

REABILITAÇÃO E REFORÇO SÍSMICO DE EDIFÍCIOS EXISTENTES SEGUNDO O EUROCÓDIGO 8

PROCEDIMENTOS E APLICAÇÃO

MATEUS AUGUSTO RÊGO ARRUDA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ESTRUTURAS DE ENGENHARIA CIVIL

Orientador: Professor Doutor António José Coelho Dias Arêde

Co-orientador: Professor Doutor Nelson Saraiva Vila-Pouca

JULHO DE 2021

À minha família.

“Um passo à frente e você não está mais no mesmo lugar”
Chico Science

RESUMO

Com a crescente necessidade de validar o desempenho sísmico das estruturas, e buscando a segurança das pessoas que residem em zonas sísmicas e prédios construídos anteriormente as normas de dimensionamento sísmico, este trabalho foca procedimentos e exemplifica a utilização de ferramentas de cálculo que auxiliam na elaboração da avaliação sísmica e no reforço sísmico de edifícios existentes segundo o EC8-3.

Para realizar tais objetivos o presente trabalho retrata de forma simplificada e tenta reunir em um único documento o material necessário para a quantificação sísmica, a análise estrutural e a verificação sísmica dos elementos lineares de uma estrutura existente.

Para isso, houve a necessidade de automatizar a ferramenta de cálculo já existente, com o intuito de agilizar e aperfeiçoar a sua utilização, para em seguida, com as informações adquiridas e de acordo com as diretrizes normativas, propor o reforço para garantir que a estrutura tenha a sua verificação positiva, ou seja, do lado da segurança.

Através de um estudo de caso real com um edifício existente de 1964, constatou-se que a estrutura original, composta por pilares e vigas, não verifica a segurança. Nesse sentido, com necessidade de reforço da estrutura, procedeu-se a introdução de paredes de contraventamento em locais tecnicamente possíveis. Por fim, foi feita a análise da nova estrutura, dimensionamento do reforço e a verificação dos elementos existentes, que passou a ser segura, de acordo com o EC8-3.

Palavras-Chave: Avaliação sísmica, Eurocódigo 8 parte 3, Verificação sísmica de mecanismos, Reabilitação, Reforço sísmico.

ABSTRACT

The growing need to validate the seismic performance of structures and seeking the safety of people living in seismic zones and buildings built before the seismic design codes, this work focuses procedures and exemplifies the use of calculation tools that help in the elaboration of the seismic assessment and in the seismic reinforcement of existing buildings according to EC8-3.

To achieve these objectives, this academic work describes in a simplified way and tries to gather in a single document the material necessary for seismic quantification, structural analysis and seismic verification of linear elements of an existing structure. In addition, it improved an existing calculation tool by automating it in order to streamline and improve its use, then, with the information acquired and in accordance with the normative guidelines, propose a reinforcement to ensure that the structure has its positive verification, in other words, a safe structure.

Through a real case study built on an existing building from 1964, it was found that the original structure, made of columns and beams, do not verify the conditions of safety. Accordingly, by the need of structural reinforcement, established the introduction of bracing walls in viable zones. In conclusion, was made a new analysis to the reinforced structure, the design of the reinforcement and the verification of the original elements, which become a safe structure, by the EC8 guidelines.

Keywords: Seismic Assessment, Eurocode 8 part 3, Seismic Structure Verification, Rehabilitation, Seismic Reinforcement.

Agradecimentos

Desejo agradecer a todos meus professores que estiveram comigo nessa jornada acadêmica, desde a graduação até o mestrado, em especial ao meu Orientador Professor Doutor António José Coelho Dias Arêde e ao Coorientador Professor Doutor Nelson Saraiva Vila-Pouca, que com paciência e grande disponibilidade me ajudaram a resolver os problemas encontrados no caminho da dissertação.

Agradeço ao Dr. Eng. Rui Soares por me auxiliar diretamente em algumas questões relativas a dissertação.

E por fim, agradeço ao apoio de toda minha família e amigos, em especial a minha mãe Rita Rêgo, meu pai Francisco Arruda J., minha irmã Camilly Cássia Rêgo Arruda e minha namorada Marília Newton que estiveram lado a lado comigo nessa jornada, que, mesmo distante se faziam presente.

ÍNDICE GERAL

REABILITAÇÃO E REFORÇO SÍSMICO DE EDIFÍCIOS EXISTENTES SEGUNDO O EUROCÓDIGO 8 PROCEDIMENTOS E APLICAÇÃO	i
Resumo	iii
Abstract	iv
1 Introdução	1
1.1 Aspectos Gerais	1
1.2 Objetivos	1
1.3 Estrutura da dissertação	2
2 Avaliação Sísmica Com Base No Eurocódigo 8.....	3
2.1 Introdução	3
2.2 Informação estrutural de edifícios existentes.	3
2.3 Avaliação sísmica	4
2.3.1 Estados limites de dano da estrutura.....	4
2.3.2 Quantificação da ação sísmica	5
2.3.3 Análise estrutural	9
2.4 Verificação de mecanismos de rotura	11
2.4.1 Exigência dos mecanismos	12
2.4.2 Capacidade dos mecanismos.....	17
2.5 Definição da solução de reforço	23
3 Sistematização das estratégias de reforço.....	25
3.1 Introdução	25
3.2 Estratégias e técnicas de intervenção.....	25
3.3 Reabilitação da Capacidade dos elementos existentes	26
3.3.1 Encamisamento com betão	27
3.3.2 Encamisamento metálico.....	28
3.4 Estratégias de intervenção global	29
3.4.1 Aumento da Rigidez Lateral.....	30
3.5 Fluxograma para reabilitação sísmica.....	37
4 Automatização de folha de cálculo existente.	38
4.1 Apresentação da folha de cálculo	38
4.2 Automatização da numeração de Barras e nós	41
4.3 Automatização dos esforços e deslocamentos	43
4.4 Sequência da utilização	44
4.4.1 Inserção de ficheiros “Nods_columns e Nods_Beams”	45
4.4.2 Inserção de ficheiros “Axial_Columns_CQP e Nods_Displ”	46
4.4.3 Inserção de ficheiros “Columns_seismic e Beams_seismic”	47
5 Avaliação e reforço de um caso de estudo	50
5.1 Aspectos Gerais.....	50
5.2 Geometria do edifício e dos elementos estruturais	50
5.3 Propriedades dos materiais.....	55
5.4 Cargas Verticais.....	56
5.5 Avaliação sísmica	56
5.5.1 Nível de conhecimento	56
5.5.2 Estados limites a verificar	56
5.5.3 Quantificação da ação sísmica	57
5.5.4 Modelação numérica e análise da estrutura existente	57
5.5.5 Resultados de análise sísmica.	58

5.6	Reforço Sísmico	66
5.6.1	Modelação numérica da estrutura com reforço.....	67
5.6.2	Avaliação sísmica da estrutura com reforço sísmico	68
5.7	Verificação da segurança dos Elementos Existentes.....	71
5.8	Dimensionamento do reforço	77
5.8.1	Exemplo de dimensionamento de parede (PY1)	77
5.8.2	Exemplo de dimensionamento de encamisamento metálico (Viga V17)	79
6	Conclusões e desenvolvimentos futuros	82
6.1	Conclusões	82
6.2	Desenvolvimentos futuros	82
	Referências	83
	Anexo A	A-1
	Anexo B.....	A-40
	Anexo C	A-68

SÍMBOLOS, ACRÔNIMOS E ABREVIATURAS

EC8 – 1	Eurocódigo 8 Parte 1
EC8 – 3	Eurocódigo 8 Parte 3
NC	estado limite de colapso iminente
SD	estado limite de danos severos
DL	estado limite de limitação de danos
CF	coeficiente de confiança
$A_{E,d}$	valor de cálculo da ação sísmica
A_c	Área da secção transversal de um pilar
A_s	Área da secção transversal de armaduras longitudinais
A_{sw}	área da secção transversal das armaduras de esforço transversal
a_g	valor de cálculo da aceleração à superfície num terreno tipo A
a_{gR}	aceleração máxima de referência
E_d	valor de cálculo do efeito das ações
E_s	Módulo de elasticidade do aço
f_c	valor médio da tensão de rotura a compressão do betão
f_{cd}	Valor de cálculo da tensão de rotura do betão a compressão
f_{ctm}	Valor médio da tensão de rotura do betão à tração
f_y	valor médio da tensão de cedência do aço das armaduras longitudinais
f_{yd}	valor de cálculo da tensão de cedência do aço das armaduras longitudinais
f_{yw}	valor médio da tensão de cedência do aço da armadura transversal
f_{ywd}	valor de cálculo da tensão de cedência do aço da armadura transversal
$f_{yj,d}$	Valor de cálculo da tensão de cedência do aço de encamisamento
$V_{R,c}$	Resistência ao esforço transversal de um elemento sem armaduras de alma
$V_{R,max}$	Resistência ao esforço transversal determinada pelo esmagamento da biela diagonal comprimida
V_w	Contribuição das armaduras transversais para a resistência do esforço transversal
h	altura da secção transversal
b	Largura das cintas metálicas do encamisamento metálico
b_o e h_o	Dimensão do núcleo de betão confinado medido ao eixo das cintas
b_i	Espaçamento entre eixos dos varões longitudinais
c	Recobrimento das armaduras
d	Altura útil de uma secção (altura em relação à armadura tracionada)
d'	Altura em relação à armadura comprimida
t_i	Espessura do elemento “i”

d_{bl}	valor do diâmetro médio das armaduras longitudinais
d_{bw}	valor do diâmetro médio das armaduras transversais
L_v	comprimento do vão de corte
$G_{k,j}$	valor característico da ação permanente j
$Q_{k,j}$	valor característico da ação variável j
s	espaçamento dos estribos
S	coeficiente do solo
ESP	Elemento sísmico primário
ESS	Elemento sísmico secundário
γ_{el}	Coeficiente superior a 1,0 para elementos sísmicos primários e iguais a 1,0 para elementos sísmicos secundários
$S_e(T)$	Aceleração do espectro de resposta elástico para período de vibração T
T	período de vibração de um sistema linear com um grau de liberdade
T_B	limite inferior do período no patamar de aceleração espectral constante
T_c	limite superior do período no patamar de aceleração espectral constante
T_d	valor que define no espectro o início do ramo de deslocamento constante
z	braço do binário das forças interiores
θ	ângulo formado pela escora comprimida de betão com o eixo longitudinal do elemento
θ_y	Rotação da corda na cedência do elemento de betão
θ_u	Rotação última da corda do elemento de betão
α	Coeficiente de confinamento
α_{cw}	coeficiente que tem em conta o estado de tensão no banzo comprimido
$\psi_{2,i}$	fator para determinação do valor quase permanente de ações em valores característicos
N	Esforço axial (positivo para compressão)
ν	$=N/bh f_c$ (b largura da zona comprimida)
ρ_d	Percentagem de armadura diagonal
ρ_{sx}	$=A_{sw}/b_w s_h$ = percentagem de armaduras transversais paralelas à direção x de carregamento, com s_h = espaçamento dos estribos
ρ_{tot}	Percentagem total das armaduras longitudinais
ρ_{sw}	Taxa volumétrica de armaduras de confinamento
ρ_w	Percentagem de armadura transversal
Φ_u	Curvatura ultima da secção de extremidade
Φ_y	Curvatura na cedência da secção de extremidade
ω, ω'	Taxa mecânica de armaduras tracionadas e comprimidas

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Sismicidade do continente de Portugal retirado da EC8-1.	6
Figura 2.2 - Espectros de resposta elástica de recomendados para os terrenos do tipo A à E em Portugal de acordo com o Anexo Nacional do EC8-1. a) Tipo 1, b) Tipo 2.	8
Figura 2.3 - Modelação do núcleo através de barras equivalentes. a)Modelo de barras; b)Secções das paredes do núcleo (Adaptado de (Avramidis et al, 2015)).	11
Figura 2.4 : Rotação da corda(θ) e vão de corte (L_v): a) deformada da estrutura e b) diagrama de momento fletor.	13
Figura 2.5 – Procedimento para determinação da exigência dúctil - a) Ilustração de deslocamentos em um elemento linear, b) Ilustração da rotação do vão de corte. (adaptado de (Costa & Providência, 2019)).	14
Figura 2.6 - Soluções de reforço sísmico (Appleton, 2008).	23
Figura 2.7 - Representação gráfica da verificação frágil dos pilares de um dos pórticos da estrutura do estudo de caso na direção X – Verdes representam OK e vermelhos KO.	24
Figura 3.1 – Figura ilustrativa de encamisamento metálico em pilar (<i>SketchUp – Trimble ,2021</i>).	28
Figura 3.2 - Eficácia quando comparado a deformação entre pisos(<i>Drift</i>) e o corte basal(V_b) (adaptado de (Costa & Providência, 2019).)	30
Figura 3.3 : Ilustração dos coletores de forças de inércia.	32
Figura 3.4 - Soluções para fundação de paredes de betão.i)incorporação das fundações proximas através de viga rígida. ii)ancoragem ao solo com microestacas (adaptado de (Costa & Providência, 2019).	32
Figura 3.5 - Envolvente de cálculo dos momentos fletores de paredes.(EC8-1)	33
Figura 3.6 - Envolvente de cálculo dos esforços transversos de paredes.	33
Figura 3.7 - Confinamento dos elementos de extremidade - Nomeclatura utilizada pelo EC8-1.	34
Figura 3.8 - Procedimentos para avaliação e reforço sísmico	37
Figura 4.1 - Ilustração da primeira parte da folha de cálculo - Instruções	38
Figura 4.2 - Folha de cálculo; propriedades geométricas, mecânicas e esforços da análise.	39
Figura 4.3 - Folha de cálculo; armaduras longitudinais, de alma e transversais, carga G, deslocamentos e rotações provenientes de análise e elementos adjacentes.	39
Figura 4.4 Exemplo de preenchimento dos elementos adjacentes.	40

Figura 4.5 - Folha de cálculo- Cálculos ocultos de coeficientes e propriedades de cálculo.	40
Figura 4.6 - Folha de cálculo; exemplo de resultados para o mecanismo frágil.	41
Figura 4.7 - Botão "Barras e Nós" inserido na folha de cálculo.....	43
Figura 4.8 - Eixos locais - Sap2000(CSI)	43
Figura 4.9 - Eixos locais dos pilares, vigas e nós condizentes com cada folha de cálculo: a) pórticos em X e b) pórticos em Y.	43
Figura 4.10 - Ficheiro Columns_Seismic - Exemplo	44
Figura 4.11 - Ficheiro Columns_seismic L (station 0 e Steptype Max) - Exemplo	44
Figura 4.12 - Folha de cálculo - " <i>páginas</i> " para inserção dos ficheiros.....	44
Figura 4.13 - Verificação de segurança – pagina principal.	45
Figura 4.14 - Verificação de segurança – Pagina principal.....	45
Figura 4.15 - Ficheiro retirado do Sap2000 - Nods_columns.	46
Figura 4.16 - Folha de cálculo - Página "Nods_Columns" antes de receber o ficheiro.	46
Figura 4.17 - Folha de cálculo - columns_seismic_MAX - Exemplo.....	48
Figura 4.18 - Folha de cálculo, página principal após a execução dos ficheiros e botão "barras e nós"	49
Figura 5.1 –Elementos do projeto do edificio do estudo de caso- a)Plantas arquitetónica; b)Planta estrutural; c)Corte com nomenclatura dos pisos; d)disposições de armadura; e)memória de cálculo. .	51
Figura 5.2 - Planta Estrutural Piso 1.	52
Figura 5.3 - Pórticos em X; a) pórtico 1X; b) Pórtico 2X; c) Pórtico 4X;d) Pórtico 6X.....	53
Figura 5.4 - Pórticos em Y a) pórtico AY; b) Pórtico BY; c) Pórtico CY; d) Pórtico DY; e) Pórtico FY; f) Pórtico GY; g) Pórtico HY; h) Pórtico IY.	54
Figura 5.5 - Piso 4 -Plantas de distribuição das lajes aligeiradas	55
Figura 5.6 - Espectro de resposta elástico para classe de importância II, estado limite de danos severos, em Viseu, Solo tipo C; a) sismo tipo 1 e ;b) sismo do tipo 2.	57
Figura 5.7 : Modelo numérico desenvolvido em Sap2000(CSI-2021).....	58
Figura 5.8: Períodos de vibração e rácios de massa participante em cada modo. (<i>Sap2000-CSI 2021</i>)	59
Figura 5.9 - Coeficientes sísmicos por piso e por direção da estrutura existente.....	59

Figura 5.10 – Verificação da admissibilidade da análise linear de acordo com o EC8-3 – a) Elementos dos pórticos em X; b) Elementos dos pórticos em Y.	60
Figura 5.11 - Verificação dos mecanismos dúcteis, folha de cálculo (pórticos Y – Combinação $30\%E_{2X}+100\%E_{2Y}$), onde o rácio D/C garante a condição OK.	60
Figura 5.12 - Verificação dos mecanismos frágeis – exemplo de pilares não verificados, a) trecho retirado da folha de cálculo para pórticos em X, combinação $100\%E_{2X}+30\%E_{2Y}$; b) trecho retirado da folha de cálculo para pórticos em Y, combinação $30\%E_{2X}+100\%E_{2Y}$	61
Figura 5.13 - Representação gráfica das verificações para o mecanismo frágil realizada na folha de cálculo para combinação sísmica CQP “+” $100\%E_{2X}+30\%E_{2Y}$ –verificação dos pilares	62
Figura 5.14 - Representação gráfica das verificações para o mecanismo frágil realizada na folha de cálculo para combinação sísmica CQP “+” $100\%E_{2X}+30\%E_{2Y}$ –verificação das vigas	63
Figura 5.15 - Representação gráfica das verificações em pilares dos pórticos em Y para o mecanismo frágil realizadas na folha de cálculo para a combinação sísmica CQP “+” $30E_{2X}_100E_{2Y}$	64
Figura 5.16 - Representação gráfica das verificações em vigas dos pórticos em Y para o mecanismo frágil realizada na folha de cálculo para combinação sísmica CQP “+” $30E_{2X}_100E_{2Y}$	65
Figura 5.17 - Planta de reforço - limitações arquitetónicas.....	66
Figura 5.18 – Detalhe de discretização modelação das rótulas; a) Pórtico AY/IY, paredes PY1 e PY2;b) Pórtico 1X, paredes PX1 e PX2.....	68
Figura 5.19 - Modelo numérico da estrutura com reforço, desenvolvido em Sap2000(CSI-2021).	68
Figura 5.20 - Espectro de resposta de cálculo ($q=3$) de acordo com EC8-1 para classe de importância II em Viseu, Solo tipo C; a) sismo tipo 1 e; b) sismo do tipo 2.	69
Figura 5.21 – Comparação do espectro de resposta elástico do EC8-3 (SD) com o espectro de resposta de cálculo EC8-1 com $q=3$; a) sismo do tipo 1; b) sismo do tipo 2; onde: $T_{L,X}$ é o período da estrutura antes do reforço em X; $T_{L,Y}$ é o período da estrutura antes do reforço em Y; $T_{R,X}$ é o período da estrutura após o reforço em X; $T_{R,Y}$ é o período da estrutura após o reforço em Y.	69
Figura 5.22 - Coeficientes sísmicos por piso e por direção da estrutura reforçada.	70
Figura 5.23 - Verificação dos mecanismos dúcteis, após o reforço, com condição OK, para o caso do pilar P5 na direção Y.....	71
Figura 5.24 - Verificação dos mecanismos frágeis, após o reforço. -a) trecho retirado da folha de cálculo para pórticos em X; b) trecho retirado da folha de cálculo para pórticos em Y.	72
Figura 5.25 - Representação gráfica das verificações para o mecanismo frágil para os pórticos em X na estrutura reforçada, realizada na folha de cálculo para combinação sísmica CQP “+” $100E_{2X}_30E_{2Y}$ –verificação dos pilares	73

