1$
$0{,}85f_{ck}.A_{cy}+\sum A_{si,c}.\sigma_{si,c}(\theta)+\sum A_{si,mf}.\sigma_{si,mf}(\theta)+\sum A_{s2}.\sigma_{s2}(\theta)$	$0{,}85f_{ck}.S_y \pm A_{s1,mf}.\sigma_{s1,mf}(\theta).(d-a) \pm A_{s1,c}.\sigma_{s1,c}(\theta).(d-a) \pm A_{s2}.\sigma_{s2}(\theta).(h/2-a)$

A6.2.5. EXPRESSÕES PARA O DESENHO DOS DIAGRAMAS DE INTERAÇÃO PARA ARMADURAS CONSTITUÍDAS POR DEZ VARÕES

Nas secções em betão com armadura longitudinal constituída por dez varões dispostos como se indica na Figura A6.10, seguiu-se a metodologia já indicada, para quantificar os parâmetros intervenientes nos desenhos dos diagramas de interação $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$. No Quadro A6.15 apresentam-se as expressões para quantificar os parâmetros dependentes de A_{s2} e de A_{s3}, sendo os restantes calculados como se indica em A6.2.4.

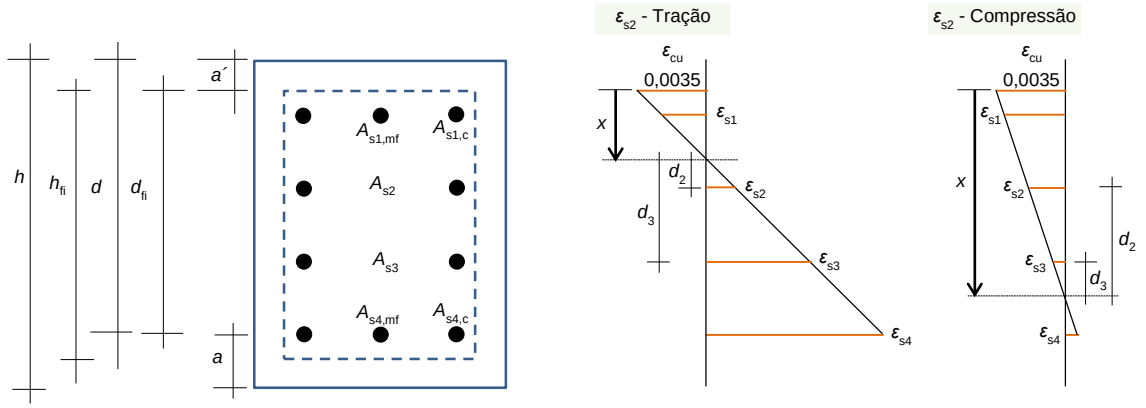


Figura A6.10 - Representação esquemática da secção transversal de um pilar com armadura constituída por dez varões.

Quadro A6.15 - Expressões para a quantificação dos parâmetros relacionados com as armaduras dispostas nas faces correspondentes à maior dimensão do pilar, A_{s2} e A_{s3}.

Armadura A_{s2}				Armadura A_{s3}				Esforço normal resistente	Momento resistente em relação à armadura A_{s4}
Tração		Compressão		Tração		Compressão		$N_{Rd,fi}$	$N_{Rd,fi}.e_1$
d_2	ε_{s2}	d_2	ε_{s2}	d_3	ε_{s3}	d_3	ε_{s3}		
$(h+a)/3-a´-x$	$0,0035.[(h+a)/3-a´-x]/x$	$x-[(h+a)/3-a´]$	$0,0035.\{x-[(h+a)/3-a´]\}/x$	$(2h-a)/3-a´-x$	$0,0035.[(2h-a)/3-a´-x]/x$	$x-[(2h-a)/3-a´]$	$0,0035.\{x-[(2h-a)/3-a´]\}/x$	$0,85f_{ck}.A_{cy}+\sum A_{si,c}.\sigma_{si,c}(\theta)+\sum A_{si,mf}.\sigma_{si,mf}(\theta)+\sum A_{si}.\sigma_{si}(\theta)$	$0,85f_{ck}.S_y\pm A_{s1,mf}.\sigma_{s1,mf}(\theta).(d-a)\pm A_{s1,c}.\sigma_{s1,c}(\theta).(d-a)\pm A_{s2}.\sigma_{s2}(\theta).2(h-2a)/3\pm A_{s3}.\sigma_{s3}(\theta).(h-2a)/3$

A6.2.6. COMPARAÇÃO DOS DIAGRAMAS N_{Rd}/M_{Rd} À TEMPERATURA AMBIENTE E EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Obtiveram-se, no desenvolvimento do Capítulo 6, resultados não expectáveis em algumas secções de pilares, para as quais a resistência mecânica à temperatura ambiente é inferior à correspondente a uma situação de incêndio no escalão R60. Como já referido no subcapítulo 6.2.3, esta matéria deve ser objeto de estudo aprofundado a desenvolver no futuro. No entanto, focaram-se alguns aspetos que podem servir de apoio a esse estudo. Apresentam-se, neste anexo, os valores à temperatura normal e os valores reduzidos das extensões no aço, ε'_s e ε_s, referentes a duas secções transversais de pilares com dimensões diferentes (25x25cm^2 e 30x40cm^2) e que, apesar de serem constituídas por armaduras iguais (4Φ12-Φ6) e, assim, o mesmo valor de a (47mm), apresentam comportamentos distintos, quando comparada a respetiva resistência mecânica à temperatura ambiente e em situação de incêndio para o escalão R60.

Os Quadros A6.16 a A6.20 mostram as extensões no aço para a secção de 25x25cm^2, à qual corresponde uma resistência à temperatura ambiente significativamente superior à determinada para o escalão R60, como pode observar-se na Figura 6.17(a) do Capítulo 6. Os Quadros A6.21 a A6.25 mostram as extensões para a secção de 30x40cm^2, à qual corresponde uma resistência à temperatura ambiente inferior à calculada para o escalão R60, em parte do Domínio 4 e nos Domínios 5 a 7, como se pode constatar na Figura 6.20(a) do mesmo capítulo.

Os coeficientes de redução do módulo de elasticidade, E_s, da tensão de cedência, f_{sy}, e da tensão limite de proporcionalidade, f_{sp}, devidos às elevadas temperaturas e correspondentes a armaduras comprimidas e armaduras tracionadas quando $\varepsilon_{s,fi} < 2\%$, são apresentados no Quadro A6.26. Estes coeficientes são válidos para a=47mm e, portanto, aplicáveis a ambas as secções indicadas no parágrafo anterior.

Quadro A6.16 - Extensões no aço, ε'_s e ε_s, correspondentes à profundidade do eixo neutro, x, à temperatura ambiente e no escalão R60, para um pilar com 25x25cm^2 e armadura 4Φ12-Φ6, no Domínio 3.

Domínio 3 definido em situação de incêndio					
Profundidade do eixo neutro, x [mm]		Extensões no aço das armaduras ε_s			
Temperatura ambiente	R60	Temperatura ambiente		R60	
		θ = 20 [ºC]		θ = 410 [ºC]	
		$\varepsilon_{sp} \le \varepsilon_s \le 0{,}02$		$\varepsilon_{sp,\theta} \le \varepsilon_{s,\theta} \le 0{,}02$	
θ = 20 [ºC]	θ = 410 [ºC]	ε'_s	ε_s	$\varepsilon'_{s,\theta}$	$\varepsilon_{s,\theta}$
30,2	26,2	0,00194	0,02	0,00082	0,02
135,6	131,1	0,00229	0,00174	0,00296	0,00120

Quadro A6.17 - Extensões no aço, ε'_s e ε_s, correspondentes à profundidade do eixo neutro, x, à temperatura ambiente e no escalão R60, para um pilar com 25x25cm^2 e armadura 4Φ12-Φ6, no Domínio 4.

Domínio 4 definido em situação de incêndio					
Profundidade do eixo neutro, x [mm]		Extensões no aço das armaduras ε_s			
Temperatura ambiente	R60	Temperatura ambiente		R60	
		θ = 20 [ºC]		θ = 410 [ºC]	
		$\varepsilon_{sp} \le \varepsilon_s \le 0{,}02$		$\varepsilon_{sp,\theta} \le \varepsilon_{s,\theta} \le 0{,}02$	
θ = 20 [ºC]	θ = 410 [ºC]	ε'_s	ε_s	$\varepsilon'_{s,\theta}$	$\varepsilon_{s,\theta}$
135,6	131,1	0,00229	0,00174	0,00296	0,00120
203,0	176,1	0,00269	0	0,00310	0

Quadro A6.18 - Extensões no aço, ε'_s e ε_s, correspondentes à profundidade do eixo neutro, x, à temperatura ambiente e no escalão R60, para um pilar com 25x25cm^2 e armadura 4Φ12-Φ6, no Domínio 5.

Domínio 5 definido em situação de incêndio					
Profundidade do eixo neutro, x [mm]		Extensões no aço das armaduras ε_s			
Temperatura ambiente	R60	Temperatura ambiente		R60	
		θ = 20 [ºC]		θ = 410 [ºC]	
		$\varepsilon_{sp} \le \varepsilon_s \le 0{,}02$		$\varepsilon_{sp,\theta} \le \varepsilon_{s,\theta} \le 0{,}02$	
θ = 20 [ºC]	θ = 410 [ºC]	ε'_s	ε_s	$\varepsilon'_{s,\theta}$	$\varepsilon_{s,\theta}$
203,0	176,1	0,00269	0,0	0,00310	0,0
250,0	196,1	0,00284	0,00066	0,00314	0,00036

Quadro A6.19 - Extensões no aço, ε'_s e ε_s, correspondentes à profundidade do eixo neutro, x, à temperatura ambiente e no escalão R60, para um pilar com 25x25cm^2 e armadura 4Φ12-Φ6, no Domínio 6.

Domínio 6 definido em situação de incêndio					
Profundidade do eixo neutro, x [mm]		Extensões no aço das armaduras ε_s			
Temperatura ambiente	R60	Temperatura ambiente		R60	
		θ = 20 [ºC]		θ = 410 [ºC]	
		$\varepsilon_{sp} \le \varepsilon_s \le 0{,}02$		$\varepsilon_{sp,\theta} \le \varepsilon_{s,\theta} \le 0{,}02$	
θ = 20 [ºC]	θ = 410 [ºC]	ε'_s	ε_s	$\varepsilon'_{s,\theta}$	$\varepsilon_{s,\theta}$
250,0	196,1	0,00284	0,00066	0,00314	0,00036
312,5	245,2	0,00297	0,00123	0,00321	0,00099

Quadro A6.20 - Extensões no aço, ε'_s e ε_s, correspondentes à profundidade do eixo neutro, x, à temperatura ambiente e no escalão R60, para um pilar com 25x25cm^2 e armadura 4Φ12-Φ6, no Domínio 7.

Domínio 7 definido em situação de incêndio					
Profundidade do eixo neutro, x [mm]		Extensões no aço das armaduras ε_s			
Temperatura ambiente	R60	Temperatura ambiente		R60	
		θ = 20 [ºC]		θ = 410 [ºC]	
		$\varepsilon_{sp} \le \varepsilon_s \le 0{,}02$		$\varepsilon_{sp,\theta} \le \varepsilon_{s,\theta} \le 0{,}02$	
θ = 20 [ºC]	θ = 410 [ºC]	ε'_s	ε_s	$\varepsilon'_{s,\theta}$	$\varepsilon_{s,\theta}$
312,5	245,2	0,00259	0,00107	0,00279	0,00086
842,5(*)	7945,2(*)	0,00216	0,00174	0,00202	0,00198
(*) Valores da profundidade do eixo neutro para os quais M_{Rd} (ou $M_{Rd,fi}$) =0					

Quadro A6.21 - Extensões no aço, ε'_s e ε_s, correspondentes à profundidade do eixo neutro, x, à temperatura ambiente e no escalão R60, para um pilar com 30x40cm^2 e armadura 4Φ12-Φ6, no Domínio 3.

Domínio 3 definido em situação de incêndio								
Profundidade do eixo neutro, x [mm]			Extensões no aço das armaduras ε_s					
Temperatura ambiente	R60	R120	Temperatura ambiente		R60		R120	
			θ = 20 [ºC]		θ = 410 [ºC]		θ = 650 [ºC]	
			$\varepsilon_{sp} \le \varepsilon_s \le 0{,}02$		$\varepsilon_{sp,\theta} \le \varepsilon_{s,\theta} \le 0{,}02$		$\varepsilon_{sp,\theta} \le \varepsilon_{s,\theta} \le 0{,}02$	
θ = 20 [ºC]	θ = 410 [ºC]	θ = 650 [ºC]	ε'_s	ε_s	$\varepsilon'_{s,\theta}$	$\varepsilon_{s,\theta}$	$\varepsilon'_{s,\theta}$	$\varepsilon_{s,\theta}$
51,4	48,8	45,8	0,00025	0,020	0,00194	0,020	0,00336	0,020
230,5	244,0	232,4	0,00266	0,00174	0,00319	0,00120	0,00347	0,00114

Quadro A6.22 - Extensões no aço, ε'_s e ε_s, correspondentes à profundidade do eixo neutro, x, à temperatura ambiente e no escalão R60, para um pilar com 30x40cm^2 e armadura 4Φ12-Φ6, no Domínio 4.

Domínio 4 definido em situação de incêndio								
Profundidade do eixo neutro, x [mm]			Extensões no aço das armaduras ε_s					
Temperatura ambiente	R60	R120	Temperatura ambiente		R60		R120	
			θ = 20 [ºC]		θ = 410 [ºC]		θ = 650 [ºC]	
			$0 \le \varepsilon_s \le \varepsilon_{sp}$		$0 \le \varepsilon_{s,\theta} \le \varepsilon_{sp,\theta}$		$0 \le \varepsilon_{s,\theta} \le \varepsilon_{sp,\theta}$	
θ = 20 [ºC]	θ = 410 [ºC]	θ = 650 [ºC]	ε'_s	ε_s	$\varepsilon'_{s,\theta}$	$\varepsilon_{s,\theta}$	$\varepsilon'_{s,\theta}$	$\varepsilon_{s,\theta}$
230,5	244,0	232,4	0,00266	0,00174	0,00319	0,00120	0,00347	0,00114
345,0	327,7	307,8	0,00294	0	0,00327	0	0,00348	0

Quadro A6.23 - Extensões no aço, ε'_s e ε_s, correspondentes à profundidade do eixo neutro, x, à temperatura ambiente e no escalão R60, para um pilar com 30x40cm^2 e armadura 4Φ12-Φ6, no Domínio 5.

Domínio 5 definido em situação de incêndio								
Profundidade do eixo neutro, x [mm]			Extensões no aço das armaduras ε_s					
Temperatura ambiente	R60	R120	Temperatura ambiente		R60		R120	
			θ = 20 [ºC]		θ = 410 [ºC]		θ = 650 [ºC]	
			$d \le x \le h$		$d_{fi} \le x_{fi} \le h_{fi}$		$d_{fi} \le x_{fi} \le h_{fi}$	
θ = 20 [ºC]	θ = 410 [ºC]	θ = 650 [ºC]	ε'_s	ε_s	$\varepsilon'_{s,\theta}$	$\varepsilon_{s,\theta}$	$\varepsilon'_{s,\theta}$	$\varepsilon_{s,\theta}$
345,0	327,7	307,8	0,00294	0	0,00327	0	0,003479	0
400,0	349,4	309,6	0,00302	0,00048	0,00328	0,00022	0,00348	0,00002

Quadro A6.24 - Extensões no aço, ε'_s e ε_s, correspondentes à profundidade do eixo neutro, x, à temperatura ambiente e no escalão R60, para um pilar com 30x40cm^2 e armadura 4Φ12-Φ6, no Domínio 6.

Domínio 6 definido em situação de incêndio								
Profundidade do eixo neutro, x [mm]			Extensões no aço das armaduras ε_s					
Temperatura ambiente	R60	R120	Temperatura ambiente		R60		R120	
			θ = 20 [ºC]		θ = 410 [ºC]		θ = 650 [ºC]	
			$h \le x \le 1{,}25h$		$h_{fi} \le x_{fi} \le 1{,}25h_{fi}$		$h_{fi} \le x_{fi} \le 1{,}25h_{fi}$	
θ = 20 [ºC]	θ = 410 [ºC]	θ = 650 [ºC]	ε'_s	ε_s	$\varepsilon'_{s,\theta}$	$\varepsilon_{s,\theta}$	$\varepsilon'_{s,\theta}$	$\varepsilon_{s,\theta}$
400,0	349,4	309,6	0,00302	0,00048	0,00328	0,00022	0,00348	0,00002
500,0	436,8	387,0	0,00312	0,00109	0,00333	0,00087	0,00348	0,00072

Quadro A6.25 - Extensões no aço, ε'_s e ε_s, correspondentes à profundidade do eixo neutro, x, à temperatura ambiente e no escalão R60, para um pilar com 30x40cm^2 e armadura 4Φ12-Φ6, no Domínio 7.

Domínio 7 definido em situação de incêndio								
Profundidade do eixo neutro, x [mm]			Extensões no aço das armaduras ε_s					
Temperatura ambiente	R60	R120	Temperatura ambiente		R60		R120	
			θ = 20 [ºC]		θ = 410 [ºC]		θ = 650 [ºC]	
			$x \geq 1{,}25h$		$x_{fi} \geq 1{,}25h_{fi}$		$x_{fi} \geq 1{,}25h_{fi}$	
θ = 20 [ºC]	θ = 410 [ºC]	θ = 650 [ºC]	ε'_s	ε_s	$\varepsilon'_{s,\theta}$	$\varepsilon_{s,\theta}$	$\varepsilon'_{s,\theta}$	$\varepsilon_{s,\theta}$
500,0	436,8	387,0	0,00271	0,00094	0,00289	0,00076	0,00303	0,00062
1500,0(*)	31636,8(*)	20587,0(*)	0,00218	0,00174	0,00201	0,00199	0,00201	0,00198
(*) Valores da profundidade do eixo neutro para os quais M_{Rd} (ou $M_{Rd,fi}$) =0								

Quadro A6.26 - Coeficientes de redução do módulo de elasticidade, E_s, da tensão de cedência, f_{sy}, e da tensão limite de proporcionalidade, f_{sp}, à temperatura ambiente e para os escalões R60 e R120, em pilares com armadura constituída por varões 4Φ12-Φ6, a=47mm.

Módulo de elasticidade E_s			Tensão de cedência f_{sy}			Tensão limite de proporcionalidade f_{sp}		
Temperatura ambiente	R60	R120	Temperatura ambiente	R60	R120	Temperatura ambiente	R60	R120
θ = 20 [ºC]	θ = 410 [ºC]	θ = 650 [ºC]	θ = 20 [ºC]	θ = 410 [ºC]	θ = 650 [ºC]	θ = 20 [ºC]	θ = 410 [ºC]	θ = 650 [ºC]
$\frac{E_{s,\theta}}{E_s}$			$\frac{f_{sy,\theta}}{f_{yk}}$			$\frac{f_{sp,\theta}}{f_{yk}}$		
1,00	0,69	0,22	0,87(*)	0,69	0,22	0,87(*)	0,41	0,12
(*) À temperatura ambiente considera-se a tensão de cálculo, $f_{yd} = f_{yk}/1{,}15 \Rightarrow f_{yd} = 0{,}87f_{yk}$								

A6.2.7. APLICAÇÃO PRÁTICA

Apresenta-se, neste subcapítulo, a aplicação da metodologia exposta no Capítulo 6, adotada para o desenho dos diagramas de interação $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$, a um pilar de 30x50 cm^2 com armadura longitudinal constituída por 10Φ25 e cintas Φ8, em betão C50/60 e aço S400, para o escalão de resistência ao fogo R90. Os Quadros A6.27 a A6.47 mostram a sequência dos cálculos efetuados, em Excel, para o desenho do diagrama $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ correspondente a este pilar. Não se desenvolve o cálculo para o Domínio 1 por corresponder a uma situação que não ocorre em pilares, como já referido. Consideram-se em conjunto os Domínios 5 e 6 por não se justificar, em termos de expressões de cálculo, a sua separação.

Quadro A6.27 - Caraterísticas do pilar.

Caraterísticas do pilar			
b [mm]	*h* [mm]	*a* [mm]	*d* [mm]
300	500	55	445
Cintas		Recobrimento [mm]	
Diâmetro [mm]	8	35	
Armadura principal			
Nº de varões		Diâmetro [mm]	
10		25	
Betão - C50/60		Aço – S400	
f_{ck} [N/mm2] [Mpa]	50	f_{yk} [N/mm2]	400
E_{cm} [N/mm2] [Mpa]	37000	E_s [N/mm2] [Mpa]	200000

Quadro A6.28 - Cálculo das dimensões da secção transversal reduzida do pilar.

Cálculo de b_{fi}, h_{fi}, a' e d_{fi}					
Método da Isotérmica dos 500°C					
Cálculo de a_{500} (EC2-1-2, pág. 76)				Área útil não corrigida [mm2]	
Escalão de resistência ao fogo	a'_{500} [mm]	b-2xa'_{500} [mm]	h-2xa'_{500} [mm]		
R90	31	238	438	104244	
Cálculo da área equivalente					
Distância aproximada à tangente com isotérmica [mm]	Lado do quadrado de canto [mm]	Área do quadrado de canto [mm2]		Área 1/4 círculo	
				Raio do quarto de círculo [mm]	Área do quarto círculo [mm2]
100	69	4761		69	3739,28
Área parcial em excesso = A (quadrado) - A (1/4 círculo) [mm2]			Área total em excesso=área parcial em excesso x4 [mm2]		
1021,72			4086,88		
$A_{cu} = A_{útil\ não\ corr.} - A_{excesso}$ [mm2]	a_{500} Expressão 6.7 - Cap. 6 [mm]	b_{fi} b-2xa_{500} [mm]	h_{fi} h-2xa_{500} [mm]	$d_{fi}=d-a_{500}$ [mm]	
100157,12	34,1	231,9	431,9	410,95	

Quadro A6.29 - Cálculo da redução das caraterísticas mecânicas do aço nos varões de canto.

Cálculo dos valores dos parâmetros a elevadas temperaturas													
Cálculo da temperatura no centro dos varões				Cálculo de $f_{sy,\theta}$				Cálculo de $f_{sp,\theta}$		Cálculo de $E_{s,\theta}$			Cálculo de $\varepsilon_{sp,\theta}$
				Armadura tracionada quando $\varepsilon_{s,\theta} \geq 2\%$		Armadura comprimida e armadura tracionada quando $\varepsilon_{s,fi} < 2\%$							
Figura de perfis de temperatura EC2-1-2, pag.75			Aço S400	EC2-1-2 Q.3.2.a, pág. 28		EC2-1-2 Expressões págs. 36/37		EC2-1-2 Q.3.2.a, pág.28		EC2-1-2 Q.3.2.a, pág.28			$\varepsilon_{sp,\theta}=f_{sp,\theta}/E_{s,\theta}$
a [mm]	R	θ [°C]	f_{yk} [N/mm^2]	$f_{sy,\theta}/f_{yk}$	$f_{sy,\theta}$ [N/mm2]	$k_s(\theta)$=0,57-0,13(θ-500)/100	$f_{sy,\theta}$ [N/mm2]	$f_{sp,\theta}/f_{yk}$	$f_{sp,\theta}$ [N/mm2]	E_s [N/mm2]	$E_{s,\theta}/E_s$	$E_{s,\theta}$ [N/mm2]	$\varepsilon_{sp,\theta}$
55	R90	470	400	0,85	338,4	0,609	243,6	0,378	151,2	200000	0,63	126000	0,00120

Quadro A6.30 - Cálculo da redução das caraterísticas mecânicas do aço nos varões nas faces.

Cálculo dos valores dos parâmetros a elevadas temperaturas													
Cálculo da temperatura no centro dos varões				Cálculo de $f_{sy,\theta}$				Cálculo de $f_{sp,\theta}$		Cálculo de $E_{s,\theta}$			Cálculo de $\varepsilon_{sp,\theta}$
				Armadura tracionada quando $\varepsilon_{s,\theta} \geq 2\%$		Armadura comprimida e armadura tracionada quando $\varepsilon_{s,fi} < 2\%$							
Figura de perfis de temperatura EC2-1-2, pag.75			Aço S400	EC2-1-2 Q.3.2.a, pág. 28		EC2-1-2 Expressões págs. 36/37		EC2-1-2 Q.3.2.a, pág.28		EC2-1-2 Q.3.2.a, pág.28			$\varepsilon_{sp,\theta}=f_{sp,\theta}/E_{s,\theta}$
a [mm]	R	θ [°C]	f_{yk} [N/mm^2]	$f_{sy,\theta}/f_{yk}$	$f_{sy,\theta}$ [N/mm2]	$k_S(\theta)$=0,7-0,3(θ-400)/300	$f_{sy,\theta}$ [N/mm2]	$f_{sp,\theta}/f_{yk}$	$f_{sp,\theta}$ [N/mm2]	E_s [N/mm2]	$E_{s,\theta}/E_s$	$E_{s,\theta}$ [N/mm2]	$\varepsilon_{sp,\theta}$
55	R90	300	400	1,00	400	0,80	320	0,61	244	200000	0,80	160000	0,00153

Quadro A6.31 - Quantificação dos parâmetros auxiliares *a*, *b* e *c* para os varões de canto.

Quantificação de parâmetros auxiliares para o cálculo de $\sigma_s(\theta)$ EC2-1-2 - Fig.3.3								
Extensões			Armaduras **comprimidas** e armaduras **tracionadas** quando $\varepsilon_{s,fi} < 2\%$			Armaduras **tracionadas** quando $\varepsilon_{s,fi} \geq 2\%$		
$\varepsilon_{sy,\theta}$	$\varepsilon_{st,\theta}$	$\varepsilon_{su,\theta}$	*a*	*b*	*c*	*a*	*b*	*c*
0,02	0,15	0,20	0,018816	96,30923	3,90923	0,018870	204,77112	17,57112

Quadro A6.32 - Quantificação dos parâmetros auxiliares *a*, *b* e *c* para os varões nas faces.

Quantificação de parâmetros auxiliares para o cálculo de $\sigma_s(\theta)$ EC2-1-2 - Fig.3.3								
Extensões			Armaduras **comprimidas** e armaduras **tracionadas** quando $\varepsilon_{s,fi} < 2\%$			Armaduras **tracionadas** quando $\varepsilon_{s,fi} \geq 2\%$		
$\varepsilon_{sy,\theta}$	$\varepsilon_{st,\theta}$	$\varepsilon_{su,\theta}$	*a*	*b*	*c*	*a*	*b*	*c*
0,02	0,15	0,20	0,018481	78,05991	2,05991	0,018504	165,20424	9,20424

Quadro A6.33 - Desenvolvimento do cálculo de $N_{Rd,fi}$ e de $M_{Rd,fi}$ para o desenho dos diagramas de interação. Domínio 2, A_{s4} e A_{s1}.

Domínio 2														
x_2=(3,5/153,5).d_{fi} [mm]	x_3=(3,5/23,5).d_{fi} [mm]	A_{cy}=b_{fi}.y [mm]^2	Armadura A_{s4}			Armadura A_{s1}								
			$\varepsilon_{sy,\theta} \leq \varepsilon_{s4} \leq \varepsilon_{st,\theta}$ 0,02 ≤ ε_{s4} ≤ 0,15			Tipo de esforço	Tração ε_{s1}=0,0035.[(a-a´)-x]/x	Compressão ε_{s1}=0,0035.[x-(a-a´)]/x	Varões de canto $A_{s1,c}$			Varões na face $A_{s1,mf}$		
9,10	59,47		ε_{s4}=0,0035.(d_{fi}-x)/x	Varões de canto $A_{s4,c}$	Varões a meia face $A_{s4,mf}$				Domínio das extensões	$\varepsilon_{sp,\theta} < \varepsilon_{s1} < \varepsilon_{sy,\theta}$	$\varepsilon_{s1} < \varepsilon_{sp,\theta}$	Domínio das extensões	$\varepsilon_{sp,\theta} < \varepsilon_{s1} < \varepsilon_{sy,\theta}$	$\varepsilon_{s1} < \varepsilon_{sp,\theta}$
x [mm]	y=0,8.x			$\sigma_s(\theta)$=$f_{sy,\theta}$	$\sigma_s(\theta)$=$f_{sy,\theta}$					$\sigma_{s1}(\theta)=f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon_{s1})^2]^{0,5}$	$\sigma_{s1}(\theta)$=ε_{s1}.$E_{s,\theta}$		$\sigma_{s1}(\theta)=f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon_{s1,mf})^2]^{0,5}$	$\sigma_{s1}(\theta)$=ε_{s1}.$E_{s,\theta}$
9,4	7,5	1738,4	0,15	338,40	400,00	Tração	0,00433	–	0,00120 < ε´s < 0,02	200,56	–	0,00153 < εs2 < 0,02	283,29	–
19,4	15,5	3593,5	0,07075	338,40	400,00	Tração	0,00	–	ε´s<εsp,θ	–	35,96	εs2<εsp,θ	–	45,66
29,4	23,5	5448,7	0,04547	338,40	400,00	Compressão	–	0,00100	ε´s<εsp,θ	–	126,44	εs2<εsp,θ	–	160,55
39,4	31,5	7303,9	0,03303	338,40	400,00	Compressão	–	0,00164	0,00120 < ε´s < 0,02	168,30	–	0,00153 < εs2 < 0,02	250,78	–
49,4	39,5	9159,1	0,02563	338,40	400,00	Compressão	–	0,00201	0,00120 < ε´s < 0,02	175,59	–	0,00153 < εs2 < 0,02	259,91	–
61,2	49,0	11354,8	0,02	338,40	400,00	Compressão	–	0,00230	0,00120 < ε´s < 0,02	179,99	–	0,00153 < εs2 < 0,02	264,43	–

Quadro A6.34 - Desenvolvimento do cálculo de $N_{Rd,fi}$ e de $M_{Rd,fi}$ para o desenho dos diagramas de interação. Domínio 2, A_{s2} e A_{s3}.

Domínio 2												
Armadura A_{s2}						Armadura A_{s3}						
Tipo de esforço	Tração ε_{s2}=0,0035.[(h+a)/3 - a´-x]/x	Compressão ε_{s2}=0,0035.{x-[(h+a)/3-a´]}/x	Domínio das extensões	$\varepsilon_{sy,\theta} \le \varepsilon_{s2} \le \varepsilon_{st,\theta}$	$\varepsilon_{sp,\theta} < \varepsilon_{s2} < \varepsilon_{sy,\theta}$	Tipo de esforço	Tração ε_{s3}=0,0035.[(2h-a)/3-a´-x]/x	Compressão ε_{s3}=0,0035.{x-[(2h-a)/3-a´]}/x	Domínio das extensões	$\varepsilon_{sy,\theta} \le \varepsilon_{s3} \le \varepsilon_{st,\theta}$	$\varepsilon_{sp,\theta} < \varepsilon_{s3} < \varepsilon_{sy,\theta}$
				$\sigma_s(\theta)=f_{sy,\theta}$	$\sigma_{s1}(\theta)=f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2.(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon_{s2})]^{0,5}$					$\sigma_s(\theta)=f_{sy,\theta}$	$\sigma_{s1}(\theta)=f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2.(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon_{s3})]^{0,5}$
Tração	0,05288	–	0,02 ≤ εs ≤ 0,15	400,00	–	Tração	0,10144	–	0,02 ≤ εs ≤ 0,15	400,00	–
Tração	0,02378	–	0,02 ≤ εs ≤ 0,15	400,00	–	Tração	0,04726	–	0,02 ≤ εs ≤ 0,15	400,00	–
Tração	0,01449	–	0,00153 < εs2 < 0,02	–	316,45	Tração	0,02998	–	0,02 ≤ εs ≤ 0,15	400,00	–
Tração	0,00992	–	0,00153 < εs2 < 0,02	–	307,37	Tração	0,02148	–	0,02 ≤ εs ≤ 0,15	400,00	–
Tração	0,00720	–	0,00153 < εs2 < 0,02	–	298,25	Tração	0,01642	–	0,00153 < εs2 < 0,02	–	318,52
Tração	0,00513	–	0,00153 < εs2 < 0,02	–	288,31	Tração	0,01257	–	0,00153 < εs2 < 0,02	–	313,41

Quadro A6.35 - Desenvolvimento do cálculo de $N_{Rd,fi}$ e de $M_{Rd,fi}$ para o desenho dos diagramas de interação. Domínio 2.

Domínio 2											
Esforço normal resistente armaduras em compressão → positivo armaduras em tração → negativo		Momento em relação à armadura A_{s3} compressão → positivo tração → negativo			$e_1=N_{Rd,fi}.e_1/N_{Rd,fi}$ [mm]	$e_1>(h/2)-a$ (1)	$e_1=(h/2)-a$ (2)	$e_1<(h/2)-a$ (3)	$e_1>(h/2)-a$ (1)	$e_1<(h/2)-a$ (3)	Momento resistente em relação ao centro de gravidade da secção
$N_{Rd,fi}=0,85f_{ck}.A_{cy}+\sum A_{si,c}.\sigma_{si,c}(\theta)+\sum A_{si,mf}.\sigma_{si,mf}(\theta)+\sum A_{si}.\sigma_{si}(\theta)$		$S_y=A_{cy}.(d_{fi}-y/2)$	$N_{Rd,fi}.e_1=0,85f_{ck}.S_y \pm A_{s1,mf}.\sigma_{s1,mf}(\theta).(d-a) \pm A_{s1,c}.\sigma_{s1,c}(\theta).(d-a) \pm A_{s2}.\sigma_{s2}(\theta).2(h-2a)/3 \pm A_{s3}.\sigma_{s3}(\theta).(h-2a)/3$								
$N_{Rd,fi}$ [N]	$N_{Rd,fi}$ [kN]	S_y [mm³]	$N_{Rd,fi}.e_1$ [N.mm]	$N_{Rd,fi}.e_1$ [N.m]		$e=e_1-(h/2)+a$	$e=0$	$e=(h/2)-a-e_1$	$e=e_1-(h/2)+a$ [mm]	$e=(h/2)-a-e_1$ [mm]	$M_{Rd,fi}=N_{Rd,fi}.e$ [kN.m]
-1576056,99	-1576,06	707859,48	-254095280,1	-254,10	161,22	-	-	V	–	33,78	-53,24
-1218962,74	-1218,96	1448923,24	-114083155	-114,08	93,59	-	-	V	–	101,41	-123,61
-797432,03	-797,43	2175145,44	39764919,12	39,76	-49,87	-	-	V	–	244,87	-195,26
-624279,74	-624,28	2886526,09	105618999,1	105,62	-169,19	-	-	V	–	364,19	-227,35
-444861,86	-444,86	3583065,19	152483638,5	152,48	-342,77	-	-	V	–	537,77	-239,23
-330222,64	-330,22	4388247,84	192445995,5	192,45	-582,78	-	-	V	–	777,78	-256,84

Quadro A6.36 - Desenvolvimento do cálculo de $N_{Rd,fi}$ e de $M_{Rd,fi}$ para o desenho dos diagramas de interação. Domínio 3, A_{s4} e A_{s1}.