Figura 5.26- Representação gráfica das verificações para o mecanismo frágil para os pórticos em X na estrutura reforçada, realizada na folha de cálculo para combinação sísmica CQP “+” 100E2X_30E2Y – verificação das vigas	74
Figura 5.27 - Representação gráfica das verificações em pilares dos pórticos em Y da estrutura reforçada para o mecanismo frágil , após o reforço realizada na folha de cálculo para combinação sísmica CQP “+” 30E2X_100E2Y.....	75
Figura 5.28 - Representação gráfica das verificações em vigas dos pórticos em Y da estrutura reforçada para o mecanismo frágil , após o reforço, realizada na folha de cálculo para combinação sísmica CQP “+” 30E2X_100E2Y.....	76
Figura 5.29: Envolventes de Cálculo para :a) esforço de corte (kN) e b)momento fletor (kN.m).	77
Figura 5.30 - Armadura da parede PY1/PY5.	78
Figura 5.31 – Viga 17 - a) Folha de cálculo para verificação do mecanismo frágil; b) trecho da representação gráfica do pórtico 1X , no qual se encontra a viga V17.	80
Figura 5.32- Encamisamento metálico da Viga V17, Imagem ilustrativa. a) imagem em perspetiva; b) imagem frontal. (<i>SketchUp ,Trimble ,2021</i>).....	81

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Níveis de conhecimento de acordo com o método de obtenção de informações (Adaptado de: EN 1998-3:2017).....	4
Tabela 2.2 : Coeficientes de multiplicação da ação sísmica de acordo com o Anexo Nacional NP EN 1998-3.	5
Tabela 2.3 - Aceleração máxima de referência a_{gr} (m/s ²) por zona sísmica em Portugal de acordo com o Anexo nacional do EC8-1.	5
Tabela 2.4 - Classe de importância do Anexo Nacional do EC8-1.....	6
Tabela 2.5 - Valores recomendados para os parâmetros dos espectros de resposta elástica para Portugal.(Anexo Nacional do EC8-1)	8
Tabela 2.6 Valores de φ de acordo com o EC8-1	9
Tabela 2.7 - Propriedades da coluna equivalente para paredes de betão armado.....	11
Tabela 2.8 Critérios de verificação de elementos de betão armado (Fardis, 2009).....	23
Tabela 4.1 -Ficheiros do Sap2000 necessários para utilização da folha de cálculo	42
Tabela 4.2 - Eixo local dos pilares, vigas e nós, para as duas direções.....	47
Tabela 4.3 - Station e Steptype de acordo com a face e o lado do elemento.	48
Tabela 5.1 - Propriedades dos materiais existentes e novos.....	55
Tabela 5.2- Cargas permanentes.	56
Tabela 5.3- Sobrecargas	56
Tabela 5.4 - Parâmetros do espectro resposta para solo C e acelerações máximas para o estado limite (SD).....	57
Tabela 5.5- Corte Basal para cada combinação e por eixo e correspondentes coeficientes sísmicos ...	59
Tabela 5.6 - Dimensões das paredes de reforço.	67
Tabela 5.7- Parâmetros do espectro resposta para solo C e acelerações máximas de acordo com o EC8-1.....	69
Tabela 5.8 - Corte Basal da estrutura reforçada para cada combinação e por eixo.....	70
Tabela 5.9 - Comparação de corte basal e coeficiente sísmico entre as estruturas, existente e após o reforço.	70

Tabela 5.10 – Percentagem de força de corte absorvida por cada parede para as combinações condicionantes.....	70
Tabela 5.11 - Coeficientes de dimensionamento da parede PY1.	79
Tabela 5.12- Valores da verificação de corte para parede PY1.	79

1

INTRODUÇÃO

1.1 Aspectos Gerais

Eventos sísmicos são eventos únicos, provenientes do choque ou movimentação de placas tectônicas que se encontram nas camadas da terra, mais precisamente a litosfera, sendo os eventos naturais mais temidos, exigentes e devastadores para a humanidade. Nos últimos 100 anos houve diversos eventos sísmicos importantes como San Francisco (1906), Tokyo (1923), Alaska (1964), Iran (1968), México (1985), Kobe (1995) onde o mais recente e destrutivo foi sentido na província de Sichuan na China, em maio de 2008 com a estimativa de 87 mil mortes e mais de 5 milhões de pessoas sem lares (Sen., 2009).

Com tanta devastação causada por desastres naturais a sociedade cada vez mais tenta prever tais situações, ou melhor, se preparar para possíveis eventos. Através dos estudos dos eventos prévios vem surgindo cada vez mais regras e normas de dimensionamento para que se tenha uma melhor qualidade dos edifícios em relação às exigências sísmicas.

Em Portugal as primeiras normas de dimensionamento sísmico de edifícios surgem em 1958, com poucos mecanismos de fiscalização e pouco difundidos de modo que muitas vezes acabavam por serem negligenciados. No final de 2019, tornou-se obrigatório a elaboração de um relatório de avaliação de vulnerabilidade sísmica na maioria das intervenções de reabilitação com a entrada em vigor do Decreto-Lei 95-2019 (Carvalho, 2020).

Este trabalho visa preencher lacunas, tanto nas informações quanto nos procedimentos de avaliação sísmica de edifícios existentes, visando a reabilitação sísmica. Além de descrever os procedimentos de avaliação e reabilitação, unindo grande quantidade de informação necessária em um único documento, propõe o reforço sísmico exemplificado através de um estudo de caso.

Ao automatizar e aprimorar uma folha de cálculo existente que serve de ferramenta para a verificação sísmica, possibilita uma melhor visualização do comportamento dos mecanismos de rotura, perante as ações sísmicas, tomando assim as decisões necessárias para um reforço sísmico eficiente e que pode gerar documentação útil para projetos de reabilitação.

1.2 Objetivos

O presente trabalho tem como seu objetivo principal a elaboração de um documento para aplicação prática do Eurocódigo 8 parte 3 (EC8-3) na implementação do reforço sísmico, com a definição dos procedimentos necessários para utilização de ferramentas de cálculo existente.

O trabalho inclui a automatização de uma folha de cálculo existente e sua utilização antes e após o reforço de um caso prático real de um edifício anterior aos regulamentos atuais, em particular o EC8-3.

1.3 Estrutura da dissertação

Além do presente capítulo este trabalho está organizado em mais 4 capítulos principais:

O capítulo 2 contém as informações necessárias para a elaboração de uma avaliação sísmica voltada para o reforço sísmico. Nele são apresentados os conceitos e parâmetros para seguir um fluxo de pensamento visando quantificar as necessidades da estrutura e consequentemente atestar a necessidade, ou não, de reabilitação e reforço.

O capítulo 3 destina-se a sistematizar o conjunto de informações necessárias para se tomar a decisão de como intervir na estrutura.

No capítulo 4 expõe-se a automatização de uma folha de cálculo existente, assim como sua utilização e seu funcionamento.

O capítulo 5, estudo de caso, é onde se aborda o caso real no qual foram aplicados os conhecimentos desenvolvidos ao longo do capítulo 2 e 3, assim como a folha de cálculo automatizada descrita no capítulo 4.

No capítulo 6 está disposta as conclusões provenientes das aplicações do capítulo 5, além de propostas para discussões futuras.

2

**AVALIAÇÃO SÍSMICA COM BASE NO
EUROCÓDIGO 8****2.1 Introdução**

O reforço de uma estrutura existente exige cautela; trabalhar sobre uma estrutura que já foi pensada e executada pode ser uma tarefa mais complexa do que a idealização de uma nova. Envolvendo níveis de incerteza diferentes e, consequentemente, diferentes coeficientes de segurança para materiais e para estrutura, a norma EN 1998-3:2017, tratada neste trabalho como EC8-3, visa auxiliar na classificação desses coeficientes de segurança, assim como estabelecer diferentes métodos de análise em função da fiabilidade das informações adquiridas.

2.2 Informação estrutural de edifícios existentes.

Para avaliar um edifício existente é necessário retirar informações sobre o edifício da maior quantidade de fontes possíveis. Desde informações genéricas tais como os códigos vigentes e práticas dos engenheiros da época quanto também informações específicas do edifício, seja por documentos disponíveis ou ensaios *in-situ* e laboratoriais. Deve-se sempre verificar a coerência dessas informações com o cruzamento de dados, por exemplo, avaliando as resistências dos ensaios *in-situ* /laboratoriais e comparando com as resistências descritas em documentos.

Dentre as informações necessárias a coletar (Costa & Providência, 2019) listam o que seriam as informações necessárias para a avaliação do edifício:

1. Geometria:
 - identificação dos sistemas de contraventamento, suas direções e quais os tipos de sistemas de acordo com o EC8-1;
 - para lajes, identificar espessuras e orientação das armaduras;
 - secções transversais de pilares, vigas e paredes;
 - geometria das fundações e técnicas de melhoramento de solo.
2. Armadura:
 - armaduras longitudinais e transversais e suas disposições construtivas;
 - armaduras dos nós viga-pilar;
 - qualidade e profundidade do recobrimento;
 - amarração das armaduras;
 - armaduras e disposições construtivas das fundações.
3. Materiais
 - betão: tensão de rotura à compressão: (f_c);
 - aço: tensão de cedência à tração: (f_y), tensão de rotura à tração (f_t) e sua extensão máxima (ϵ_u).
4. Defeitos
 - fendas
 - corrosões das armaduras;
 - assentamento dos apoios;
 - deformações excessivas.

Ao coletar essas informações pode-se então estabelecer um coeficiente de confiança (CF) para a análise sísmica a ser feita. O EC8-3 fornece as diretrizes para determinar o coeficiente de confiança, sendo eles $CF_{KL1}=1,35$, $CF_{KL2}=1,2$ e $CF_{KL3}=1,0$, referentes aos níveis de conhecimento KL1, KL2 e KL3. A Tabela 1, indica qual o nível de conhecimento de acordo com a fonte da informação adquirida para a geometria, disposições construtivas e materiais, informando também qual o tipo de análise possível e o CF.

Tabela 1 - Níveis de conhecimento de acordo com o método de obtenção de informações (Adaptado de: EN 1998-3:2017)

Nível de Conhecimento	Geometria	Disposições construtivas	Materiais	Análise	CF
KL1	Desenhos do dimensionamento geral do projeto	Simulação das disposições de acordo com práticas da sua origem e inspeção in situ limitada.	Valores retirados das normas em vigor de acordo com a data da edificação e ensaios in situ limitados	Permitida análise por coeficiente q	CF_{KL1}
KL2		Desenhos de projeto com pormenorização incompletos, com inspeção in situ limitada ou inspeção in situ alargada	Valores a partir das especificações em projeto, com ensaios in situ limitados ou ensaios in situ alargada	Permitida todos os tipos de análise	CF_{KL2}
KL3		Desenhos de projeto com pormenorização, com inspeção in situ limitada ou inspeção in situ completa	Valores retirados de relatórios de ensaios originais ou ensaios in situ completos	Permitida todos os tipos de análise	CF_{KL3}

Os critérios que definem os níveis de uma inspeção como limitado, alargado ou completo são dispostos no quadro 3.2 do EC8-3 baseados na percentagem de elementos verificados e amostras coletadas por piso, sendo necessário verificar 20%, 50% ou 80% dos elementos por piso, além da quantidade de amostras materiais, sendo 1, 2 ou 3 amostras para cada tipo de elemento para uma inspeção limitada, alargada ou completa, respetivamente.

2.3 Avaliação sísmica

2.3.1 Estados limites de dano da estrutura

A necessidade do reforço sísmico averigua-se através da avaliação sísmica do edifício, que por sua vez é condicionado pelo estado limite de dano que uma estrutura pode sofrer devido a um evento sísmico; o EC8-3 refere três estados limites de acordo com o período de retorno do

evento sísmico, Estado de limitação de dano (DL – “*Damage limitation*”), Estado de danos severos (SD – “*Significant damage*”) e Estado de colapso iminente (NC – “*Near collapse*”).

O estado limite a verificar varia de acordo com o Anexo Nacional; para Portugal os edifícios com classe de importância III e IV devem ser verificados para todos os estados limites, e para as classes de importância I e II apenas para o estado limite de danos severos (SD). A classe de importância para os edifícios é determinada pela NP 1998-1:2010, tratada no presente trabalho por EC8-1, o estado limite de dano condiciona os coeficientes multiplicativos da ação sísmica de referência para cada tipo de ação sísmica de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 : Coeficientes de multiplicação da ação sísmica de acordo com o Anexo Nacional NP EN 1998-3.

Estado limite	Ação sísmica tipo 1	Ação sísmica tipo 2	
		continente	açores
Colapso Iminente (NC)	1,62	1,33	1,22
Danos Severos (SD)	0,75	0,84	0,89
Limite de danos (DL)	0,29	0,47	0,55

2.3.2 Quantificação da ação sísmica

A ação sísmica é quantificada de acordo com o local e um determinado período de retorno através da aceleração máxima na superfície do terreno (a_{gr}). Esse mapeamento de acordo com o período de retorno é fornecido pelo Anexo nacional.

2.3.2.1 Sismicidade

Para Portugal, como definido no Anexo Nacional do EC8-1, consideram-se dois tipos de sismos: o tipo 1 refere-se a um sismo de elevada magnitude (5,5 ou superior) que ocorre afastado da estrutura, ou seja, o epicentro do sismo está longe; o sismo tipo 2 tem seu epicentro com pequena distância da estrutura, mas tem sua magnitude moderada (inferior a 5,5). Assim o zoneamento sísmico que deve ser considerado no dimensionamento ou na reabilitação de estruturas em Portugal está de acordo com a Tabela 3, dependendo de onde se localizar o edifício de acordo com a Figura 2.1 retirada do Anexo nacional do EC8-1.

Tabela 3 - Aceleração máxima de referência a_{gr} (m/s^2) por zona sísmica em Portugal de acordo com o Anexo nacional do EC8-1.

Ação sísmica do tipo 1		Ação sísmica do tipo 2	
Zona sísmica	a_{gr}	Zona sísmica	a_{gr}
1.1	2,5	2.1	2,5
1.2	2	2.2	2
1.3	1,5	2.3	1,7
1.4	1	2.4	1,1
1.5	0,6	2.5	0,8
1.6	0,35	-	-

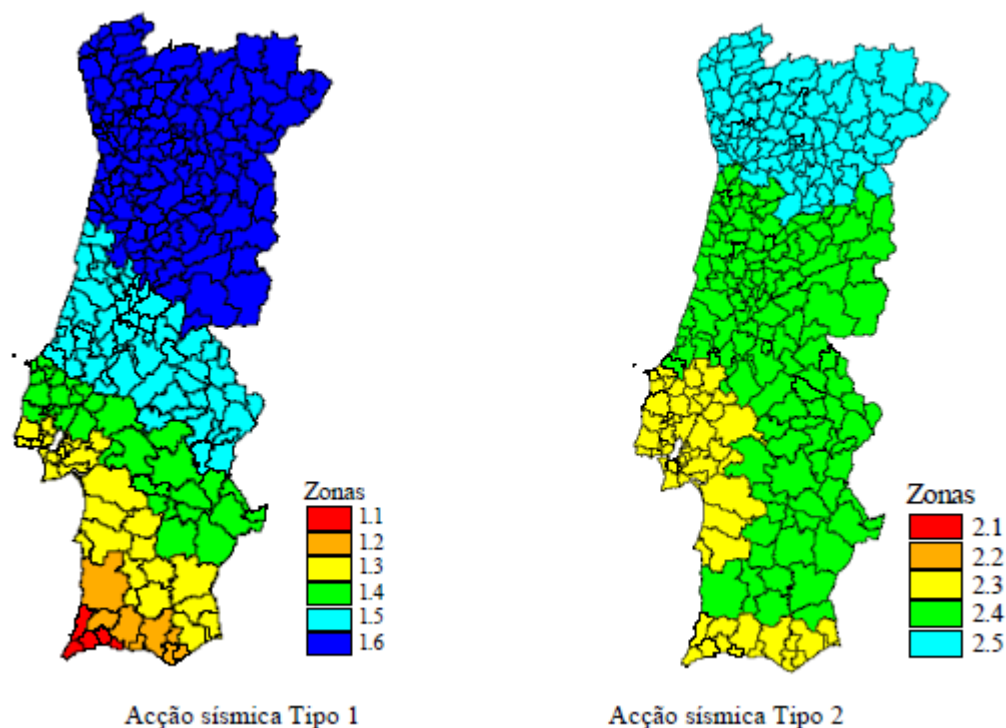


Figura 2.1 - Sismicidade do continente de Portugal retirado da EC8-1.

2.3.2.2 Classe de importância do edifício

A classe de importância do edifício depende da sua utilização; pensando do lado da segurança sísmica, isso representa o risco de estarem presentes grande quantidade de pessoas no edifício durante um sismo. Assim o EC8-1 estabelece coeficientes que, indiretamente visam modificar o período de retorno da ação sísmica de acordo com a classe do edifício, sendo as classes definidas como:

- I – Edifícios pouco importantes para a segurança pública, exemplo: edifícios agrícolas;
- II – Edifícios correntes, como os residenciais, que não se encaixam nas outras categorias;
- III- Edifícios cuja a integridade durante um sismo seja importante devido as consequências do colapso, como museus e escolas.
- IV- Edifícios cuja a integridade durante um sismo seja de vital importância para a segurança pública como hospitais, quartéis de bombeiros, etc.

Para Portugal, os coeficientes (γ_I) para cada classe de importância são indicados no Anexo Nacional do EC8-1, representados na Tabela 4.

Tabela 4 - Classe de importância do Anexo Nacional do EC8-1.

Classe de importância	Ação sísmica Tipo 1	Ação sísmica Tipo 2	
		Continente	Açores
I	0,65	0,75	0,85
II	1	1	1
III	1,45	1,25	1,15
IV	1,95	1,5	1,35

2.3.2.3 Tipo do terreno

O tipo do terreno influencia nos períodos (T_B , T_C e T_D) e no coeficiente do solo (S) definindo o espectro de resposta, ou seja, influencia na forma como a estrutura responde às ondas sísmicas.

O tipo do terreno pode ser definido preferencialmente pela sua velocidade de ondas de corte ou através de resultados de ensaios geotécnicos como o N_{SPT} relacionados com o quadro 3.1 do EC8-1.

2.3.2.4 Modelação das ações sísmicas

O EC8-1 caracteriza a ação sísmica por espectro de resposta que representa o efeito do movimento de translação do solo em duas direções horizontais e na direção vertical, não considerando as componentes de rotação do movimento do sismo. (Costa & Providência, 2019).

O espectro de resposta deve ser modelado de acordo com o espectro de resposta elástica da aceleração horizontal descrito no EC8-1 e definido pela expressão (2.1) com a forma de espectro representada para cada tipo de solo na Figura 2.2:

$$S_e[T] = \begin{cases} a_g * S * \left[1 + \frac{T}{T_B} * (2,5\eta - 1) \right] & 0 \leq T \leq T_B \\ 2,5a_g * S * \eta & T_B < T \leq T_C \\ 2,5a_g * S * \eta * \frac{T_C}{T} & T_C < T \leq T_D \\ 2,5a_g * S * \eta * \frac{T_C * T_D}{T^2} & T_D < T \leq 4s \end{cases} \quad (2.1)$$

Em que:

$S_e[T]$ espectro de resposta elástica da aceleração horizontal.

a_g Valor de cálculo da aceleração à superfície num terreno tipo A.

T_B Limite inferior do período no patamar de aceleração constante.

T_C Limite superior do período no patamar de aceleração constante.

T_D Valor que define no espectro o início do ramo de deslocamento constante.

S coeficiente do solo.

η coeficiente de correção do amortecimento, com valor de 1 para amortecimento de $\xi=5\%$ relativo viscoso.

Os valores dos períodos T_B , T_C e T_D variam de acordo com o terreno; o EC8-1 informa os valores recomendados para esses parâmetros no quadro 3.2 e 3.3 da norma, no entanto para Portugal os valores estão no Anexo Nacional, de acordo com a Tabela 5:

Tabela 5 - Valores recomendados para os parâmetros dos espectros de resposta elástica para Portugal. (Anexo Nacional do EC8-1)

Tipo 1					Tipo 2				
Tipo do terreno	S	T _B	T _C	T _D	S	T _B	T _C	T _D	
A	1	0,1	0,6	2	1	0,1	0,25	2	
B	1,35	0,1	0,6	2	1,35	0,1	0,25	2	
C	1,6	0,1	0,6	2	1,6	0,1	0,25	2	
D	2	0,1	0,8	2	2	0,1	0,3	2	
E	1,8	0,1	0,6	2	1,8	0,1	0,25	2	

Assim, tem-se os espectros de resposta, para um amortecimento de 5% e a_{gr} normalizado, de acordo com a Figura 2.2.

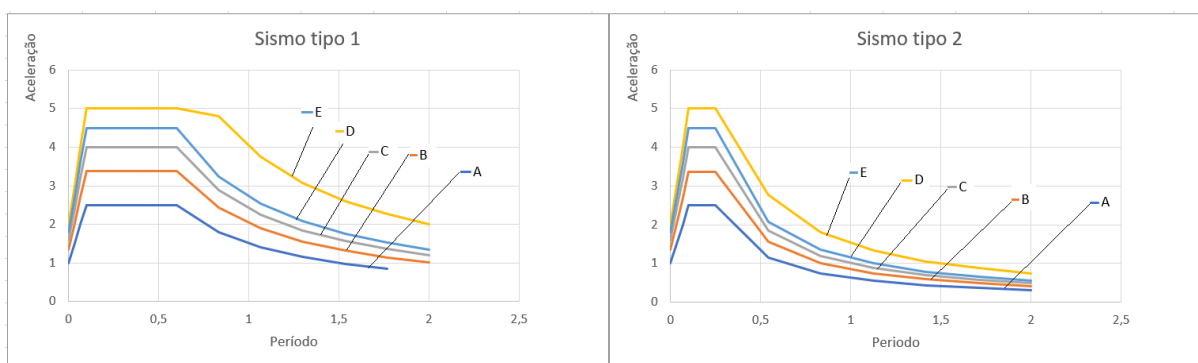


Figura 2.2 - Espectros de resposta elástica de recomendados para os terrenos do tipo A à E em Portugal de acordo com o Anexo Nacional do EC8-1. a) Tipo 1, b) Tipo 2.

2.3.2.5 Combinação da ação sísmica com outras ações

O EC8-3 menciona que a ação sísmica deve ser combinada com as demais ações (eq. (2.2b)), permanentes e variáveis, de forma apropriada e de acordo com o paragrafo 3.2.4 2(P) do EC8-1 (eq. (2.2b)) que, por sua vez, indica que os efeitos de inércia da ação sísmica devem levar em conta todas as massas associadas às forças gravíticas, ou seja, para a combinação quase permanente de ações:

$$\sum G_{k,j} + P + A_{E,d} + \sum \psi_{2,i} * Q_{k,i} \quad (2.2-a)$$

$$\sum G_{k,j} + \sum \psi_{E,i} * Q_{k,i} \quad (2.2-b)$$

Em que:

$G_{k,j}$ Valor característico para as ações permanentes j.

P Valor das ações de pré-esforço.

$A_{E,d}$ Valor de cálculo da ação sísmica.

$\psi_{E,i}$ coeficiente de combinação para a ação variável i.

$Q_{k,i}$ Valor característico da ação variável i.

O coeficiente de combinação ($\psi_{E,i}$) é responsável por ter em conta que as ações variáveis não estejam presentes em toda a estrutura durante o sismo, podendo ser determinado pela expressão (2.3) :

$$\psi_{E,i} = \varphi * \psi_{2,i} \quad (2.3)$$

onde, ψ_2 é definido pelo EC1 e os valores de φ são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 Valores de φ de acordo com o EC8-1

Tipo da ação variável	Piso	φ
Categorias A-C	Cobertura	1
	Pisos com ocupações correlacionadas	0,8
	Pisos com ocupações independentes	0,5
Categorias D-F e arquivos		1

O EC8-1 também inclui informações sobre as combinações das componentes horizontais da ação do sismo. De forma resumida, para cada tipo de sismo, cada componente horizontal de força deve ser avaliado separadamente, utilizando regras de combinação das respostas modais. Desta forma este trabalho considera quatro expressões que representam como devem ser combinadas as componentes provenientes de cada tipo de sismo em cada direção:

$$\pm 100\%E_{1X} \pm 30\%E_{1Y} \quad (2.4)$$

$$\pm 30\%E_{1X} \pm 100\%E_{1Y} \quad (2.5)$$

$$\pm 100\%E_{2X} \pm 30\%E_{2Y} \quad (2.6)$$

$$\pm 30\%E_{2X} \pm 100\%E_{2Y} \quad (2.7)$$

Onde:

E_{1X} Representa a componente do efeito sísmico devido ao sismo tipo 1 na direção X.

E_{2X} Representa a componente do efeito sísmico devido ao sismo tipo 2 na direção X.

E_{1Y} Representa a componente do efeito sísmico devido ao sismo tipo 1 na direção Y.

E_{2Y} Representa a componente do efeito sísmico devido ao sismo tipo 2 na direção Y.

2.3.3 Análise estrutural

Com os dados adquiridos e com as informações recolhidas sobre o edifício, ou seja, com o nível de conhecimento disponível (KL) determinado e o coeficiente de confiança (CF) definido, o segundo passo para a reabilitação e reforço sísmico é uma avaliação estrutural fiável, que determine de forma realista as exigências impostas pelas ações sísmicas. Assim deve-se determinar o método de análise que por sua vez toma por base a regularidade da estrutura.

O EC8-3 permite usar os seguintes métodos de análise:

- Análise por forças laterais (linear);
- Análise modal por espectro de resposta (linear);
- Análise estática não linear (*Pushover*);
- Análise dinâmica temporal não linear;
- Abordagem por coeficiente de comportamento q .

A seleção desses métodos dependem, para além do (KL) e do (CF) como indicado em 2.2 deste trabalho, da regularidade em planta para o modelo estrutural permitido (espacial ou plano) e em altura para o método de análise; caso não possua regularidade em altura não é possível utilizar o método por forças laterais.

O presente trabalho foca-se no método de análise modal por espectro de resposta, sendo esse o método utilizado no estudo de caso do capítulo 5.

2.3.3.1 Análise modal por espectro de resposta

O EC8-1 indica diretrizes para a utilização do método de análise modal por espectro de resposta, onde estabelece que devem ser considerados todos os modos de vibração que contribuam significativamente com a resposta da estrutura, ou seja, a soma das massas modais efetivas consideradas deve ser superior a 90% da massa total da estrutura e todos os modos com massas modais efetivas superiores a 5% do total devem ser considerados para as duas direções.

2.3.3.2 Modelação numérica

A modelação numérica voltada à análise sísmica deve descrever de forma adequada e com suficiente rigor as distribuições de massas, rigidez e resistência, de modo a permitir que a deformada da estrutura que seja suficientemente bem determinada (Costa & Providência, 2019).

A afirmação acima leva a entender que é necessário a utilização de modelos complexos e com abundante técnica de métodos dos elementos finitos. No entanto, devido às incertezas que envolvem a movimentação do solo e à dificuldade na análise e interpretação de modelos com elementos finitos numerosos os modelos simples tornam-se frequentemente aceitáveis (Avramidis et al, 2015).

É indicada a utilização de modelos espaciais em (3D) onde, visando simplificar a análise, se adotam os elementos verticais com elementos de barra (1D) com dois nós, um para cada extremidade.

A modelação das lajes deve permitir traduzir um efeito de diafragma na estrutura (se esse efeito for real), ou seja, modelar o comportamento da laje através de um conjunto de restrições que garantem que a distância horizontal entre os nós da laje se mantenham constantes quando a laje se move sob efeito sísmico.

As paredes e núcleos rígidos também podem ser modelados em barras, conforme ilustrado na Figura 2.3. No entanto para uma representação realista pode-se usar barras com propriedades equivalentes aos elementos reais, tanto para o troço vertical representado na Figura 2.3-a) pelas barras C_1 , C_2 e C_3 , quanto para o comprimento horizontal, representado pelas barras rígidas RC_1 , RC_2 e RC_3 , que devem ter sua rigidez “infinita”. Para representar as barras

equivalentes e rígidas, as propriedades inseridas nos cálculos (ou programas) para área (A), inércia sobre o eixo 2 (I_2), inércia sobre o eixo 3 (I_3), área de corte na direção 2 (A_{s2}), área de corte na direção 3 (A_{s3}) e inércia de torção (J) são apresentadas pela Tabela 7 de acordo com as características geométricas ilustradas na Figura 2.3-b).

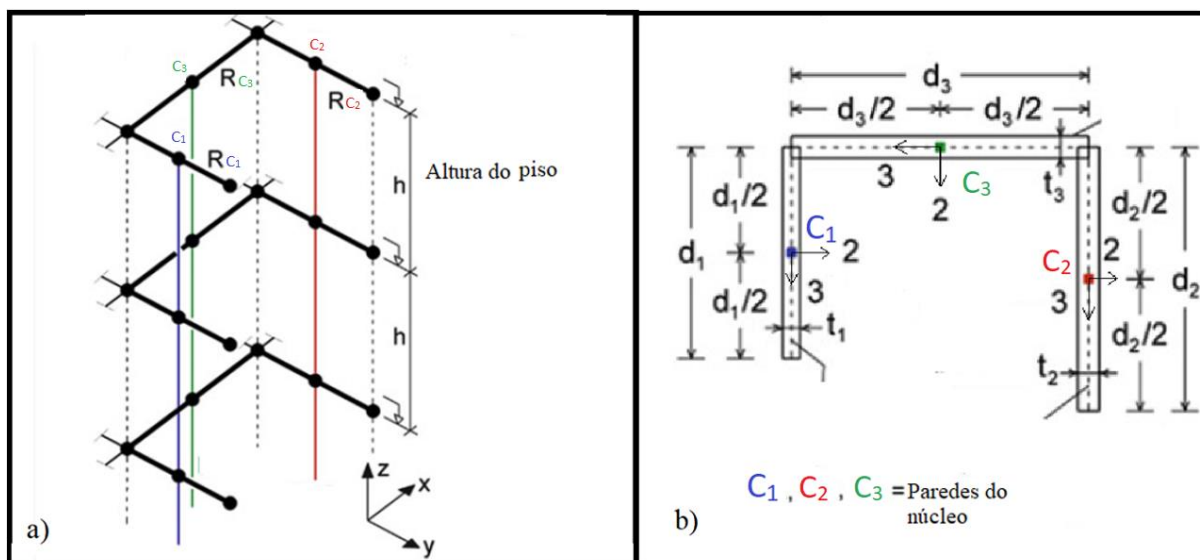


Figura 2.3 - Modelação do núcleo através de barras equivalentes. a) Modelo de barras; b) Secções das paredes do núcleo (Adaptado de (Avramidis et al, 2015)).

Tabela 7 - Propriedades da coluna equivalente para paredes de betão armado.

	Propriedades da coluna equivalente			Propriedades da barra rígida(alma)		
	C_1	C_2	C_3	RC_1	RC_2	RC_3
A	$d_1 * t_1$	$d_2 * t_2$	$d_3 * t_3$	∞	∞	∞
I_2	$\frac{d_1^3 * t_1}{12}$	$\frac{d_2^3 * t_2}{12}$	$\frac{d_3^3 * t_3}{12}$	∞	∞	∞
I_3	$\frac{t_1^3 * d_1}{12}$	$\frac{t_2^3 * d_2}{12}$	$\frac{t_3^3 * d_3}{12}$	∞	∞	∞
A_{s2}	$\frac{5}{6} * d_1 * t_1$	$\frac{5}{6} * d_2 * t_2$	$\frac{5}{6} * d_3 * t_3$	∞	∞	∞
A_{s3}	$\frac{5}{6} * d_1 * t_1$	$\frac{5}{6} * d_2 * t_2$	$\frac{5}{6} * d_3 * t_3$	∞	∞	∞
J	$\alpha_1 * d_1 * t_1^3$	$\alpha_2 * d_2 * t_2^3$	$\alpha_3 * d_3 * t_3^3$	$\beta_1 * (h * t_1^3)$	$\beta_2 * (h * t_2^3)$	$\beta_3 * (h * t_3^3)$
Onde:	$\alpha_i = \frac{1}{3} - 0.21 * \frac{t_i}{d_i} * \left[1 - \frac{1}{12} * \left(\frac{t_i}{d_i} \right)^4 \right],$ para $i=1,2,3$			$\beta_i = \frac{1}{3} - 0.21 * \frac{t_i}{h} * \left[1 - \frac{1}{12} * \left(\frac{t_i}{h} \right)^4 \right],$ para $i=1,2,3$		

2.4 Verificação de mecanismos de rotura

A fim de avaliar se a estrutura está dentro dos critérios de conformidade de uma estrutura segura, o EC8-3 no seu parágrafo 2.2 indica os requisitos fundamentais para se identificar uma estrutura adequada. Assim, o EC8-3 salienta que a verificação de segurança na avaliação e reabilitação sísmica de edifícios de betão armado deve ser feita para os dois seguintes mecanismos de rotura dos elementos estruturais:

- Mecanismo Dúctil: em vigas, pilares e paredes que sofrem rotura por flexão;
- Mecanismo Frágil: em vigas, pilares, paredes e nós viga-pilar que sofrem rotura por corte.

Através do controle de deformação nos elementos dúcteis e dos esforços nos mecanismos frágeis, a metodologia exposta no EC8-3 visa a segurança do edifício e o controle do seu comportamento perante a ação sísmica.

As capacidades dos mecanismos dúcteis ou frágeis dos elementos existentes devem utilizar para as propriedades dos materiais os valores médios determinados por ensaios *in-situ* ou laboratoriais divididos pelo coeficiente de confiança (CF).

O EC8-3 estabelece que a verificação deve ser feita, no caso da adoção de métodos de análise linear, utilizando valores médios para as propriedades dos materiais e de acordo com os critérios de conformidade para satisfazer a seguinte equação:

$$\rho = D/C \leq 1 \quad (2.8)$$

ou seja:

$$D < C$$

pelo que, as exigências (D) menores do que as capacidades (C) dos elementos, tem-se uma estrutura que condiz com os preceitos de segurança de acordo com os critérios do EC8-3.

No caso de:

$$D > C$$

as capacidades (C) não atingem valores superiores aos das exigências (D), pelo que a estrutura não apresenta um comportamento satisfatório, tendo-se que recorrer a métodos de reforço ou reabilitação sísmica.

Deve ser feita também a diferenciação entre elementos primários e secundários, pois os elementos secundários acabam por ter uma capacidade calculada de forma menos conservadora, devido a sua influência na segurança da estrutura ser menor.

2.4.1 Exigência dos mecanismos

2.4.1.1 Mecanismo dúctil

A rotação do vão de corte ou rotação da corda é, de acordo com o EC8-3, necessária para definir a capacidade de deformação de elementos lineares de betão armado. Em seu anexo A, o EC8-3, define o vão de corte como sendo a distância entre a extremidade do elemento e o ponto de inflexão do elemento, dado pela razão do momento fletor (M) e do esforço transversal (V) na secção de extremidade, segundo a expressão:

$$L_V = \frac{M}{V} \quad (2.9)$$

Estudos citados em (Carvalho, 2020), por (Fernandes, 2008), mostram que a simplificação do vão de corte como sendo a metade do vão total (L), eq. (2.10), conduz a resultados fiáveis quando comparados com a expressão teórica (2.9).

$$L_V = \frac{L}{2} \quad (2.10)$$

Assim, a rotação da corda (θ) é o ângulo formado entre a tangente do eixo do elemento numa das suas extremidades e a corda que liga essa extremidade ao ponto de inflexão, como mostra a Figura 2.4.