Domínio 3																				
$x_3=(3,5/23,5).d_{fi}$ [mm]	$x_4=[(0,0035/(0,0035+\varepsilon_{sp,\theta})].d_{fi}$ [mm]		Armadura A_{s4}								Armadura A_{s1}									
				Varões de canto $A_{s4,c}$			Varões na face $A_{s4,mf}$						Varões de canto $A_{s1,c}$			Varões na face $A_{s1,mf}$				
59,47	297,34	$A_{cy}=b.y$ [mm²]	ε_{s4}=0,0035.(d_fi-x)/x	Domínio das extensões	$\varepsilon_{sp,\theta} < \varepsilon_{s4} < \varepsilon_{sy,\theta}$	$\varepsilon_{s4} < \varepsilon_{sp,\theta}$	Domínio das extensões	$\varepsilon_{sp,\theta} < \varepsilon_{s4} < \varepsilon_{sy,\theta}$	$\varepsilon_{s4} < \varepsilon_{sp,\theta}$	Tipo de esforço	Tração ε_{s1}=0,0035.[(a-a´)-x]/x	Compressão ε_{s1}=0,0035.[x-(a-a´)]/x	Domínio das extensões	$\varepsilon_{sp,\theta} < \varepsilon_{s1} < \varepsilon_{sy,\theta}$	$\varepsilon_{s1} < \varepsilon_{sp,\theta}$	Domínio das extensões	$\varepsilon_{sp,\theta} < \varepsilon_{s1} < \varepsilon_{sy,\theta}$	$\varepsilon_{s1} < \varepsilon_{sp,\theta}$	
x [mm]	y=0,8.x				$\sigma_{s4}(\theta)=f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2.(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon_{s4})]^{0,5}$	$\sigma_{s4}(\theta)=\varepsilon_{s4}.E_{s,\theta}$		$\sigma_{s4}(\theta)=f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2.(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon_{s4})]^{0,5}$	$\sigma_{s4}(\theta)=\varepsilon_{s4}.E_{s,\theta}$					$\sigma_{s1}(\theta)=f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2.(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon_{s1})]^{0,5}$	$\sigma_{s1}(\theta)=\varepsilon_{s1}.E_{s,\theta}$		$\sigma_{s1}(\theta)=f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2.(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon_{s1,mf})]^{0,5}$	$\sigma_{s1}(\theta)=\varepsilon_{s1}.E_{s,\theta}$	
61,2	49,0	11354,8	0,02	0,00120 < εs2 < 0,02	243,60	–	0,00153 < εs2 < 0,02	320,00	–	Compressão	–	0,00230	0,00120 < ε´s < 0,02	179,99	–	0,00153 < εs2 < 0,02	264,43	–		
88,2	70,6	16363,8	0,01281	0,00120 < εs2 < 0,02	236,28	–	0,00153 < εs2 < 0,02	313,84	–	Compressão	–	0,00267	0,00120 < ε´s < 0,02	184,78	–	0,00153 < εs2 < 0,02	269,05	–		
115,2	92,2	21372,8	0,00898	0,00120 < εs2 < 0,02	225,37	–	0,00153 < εs2 < 0,02	304,62	–	Compressão	–	0,00286	0,00120 < ε´s < 0,02	187,06	–	0,00153 < εs2 < 0,02	271,17	–		
142,2	113,8	26381,8	0,00661	0,00120 < εs2 < 0,02	214,97	–	0,00153 < εs2 < 0,02	295,76	–	Compressão	–	0,00298	0,00120 < ε´s < 0,02	188,40	–	0,00153 < εs2 < 0,02	272,41	–		
169,2	135,4	31390,9	0,00500	0,00120 < εs2 < 0,02	205,44	–	0,00153 < εs2 < 0,02	287,54	–	Compressão	–	0,00307	0,00120 < ε´s < 0,02	189,28	–	0,00153 < εs2 < 0,02	273,21	–		
196,2	157,0	36399,9	0,00383	0,00120 < εs2 < 0,02	196,54	–	0,00153 < εs2 < 0,02	279,75	–	Compressão	–	0,00313	0,00120 < ε´s < 0,02	189,90	–	0,00153 < εs2 < 0,02	273,78	–		
223,2	178,6	41408,9	0,00294	0,00120 < εs2 < 0,02	187,96	–	0,00153 < εs2 < 0,02	272,00	–	Compressão	–	0,00317	0,00120 < ε´s < 0,02	190,37	–	0,00153 < εs2 < 0,02	274,21	–		
250,2	200,2	46417,9	0,00225	0,00120 < εs2 < 0,02	179,22	–	0,00153 < εs2 < 0,02	263,66	–	Compressão	–	0,00321	0,00120 < ε´s < 0,02	190,73	–	0,00153 < εs2 < 0,02	274,54	–		
277,2	221,8	51427,0	0,00169	0,00120 < εs2 < 0,02	169,44	–	0,00153 < εs2 < 0,02	252,51	–	Compressão	–	0,00324	0,00120 < ε´s < 0,02	191,02	–	0,00153 < εs2 < 0,02	274,80	–		
306,0	244,8	56773,8	0,00120	0,00120 < εs2 < 0,02	151,20	–	εs2<εsp,θ	–	192,00	Compressão	–	0,00326	0,00120 < ε´s < 0,02	191,27	–	0,00153 < εs2 < 0,02	275,02	–		

Quadro A6.37 - Desenvolvimento do cálculo de $N_{Rd,fi}$ e de $M_{Rd,fi}$ para o desenho dos diagramas de interação. Domínio 3, A_{s2} e A_{s3}.

Domínio 3												
Armadura A_{s2}						Armadura A_{s3}						
Tipo de esforço	Tração ε_{s2}=0,0035.[(h+a)/3 - a´-x]/x	Compressão ε_{s2}=0,0035.{x-[(h+a)/3-a´]}/x	Domínio das extensões	$\varepsilon_{sp,\theta} < \varepsilon_{s2} < \varepsilon_{sy,\theta}$ $\sigma_{s2}(\theta)=f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon_{s2})^2]^{\wedge 0,5}$	$\varepsilon_{s2} < \varepsilon_{sp,\theta}$ $\sigma_{s2}(\theta)=\varepsilon_{s2}.E_{s,\theta}$	Tipo de esforço	Tração ε_{s3}=0,0035.[(2h-a)/3-a´-x]/x	Compressão ε_{s3}=0,0035.{x-[(2h-a)/3-a´]}/x	Domínio das extensões	$\varepsilon_{s3} < \varepsilon_{sp,\theta}$ $\sigma_{s3}(\theta)=\varepsilon_{s3}.E_{s,\theta}$	$\varepsilon_{sp,\theta} < \varepsilon_{s3} < \varepsilon_{sy,\theta}$ $\sigma_{s3}(\theta)=f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon_{s3})^2]^{\wedge 0,5}$
Tração	0,00513	–	0,00153 < εs2 < 0,02	288,31	–	Tração	0,01257	–	0,00153 < εs2 < 0,02	–	313,41
Tração	0,00249	–	0,00153 < εs2 < 0,02	266,91	–	Tração	0,00765	–	0,00153 < εs2 < 0,02	–	300,01
Tração	0,00109	–	εs2<εsp,θ	–	173,75	Tração	0,00504	–	0,00153 < εs2 < 0,02	–	287,75
Tração	0,00	–	εs2<εsp,θ	–	34,44	Tração	0,00341	–	0,00153 < εs2 < 0,02	–	276,38
Compressão	–	0,00038	εs2<εsp,θ	–	60,42	Tração	0,00231	–	0,00153 < εs2 < 0,02	–	264,56
Compressão	–	0,00081	εs2<εsp,θ	–	129,17	Tração	0,00151	–	εs2<εsp,θ	241,87	–
Compressão	–	0,00113	εs2<εsp,θ	–	181,28	Tração	0,00091	–	εs2<εsp,θ	144,87	–
Compressão	–	0,00139	εs2<εsp,θ	–	222,15	Tração	0,00043	–	εs2<εsp,θ	68,81	–
Compressão	–	0,00159	0,00153 < εs2 < 0,02	248,99	–	Tração	0,00	–	εs2<εsp,θ	7,56	–
Compressão	–	0,00177	0,00153 < εs2 < 0,02	254,86	–	Compressão	–	0,00029	εs2<εsp,θ	45,89	–

Quadro A6.38 - Desenvolvimento do cálculo de $N_{Rd,fi}$ e de $M_{Rd,fi}$ para o desenho dos diagramas de interação. Domínio 3.

Domínio 3												
Esforço normal resistente armaduras em compressão → positivo armaduras em tração → negativo		Momento em relação à armadura A_{s3} compressão → positivo tração → negativo			$e_1=N_{Rd,fi}.e_1/N_{Rd,fi}$ [mm]	$e_1>(h/2)-a$ (1)	$e_1=(h/2)-a$ (2)	$e_1<(h/2)-a$ (3)	$e_1>(h/2)-a$ (1)	$e_1<(h/2)-a$ (3)	Momento resistente em relação ao centro de gravidade da secção
$N_{Rd,fi}=0,85f_{ck}.A_{cy}+\sum A_{si,c}\sigma_{si,c}(\theta)+\sum A_{si,mf}\sigma_{si,mf}(\theta)+\sum A_{si}.\sigma_{si}(\theta)$		$S_y=A_{cy}.(d_{fi}-y/2)$	$N_{Rd,fi}.e_1=0,85f_{ck}.S_y \pm A_{s1,mf}.\sigma_{s1,mf}(\theta).(d-a) \pm A_{s1,c}.\sigma_{s1,c}(\theta).(d-a) \pm A_{s2}.\sigma_{s2}(\theta).2(h-2a)/3 \pm A_{s3}.\sigma_{s3}(\theta).(h-2a)/3$								
$N_{Rd,fi}$ [N]	$N_{Rd,fi}$ [kN]	S_y [mm³]	$N_{Rd,fi}.e_1$ [N.mm]	$N_{Rd,fi}.e_1$ [N.m]		$e=e_1-(h/2)+a$	$e=0$	$e=(h/2)-a-e_1$	$e=e_1-(h/2)+a$ [mm]	$e=(h/2)-a-e_1$ [mm]	$M_{Rd,fi}=N_{Rd,fi}.e$ [kN.m]
-197883,05	-197,88	4388247,84	192445995,5	192,45	-972,52	-	-	V	–	1167,52	-231,03
66341,41	66,34	6147344,09	277099562,4	277,10	4176,87	V	-	-	3981,87	–	264,16
401240,40	401,24	7798245,43	373886112,3	373,89	931,83	V	-	-	736,83	–	295,64
778526,35	778,53	9340951,84	477210348,1	477,21	612,97	V	-	-	417,97	–	325,40
1110800,56	1110,80	10775463,32	564389622,9	564,39	508,09	V	-	-	313,09	–	347,78
1426901,33	1426,90	12101779,89	641549665,2	641,55	449,61	V	-	-	254,61	–	363,30
1799073,02	1799,07	13319901,54	719261774	719,26	399,80	V	-	-	204,80	–	368,44
2139938,95	2139,94	14429828,26	786774180,5	786,77	367,66	V	-	-	172,66	–	369,49
2454793,86	2454,79	15431560,07	844175890,8	844,18	343,89	V	-	-	148,89	–	365,49
2788237,66	2788,24	16381468,18	893006670,9	893,01	320,28	V	-	-	125,28	–	349,30

Quadro A6.39 - Desenvolvimento do cálculo de $N_{Rd,fi}$ e de $M_{Rd,fi}$ para o desenho dos diagramas de interação. Domínio 4, A_{s4} e A_{s1}.

Domínio 4																		
$x_4=[(0,0035/(0,0035+\varepsilon_{sp,\theta})].d_{fi}$ [mm]	$x_5=d_{fi}$ [mm]	$A_{cy}=b_{fi}.y$ [mm]²	Armadura A_{s4}							Armadura A_{s1}								
			$\varepsilon_{s4}=0,0035.(d_{fi}-x)/x$	Varões de canto $A_{s4,c}$			Varões na face $A_{s4,mf}$			Tipo de esforço	Compressão ε_{s1}=0,0035.[x-(a-a´)]/x	Varões de canto $A_{s1,c}$			Varões na face $A_{s1,mf}$		
297,34	399,28			Domínio das extensões	$\varepsilon_{sp,\theta} < \varepsilon_{s4} < \varepsilon_{sy,\theta}$ $\sigma_{s4}(\theta)=f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon_{s4})^2]^{\wedge 0,5}$	$\varepsilon_{s4} < \varepsilon_{sp,\theta}$ $\sigma_{s4}(\theta)=\varepsilon_{s4}.E_{s,\theta}$	Domínio das extensões	$\varepsilon_{sp,\theta} < \varepsilon_{s4} < \varepsilon_{sy,\theta}$ $\sigma_{s4}(\theta)=f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon_{s4})^2]^{\wedge 0,5}$	$\varepsilon_{s4} < \varepsilon_{sp,\theta}$ $\sigma_{s4}(\theta)=\varepsilon_{s4}.E_{s,\theta}$			Domínio das extensões	$\varepsilon_{sp,\theta} < \varepsilon_{s1} < \varepsilon_{sy,\theta}$ $\sigma_{s1}(\theta)=f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon_{s1})^2]^{\wedge 0,5}$	$\varepsilon_{s1} < \varepsilon_{sp,\theta}$ $\sigma_{s1}(\theta)=\varepsilon_{s1}.E_{s,\theta}$	Domínio das extensões	$\varepsilon_{sp,\theta} < \varepsilon_{s1} < \varepsilon_{sy,\theta}$ $\sigma_{s1}(\theta)=f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon_{s1,mf})^2]^{\wedge 0,5}$	$\varepsilon_{s1} < \varepsilon_{sp,\theta}$ $\sigma_{s1}(\theta)=\varepsilon_{s1}.E_{s,\theta}$
x [mm]	$y=0,8.x$																	
306,0	244,8	56773,8	0,00120	$\varepsilon_{s4} \le 0,00120$	–	151,20	$\varepsilon_{s4} \le 0,00153$	–	192,00	Compressão	0,00326	0,00120 < ε_{s1} < 0,02	191,27	–	0,00153 < ε_{s1} < 0,02	275,02	–
335,0	268,0	62153,9	0,00079	$\varepsilon_{s4} \le 0,00120$	–	99,94	$\varepsilon_{s4} \le 0,00153$	–	126,91	Compressão	0,00328	0,00120 < ε_{s1} < 0,02	191,47	–	0,00153 < ε_{s1} < 0,02	275,21	–
364,0	291,2	67533,9	0,00045	$\varepsilon_{s4} \le 0,00120$	–	56,85	$\varepsilon_{s4} \le 0,00153$	–	72,18	Compressão	0,00330	0,00120 < ε_{s1} < 0,02	191,64	–	0,00153 < ε_{s1} < 0,02	275,36	–
393,0	314,4	72914,0	0,00016	$\varepsilon_{s4} \le 0,00120$	–	20,11	$\varepsilon_{s4} \le 0,00153$	–	25,54	Compressão	0,00331	0,00120 < ε_{s1} < 0,02	191,79	–	0,00153 < ε_{s1} < 0,02	275,50	–
410,9	328,8	76239,1	0	$\varepsilon_{s4} \le 0,00120$	–	0,00	$\varepsilon_{s4} \le 0,00153$	–	0,00	Compressão	0,00332	0,00120 < ε_{s1} < 0,02	191,87	–	0,00153 < ε_{s1} < 0,02	275,57	–

Quadro A6.40 - Desenvolvimento do cálculo de $N_{Rd,fi}$ e de $M_{Rd,fi}$ para o desenho dos diagramas de interação. Domínio 4, A_{s2} e A_{s3}.

Domínio 4												
Armadura A_{s2}						Armadura A_{s3}						
Tipo de esforço	Tração $\varepsilon_{s2}=0{,}0035.[(h+a)/3-a'-x]/x$	Compressão $\varepsilon_{s2}=0{,}0035.\{x-[(h+a)/3-a']\}/x$	Domínio das extensões	$\varepsilon_{sp,\theta}<\varepsilon_{s2}<\varepsilon_{sy,\theta}$ $\sigma_{s2}(\theta)=f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon_{s2})^2]^{0,5}$	$\varepsilon_{s2}<\varepsilon_{sp,\theta}$ $\sigma_{s2}(\theta)=\varepsilon_{s2}.E_{s,\theta}$	Tipo de esforço	Tração $\varepsilon_{s3}=0{,}0035.[(2h-a)/3-a'-x]/x$	Compressão $\varepsilon_{s3}=0{,}0035.\{x-[(2h-a)/3-a']\}/x$	Domínio das extensões	$\varepsilon_{s3}<\varepsilon_{sp,\theta}$ $\sigma_{s3}(\theta)=\varepsilon_{s3}.E_{s,\theta}$	$\varepsilon_{sp,\theta}<\varepsilon_{s3}<\varepsilon_{sy,\theta}$ $\sigma_{s3}(\theta)=f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon_{s3})^2]^{0,5}$
Compressão	–	0,00177	0,00153 < εs2 < 0,02	254,86	–	Compressão	–	0,00029	εs2<εsp,θ	45,89	–	
Compressão	–	0,00192	0,00153 < εs2 < 0,02	258,18	–	Compressão	–	0,00056	εs2<εsp,θ	90,39	–	
Compressão	–	0,00205	0,00153 < εs2 < 0,02	260,50	–	Compressão	–	0,00080	εs2<εsp,θ	127,80	–	
Compressão	–	0,00216	0,00153 < εs2 < 0,02	262,26	–	Compressão	–	0,00100	εs2<εsp,θ	159,69	–	
Compressão	–	0,00221	0,00153 < εs2 < 0,02	263,16	–	Compressão	–	0,00111	εs2<εsp,θ	177,15	–	

Quadro A6.41 - Desenvolvimento do cálculo de $N_{Rd,fi}$ e de $M_{Rd,fi}$ para o desenho dos diagramas de interação. Domínio 4.

Domínio 4											
Esforço normal resistente armaduras em compressão → positivo armaduras em tração → negativo		Momento em relação à armadura A_{s3} compressão → positivo tração → negativo			$e_1=N_{Rd,fi}.e_1/N_{Rd,fi}$ [mm]	$e_1>(h/2)-a$ (1)	$e_1=(h/2)-a$ (2)	$e_1<(h/2)-a$ (3)	$e_1>(h/2)-a$ (1)	$e_1<(h/2)-a$ (3)	Momento resistente em relação ao centro de gravidade da secção
$N_{Rd,fi}=0{,}85f_{ck}.A_{cy}+\sum A_{si,c}.\sigma_{si,c}(\theta)+\sum A_{si,mf}.\sigma_{si,mf}(\theta)+\sum A_{si}.\sigma_{si}(\theta)$		$S_y=A_{cy}.(d_{fi}-y/2)$	$N_{Rd,fi}.e_1=0{,}85f_{ck}.S_y \pm A_{s1,mf}.\sigma_{s1,mf}(\theta).(d-a) \pm A_{s1,c}.\sigma_{s1,c}(\theta).(d-a) \pm A_{s2}.\sigma_{s2}(\theta).2(h-2a)/3 \pm A_{s3}.\sigma_{s3}(\theta).(h-2a)/3$								
$N_{Rd,fi}$ [N]	$N_{Rd,fi}$ [kN]	S_y [mm³]	$N_{Rd,fi}.e_1$ [N.mm]	$N_{Rd,fi}.e_1$ [N.m]		$e=e_1-(h/2)+a$	$e=0$	$e=(h/2)-a-e_1$	$e=e_1-(h/2)+a$ [mm]	$e=(h/2)-a-e_1$ [mm]	$M_{Rd,fi}=N_{Rd,fi}.e$ [kN.m]
2788237,66	2788,24	16381468,18	893006670,9	893,01	320,28	V	-	-	125,28	–	349,30
3146409,75	3146,41	17212841,64	934981392,6	934,98	297,16	V	-	-	102,16	–	321,43
3483483,13	3483,48	17919397,65	970472780	970,47	278,59	V	-	-	83,59	–	291,19
3804340,66	3804,34	18501136,19	999797007,7	999,80	262,80	V	-	-	67,80	–	257,95
3996073,29	3996,07	18798266,60	1014926692	1014,93	253,98	V	-	-	58,98	–	235,69

Quadro A6.42 - Desenvolvimento do cálculo de $N_{Rd,fi}$ e de $M_{Rd,fi}$ para o desenho dos diagramas de interação. Domínios 5 e 6, A_{s4} e A_{s1}.

Domínios 5 e 6																			
$x_5=d_{fi}$ [mm]	$x_6=1{,}25h_{fi}$ [mm]	$A_{cy}=b_{fi}.y$ [mm²]	Armadura A_{s4}									Armadura A_{s1}							
					Varões de canto $A_{s4,c}$			Varões na face $A_{s4,mf}$						Varões de canto $A_{s1,c}$			Varões na face $A_{s1,mf}$		
399,28	510,71		Tipo de esforço	$\varepsilon_{s4}=0{,}0035.(d_{fi}-x)/x$	Domínio das extensões	$\varepsilon_{sp,\theta}<\varepsilon_{s4}<\varepsilon_{sy,\theta}$ $\sigma_{s4}(\theta)=f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon_{s4})^2]^{0,5}$	$\varepsilon_{s4}<\varepsilon_{sp,\theta}$ $\sigma_{s4}(\theta)=\varepsilon_{s4}.E_{s,\theta}$	Domínio das extensões	$\varepsilon_{sp,\theta}<\varepsilon_{s4}<\varepsilon_{sy,\theta}$ $\sigma_{s4}(\theta)=f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon_{s4})^2]^{0,5}$	$\varepsilon_{s4}<\varepsilon_{sp,\theta}$ $\sigma_{s4}(\theta)=\varepsilon_{s4}.E_{s,\theta}$	Tipo de esforço	Compressão $\varepsilon_{s1}=0{,}0035.\{x-(a-a')\}/x$	Domínio das extensões	$\varepsilon_{sp,\theta}<\varepsilon_{s1}<\varepsilon_{sy,\theta}$ $\sigma_{s1}(\theta)=f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon_{s1})^2]^{0,5}$	$\varepsilon_{s1}<\varepsilon_{sp,\theta}$ $\sigma_{s1}(\theta)=\varepsilon_{s1}.E_{s,\theta}$	Domínio das extensões	$\varepsilon_{sp,\theta}<\varepsilon_{s1}<\varepsilon_{sy,\theta}$ $\sigma_{s1}(\theta)=f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon_{s1,mf})^2]^{0,5}$	$\varepsilon_{s1}<\varepsilon_{sp,\theta}$ $\sigma_{s1}(\theta)=\varepsilon_{s1}.E_{s,\theta}$
x [mm]	$y=0{,}8.x$																		
410,9	328,8	76239,1	0	0	$\varepsilon_{s4}\le 0{,}00120$	–	0,00	$\varepsilon_{s4}\le 0{,}00153$	–	0,00	Compressão	0,00332	$0{,}00120<\varepsilon_{s1}<0{,}02$	191,87	–	$0{,}00153<\varepsilon_{s1}<0{,}02$	275,57	–
436,9	349,6	81062,6	Compressão	0,00021	$\varepsilon_{s4}\le 0{,}00120$	–	26,24	$\varepsilon_{s4}\le 0{,}00153$	–	33,32	Compressão	0,00333	$0{,}00120<\varepsilon_{s1}<0{,}02$	191,97	–	$0{,}00153<\varepsilon_{s1}<0{,}02$	275,66	–
462,9	370,4	85886,1	Compressão	0,00039	$\varepsilon_{s4}\le 0{,}00120$	–	49,53	$\varepsilon_{s4}\le 0{,}00153$	–	62,90	Compressão	0,00334	$0{,}00120<\varepsilon_{s1}<0{,}02$	192,07	–	$0{,}00153<\varepsilon_{s1}<0{,}02$	275,75	–
488,9	391,2	90709,6	Compressão	0,00056	$\varepsilon_{s4}\le 0{,}00120$	–	70,35	$\varepsilon_{s4}\le 0{,}00153$	–	89,33	Compressão	0,00335	$0{,}00120<\varepsilon_{s1}<0{,}02$	192,15	–	$0{,}00153<\varepsilon_{s1}<0{,}02$	275,82	–
514,9	412,0	95533,2	Compressão	0,00071	$\varepsilon_{s4}\le 0{,}00120$	–	89,07	$\varepsilon_{s4}\le 0{,}00153$	–	113,10	Compressão	0,00336	$0{,}00120<\varepsilon_{s1}<0{,}02$	192,22	–	$0{,}00153<\varepsilon_{s1}<0{,}02$	275,89	–
539,9	431,9	100157,1	Compressão	0,00084	$\varepsilon_{s4}\le 0{,}00120$	–	105,31	$\varepsilon_{s4}\le 0{,}00153$	–	133,73	Compressão	0,00336	$0{,}00120<\varepsilon_{s1}<0{,}02$	192,29	–	$0{,}00153<\varepsilon_{s1}<0{,}02$	275,94	–

Quadro A6.43 - Desenvolvimento do cálculo de $N_{Rd,fi}$ e de $M_{Rd,fi}$ para o desenho dos diagramas de interação. Domínios 5 e 6, A_{s2} e A_{s3}.

Domínios 5 e 6										
Armadura A_{s2}					Armadura A_{s3}					
Tipo de esforço	Compressão ε_{s2}=0,0035. $\{x-[(h+a)/3-a]\}/x$	Domínio das extensões	$\varepsilon_{sp,\theta} < \varepsilon_{s2} < \varepsilon_{sy,\theta}$ $\sigma_{s2}(\theta)=f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon_{s2})^2]^{0,5}$	$\varepsilon_{s2} < \varepsilon_{sp,\theta}$ $\sigma_{s2}(\theta)=\varepsilon_{s2}.E_{s,\theta}$	Tipo de esforço	Compressão ε_{s3}=0,0035. $\{x-[(2h-a)/3-a]\}/x$	Domínio das extensões	$\varepsilon_{s3} < \varepsilon_{sp,\theta}$ $\sigma_{s3}(\theta)=\varepsilon_{s3}.E_{s,\theta}$	$\varepsilon_{sp,\theta} < \varepsilon_{s3} < \varepsilon_{sy,\theta}$ $\sigma_{s3}(\theta)=f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon_{s3})^2]^{0,5}$
Compressão	0,00228	0,00153 < ε_{s2} < 0,02	264,10	–	Compressão	0,00114	ε_{s3} < 0,00153	182,33	–
Compressão	0,00235	0,00153 < ε_{s2} < 0,02	265,14	–	Compressão	0,00128	ε_{s3} < 0,00153	205,42	–
Compressão	0,00242	0,00153 < ε_{s2} < 0,02	266,02	–	Compressão	0,00141	ε_{s3} < 0,00153	225,84	–
Compressão	0,00248	0,00153 < ε_{s2} < 0,02	266,77	–	Compressão	0,00153	0,00153 < ε_{s3} < 0,02	–	244,05
Compressão	0,00253	0,00153 < ε_{s2} < 0,02	267,43	–	Compressão	0,00163	0,00153 < ε_{s3} < 0,02	–	250,40
Compressão	0,00255	0,00153 < ε_{s2} < 0,02	267,60	–	Compressão	0,00165	0,00153 < ε_{s3} < 0,02	–	251,39

Quadro A6.44 - Desenvolvimento do cálculo de $N_{Rd,fi}$ e de $M_{Rd,fi}$ para o desenho dos diagramas de interação. Domínios 5 e 6.

Domínios 5 e 6								
Esforço normal resistente armaduras em compressão → positivo armaduras em tração → negativo		Momento em relação à armadura A_{s3} compressão → positivo tração → negativo			$e_1=N_{Rd,fi}.e_1/N_{Rd,fi}$ [mm]	$e_1>(h/2)-a$	$e_1>(h/2)-a$	Momento resistente em relação ao centro de gravidade da secção
$N_{Rd,fi}=0,85f_{ck}.A_{cy}+\sum A_{si,c}.\sigma_{si,c}(\theta)+\sum A_{si,mf}.\sigma_{si,mf}(\theta)+\sum A_{si}.\sigma_{si}(\theta)$		$S_y=A_{cy}.(d_{fi}-y/2)$	$N_{Rd,fi}.e_1=0,85f_{ck}.S_y \pm A_{s1,mf}.\sigma_{s1,mf}(\theta).(d-a) \pm A_{s1,c}.\sigma_{s1,c}(\theta).(d-a) \pm A_{s2}.\sigma_{s2}(\theta).2(h-2a)/3 \pm A_{s3}.\sigma_{s3}(\theta).(h-2a)/3$					
$N_{Rd,fi}$ [N]	$N_{Rd,fi}$ [kN]	S_y [mm^2]	$N_{Rd,fi}.e_1$ [N.mm]	$N_{Rd,fi}.e_1$ [N.m]		$e=e_1-(h/2)+a$ [mm]	$e=e_1-(h/2)+a$ [mm]	$M_{Rd,fi}=N_{Rd,fi}.e$ [kN.m]
3996073,29	3996,07	18798266,60	1014926692	1014,93	253,98	V	58,98	235,69
4266796,29	4266,80	19144545,65	1032892676	1032,89	242,08	V	47,08	200,87
4530089,18	4530,09	19390495,81	1046217261	1046,22	230,95	V	35,95	162,85
4787148,93	4787,15	19536117,06	1054963699	1054,96	220,37	V	25,37	121,47
5033376,99	5033,38	19581409,41	1058460000	1058,46	210,29	V	15,29	76,95
5259955,69	5259,96	19530638,91	1056918668	1056,92	200,94	V	5,94	31,23

Quadro A6.45 - Desenvolvimento do cálculo de $N_{Rd,fi}$ e de $M_{Rd,fi}$ para o desenho dos diagramas de interação. Domínio 7, A_{s4} e A_{s1}.

Domínio 7																			
x_6=1,25.h_{fi} [mm]	$x_{7}=\infty$ [mm]	$A_{cy}=b.y$ [mm]^2	Armadura A_{s4}									Armadura A_{s1}							
					Varões de canto $A_{s4,c}$			Varões na face $A_{s4,mf}$						Varões de canto $A_{s1,c}$			Varões na face $A_{s1,mf}$		
510,71	∞		Tipo de esforço	ε_{s4}=0,002.$(x-d_4)/(x-(3/7).h_{fi})$	Domínio das extensões	$\varepsilon_{sp,\theta} < \varepsilon_{s4} < \varepsilon_{sy,\theta}$ $\sigma_{s4}(\theta)=f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon_{s4})^2]^{0,5}$	$\varepsilon_{s4} < \varepsilon_{sp,\theta}$ $\sigma_{s4}(\theta)=\varepsilon_{s4}.E_{s,\theta}$	Domínio das extensões	$\varepsilon_{sp,\theta} < \varepsilon_{s4} < \varepsilon_{sy,\theta}$ $\sigma_{s4}(\theta)=f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon_{s4})^2]^{0,5}$	$\varepsilon_{s4} < \varepsilon_{sp,\theta}$ $\sigma_{s4}(\theta)=\varepsilon_{s4}.E_{s,\theta}$	Tipo de esforço	Compressão ε_{s1}=0,002.$[x-(a-a)]/(x-(3/7).h_{fi})$	Domínio das extensões	$\varepsilon_{sp,\theta} < \varepsilon_{s1} < \varepsilon_{sy,\theta}$ $\sigma_{s1}(\theta)=f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon_{s1})^2]^{0,5}$	$\varepsilon_{s1} < \varepsilon_{sp,\theta}$ $\sigma_{s1}(\theta)=\varepsilon_{s1}.E_{s,\theta}$	Domínio das extensões	$\varepsilon_{sp,\theta} < \varepsilon_{s1} < \varepsilon_{sy,\theta}$ $\sigma_{s1}(\theta)=f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2-(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon_{s1,mf})^2]^{0,5}$	$\varepsilon_{s1} < \varepsilon_{sp,\theta}$ $\sigma_{s1}(\theta)=\varepsilon_{s1}.E_{s,\theta}$
x [mm]	$y=h_{fi}$																		
539,9	431,9	100157,1	Compressão	0,00073	$\varepsilon_{s4} \le 0,00120$	–	91,58	$\varepsilon_{s4} \le 0,00153$	–	116,29	Compressão	0,00293	0,00120 < ε_{s1} < 0,02	187,75	–	0,00153 < ε_{s1} < 0,02	271,81	–
1539,9	431,9	100157,1	Compressão	0,00167	0,00120 ≤ ε_{s4} ≤ 0,02	168,95	–	0,00153 ≤ ε_{s4} ≤ 0,02	251,80	–	Compressão	0,00224	0,00120 < ε_{s1} < 0,02	179,13	–	0,00153 < ε_{s1} < 0,02	263,57	–
2539,9	431,9	100157,1	Compressão	0,00181	0,00120 ≤ ε_{s4} ≤ 0,02	171,88	–	0,00153 ≤ ε_{s4} ≤ 0,02	255,71	–	Compressão	0,00214	0,00120 < ε_{s1} < 0,02	177,58	–	0,00153 < ε_{s1} < 0,02	262,00	–
3539,9	431,9	100157,1	Compressão	0,00187	0,00120 ≤ ε_{s4} ≤ 0,02	172,96	–	0,00153 ≤ ε_{s4} ≤ 0,02	256,99	–	Compressão	0,00210	0,00120 < ε_{s1} < 0,02	176,93	–	0,00153 < ε_{s1} < 0,02	261,33	–
4539,9	431,9	100157,1	Compressão	0,00190	0,00120 ≤ ε_{s4} ≤ 0,02	173,53	–	0,00153 ≤ ε_{s4} ≤ 0,02	257,64	–	Compressão	0,00208	0,00120 < ε_{s1} < 0,02	176,58	–	0,00153 < ε_{s1} < 0,02	260,96	–
5539,9	431,9	100157,1	Compressão	0,00192	0,00120 ≤ ε_{s4} ≤ 0,02	173,88	–	0,00153 ≤ ε_{s4} ≤ 0,02	258,03	–	Compressão	0,00206	0,00120 < ε_{s1} < 0,02	176,35	–	0,00153 < ε_{s1} < 0,02	260,72	–
6539,9	431,9	100157,1	Compressão	0,00193	0,00120 ≤ ε_{s4} ≤ 0,02	174,11	–	0,00153 ≤ ε_{s4} ≤ 0,02	258,30	–	Compressão	0,00205	0,00120 < ε_{s1} < 0,02	176,19	–	0,00153 < ε_{s1} < 0,02	260,55	–
9039,9	431,9	100157,1	Compressão	0,00195	0,00120 ≤ ε_{s4} ≤ 0,02	174,46	–	0,00153 ≤ ε_{s4} ≤ 0,02	258,69	–	Compressão	0,00204	0,00120 < ε_{s1} < 0,02	175,95	–	0,00153 < ε_{s1} < 0,02	260,30	–

Quadro A6.46 - Desenvolvimento do cálculo de $N_{Rd,fi}$ e de $M_{Rd,fi}$ para o desenho dos diagramas de interação. Domínio 7, A_{s2} e A_{s3}.

Domínio 7									
Armadura A_{s2}					Armadura A_{s3}				
Tipo de esforço	Compressão $\varepsilon_{s2}=0{,}002.\{x.[(h+a)/3+a]/[x-(3/7).h_{fi}]$	Domínio das extensões	$\varepsilon_{sp,\theta} < \varepsilon_{s2} < \varepsilon_{sy,\theta}$ $\sigma_{s2}(\theta)=f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2.(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon_{s2})]^{0,5}$	$\varepsilon_{s2} < \varepsilon_{sp,\theta}$ $\sigma_{s2}(\theta)=\varepsilon_{s2}.E_{s,\theta}$	Tipo de esforço	Compressão $\varepsilon_{s3}=0{,}002.\{x-[(2h-a)/3-a]/[x-(3/7).h_{fi}]$	Domínio das extensões	$\varepsilon_{s3} < \varepsilon_{sp,\theta}$ $\sigma_{s3}(\theta)=\varepsilon_{s3}.E_{s,\theta}$	$\varepsilon_{sp,\theta} < \varepsilon_{s3} < \varepsilon_{sy,\theta}$ $\sigma_{s3}(\theta)=f_{sp,\theta}-c+(b/a)[a^2.(\varepsilon_{sy,\theta}-\varepsilon_{s3})]^{0,5}$
Compressão	0,00181	$0{,}00153 \le \varepsilon_{s2} \le 0{,}02$	255,72	–	Compressão	0,00146	$\varepsilon_{s3} \le 0{,}00153$	233,55	–
Compressão	0,00195	$0{,}00153 \le \varepsilon_{s2} \le 0{,}02$	258,71	–	Compressão	0,00186	$0{,}00153 \le \varepsilon_{s3} \le 0{,}02$	–	256,84
Compressão	0,00197	$0{,}00153 \le \varepsilon_{s2} \le 0{,}02$	259,11	–	Compressão	0,00192	$0{,}00153 \le \varepsilon_{s3} \le 0{,}02$	–	258,09
Compressão	0,00198	$0{,}00153 \le \varepsilon_{s2} \le 0{,}02$	259,27	–	Compressão	0,00194	$0{,}00153 \le \varepsilon_{s3} \le 0{,}02$	–	258,57
Compressão	0,00198	$0{,}00153 \le \varepsilon_{s2} \le 0{,}02$	259,36	–	Compressão	0,00196	$0{,}00153 \le \varepsilon_{s3} \le 0{,}02$	–	258,82
Compressão	0,00199	$0{,}00153 \le \varepsilon_{s2} \le 0{,}02$	259,41	–	Compressão	0,00196	$0{,}00153 \le \varepsilon_{s3} \le 0{,}02$	–	258,98
Compressão	0,00199	$0{,}00153 \le \varepsilon_{s2} \le 0{,}02$	259,45	–	Compressão	0,00197	$0{,}00153 \le \varepsilon_{s3} \le 0{,}02$	–	259,08
Compressão	0,00199	$0{,}00153 \le \varepsilon_{s2} \le 0{,}02$	259,50	–	Compressão	0,00198	$0{,}00153 \le \varepsilon_{s3} \le 0{,}02$	–	259,24

Quadro A6.47 - Desenvolvimento do cálculo de $N_{Rd,fi}$ e de $M_{Rd,fi}$ para o desenho dos diagramas de interação. Domínio 7.