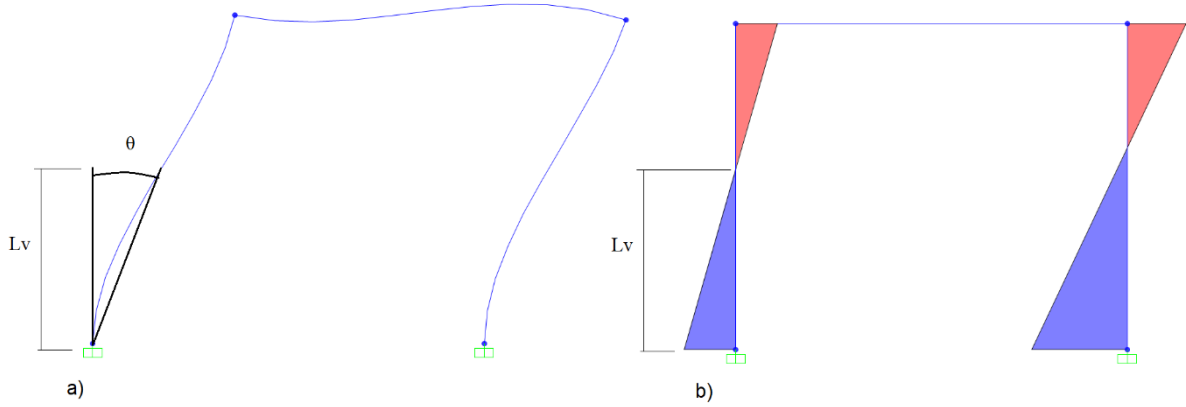


Figura 2.4 : Rotação da corda(θ) e vão de corte (L_v): a) deformada da estrutura e b) diagrama de momento fletor.

Para casos onde a rotação nodal da extremidade do elemento é baixa, a rotação da corda (θ) pode ser calculada através da razão da flecha (δ), na extremidade do vão de corte, pelo vão de corte, sendo dada por:

$$|\theta| = \frac{|\delta|}{L_v} \quad (2.11)$$

De forma simplificada e de acordo com a distribuição de deslocamentos ilustrada na Figura 2.5, a exigência dúctil ou rotação do vão de corte para cada extremidade do elemento pode ser determinada pelas seguintes expressões:

$$\theta_D^L = +arctg \frac{d_2^R - d_2^L}{L} - d_3^L \quad (2.12)$$

$$\theta_D^R = -arctg \frac{d_2^R - d_2^L}{L} + d_3^R \quad (2.13)$$

Onde:

θ_D^L Exigência (D) de rotação do vão de corte do lado esquerdo.

θ_D^R Exigência (D) de rotação do vão de corte do lado direito.

d_2^L Deslocamento transversal do elemento no lado esquerdo segundo o eixo 2.

d_2^R Deslocamento transversal do elemento no lado direito segundo o eixo 2.

d_3^L Rotação do nó esquerdo do elemento em torno do eixo 3.

d_3^R Rotação do nó direito do elemento em torno do eixo 3.

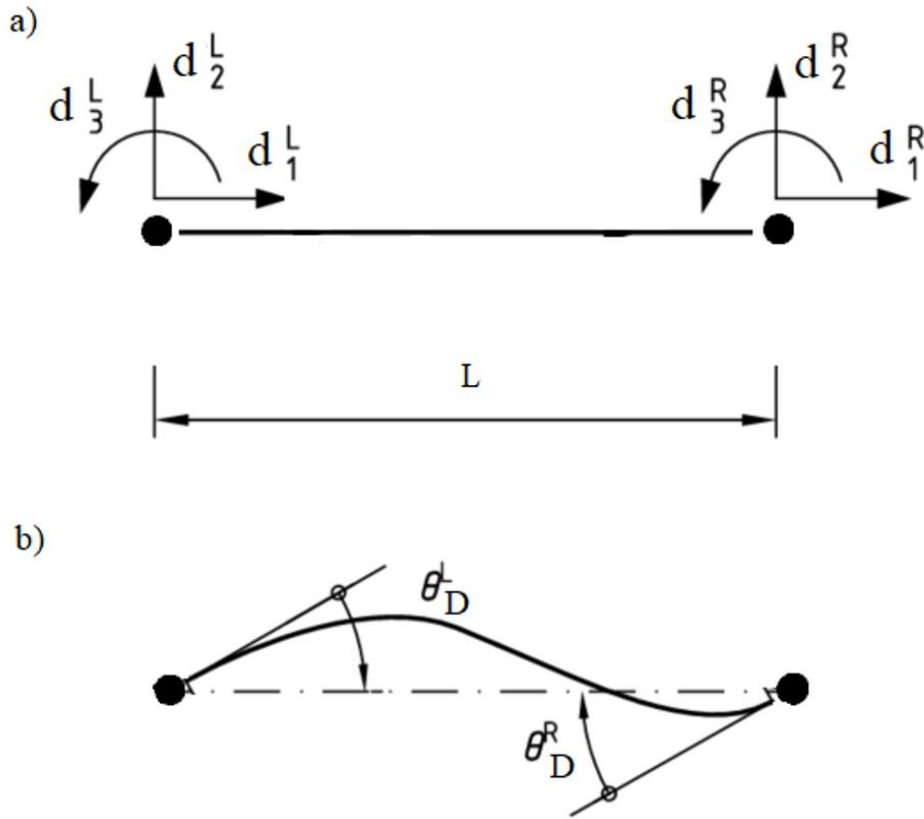


Figura 2.5 – Procedimento para determinação da exigência dúctil - a) Ilustração de deslocamentos em um elemento linear, b) Ilustração da rotação do vão de corte. (adaptado de (Costa & Providência, 2019)).

Tendo isso em conta, no âmbito deste trabalho, a exigência dúctil será determinada através da folha de cálculo, explicada no capítulo 4, que por sua vez utiliza o método descrito acima de forma conservativa, onde:

- **Nos pilares** a exigência relativa à rotação da corda dá-se principalmente em função dos deslocamentos perpendiculares ao eixo do pilar, devido à superior rigidez a flexão das vigas perante os pilares; desprezando a rotação leva a valores aproximados e conservativos, dado por:

$$\theta_D^L \approx + \frac{d_2^R - d_2^L}{L} \quad ; \quad \theta_D^R \approx - \frac{d_2^R - d_2^L}{L} \quad (2.14)$$

- **Nas vigas**, os seus deslocamentos nas extremidades estão impedidos devido a rigidez axial dos pilares; sendo assim a rotação da corda dá-se essencialmente devido à rotação dos nós, ou seja, $(d_3^{R/L})$.

$$\theta_D^L \approx -d_3^L \quad ; \quad \theta_D^R \approx +d_3^R \quad (2.15)$$

2.4.1.2 Mecanismo frágil

O mecanismo frágil, como já citado anteriormente, baseia-se no controle dos esforços transversos ou de corte. O valor da exigência frágil pode ser diretamente retirado da análise: no caso de análises não lineares, os valores da análise correspondem às exigências reais; no entanto, no caso de análises lineares, como as utilizadas por esse trabalho, os valores podem não condizer com a realidade, pois numa análise linear os esforços crescem linearmente, sem serem limitados por rótulas plásticas como acontece numa análise não linear. Desse modo, na análise linear as exigências devem ser determinadas pelo cálculo da capacidade real da estrutura, que está relacionada com os momentos resistentes. Assim, para que os valores do momento fletor na extremidade não ultrapasse o da análise, o EC8-3 apresenta condições para o cálculo do momento fletor efetivo, considerando a seguinte metodologia de (Costa & Providência, 2019) citada em (Carvalho, 2020):

Pilares: o momento fletor efetivo do pilar ($M_{C,max}^{L+}$), considerando a convenção de sinais com sentido positivo (+) na extremidade esquerda (L) do pilar, é dado por:

$$M_{C,max}^{L+} = \begin{cases} |M_{Ec}^{L+}| & , \text{ se } |M_{Ec}^{L+}| \leq \beta_c^{L+} M_{Rc}^{L+} \\ \beta_c^{L+} M_{Rc,CF}^{L+} & , \text{ se } |M_{Ec}^{L+}| > \beta_c^{L+} M_{Rc}^{L+} \end{cases} \quad (2.16)$$

Onde:

$|M_{Ec}^{L+}|$ é o momento fletor positivo na extremidade L do pilar, obtido da análise linear.

M_{Rc}^{L+} é o valor da resistência à flexão, calculado com o valor médio das propriedades dos materiais, na extremidade L do pilar.

$M_{Rc,CF}^{L+}$ é o valor da resistência à flexão condizente ao momento fletor positivo na extremidade L do pilar, calculada com o valor médio das propriedades dos materiais multiplicado pelo coeficiente de confiança CF.

O coeficiente β_c , que leva em consideração a possibilidade da limitação do momento transmitido ao pilar devido à resistência à flexão das vigas que convergem no nó, pode ser quantificado pela seguinte expressão:

$$\beta_c^{L+} = \min \left(1; \frac{(\sum M_{R,CF,b})^{L-}}{(\sum M_{Rc})^{L+}} \right) \quad (2.17)$$

Onde:

$(\sum M_{R,CF,b})^{L-}$ é a soma das resistências à flexão das extremidades dos troços de vigas ligadas ao nó viga-pilar adjacente à extremidade L do pilar, calculados com as propriedades médias dos materiais multiplicadas pelo coeficiente de confiança (CF).

Vigas: o momento fletor efetivo da viga ($M_{b,max}^{L+}$), considerando a convenção de sinais sentido positivo (+) e na extremidade esquerda (L) da viga, é descrito por:

$$M_{b,max}^{L+} = \begin{cases} |M_{Eb}^{L+}| & , \text{ se } |M_{Eb}^{L+}| \leq \beta_b^{L+} M_{Rb}^{L+} \\ \beta_b^{L+} M_{R,CF,b}^{L+} & , \text{ se } |M_{Eb}^{L+}| > \beta_b^{L+} M_{Rb}^{L+} \end{cases} \quad (2.18)$$

Onde:

$|M_{Eb}^{L+}|$ é o momento fletor positivo na extremidade L da viga.

M_{Rb}^{L+} é o valor da resistência à flexão, calculado com o valor médio das propriedades dos materiais, na extremidade L da viga.

$M_{R,CF,b}^{L+}$ é o valor da resistência à flexão, calculado com o valor médio das propriedades dos materiais, do momento fletor positivo na extremidade L da viga e multiplicadas pelo coeficiente de confiança CF.

O coeficiente β_b , que leva em consideração a possibilidade da limitação do momento transmitido à viga devido a resistência à flexão dos pilares que convergem no nó, pode ser quantificado pela seguinte expressão:

$$\beta_b^{L+} = \min \left(1; \frac{(\sum M_{R,CF,c})^{L-}}{(\sum M_{Rb})^{L+}} \right) \quad (2.19)$$

Onde:

$(\sum M_{R,CF,c})^{L-}$ é a soma da resistência à flexão das extremidades dos troços de pilares ligados ao nó viga-pilar adjacente a extremidade L do da viga, calculadas com as propriedades médias dos materiais multiplicadoas pelo coeficiente de confiança (CF).

$(\sum M_{Rb})^{L+}$ é a soma da resistência à flexão da viga na extremidade do troço da viga com a resistência à flexão da extremidade do outro troço da viga ligada ao mesmo nó viga-pilar, calculado com o valor médio das propriedades dos materiais, na extremidade L da viga.

Com o valor do momento fletor efetivo calculado, torna-se possível a determinação da exigência máxima do esforço transverso.

Para pilares: a máxima exigência relativa ao esforço transverso num pilar, calculada na zona de menor resistência, é dado pela seguinte expressão:

$$V_{D,c} = \frac{1}{L_{cl}} * \max \{ M_{C,max}^{L+} + M_{C,max}^{R-}; M_{C,max}^{L-} + M_{C,max}^{R+} \} \quad (2.20)$$

Em que:

L_{cl} é o comprimento do vão livre do pilar.

$M_{C,max}$ é o momento fletor máximo do pilar calculado para os lados e faces do pilar, sendo eles: o lado esquerdo inferior (L+), lado esquerdo superior (L-), lado direito inferior (R+) e lado direito superior (R-).

Para vigas: para determinar as exigências (D) dos mecanismos frágeis de uma viga é necessário levar em conta as forças gravíticas da combinação quase permanente de ações

($G_k + \psi_2 Q$). Assim a exigência do esforço transversal $V_{D,b}(x)$ na secção à distância (x) da extremidade esquerda pode ser quantificada através da expressão:

$$V_{D,b}(x) = \max \left\{ \left| \frac{M_{b,max}^{L-} + M_{b,max}^{R+}}{L_{cl}} + V_{SA,CQP}(x) \right|; \left| -\frac{M_{b,max}^{L+} + M_{b,max}^{R-}}{L_{cl}} + V_{SA,CQP}(x) \right| \right\} \quad (2.21)$$

Em que:

$M_{b,max}$ é o momento fletor máximo efetivo na viga, calculado para os lados e faces da viga L+, L-, R+ e R-.

$V_{SA,CQP}(x)$ é o esforço transversal da viga, considerando que ela está simplesmente apoiada e sob efeito da combinação quase permanente de ações (CQP).

2.4.2 Capacidade dos mecanismos

2.4.2.1 Mecanismo dúctil

A capacidade do elemento, frente ao mecanismo dúctil, deve ser quantificada de acordo com a classe da estrutura, ou melhor, de acordo com o estado limite de danos a que a estrutura está a ser verificada.

O EC8-3, em seu parágrafo A.3, informa os modelos de cálculo para as capacidades dos elementos viga, pilar e paredes, para os diversos estados limite de dano.

Para o estado limite de limitação de danos (DL) a verificação é efetuada para a cedência do elemento, tendo como base o limite da rotação da corda ($\theta_D \leq \theta_y$), onde θ_y pode ser avaliado, de acordo com o elemento, através das seguintes expressões:

Vigas e Pilares:

$$\theta_y = \phi_y \frac{L_V + \alpha_V z}{3} + 0,0014 \left(1 + 1,5 \frac{h}{L_V} \right) + \phi_y \frac{d_{bl} f_y}{8 \sqrt{f_c}} \quad (2.22a)$$

ou

$$\theta_y = \phi_y \frac{L_V + \alpha_V z}{3} + 0,0014 \left(1 + 1,5 \frac{h}{L_V} \right) + \frac{\varepsilon_y}{d - d'} \frac{d_{bl} f_y}{6 \sqrt{f_c}} \quad (2.22b)$$

Para paredes de secção retangular, em T ou com abas (ou pilares de extremidade):

$$\theta_y = \phi_y \frac{L_V + \alpha_V z}{3} + 0,0013 + \phi_y \frac{d_{bl} f_y}{8 \sqrt{f_c}} \quad (2.23a)$$

ou

$$\theta_y = \phi_y \frac{L_V + \alpha_V z}{3} + 0,0013 + \frac{\varepsilon_y}{d - d'} \frac{d_{bl} f_y}{6 \sqrt{f_c}} \quad (2.23b)$$

Onde:

ϕ_y curvatura de cedência da secção de extremidade.

$\alpha_V z$ translação do diagrama de momentos fletores, de acordo com o Eurocódigo 2, onde: z é o braço do binário de forças com valor de $(d - d')$ para vigas, pilares e paredes de secção com abas ou em T, ou $0,8h$ em paredes de secção retangular; $\alpha_V = 1$ se o momento de cedência de extremidade (M_y) for $M_y \geq L_V * V_{R,c}$.

f_y e f_c - tensão de cedência do aço e tensão de rotura do betão, respetivamente, em MPa.

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s},$$

d e d' - alturas úteis das armaduras tracionadas e comprimidas, respetivamente.

d_{bl} diâmetro médio das armaduras tracionadas.

As equações 2.22 e 2.23 são expressões de três termos, presentes no EC8-3, onde o primeiro termo leva em conta a contribuição da flexão, o segundo termo a contribuição da deformação do esforço transversal e o terceiro termo o escorregamento da amarração dos varões. O EC8-3 trás as expressões 2.22b e 2.23b como alternativas semelhantes e mais práticas de utilizar.

As pormenorizações de cálculo apresentadas a seguir estão de acordo com o EC8-3 e as metodologias utilizadas por (Costa & Providência, 2019).

O valor da curvatura de cedência é dado pelo menor valor entre a curvatura correspondente à cedência da armadura eq. (2.24) e a curvatura correspondente à cedência do betão eq. (2.25), considerando comportamento elástico linear para compressão e tração do aço e compressão do betão, sendo a resistência a tração do betão nula.

$$\phi_{y,s} = \frac{f_y/E_s}{(1 - \xi_{y,s} \cdot d)} \quad (2.24)$$

$$\phi_{y,c} = \frac{\varepsilon_{y,c}}{\xi_{y,c} \cdot d} \quad (2.25)$$

Onde ξ_y está relacionado a profundidade relativa do eixo neutro no momento de cedência da secção, tanto para a armadura tracionada quanto para o betão comprimido e pode ser expresso por:

$$\xi = -k + \sqrt{k^2 + a_0} \quad (2.26)$$

em que os coeficientes k e a_0 variam de acordo com o tipo de cedência. Para uma secção retangular estes coeficientes podem ser calculados através das seguintes expressões:

- Cedência na armadura tracionada:

$$k = k_{y,s} = \alpha_c \left(\rho_l + \rho'_l + \rho_{lv} + v_d * \frac{f_c}{f_y} \right) \quad (2.27)$$

$$a_0 = a_{0y,s} = 2\alpha_c \left(\rho_l + \rho'_l * \delta' + \rho_{lv} * \frac{1 + \delta'}{2} + v_d * \frac{f_c}{f_y} \right) \quad (2.28)$$

- Cedência no betão comprimido: em que se admite um comportamento não linear do betão comprimido, quando a extensão da fibra mais comprimida é equivalente a $\varepsilon_{y,c} = -1.8 \frac{f_c}{E_c}$.

$$k = k_{y,c} = \alpha_c (\rho_l + \rho'_l + \rho_{lv}) - \frac{v_d}{1,8} \quad (2.29)$$

$$a_0 = a_{0y,s} = 2\alpha_c \left(\rho_l + \rho'_l * \delta' + \rho_{lv} * \frac{1 + \delta'}{2} \right) \quad (2.30)$$

α_c é o coeficiente de homogeneização do aço em betão e corresponde a $\alpha_c = E_s/E_c$, $v_d = N/(bdf_c)$ é o esforço axial reduzido para compressão positiva, $\delta' = d'/d$ e as taxas geométricas da armadura longitudinal de tração, compressão e da alma são quantificadas, respetivamente, através das expressões seguintes:

$$\rho_l = \frac{A_s}{b.d}; \quad \rho'_l = \frac{A'_s}{b.d}; \quad \rho_{lv} = \frac{A_{sv}}{b.d} \quad (2.31)$$

Como citado anteriormente, o efeito de translação do diagrama de momentos fletores, considerado pelo coeficiente (α_v) só é considerada quando ocorre fendilhação por esforço transversal antes da cedência na extremidade do elemento, ou seja:

$$\alpha_v = \begin{cases} 1, & \text{se } M_y \geq V_{Rc} * L_v \\ 0, & \text{se } M_y < V_{Rc} * L_v \end{cases} \quad (2.32)$$

Em que o momento de cedência (M_y) é expresso por:

$$M_y = \phi_y * E_c * b d^3 \left(\frac{\xi_y^2}{2} * \left(\frac{1 + \delta'}{2} - \frac{\xi_y}{3} \right) + \alpha_c * \frac{1 - \delta'}{2} * \left((1 - \xi_y) * \rho_l + (\xi_y - \delta') * \rho'_l + (1 - \delta') * \frac{\rho_{lv}}{6} \right) \right) \quad (2.33)$$

e o esforço transversal (V_{Rc}) pode ser calculado de acordo com o § 6.2.2(1) do EC2-1-1.

Para o estado limite de danos severos (SD) e colapso iminente (NC) a capacidade é quantificada através do limite de rotação da corda (θ), ou seja, através do o ângulo formado pela corda imaginária que liga a extremidade plastificada do elemento com o ponto de inflexão, extremidade do vão de corte (L_v), e o eixo do mesmo elemento, ilustrada anteriormente pela Figura 2.4a.

A **capacidade total (elástica + plástica) de rotação da corda** (θ_{um}), no estado limite último (θ_u), de elementos de betão solicitados por um carregamento cíclico pode ser avaliada através da seguinte expressão empírica:

$$\theta_{um} = \frac{1}{\gamma_{el}} 0,016 (0,3^{v_h}) \left[\frac{\max(0,01; \omega')}{\max(0,01; \omega)} f_c \right]^{0,225} \left(\min \left(9; \frac{L_v}{h} \right) \right)^{0,35} 25^{\left(\alpha \rho_{sx} \frac{f_{yw}}{f_c} \right)} (1,25^{100 \rho_d}) \quad (2.34)$$

onde:

γ_{el} é igual a 1,5 para elementos sísmicos primários (ESP) e 1,0 para elementos sísmicos secundários (ESS).

h é a altura da secção transversal.

L_v é a razão do momento para o esforço transversal na secção de extremidade (M/V).

v_h esforço axial reduzido, quantificado por $\frac{N}{b \cdot h \cdot f_c}$ em que b é a largura da zona comprimida e N o esforço axial;

ω, ω' representam as taxas mecânicas das armaduras longitudinais tracionadas e comprimidas, onde se inclui as armaduras de alma;

f_c, f_{yw} são a tensão de rotura do betão à compressão e a tensão de cedência dos estribos, ambos em MPa.

ρ_{sx} é a percentagem de armaduras transversais paralelas à direção do carregamento, quantificada por $\frac{A_{sx}}{b_w S_h}$, onde A_{sx} é a área do aço das armaduras citadas e S_h o espaçamento dos estribos.

ρ_d percentagem de armaduras diagonais (caso existam).

α coeficiente de eficácia do confinamento dado pela eq.(2.35).

$$\alpha = \left(1 - \frac{S_h}{2b_o} \right) \left(1 - \frac{S_h}{2h_o} \right) \left(1 - \frac{\sum b_i^2}{6b_o h_o} \right) \quad (2.35)$$

em que b_o e h_o são as dimensões do núcleo confinado medidos a partir do eixo da cinta e b_i representa o espaçamento entre eixos dos varões longitudinais travados lateralmente pelo canto de um estribo.

O EC8-3 salienta, no parágrafo A.3.2.2(1), que para paredes a capacidade total de rotação da corda (θ) eq. (2.34) deve ser multiplicada por 0,58 e para casos onde se utiliza aço frágil endurecido a frio deve-se multiplicar por 1.6.

Assim, de acordo com o EC8-3 no parágrafo A3.2.3(1), o estado limite de colapso iminente (NC) se verifica para $\theta < \theta_{um}$ e estado limite de danos severos (SD) se verifica para $\theta < \theta_{SD} = 0,75 \theta_{um}$.

O valor da parte plástica da capacidade de rotação da corda dos elementos de betão solicitados por um carregamento cíclico poderá ser calculada através da subtração da rotação da corda na cedência no estado limite último, ou seja, $\theta_{um}^{pl} = \theta_{um} - \theta_y$.

2.4.2.2 Mecanismo frágil

A degradação da resistência ao corte frente às ações cíclicas é superior à degradação da resistência a flexão. Esta degradação, normalmente, deve-se principalmente a cedência das armaduras transversais. Ensaio experimentais, que analisam o comportamento da estrutura perante ações cíclicas, apontam um aumento na extensão das cintas após a cedência das armaduras longitudinais (Costa & Providência, 2019).

A resistência diminui em função da parte plástica do coeficiente de ductilidade associada à rotação da corda na extremidade do elemento, mais especificamente o termo μ_{Δ}^{pl} . Assim, o EC8-3, apresenta a expressão empírica a seguir (eq. (2.36)) que calcula a resistência ao esforço transversal ($V_{R,EC8-3}$), quando controlada pelos estribos, levando em toda os efeitos citados acima (com unidades em MN e metro):

$$V_{R,EC8-3} = \frac{1}{\gamma_{el}} \left[\frac{h-x}{2L_v} \min(N; 0,55A_c f_c) + (1 - 0,05 \min(5; \mu_{\Delta}^{pl})) \right] \times \left[0,16 \max(0,5; 100\rho_{tot}) \left(1 - 0,16 \min\left(5; \frac{L_v}{h}\right) \right) (\sqrt{f_c} A_c + V_w) \right] \quad (2.36)$$

γ_{el} Coeficiente que leva em conta o tipo de elemento sísmico: para elementos sísmicos primários (ESP) = 1.15, para elementos sísmicos secundários (ESS) = 1.0.

h Altura da secção transversal.

x Altura da zona comprimida.

L_v = M/V, vão de corte.

A_c Área da secção transversal, equivalente a $b_w d$, para uma secção retangular com espessura b_w e altura útil d ;

f_c Tensão de rotura do betão à compressão, que deverá ser dividido pelo coeficiente parcial para o betão de acordo com EC8-1 parágrafo 5.2.4.

ρ_{tot} Taxa total das armaduras longitudinais.

μ_{Δ}^{pl} Parte plástica do coeficiente de ductilidade, relativa à deformação por rotação plástica da corda (θ_D) e à rotação de cedência (θ_y), calculada por $\frac{\theta_D - \theta_y}{\theta_y} = \mu_{\Delta} - 1$.

V_w Contribuição das armaduras transversais para a resistência do esforço transversal.

Para secções transversais de alma retangular de espessura b_w :

$$V_w = \rho_w b_w z f_{yw} \quad (2.37)$$

onde:

ρ_w percentagem das armaduras transversais.

b_w espessura do elemento.

z braço do binário de forças.

f_{yw} tensão de cedência das armaduras transversais.

O EC-3 informa que a resistência ao esforço transversal de uma parede de betão (V_R); não pode superar o valor correspondente à rotura por esmagamento da alma, $V_{R,max}$, que, perante ações cíclicas, pode ser quantificado pela seguinte expressão (com unidades em MN e metro):

$$V_{R,max} = \frac{0,85(1-0,05 \min(5; \mu_{\Delta}^{pl}))}{\gamma_{el}} \left(1 + 1,8 \min\left(0,15; \frac{N}{A_c f_c}\right)\right) (1 + 0,25 \max(1,75; 100 \rho_{tot})) \left(1 - 0,2 \min\left(2; \frac{L_v}{h}\right)\right) \sqrt{f_c} b_w Z \quad (2.38)$$

onde os termos foram explicados anteriormente para a eq.(2.36) e f_c está em MPa.

A resistência ao esforço transversal de um pilar, V_R , não deverá ser considerada superior ao valor da resistência à rotura por esmagamento da alma ao longo da diagonal do pilar após a cedência por flexão se a razão de vão de corte for igual ou inferior a 2,0, ou seja, $\frac{L_v}{h} \leq 2,0$. Assim o EC8-3 apresenta um modelo de cálculo da resistência ao esforço transversal do pilar, $V_{R,max}$, que engloba a limitação citada, de acordo com a seguinte expressão:

$$V_{R,max} = \frac{4/7(1-0,02 \min(5; \mu_{\Delta}^{pl}))}{\gamma_{el}} \left(1 + 1,35 \left(\frac{N}{A_c f_c}\right)\right) (1 + 0,45(100 \rho_{tot})) \sqrt{\min(40; f_c)} b_w z \sin 2\delta \quad (2.39)$$

em que:

δ é o ângulo entre a diagonal do pilar e seu eixo $\left(\tan \delta = \frac{h}{2L_v}\right)$.

O EC8-3, salienta que devem ser utilizados os valores médios das propriedades dos materiais divididos pelo coeficiente de confiança (CF), onde para os elementos sísmicos primários (ESP) esses valores devem ser divididos pelos coeficientes parciais dos materiais (γ_m).

Por fim, a resistência ao esforço transversal em pilares, vigas e paredes é o mínimo entre a resistência calculada de acordo com o modelo de treliça descrito no EC2-1-1 no parágrafo 6.2.3, $V_{R,EC2}$, e a resistência calculada através dos métodos do EC8-3, $V_{R,EC8-3}$, ou seja :

$$V_R = \min\{V_{R,EC2}; V_{R,EC8-3}\} \quad (2.40)$$

Em resumo a Tabela 8 apresenta os critérios de verificação de elementos de betão armado.

Tabela 8 Critérios de verificação de elementos de betão armado (Fardis, 2009).

Mecanismo	Tipo de elemento Sísmico	DL	SD	NC
Dúctil	Primário (ESP)	$M_D \leq M_y$	$\theta_D \leq \frac{3}{4} \theta_{um-\sigma}$	$\theta_D \leq \theta_{um-\sigma}$
	Secundário (ESS)	$\theta_D \leq \theta_y$	$\theta_D \leq \frac{3}{4} \theta_{um}$	$\theta_D \leq \theta_{um}$
Frágil	Primário (ESP)	Elementos Lineares	$V_D \leq \min\{V_{Rd,EC2}, V_{Rd,EC8-3-\sigma}\}$	
	Secundário (ESS)	Elementos Lineares	$V_D \leq \min\{V_{Rm,EC2}, V_{Rm,EC8-3}\}$	

2.5 Definição da solução de reforço

Para a definição da solução de reforço, tem que se ter em conta a eficiência do método a utilizar. Os tipos de intervenção são:

- reforço de elementos estruturais com aumento de resistência e/ou ductilidade (A1);
- introdução de novos elementos estruturais (A2);
- introdução de sistemas de isolamento de base (B) ;
- introdução de sistemas dissipativos (C).

De forma geral, a introdução de novos elementos (A2) e o reforço dos existentes (A1) acaba por proporcionar uma diminuição do período e um aumento da aceleração, o que pode exigir mais da estrutura; por outro lado são métodos mais correntes, com mão de obra mais acessível.

O método de introdução de sistema de isolamento de base (B) funciona através da diminuição da interação horizontal solo-estrutura, aumentando o período e diminuindo a amplitude da aceleração (Costa & Providência, 2019).

Sistemas dissipativos (C) aumentam o amortecimento da estrutura e, consequentemente, diminuem a aceleração da estrutura. No entanto os últimos dois métodos, B e C, além de exigirem tecnologia específica e custos elevados, trazem incertezas para maioria dos engenheiros e por mais que acabem aliviando o efeito do sismo na estrutura nem sempre são a melhor opção. Os efeitos estão resumidos na Figura 2.6 .

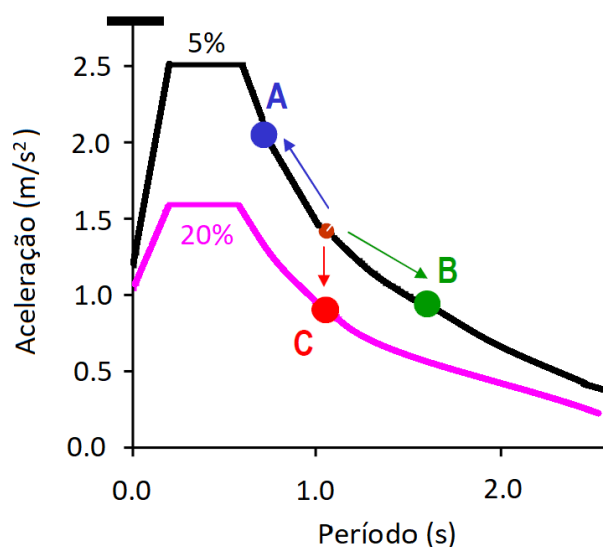


Figura 2.6 - Soluções de reforço sísmico (Appleton, 2008).

Assim, para definir a solução de reforço é necessário saber o quão deficiente está a estrutura. Com auxílio da folha de cálculo usada no presente trabalho pode-se analisar os elementos

lineares, em sua maioria, e com o auxílio de uma representação gráfica é possível analisar de forma crítica qual intervenção deve ser tomada. A Figura 2.7 ilustra como ficaria a visualização de um pórtico analisado após a representação gráfica dos resultados da folha de cálculo, incluindo a chave de interpretação dessa representação.

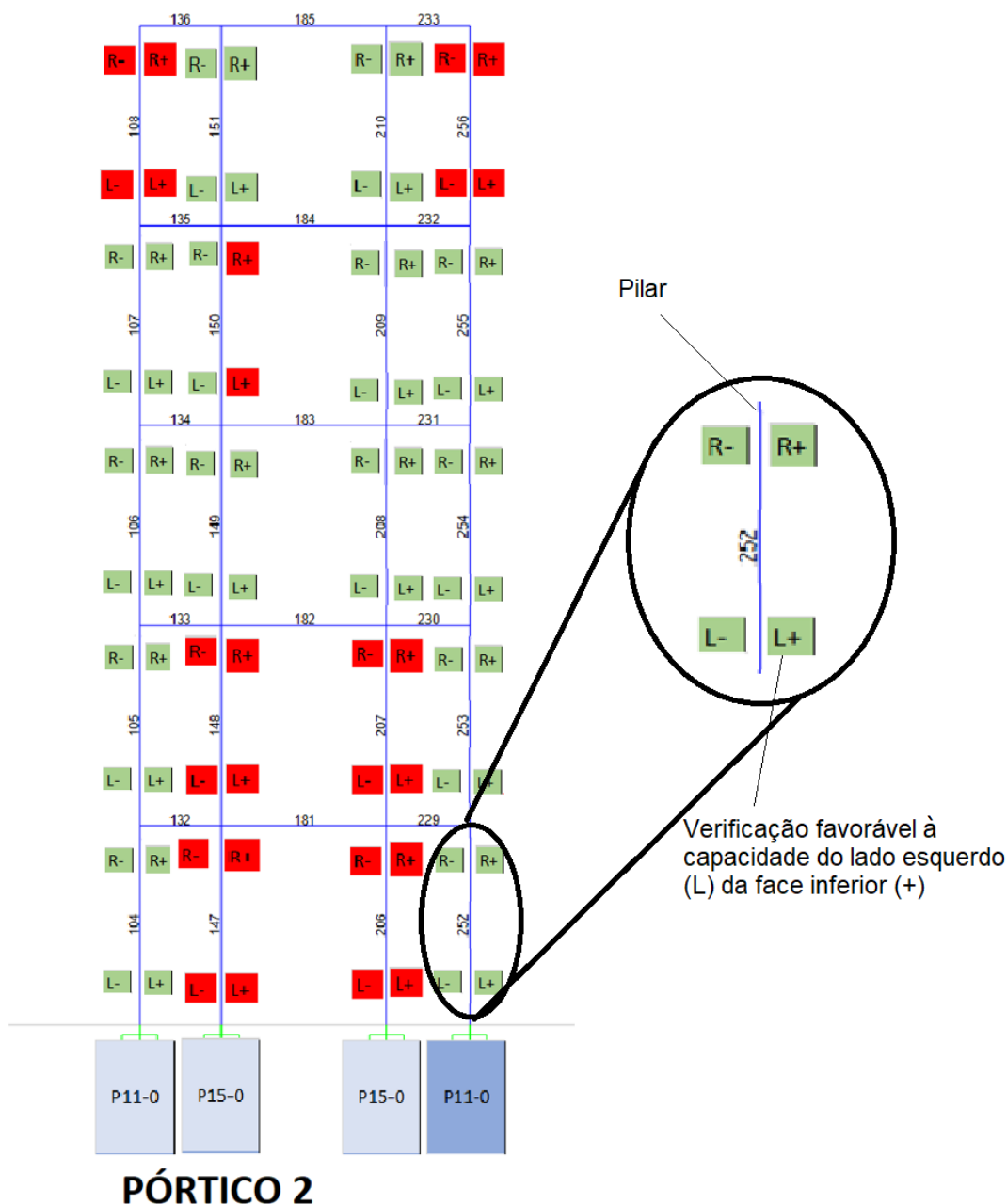


Figura 2.7 - Representação gráfica da verificação frágil dos pilares de um dos pórticos da estrutura do estudo de caso na direção X – Verdes representam OK e vermelhos KO.

Assim, com esta informação, é possível sistematizar quais estratégias serão tomadas na reabilitação do edifício, tendo em devida atenção o processo da sua execução e, posteriormente, analisar seus resultados para, por fim, gerar documentação necessária para suportar a justificação da necessidade de reforço bem como o próprio reforço.

3

SISTEMATIZAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DE REFORÇO

3.1 Introdução

A conceção de uma estrutura tem como seu principal objetivo assegurar a transferência de cargas do seu ponto mais alto até suas fundações e consequentemente para o solo. A reabilitação da estrutura tem como seu objetivo garantir que essa transferência de cargas se mantenha eficiente. Garantir um bom funcionamento dos elementos verticais e horizontais é garantir a resistência às forças verticais, horizontais e efeitos de inércia.