Domínio 7								
Esforço normal resistente armaduras em compressão → positivo armaduras em tração → negativo		Momento em relação à armadura A_{s3} compressão → positivo tração → negativo			$e_1=N_{Rd,fi}.e_1/N_{Rd,fi}$ [mm]	$e_1>(h/2)-a$	$e_1>(h/2)-a$	Momento resistente em relação ao centro de gravidade da secção
$N_{Rd,fi}=0{,}85f_{ck}.A_{cy}+\sum A_{si,c}.\sigma_{si,c}(\theta)+\sum A_{si,mf}.\sigma_{si,mf}(\theta)+\sum A_{si}.\sigma_{si}(\theta)$		$S_y=A_{cy}.(d_{fi}-y/2)$	$N_{Rd,fi}.e_1=0{,}85f_{ck}.S_y \pm A_{s1,mf}.\sigma_{s1,mf}(\theta).(d-a) \pm A_{s1,c}.\sigma_{s1,c}(\theta).(d-a) \pm A_{s2}.\sigma_{s2}(\theta).2(h-2a)/3 \pm A_{s3}.\sigma_{s3}(\theta).(h-2a)/3$					
$N_{Rd,fi}$ [N]	$N_{Rd,fi}$ [kN]	S_y [mm³]	$N_{Rd,fi}.e_1$ [N.mm]	$N_{Rd,fi}.e_1$ [N.m]		$e=e_1-(h/2)+a$	$e=e_1-(h/2)+a$ [mm]	$M_{Rd,fi}=N_{Rd,fi}.e$ [kN.m]
5201744,61	5201,74	19530638,91	1049053524	1049,05	201,67	V	6,67	30,53
5357526,35	5357,53	19530638,91	1047911410	1047,91	195,60	V	0,60	2,72
5361655,82	5361,66	19530638,91	1047281960	1047,28	195,33	V	0,33	1,50
5363008,03	5363,01	19530638,91	1047006349	1047,01	195,23	V	0,23	1,04
5363679,25	5363,68	19530638,91	1046851834	1046,85	195,17	V	0,17	0,79
5364079,85	5364,08	19530638,91	1046752996	1046,75	195,14	V	0,14	0,64
5364345,85	5364,35	19530638,91	1046684338	1046,68	195,12	V	0,12	0,54
5364735,18	5364,74	19530638,91	1046579078	1046,58	195,08	V	0,08	0,39

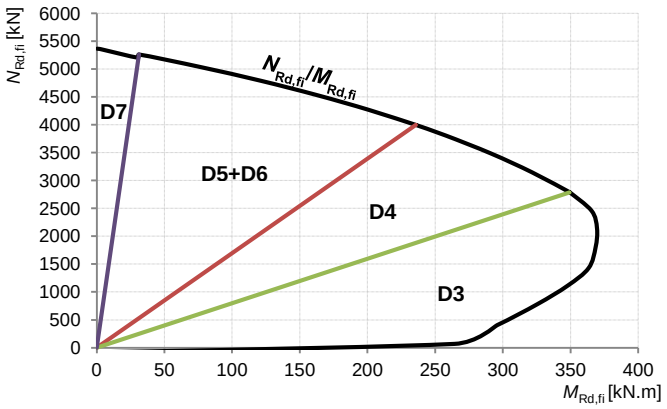


Figura A6.11 - Diagrama de interação $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ e domínios das extensões determinados como se mostra nos Quadros A6.33 a A6.47, para um pilar de 30x50 cm2 com armadura constituída por 10Φ25 - Φ8, em betão C50/60 e aço S400, no escalão R90.

A6.3. DIAGRAMAS DE INTERAÇÃO $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$

No Capítulo 6.3 é indicado que os esforços atuantes $N_{Ed,fi}$ e $M_{Ed,fi}$ foram determinados, nos pilares objeto do presente estudo, pela aplicação do método baseado numa rigidez nominal, sendo apresentado, nesse capítulo, o procedimento de cálculo para o desenho dos respetivos diagramas de interação. Com o intuito de exemplificar o que aí foi exposto inserem-se aqui os Quadros A6.48 a A6.52, correspondentes aos desenvolvidos em Excel para este efeito, referentes ao cálculo dos esforços atuantes no pilar já tomado como exemplo no subcapítulo anterior, isto é, um pilar de 30x50 cm^2 com armadura longitudinal constituída por 10Φ25 e cintas Φ 8, em betão C50/60 e aço S400, para o escalão de resistência ao fogo R90. Considerou-se o comprimento real do pilar l=3,0m, por corresponder ao comprimento mais comum destes elementos estruturais nos edifícios correntes analisados, e um recobrimento de 35mm. É de realçar que os quadros correspondentes ao cálculo dos esforços atuantes são desenvolvidos na mesma folha de cálculo dos desenvolvidos para determinar os esforços resistentes, pelo que não se apresentarão agora os parâmetros já incluídos naqueles quadros.

Quadro A6.48 - Cálculo da inclinação representativa das imperfeições, θ_i.

Vigas de travação (estimadas)			$\theta_i = \theta_0 . \alpha_h . \alpha_m$					
b [m]	h [m]	l [m]	Comprimento real do pilar l [m]	θ_0 (EC2-1-1, pág. 65) θ_0=1/200	α_h		α_m	θ_i
					α_h=2/√l [m]	2/3≤α_h≤1		
0,30	0,50	5,00	3,0	0,005	1,155	1	1	0,005

Quadro A6.49 - Cálculo do comprimento efetivo, l_0, da esbelteza, λ e da excentricidade devida às imperfeições geométricas, e_i.

Elementos contraventados EC2-1-1, Pág. 78 l_0 = 0,5l.{1+[k_1/(0,45+k_1)]}								λ= l_0/i		e_i [m]
k_1 = (θ/M)$_{vigas}$ x (EI/l)$_{pilares}$ k_1 = (l/2EI)$_{vigas}$ x (EI/l)$_{pilar}$ k_2 = k_1 = (EI/l)$_{pilar}$ / (2EI/l)$_{vigas}$						Se k_1<0,1→ k_1=0,1	l_0 [m]			
E_{cm} [kN/m^2]	I_{pilar} [m^4]	I_{vigas} [m^4]	(EI/l)$_{pilar}$	(EI/l)$_{vigas}$	k_1			i=√(I/A_{cu}) [m]	λ	e_i = θ_i . l_0/2
3,70E+07	0,001557	0,003125	19202,0	23125,0	0,41518	0,41518	2,22	0,1247	17,80	0,00555

Quadro A6.50 - Cálculo da taxa geométrica das armaduras, ρ, do coeficiente dependente da distribuição dos momentos de primeira e de segunda ordem, β, e da rigidez à flexão dos varões da armadura longitudinal, $E_{s,\theta}.I_s$.

ρ=A_s/A_{cu} [-]	β = π^2/c_0		$E_{s,\theta}.I_s$										
			Varões de canto				Varões nas faces						
								I_s [m^4]					$E_{s,\theta}.I_s$ Total [kN.m^2]
								Menor dimensão		Maior dimensão			
0,049	c_0 [-]	β [-]	N.º de varões	$E_{s,\theta}$ [kN/m^2]	I_s [m^4]	$E_{s,\theta}.I_s$ [kN.m^2]	$E_{s,\theta}$ [kN/m^2]	N.º de varões	I_s	N.º de varões	I_s	$E_{s,\theta}.I_s$ [kN.m^2]	
	9,6	1,028	4	126000000	0,0000747	9417,1	160000000	2	0,0000374	4	0,0000084	7318,7	16735,8

Quadro A6.51 - Cálculo do coeficiente de fluência, $\varphi(\infty,t_0)$, e do coeficiente de fluência efetivo, φ_{ef}.

Cálculo do coeficiente de fluência $\varphi(\infty,t_0)$				Cálculo do coeficiente de fluência efetivo φ_{ef}	
EC2-1-1 Figura 3.1	$h_0=2A_{cu}/u$		$\varphi(\infty,t_0)$	$\varphi_{ef} = \varphi(\infty,t_0).M_{0Eqp}/M_{0Ed}$	
	$u=2b_{fi}+2h_{fi}$ [mm]	h_0 [mm]		M_{0Eqp}/M_{0Ed}	φ_{ef}
	1327,60	150,88	1,6	0,65	1,04

Quadro A6.52 - Cálculo do momento atuante em situação de incêndio, $M_{Ed,fi}$.

$N_{Ed,fi}$ [kN] (fixado)	e [m] (valor mínimo previsto no EC2)	$n=N_{Ed,fi}/(A_{cu}.f_{ck})$	$M_{0Ed}=N_{Ed,fi}.e$ [kN.m]	$M_{Ed,fi}=M_{0Ed}.\{1+\beta/[(N_B/N_{Ed,fi})-1]\}$												$M_{Ed,fi}$ [kN.m]
				$N_B=(\pi^2EI)/l_0^2$												
				$EI = K_c.E_{cd}.I_c + K_s.E_{s,\theta}.I_s$											N_B	
				$\rho \geq 0,002 \rightarrow K_c = K_1.K_2/(1+\varphi_{ef})$				K_c	$E_{cd}=E_{cm}/\gamma_{CE}$			$I_c=(bfi.hfi^3/12)-I_s$ [m^4]	K_s	$E_{s,\theta}.I_s$ [kN.m^2]		
				$K_1=\sqrt{(f_{ck}/20)}$ f_{ck} [Mpa]	$K_2=n.\lambda/170$	$K_2\leq 0,20$	M_{0Eqp}/M_{0Ed}		E_{cm} [kN/m^2]	γ_{CE}	E_{cd} [kN/m^2]		ρ ≥ 0,002			
0,001	0,02	0,0000	0	1,5811	0,0000	0,0000	0,65	0,0000	37+06	1,2	3,1E+07	0,001436	1	16735,7	33520,6	0,00
100	0,02	0,0200	2		0,0021	0,0021		0,0016						16807,5	33664,4	2,01
500	0,02	0,0998	10		0,0105	0,0105		0,0081						17094,7	34239,6	10,15
900	0,02	0,1797	18		0,0188	0,0188		0,0146						17381,9	34814,7	18,49
1300	0,02	0,2596	26		0,0272	0,0272		0,0211						17669,0	35389,9	27,02
1700	0,02	0,3395	34		0,0356	0,0356		0,0276						17956,2	35965,1	35,73
2100	0,02	0,4193	42		0,0439	0,0439		0,0340						18243,4	36540,3	44,63
2500	0,02	0,4992	50		0,0523	0,0523		0,0405						18530,5	37115,4	53,71
2900	0,02	0,5791	58		0,0606	0,0606		0,0470						18817,7	37690,6	62,97
3300	0,02	0,6590	66		0,0690	0,0690		0,0535						19104,9	38265,8	72,40
3700	0,02	0,7388	74		0,0774	0,0774		0,0600						19392,0	38840,9	82,01
4100	0,02	0,8187	82		0,0857	0,0857		0,0665						19679,2	39416,1	91,79
4500	0,02	0,8986	90		0,0941	0,0941		0,0729						19966,3	39991,3	101,73
4900	0,02	0,9785	98		0,1025	0,1025		0,0794						20253,5	40566,5	111,84
5300	0,02	1,0583	106		0,1108	0,1108		0,0859						20540,7	41141,6	122,11
5700	0,02	1,1382	114		0,1192	0,1192		0,0924						20827,8	41716,8	132,55
6100	0,02	1,2181	122		0,1276	0,1276		0,0989						21115,0	42292,0	143,14
6500	0,02	1,2980	130		0,1359	0,1359		0,1054						21402,2	42867,1	153,89

Na Figura A6.12 mostra-se o diagrama de interação $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$ desenhado tomando em consideração os valores que constam no Quadro A6.52. Nesta figura mostra-se, também o diagrama dos esforços resistentes, $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$, e os domínios das extensões, para melhor perceção da relação entre eles. Como pode constatar-se, para um pilar com a secção transversal de 30x50cm^2 e com um comprimento de 3,0m, os pares de esforços atuantes em situação de incêndio, $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$, no escalão R90, encontram-se no Domínio 6.

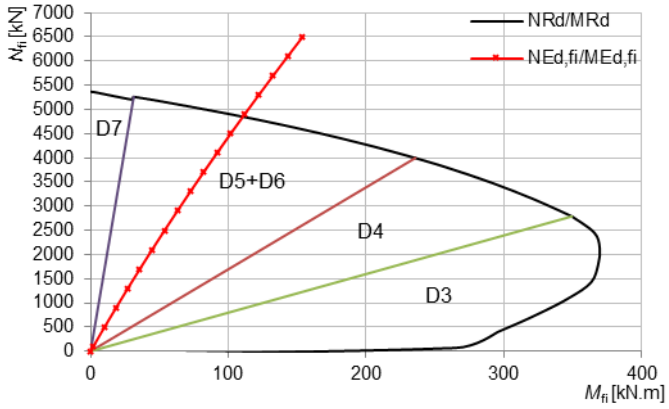


Figura A6.12 - Diagramas de interação $N_{Ed,fi}/M_{Ed,fi}$, $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ e domínios das extensões, para um pilar de 30x50cm^2 com armadura constituída por 10Φ25 - Φ8, em betão C50/60 e aço S400, no escalão R90.

Anexo A7

DESENVOLVIMENTO DOS GRÁFICOS PROPOSTOS E VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO FOGO DOS PILARES

A7.1. INTRODUÇÃO

No Capítulo 7 define-se o processo que conduziu aos gráficos propostos para a verificação da resistência ao fogo de pilares em betão armado, como alternativa aos métodos que se apresentam, na EN 1992-1-2 (EC2-1-2, 2010), sob a forma de tabelas, isto é, o Método A, o Método B e o Método C. Neste anexo apresentam-se os gráficos que se consideram pertinentes de entre os que foram sendo desenvolvidos neste processo e que não são apresentados no referido capítulo.

A7.2. DIAGRAMAS DE INTERAÇÃO $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$

A7.2.1. DIAGRAMAS DE INTERAÇÃO CORRESPONDENTES AOS PILARES COM ARMADURA Φ12-Φ6

A título ilustrativo apresenta-se, na Figura A7.1, os diagramas de interação $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ correspondentes às secções transversais dos pilares indicadas no Quadro 6.7(a) do Capítulo 6 (recobrimento de 35mm e armadura Φ12-Φ6), para o escalão de resistência ao fogo R60, a classe de resistência do betão C50/60 e o aço S400.

Pode verificar-se, nesta figura, que as curvas não são paralelas, como expectável, pois o momento resistente, em secções de iguais dimensões, é mais elevado nas que apresentam um maior número de varões. As curvas limite são representadas a tracejado: a curva limite superior é referente ao diagrama desenhado para a secção de 30x50cm^2 com armadura constituída por 10Φ12-Φ6 e a curva limite inferior ao diagrama desenhado para a secção de 20x20cm^2, com armadura constituída por 4Φ12-Φ6. Observando a parte inferior da figura, constata-se que a primeira curva referida não constitui o limite

superior nos Domínios 2 e 3, definidos em função das extensões no aço, como exposto no Capítulo 6, e que a segunda curva não constitui o limite inferior no Domínio 2. Estes aspetos são tomados em consideração no desenho dos gráficos definitivos que se propõem como método para a verificação da resistência ao fogo de pilares em betão armado. Assim, como as curvas são selecionadas, na composição dos gráficos definitivos, de modo a corresponderem às mais desfavoráveis, o método é mais conservativo em muitas das situações de pilares com esforços nos Domínios 2 e 3.

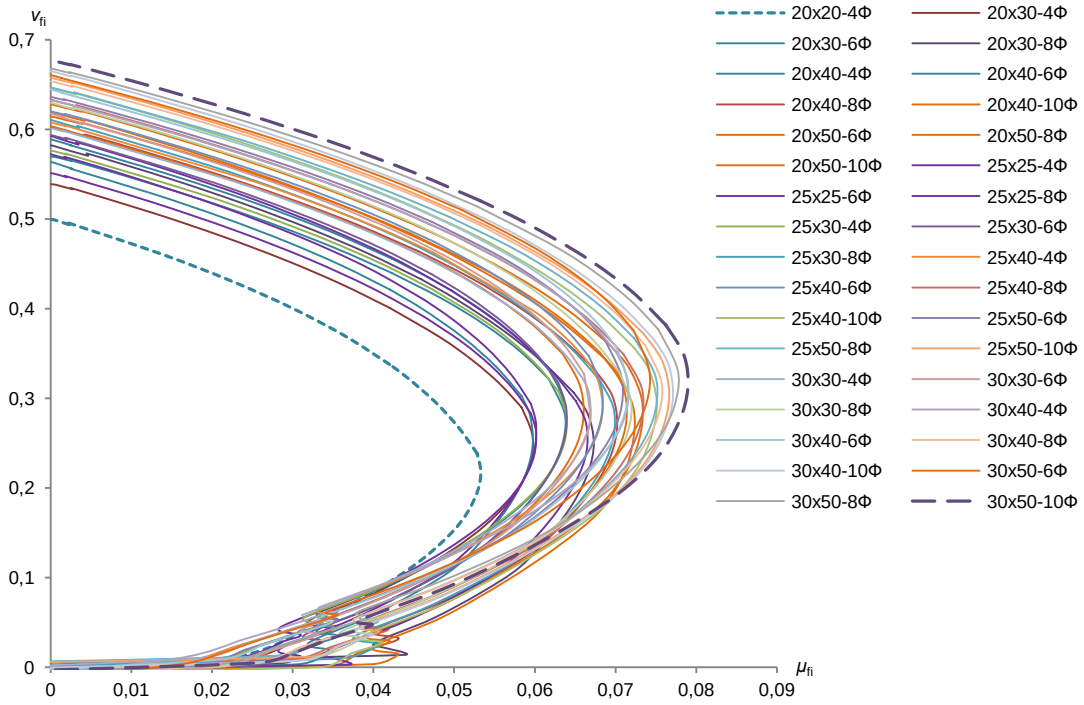
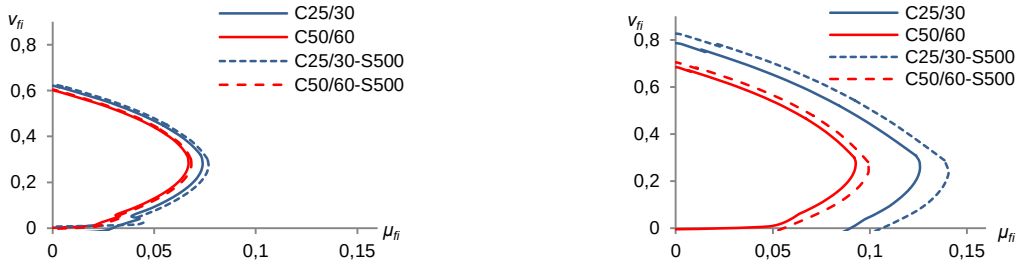


Figura A7.1 - Diagramas de interação correspondentes às secções transversais indicadas no Quadro 6.7(a) do Capítulo 6, para R60, betão C50/60 e aço S400.

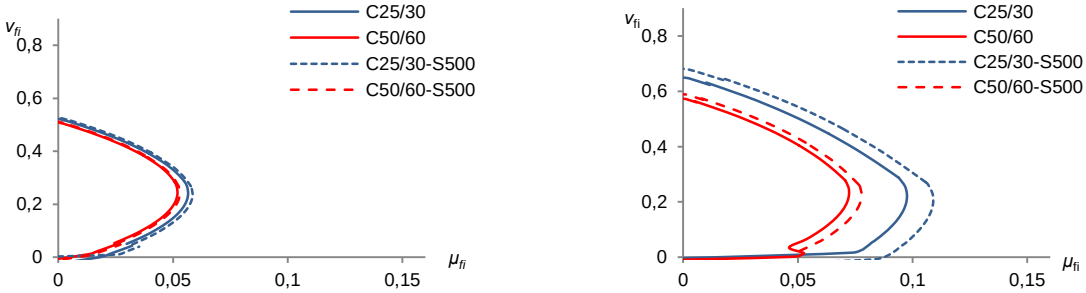
A7.2.2. DESFASAMENTO DAS CURVAS *N*/*M* DESENHADAS PARA ARMADURAS EM AÇO S400 E EM AÇO S500, FIXANDO A SECÇÃO TRANSVERSAL E A CONSTITUIÇÃO DA ARMADURA

No Subcapítulo 7.2.3 apresentam-se alguns dos diagramas de interação adimensionais $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ desenvolvidos fixando as dimensões da secção transversal dos pilares e a constituição das armaduras e fazendo variar o tipo de aço dessas armaduras (S400 e S500). Para enfatizar o que nesse parágrafo se expôs apresentam-se, na Figura A7.2, na Figura A7.3 e na Figura A7.4, os diagramas de interação para a secção transversal de 30x30cm^2 nos escalões R60, R90 e R120 respetivamente, com armadura 4Φ12-Φ6 nos gráficos identificados por (a) e 4Φ25-Φ8 nos identificados por (b), considerando o aço S400 e o aço S500, o betão C25/30 e o betão C50/60.



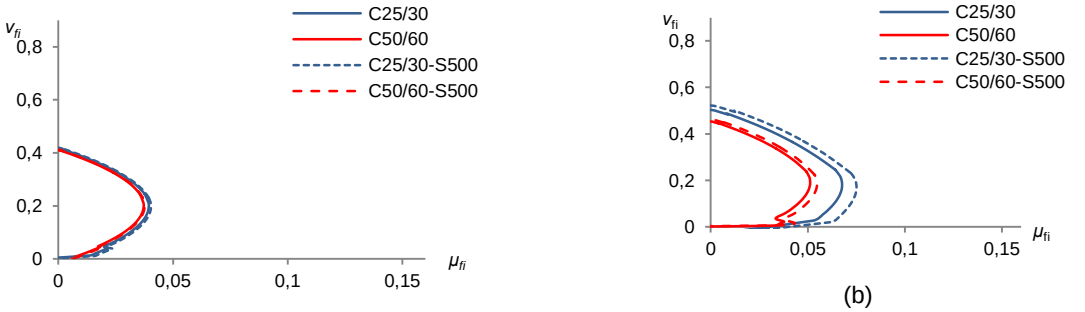
(a) (b)

Figura A7.2 - Comparação entre as curvas constituintes dos diagramas adimensionais *N*/*M* para pilares no escalão R60, considerando as armaduras em aço S400 e S500, para as secções: (a) 30x30-4Φ12-Φ6, *a*=47mm e (b) 30x30-4Φ25-Φ8, *a*=55mm.



(a) (b)

Figura A7.3 - Comparação entre as curvas constituintes dos diagramas adimensionais *N*/*M* para pilares no escalão R90, considerando as armaduras em aço S400 e S500, para as secções: (a) 30x30-4Φ12-Φ6, *a*=47mm e (b) 30x30-4Φ25-Φ8, *a*=55mm.



(a) (b)

Figura A7.4 - Comparação entre as curvas constituintes dos diagramas adimensionais *N*/*M* para pilares no escalão R120, considerando as armaduras em aço S400 e S500, para as secções: (a) 30x30-4Φ12-Φ6, *a*=47mm e (b) 30x30-4Φ25-Φ8, *a*=55mm.

A7.2.3. DESENHO DOS GRÁFICOS DEFINITIVOS

Os gráficos definitivos foram desenhados seguindo a metodologia apontada no Subcapítulo 7.3 do Capítulo 7. Essa metodologia foi apresentada tomando como exemplo a definição das curvas definitivas que constituem o Gráfico 11, pelo que os diagramas referentes a esse gráfico não serão aqui expostos, mostrando-se apenas, nos Quadros A7.1 a A7.3, os valores do esforço normal reduzido, ν_{fi}, e do momento fletor reduzido, μ_{fi}, correspondentes aos pares de valores $N_{Rd,fi}/M_{Rd,fi}$ determinados para os diferentes domínios das extensões como se indicou no Capítulo 6, esforços reduzidos esses que permitiram o desenho dos diagramas de interação representados na Figura 7.13 do Capítulo 7.

Quadro A7.1 - Valores do esforço normal reduzido, ν_{fi}, e do momento fletor reduzido, μ_{fi}, para os diferentes domínios das extensões, nos pilares com *b*=300-*Φ*20-*Φ*6 no escalão R60, para o desenho dos diagramas de interação representados na Figura 7.13.

Domínio	R60															
	R60-h=30-4Φ		R60-h=30-8Φ		R60-h=30-4Φ20+4Φ12		R60-h=30-4Φ20+4Φ16		R60-h=40-4Φ		R60-h=40-8Φ		R60-h=40-10Φ		R60-h=40-4Φ20+4Φ12	
	ν_{fi}	μ_{fi}	ν_{fi}	μ_{fi}	ν_{fi}	μ_{fi}	ν_{fi}	μ_{fi}	ν_{fi}	μ_{fi}	ν_{fi}	μ_{fi}	ν_{fi}	μ_{fi}	ν_{fi}	μ_{fi}
D2	-0,0857	-0,0093	-0,1935	-0,0106	-0,1235	-0,0102	-0,1537	-0,0105	-0,0582	-0,0100	-0,1384	-0,0113	-0,1803	-0,0113	-0,0861	-0,0109
	-0,0685	-0,0157	-0,1779	-0,0163	-0,1084	-0,0158	-0,1381	-0,0163	-0,0399	-0,0172	-0,1157	-0,0202	-0,1587	-0,0198	-0,0637	-0,0196
	-0,0518	-0,0217	-0,1631	-0,0217	-0,0939	-0,0210	-0,1233	-0,0216	-0,0040	-0,0307	-0,0643	-0,0395	-0,1006	-0,0402	-0,0230	-0,0350
	-0,0186	-0,0330	-0,1226	-0,0330	-0,0622	-0,0310	-0,0859	-0,0328	0,0200	0,0397	-0,0272	-0,0512	-0,0684	-0,0520	0,0049	0,0447
	0,0084	0,0421	-0,0848	-0,0456	-0,0325	-0,0410	-0,0533	-0,0438	0,0359	0,0454	-0,0065	-0,0586	-0,0419	-0,0588	0,0207	0,0503
	0,0237	0,0471	-0,0411	-0,0598	0,0033	0,0529	-0,0144	-0,0566	0,0488	0,0498	0,0085	0,0636	-0,0265	-0,0638	0,0341	0,0548
D3	0,0394	0,0420	-0,0219	-0,0534	0,0209	0,0471	0,0043	0,0504	0,0605	0,0454	0,0229	0,0582	-0,0121	0,0584	0,0472	0,0499
	0,0774	0,0532	0,0301	0,0684	0,0624	0,0590	0,0488	0,0632	0,0943	0,0553	0,0584	0,0681	0,0247	0,0684	0,0784	0,0589
	0,1067	0,0602	0,0642	0,0760	0,0944	0,0663	0,0815	0,0705	0,1279	0,0634	0,0935	0,0761	0,0722	0,0778	0,1111	0,0667
	0,1372	0,0663	0,0968	0,0819	0,1257	0,0722	0,1134	0,0763	0,1613	0,0700	0,1289	0,0826	0,1231	0,0863	0,1437	0,0732
	0,1674	0,0713	0,1423	0,0866	0,1613	0,0769	0,1532	0,0811	0,1945	0,0753	0,1776	0,0878	0,1685	0,0927	0,1800	0,0784
	0,1972	0,0751	0,1883	0,0902	0,1969	0,0805	0,1933	0,0846	0,2276	0,0791	0,2222	0,0916	0,2170	0,0966	0,2159	0,0824
	0,2270	0,0778	0,2303	0,0926	0,2310	0,0830	0,2309	0,0871	0,2607	0,0816	0,2640	0,0939	0,2673	0,0983	0,2507	0,0851
	0,2567	0,0793	0,2698	0,0939	0,2643	0,0843	0,2669	0,0884	0,2938	0,0826	0,3041	0,0948	0,3140	0,0987	0,2848	0,0865
	0,2866	0,0797	0,3096	0,0933	0,2976	0,0843	0,3028	0,0881	0,3271	0,0821	0,3453	0,0934	0,3604	0,0969	0,3187	0,0865
	0,3124	0,0787	0,3397	0,0911	0,3266	0,0826	0,3345	0,0861	0,3440	0,0811	0,3665	0,0917	0,3839	0,0950	0,3562	0,0843
D4	0,3124	0,0787	0,3397	0,0911	0,3266	0,0826	0,3345	0,0861	0,3440	0,0811	0,3665	0,0917	0,3839	0,0950	0,3562	0,0843
	0,3511	0,0746	0,3862	0,0857	0,3713	0,0775	0,3824	0,0804	0,3838	0,0766	0,4082	0,0865	0,4340	0,0885	0,3932	0,0798
	0,3883	0,0697	0,4299	0,0798	0,4139	0,0715	0,4275	0,0740	0,4226	0,0709	0,4481	0,0806	0,4807	0,0810	0,4290	0,0746
	0,4244	0,0638	0,4714	0,0733	0,4547	0,0645	0,4706	0,0667	0,4605	0,0639	0,4865	0,0740	0,5253	0,0726	0,4639	0,0685
	0,4498	0,0590	0,5097	0,0663	0,4723	0,0611	0,4891	0,0632	0,4867	0,0583	0,5332	0,0645	0,5557	0,0661	0,5042	0,0600
D5 + D6	0,4498	0,0590	0,5097	0,0663	0,4723	0,0611	0,4891	0,0632	0,4867	0,0583	0,5332	0,0645	0,5557	0,0661	0,5042	0,0600
	0,4974	0,0482	0,5530	0,0572	0,5159	0,0515	0,5346	0,0532	0,5220	0,0495	0,5638	0,0572	0,5978	0,0557	0,5408	0,0510
	0,5439	0,0354	0,5932	0,0470	0,5575	0,0403	0,5772	0,0418	0,5569	0,0395	0,5927	0,0493	0,6388	0,0442	0,5764	0,0407
	0,5897	0,0204	0,6315	0,0356	0,5982	0,0277	0,6186	0,0289	0,5914	0,0283	0,6210	0,0407	0,6789	0,0314	0,6115	0,0291
	0,6348	0,0032	0,6690	0,0230	0,6382	0,0134	0,6593	0,0144	0,6257	0,0157	0,6490	0,0313	0,7182	0,0172	0,6463	0,0163
	0,6330	0,0040	0,7103	0,0074	0,6592	0,0051	0,6806	0,0061	0,6546	0,0040	0,7117	0,0072	0,7429	0,0075	0,6740	0,0051
D7	0,6297	0,0046	0,7046	0,0076	0,6551	0,0056	0,6758	0,0064	0,6523	0,0044	0,7077	0,0074	0,7412	0,0071	0,6711	0,0054
	0,6387	0,0011	0,7254	0,0004	0,6685	0,0003	0,6922	0,0004	0,6595	0,0013	0,7251	0,0005	0,7587	0,0004	0,6826	0,0004
	0,6393	0,0007	0,7256	0,0002	0,6686	0,0002	0,6924	0,0002	0,6606	0,0008	0,7255	0,0003	0,7590	0,0001	0,6827	0,0002
	0,6395	0,0005	0,7257	0,0001	0,6687	0,0001	0,6924	0,0001	0,6608	0,0006	0,7256	0,0002	0,7591	0,0000	0,6828	0,0002
	0,6396	0,0004	0,7257	0,0001	0,6687	0,0001	0,6925	0,0001	0,6609	0,0005	0,7256	0,0001	0,7591	0,0000	0,6828	0,0001
	0,6397	0,0003	0,7258	0,0001	0,6687	0,0001	0,6925	0,0001	0,6610	0,0004	0,7256	0,0001	0,7592	0,0000	0,6828	0,0001
	0,6397	0,0003	0,7258	0,0001	0,6687	0,0001	0,6925	0,0001	0,6610	0,0003	0,7256	0,0001	0,7592	0,0000	0,6829	0,0001
	0,6399	0,0000	0,7258	0,0000	0,6688	0,0000	0,6925	0,0000	0,6612	0,0000	0,7257	0,0000	0,7592	-0,0001	0,6829	0,0000

Quadro A7.1 - Continuação - Valores do esforço normal reduzido, ν_{fi}, e do momento fletor reduzido, μ_{fi}, para os diferentes domínios das extensões, nos pilares com *b*=300-*Φ*20-*Φ*6 no escalão R60, para o desenho dos diagramas de interação representados na Figura 7.13.

Domínio	R60													
	R60-h=40-4Φ20+4Φ16		R60-h=40-6Φ20+2Φ16		R60-h=50-6Φ		R60-h=50-10Φ		R60-h=50-4Φ20+4Φ16		R60-h=50-4Φ20+2Φ12		R60-h=50-6Φ20+2Φ16	
	ν_{fi}	μ_{fi}	ν_{fi}	μ_{fi}	ν_{fi}	μ_{fi}	ν_{fi}	μ_{fi}	ν_{fi}	μ_{fi}	ν_{fi}	μ_{fi}	ν_{fi}	μ_{fi}
D2	-0,1085	-0,0113	-0,1236	-0,0113	-0,0747	-0,0106	-0,1383	-0,0120	-0,0808	-0,0119	-0,0523	-0,0110	-0,0929	-0,0119
	-0,0843	-0,0207	-0,0993	-0,0207	-0,0403	-0,0244	-0,0883	-0,0320	-0,0309	-0,0320	-0,0138	-0,0265	-0,0430	-0,0320
	-0,0395	-0,0377	-0,0546	-0,0377	-0,0162	-0,0340	-0,0518	-0,0453	-0,0046	-0,0424	0,0079	0,0351	-0,0167	-0,0424
	-0,0079	-0,0480	-0,0209	-0,0480	0,0014	0,0390	-0,0354	-0,0514	0,0129	0,0479	0,0235	0,0403	0,0025	0,0479
	0,0091	0,0541	-0,0038	-0,0541	0,0140	0,0434	-0,0180	-0,0554	0,0266	0,0527	0,0370	0,0451	0,0164	0,0527
	0,0228	0,0587	0,0102	0,0587	0,0295	0,0486	-0,0021	-0,0607	0,0371	0,0562	0,0474	0,0486	0,0270	0,0562
D3	0,0368	0,0535	0,0241	0,0535	0,0389	0,0449	0,0095	0,0561	0,0483	0,0518	0,0571	0,0447	0,0382	0,0518
	0,0684	0,0625	0,0561	0,0625	0,0726	0,0547	0,0459	0,0663	0,0832	0,0619	0,0916	0,0549	0,0734	0,0619
	0,1015	0,0703	0,0896	0,0703	0,1065	0,0630	0,0932	0,0762	0,1182	0,0703	0,1262	0,0633	0,1088	0,0703
	0,1345	0,0768	0,1231	0,0768	0,1405	0,0698	0,1408	0,0847	0,1537	0,0772	0,1610	0,0703	0,1448	0,0772
	0,1745	0,0820	0,1675	0,0820	0,1848	0,0753	0,1842	0,0911	0,1956	0,0826	0,1994	0,0758	0,1912	0,0826
	0,2136	0,0859	0,2108	0,0859	0,2264	0,0795	0,2300	0,0952	0,2354	0,0866	0,2365	0,0798	0,2340	0,0866
	0,2509	0,0885	0,2512	0,0885	0,2659	0,0822	0,2775	0,0972	0,2737	0,0891	0,2728	0,0824	0,2747	0,0891
	0,2871	0,0899	0,2898	0,0899	0,3039	0,0836	0,3221	0,0977	0,3111	0,0901	0,3086	0,0835	0,3140	0,0901
	0,3226	0,0899	0,3273	0,0899	0,3410	0,0836	0,3660	0,0964	0,3487	0,0893	0,3442	0,0830	0,3531	0,0893
	0,3626	0,0872	0,3690	0,0872	0,3781	0,0819	0,3965	0,0938	0,3794	0,0870	0,3725	0,0813	0,3848	0,0870
D4	0,3626	0,0872	0,3690	0,0872	0,3781	0,0819	0,3965	0,0938	0,3794	0,0870	0,3725	0,0813	0,3848	0,0870
	0,4016	0,0824	0,4092	0,0824	0,4147	0,0780	0,4431	0,0874	0,4180	0,0821	0,4086	0,0771	0,4244	0,0821
	0,4390	0,0769	0,4478	0,0769	0,4503	0,0731	0,4877	0,0801	0,4554	0,0763	0,4438	0,0719	0,4627	0,0763
	0,4754	0,0705	0,4851	0,0705	0,4851	0,0673	0,5307	0,0716	0,4919	0,0695	0,4785	0,0656	0,4999	0,0695
	0,5172	0,0618	0,5278	0,0618	0,5339	0,0571	0,5651	0,0637	0,5342	0,0601	0,5189	0,0567	0,5430	0,0601
D5 + D6	0,5172	0,0618	0,5278	0,0618	0,5339	0,0571	0,5651	0,0637	0,5342	0,0601	0,5189	0,0567	0,5430	0,0601
	0,5547	0,0525	0,5660	0,0525	0,5667	0,0487	0,6019	0,0541	0,5701	0,0506	0,5536	0,0476	0,5791	0,0506
	0,5909	0,0420	0,6023	0,0420	0,5985	0,0393	0,6380	0,0435	0,6052	0,0398	0,5877	0,0372	0,6143	0,0398
	0,6265	0,0303	0,6380	0,0303	0,6301	0,0288	0,6735	0,0317	0,6399	0,0278	0,6216	0,0255	0,6490	0,0278
	0,6618	0,0173	0,6732	0,0173	0,6614	0,0171	0,7085	0,0188	0,6743	0,0146	0,6553	0,0126	0,6835	0,0146
	0,6898	0,0060	0,7013	0,0060	0,6939	0,0037	0,7380	0,0070	0,6960	0,0055	0,6766	0,0036	0,7052	0,0055
D7	0,6865	0,0063	0,6978	0,0062	0,6929	0,0041	0,7370	0,0066	0,6935	0,0058	0,6747	0,0040	0,7025	0,0057
	0,7003	0,0005	0,7118	0,0005	0,7023	0,0004	0,7515	0,0006	0,7050	0,0006	0,6819	0,0004	0,7141	0,0006
	0,7006	0,0002	0,7120	0,0002	0,7027	0,0002	0,7522	0,0002	0,7055	0,0003	0,6821	0,0002	0,7146	0,0003
	0,7006	0,0002	0,7121	0,0002	0,7029	0,0002	0,7523	0,0001	0,7055	0,0002	0,6821	0,0002	0,7147	0,0002
	0,7007	0,0001	0,7121	0,0001	0,7030	0,0001	0,7524	0,0000	0,7056	0,0001	0,6821	0,0001	0,7147	0,0001
	0,7007	0,0001	0,7121	0,0001	0,7030	0,0001	0,7524	0,0000	0,7056	0,0001	0,6822	0,0001	0,7148	0,0001
	0,7007	0,0001	0,7122	0,0001	0,7030	0,0001	0,7524	0,0000	0,7056	0,0001	0,6822	0,0001	0,7148	0,0001
	0,7007	0,0000	0,7122	0,0000	0,7032	0,0000	0,7524	0,0000	0,7057	0,0000	0,6822	0,0000	0,7148	0,0000

Quadro A7.2 - Valores do esforço normal reduzido, ν_{fi}, e do momento fletor reduzido, μ_{fi}, para os diferentes domínios das extensões, nos pilares com *b*=300-*Φ*20-*Φ*6 no escalão R90, para o desenho dos diagramas de interação representados na Figura 7.13.