A intervenção de reabilitação sísmica, de modo simples, pode seguir duas estratégias:

- **Estratégia de Redução (E.R.):** através de uma redução global ou local das exigências geradas pelas ações, gravíticas e sísmicas, nos elementos da estrutura.
- **Estratégia de Aumento (E.A.):** através do aumento da capacidade de carga, de corte e flexão, dos elementos existentes.

Este capítulo tem como o objetivo apresentar as estratégias e técnicas de forma prática e com procedimentos de fácil aplicação.

3.2 Estratégias e técnicas de intervenção

Após os procedimentos de análise estrutural descritos no EC8-3 e EC8-1, caso seja avaliada a necessidade de intervenção, a mesma deve ser feita com técnica escolhida baseando-se na informação recolhida na avaliação do edifício, onde o tipo de intervenção escolhida deve ser justificado por documentação apropriada, como um projeto de reabilitação que contenha os efeitos das intervenções na estrutura.

De acordo com o EC8-3 deverão ser considerados os seguintes critérios técnicos quando se pretende intervir na estrutura para reabilitá-la:

- Todos os defeitos locais consideráveis identificados devem ser reparados;
- A regularidade estrutural deve ser melhorada, dentro das possibilidades, em planta e em altura, tanto em relação à rigidez quanto em relação à distribuição das ações;
- A introdução de novos elementos ou o reforço de um número apropriado de elementos para garantir as características de regularidade e resistência;
- Aumento de ductilidade local quando necessário;
- Manter a ductilidade global disponível;

Assim, com tais considerações, pode-se tomar a decisão quanto à estratégia da reabilitação, também citada pela mesma norma. Então, ainda de acordo com o EC8-3, parágrafo 5.1.3, pode-se adotar os seguintes tipos de intervenção:

- Modificações locais e globais (substituição, reparação, cintagens, outros tipos de reforço), atentando à resistência, rigidez e ductilidade **(E.A.) ou (E.R.)**;

- Introdução de novos elementos no sistema estrutural (pilares, paredes de betão armado, elementos metálicos) **(E.R.)**;
- Modificação do sistema estrutural, melhorando a regularidade e/ou ductilidade **(E.R.)**;
- Introdução de novo sistema estrutural de equilíbrio sísmico **(E.R.)**;
- Transformação de elementos não-estruturais em elementos estruturais **(E.R.)**;
- Proteções passivas ou ativas de amortecimento da estrutura (sistemas de dissipação de energia) **(E.R.)**;
- Redução de massas **(E.R.)**;
- Restrição quanto ao tipo/uso do edifício **(E.R.)**;
- Demolição parcial **(E.R.)**.

A norma também traz aspetos relacionados aos elementos não estruturais, os quais devem ser reforçados ou reparados caso seu comportamento sísmico venha a causar danos a vida ou aos bens móveis. Para evitar o colapso parcial ou total desses elementos o EC8-3 cita alguns métodos de reforço e reabilitação e refere suas devidas normas para aprofundamento, São elas:

- Ligações dos elementos não estruturais aos elementos estruturais de forma adequada (EN 1998-1:2004,4.3.5)
- Aumento capacidade de resistência dos elementos não estruturais (EN 1998-1:2004,4.3.5)
- Amarrações dos elementos não estruturais para evitar desprendimento parcial.

Citando (Costa & Providência, 2019), “Cada uma destas estratégias pode envolver uma ou mais técnicas. Cada técnica apresenta vantagens e inconvenientes, podendo adequar-se melhor ou pior a uma das estratégias, dependendo de diversos fatores, tais como:

- Dos materiais e da tecnologia disponível localmente;
- Do custo;
- Dos condicionamentos à utilização do edifício durante a intervenção;
- Da duração da intervenção;
- Das restrições arquitetónicas e/ou funcionais;
- Da reversibilidade da intervenção;
- Do valor social, político ou histórico do edifício.”

3.3 Reabilitação da Capacidade dos elementos existentes

O aumento da capacidade dos elementos existentes refere-se à **estratégia de aumento (E.A.)**, onde o objetivo é aumentar a capacidade de resistência ao corte e/ou flexão de um ou vários elementos pertencentes a estrutura. Não é um processo simples, quando o reforço é efetuado em diversos elementos o processo pode se tornar demorado e deixar a estrutura fora de funcionamento por períodos longos, tornando-se atrativo quando não é possível a construção de novos elementos de reforço sísmico devido a dificuldade de execução de novas fundações ou por inviabilidade arquitetónica.

O EC8-3 salienta que a capacidade de deformação dos elementos deve ser reduzida pelo coeficiente ($\gamma_{el}=1,15$) para ESP e ($\gamma_{el}=1,0$) para ESS e superior aos seus estados limites. Assim, para dar um melhor desempenho sísmico à estrutura, o EC8-3 indica maneiras de encamisamento para vigas, pilares e paredes para aumentar as suas resistência e ductilidade. As maneiras são:

- encamisamento por betão;
- encamisamento metálico;
- encamisamento por FRP (*fiber-reinforced polimer, ou, Fibras poliméricas reforçadas*);

3.3.1 Encamisamento com betão

O encamisamento com betão armado pode ser descrito de forma simplificada como a betonagem de uma peça nova ao redor de uma peça antiga. Por ser uma técnica que envolve uma nova betonagem ao redor do elemento danificado é muito recomendada para elementos com danos severos, pois pode-se promover a retirada do betão danificado e substituir, ou até mesmo ignorar, os varões danificados, tendo em vista que a nova camada repõe o betão e pode repor toda a armadura, ignorando-se a armadura anterior na análise estrutural.

Esta técnica de reforço é uma das mais utilizadas nas últimas décadas por utilizar técnicas semelhantes às de construções correntes, tendo um bom custo-benefício quando o objetivo é aumentar ou reabilitar a capacidade resistente de elementos individualmente (Fardis, 2009).

Por ser um método já instalado no meio da construção esse tipo de reforço traz algumas vantagens quando comparada com outros métodos (Brito, 2002):

- quando bem executado, promove grande eficiência e confiança no desempenho quando comparado com outro encamisamento;
- geralmente tem menor custo;
- velocidade de execução maior;
- de forma geral, não causa efeitos secundários à estrutura;
- mão de obra de fácil acesso;

e também traz desvantagens (Brito, 2002):

- dimensões finais superiores às originais, trazendo dificuldades arquitetónicas e perdas de espaço livre e funcionalidade estética;
- tempo de cura do betão causa uma espera inevitável, a menos que se procure utilizar betões de rápido endurecimento, gerando maiores despesas.

Uma das considerações que se deve ter ao escolher essa técnica de encamisamento é quanto a manutenção da funcionalidade do edifício que está a receber a intervenção, pois pode ser um processo bastante intrusivo, gerador de ruídos e detritos.

Quando aplicado em pilares e paredes, o encamisamento, tem o objetivo de aumentar a capacidade resistente em flexão composta (M, N) ou o aumento da capacidade resistente em compressão, sua cintagem proporciona uma melhor ductilidade e, consequentemente, melhoria da resposta sísmica do elemento.

O EC8-3, para quantificação da capacidade do encamisamento com betão na reabilitação e reforço sísmico, considera hipóteses simplificadas:

- **Comportamento monolítico** – o betão novo e antigo apresentam conduta mista total, com secção transversal referente ao perímetro exterior do encamisamento, da peça completa, e aderência perfeita;
- **Propriedades da secção total** – as propriedades da secção transversal total são as do betão utilizado no encamisamento;
- **Esforço axial** – o esforço axial passa a ser resistido pela totalidade do elemento encamisado.

Ainda com base no EC8-3 que com as definições citadas acima determina os valores dos coeficientes das propriedades mecânicas dos elementos (V_R , M_y , θ_y , θ_u) em relação ao valor das propriedades mecânicas do elemento encamisado e monolítico (V_R^* , M_y^* , θ_y^* , θ_u^*), onde:

- Resistência ao corte:

$$V_R^* = 0,9 V_R \quad (3.1)$$

- Momento de cedência:

$$M_y^* = M_y \quad (3.2)$$

- Rotação máxima da corda para cedência:

$$\theta_y^* = 1,05 \theta_y \quad (3.3)$$

- Rotação máxima da corda para o limite do colapso iminente (NC)

$$\theta_u^* = \theta_u \quad (3.4)$$

O encamisamento com betão armado é, em sua maioria, mais utilizado no reforço ao esforço transversal, onde o seu aumento de ductilidade ou melhoria da capacidade de rotação da corda no estado limite último (θ_u) se dá através da melhoria do confinamento do elemento.

As propriedades do betão que devem ser consideradas são as menos favoráveis entre o betão existente e o betão do encamisamento, devido ao monolitismo do encamisamento.

3.3.2 Encamisamento metálico

Ao utilizar o encamisamento metálico, ilustrado pela Figura 3.1, como forma de reforço o engenheiro busca aumentar a resistência ao esforço transversal, mas a cintagem formada pelo encamisamento pode auxiliar a ductilidade e obter uma melhor resposta sísmica. Obter melhor cintagem resulta em aumento da capacidade de resistência ao esforço axial.

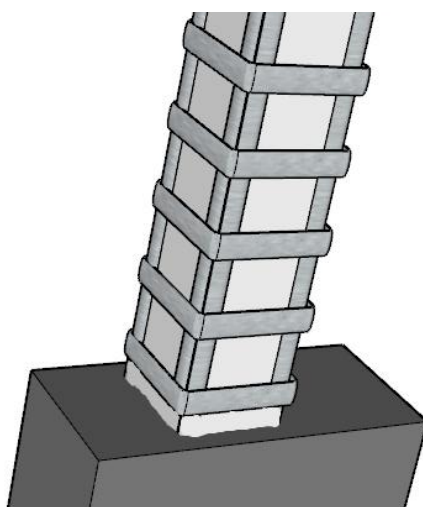


Figura 3.1 – Figura ilustrativa de encamisamento metálico em pilar (*SketchUp – Trimble, 2021*).

O encamisamento com peças metálicas também é uma ótima opção para transpor nós, garantindo uma contenção eficaz nas zonas utilizadas causando um aumento de ductilidade e capacidade de deformação cíclica.

De acordo com o EC8-3, por ser um processo reativo, que começa a trabalhar apenas após a deformação do elemento original, ou seja, o encamisamento passa a funcionar após a fissuração do elemento por corte, logo, o encamisamento, para ser funcional, deve trabalhar em regime elástico para garantir o controle de fendas e assegurar a integridade do betão.

Para a verificação do esforço transversal na utilização do encamisamento metálico, para casos onde é utilizada apenas 50% da tensão de cedência do aço, o EC8-3, no seu parágrafo A4.3.2, expõe a expressão:

$$V_j = 0,5 \times h \frac{2t_j b}{s} \times f_{yj,d} \times (\cot\theta + \cot\beta) \times \sin\beta \quad (3.8)$$

Onde:

h altura da secção transversal, na direção do esforço transversal atuante

t_j espessura das cintas metálicas

b largura das cintas metálicas

s espaçamento das cintas

θ ângulo de inclinação das escoras de betão da treliça

β ângulo entre o eixo das cintas metálicas e o eixo do elemento

$f_{yj,d}$ valor de cálculo da tensão de cedência do aço utilizado no encamisamento, igual à resistência nominal dividida pelo coeficiente parcial do aço estrutural, de acordo com o parágrafo 6.3.1 do EC8-1, que varia de acordo com o tipo da estrutura.

Neste âmbito o EC8-3 permite que a resistência ao corte do elemento reforçado (V_R) seja a soma entre a resistência do encamisamento ($V_{R,j}$) e a resistência conferida pelos estribos existentes, dada pelo EC2 ($V_{R,EC2,sw}$):

$$V_R = V_{R,j} + V_{R,EC2,sw} \quad (3.9)$$

Quando, no encamisamento, são utilizado chapas contínuas ($\rho_{j,cob} = 1$ e $\beta = 90^\circ$), então a expressão resume-se a:

$$V_{R,j,cont} = 0,5 \times h \times 2t_j \times f_{yj,d} \times \cot\theta \quad (3.11)$$

3.4 Estratégias de intervenção global

Outro método voltado para a reabilitação sísmica de uma estrutura é a intervenção de forma global, na qual utiliza a **estratégia de redução (E.R.)** que tem o objetivo de diminuir as

imposições de deformação das ações sísmicas na estrutura, podendo ser implementada através das seguintes intervenções:

- i. aumento da rigidez lateral
- ii. redução da massa do edifício
- iii. adição de dispositivos antissísmicos.

A redução de massas (ii) é baseada na remoção de peso da estrutura. Isso é viável quando existem fontes de massa retiráveis da estrutura, ou seja, caso tenha equipamentos inutilizados na cobertura ou parte arquitetónica sem valor estrutural, com o intuito de reduzir as forças de inércia ocasionadas durante um sismo.

Dispositivos antissísmicos baseiam-se em modificar a resposta sísmica do edifício, seja através do isolamento do edifício (sistema de isolamento de base) a qual a base do edifício funciona como uma “mesa deslizante” que atenua da interação solo-estrutura aumentando o período, ou como amortecedores ligados as fundações ou outros elementos da estrutura.

Esse trabalho focou-se na solução mais usual para o seu estudo de caso, analisando o aumento da rigidez lateral por paredes de contraventamento.

3.4.1 Aumento da Rigidez Lateral

O aumento de rigidez lateral é um método muito eficaz da **E.R.** que, além de reduzir as exigências perante as deformações, garante bom aumento de resistência ao corte. Este método pode ser implementado através da adição de novas paredes de betão, preenchimento de pórticos existentes, convertendo paredes de enchimento em nova parede estrutural, ou do reforço com perfis metálicos, exemplificado pela Figura 3.2 que analisa o desempenho, resistência e deformação, dos diversos tipos de intervenção para aumento de rigidez lateral.

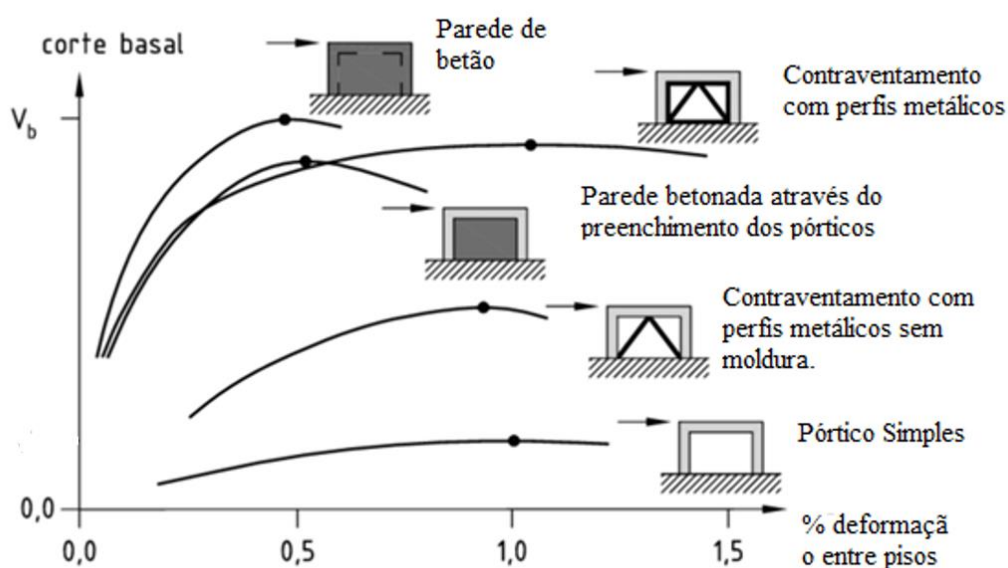


Figura 3.2 - Eficácia quando comparado a deformação entre pisos(*Drift*) e o corte basal(V_b) (adaptado de (Costa & Providência, 2019).)

Esse sistema passa a resistir as ações laterais e absorver quase que totalmente as ações sísmicas. Quando se opta por reforçar grande quantidade de elementos com o intuito de gerar maior resistência global, utilizando o aumento da capacidade dos elementos como estratégia

E.R., de forma geral, continua-se a ter pórticos simples, mesmo que mais resistentes. No entanto, pórticos simplesmente reforçados não são a forma mais eficiente para o aumento de rigidez de uma estrutura. Assim, observando a Figura 3.2, as formas de reforço que tem melhor desempenho em relação a aumento da resistência as ações laterais são:

- i. nova parede de betão armado que constituirá o sistema de contraventamento total do edifício existente;
- ii. pórticos reforçados com perfis metálicos de contraventamento, com moldura;
- iii. conversão de paredes não estruturais de enchimento em paredes estruturais de betão armado.

O método utilizado no presente trabalho como reforço do estudo de caso do capítulo 5, devido às necessidades de resistência e arquitetura do edifício, foi a adição de novas paredes de betão armado, pelo que este método será melhor detalhado a seguir.

3.4.1.1 Paredes de Betão armado

Adição de paredes de betão armado é um dos métodos de aumento da rigidez lateral mais utilizados no reforço sísmico. Quando as armaduras da parede garantem uma boa amarração à armadura existente e uma continuidade em altura, a parede de contraventamento, proporciona uma boa capacidade de resistência e controle de deformação dos pisos.

Novas paredes de betão, sejam elas adaptações de pórticos, através da conversão de paredes de enchimento, ou construídas como novas caso sejam responsáveis por toda ou maior parte da resistência à ação sísmica, tendem a tornar-se elementos sísmicos primários (ESP) e devem ser projetadas e detalhadas como em edifícios novos.

Para se ter uma boa transmissão das forças de inércia é indicado, quando a parede de betão é construída entre pórticos, envolver as vigas e pilares e, caso a laje preexistente tenha sido betonada em conjunto com as vigas, ter a alma bem ligada as vigas embebidas para conferir monolitismo à estrutura e além disso garantir confinamento aos pilares (Fardis, 2009).

Uma vantagem de embeber as vigas e os pilares é a confirmação da transferência de forças de inércia dos pisos para as paredes. Se as vigas forem englobadas nas lajes, ao construir a parede embebendo o pórtico, forma-se um efeito diafragma; caso contrário pode ser necessária uma ligação através de varões ancorados perifericamente (coletores de força de inércia), como ilustra a imagem da Figura 3.3.

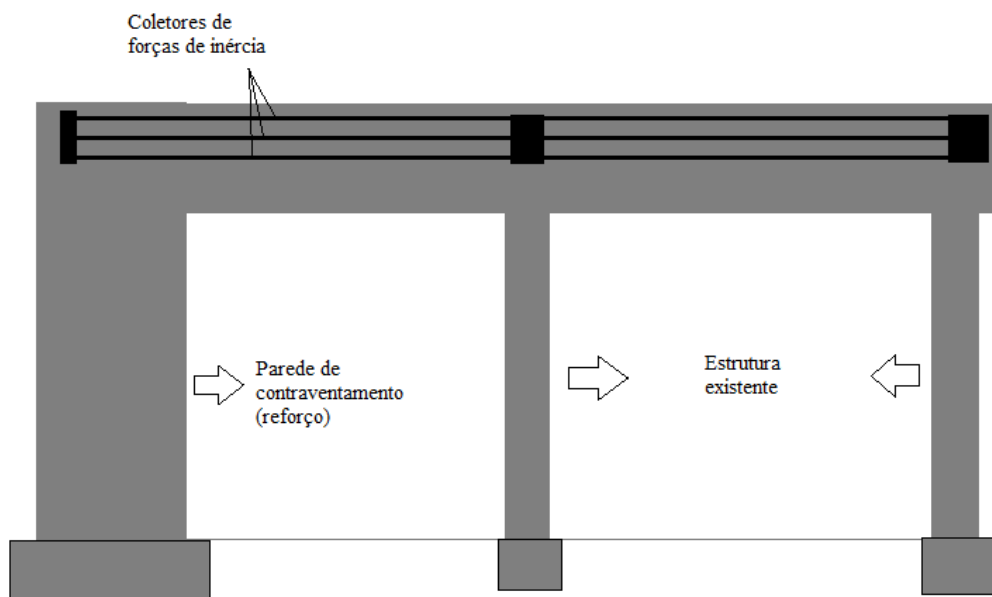


Figura 3.3 : Ilustração dos coletores de forças de inércia.

Outro fator importante são as **fundações** que podem sofrer levantamento devido a baixa carga gravítica e aos momentos atuantes. Assim existem algumas soluções para evitar que esse mecanismo aconteça:

- i. incorporar as fundações dos pilares ao redor da parede em uma única fundação para garantir uma grande dimensão em planta das fundações (Figura 3.4.i);
- ii. ancorar a fundação da parede ao solo através de micro-estacas resistentes à tração (Figura 3.4.ii).

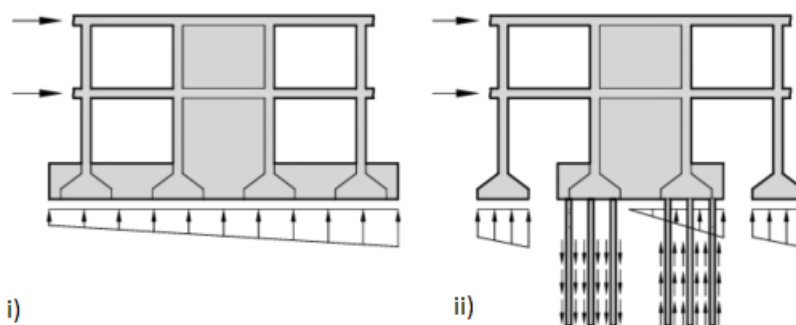


Figura 3.4 - Soluções para fundação de paredes de betão: i) incorporação das fundações próximas através de viga rígida; ii) ancoragem ao solo com micro-estacas (adaptado de (Costa & Providência, 2019)).

Como mencionado anteriormente, as paredes de betão armado adicionadas como reforço da estrutura devem ser dimensionadas como em estruturas novas. Assim, em seguida, será descrito o dimensionamento sísmico de paredes de betão de acordo com o EC8-1, posteriormente utilizado no estudo de caso.

3.4.1.2 Dimensionamento sísmico das paredes dúcteis de betão

O primeiro passo do dimensionamento das paredes de betão é a quantificação dos esforços. Esse é baseado na análise sísmica como descrito no capítulo 2, para a combinação de ações quase permanentes junto com a envolvente sísmica para todas as massas consideradas

$G + \psi_{2,i}Q \pm E$. O EC8-3 determina que as paredes de betão novas devem ser dimensionadas de acordo com o EC8-1 para paredes novas.

O parágrafo 5.4.2.4 do EC8-1 estabelece as disposições especiais para paredes, onde o diagrama de cálculo dos momentos fletores deve ser determinado através da envolvente do diagrama obtido na análise e deslocado verticalmente (*tension shift*) exemplificado pela Figura 3.5.

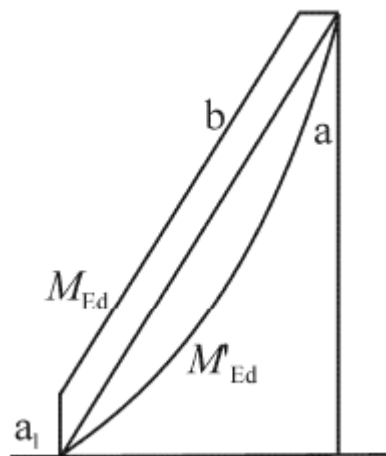


Figura 3.5 - Envolvente de cálculo dos momentos fletores de paredes.(EC8-1)

onde:

- a diagrama de momentos obtido na análise;
- b envolvente de cálculo considerando o *tension Shift*;
- a_l deslocamento vertical (*tension shift*).

O EC8-1, no parágrafo 5.5.2.4.1, aborda aspetos sobre os esforços de corte em paredes dúcteis, onde se deve considerar a possibilidade do aumento de esforços após a plastificação da base. Para isso deve ser aumentado seu esforço em 50%, ou seja, multiplicar o V_{Ed} por $\varepsilon=1.5$ e ainda assim considerar uma envolvente de cálculo para ter em conta todas as incertezas relacionadas ao efeito dos modos.

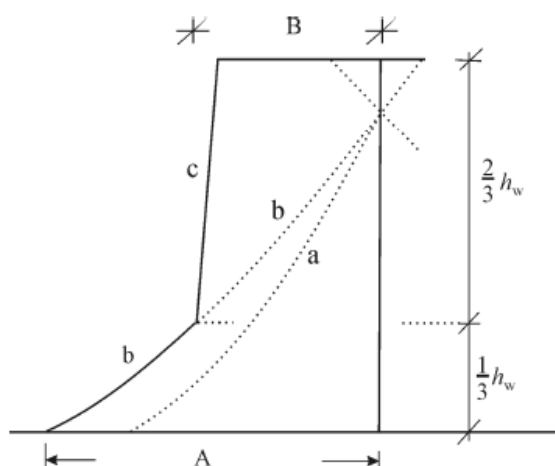


Figura 3.6 - Envolvente de cálculo dos esforços transversos de paredes.

onde:

- a diagrama de esforços transversos resultantes da análise;
- b diagrama dos esforços transversos majorados;
- c envolvente de cálculo.

$$A \quad V_{base} = V_a * \varepsilon ;$$

$$B \quad V_{topo} \geq V_{base}/2 .$$

Os elementos de parede incluem dois elementos confinados de extremidade que trabalham em conjunto para mobilizar um binário resistente que equilibra o momento na base, onde cada elemento resiste a compressão e a tração, dependendo da direção dos esforços. Assim, de acordo com o EC8-1, o valor mínimo do comprimento l_c da zona crítica, a adotar no dimensionamento dos elementos confinados de extremidade é dada pela seguinte expressão:

$$l_{c,min} = \max (0.15l_w; 1.5b_w) \quad (3.12)$$

sendo que o comprimento l_c deve ser medido desde a fibra mais comprimida até o ponto onde o betão possa destacar-se devido a extensão excessiva, proveniente das compressões. Para que a posição do eixo neutro (x_u) seja correspondente à curvatura última após o destacamento do betão localizado fora do elemento confinado, o EC8-1, informa que a extensão de compressão deve ser considerada igual a $\varepsilon_{cu2} = 0.0035$ e a posição do eixo neutro (x_u) determinado pela seguinte expressão:

$$x_u = (v_d + \omega_v) \frac{l_w b_c}{b_o} \quad (3.13)$$

Assim o comprimento do elemento de extremidade confinado l_c poderá ser considerado igual a $x_u(1 - \varepsilon_{cu2}/\varepsilon_{cu2,c})$ para $\varepsilon_{cu2,c} = 0.0035 + 0.1\alpha\omega_{wd}$, de acordo com o EC8-1 parágrafo 5.4.3.2(6), onde cada membro dessa equação tem sua legenda de acordo com a imagem fornecida pelo EC8-1:

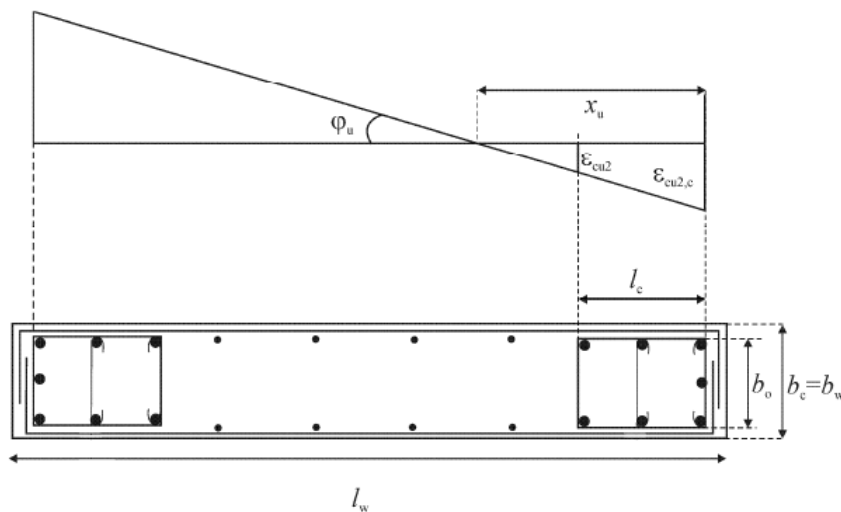


Figura 3.7 - Confinamento dos elementos de extremidade - Nomenclatura utilizada pelo EC8-1.

De acordo com o parágrafo 5.4.3.4.2 do EC8-1 a armadura de confinamento deve estender-se por toda a zona crítica em altura da parede, h_{cr} , que por sua vez pode ser considerada, para um edifício de até 6 pisos como:

$$h_{cr} = \max \left(l_w, \frac{h_w}{6} \right) \leq \begin{cases} 2 \cdot l_w \\ h_s \end{cases} \quad (3.14)$$

em que h_w é a altura do edifício e h_s a altura livre entre pisos.

Paredes de secção transversal retangular podem ter sua armadura de confinamento baseada na seguinte expressão:

$$\alpha \omega_{wd} \geq 30 \mu_\varphi (v_d + \omega_v) \varepsilon_{sy,d} \frac{b_c}{b_o} - 0,035 \quad (3.15)$$

onde:

$\alpha \omega_{wd}$ é o produto do coeficiente de confinamento (α) pela taxa volumétrica de armadura de confinamento necessária.

$$\varepsilon_{sy,d} = f_{yd}/E_s$$

μ_φ fator de ductilidade, igual a $2q_0-1$ para ($T \geq T_c$) e a $1+(2q_0-1)$ para ($T < T_c$), onde q_0 é o valor básico do coeficiente de comportamento apresentado no quadro 5.1 do EC8-1, T é o período fundamental do edifício e T_c é o período no limite superior da zona de aceleração constante do espectro.

$$v_d = N_{ed}/h_c b_c f_{cd}$$

ω_v é a taxa mecânica de armaduras verticais da alma dada por $\rho_v \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$, onde ρ_v é a taxa de armadura vertical da alma $\geq 2\%$, de acordo com o EC2 parágrafo 9.6.2(1).

Ainda de acordo com o EC8-1 parágrafo 5.4.3.4.2(8), a taxa de armadura vertical mínima a ser considerada nas zonas de confinamento até a altura da zona crítica é $\rho_v = 0.5\%$ e a máxima é 4%.

Deve ser feita a verificação à compressão das escoras diagonais do betão, $V_{Rd,max}$, determinado pela seguinte expressão, de acordo com o EC8-1 parágrafo 5.5.3.1.2 para paredes de ductilidade média (Avramidis et al, 2015):

$$V_{Rd,max} = 0,24 b_w l_w \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) f_{cd} (\sin(2\theta)) > 1.5 V_{Ed} \text{ para } (22^\circ < \theta < 45^\circ) \quad (3.16)$$

Para o caso da necessidade de reforço para esforço transversal, pode ser quantificado de acordo com a seguinte expressão (Avramidis et al, 2015):

$$V_{Rd,s} = 0,8 b_w l_w \rho_h f_{ywd} > 1.5 V_{Ed} \quad (3.17)$$

onde:

ρ_h taxa de armadura paralela ao esforço, esse termo que condiciona o aumento ou a diminuição da resistência ao esforço cortante, limitado pela compressão das escoras diagonais;

f_{ywd} tensão de cedência dos estribos.

Por fim o espaçamento de estribos e o diâmetro mínimo para estribos, devem obedecer aos limites estabelecidos nas eq. (3.18) e eq. (3.19), respetivamente:

$$s_w \leq \min\{20d_{bl}; b_w; 400mm\} \quad (3.18)$$

$$d_{bw} \geq \min\{6mm; d_{bl}/4\} \quad (3.19)$$

onde:

d_{bl} diâmetro das barras longitudinais;

d_{bw} diâmetro das barras do estribo.

3.5 Fluxograma para reabilitação sísmica

A Figura 3.8 ilustra o fluxograma que representa, de forma simplificada, a sequência de procedimentos necessários para a avaliação e a reabilitação sísmica de edifícios existentes, explicados e detalhados nas secções anteriores.

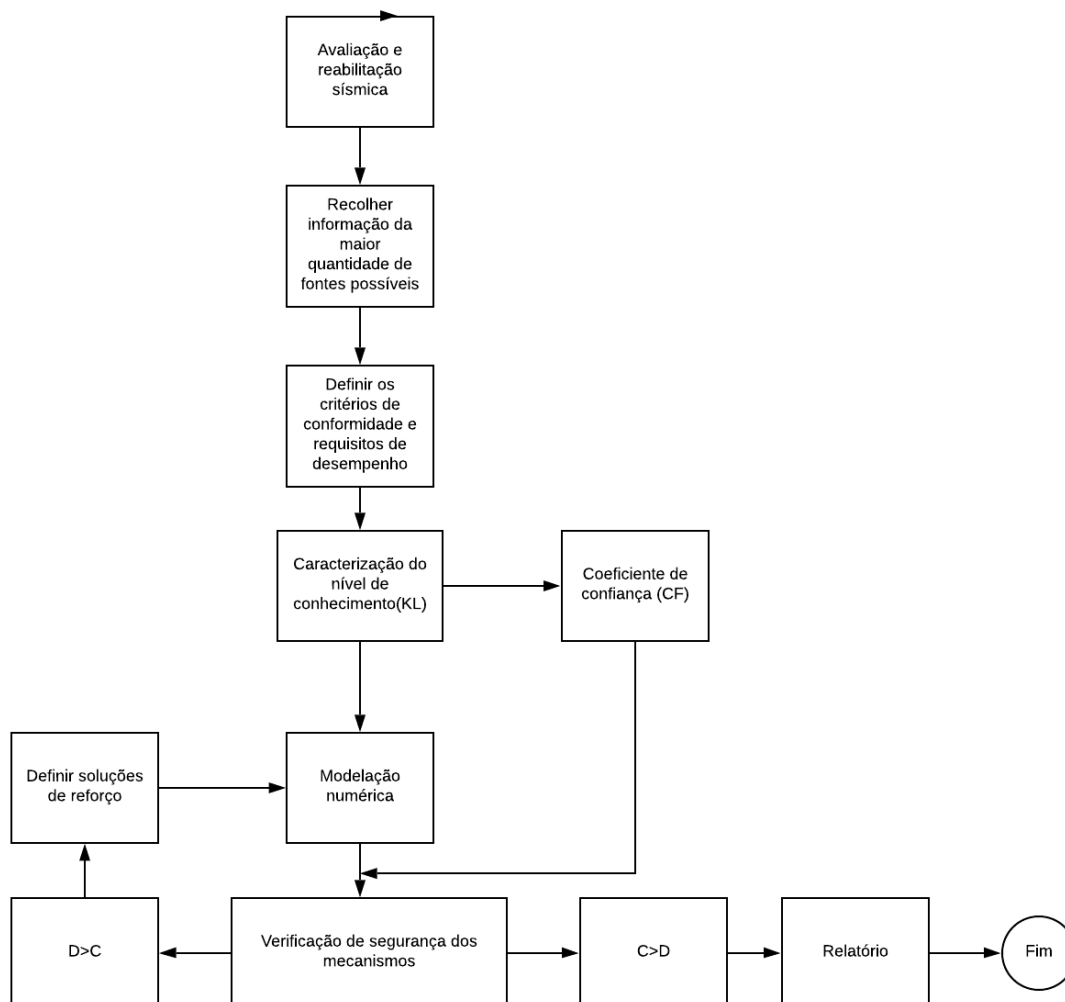


Figura 3.8 - Procedimentos para avaliação e reforço sísmico

4

AUTOMATIZAÇÃO DE FOLHA DE CÁLCULO
EXISTENTE.

4.1 Apresentação da folha de cálculo

A folha de cálculo foi desenvolvida na tese de mestrado “Avaliação Sísmica de Edifícios Existentes Segundo o Eurocódigo 8 com vista à Reabilitação” da autoria do Eng. Lucas Augusto de Carvalho, com o intuito de avaliar a segurança estrutural através de métodos lineares, não lineares e por coeficiente de comportamento q , para os estados limites, NC, SD e DL.

A folha de cálculo é baseada na análise de pórticos por direção, ou seja, analisa simultaneamente elementos dos pórticos de uma determinada direção, contanto que os elementos do pórtico estejam ligados entre si e/ou com as fundações.

As partes de verificação da folha de cálculo, exceto a primeira parte, são compostas por 4 linhas para cada elemento, as quais devem ser replicadas com o intuito de gerar mais espaços para mais elementos.

Originalmente, a folha de cálculo divide-se em 4 partes:

- **Primeira parte:** Esta é a parte introdutória da folha, que explica quais células devem ser preenchidas e quais são as de cálculo automático; também mostra a convenção de sinais adotada pela folha, permite selecionar o método de análise, o estado limite de verificação e o nível de conhecimento da estrutura. O preenchimento da primeira parte vai interferir em como a folha de cálculo calcula os parâmetros de verificação e quais coeficientes irá utilizar, como mostra a Figura 4.1.