Domínio	R90											
	R90-h=30-4Φ		R90-h=30-8Φ		R90-h=30-4Φ20+4Φ12		R90-h=30-4Φ20+4Φ16		R90-h=40-4Φ		R90-h=40-8Φ	
	ν_{fi}	μ_{fi}	ν_{fi}	μ_{fi}	ν_{fi}	μ_{fi}	ν_{fi}	μ_{fi}	ν_{fi}	μ_{fi}	ν_{fi}	μ_{fi}
D2	-0,0610	-0,0079	-0,1648	-0,0105	-0,0948	-0,0089	-0,1237	-0,0097	-0,0380	-0,0094	-0,1131	-0,0126
	-0,0315	-0,0180	-0,1475	-0,0165	-0,0791	-0,0144	-0,1071	-0,0155	0,0015	0,0242	-0,0529	-0,0351
	-0,0039	-0,0272	-0,1046	-0,0308	-0,0433	-0,0265	-0,0665	-0,0291	0,0163	0,0295	-0,0341	-0,0420
	0,0155	0,0336	-0,0582	-0,0418	-0,0134	-0,0348	-0,0304	-0,0384	0,0277	0,0335	-0,0122	-0,0461
	0,0274	0,0374	-0,0347	-0,0493	0,0030	0,0401	-0,0122	-0,0442	0,0389	0,0372	0,0000	0,0498
	0,0349	0,0397	-0,0172	-0,0543	0,0174	0,0444	0,0029	0,0485	0,0484	0,0402	0,0103	0,0529
D3	0,0462	0,0359	0,0005	0,0484	0,0307	0,0400	0,0180	0,0435	0,0569	0,0370	0,0236	0,0479
	0,0724	0,0427	0,0304	0,0553	0,0580	0,0468	0,0464	0,0503	0,0864	0,0450	0,0541	0,0555
	0,0985	0,0483	0,0598	0,0607	0,0852	0,0522	0,0745	0,0557	0,1146	0,0513	0,0847	0,0617
	0,1243	0,0529	0,0888	0,0652	0,1121	0,0568	0,1024	0,0602	0,1428	0,0566	0,1154	0,0668
	0,1498	0,0566	0,1256	0,0687	0,1416	0,0604	0,1349	0,0638	0,1708	0,0607	0,1536	0,0708
	0,1753	0,0594	0,1652	0,0713	0,1721	0,0631	0,1693	0,0665	0,1988	0,0638	0,1918	0,0738
	0,2007	0,0613	0,2015	0,0730	0,2013	0,0650	0,2016	0,0682	0,2267	0,0658	0,2276	0,0758
	0,2261	0,0623	0,2356	0,0738	0,2298	0,0659	0,2324	0,0691	0,2546	0,0668	0,2619	0,0766
	0,2516	0,0624	0,2684	0,0736	0,2578	0,0658	0,2625	0,0690	0,2827	0,0666	0,2952	0,0762
	0,2805	0,0610	0,3066	0,0712	0,2912	0,0641	0,2985	0,0669	0,3155	0,0648	0,3366	0,0734
D4	0,2805	0,0610	0,3066	0,0712	0,2912	0,0641	0,2985	0,0669	0,3155	0,0648	0,3366	0,0734
	0,3087	0,0578	0,3454	0,0664	0,3311	0,0592	0,3412	0,0616	0,3471	0,0609	0,3744	0,0684
	0,3361	0,0541	0,3820	0,0612	0,3692	0,0536	0,3815	0,0556	0,3781	0,0562	0,4106	0,0627
	0,3629	0,0498	0,4162	0,0554	0,4050	0,0470	0,4186	0,0487	0,4085	0,0506	0,4443	0,0563
	0,3941	0,0439	0,4443	0,0498	0,4125	0,0454	0,4263	0,0471	0,4366	0,0445	0,4745	0,0496
D5 + D6	0,3941	0,0439	0,4443	0,0498	0,4125	0,0454	0,4263	0,0471	0,4366	0,0445	0,4745	0,0496
	0,4218	0,0378	0,4812	0,0414	0,4430	0,0385	0,4577	0,0399	0,4633	0,0379	0,5015	0,0428
	0,4491	0,0309	0,5170	0,0319	0,4729	0,0308	0,4883	0,0320	0,4898	0,0305	0,5281	0,0354
	0,4760	0,0232	0,5520	0,0214	0,5024	0,0221	0,5184	0,0231	0,5160	0,0223	0,5543	0,0273
	0,5027	0,0147	0,5863	0,0097	0,5315	0,0125	0,5480	0,0134	0,5421	0,0133	0,5802	0,0185
	0,5347	0,0033	0,5961	0,0060	0,5544	0,0042	0,5713	0,0050	0,5685	0,0032	0,6138	0,0059
D7	0,5323	0,0037	0,5914	0,0062	0,5513	0,0045	0,5675	0,0052	0,5669	0,0035	0,6105	0,0060
	0,5397	0,0008	0,6074	0,0003	0,5619	0,0003	0,5804	0,0003	0,5729	0,0009	0,6240	0,0004
	0,5401	0,0005	0,6076	0,0002	0,5620	0,0001	0,5805	0,0002	0,5735	0,0006	0,6242	0,0002
	0,5403	0,0004	0,6076	0,0001	0,5621	0,0001	0,5805	0,0001	0,5737	0,0004	0,6243	0,0002
	0,5404	0,0003	0,6076	0,0001	0,5621	0,0001	0,5806	0,0001	0,5738	0,0003	0,6243	0,0001
	0,5404	0,0002	0,6077	0,0001	0,5621	0,0001	0,5806	0,0001	0,5738	0,0003	0,6243	0,0001
	0,5404	0,0002	0,6077	0,0001	0,5621	0,0001	0,5806	0,0001	0,5739	0,0002	0,6243	0,0001
	0,5406	0,0000	0,6077	0,0000	0,5621	0,0000	0,5806	0,0000	0,5740	0,0000	0,6244	0,0000

Quadro A7.2 - Continuação - Valores do esforço normal reduzido, ν_{fi}, e do momento fletor reduzido, μ_{fi}, para os diferentes domínios das extensões, nos pilares com *b*=300-*Φ*20-*Φ*6 no escalão R90, para o desenho dos diagramas de interação representados na Figura 7.13.

Domínio	R90											
	R90-h=40-4Φ20+4Φ12		R90-h=40-4Φ20+4Φ16		R90-h=50-6Φ		R90-h=50-10Φ		R90-h=50-4Φ20+4Φ16		R90-h=50-4Φ20+2Φ12	
	ν_{fi}	μ_{fi}	ν_{fi}	μ_{fi}	ν_{fi}	μ_{fi}	ν_{fi}	μ_{fi}	ν_{fi}	μ_{fi}	ν_{fi}	μ_{fi}
D2	-0,0605	-0,0113	-0,0809	-0,0125	-0,0359	-0,0190	-0,0767	-0,0295	-0,0272	-0,0255	-0,0134	-0,0187
	-0,0144	-0,0286	-0,0292	-0,0319	-0,0234	-0,0239	-0,0633	-0,0347	-0,0137	-0,0307	-0,0003	-0,0238
	-0,0011	-0,0335	-0,0152	-0,0370	-0,0120	-0,0281	-0,0435	-0,0401	0,0038	0,0353	0,0150	0,0284
	0,0140	0,0374	0,0029	0,0410	0,0072	0,0321	-0,0312	-0,0442	0,0165	0,0397	0,0275	0,0327
	0,0255	0,0411	0,0146	0,0447	0,0190	0,0359	-0,0111	-0,0471	0,0293	0,0438	0,0400	0,0368
	0,0355	0,0442	0,0249	0,0477	0,0319	0,0398	0,0024	0,0511	0,0374	0,0462	0,0480	0,0392
D3	0,0454	0,0405	0,0362	0,0435	0,0387	0,0371	0,0131	0,0468	0,0464	0,0426	0,0545	0,0366
	0,0743	0,0480	0,0658	0,0511	0,0709	0,0456	0,0476	0,0554	0,0783	0,0511	0,0869	0,0454
	0,1048	0,0546	0,0970	0,0576	0,1032	0,0527	0,0909	0,0636	0,1104	0,0581	0,1194	0,0527
	0,1354	0,0600	0,1283	0,0629	0,1359	0,0586	0,1337	0,0705	0,1427	0,0638	0,1521	0,0587
	0,1688	0,0642	0,1649	0,0671	0,1761	0,0631	0,1731	0,0757	0,1796	0,0683	0,1876	0,0632
	0,2018	0,0673	0,2008	0,0701	0,2144	0,0664	0,2122	0,0792	0,2153	0,0714	0,2221	0,0664
	0,2339	0,0691	0,2351	0,0719	0,2508	0,0684	0,2547	0,0805	0,2498	0,0733	0,2559	0,0682
	0,2655	0,0698	0,2684	0,0725	0,2860	0,0691	0,2938	0,0805	0,2836	0,0739	0,2893	0,0686
	0,2968	0,0692	0,3012	0,0718	0,3204	0,0684	0,3304	0,0791	0,3170	0,0731	0,3225	0,0675
	0,3242	0,0673	0,3301	0,0697	0,3515	0,0665	0,3646	0,0760	0,3491	0,0707	0,3431	0,0660
D4	0,3242	0,0673	0,3301	0,0697	0,3515	0,0665	0,3646	0,0760	0,3491	0,0707	0,3431	0,0660
	0,3577	0,0630	0,3653	0,0651	0,3850	0,0626	0,4072	0,0698	0,3858	0,0658	0,3763	0,0619
	0,3903	0,0580	0,3993	0,0598	0,4177	0,0577	0,4482	0,0627	0,4212	0,0599	0,4087	0,0568
	0,4216	0,0521	0,4315	0,0537	0,4486	0,0519	0,4878	0,0544	0,4552	0,0530	0,4402	0,0507
	0,4505	0,0458	0,4610	0,0472	0,4824	0,0443	0,5090	0,0494	0,4824	0,0466	0,4701	0,0438
D5 + D6	0,4505	0,0458	0,4610	0,0472	0,4824	0,0443	0,5090	0,0494	0,4824	0,0466	0,4701	0,0438
	0,4838	0,0373	0,4903	0,0398	0,5123	0,0364	0,5432	0,0404	0,5057	0,0404	0,4975	0,0366
	0,5166	0,0277	0,5191	0,0315	0,5420	0,0275	0,5769	0,0303	0,5288	0,0336	0,5246	0,0284
	0,5491	0,0169	0,5477	0,0224	0,5715	0,0175	0,6093	0,0193	0,5517	0,0263	0,5516	0,0195
	0,5812	0,0049	0,5760	0,0124	0,6008	0,0065	0,6410	0,0073	0,5745	0,0184	0,5785	0,0096
	0,5831	0,0041	0,5956	0,0049	0,6095	0,0030	0,6451	0,0056	0,6107	0,0045	0,5953	0,0029
D7	0,5810	0,0043	0,5930	0,0050	0,6115	0,0032	0,6440	0,0053	0,6087	0,0046	0,5953	0,0031
	0,5899	0,0003	0,6038	0,0004	0,6191	0,0003	0,6556	0,0003	0,6178	0,0004	0,6016	0,0003
	0,5901	0,0002	0,6039	0,0002	0,6195	0,0002	0,6559	0,0001	0,6180	0,0002	0,6018	0,0002
	0,5901	0,0001	0,6040	0,0001	0,6196	0,0001	0,6560	0,0000	0,6180	0,0002	0,6019	0,0001
	0,5901	0,0001	0,6040	0,0001	0,6197	0,0001	0,6560	0,0000	0,6180	0,0001	0,6019	0,0001
	0,5902	0,0001	0,6040	0,0001	0,6197	0,0001	0,6560	-0,0001	0,6181	0,0001	0,6019	0,0001
	0,5902	0,0001	0,6040	0,0001	0,6197	0,0001	0,6560	-0,0001	0,6181	0,0001	0,6019	0,0001
	0,5902	0,0000	0,6041	0,0000	0,6199	0,0000	0,6561	-0,0001	0,6181	0,0000	0,6020	0,0000

Quadro A7.3 - Valores do esforço normal reduzido, ν_{fi}, e do momento fletor reduzido, μ_{fi}, para os diferentes domínios das extensões, nos pilares com *b*=300-*Φ*20-*Φ*6 no escalão R120, para o desenho dos diagramas de interação representados na Figura 7.13.

Domínio	R120											
	R120-h=30-4Φ		R120-h=30-8Φ		R120-h=30-4Φ20+4Φ12		R120-h=30-4Φ20+4Φ16		R120-h=40-4Φ		R120-h=40-8Φ	
	ν_{fi}	μ_{fi}	ν_{fi}	μ_{fi}	ν_{fi}	μ_{fi}	ν_{fi}	μ_{fi}	ν_{fi}	μ_{fi}	ν_{fi}	μ_{fi}
D2	-0,0174	-0,0108	-0,0971	-0,0197	-0,0359	-0,0165	-0,0559	-0,0196	0,0001	-0,0139	-0,0484	-0,0256
	0,0032	0,0175	-0,0656	-0,0301	-0,0212	-0,0213	-0,0396	-0,0250	0,0111	0,0176	-0,0389	-0,0289
	0,0133	0,0206	-0,0563	-0,0330	-0,0127	-0,0240	-0,0310	-0,0277	0,0235	0,0217	-0,0173	-0,0321
	0,0229	0,0235	-0,0316	-0,0355	0,0012	0,0264	-0,0125	-0,0302	0,0359	0,0255	-0,0066	-0,0352
	0,0325	0,0261	-0,0222	-0,0379	0,0096	0,0287	-0,0038	-0,0325	0,0459	0,0284	0,0045	0,0382
	0,0349	0,0268	-0,0118	-0,0403	0,0191	0,0311	0,0062	0,0349	0,0463	0,0285	0,0118	0,0401
D3	0,0424	0,0243	0,0035	0,0353	0,0294	0,0277	0,0186	0,0308	0,0520	0,0264	0,0234	0,0358
	0,0652	0,0295	0,0303	0,0403	0,0534	0,0329	0,0438	0,0359	0,0774	0,0327	0,0517	0,0419
	0,0865	0,0335	0,0572	0,0443	0,0777	0,0371	0,0691	0,0400	0,1032	0,0379	0,0803	0,0469
	0,1078	0,0368	0,0842	0,0475	0,1019	0,0404	0,0945	0,0433	0,1289	0,0421	0,1091	0,0509
	0,1290	0,0394	0,1195	0,0499	0,1291	0,0430	0,1252	0,0458	0,1545	0,0454	0,1446	0,0539
	0,1501	0,0413	0,1541	0,0515	0,1560	0,0448	0,1554	0,0475	0,1801	0,0476	0,1790	0,0560
	0,1712	0,0426	0,1860	0,0523	0,1819	0,0458	0,1838	0,0485	0,2056	0,0489	0,2113	0,0570
	0,1923	0,0431	0,2161	0,0523	0,2071	0,0459	0,2110	0,0485	0,2312	0,0492	0,2422	0,0571
	0,2134	0,0429	0,2452	0,0514	0,2321	0,0452	0,2377	0,0477	0,2569	0,0484	0,2724	0,0561
	0,2418	0,0413	0,2667	0,0498	0,2519	0,0438	0,2589	0,0462	0,2809	0,0467	0,3007	0,0539
D4	0,2418	0,0413	0,2667	0,0498	0,2519	0,0438	0,2589	0,0462	0,2809	0,0467	0,3007	0,0539
	0,2651	0,0387	0,3004	0,0454	0,2790	0,0406	0,2878	0,0426	0,3083	0,0434	0,3321	0,0496
	0,2880	0,0356	0,3310	0,0406	0,3049	0,0368	0,3148	0,0385	0,3353	0,0392	0,3620	0,0445
	0,3106	0,0319	0,3603	0,0351	0,3301	0,0323	0,3409	0,0338	0,3620	0,0341	0,3911	0,0387
	0,3300	0,0281	0,3705	0,0330	0,3451	0,0293	0,3564	0,0307	0,3800	0,0302	0,4106	0,0343
D5 + D6	0,3300	0,0281	0,3705	0,0330	0,3451	0,0293	0,3564	0,0307	0,3800	0,0302	0,4106	0,0343
	0,3538	0,0228	0,3950	0,0274	0,3662	0,0246	0,3780	0,0258	0,4037	0,0243	0,4345	0,0282
	0,3773	0,0168	0,4189	0,0213	0,3870	0,0193	0,3994	0,0204	0,4273	0,0176	0,4582	0,0215
	0,4007	0,0100	0,4424	0,0146	0,4076	0,0135	0,4204	0,0144	0,4508	0,0101	0,4817	0,0142
	0,4239	0,0024	0,4656	0,0073	0,4280	0,0072	0,4413	0,0080	0,4742	0,0019	0,5049	0,0062
	0,4245	0,0022	0,4733	0,0047	0,4404	0,0030	0,4540	0,0038	0,4737	0,0021	0,5099	0,0044
D7	0,4233	0,0024	0,4701	0,0046	0,4386	0,0031	0,4515	0,0038	0,4729	0,0022	0,5075	0,0044
	0,4277	0,0006	0,4813	0,0003	0,4455	0,0002	0,4603	0,0002	0,4763	0,0007	0,5167	0,0004
	0,4280	0,0003	0,4814	0,0002	0,4456	0,0001	0,4604	0,0001	0,4767	0,0004	0,5168	0,0002
	0,4281	0,0002	0,4814	0,0001	0,4456	0,0001	0,4604	0,0001	0,4768	0,0003	0,5169	0,0001
	0,4281	0,0002	0,4815	0,0001	0,4456	0,0001	0,4604	0,0001	0,4769	0,0002	0,5169	0,0001
	0,4281	0,0002	0,4815	0,0001	0,4457	0,0000	0,4604	0,0001	0,4769	0,0002	0,5169	0,0001
	0,4282	0,0001	0,4815	0,0001	0,4457	0,0000	0,4604	0,0000	0,4769	0,0002	0,5169	0,0001
	0,4282	0,0000	0,4815	0,0000	0,4457	0,0000	0,4605	0,0000	0,4770	0,0000	0,5170	0,0000

Quadro A7.3 - Continuação - Valores do esforço normal reduzido, ν_{fi}, e do momento fletor reduzido, μ_{fi}, para os diferentes domínios das extensões, nos pilares com *b*=300-*Φ*20-*Φ*6 no escalão R120, para o desenho dos diagramas de interação representados na Figura 7.13.

Domínio	R120											
	R120-h=40-4Φ20+4Φ12		R120-h=40-4Φ20+4Φ16		R120-h=50-6Φ		R120-h=50-10Φ		R120-h=50-4Φ20+4Φ16		R120-h=50-4Φ20+2Φ12	
	ν_{fi}	μ_{fi}	ν_{fi}	μ_{fi}	ν_{fi}	μ_{fi}	ν_{fi}	μ_{fi}	ν_{fi}	μ_{fi}	ν_{fi}	μ_{fi}
D2	-0,0166	-0,0176	-0,0299	-0,0209	-0,0288	-0,0130	-0,0668	-0,0233	-0,0205	-0,0191	-0,0079	-0,0125
	-0,0070	-0,0209	-0,0205	-0,0242	-0,0189	-0,0165	-0,0481	-0,0279	-0,0100	-0,0228	0,0020	0,0160
	0,0070	0,0241	-0,0032	-0,0274	-0,0088	-0,0199	-0,0371	-0,0314	0,0070	0,0265	0,0155	0,0194
	0,0172	0,0273	0,0072	0,0305	0,0114	0,0233	-0,0162	-0,0336	0,0187	0,0301	0,0259	0,0228
	0,0275	0,0302	0,0178	0,0335	0,0226	0,0265	-0,0045	-0,0369	0,0306	0,0336	0,0365	0,0260
	0,0346	0,0322	0,0251	0,0354	0,0327	0,0292	0,0064	0,0397	0,0363	0,0351	0,0463	0,0288
D3	0,0423	0,0293	0,0344	0,0319	0,0372	0,0274	0,0156	0,0360	0,0437	0,0321	0,0508	0,0270
	0,0687	0,0355	0,0616	0,0381	0,0675	0,0347	0,0488	0,0432	0,0734	0,0393	0,0786	0,0340
	0,0967	0,0409	0,0904	0,0434	0,0978	0,0407	0,0903	0,0503	0,1034	0,0451	0,1067	0,0398
	0,1249	0,0452	0,1195	0,0476	0,1287	0,0454	0,1292	0,0558	0,1336	0,0498	0,1348	0,0446
	0,1556	0,0484	0,1533	0,0507	0,1656	0,0491	0,1653	0,0598	0,1677	0,0533	0,1649	0,0482
	0,1855	0,0505	0,1856	0,0528	0,2004	0,0515	0,2008	0,0622	0,2004	0,0556	0,1946	0,0507
	0,2147	0,0515	0,2167	0,0538	0,2336	0,0527	0,2371	0,0625	0,2320	0,0567	0,2236	0,0521
	0,2434	0,0515	0,2469	0,0537	0,2658	0,0527	0,2715	0,0617	0,2631	0,0566	0,2523	0,0524
	0,2720	0,0502	0,2767	0,0523	0,2973	0,0514	0,3050	0,0597	0,2938	0,0552	0,2808	0,0516
	0,2890	0,0488	0,2945	0,0508	0,3190	0,0498	0,3283	0,0574	0,3163	0,0533	0,3109	0,0493
D4	0,2890	0,0488	0,2945	0,0508	0,3189	0,0498	0,3283	0,0574	0,3163	0,0533	0,3109	0,0493
	0,3176	0,0451	0,3243	0,0468	0,3474	0,0463	0,3661	0,0519	0,3479	0,0489	0,3398	0,0457
	0,3455	0,0406	0,3530	0,0421	0,3753	0,0418	0,4026	0,0454	0,3789	0,0435	0,3684	0,0410
	0,3730	0,0353	0,3811	0,0366	0,4028	0,0365	0,4382	0,0378	0,4093	0,0371	0,3967	0,0353
	0,3915	0,0311	0,4000	0,0323	0,4265	0,0310	0,4499	0,0349	0,4269	0,0328	0,4169	0,0305
D5 + D6	0,3915	0,0311	0,4000	0,0323	0,4265	0,0310	0,4499	0,0349	0,4269	0,0328	0,4169	0,0305
	0,4103	0,0264	0,4192	0,0275	0,4449	0,0262	0,4732	0,0288	0,4480	0,0272	0,4374	0,0251
	0,4291	0,0213	0,4383	0,0222	0,4633	0,0210	0,4960	0,0221	0,4690	0,0210	0,4578	0,0192
	0,4477	0,0157	0,4572	0,0165	0,4816	0,0153	0,5185	0,0148	0,4898	0,0143	0,4781	0,0126
	0,4663	0,0096	0,4760	0,0104	0,4999	0,0091	0,5409	0,0069	0,5105	0,0070	0,4984	0,0055
	0,4856	0,0028	0,4956	0,0035	0,5196	0,0019	0,5480	0,0042	0,5208	0,0031	0,5084	0,0018
D7	0,4843	0,0029	0,4939	0,0035	0,5236	0,0020	0,5476	0,0038	0,5195	0,0032	0,5095	0,0018
	0,4899	0,0002	0,5010	0,0003	0,5285	0,0002	0,5556	0,0002	0,5254	0,0003	0,5131	0,0002
	0,4900	0,0001	0,5011	0,0002	0,5287	0,0001	0,5558	0,0000	0,5255	0,0002	0,5133	0,0001
	0,4900	0,0001	0,5011	0,0001	0,5288	0,0001	0,5559	-0,0001	0,5255	0,0001	0,5133	0,0001
	0,4901	0,0001	0,5011	0,0001	0,5289	0,0001	0,5559	-0,0001	0,5256	0,0001	0,5133	0,0001
	0,4901	0,0001	0,5011	0,0001	0,5289	0,0001	0,5559	-0,0001	0,5256	0,0001	0,5134	0,0000
	0,4901	0,0000	0,5011	0,0001	0,5289	0,0000	0,5559	-0,0001	0,5256	0,0001	0,5134	0,0000
	0,4901	0,0000	0,5012	0,0000	0,5291	0,0000	0,5560	-0,0002	0,5256	0,0000	0,5134	0,0000

Mostrar-se-ão, agora, nas Figuras A7.5 a A7.15, os diagramas de interação que serviram de base à elaboração de cada um dos gráficos definitivos (gráficos semelhantes ao representado na Figura 7.13 do Capítulo 7) acompanhados pelos Quadros A7.4 a A7.14 correspondentes ao Quadro 7.3 do referido capítulo. Como já referido, não serão aqui expostos estes elementos respeitantes ao Gráfico 11, por já terem sido apresentados no Capítulo 7. Nas legendas das figuras identifica-se, pelo número posicionado imediatamente antes do escalão de resistência ao fogo, o diagrama que serviu de base ao desenho definitivo de cada uma das curvas que constitui o correspondente gráfico. Os gráficos definitivos propostos para a verificação da resistência ao fogo de pilares em betão armado são apresentados nas Figuras 7.21 a 7.32 do Capítulo 7.

A7.2.3.1. Diagramas de interação que serviram de base para o desenho do Gráfico 1

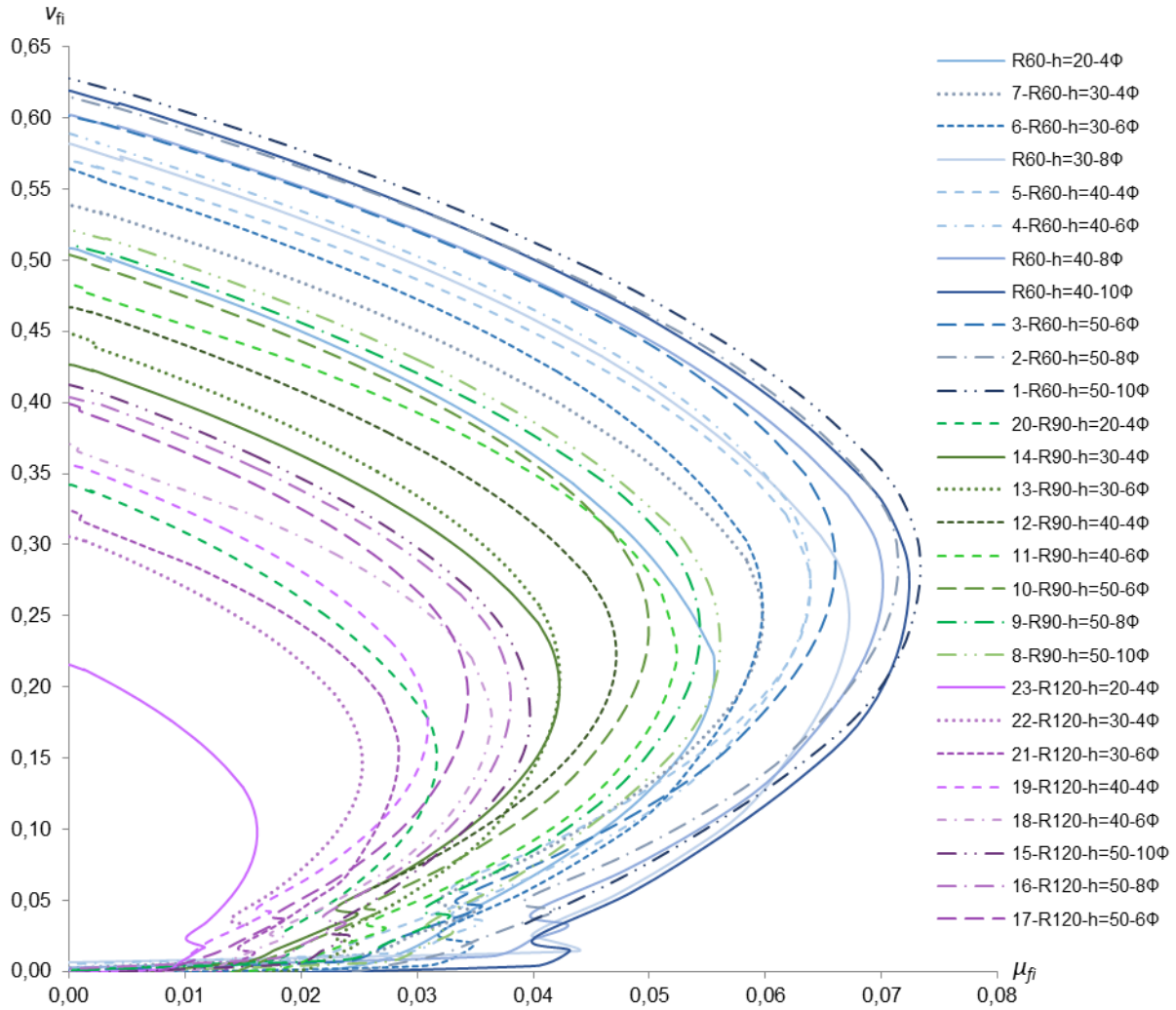


Figura A7.5 - Diagramas de interação correspondentes às secções previstas com *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*12-*Φ*6, para a construção do Gráfico 1.

Quadro A7.4 - Curvas definitivas adotadas para os diferentes diagramas de interação, a utilizar na verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão *b*=200mm, recobrimento de 35mm, armadura longitudinal principal *Φ*12 e cintas *Φ*6, que constituem o Gráfico 1.

Caraterísticas da secção			R60		R90		R120	
b [cm]	*h* [cm]	Armadura longitudinal	Diagrama considerado	Curva	Diagrama considerado	Curva	Diagrama considerado	Curva
20	20	4Φ12	R90-20x40-4Ø12	12	R90-20x20-4Ø12	20	R120-20x20-4Ø12	23
	30	4Φ12	R60-20x30-4Ø12	7	R90-20x30-4Ø12	14	R120-20x30-4Ø12	22
		6Φ12	R60-20x30-6Ø12	6	R90-20x30-6Ø12	13	R120-20x30-6Ø12	21
		8Φ12	R60-20x40-6Ø12	4	R90-20x40-6Ø12	11	R120-20x40-6Ø12	18
	40	4Φ12	R60-20x40-4Ø12	5	R90-20x40-4Ø12	12	R120-20x40-4Ø12	19
		6Φ12	R60-20x40-6Ø12	4	R90-20x40-6Ø12	11	R120-20x40-6Ø12	18
		8Φ12	R60-20x50-6Ø12	3	R90-20x50-6Ø12	10	R120-20x50-6Ø12	17
		10Φ12	R60-20x50-8Ø12	2	R90-20x50-8Ø12	9	R120-20x50-8Ø12	16
	50	6Φ12	R60-20x50-6Ø12	3	R90-20x50-6Ø12	10	R120-20x50-6Ø12	17
		8Φ12	R60-20x50-8Ø12	2	R90-20x50-8Ø12	9	R120-20x50-8Ø12	16
		10Φ12	R60-20x50-10Ø12	1	R90-20x50-10Ø12	8	R120-20x50-10Ø12	15

A7.2.3.2. Diagramas de interação que serviram de base para o desenho do Gráfico 2

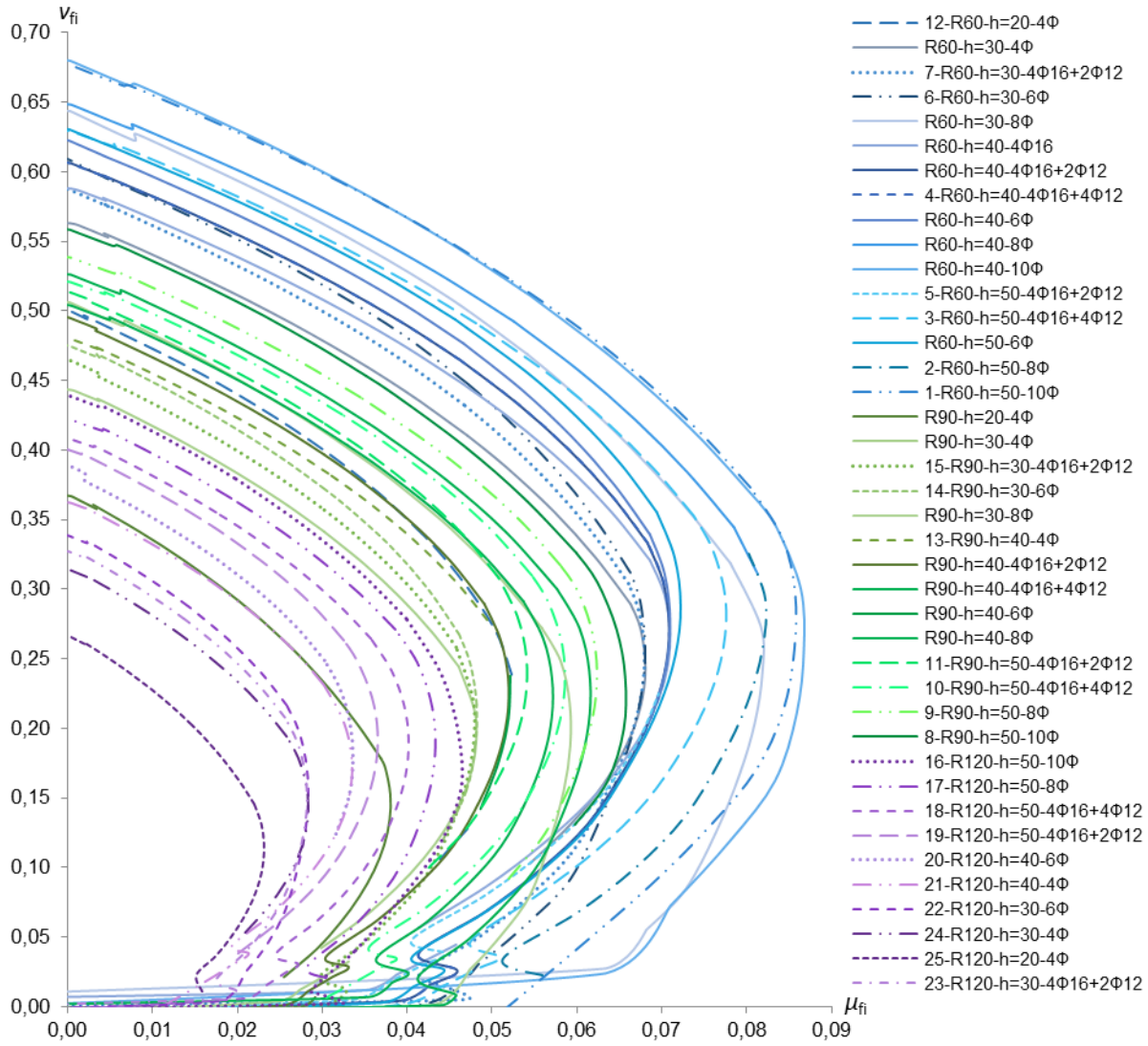


Figura A7.6 - Diagramas de interação correspondentes às secções previstas com *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*16-*Φ*6, para a construção do Gráfico 2.

Quadro A7.5 - Curvas definitivas adotadas para os diferentes diagramas de interação, a utilizar na verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão *b*=200mm, recobrimento de 35mm, armadura longitudinal principal *Φ*16 e cintas *Φ*6, que constituem o Gráfico 2.

Caraterísticas da secção			R60		R90		R120	
b [cm]	*h* [cm]	Armadura longitudinal	Diagrama considerado	Curva	Diagrama considerado	Curva	Diagrama considerado	Curva
20	20	4Φ16	R60-20x20-4Ø16	12	R120-20x40-4Ø16	21	R120-20x20-4Ø16	25
	30	4Φ16	R90-20x50-10Ø16	8	R120-20x50-10Ø16	16	R120-20x30-4Ø16	24
		6Φ16	R60-20x30-6Ø16	6	R90-20x30-6Ø16	14	R120-20x30-6Ø16	22
		8Φ16	R60-20x50-4Ø16+4Ø12	3	R90-20x50-4Ø16+2Ø12	11	R120-20x50-4Ø16+2Ø12	19
		4Φ16+2Φ12	R60-20x30-4Ø16+2Ø12	7	R90-20x30-4Ø16+2Ø12	15	R120-20x30-4Ø16+2Ø12	23
	40	4Φ16	R60-20x30-4Ø16+2Ø12	7	R90-20x40-4Ø16	13	R120-20x40-4Ø16	21
		6Φ16	R60-20x50-4Ø16+2Ø12	5	R60-20x20-4Ø16	12	R120-20x40-6Ø16	20
		8Φ16	R60-20x50-8Ø16	2	R90-20x50-4Ø16+4Ø12	10	R120-20x50-4Ø16+4Ø12	18
		10Φ16	R60-20x50-10Ø16	1	R90-20x50-10Ø16	8	R120-20x50-10Ø16	16
		4Φ16+2Φ12	R60-20x30-6Ø16	6	R60-20x20-4Ø16	12	R120-20x40-4Ø16	21
		4Φ16+4Φ12	R60-20x40-4Ø16+4Ø12	4	R90-20x50-4Ø16+2Ø12	11	R120-20x50-4Ø16+2Ø12	19
	50	6Φ16	R60-20x50-4Ø16+2Ø12	5	R90-20x50-4Ø16+2Ø12	11	R120-20x50-4Ø16+2Ø12	19
		8Φ16	R60-20x50-8Ø16	2	R90-20x50-8Ø16	9	R120-20x50-8Ø16	17
		10Φ16	R60-20x50-10Ø16	1	R90-20x50-10Ø16	8	R120-20x50-10Ø16	16
		4Φ16+2Φ12	R60-20x50-4Ø16+2Ø12	5	R90-20x50-4Ø16+2Ø12	11	R120-20x50-4Ø16+2Ø12	19
		4Φ16+4Φ12	R60-20x50-4Ø16+4Ø12	3	R90-20x50-4Ø16+4Ø12	10	R120-20x50-4Ø16+4Ø12	18

A7.2.3.3. Diagramas de interação que serviram de base para o desenho do Gráfico 3

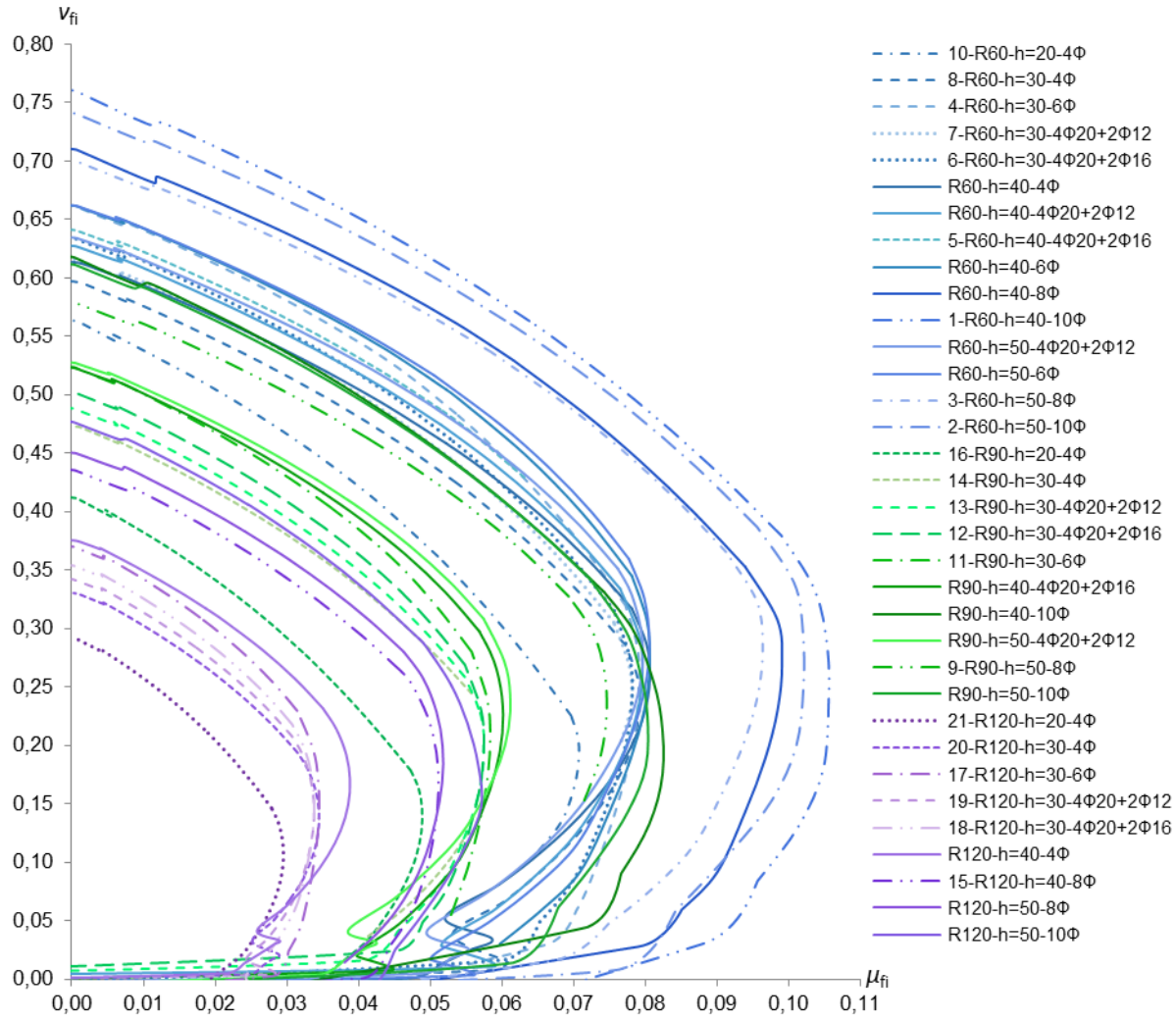


Figura A7.7 - Diagramas de interação correspondentes às secções previstas com *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*20-*Φ*6, para a construção do Gráfico 3.

Quadro A7.6 - Curvas definitivas adotadas para os diferentes diagramas de interação, a utilizar na verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão *b*=200mm, recobrimento de 35mm, armadura longitudinal principal *Φ*20 e cintas *Φ*6, que constituem o Gráfico 3.

Caraterísticas da secção			R60		R90		R120	
b [cm]	*h* [cm]	Armadura longitudinal	Diagrama considerado	Curva	Diagrama considerado	Curva	Diagrama considerado	Curva
20	20	4Φ20	R60-20x20-4Ø20	10	R90-20x20-4Ø20	16	R120-20x20-4Ø20	21
	30	4Φ20	R60-20x30-4Ø20	8	R90-20x30-4Ø20	14	R120-20x30-4Ø20	20
		6Φ20	R60-20x30-6Ø20	4	R90-20x30-6Ø20	11	R120-20x30-6Ø20	17
		4Φ20+2Φ12	R60-20x30-4Ø20+2Ø12	7	R90-20x30-4Ø20+2Ø12	13	R120-20x30-4Ø20+2Ø12	19
		4Φ20+2Φ16	R60-20x30-4Ø20+2Ø16	6	R90-20x30-4Ø20+2Ø16	12	R120-20x30-4Ø20+2Ø16	18
	40	4Φ20	R60-20x30-4Ø20+2Ø12	7	R90-20x30-4Ø20+2Ø12	13	R120-20x30-4Ø20+2Ø12	19
		6Φ20	R60-20x40-4Ø20+2Ø16	5	R90-20x30-6Ø20	11	R120-20x30-6Ø20	17
		8Φ20	R60-20x50-8Ø20	3	R90-20x50-8Ø20	9	R120-20x40-8Ø20	15
		10Φ20	R60-20x40-10Ø20	1	R60-20x30-4Ø20+2Ø12	7	R90-20x30-4Ø20+2Ø12	13
		4Φ20+2Φ12	R60-20x30-4Ø20+2Ø16	6	R90-20x30-4Ø20+2Ø16	12	R120-20x30-4Ø20+2Ø16	18
		4Φ20+2Φ16	R60-20x40-4Ø20+2Ø16	5	R90-20x30-6Ø20	11	R120-20x30-6Ø20	17
	50	6Φ20	R60-20x40-4Ø20+2Ø16	5	R90-20x30-6Ø20	11	R120-20x30-6Ø20	17
		8Φ20	R60-20x50-8Ø20	3	R90-20x50-8Ø20	9	R120-20x40-8Ø20	15
		10Φ20	R60-20x50-10Ø20	2	R60-20x30-4Ø20+2Ø12	7	R90-20x30-4Ø20+2Ø12	13
		4Φ20+2Φ12	R60-20x40-4Ø20+2Ø16	5	R90-20x30-6Ø20	11	R120-20x30-6Ø20	17
		4Φ20+2Φ16	R60-20x40-4Ø20+2Ø16	5	R90-20x30-6Ø20	11	R120-20x30-6Ø20	17

A7.2.3.4. Diagramas de interação que serviram de base para o desenho do Gráfico 4

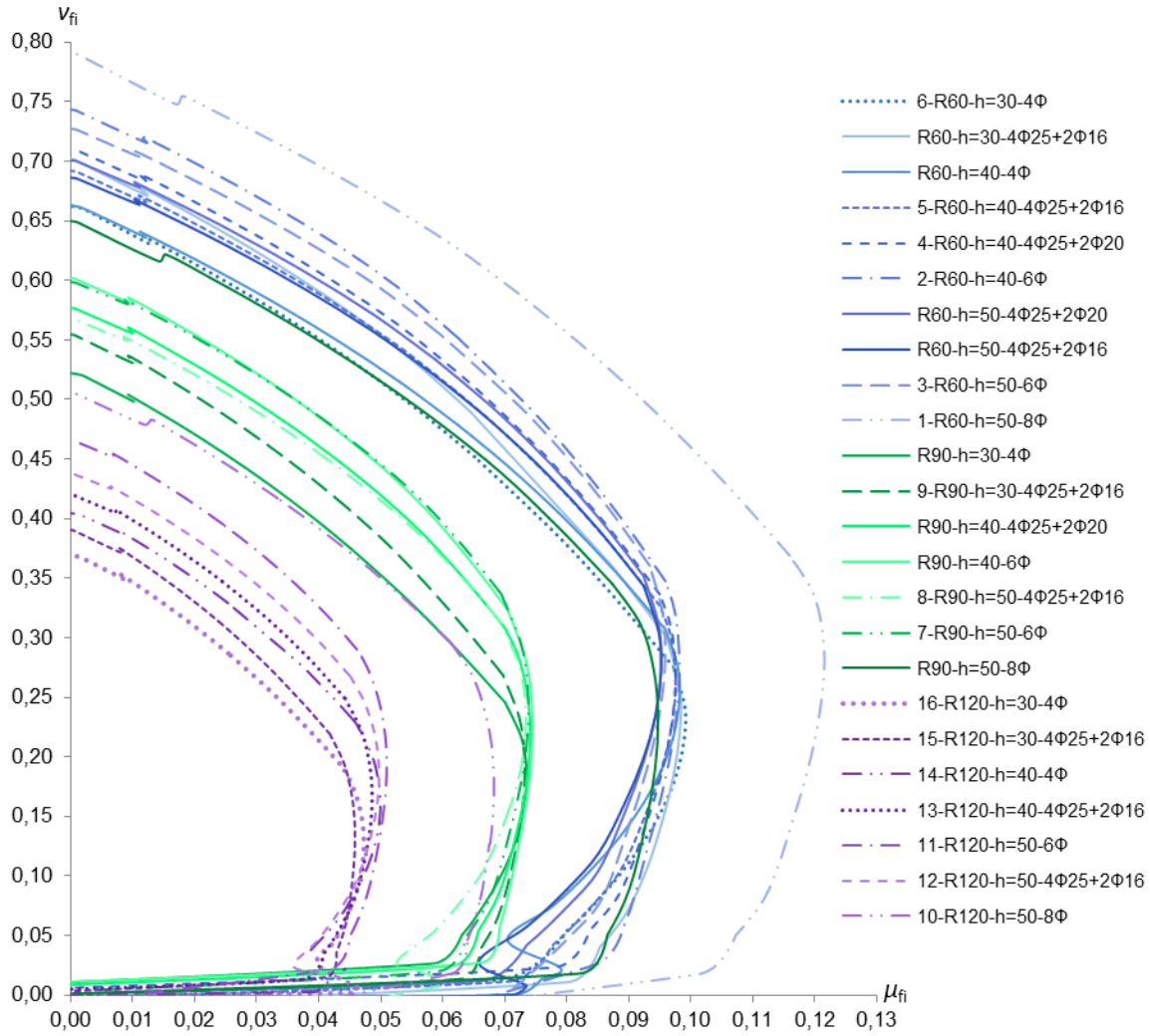


Figura A7.8 - Diagramas de interação correspondentes às secções previstas com *b*=200mm e armadura constituída por varões *Φ*25-*Φ*8, para a construção do Gráfico 4.

Quadro A7.7 - Curvas definitivas adotadas para os diferentes diagramas de interação, a utilizar na verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão *b*=200mm, recobrimento de 35mm, armadura longitudinal principal *Φ*25 e cintas *Φ*8, que constituem o Gráfico 4.

Caraterísticas da secção			R60		R90		R120	
b [cm]	*h* [cm]	Armadura longitudinal	Diagrama considerado	Curva	Diagrama considerado	Curva	Diagrama considerado	Curva
20	30	4Φ25	R60-20x30-4Ø25	6	R120-20x50-8Ø25	10	R120-20x30-4Ø25	16
		4Φ25+2Φ16	R60-20x30-4Ø25+2Ø16 c/ 20x50-4Ø25+2Ø16	5	R90-20x30-4Ø25+2Ø16	9	R120-20x30-4Ø25+2Ø16	15
	40	4Φ25	R60-20x30-4Ø25	6	R120-20x50-8Ø25	10	R120-20x40-4Ø25	14
		6Φ25	R60-20x40-6Ø25	2	R90-20x50-6Ø25	7	R120-20x50-6Ø25	11
		4Φ25+2Φ16	R60-20x30-4Ø25+2Ø16 c/ 20x50-4Ø25+2Ø16	5	R90-20x50-4Ø25+2Ø16	8	R120-20x40-4Ø25+2Ø16	13
		4Φ25+2Φ20	R60-20x40-4Ø25+2Ø20	4	R90-20x50-4Ø25+2Ø16	8	R120-20x50-4Ø25+2Ø16	12
	50	6Φ25	R60-20x50-6Ø25	3	R90-20x50-6Ø25	7	R120-20x50-6Ø25	11
		8Φ25	R60-20x50-8Ø25	1	R60-20x30-6Ø25	6	R120-20x50-8Ø25	10
		4Φ25+2Φ16	R60-20x30-4Ø25+2Ø16 c/ 20x50-4Ø25+2Ø16	5	R90-20x50-4Ø25+2Ø16	8	R120-20x50-4Ø25+2Ø16	12
		4Φ25+2Φ20	R60-20x30-4Ø25+2Ø16 c/ 20x50-4Ø25+2Ø16	5	R90-20x50-4Ø25+2Ø16	8	R120-20x50-4Ø25+2Ø16	12

A7.2.3.5. Diagramas de interação que serviram de base para o desenho do Gráfico 5

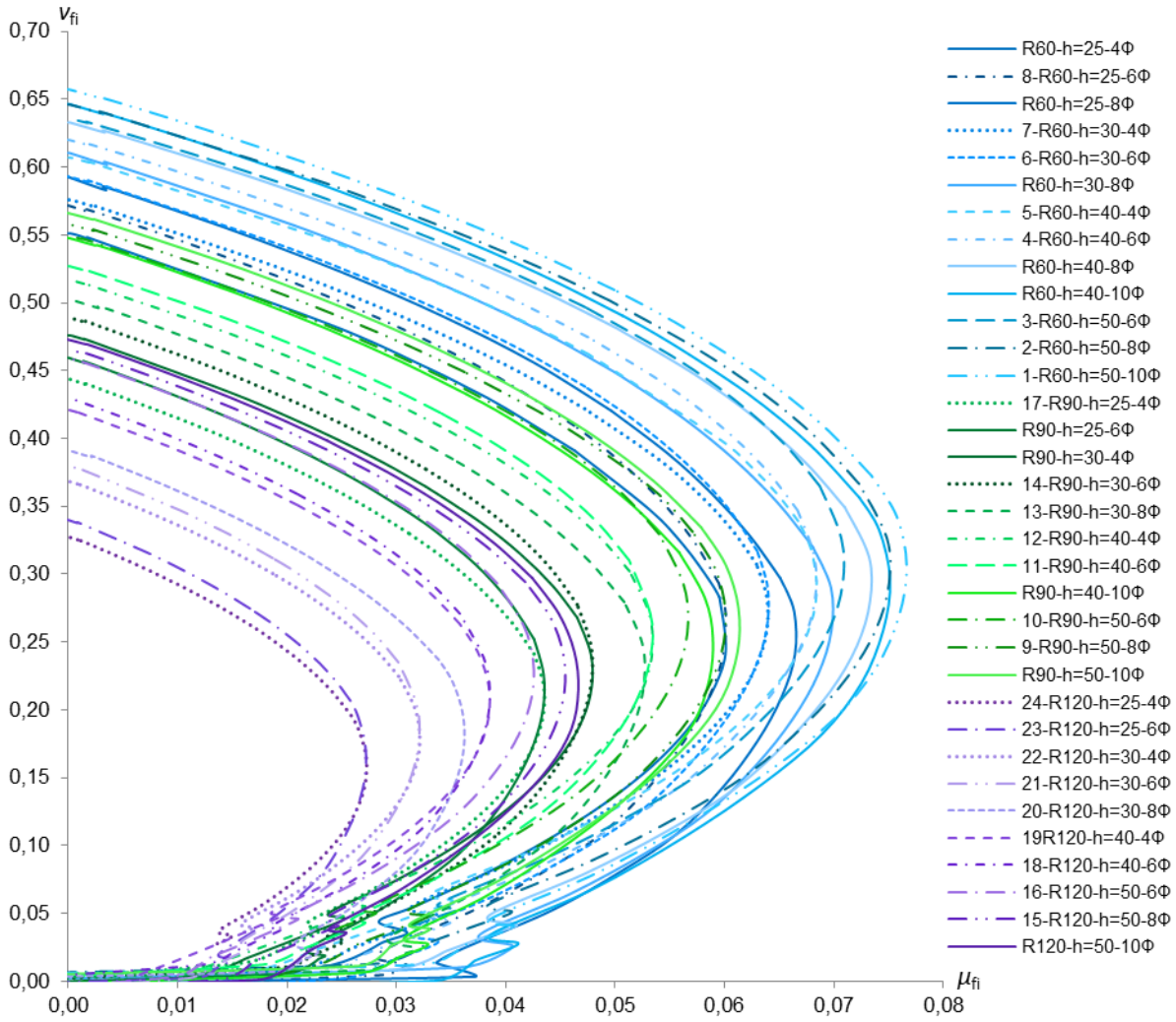


Figura A7.9 - Diagramas de interação correspondentes às secções previstas com *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*12-*Φ*6, para a construção do Gráfico 5.

Quadro A7.8 - Curvas definitivas adotadas para os diferentes diagramas de interação, a utilizar na verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão *b*=250mm, recobrimento de 35mm, armadura longitudinal principal *Φ*12 e cintas *Φ*6, que constituem o Gráfico 5.

Caraterísticas da secção			R60		R90		R120	
b [cm]	*h* [cm]	Armadura longitudinal	Diagrama considerado	Curva	Diagrama considerado	Curva	Diagrama considerado	Curva
25	25	4Φ12	R90-25x50-6Ø12	10	R90-25x25-4Ø12	17	R120-25x25-4Ø12	24
		6Φ12	R60-25x25-6Ø12 c/ R90-25x50-10Ø12	8	R120-25x50-6Ø12	16	R120-25x25-6Ø12	23
		8Φ12	R60-25x30-6Ø12	6	R90-25x30-6Ø12	14	R120-25x30-6Ø12	21
	30	4Φ12	R60-25x30-4Ø12	7	R120-25x50-8Ø12	15	R120-25x30-4Ø12	22
		6Φ12	R60-25x30-6Ø12	6	R90-25x30-6Ø12	14	R120-25x30-6Ø12	21
		8Φ12	R60-25x40-4Ø12 c/ 25x30-8Ø12	5	R90-25x30-8Ø12	13	R120-25x30-8Ø12	20
	40	4Φ12	R60-25x40-4Ø12 c/ 25x30-8Ø12	5	R90-25x40-4Ø12	12	R120-25x40-4Ø12	19
		6Φ12	R60-25x40-6Ø12	4	R90-25x40-6Ø12	11	R120-25x40-6Ø12	18
		8Φ12	R60-25x50-6Ø12	3	R90-25x50-6Ø12	10	R120-25x50-6Ø12	16
		10Φ12	R60-25x50-8Ø12 c/ 25x40-10Ø12	2	R90-25x50-6Ø12	10	R120-25x50-6Ø12	16
	50	6Φ12	R60-25x50-6Ø12	3	R90-25x50-6Ø12	10	R120-25x50-6Ø12	16
		8Φ12	R60-25x50-8Ø12 c/ 25x40-10Ø12	2	R90-25x50-8Ø12	9	R120-25x50-8Ø12	15
		10Φ12	R60-25x50-10Ø12	1	R60-25x25-6Ø12 c/ R90-25x50-10Ø12	8	R120-25x50-8Ø12	15

A7.2.3.6. Diagramas de interação que serviram de base para o desenho do Gráfico 6

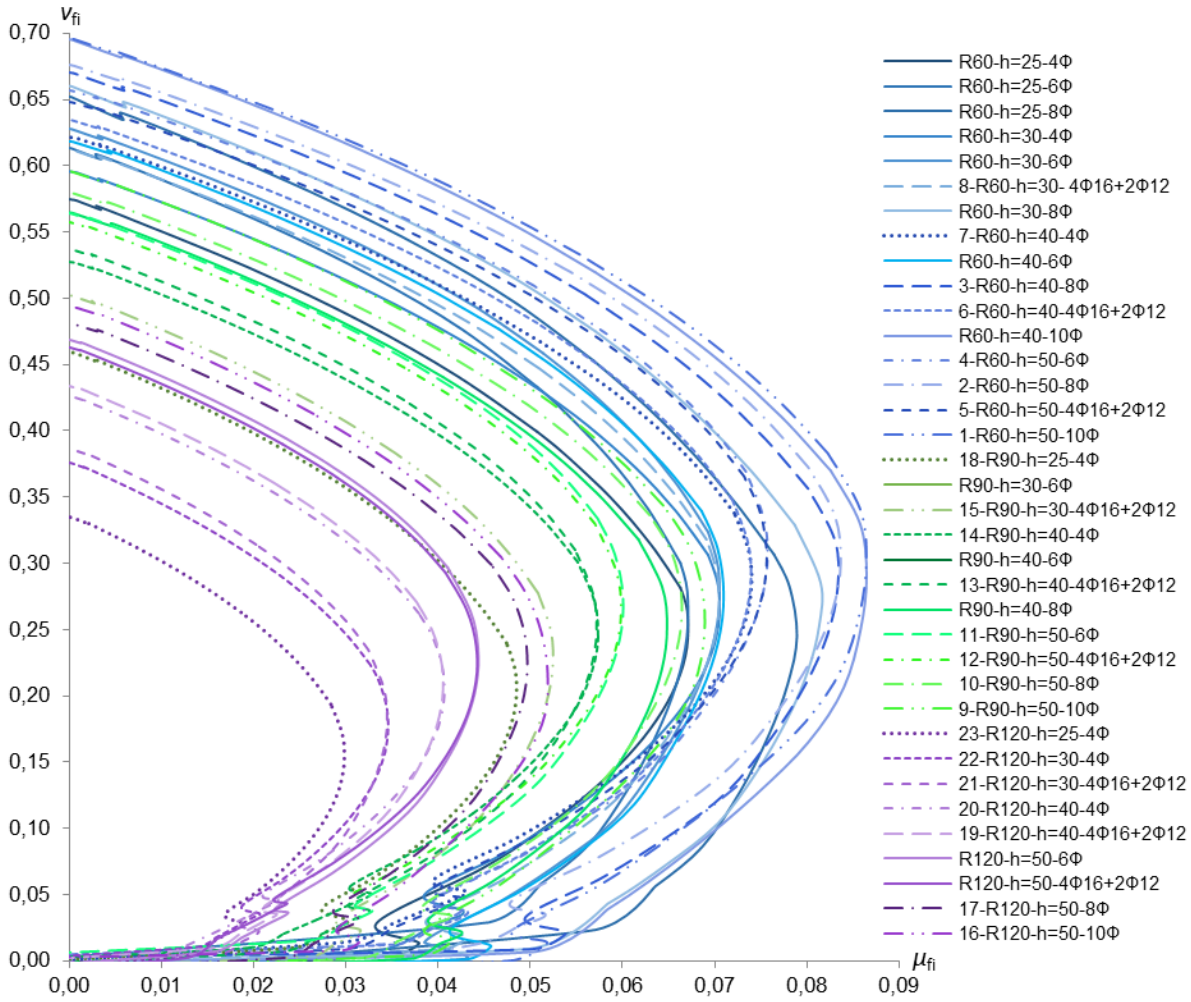


Figura A7.10 - Diagramas de interação correspondentes às secções previstas com *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*16-*Φ*6, para a construção do Gráfico 6.

Quadro A7.9 - Curvas definitivas adotadas para os diferentes diagramas de interação, a utilizar na verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão *b*=250mm, recobrimento de 35mm, armadura longitudinal principal *Φ*16 e cintas *Φ*6, que constituem o Gráfico 6.

Caraterísticas da secção			R60		R90		R120	
b [cm]	*h* [cm]	Armadura longitudinal	Diagrama considerado	Curva	Diagrama considerado	Curva	Diagrama considerado	Curva
25	25	4Φ16	R90-25x50-6Ø16	11	R90-25x25-4Ø16 c/ R120-25x50-4Ø16+2Ø12	18	R120-25x25-4Ø16	23
		6Φ16	R90-25x50-6Ø16	11	R90-25x25-4Ø16 c/ R120-25x50-4Ø16+2Ø12	18	R120-25x25-4Ø16	23
		8Φ16	R60-25x40-4Ø16+2Ø12	6	R90-25x40-4Ø16+2Ø12	13	R120-25x40-4Ø16+2Ø12	19
	30	4Φ16	R90-25x50-10Ø16	9	R120-25x50-10Ø16	16	R120-25x30-4Ø16	22
		6Φ16	R60-25x30-4Ø16+2Ø12	8	R90-25x30-4Ø16+2Ø12	15	R120-25x30-4Ø16+2Ø12	21
		8Φ16	R60-25x50-6Ø16	4	R90-25x50-6Ø16	11	R90-25x25-4Ø16 c/ R120-25x50-4Ø16+2Ø12	18
		4Φ16+2Φ12	R60-25x30-4Ø16+2Ø12	8	R90-25x30-4Ø16+2Ø12	15	R120-25x30-4Ø16+2Ø12	21
	40	4Φ16	R60-25x40-4Ø16	7	R90-25x40-4Ø16	14	R120-25x40-4Ø16	20
		6Φ16	R60-25x30-4Ø16+2Ø12	8	R90-25x30-4Ø16+2Ø12	15	R120-25x30-4Ø16+2Ø12	21
		8Φ16	R60-25x40-8Ø16	3	R90-25x50-6Ø16	11	R90-25x25-4Ø16 c/ R120-25x50-4Ø16+2Ø12	18
		10Φ16	R60-25x50-10Ø16	1	R90-25x50-10Ø16	9	R120-25x50-10Ø16	16
		4Φ16+2Φ12	R60-25x40-4Ø16+2Ø12	6	R90-25x40-4Ø16+2Ø12	13	R120-25x40-4Ø16+2Ø12	19
	50	6Φ16	R60-25x50-6Ø16	4	R90-25x50-6Ø16	11	R90-25x25-4Ø16 c/ R120-25x50-4Ø16+2Ø12	18
		8Φ16	R60-25x50-8Ø16	2	R90-25x50-8Ø16	10	R120-25x50-8Ø16	17
		10Φ16	R60-25x50-10Ø16	1	R90-25x50-10Ø16	9	R120-25x50-10Ø16	16
		4Φ16+2Φ12	R60-25x50-4Ø16+2Ø12	5	R90-25x50-4Ø16+2Ø12	12	R90-25x25-4Ø16 c/ R120-25x50-4Ø16+2Ø12	18

A7.2.3.7. Diagramas de interação que serviram de base para o desenho do Gráfico 7

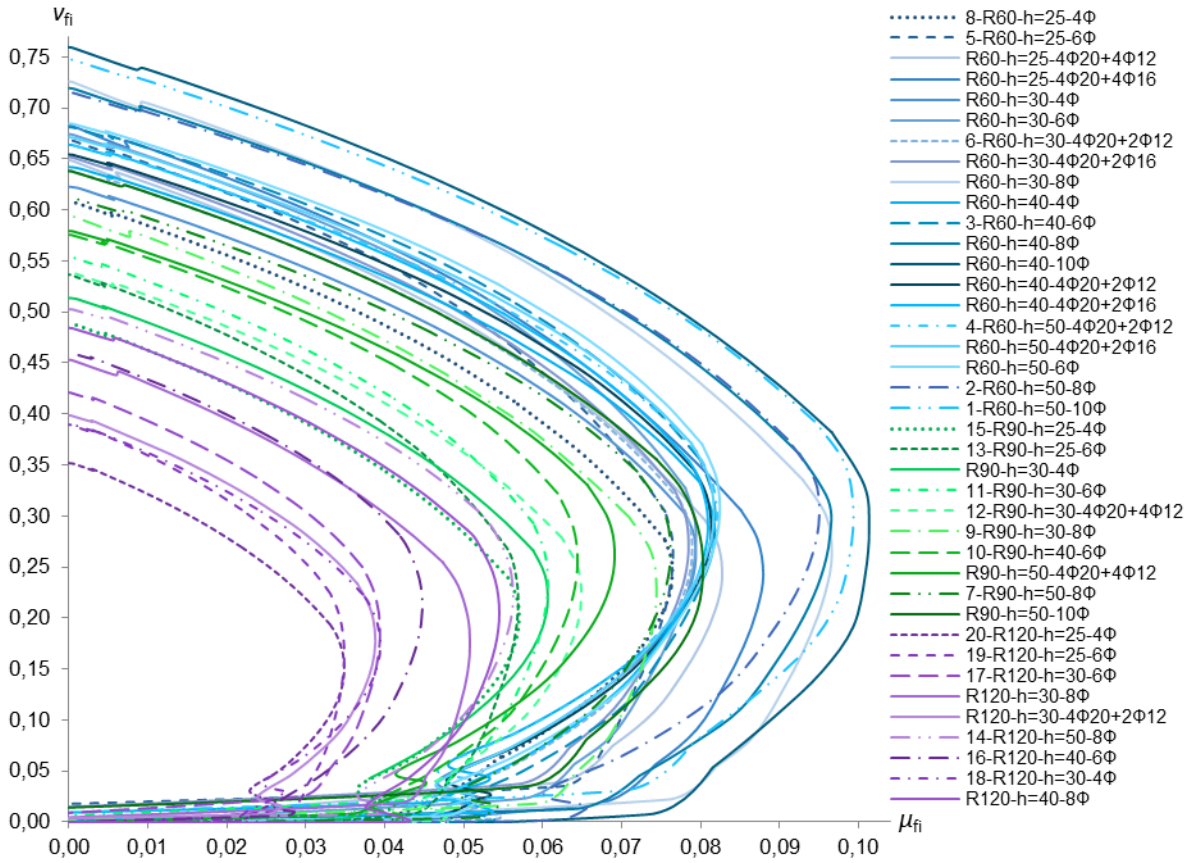


Figura A7.11 - Diagramas de interação correspondentes às secções previstas com *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*20-*Φ*6, para a construção do Gráfico 7.

Quadro A7.10 - Curvas definitivas adotadas para os diferentes diagramas de interação, a utilizar na verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão *b*=250mm, recobrimento de 35mm, armadura longitudinal principal *Φ*20 e cintas *Φ*6, que constituem o Gráfico 7.

Caraterísticas da secção			R60		R90		R120	
b [cm]	*h* [cm]	Armadura longitudinal	Diagrama considerado	Curva	Diagrama considerado	Curva	Diagrama considerado	Curva
25	25	4Φ20	R60-25x25-4Ø20	8	R90-25x25-4Ø20	15	R120-25x25-4Ø20	20
		6Φ20	R60-25x25-6Ø20	5	R90-25x25-6Ø20	13	R120-25x25-6Ø20	19
		4Φ20+4Φ12	R60-25x30-4Ø20+2Ø12	6	R90-25x30-4Ø20+2Ø12	12	R120-25x30-4Ø20	18
		4Φ20+4Φ16	R60-25x50-4Ø20+2Ø12 c/ 25x30-6Ø20	4	R90-25x30-6Ø20	11	R120-25x30-6Ø20	17
	30	4Φ20	R90-25x50-8Ø20	7	R120-25x50-8Ø20	14	R120-25x30-4Ø20	18
		6Φ20	R60-25x50-4Ø20+2Ø12 c/ 25x30-6Ø20	4	R90-25x30-6Ø20	11	R120-25x30-6Ø20	17
		8Φ20	R60-25x50-8Ø20 c/ 25x30-8Ø20	2	R90-25x30-8Ø20	9	R120-25x40-6Ø20 c/ 25x30-8Ø20	16
		4Φ20+2Φ12	R60-25x30-4Ø20+2Ø12	6	R90-25x30-4Ø20+2Ø12	12	R120-25x30-4Ø20	18
		4Φ20+2Φ16	R60-25x30-4Ø20+2Ø12	6	R90-25x30-4Ø20+2Ø12	12	R120-25x30-4Ø20	18
	40	4Φ20	R60-25x30-4Ø20+2Ø12	6	R90-25x30-4Ø20+2Ø12	12	R120-25x30-4Ø20	18
		6Φ20	R60-25x40-6Ø20	3	R90-25x40-6Ø20	10	R120-25x40-6Ø20 c/ 25x30-8Ø20	16
		8Φ20	R60-25x50-8Ø20 c/ 25x30-8Ø20	2	R90-25x50-8Ø20	7	R120-25x50-8Ø20	14
		10Φ20	R60-25x50-10Ø20	1	R60-25x30-4Ø20+2Ø12	6	R90-25x30-4Ø20+2Ø12	12
		4Φ20+2Φ12	R60-25x30-4Ø20+2Ø12	6	R90-25x30-4Ø20+2Ø12	12	R120-25x30-4Ø20	18
		4Φ20+2Φ16	R60-25x50-4Ø20+2Ø12 c/ 25x30-6Ø20	4	R90-25x30-6Ø20	11	R120-25x30-6Ø20	17
	50	6Φ20	R60-25x40-6Ø20	3	R90-25x40-6Ø20	10	R120-25x40-6Ø20 c/ 25x30-8Ø20	16
		8Φ20	R60-25x50-8Ø20 c/ 25x30-8Ø20	2	R90-25x50-8Ø20	7	R120-25x50-8Ø20	14
		10Φ20	R60-25x50-10Ø20	1	R60-25x30-4Ø20+2Ø12	6	R90-25x30-4Ø20+2Ø12	12
		4Φ20+2Φ12	R60-25x50-4Ø20+2Ø12 c/ 25x30-6Ø20	4	R90-25x40-6Ø20	10	R120-25x40-6Ø20 c/ 25x30-8Ø20	16
		4Φ20+2Φ16	R60-25x50-4Ø20+2Ø12 c/ 25x30-6Ø20	4	R90-25x40-6Ø20	10	R120-25x40-6Ø20 c/ 25x30-8Ø20	16

A7.2.3.8. Diagramas de interação que serviram de base para o desenho do Gráfico 8

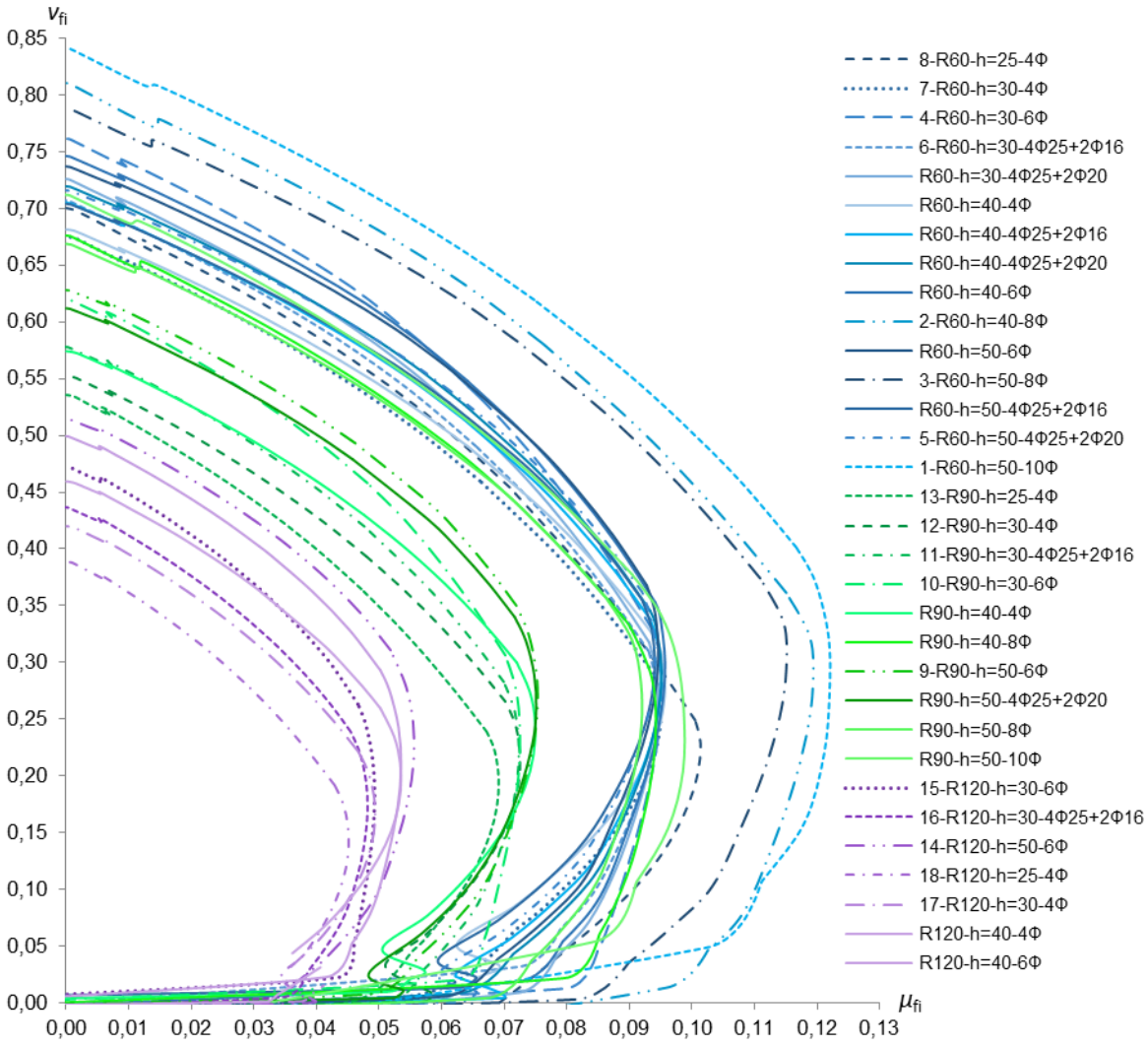


Figura A7.12 - Diagramas de interação correspondentes às secções previstas com *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*25-*Φ*8, para a construção do Gráfico 8.

Quadro A7.11 - Curvas definitivas adotadas para os diferentes diagramas de interação, a utilizar na verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão *b*=250mm, recobrimento de 35mm, armadura longitudinal principal *Φ*25 e cintas *Φ*8, que constituem o Gráfico 8.

Caraterísticas da secção			R60		R90		R120	
b [cm]	*h* [cm]	Armadura longitudinal	Diagrama considerado	Curva	Diagrama considerado	Curva	Diagrama considerado	Curva
25	25	4Φ25	R60-25x25-4Ø25	8	R90-25x25-4Ø25	13	R120-25x25-4Ø25	18
	30	4Φ25	R60-25x30-4Ø25	7	R90-25x30-4Ø25	12	R120-25x30-4Ø25	17
		6Φ25	R60-25x30-6Ø25	4	R90-25x30-6Ø25	10	R120-25x30-6Ø25	15
		4Φ25+2Φ16	R60-25x30-4Ø25+2Ø16	6	R90-25x30-4Ø25+2Ø16	11	R120-25x30-4Ø25+2Ø16	16
		4Φ25+2Φ20	R60-25x30-4Ø25+2Ø16	6	R90-25x30-4Ø25+2Ø16	11	R120-25x30-4Ø25+2Ø16	16
	40	4Φ25	R60-25x30-4Ø25	7	R90-25x30-4Ø25+2Ø16	11	R120-25x30-4Ø25+2Ø16	16
		6Φ25	R60-25x50-4Ø25+2Ø20	5	R90-25x50-6Ø25	9	R120-25x50-6Ø25	14
		8Φ25	R60-25x40-8Ø25	2	R60-25x30-4Ø25	7	R90-25x30-4Ø25	12
		4Φ25+2Φ16	R60-25x30-4Ø25+2Ø16	6	R90-25x30-4Ø25+2Ø16	11	R120-25x30-4Ø25+2Ø16	16
		4Φ25+2Φ20	R60-25x50-4Ø25+2Ø20	5	R90-25x30-6Ø25	10	R120-25x30-6Ø25	15
	50	6Φ25	R60-25x50-4Ø25+2Ø20	5	R90-25x50-6Ø25	9	R120-25x50-6Ø25	14
		8Φ25	R60-25x50-8Ø25	3	R60-25x30-4Ø25	7	R90-25x30-4Ø25	12
		10Φ25	R60-25x50-10Ø25	1	R60-25x30-4Ø25+2Ø16	6	R90-25x30-4Ø25+2Ø16	11
		4Φ25+2Φ16	R60-25x30-4Ø25+2Ø16	6	R90-25x30-4Ø25+2Ø16	11	R120-25x30-4Ø25+2Ø16	16
		4Φ25+2Φ20	R60-25x50-4Ø25+2Ø20	5	R90-25x30-6Ø25	10	R120-25x30-6Ø25	15

A7.2.3.9. Diagramas de interação que serviram de base para o desenho do Gráfico 9

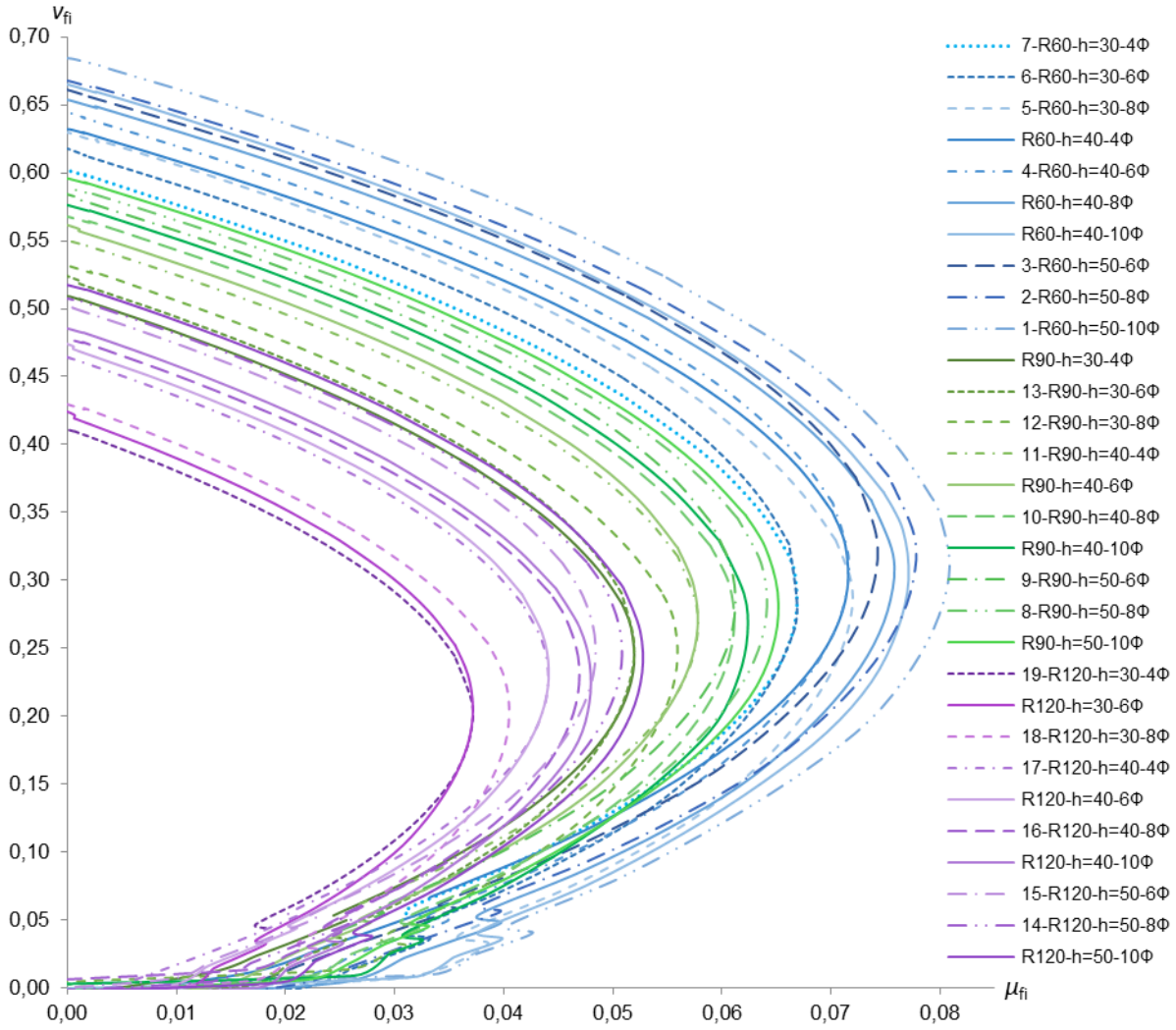


Figura A7.13 - Diagramas de interação correspondentes às secções previstas com *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*12-*Φ*6, para a construção do Gráfico 9.

Quadro A7.12 - Curvas definitivas adotadas para os diferentes diagramas de interação, a utilizar na verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão *b*=300mm, recobrimento de 35mm, armadura longitudinal principal *Φ*12 e cintas *Φ*6, que constituem o Gráfico 9.

Caraterísticas da secção			R60		R90		R120	
b [cm]	*h* [cm]	Armadura longitudinal	Diagrama considerado	Curva	Diagrama considerado	Curva	Diagrama considerado	Curva
30	30	4Φ12	R60-30x30-4Ø12	7	R120-30x50-8Ø12	14	R120-30x30-4Ø12	19
		6Φ12	R60-30x30-6Ø12	6	R90-30x30-6Ø12	13	R120-30x30-4Ø12	19
		8Φ12	R60-30x30-8Ø12	5	R90-30x30-8Ø12	12	R120-30x30-8Ø12	18
	40	4Φ12	R60-30x30-8Ø12	5	R90-30x40-4Ø12	11	R120-30x40-4Ø12	17
		6Φ12	R60-30x40-6Ø12	4	R90-30x40-4Ø12	11	R120-30x40-4Ø12	17
		8Φ12	R60-30x50-6Ø12 c/ R60-30x40-8Ø12	3	R90-30x40-8Ø12	10	R120-30x40-8Ø12	16
		10Φ12	R60-30x50-6Ø12 c/ R60-30x40-8Ø12	3	R90-30x40-8Ø12	10	R120-30x40-8Ø12	16
	50	6Φ12	R60-30x50-6Ø12 c/ R60-30x40-8Ø12	3	R90-30x50-6Ø12	9	R120-30x50-6Ø12	15
		8Φ12	R60-30x50-8Ø12	2	R90-30x50-8Ø12	8	R120-30x50-8Ø12	14
		10Φ12	R60-30x50-10Ø12	1	R90-30x50-8Ø12	8	R90-30x30-6Ø12	13

A7.2.3.10. Diagramas de interação que serviram de base para o desenho do Gráfico 10

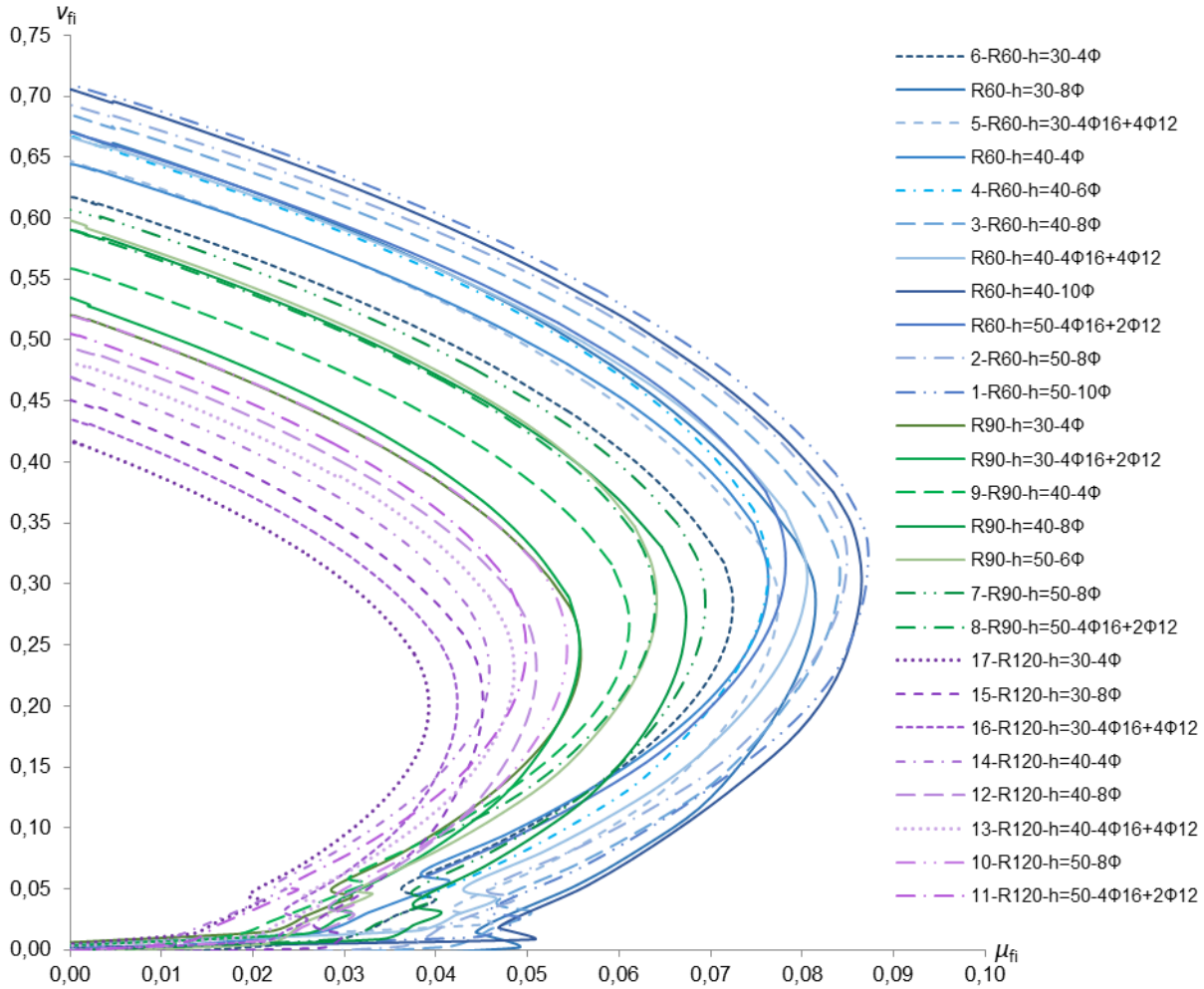


Figura A7.14 - Diagramas de interação correspondentes às secções previstas com *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*16-*Φ*6, para a construção do Gráfico 10.

Quadro A7.13 - Curvas definitivas adotadas para os diferentes diagramas de interação, a utilizar na verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão *b*=300mm, recobrimento de 35mm, armadura longitudinal principal *Φ*16 e cintas *Φ*6, que constituem o Gráfico 10.

Caraterísticas da secção			R60		R90		R120	
b [cm]	*h* [cm]	Armadura longitudinal	Diagrama considerado	Curva	Diagrama considerado	Curva	Diagrama considerado	Curva
30	30	4Φ16	R60-30x30-4Ø16	6	R120-30x50-8Ø16	10	R120-30x30-4Ø16	17
		6Φ16	R60-30x30-4Ø16	6	R120-30x50-8Ø16	10	R120-30x30-4Ø16	17
		8Φ16	R60-30x40-6Ø16 c/ R60-30x50-4Φ16+2Φ12	4	R90-30x50-4Ø16+2Φ12	8	R120-30x30-8Ø16 c/ Curva 14	15
		4Φ16+2Φ12	R60-30x30-4Ø16	6	R120-30x50-8Ø16	10	R120-30x30-4Ø16	17
		4Φ16+4Φ12	R60-30x30-4Φ16+4Φ12 c/ Curva 4	5	R90-30x50-4Ø16+2Φ12	8	R120-30x30-4Ø16+4Φ12 c/ Curva 15	16
	40	4Φ16	R60-30x30-4Φ16+4Φ12 c/ Curva 4	5	R90-30x40-4Ø16	9	R120-30x40-4Ø16	14
		6Φ16	R60-30x40-6Ø16 c/ R60-30x50-4Φ16+2Φ12	4	R90-30x40-4Ø16	9	R120-30x40-4Ø16	14
		8Φ16	R60-30x40-8Ø16 c/ Curva 2	3	R90-30x50-4Ø16+2Φ12	8	R120-30x40-8Ø16 c/ Curva 11	12
		10Φ16	R60-30x50-8Ø16	2	R90-30x50-4Ø16+2Φ12	8	R120-30x40-8Ø16 c/ Curva 11	12
		4Φ16+2Φ12	R60-30x40-6Ø16 c/ R60-30x50-4Φ16+2Φ12	4	R90-30x40-4Ø16	9	R120-30x40-4Ø16	14
		4Φ16+4Φ12	R60-30x40-6Ø16 c/ R60-30x50-4Φ16+2Φ12	4	R90-30x50-4Ø16+2Φ12	8	R120-30x40-4Φ16+4Φ12 c/ Curva 11	13
	50	6Φ16	R60-30x40-6Ø16 c/ R60-30x50-4Φ16+2Φ12	4	R90-30x50-4Ø16+2Φ12	8	R120-30x50-4Ø16+2Φ12	11
		8Φ16	R60-30x50-8Ø16	2	R90-30x50-8Ø16	7	R120-30x50-8Ø16	10
		10Φ16	R60-30x50-10Ø16	1	R90-30x50-8Ø16	7	R120-30x50-8Ø16	10
		4Φ16+2Φ12	R60-30x40-6Ø16 c/ R60-30x50-4Φ16+2Φ12	4	R90-30x50-4Ø16+2Φ12	8	R120-30x50-4Ø16+2Φ12	11

A7.2.3.11. Diagramas de interação que serviram de base para o desenho do Gráfico 12

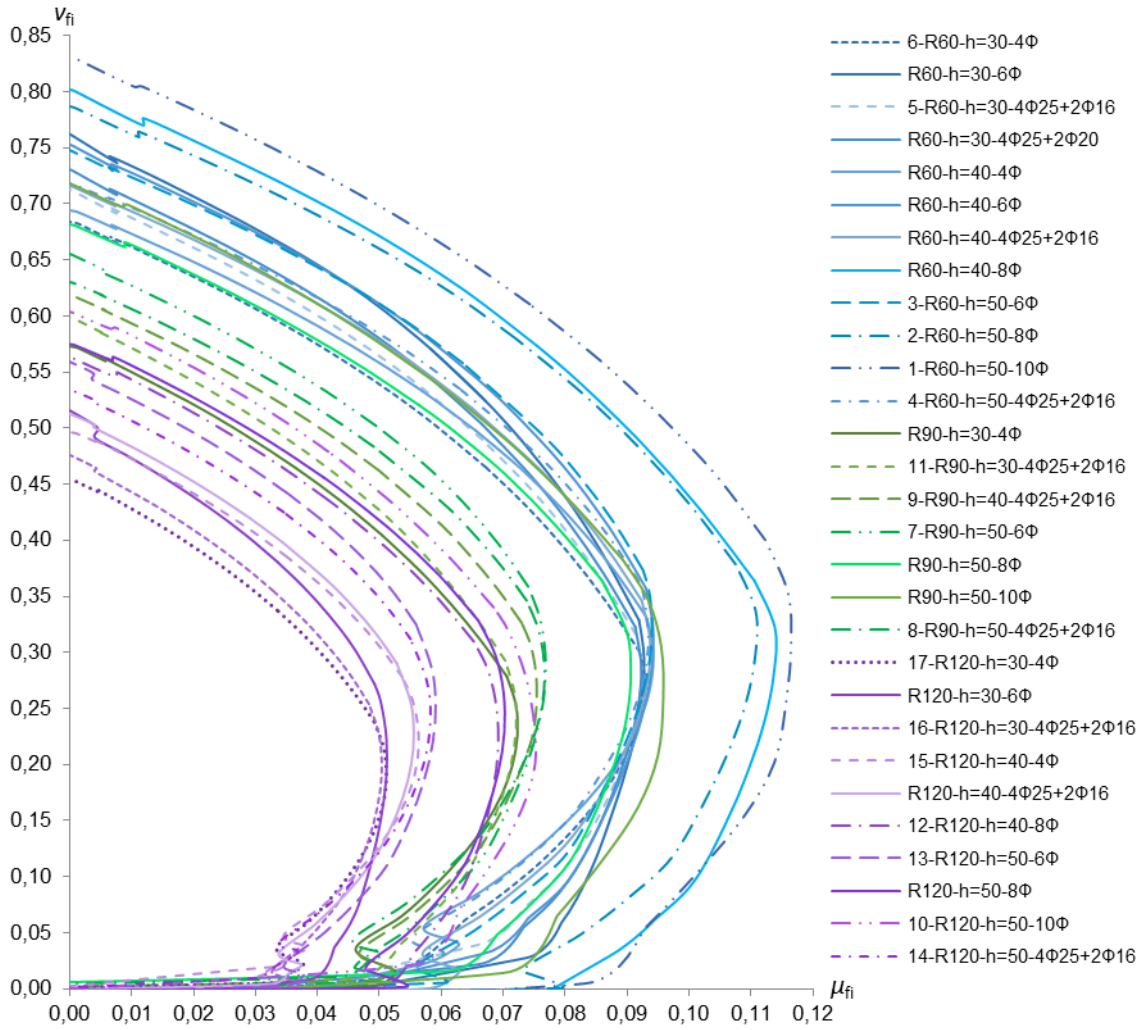


Figura A7.15 - Diagramas de interação correspondentes às secções previstas com *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*25-*Φ*8, para a construção do Gráfico 12.

Quadro A7.14 - Curvas definitivas adotadas para os diferentes diagramas de interação, a utilizar na verificação da resistência ao fogo de pilares com o valor da menor dimensão *b*=300mm, recobrimento de 35mm, armadura longitudinal principal *Φ*25 e cintas *Φ*8, que constituem o Gráfico 12.

Caraterísticas da secção			R60		R90		R120	
b [cm]	*h* [cm]	Armadura longitudinal	Diagrama considerado	Curva	Diagrama considerado	Curva	Diagrama considerado	Curva
30	30	4Φ25	R60-30x30-4Ø25	6	R120-30x40-8Ø25	12	R120-30x30-4Ø25	17
		6Φ25	R60-30x50-4Φ25+2Φ16	4	R120-30x40-8Ø25	12	R120-30x30-4Φ25+2Φ16	16
		4Φ25+2Φ16	R60-30x30-4Φ25+2Φ16	5	R90-30x30-4Φ25+2Φ16	11	R120-30x30-4Φ25+2Φ16	16
		4Φ25+2Φ20	R60-30x30-4Φ25+2Φ16	5	R90-30x30-4Φ25+2Φ16	11	R120-30x30-4Φ25+2Φ16	16
	40	4Φ25	R60-30x30-4Ø25	6	R120-30x40-8Ø25	12	R120-30x40-4Ø25	15
		6Φ25	R60-30x50-6Ø25	3	R90-30x50-6Ø25	7	R120-30x40-4Ø25	15
		8Φ25	R60-30x50-8Ø25	2	R60-30x30-4Ø25	6	R120-30x40-8Ø25	12
		4Φ25+2Φ16	R60-30x30-4Φ25+2Φ16	5	R90-30x40-4Φ25+2Φ16	9	R120-30x40-4Ø25	15
		4Φ25+2Φ20	R60-30x30-4Φ25+2Φ16	5	R90-30x40-4Φ25+2Φ16	9	R120-30x40-4Ø25	15
	50	6Φ25	R60-30x50-6Ø25	3	R90-30x50-6Ø25	7	R120-30x50-6Ø25	13
		8Φ25	R60-30x50-8Ø25	2	R60-30x30-4Ø25	6	R120-30x40-8Ø25	12
		10Φ25	R60-30x50-10Ø25	1	R60-30x50-4Φ25+2Φ16	4	R120-30x50-10Ø25	10
		4Φ25+2Φ16	R60-30x50-4Φ25+2Φ16	4	R90-30x50-4Φ25+2Φ16	8	R120-30x50-4Φ25+2Φ16	14
		4Φ25+2Φ20	R60-30x50-4Φ25+2Φ16	4	R90-30x50-4Φ25+2Φ16	8	R120-30x50-4Φ25+2Φ16	14

A7.3. APLICAÇÃO DOS GRÁFICOS DEFINITIVOS AOS PILARES COM *b*=250mm E *b*=300mm

Utilizaram-se os gráficos definitivos apresentados no Subcapítulo 7.4.1 do Capítulo 7 para verificar a resistência ao fogo dos pilares com valores da menor dimensão *b*=20cm, *b*=25cm e *b*=30cm, inseridos nas estruturas dos sessenta e três edifícios criteriosamente selecionados como se indica no Capítulo 3. A aplicação aos pilares com *b*=20cm foi apresentada detalhadamente no Subcapítulo 7.5.2 do Capítulo 7, expondo-se, agora, a aplicação dos referidos gráficos aos pilares com *b*=25cm e com *b*=30cm.

Organizaram-se quadros semelhantes aos apresentados no referido subcapítulo: os Quadros A7.15 a A7.17, A7.19 a A7.21, A7.23 a A7.25, …, A7.43 a A7.45, onde se mostram os resultados detalhados da aplicação de cada um dos gráficos aos pilares analisados (as células com preenchimento a cinza correspondem aos pilares que não verificam a resistência ao fogo), e os Quadros A7.18, A7.22, A7.26,…A7.46, com os resultados totais dos pilares que verificam a resistência ao fogo pela aplicação de cada gráfico, para cada escalão de resistência ao fogo e valor da maior dimensão da secção transversal, *h*. As Figuras A7.16 a A7.23 ilustram a aplicação dos gráficos propostos, sinalizando-se com um quadrado vermelho cada pilar que não verifica a resistência ao fogo requerida.

Quadro A7.15 - Resultados da aplicação do Gráfico 5 aos pilares analisados no escalão R60, com *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*12 - *Φ*6.

R60 - *b*=250mm - *Φ*12 - *Φ*6							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $N_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P3.10	6	25x25	8Φ12	2	2	0,026	0,020
P5.10	6	25x25	8Φ12	2	2	0,059	0,010
P6.10	6	25x25	8Φ12	2	2	0,016	0,020
P7.10	6	25x25	8Φ12	2	2	0,053	0,010
P8.10	6	25x25	8Φ12	2	2	0,026	0,020
P18.10	6	25x25	8Φ12	2	2	0,017	0,001
P36.10	6	25x25	8Φ12	2	2	0,016	0,001
P54.10	6	25x25	8Φ12	2	2	0,060	0,033
P63.10	6	25x25	8Φ12	2	2	0,026	0,002
P69.10	6	25x25	8Φ12	2	2	0,026	0,016
P70.10	6	25x25	8Φ12	2	2	0,052	0,003
P71.10	6	25x25	8Φ12	2	2	0,026	0,016
P1.1	7	25x35	4Φ12+2Φ10	2	2	0,025	0,014
P1.2	7	25x35	4Φ12+2Φ10	6	6	0,210	0,043
P3	7	25x35	4Φ12	6	6	0,262	0,031
P45,46	6	25x35	6Φ12	2	2	0,011	0,013
	6	25x35	6Φ12	2	0	0,059	0,068
P51	1	25x70	10Φ12	2	2	0,102	0,006

Quadro A7.16 - Resultados da aplicação do Gráfico 5 aos pilares analisados no escalão R90, com *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*12 - *Φ*6.

R90 - *b*=250mm - *Φ*12 - *Φ*6							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $N_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P17	9	25x60	8Φ12	3	3	0,005	0,017
P5.6	10	25x60	6Φ12	1	1	0,209	0,007
P5.7	10	25x60	6Φ12	1	1	0,169	0,006
P6.4	10	25x60	6Φ12	1	1	0,033	0,004
P6.5	10	25x60	6Φ12	1	1	0,039	0,004
P6.6	10	25x60	6Φ12	1	1	0,033	0,005
P7.6	10	25x60	6Φ12	1	0	0,207	0,007

Quadro A7.16 - Continuação - Resultados da aplicação do Gráfico 5 aos pilares analisados no escalão R90, com *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*12 - *Φ*6.

R90 - *b*=250mm - *Φ*12 - *Φ*6							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $N_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P7.7	10	25x60	6Φ12	1	0	0,168	0,006
P54.6	10	25x60	6Φ12	1	0	0,222	0,007
P54.7	10	25x60	6Φ12	1	0	0,180	0,006
P54.9	10	25x60	6Φ12	1	1	0,051	0,008
P69.7	10	25x60	6Φ12	1	1	0,020	0,003
P70.5	10	25x60	6Φ12	1	0	0,240	0,008
P70.6	10	25x60	6Φ12	1	0	0,203	0,007
P70.7	10	25x60	6Φ12	1	0	0,164	0,005
P71.6	10	25x60	6Φ12	1	1	0,024	0,003
P71.7	10	25x60	6Φ12	1	1	0,020	0,003
P3.7	9	25x60	8Φ12	1	1	0,020	0,005
P3.8	9	25x60	8Φ12	1	1	0,015	0,005
P3.9	9	25x60	8Φ12	1	1	0,017	0,004
P5.4	9	25x60	8Φ12	1	0	0,313	0,010
P5.5	9	25x60	8Φ12	1	0	0,246	0,008
P6.7	9	25x60	8Φ12	1	1	0,026	0,005
P6.8	9	25x60	8Φ12	1	1	0,020	0,004
P6.9	9	25x60	8Φ12	1	1	0,013	0,004
P7.4	9	25x60	8Φ12	1	0	0,311	0,010
P7.5	9	25x60	8Φ12	1	0	0,245	0,008
P8.7	9	25x60	8Φ12	1	1	0,020	0,005
P8.8	9	25x60	8Φ12	1	1	0,016	0,005
P8.9	9	25x60	8Φ12	1	1	0,011	0,005
P54.4	9	25x60	8Φ12	1	0	0,329	0,011
P54.5	9	25x60	8Φ12	1	0	0,261	0,009
P69.8	9	25x60	8Φ12	1	1	0,015	0,003
P69.9	9	25x60	8Φ12	1	1	0,010	0,003
P70.4	9	25x60	8Φ12	1	0	0,305	0,010
P71.8	9	25x60	8Φ12	1	1	0,015	0,003
P71.9	9	25x60	8Φ12	1	1	0,010	0,003
P37	10	25x60	6Φ12	1	1	0,074	0,003
P37	10	25x60	6Φ12	1	1	0,050	0,002
P7.8	10	25x60	6Φ12	1	1	0,068	0,003
P54.8	10	25x60	6Φ12	1	1	0,069	0,004
P69.4	10	25x60	6Φ12	1	1	0,022	0,001
P69.5	10	25x60	6Φ12	1	1	0,029	0,001
P69.6	10	25x60	6Φ12	1	1	0,024	0,002
P70.8	10	25x60	6Φ12	1	1	0,066	0,003
P70.9	10	25x60	6Φ12	1	1	0,044	0,001
P71.4	10	25x60	6Φ12	1	1	0,022	0,001
P71.5	10	25x60	6Φ12	1	1	0,029	0,001
P3.4	9	25x60	8Φ12	1	1	0,022	0,000
P3.5	9	25x60	8Φ12	1	1	0,029	0,001
P3.6	9	25x60	8Φ12	1	1	0,024	0,001
P7.9	9	25x60	8Φ12	1	1	0,045	0,002
P8.4	9	25x60	8Φ12	1	1	0,023	0,001
P8.5	9	25x60	8Φ12	1	1	0,029	0,001
P8.6	9	25x60	8Φ12	1	1	0,025	0,001
P18.4	9	25x60	8Φ12	1	1	0,022	0,001
P18.5	9	25x60	8Φ12	1	1	0,028	0,001
P18.6	9	25x60	8Φ12	1	1	0,024	0,001
P18.7	9	25x60	8Φ12	1	1	0,019	0,001
P18.8	9	25x60	8Φ12	1	1	0,014	0,000
P18.9	9	25x60	8Φ12	1	1	0,009	0,000
P36.4	9	25x60	8Φ12	1	1	0,032	0,001

Quadro A7.16 - Continuação - Resultados da aplicação do Gráfico 5 aos pilares analisados no escalão R90, com *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*12 - *Φ*6.

R90 - *b*=250mm - *Φ*12 - *Φ*6							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $N_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P36.5	9	25x60	8Φ12	1	1	0,039	0,001
P36.6	9	25x60	8Φ12	1	1	0,032	0,001
P36.7	9	25x60	8Φ12	1	1	0,025	0,001
P36.8	9	25x60	8Φ12	1	1	0,018	0,001
P36.9	9	25x60	8Φ12	1	1	0,012	0,000
P63.4	9	25x60	8Φ12	1	1	0,022	0,001
P63.5	9	25x60	8Φ12	1	1	0,030	0,001
P63.6	9	25x60	8Φ12	1	1	0,024	0,001
P63.7	9	25x60	8Φ12	1	1	0,021	0,001
P63.8	9	25x60	8Φ12	1	1	0,016	0,001
P63.9	9	25x60	8Φ12	1	1	0,017	0,001

Quadro A7.17 - Resultados da aplicação do Gráfico 5 aos pilares analisados no escalão R120, com *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*12 - *Φ*6.

R120 - *b*=250mm - *Φ*12 - *Φ*6							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $N_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P53,57	21	25x30	6Φ12	4	0	0,140	0,013
P61,62	15	25x50	8Φ12	4	4	0,013	0,002
P43,44	15	25x60	8Φ12	10	10	0,039	0,002

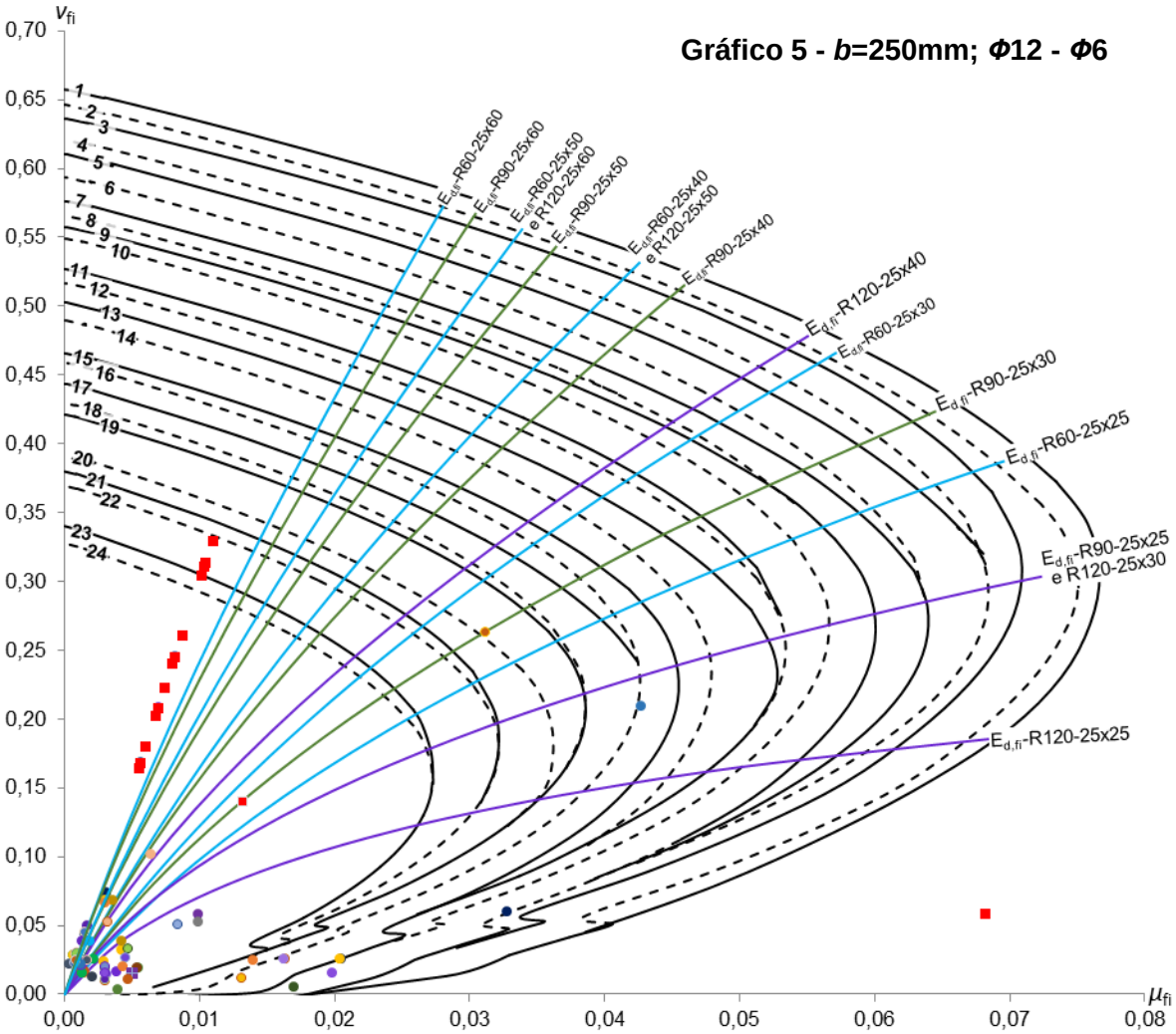


Figura A7.16 - Aplicação do Gráfico 5: verificação da resistência ao fogo dos pilares analisados com *b*=25cm e armadura constituída por *Φ*12-*Φ*6.

Quadro A7.18 - Pilares que verificam a resistência ao fogo pela aplicação do Gráfico 5.

R60				R90				R120			
h [cm]	Número de pilares	Pilares que verificam		*h* [cm]	Número de pilares	Pilares que verificam		*h* [cm]	Número de pilares	Pilares que verificam	
		Nº	%			Nº	%			Nº	%
25	24	24	100,00%	60	75	61	81,33%	30	4	0	0,00%
35	18	16	88,89%	-	-	-	-	50	4	4	100,00%
70	2	2	100,00%	-	-	-	-	60	10	10	100,00%

Quadro A7.19 - Resultados da aplicação do Gráfico 6 aos pilares analisados no escalão R60, com *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*16 - *Φ*6.

R60 - *b*=250mm - *Φ*16 - *Φ*6							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $N_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P19	11	25x25	4Φ16	4	4	0,194	0,055
P1E	8	25x30	4Φ16 + 2Φ12	4	4	0,258	0,039
P26E	8	25x30	4Φ16 + 4Φ12	6	6	0,358	0,043
P27E	8	25x30	6Φ16 + 2Φ12	10	10	0,371	0,047
P4	4	25x35	8Φ16	6	0	0,265	0,015
P4	8	25x35	6Φ16	2	2	0,060	0,043
P4	4	25x35	8Φ16	1	0	0,327	0,019
P5	8	25x35	6Φ16	1	1	0,293	0,069
P16	8	25x35	4Φ16 + 2Φ12	6	6	0,211	0,023
P4.1	2	25x50	8Φ16	2	2	0,162	0,039
P4.2	5	25x50	4Φ16 + 4Φ12	4	4	0,106	0,034

Quadro A7.20 - Resultados da aplicação do Gráfico 6 aos pilares analisados no escalão R90, com *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*16 - *Φ*6.

R90 - *b*=250mm - *Φ*16 - *Φ*6							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $N_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P16	15	25x40	6Φ16	20	20	0,015	0,005
P16.2	11	25x60	6Φ16	4	4	0,237	0,022
P16.3	11	25x60	6Φ16	5	5	0,252	0,018
P16.6	11	25x60	6Φ16	3	3	0,182	0,012
P16.7	11	25x60	6Φ16	5	5	0,261	0,017
P16.10	11	25x60	6Φ16	3	3	0,208	0,025
P16.12	11	25x60	6Φ16	4	4	0,079	0,016
P17	11	25x70	6Φ16	3	3	0,028	0,019

Quadro A7.21 - Resultados da aplicação do Gráfico 6 aos pilares analisados no escalão R120, com *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*16 - *Φ*6.

R120 - *b*=250mm - *Φ*16 - *Φ*6							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $N_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P24	17	25x60	8Φ16	15	15	0,275	0,016

Gráfico 6 - *b*=250mm; *Φ*16 - *Φ*6

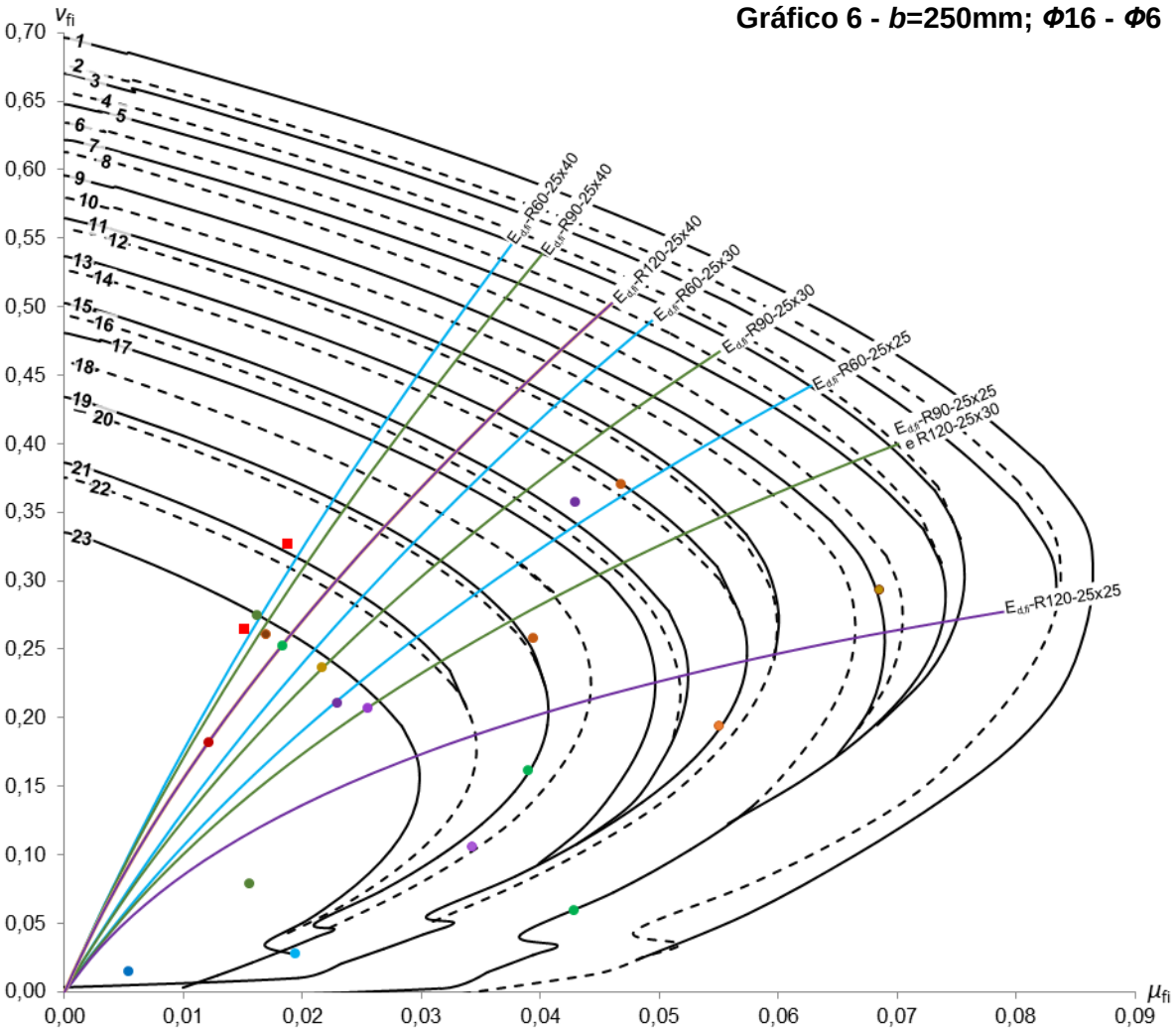


Figura A7.17 - Aplicação do Gráfico 6: verificação da resistência ao fogo dos pilares analisados com *b*=25cm e armadura constituída por *Φ*16-*Φ*6.

Quadro A7.22 - Pilares que verificam a resistência ao fogo pela aplicação do Gráfico 6.

R60				R90				R120			
h [cm]	Número de pilares	Pilares que verificam		*h* [cm]	Número de pilares	Pilares que verificam		*h* [cm]	Número de pilares	Pilares que verificam	
		Nº	%			Nº	%			Nº	%
25	4	4	100,0%	40	20	20	100,0%	60	15	15	100,0%
30	20	20	100,0%	60	24	24	100,0%	-	-	-	-
35	16	9	56,3%	70	3	3	100,0%	-	-	-	-
50	6	6	100,0%	-	-	-	-	-	-	-	-

Quadro A7.23 - Resultados da aplicação do Gráfico 7 aos pilares analisados no escalão R60, com *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*20 - *Φ*6.

R60 - *b*=250mm - *Φ*20 - *Φ*6							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $N_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P6E	4	25x30	6Φ20	12	12	0,400	0,054
P18E	7	25x30	4Φ20	10	10	0,336	0,045
P10E	3	25x40	6Φ20 + 2Φ16	8	8	0,423	0,039
P10E	3	25x40	6Φ20 + 2Φ16	16	16	0,358	0,041
P7	2	25x50	8Φ20	2	2	0,248	0,031
P7	4	25x50	4Φ20 + 4Φ16	2	2	0,218	0,041
P7	2	25x50	8Φ20	4	4	0,149	0,056
P7	1	25x50	10Φ20	2	2	0,430	0,043

Quadro A7.24 - Resultados da aplicação do Gráfico 7 aos pilares analisados no escalão R90, com *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*20 - *Φ*6.

R90 - *b*=250mm - *Φ*20 - *Φ*6							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $N_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P16.1	10	25x60	4Φ20+ 4Φ16	1	1	0,322	0,024
P16.5	10	25x60	6Φ20	1	1	0,287	0,016
P16.8	7	25x60	8Φ20	1	1	0,288	0,025
P16.9	10	25x60	4Φ20+ 2Φ16	3	3	0,285	0,027
P16.11	10	25x60	4Φ20+ 2Φ16	1	1	0,152	0,019
P17	10	25x80	4Φ20 + 8Φ16	1	1	0,414	0,016

Quadro A7.25 - Resultados da aplicação do Gráfico 7 aos pilares analisados no escalão R120, com *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*20 - *Φ*6.

R120 - *b*=250mm - *Φ*20 - *Φ*6							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $N_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P24	18	25x40	4Φ20+ 4Φ12	6	0	0,129	0,002
P35	16	25x60	4Φ20+8Φ16	12	12	0,073	0,036
P24.1	14	25x60	8Φ20	10	10	0,448	0,019
P24.2	12	25x60	12Φ20	7	7	0,196	0,007
P24.3	12	25x60	12Φ20	10	0	0,634	0,021

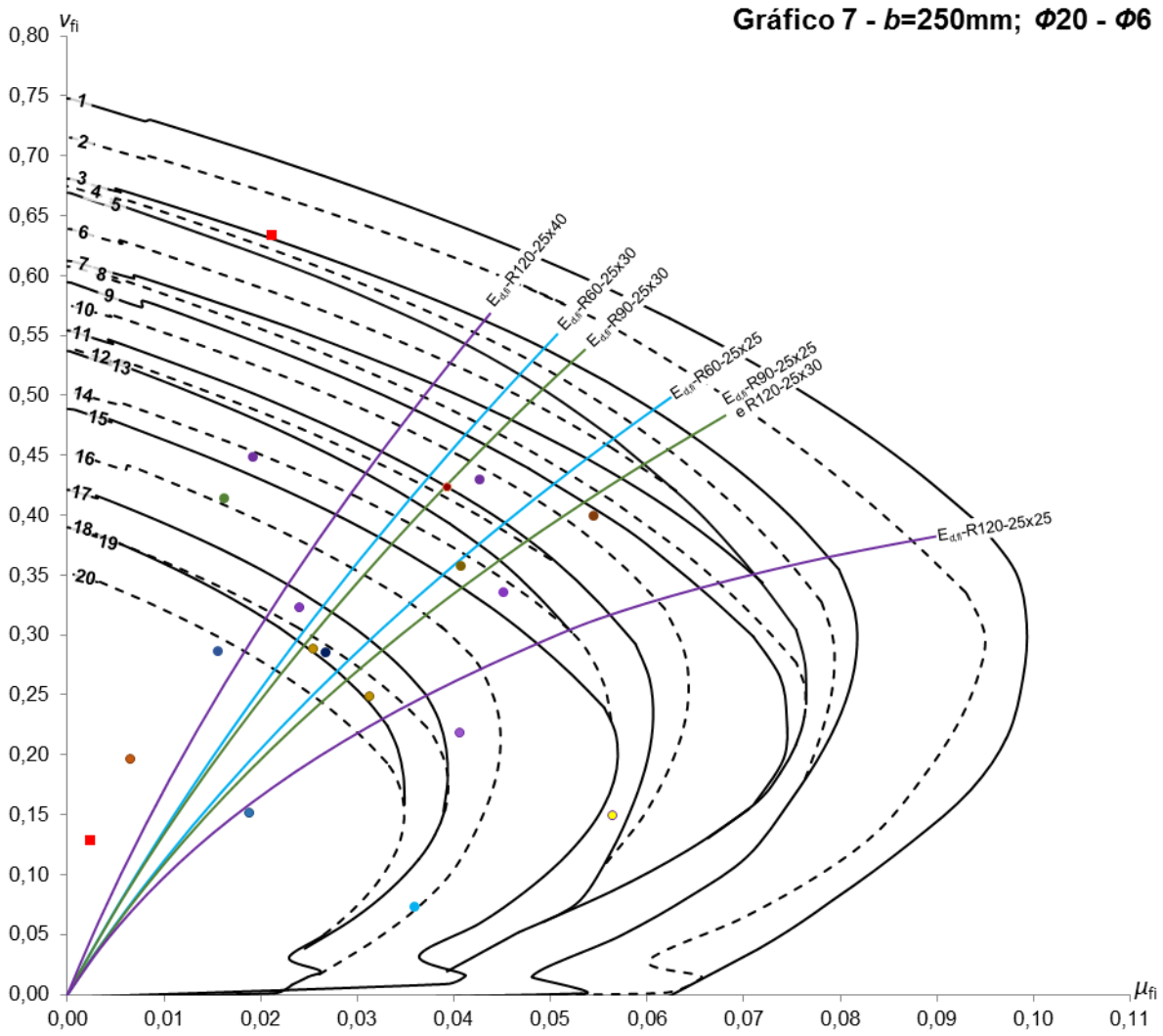


Figura A7.18 - Aplicação do Gráfico 7: verificação da resistência ao fogo dos pilares analisados com *b*=25cm e armadura constituída por *Φ*20-*Φ*6.

Quadro A7.26 - Pilares que verificam a resistência ao fogo pela aplicação do Gráfico 7.

R60				R90				R120			
h [cm]	Número de pilares	Pilares que verificam		*h* [cm]	Número de pilares	Pilares que verificam		*h* [cm]	Número de pilares	Pilares que verificam	
		Nº	%			Nº	%			Nº	%
30	22	22	100,0%	60	7	7	100,0%	40	6	0	0,0%
40	24	24	100,0%	80	1	1	100,0%	60	39	29	74,4%
50	10	10	100,0%	-	-	-	-	-	-	-	-

Quadro A7.27 - Resultados da aplicação do Gráfico 8 aos pilares analisados no escalão R60, com *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*25 - *Φ*8.

R60 - *b*=250mm - *Φ*25 - *Φ*8							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	ν_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $N_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P4.1	3	25x50	8Φ25	2	2	0,307	0,062
P4.2	5	25x50	4Φ25 + 4Φ20	2	2	0,228	0,061

Quadro A7.28 - Resultados da aplicação do Gráfico 8 aos pilares analisados no escalão R90, com *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*25 - *Φ*8.

R90 - *b*=250mm - *Φ*25 - *Φ8*							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	ν_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $N_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P16.4	10	25x60	4Φ25+ 2Φ20	1	1	0,394	0,019

Quadro A7.29 - Resultados da aplicação do Gráfico 8 aos pilares analisados no escalão R120, com *b*=250mm e armadura constituída por varões *Φ*25 - *Φ*8.

R120 - *b*=250mm - *Φ*25 - *Φ*8							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	ν_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $N_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P53,57	14	25x95	6Φ25+10Φ16	4	4	0,109	0,002
P56,60	14	25x95	6Φ25+10Φ16	4	4	0,107	0,002

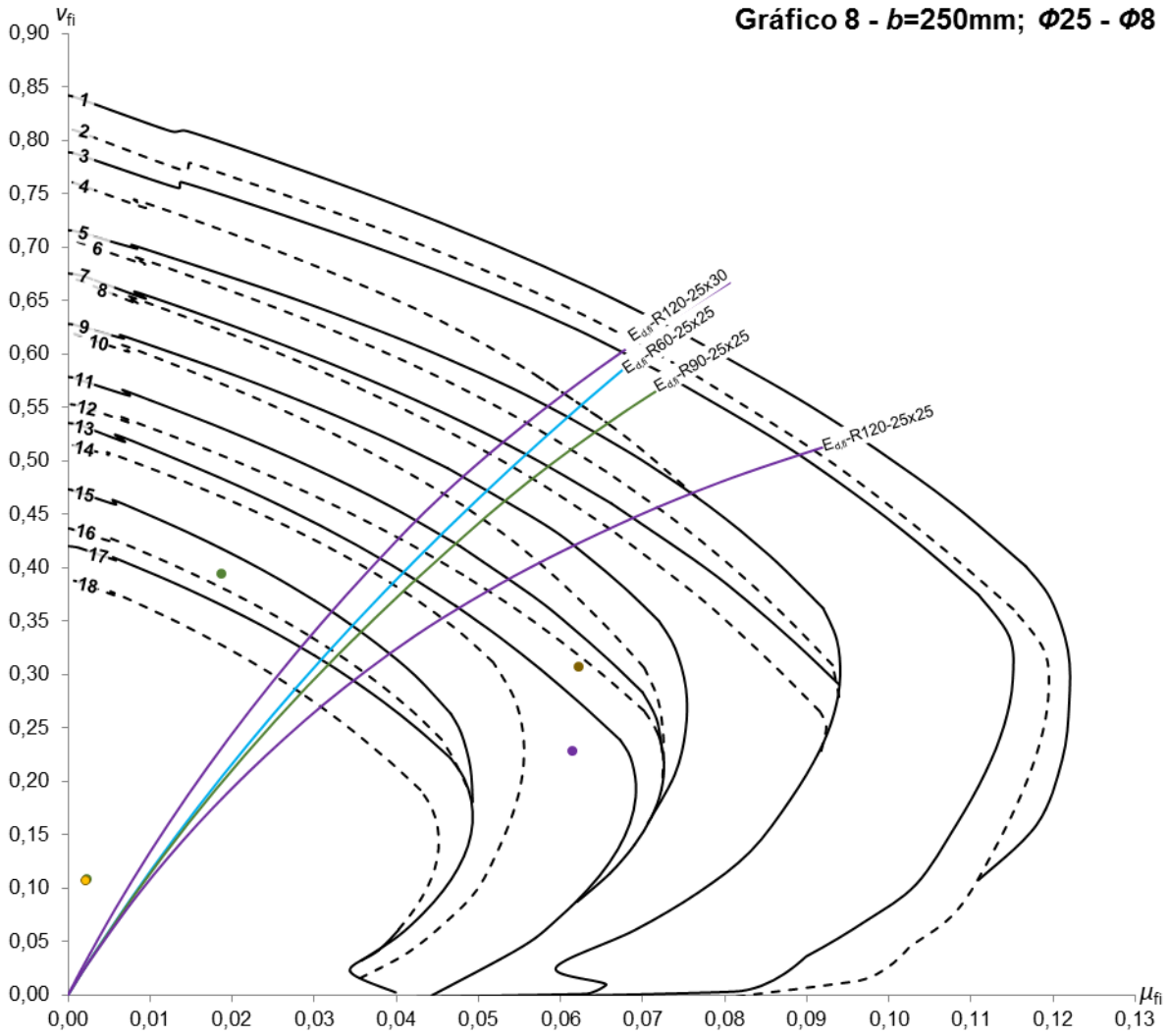


Figura A7.19 - Aplicação do Gráfico 8: verificação da resistência ao fogo dos pilares analisados com *b*=25cm e armadura constituída por *Φ*25-*Φ*8.

Quadro A7.30 - Pilares que verificam a resistência ao fogo pela aplicação do Gráfico 8.

R60				R90				R120			
h [cm]	Número de pilares	Pilares que verificam		*h* [cm]	Número de pilares	Pilares que verificam		*h* [cm]	Número de pilares	Pilares que verificam	
		Nº	%			Nº	%			Nº	%
50	4	4	100,0%	60	1	1	100,0%	95	8	8	100,0%

Quadro A7.31 - Resultados da aplicação do Gráfico 9 aos pilares analisados no escalão R60, com *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*12 - *Φ*6.

R60 - *b*=300mm - *Φ*12 - *Φ*6							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $N_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P10	7	30x30	4Φ12	8	8	0,138	0,033
P51	6	30x30	6Φ12	1	1	0,009	0,003
P45,46.1	6	30x30	6Φ12	4	4	0,044	0,022
P45,46.2	6	30x30	6Φ12	4	4	0,043	0,021
P11	6	30x30	6Φ12	6	6	0,129	0,022
P1.1	4	30x40	6Φ12	2	2	0,019	0,009
P17	4	30x40	6Φ12	20	20	0,129	0,030
P6	4	30x40	6Φ12	2	2	0,048	0,018
P11	3	30x40	10Φ12	4	4	0,053	0,013
P18	1	30x80	10Φ12	2	0	0,033	0,049

Quadro A7.32 - Resultados da aplicação do Gráfico 9 aos pilares analisados no escalão R90, com *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*12 - *Φ*6.

R90 - *b*=300mm - *Φ*12 - *Φ*6							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $N_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P6F	14	30x30	4Φ12	4	0	0,219	0,012
P6F	13	30x30	6Φ12	4	4	0,080	0,023
P6D	14	30x30	4Φ12	8	0	0,229	0,013
P6D	13	30x30	6Φ12	4	4	0,076	0,031
P6D	12	30x30	8Φ12	4	4	0,040	0,027
P3B	13	30x30	6Φ12	32	0	0,305	0,018

Quadro A7.33 - Resultados da aplicação do Gráfico 9 aos pilares analisados no escalão R120, com *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*12 - *Φ*6.

R120 - *b*=300mm - *Φ*12 - *Φ*6							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $N_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P45,46	19	30x30	6Φ12	8	8	0,096	0,026
P54,58	19	30x30	6Φ12	20	20	0,122	0,015
P15	19	30x30	4Φ12	2	2	0,124	0,030
P54,58	16	30x40	8Φ12	8	0	0,212	0,005
P56,60	16	30x45	8Φ12	4	4	0,037	0,002
P43,44	16	30x45	8Φ12	4	4	0,096	0,007
P61,62	13	30x60	10Φ12	12	0	0,746	0,025

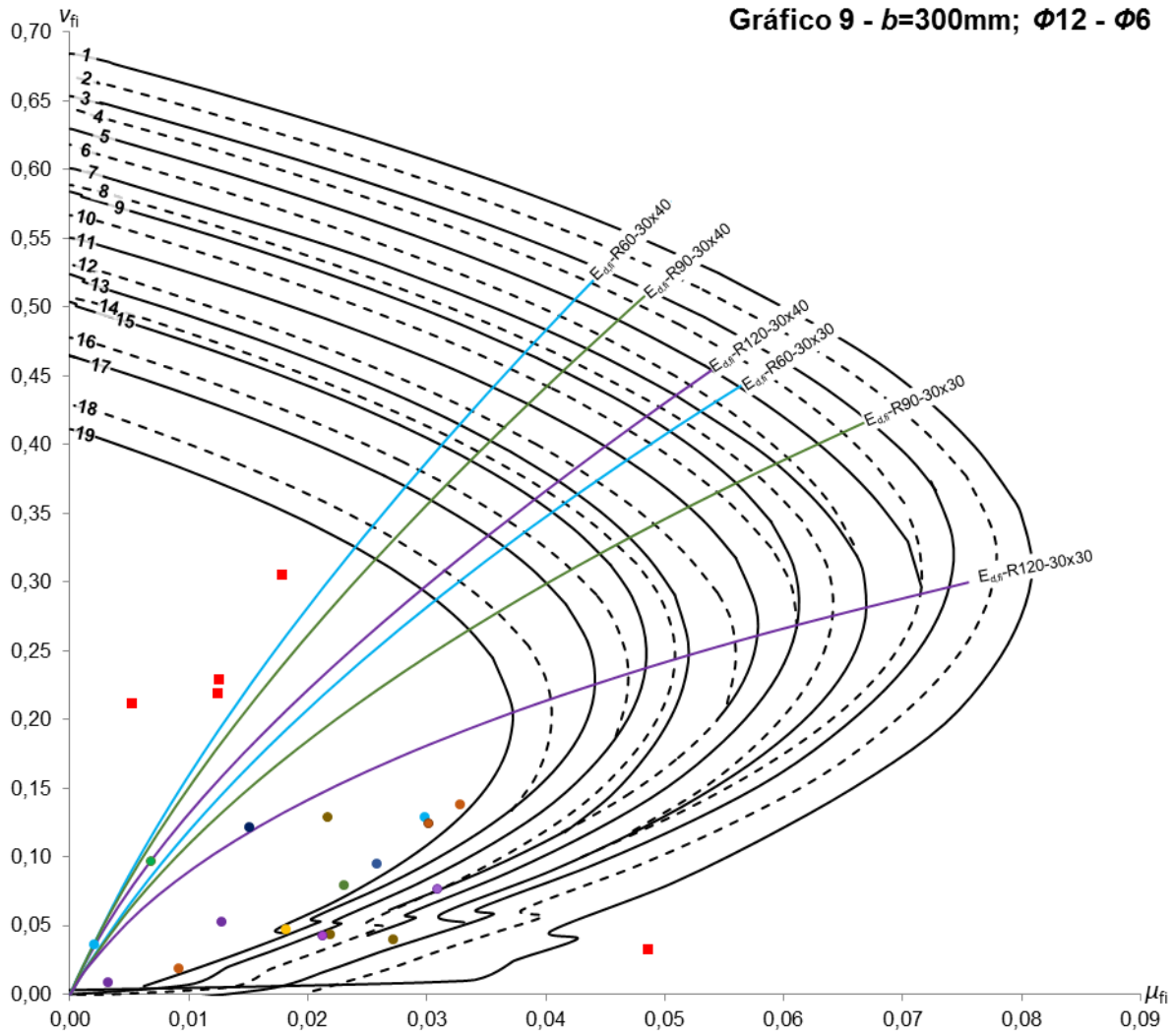


Figura A7.20 - Aplicação do Gráfico 9: verificação da resistência ao fogo dos pilares analisados com *b*=30cm e armadura constituída por *Φ*12-*Φ*6.

Quadro A7.34 - Pilares que verificam a resistência ao fogo pela aplicação do Gráfico 9.

R60				R90				R120			
h [cm]	Número de pilares	Pilares que verificam		*h* [cm]	Número de pilares	Pilares que verificam		*h* [cm]	Número de pilares	Pilares que verificam	
		Nº	%			Nº	%			Nº	%
30	23	23	100,0%	30	56	12	21,4%	30	30	30	100,0%
40	28	28	100,0%	-	-	-	-	40	8	0	0,0%
80	2	0	0,0%	-	-	-	-	45	8	8	100,0%
-	-	-	-	-	-	-	-	60	12	0	0,0%

Quadro A7.35 - Resultados da aplicação do Gráfico 10 aos pilares analisados no escalão R60, com *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*16 - *Φ*6.

R60 - *b*=300mm - *Φ*16 - *Φ*6							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $N_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P6	6	30x30	6Φ16	2	0	0,220	0,015
P6	6	30x30	4Φ16	4	4	0,134	0,010
P9	5	30x30	4Φ16+4Φ12	24	24	0,248	0,074
P15	4	30x30	8Φ16 + 2Φ12	8	8	0,346	0,041
P16	5	30x30	4Φ16 + 4Φ12	10	0	0,348	0,024
P19	6	30x30	6Φ16	2	2	0,161	0,062
P4	6	30x30	4Φ16	4	4	0,159	0,013
P13	6	30x30	4Φ16	6	6	0,127	0,019
P14	6	30x30	6Φ16	4	4	0,209	0,018
P11	6	30x30	4Φ16	4	4	0,166	0,037
P11	6	30x30	4Φ16	26	26	0,264	0,039
P11	5	30x30	4Φ16+ 4Φ12	2	2	0,156	0,031
P11	4	30x30	8Φ16	10	10	0,263	0,049
P28	6	30x30	4Φ16	8	8	0,143	0,011
P5	6	30x30	6Φ16	4	0	0,318	0,021
P19	4	30x30	8Φ16	4	4	0,395	0,069
P45,46.1	6	30x35	4Φ16	4	4	0,034	0,024
P45,46.2	6	30x35	4Φ16	4	4	0,022	0,033
P45,46.3	6	30x35	4Φ16	4	4	0,021	0,013
P45,46	6	30x35	4Φ16	4	4	0,012	0,024
P45,46.4	6	30x35	4Φ16	4	4	0,024	0,012
P45,46.5	6	30x35	4Φ16	4	4	0,031	0,017
P45,46.6	6	30x35	4Φ16	4	4	0,034	0,019
P5	3	30x40	8Φ16	2	2	0,296	0,024
P5	4	30x40	4Φ16+4Φ12	4	4	0,195	0,021
P6	4	30x40	6Φ16	4	4	0,178	0,014
P10	3	30x40	8Φ16	2	2	0,099	0,019
P11	3	30x40	8Φ16	4	4	0,320	0,037
P11	4	30x40	4Φ16+4Φ12	2	2	0,186	0,028
P11	4	30x40	4Φ16+2Φ12	4	4	0,119	0,022
P11	4	30x40	4Φ16+6Φ12	6	6	0,060	0,043
P11	2	30x40	10Φ16	2	2	0,079	0,053
P11	4	30x40	6Φ16+4Φ12	16	0	0,061	0,060
P11	4	30x40	4Φ16+4Φ12	10	0	0,388	0,019
P11	3	30x40	8Φ16+4Φ12	6	0	0,384	0,019
P11	4	30x40	4Φ16+4Φ12	4	0	0,264	0,013
P11	4	30x40	6Φ16+4Φ12	10	0	0,367	0,018
P11	4	30x40	4Φ16+4Φ12	10	10	0,233	0,015
P11	4	30x40	4Φ16+6Φ12	8	8	0,129	0,044
P11	4	30x40	4Φ16+6Φ12	10	0	0,355	0,018
P11	4	30x40	4Φ16+4Φ12	16	16	0,169	0,010
P11	4	30x40	4Φ16+4Φ12	8	8	0,038	0,039
P11	2	30x40	10Φ16	4	4	0,200	0,023
P11	4	30x40	4Φ16+4Φ12	16	16	0,056	0,040
P11	2	30x40	10Φ16	22	22	0,116	0,042
P11	4	30x40	4Φ16+6Φ12	16	0	0,205	0,085
P11	4	30x40	4Φ16+8Φ12	2	2	0,086	0,050
P11	4	30x40	4Φ16+4Φ12	4	4	0,035	0,033
P11	4	30x40	4Φ16+6Φ12	4	4	0,051	0,045
P11	4	30x40	4Φ16+4Φ12	6	6	0,069	0,038
P11	3	30x40	8Φ16	2	2	0,090	0,052
P11	3	30x40	4Φ16+4Φ12	18	18	0,194	0,011

Quadro A7.35 - Continuação - Resultados da aplicação do Gráfico 10 aos pilares analisados no escalão R60, com *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*16 - *Φ*6.

R60 - *b*=300mm - *Φ*16 - *Φ*6							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $N_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P11	3	30x40	4Φ16+6Φ12	28	28	0,241	0,015
P11	3	30x40	4Φ16+4Φ12	30	0	0,386	0,019
P11	2	30x40	12Φ16	4	4	0,213	0,057
P11	3	30x40	8Φ16	26	26	0,135	0,048
P45,46	4	30x50	6Φ16+2Φ12	24	24	0,341	0,021
P18	1	30x80	10Φ16	1	1	0,100	0,025
P18	1	30x80	10Φ16	1	1	0,081	0,037
P18	4	30x80	4Φ16 + 6Φ12	3	3	0,065	0,046
P45,46	4	30x80	4Φ16 + 10Φ12	24	24	0,239	0,023
P45,46	1	30x80	14Φ16	4	4	0,286	0,023
P18	1	30x80	10Φ16	2	2	0,115	0,007
P17	1	30x90	10Φ16	1	1	0,054	0,017
P17	1	30x90	10Φ16	1	1	0,043	0,021
P17	1	30x90	10Φ16	1	1	0,032	0,023
P17	4	30x90	4Φ16 + 6Φ12	3	3	0,020	0,021
P27	4	30x90	4Φ16+10Φ12	28	28	0,254	0,016
P4	1	30x90	10Φ16	2	2	0,063	0,009
P45,46	4	30x95	4Φ16+12Φ12	24	24	0,463	0,020
P4	1	30x110	14Φ16	3	3	0,073	0,009
P4.1	1	30x110	12Φ16	1	1	0,028	0,013
P4.2	4	30x110	4Φ16 + 8Φ12	3	3	0,020	0,004

Quadro A7.36 - Resultados da aplicação do Gráfico 10 aos pilares analisados no escalão R90, com *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*16 - *Φ*6.

R90 - *b*=300mm - *Φ*16 - *Φ*6							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $N_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P6B	10	30x30	6Φ16	8	0	0,064	0,039
P6B	10	30x30	4Φ16	16	16	0,086	0,037
P6B	10	30x30	4Φ16	7	7	0,169	0,042
P16.1	10	30x30	4Φ16	16	16	0,261	0,033
P16.2	10	30x30	4Φ16	10	10	0,297	0,032
P16.3	10	30x30	4Φ16	5	5	0,216	0,019
P16	10	30x30	4Φ16	4	4	0,159	0,030
P16.4	10	30x30	4Φ16	4	4	0,240	0,029
P16	10	30x30	4Φ16	37	37	0,161	0,033
P30	10	30x30	4Φ16	80	80	0,043	0,003
P2.2	9	30x40	4Φ16	8	8	0,085	0,032
P2	9	30x40	4Φ16	8	8	0,156	0,026
P16.5	9	30x40	6Φ16	2	2	0,223	0,018
P16.6	9	30x40	6Φ16	2	2	0,192	0,023
P16	9	30x40	6Φ16	6	6	0,162	0,011
P16	9	30x40	6Φ16	1	1	0,120	0,017
P16.7	9	30x40	4Φ16	8	8	0,040	0,022
P16.13	9	30x40	4Φ16	2	2	0,170	0,036
P2A	9	30x45	4Φ16+2Φ10	4	4	0,156	0,029
P3A	9	30x45	4Φ16+2Φ10	4	4	0,273	0,021
P2A	8	30x50	4Φ16+2Φ10	16	16	0,212	0,019
P3A	8	30x50	4Φ16+2Φ10	6	6	0,371	0,015
P16.8	8	30x50	6Φ16	10	10	0,186	0,042

Quadro A7.36 - Continuação - Resultados da aplicação do Gráfico 10 aos pilares analisados no escalão R90, com *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*16 - *Φ*6.

R90 - *b*=300mm - *Φ*16 - *Φ*6							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $N_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P16.9	8	30x60	6Φ16	10	10	0,262	0,011
P29	7	30x70	8Φ16	70	70	0,031	0,001
P29.1	8	30x70	4Φ16+4Φ12	64	64	0,228	0,007
P29.2	7	30x70	12Φ16	8	8	0,447	0,013
P30	7	30x70	8Φ16	58	58	0,097	0,003
P31	7	30x70	8Φ16	6	6	0,031	0,001
P12.5	7	30x70	8Φ16	24	24	0,487	0,014
P12.6	7	30x70	8Φ16	12	12	0,227	0,006
P12.7	7	30x70	8Φ16	4	4	0,293	0,011
P12.8	7	30x70	8Φ16	8	8	0,182	0,005
P12.9	7	30x70	8Φ16	6	6	0,125	0,016

Quadro A7.37 - Resultados da aplicação do Gráfico 10 aos pilares analisados no escalão R120, com *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*16 - *Φ*6.

R120 - *b*=300mm - *Φ*16 - *Φ*6							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $N_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P15	15	30x30	12Φ16	2	2	0,220	0,045
P15	17	30x30	6Φ16	2	0	0,201	0,051
P55,59	11	30x55	4Φ16+2Φ12	8	8	0,032	0,001
P8	10	30x60	8Φ16+2Φ12	8	0	0,533	0,018
P24	10	30x60	10Φ16	16	16	0,075	0,030
P24	10	30x60	10Φ16	24	0	0,311	0,056
P24	10	30x60	10Φ16	16	16	0,263	0,021
P24	10	30x60	10Φ16	8	8	0,107	0,004
P24	10	30x60	10Φ16	4	4	0,212	0,053
P24	10	30x60	10Φ16	10	0	0,540	0,025
P24	10	30x60	10Φ16	4	0	0,606	0,020
P24	10	30x60	10Φ16	4	0	0,293	0,003
P24	10	30x60	14Φ16	4	0	0,067	0,049
P24	10	30x60	14Φ16	4	0	0,285	0,004

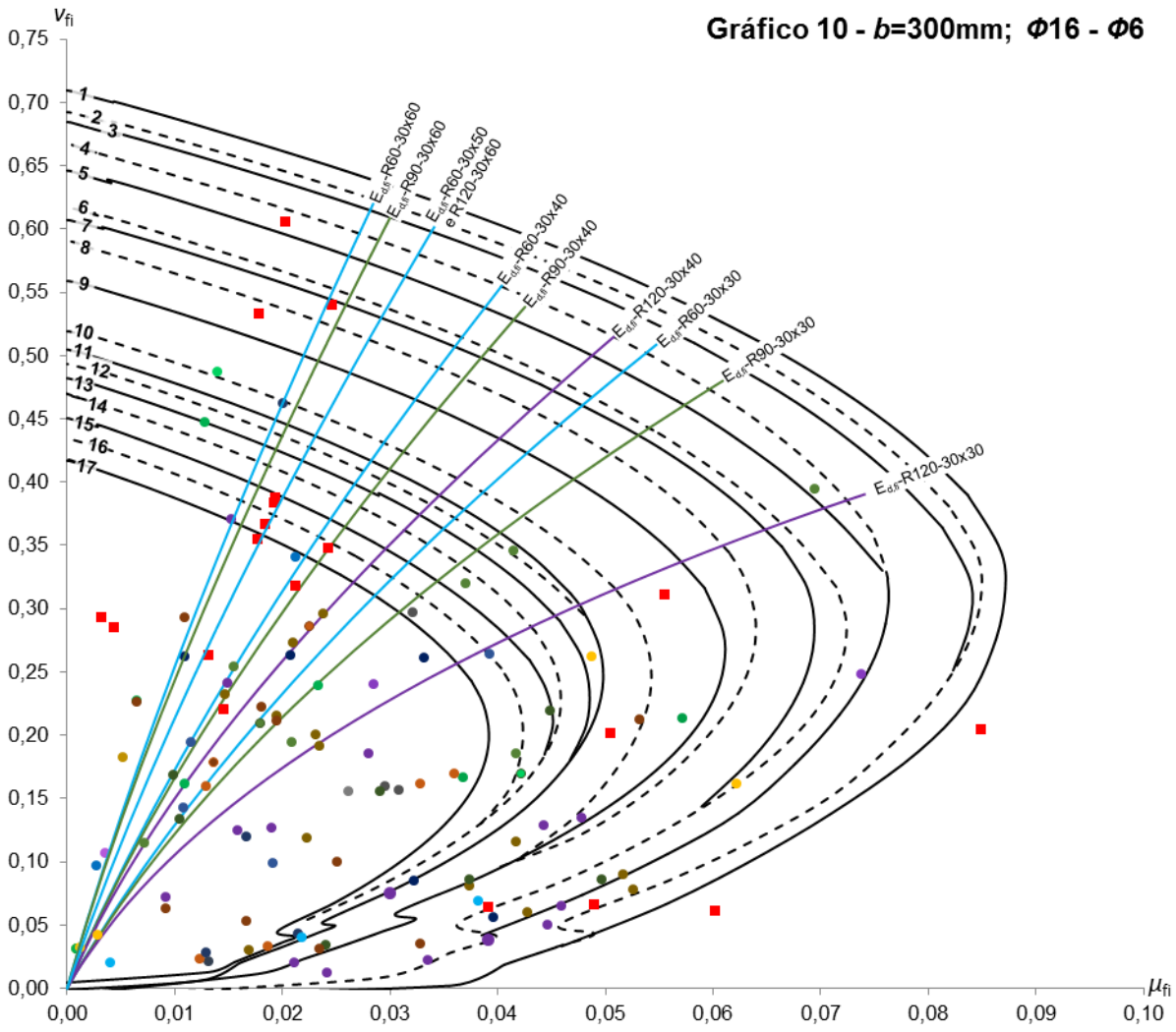


Figura A7.21 - Aplicação do Gráfico 10: verificação da resistência ao fogo dos pilares analisados com *b*=30cm e armadura constituída por *Φ*16-*Φ*6.

Quadro A7.38 - Pilares que verificam a resistência ao fogo pela aplicação do Gráfico 10.

R60				R90				R120			
h [cm]	Número de pilares	Pilares que verificam		*h* [cm]	Número de pilares	Pilares que verificam		*h* [cm]	Número de pilares	Pilares que verificam	
		Nº	%			Nº	%			Nº	%
30	122	106	86,9%	30	187	179	95,7%	30	4	2	50,0%
35	28	28	100,0%	40	37	37	100,0%	55	8	8	100,0%
40	310	208	67,1%	45	8	8	100,0%	60	102	44	43,1%
50	24	24	100,0%	50	32	32	100,0%	-	-	-	-
80	35	35	100,0%	60	10	10	100,0%	-	-	-	-
90	36	36	100,0%	70	260	260	100,0%	-	-	-	-
95	24	24	100,0%	-	-	-	-	-	-	-	-
110	7	7	100,0%	-	-	-	-	-	-	-	-

Quadro A7.39 - Resultados da aplicação do Gráfico 11 aos pilares analisados no escalão R60, com *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*20 - *Φ*6.

R60 - *b*=300mm - *Φ*20 - *Φ*6							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $N_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P2	6	30x30	6Φ20	4	0	0,569	0,038
P13	6	30x30	4Φ20	8	8	0,283	0,033
P14	6	30x30	6Φ20	2	0	0,458	0,031
P14	6	30x30	4Φ20 + 2Φ16	2	2	0,333	0,030
P11	6	30x30	4Φ20	24	24	0,175	0,043
P5	2	30x40	8Φ20	2	2	0,398	0,027
P6	5	30x40	4Φ20+2Φ16	2	2	0,244	0,014
P10	3	30x40	6Φ20+2Φ16	2	2	0,363	0,035
P10	3	30x40	4Φ20+4Φ16	2	2	0,231	0,030
PA1	3	30x40	6Φ20+4Φ16	14	14	0,288	0,043
PA1	3	30x40	4Φ20+6Φ16	6	6	0,345	0,021
PA1	3	30x40	4Φ20+6Φ16	10	0	0,524	0,026
P11	1	30x40	10Φ20	8	8	0,282	0,029
P11	3	30x40	4Φ20+6Φ16	32	32	0,206	0,026
P11	3	30x40	6Φ20+4Φ16	4	4	0,295	0,030
P11	3	30x40	6Φ20+4Φ16	4	4	0,172	0,040
P11	3	30x40	6Φ20+4Φ16	8	8	0,206	0,041
P11	3	30x40	6Φ20+4Φ16	10	10	0,280	0,042
P11	3	30x40	4Φ20+4Φ16	2	0	0,492	0,025
P6	5	30x40	6Φ20	6	6	0,316	0,027
P11	3	30x40	4Φ20+4Φ16	4	4	0,476	0,032
P45,46	1	30x80	12Φ20+2Φ16	8	8	0,364	0,022
P45,46	1	30x90	14Φ20	36	36	0,317	0,023
P45,46	1	30x90	12Φ20+2Φ16	40	40	0,339	0,020

Quadro A7.40 - Resultados da aplicação do Gráfico 11 aos pilares analisados no escalão R90, com *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*20 - *Φ*6.

R90 - *b*=300mm - *Φ*20 - *Φ*6							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $N_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P6E	12	30x30	4Φ20	2	2	0,354	0,048
P16.1	12	30x30	4Φ20	8	8	0,273	0,033
P16	12	30x30	4Φ20+ 2Φ16	3	3	0,292	0,059
P16.2	12	30x30	4Φ20	5	5	0,108	0,042
P16.9	10	30x40	6Φ20	1	1	0,210	0,054
P16.10	10	30x40	4Φ20	3	3	0,064	0,038
P16.11	10	30x40	4Φ20	2	2	0,079	0,036
P16	10	30x45	6Φ20	3	3	0,240	0,036
P16.3	9	30x50	4Φ20+ 2Φ16	9	9	0,259	0,029
P16.4	9	30x50	4Φ20+ 2Φ16	4	4	0,248	0,040
P16	9	30x60	6Φ20	2	2	0,292	0,016
P16	9	30x60	4Φ20+ 2Φ16	6	6	0,277	0,011
P29.1	6	30x70	10Φ20	8	8	0,447	0,013
P29.2	6	30x70	16Φ20	8	0	0,622	0,018
P29.3	6	30x70	16Φ20	24	24	0,600	0,017
P26.1	6	30x70	10Φ20	20	20	0,447	0,013
P26.2	6	30x70	16Φ20	20	20	0,622	0,018
P26.3	6	30x70	14Φ20	24	24	0,593	0,017
P30	7	30x70	4Φ20+4Φ16	208	0	0,597	0,017
P31	7	30x70	4Φ20+4Φ16	6	0	0,699	0,020

Quadro A7.40 - Continuação - Resultados da aplicação do Gráfico 11 aos pilares analisados no escalão R90, com *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*20 - *Φ*6.

R90 - *b*=300mm - *Φ*20 - *Φ*6							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $N_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P32.1	6	30x70	10Φ20	20	20	0,447	0,013
P32.2	6	30x70	16Φ20	20	0	0,622	0,018
P32.3	6	30x70	14Φ20	24	24	0,593	0,017
P34.1	6	30x70	10Φ20	10	10	0,332	0,009
P34.2	6	30x70	10Φ20	12	12	0,585	0,017
P12.1	6	30x70	14Φ20	4	0	0,865	0,025
P12.3	6	30x70	10Φ20	24	24	0,211	0,006
P12.4	6	30x70	16Φ20	24	0	0,770	0,022
P17.1	7	30x80	4Φ20 + 6Φ16	4	4	0,312	0,013
P17.2	6	30x80	10Φ20	4	4	0,312	0,013
P17.3	7	30x80	4Φ20 + 8Φ16	3	3	0,402	0,011
P14	9	30x115	6Φ20 + 8Φ16	16	16	0,195	0,003
P14	9	30x115	6Φ20 + 8Φ16	4	4	0,165	0,003

Quadro A7.41 - Resultados da aplicação do Gráfico 11 aos pilares analisados no escalão R120, com *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*20 - *Φ*6.

R120 - *b*=300mm – *Φ*20 - *Φ*6							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $N_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P15	17	30x30	4Φ20+4Φ16	2	0	0,175	0,081
P8	19	30x30	6Φ20	4	0	0,405	0,020
P8	13	30x60	6Φ20+6Φ16	12	0	0,450	0,015
P24.1	13	30x60	4Φ20+ 6Φ16	4	4	0,095	0,043
P24.2	12	30x60	14Φ20	4	0	0,497	0,030
P24.3	12	30x60	10Φ20	4	4	0,175	0,007
P24.4	12	30x60	10Φ20	4	0	0,590	0,014
P24	12	30x60	18Φ20	4	0	1,094	0,031
P24	12	30x60	14Φ20	4	0	0,882	0,033
P24	12	30x60	10Φ20	4	0	0,678	0,015
P24.5	12	30x60	14Φ20	4	4	0,114	0,050
P24.6	13	30x60	8Φ20	12	12	0,094	0,040
P24.7	12	30x60	10Φ20	2	0	0,411	0,053
P24	12	30x60	14Φ20	2	0	0,784	0,012
P24	13	30x60	8Φ20	4	0	0,647	0,022
P24	12	30x60	20Φ20	2	0	1,068	0,038
P24	12	30x60	14Φ20	2	0	0,865	0,029
P24	12	30x60	10Φ20	4	0	0,728	0,011
P24.8	12	30x60	28Φ20	4	4	0,499	0,025
P24.9	12	30x60	14Φ20	2	2	0,266	0,062
P24	12	30x60	14Φ20	2	2	0,266	0,062
P24.10	12	30x60	10Φ20	4	0	0,354	0,013
P24.11	12	30x60	14Φ20	4	4	0,091	0,044
P24.12	12	30x60	14Φ20	4	4	0,072	0,002
P24.13	12	30x60	14Φ20	10	10	0,233	0,010
P24	12	30x60	14Φ20	5	0	0,932	0,005
P24.14	12	30x80	10Φ20	2	2	0,465	0,012
P24	12	30x80	18Φ20	2	0	0,939	0,023

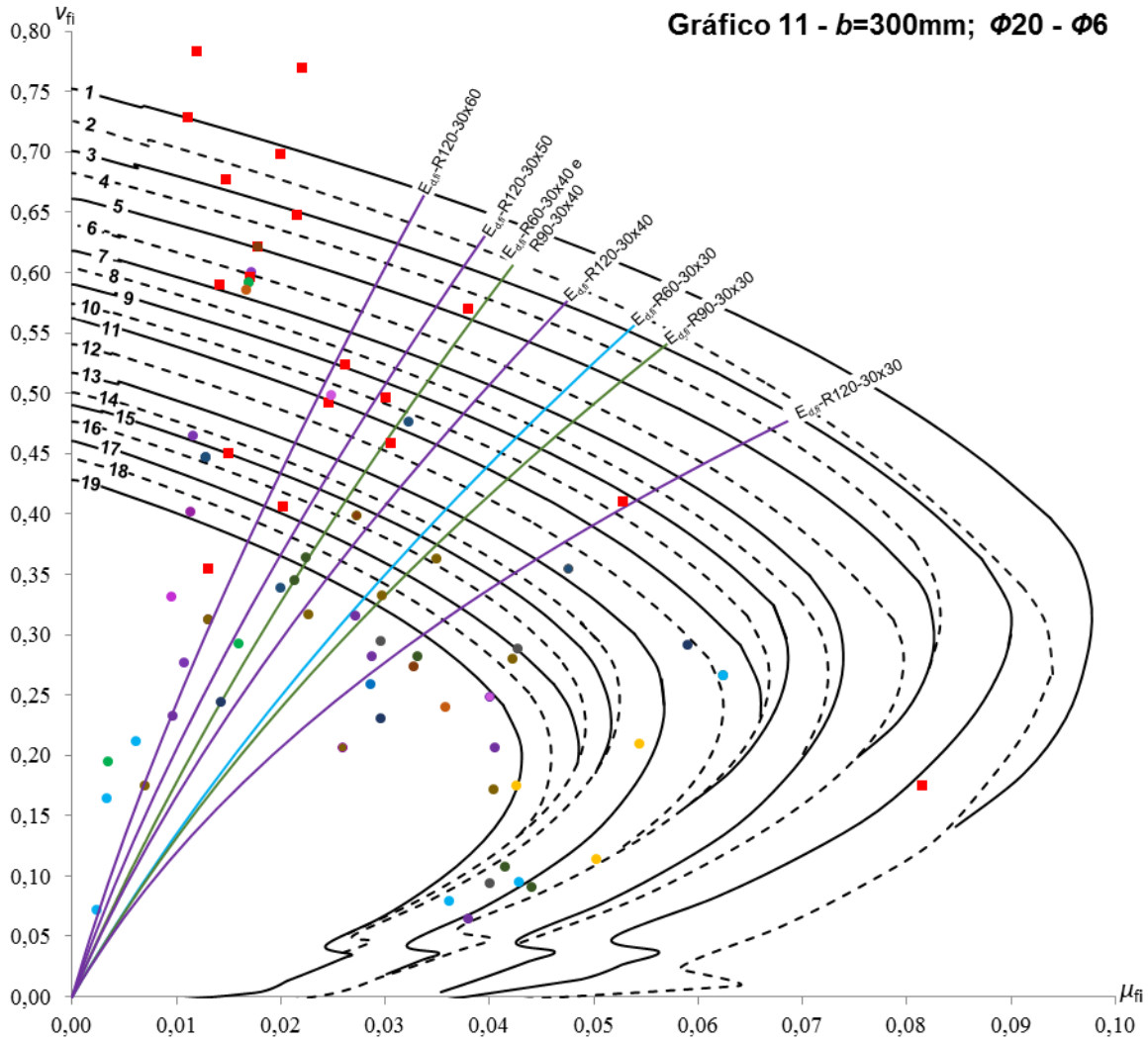


Figura A7.22 - Aplicação do Gráfico 11: verificação da resistência ao fogo dos pilares analisados com *b*=30cm e armadura constituída por *Φ*20-*Φ*6.

Quadro A7.42 - Pilares que verificam a resistência ao fogo pela aplicação do Gráfico 11.

R60				R90				R120			
h [cm]	Número de pilares	Pilares que verificam		*h* [cm]	Número de pilares	Pilares que verificam		*h* [cm]	Número de pilares	Pilares que verificam	
		Nº	%			Nº	%			Nº	%
30	40	34	85,0%	30	18	18	100,0%	30	6	0	0,0%
40	116	104	89,7%	40	6	6	100,0%	60	107	50	46,7%
80	8	8	100,0%	45	3	3	100,0%	80	4	2	50,0%
90	76	76	100,0%	50	13	13	100,0%	-	-	-	-
-	-	-	-	60	8	8	100,0%	-	-	-	-
-	-	-	-	70	456	186	40,8%	-	-	-	-
-	-	-	-	80	11	11	100,0%	-	-	-	-
-	-	-	-	115	20	20	100,0%	-	-	-	-

Quadro A7.43 - Resultados da aplicação do Gráfico 12 aos pilares analisados no escalão R60, com *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*25 - *Φ*8.

R60 - *b*=300mm - *Φ*25 - *Φ*8							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $N_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P14	5	30x30	4Φ25 + 2Φ20	2	0	0,585	0,060
P15	5	30x30	4Φ25 + 2Φ20+6Φ16	2	2	0,279	0,091
P15	5	30x30	4Φ25 + 2Φ20	6	6	0,205	0,084
P14	4	30x30	6Φ25	4	0	0,685	0,067
P5	2	30x40	8Φ25	4	4	0,553	0,037
P10	3	30x40	6Φ25 + 2Φ16	2	2	0,494	0,041
P11	5	30x40	4Φ25+6Φ20	14	14	0,398	0,020
P11	3	30x40	6Φ25+4Φ20	6	6	0,416	0,037
P11	5	30x40	4Φ25+6Φ20	4	4	0,289	0,050
P11	5	30x40	4Φ25+8Φ20	4	4	0,600	0,030
P11	3	30x40	6Φ25+4Φ20	4	4	0,495	0,040
P11	5	30x40	4Φ25+6Φ20	4	4	0,367	0,034
P11	3	30x40	6Φ25+4Φ20	4	4	0,386	0,035
P11	5	30x40	4Φ25+6Φ20	8	8	0,231	0,029
P11	5	30x40	4Φ25+8Φ20	2	2	0,342	0,035
P11	5	30x40	4Φ25+6Φ20	10	10	0,386	0,019
P5	2	30x40	8Φ25	2	2	0,606	0,030
P8	2	30x50	8Φ25	6	6	0,411	0,077
P45,46	2	30x50	8Φ25+8Φ20	24	24	0,419	0,024
P45,46	1	30x90	16Φ25	8	8	0,393	0,009
P45,46	1	30x90	14Φ25	36	36	0,472	0,016
P45,46	1	30x95	4Φ25+10Φ20	18	18	0,415	0,017
P45,46	1	30x100	4Φ25 + 10Φ20	18	18	0,454	0,009

Quadro A7.44 - Resultados da aplicação do Gráfico 12 aos pilares analisados no escalão R90, com *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*25 - *Φ*8.

R90 - *b*=300mm - *Φ*25 - *Φ*8							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $N_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P3E	4	30x30	6Φ25	2	2	0,115	0,055
P4E	5	30x30	4Φ25+ 2Φ20	2	2	0,059	0,048
P6E	5	30x30	4Φ25+2Φ20	4	0	0,263	0,104
P6E	5	30x30	4Φ25+2Φ20	2	0	0,083	0,177
P16	8	30x50	4Φ25 + 4Φ20	8	8	0,345	0,050
P29	4	30x70	10Φ25+8Φ20	18	18	0,568	0,016
P26.4	4	30x70	10Φ25+4Φ20	24	24	0,664	0,019
P31	4	30x70	10Φ25+8Φ20	12	12	0,568	0,016
P32	4	30x70	10Φ25+4Φ20	24	24	0,664	0,019
P12.2	4	30x70	24Φ25	12	0	1,059	0,030
P43,44	4	30x90	20Φ25	32	32	0,279	0,035
P43,44	4	30x90	16Φ25	60	60	0,317	0,011
P43,44	4	30x90	14Φ25+4Φ20	20	20	0,316	0,013
P14	7	30x100	6Φ25 + 8Φ20	16	16	0,224	0,008
P14	4	30x100	18Φ25	24	24	0,108	0,009
P14	7	30x100	6Φ25 + 8Φ20	16	16	0,275	0,006
P14	4	30x120	12Φ25 + 8Φ20	16	16	0,203	0,003

Quadro A7.45 - Resultados da aplicação do Gráfico 12 aos pilares analisados no escalão R120, com *b*=300mm e armadura constituída por varões *Φ*25 - *Φ*8.

R120 - *b*=300mm - *Φ*25 - *Φ*8							
Pilar	Curva a consultar	Secção	Armadura	Nº pilares previstos	Nº pilares que verificam	v_{fi} $N_{Rd,fi}/bhf_{ck}$	μ_{fi} $N_{Rd,fi}/bh^2f_{ck}$
P8	13	30x60	6Φ25+4Φ20	4	4	0,450	0,015
P24	10	30x60	14Φ25	6	0	0,935	0,004
P24.1	10	30x60	14Φ25	2	2	0,138	0,049
P24.2	12	30x60	8Φ25+6Φ20	4	4	0,116	0,062
P53,57	10	30x65	14Φ25	8	8	0,088	0,003
P56,60	10	30x65	10Φ25+2Φ20	4	4	0,090	0,003
P56,60	12	30x65	8Φ25+8Φ20	4	4	0,347	0,011
P55,59	12	30x70	8Φ25 + 8Φ20	4	4	0,353	0,010
P8	13	30x70	6Φ25+4Φ20	6	0	0,762	0,022
P53,57	10	30x75	12Φ25	2	2	0,315	0,008
P56,60	13	30x75	6Φ25 + 8Φ20	2	2	0,313	0,008
P53,57	10	30x85	16Φ25	4	4	0,098	0,002
P56,60	10	30x85	18Φ25	4	4	0,382	0,009
P54,58	10	30x90	18Φ25	2	2	0,293	0,007
P45,46	13	30x95	6Φ25+8Φ20	4	4	0,360	0,018
P54,58	13	30x95	4Φ25+10Φ20	4	4	0,110	0,002
P45,46	13	30x115	6Φ25 + 10Φ20	2	2	0,274	0,005
P56,60	13	30x115	6Φ25 + 10Φ20	2	2	0,273	0,005
P53,57	13	30x120	6Φ25 + 10Φ16	2	2	0,254	0,004
P56,60	13	30x120	6Φ25 + 10Φ16	12	12	0,251	0,004

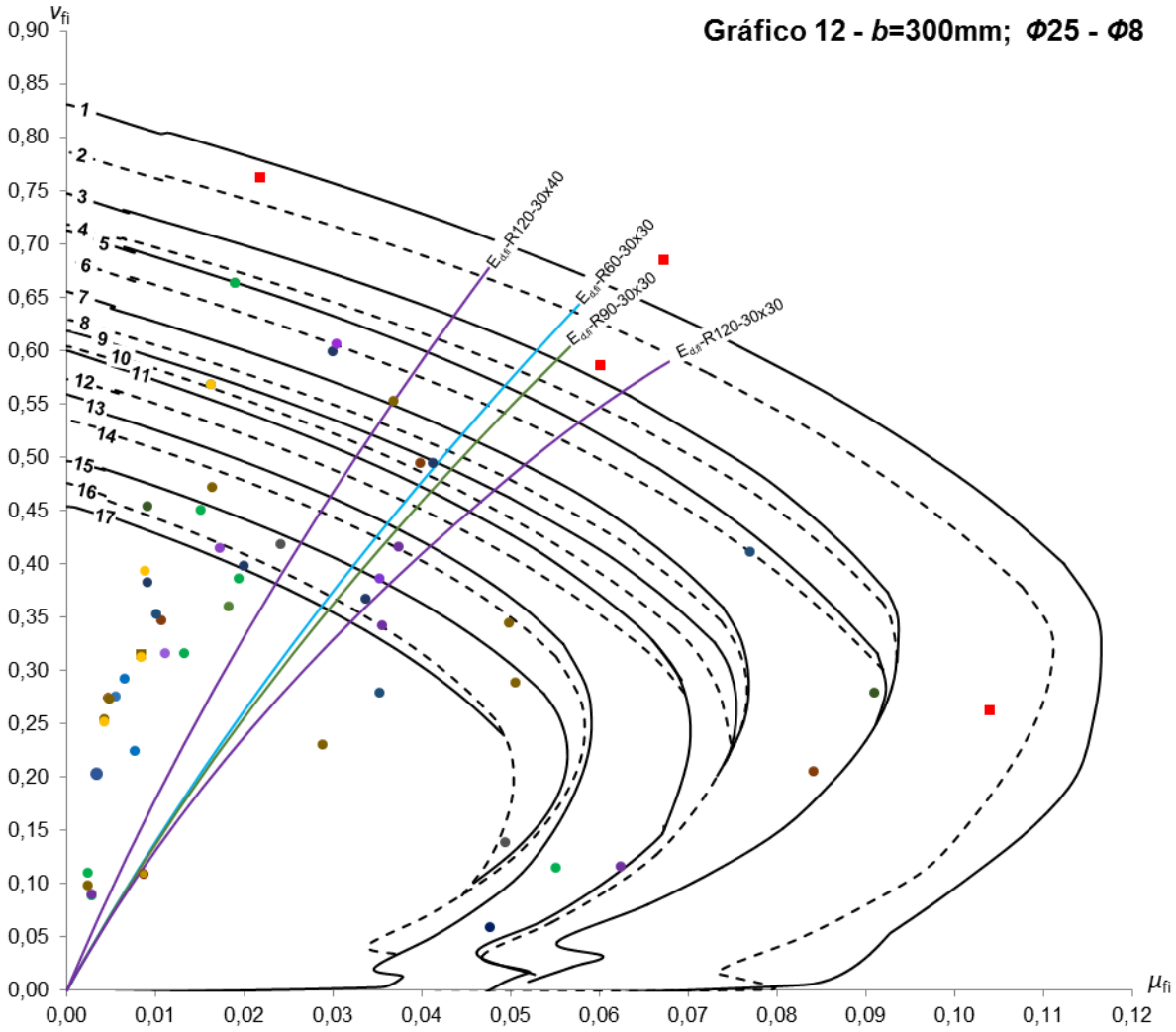


Figura A7.23 - Aplicação do Gráfico 12: verificação da resistência ao fogo dos pilares analisados com *b*=30cm e armadura constituída por *Φ*25-*Φ*8.

Quadro A7.46 - Pilares que verificam a resistência ao fogo pela aplicação do Gráfico 12.

R60				R90				R120			
h [cm]	Número de pilares	Pilares que verificam		*h* [cm]	Número de pilares	Pilares que verificam		*h* [cm]	Número de pilares	Pilares que verificam	
		Nº	%			Nº	%			Nº	%
30	14	8	57,1%	30	10	4	40,0%	60	16	10	62,5%
40	68	68	100,0%	50	8	8	100,0%	65	16	16	100,0%
50	30	30	100,0%	70	90	78	86,7%	70	10	4	40,0%
90	44	44	100,0%	90	112	112	100,0%	75	4	4	-
95	18	18	100,0%	100	56	56	100,0%	85	8	8	-
100	18	18	100,0%	120	16	16	100,0%	90	2	2	-
-	-	-	-	-	-	-	-	95	8	8	-
-	-	-	-	-	-	-	-	115	4	4	-
-	-	-	-	-	-	-	-	120	14	14	-

A7.4. RESULTADOS DA APLICAÇÃO DOS GRÁFICOS PROPOSTOS AOS PILARES COM *b*=200mm, *b*=250mm E *b*=300mm

Utilizou-se a nova metodologia, proposta nesta dissertação, para a verificação da resistência ao fogo dos 7204 pilares com *b*=200mm, *b*=250mm e *b*=300mm, constituintes das estruturas dos edifícios selecionados para o presente estudo, considerando o recobrimento mínimo estipulado na normalização e aplicável a estes edifícios (35mm), e o fator de redução para o valor de cálculo do nível de carregamento em situação de incêndio, η_{fi}, explicitamente calculado para cada projeto, obtendo-se os resultados analisados no Subcapítulo 7.5.3 do Capítulo 7. Para essa análise recorreu-se aos gráficos apresentados nas Figuras 7.37 a 7.45 do referido subcapítulo, onde se mostra o número de pilares previstos e o número de pilares que verificam a resistência ao fogo em cada escalão, para cada valor de *b* e de *h*. Nas Figuras A7.24 a A7.32 do presente anexo expõem-se aqueles gráficos, mas desenvolvidos em termos percentuais. Cada percentagem foi calculada considerando a razão entre o número de pilares previstos ou o número de pilares que verificaram a resistência ao fogo, em cada escalão e para cada valor de *b* e de *h*, e o número total de pilares com *b*=20cm, *b*=25cm e *b*=30cm (7204 pilares).

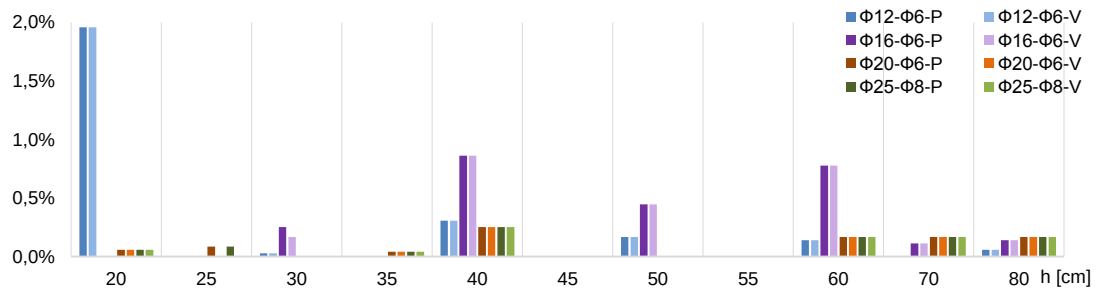


Figura A7.24 - Percentagens de pilares com *b*=20cm, no escalão R60, que verificam a resistência ao fogo quando utilizados os gráficos propostos.

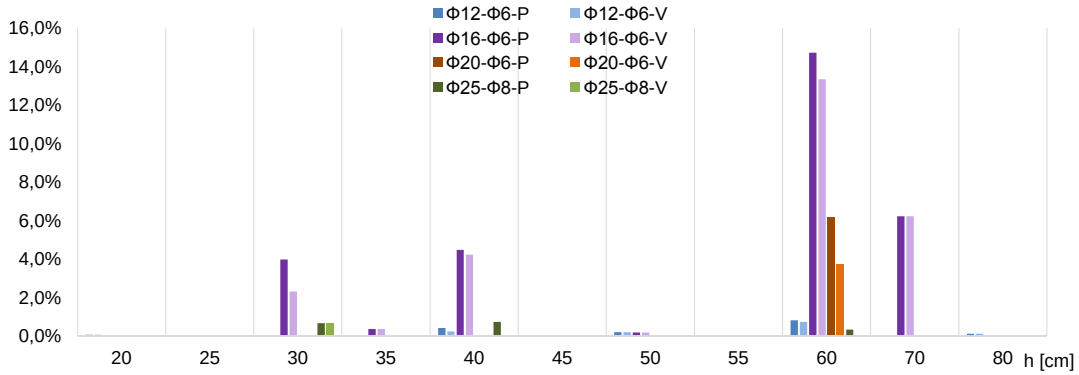


Figura A7.25 - Percentagens de pilares com *b*=20cm, no escalão R90, que verificam a resistência ao fogo quando utilizados os gráficos propostos.

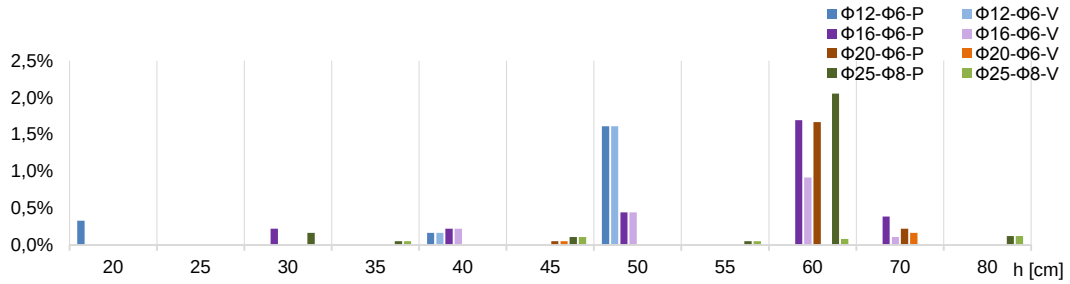


Figura A7.26 - Percentagens de pilares com *b*=20cm, no escalão R120, que verificam a resistência ao fogo quando utilizados os gráficos propostos.

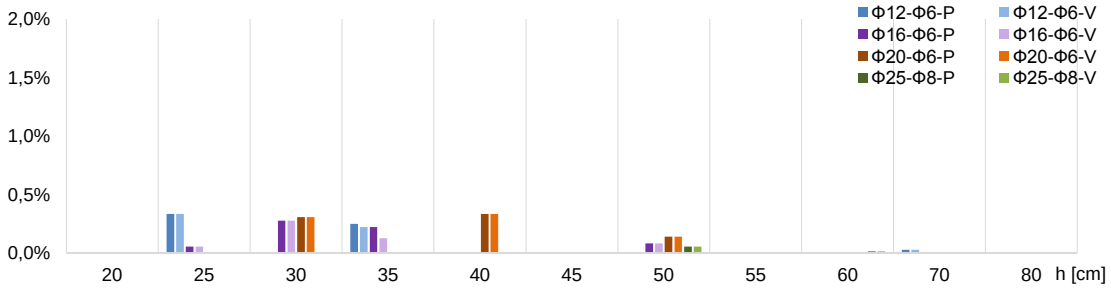


Figura A7.27 - Percentagens de pilares com *b*=25cm, no escalão R60, que verificam a resistência ao fogo quando utilizados os gráficos propostos.

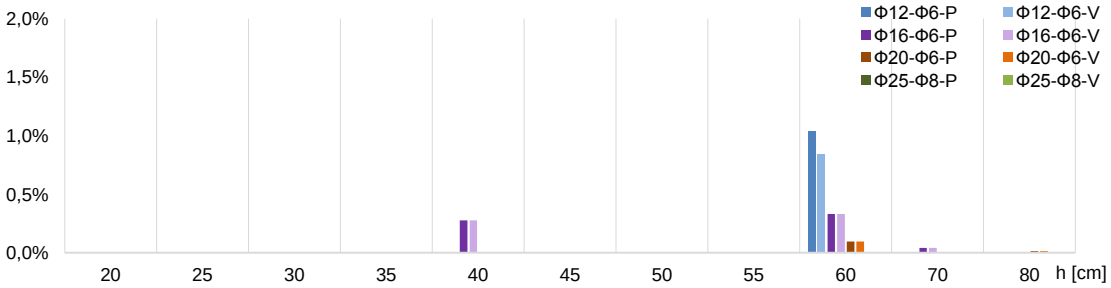


Figura A7.28 - Percentagens de pilares com *b*=25cm, no escalão R90, que verificam a resistência ao fogo quando utilizados os gráficos propostos.

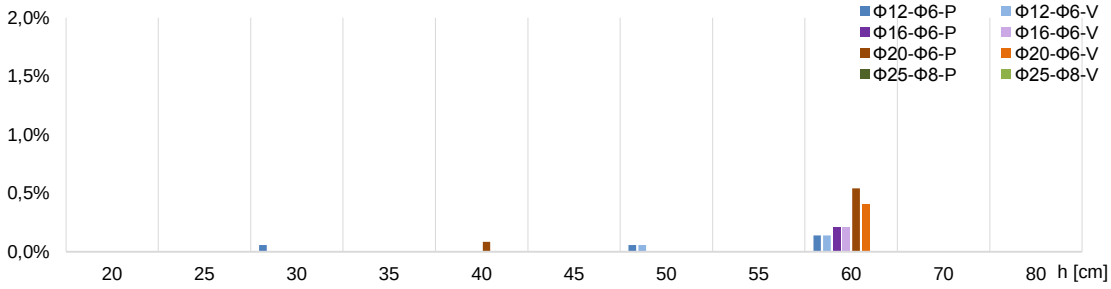


Figura A7.29 - Percentagens de pilares com *b*=25cm, no escalão R120, que verificam a resistência ao fogo quando utilizados os gráficos propostos.

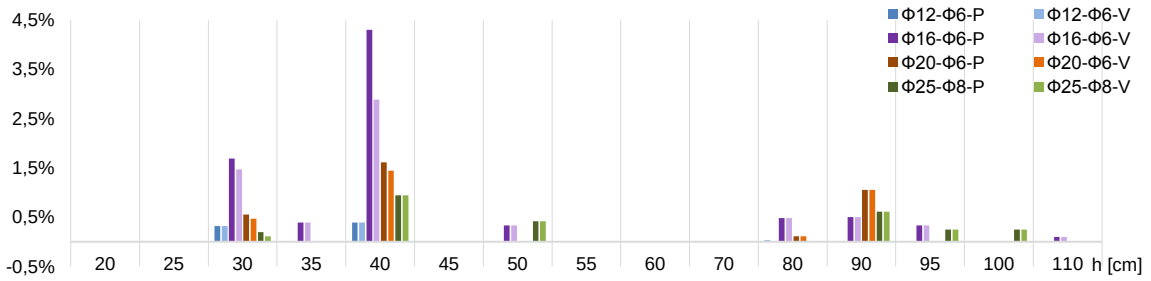


Figura A7.30 - Percentagens de pilares com *b*=30cm, no escalão R60, que verificam a resistência ao fogo quando utilizados os gráficos propostos.

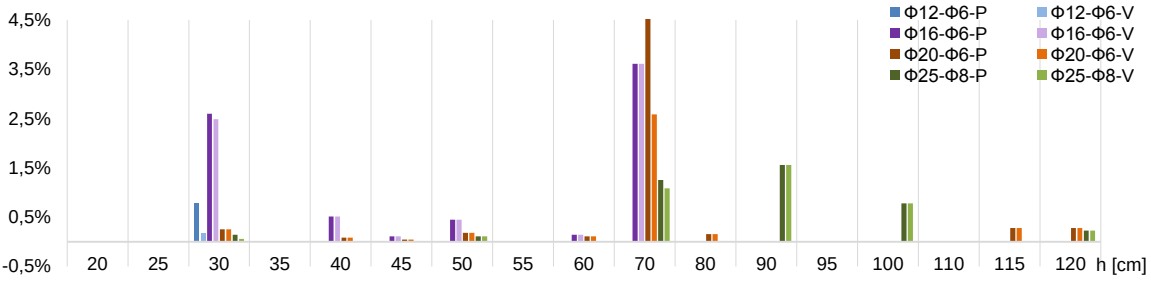


Figura A7.31 - Percentagens de pilares com *b*=30cm, no escalão R90, que verificam a resistência ao fogo quando utilizados os gráficos propostos.

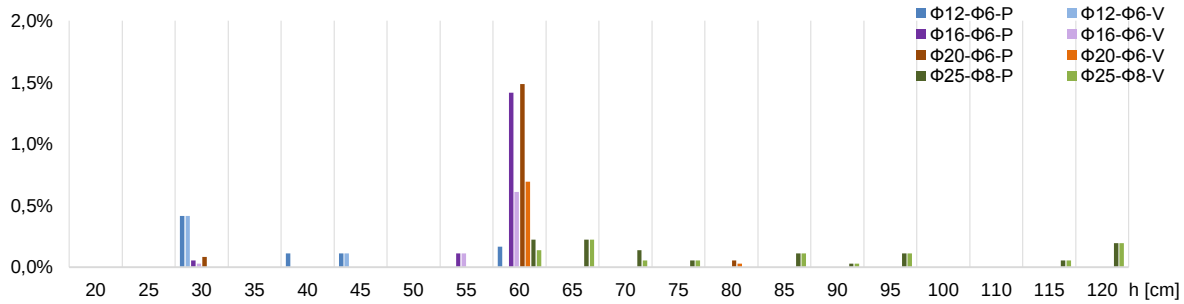


Figura A7.32 - Percentagens de pilares com *b*=30cm, no escalão R120, que verificam a resistência ao fogo quando utilizados os gráficos propostos.