Verificação de segurança sísmica segundo a EC8-3 - Elemento linear

Informações iniciais:
 Copiar conjunto de quatro linhas e colar abaixo para verificar um novo elemento;
 Branco: células alteráveis;
 Cinza: cálculo automático;
 Verde e vermelho: ok e not ok respetivamente.
 Ter em atenção que todas as células precisam estar preenchidas, caso contrário ocasionará erros.

Convenção de sinais:

Diagrama de convenção de sinais para elementos lineares (L, R, L+, L-, R+, R-). Utilizar a mesma convenção para pilares no sentido anti-horário.

Dados iniciais:

Método de análise	Estado limite a ser verificado	Nível de conhecimento
Análise Linear	SD	KL2

Admissível

$\rho_{\text{máx}}$
2,50
 $\rho_{\text{mín}}$
1,04
 $\rho_{\text{máx}} / \rho_{\text{mín}}$
2,41

Figura 4.1 - Ilustração da primeira parte da folha de cálculo - Instruções

A folha de cálculo analisa o elemento linear em quatro zonas, L-, L+, R-, R+, referentes às extremidades esquerda (L), sendo superior (-) ou inferior (+), e direita R com a mesma convenção para superior e inferior, tal como mostrado na Figura 4.1 nas linhas “10” a “17” com a imagem da convenção de sinais situada mais à direita. A imagem menor, à esquerda, faz referência aos lados L, B, T e R que são os símbolos das faces dos nós, posteriormente utilizados para referenciar os elementos adjacentes e por qual face eles estão ligados.

-Segunda Parte: Esta é a parte de preenchimento manual da folha de cálculo, onde se insere as informações sobre cada elemento, Pilar ou Viga, em que a diferenciação entre eles é feita de forma automática pela folha de cálculo de acordo com o esforço Axial; quando for elemento do tipo viga o esforço axial preenchido na folha de cálculo deve ser 0. Na segunda parte, para cada elemento e seus respectivos nós, define-se se o elemento é um elemento sísmico primário ou secundário, preenche-se as propriedades geométricas e mecânicas, os esforços, os deslocamentos e as rotações provenientes da análise, as armaduras longitudinais principais e de alma e a armadura transversal e, finalmente, a carga G (carga aplicada nas vigas para a combinação quase permanente) nos campos da folha de cálculo mostrados na Figura 4.2 e Figura 4.3.

	A	B	C	D	E	F	G	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	AA	AB	AC
1																			
2																			
3						Para o calculo de todos													
4	N		Nó	Nome		ESP ou FCC	Propriedades Geométricas					Propriedades mecânicas (valores médios ensaios)				Esforços provenientes da análise			
5							L	Lol	cob	b	h	fcm	fym	Es	ftm	N	M	V	
6							(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(MPa)	(MPa)	(GPa)	(MPa)	(kN)	(kN.m)	(KN)	
7																			
8																			
9	1	1L-	1	P2-0	L- L+ R- R+	ESP	3	2,75	0,025	0,2	0,5	28,0	204	205	0	273,05	11,413	6,84	
10		1L+														13,278	8,719		
11		1R-	5													12,878	6,84		
12		1R+														9,1092	8,719		

Figura 4.2 - Folha de cálculo; propriedades geométricas, mecânicas e esforços da análise.

AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	DB	DC	DD	DE	EF	EQ	ER	ES	ET	EU	EV	EW
Para calculo de todos										Demanda rot da corda											
Armadura longitudinal					Armadura da alma		Armadura transversal		Carga G	Exigência rotação do eixo		Elementos adjacentes a extremidade (L)			Elementos adjacentes a extremidade (R)						
n		φ		n	φ	dbl	n	φ	s	φ	qed,cqp	d,x,z,rel	θi,y	L	T	B	R	T	B		
(un)		(mm)		(un)	(mm)	(mm)	(un)	(mm)	(m)	(mm)	kN/m	(mm)	(mrad)	Barra	Barra	Barra	Barra	Barra	Barra		
L-	2	16			16,0	2	12		0,20	6		2,078	0								
L+	2	16			16,0	2	12														
R-	2	16			16,0	2	12		0,20	6		2,078	0,348	0	0	0	2	0	36		
R+	2	16			16,0	2	12														

Figura 4.3 - Folha de cálculo; armaduras longitudinais, de alma e transversais, carga G, deslocamentos e rotações provenientes de análise e elementos adjacentes.

É nesta fase que foi introduzida uma automatização da folha de cálculo, nas colunas A e C, para identificação e numeração dos elementos, e nas colunas AA, AB, AC, DC e DD, para inserção dos esforços e deslocamentos resultantes da análise feita no software *Sap2000*(*CSI-2021*) de acordo com o nó e a face do elemento, conforme será explicado mais adiante.

Para auxiliar a compreensão do preenchimento das células de elementos adjacentes ilustra-se na Figura 4.4 um exemplo de aplicação onde, para o pilar de número 3 (linhas “17” a “20”) , se pode observar que, para a extremidade L, colunas EQ, ER e ES, tem-se o valor 0 porque a extremidade L do pilar 3 está ligada à fundação. No entanto, para a extremidade R, colunas ET, EU e EV, tem-se 4, 2 e 5, respetivamente, correspondentes às barras ligadas à

extremidade direita do pilar 3, sendo a barra 4 a continuidade do pilar e as barras 2 e 5 as vigas ligadas perpendicularmente ao pilar.

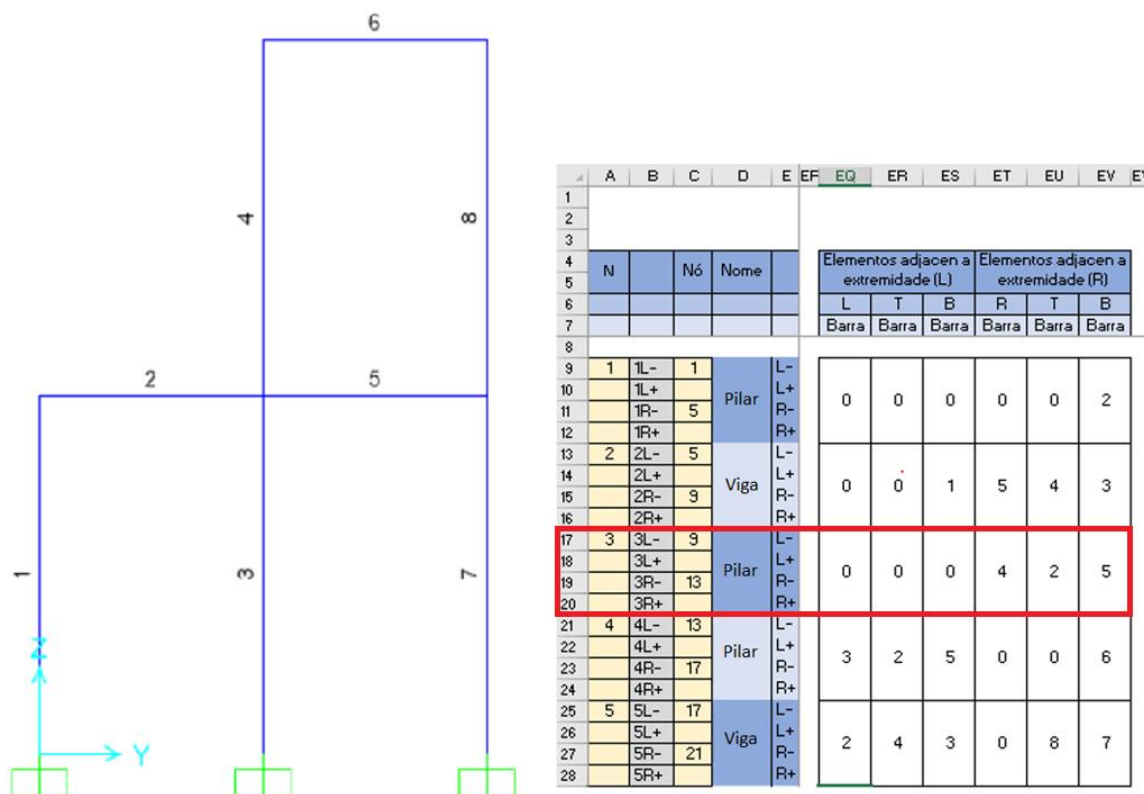


Figura 4.4 Exemplo de preenchimento dos elementos adjacentes.

-Terceira parte: Diz respeito aos cálculos ocultos e representação dos resultados como mostra a Figura 4.5, nomeadamente coeficientes de segurança, propriedades de cálculo, taxas de armaduras, e outros cálculos intermédios referentes à verificação dos mecanismos, cálculos de resistência de acordo com EC2 e EC8-3 e, por fim, todos os cálculos de acordo com as expressões e orientações dispostas pelo EC8 (Carvalho, 2020).

[illegible]

Figura 4.5 - Folha de cálculo- Cálculos ocultos de coeficientes e propriedades de cálculo.

Para além das células ocultas mostradas na Figura 4.5, existem outros cálculos de coeficientes, esforços e resistências que são realizados na folha de cálculo, melhor explicados em (Carvalho, 2020).

-Quarta Parte: Os resultados são apresentados mais à direita da folha de cálculo, para uma análise de exigência (D), na coluna DY, e capacidade (C), na coluna ED, resultante dos

cálculos ocultos e da inserção das informações anteriores, separadas por mecanismo frágil e dúctil. Assim, surgem células preenchidos com KO, em vermelho, quando $D > C$ ou OK, em verde, quando $C > D$, conforme ilustrado na Figura 4.6.

	A	B	C	D	E	DT	DU	DV	DW	DY	DZ	EA	EB	EC	ED	EE	
1																	
2										Verif. Segurança Mec. Frágil							
3																	
4	N		Nó	Nome		Capacidade	Condição		Demanda	Exigência	Resistência ao esforço			Condição Vrd máx	Capacidade	Condição	
5						SD			A.Linear	SD	transverso				SD		
6						8C			Pilar/Viga	Ved	Vr,EC2	Vr,EC3	Vrd max	Vrd			
7						(mrad)			(kN)	(kN)	SD	SD	SD	SD	(kN)		
25	5	5L-	17	P2-4	L-	30,89	OK		2,48	2,98	7,02	56,47	6,51	56,47	7,02	OK	
26		5L+			L+	30,89	OK		5,89	7,07						7,02	KO
27		5R-	21		R-	30,89	OK		2,48	2,98						7,02	OK
28		5R+			R+	30,89	OK		5,89	7,07		7,02	56,46	6,51	56,46	7,02	KO

Figura 4.6 - Folha de cálculo; exemplo de resultados para o mecanismo frágil.

4.2 Automação da numeração de Barras e nós

A automatização da folha de cálculo substitui uma suposta quinta parte da mesma. Como mencionado anteriormente as células A, C, AA, AB, AC, DC e DD recebem informações provenientes da análise feita no software de cálculo estrutural *Sap2000(CSI-2021)*, ou seja, para cada elemento, e respetivos nós, deve-se fornecer:

- número de cada elemento (coluna A),
- número de cada nó na posição correta em cada lado do elemento, L e R (coluna C);
- resultado da combinação quase-permanente: esforço axial para pilares (Coluna AA);
- resultado das combinações sísmicas: esforços transversos e momento para cada face e lado do elemento, ou seja, quatro valores de esforços transversos e quatro de momentos para cada elemento bem como os respectivos deslocamentos e rotações (colunas AB, AC, DC e DD, respetivamente).

Assim, pode-se observar que para uma estrutura com elevada quantidade de elementos o preenchimento manual desses valores torna-se pouco conveniente. Face à necessidade de preencher de forma mais eficiente era necessário recorrer a uma rotina em *Matlab* (*Mathworks – 2021*) elaborada no contexto da tese anterior (Carvalho, 2020) para extrair essas informações de ficheiros retirados diretamente do *Sap2000*(*CSI-2021*), filtrar e escrever diretamente na folha de cálculo nas posições desejadas.

Afim de tornar a folha de cálculo mais autónoma e otimizada, com uma rotina mais transparente e verificável, este trabalho propõe uma solução diretamente em *Excel(Microsoft)*, programada também em *Visual Basic For Applications (VBA)*, o que otimizou a solução ganhando tempo e trabalhabilidade da folha de cálculo e diminuiu a quantidade de ficheiros necessários para o preenchimento automático. Antes necessitava de 8 ficheiros e passou a precisar apenas de 6, o que pode ser considerável se levar em conta que para cada direção dos pórticos (X ou Y) e para cada combinação sísmica é necessária a extração de novos ficheiros, conforme identificados no Tabela 9.

Para obtenção dos ficheiros em Sap2000 deve-se primeiro separar os elementos em grupos selecionáveis, para cada direção, por exemplo, “Pilares em X”, “Vigas em X” e “Nós em X”. Os pilares e as vigas devem ter suas estações de análise **“output stations”** limitados a 2. Em seguida deve-se extrair os ficheiros de acordo com a Tabela 9, salientando-se que ao gerar os ficheiros, os valores que representam os números das barras e dos nós estão em formato de texto, e devem ser transformados para formato Número em *Excel* (Microsoft).

Tabela 9 -Ficheiros do Sap2000 necessários para utilização da folha de cálculo

Ficheiros Sap2000				
Nome do Ficheiro	Conteúdo	Grupo	Caso de Carga	Caminho
Nods_Columns	Nº das barras dos pilares e respectivos nós.	Pilares	Dead	I-Show Table II- Element Output III- Frame Output IV-Table:Element Joint Forces;
Nods_Beams	Nº das barras das vigas e respectivos nós.	Vigas	Dead	I-Show Table II- Element Output III- Frame Output IV-Table:Element Joint Forces;
Axial_Columns_CQP	Esforço Axial para cada pilar	Pilares	Combinação Quase-Permanente	I-Show Table II-Analysis Results III- Element Output IV-Table:Element Forces Frames ;
Columns_Seismic	Esforços sísmicos (M,V) de cada pilar	Pilares	Combinação Sísmica	I-Show Table II-Analysis Results III- Element Output IV-Table:Element Forces Frames ;
Beams_Seismic	Esforços Sísmicos de cada viga (M,V)	Vigas	Combinação Sísmica	I-Show Table II-Analysis Results III- Element Output IV-Table:Element Forces Frames ;
Nods_Displ	Deslocamentos e rotações dos elementos.	Nós	Combinação Sísmica	I-Show Table II-Analysis Results III- Joint Output IV-Displacements V-Table:Joint Displacement-Absolute

Inicialmente para a automatização da folha de cálculo precisou-se formatar a folha de cálculo, tendo então a separação de onde ficariam os elementos pilar e viga com espaço para 250 elementos de cada tipo.

Foi criada uma Macro em (VBA) com o intuito de numerar os elementos e suas barras. Assim ao inserir os ficheiros na folha de cálculo, como será explicado em (4.4), e clicar no botão “barras e nós” como mostra a Figura 4.7, a macro primeiro apaga todos os dados escritos nas colunas A e C da folha de cálculo e, em seguida, renumera as barras e os respetivos nós de acordo com os ficheiros inseridos.



	A	B	C	D	E
1					
2		Barras e nós			
3					
4	N		Nó	Nome	d
5					
6					
7					
8					
9	1	1L-	1		L-
10		1L+			L+
11		1R-	5	P2-0	R-
12		1R+			R+
13	2	2L-	5		L-
14		2L+		P2-1	L+
15		2R-	3		R-
16		2R+			R+

Figura 4.7 - Botão "Barras e Nós" inserido na folha de cálculo.

4.3 Automatização dos esforços e deslocamentos

Para além da Macro em (VBA) foi inserida, em outras “páginas” do mesmo ficheiro de cálculo, uma parte que separa os valores necessários dos esforços axiais, deslocamentos e rotações e esforços sísmicos para vigas e pilares, filtra e separa os esforços para L-, L+, R- e R+, e posteriormente, vai para a folha de cálculo principal. Dessa forma, assim que se faz a inserção do ficheiro no local correto da folha de cálculo, os valores vão automaticamente para as respetivas barras e nós.

Importa lembrar que o *SAP2000(CSI)* funciona com um sistema de eixos locais 1, 2, 3, como mostra a Figura 4.8, onde o eixo 1 é coincidente com o eixo da barra, seja pilar ou viga.



Figura 4.8 - Eixos locais - Sap2000(CSI)

Tendo isso em conta, os valores retirados de cada pórtico da estrutura para os pilares podem mudar consoante a direção; para pilares de pórticos na direção X os valores analisados são V2 e M3, enquanto na direção Y passam a ser V3 e M2. Assim foram desenvolvidas folhas de cálculo por cada direção de pórtico (X e Y) para que se possa fazer a análise dos dois pórticos sem a necessidade de modelos numéricos com diferentes eixos; para utilizar cada uma das folha de cálculo em suas respetivas direções, os eixos locais das barras e os devem estar de acordo com os da Figura 4.9.

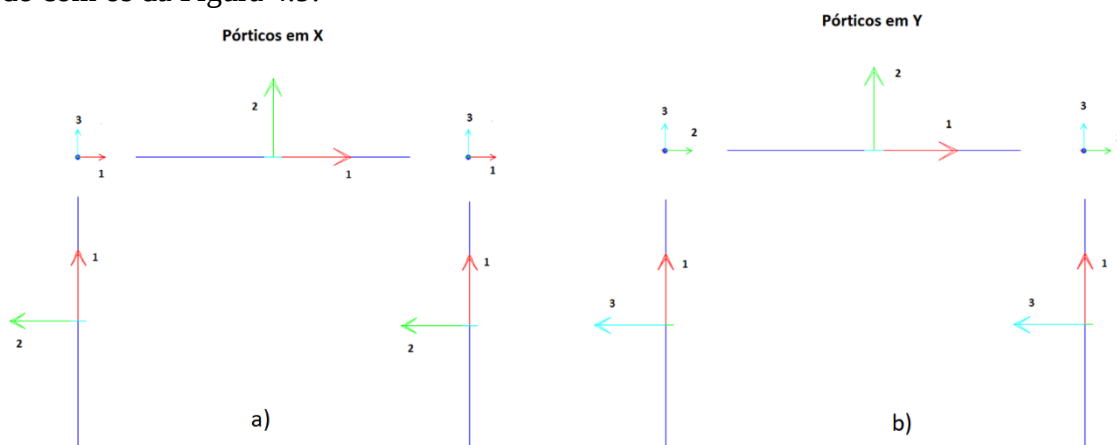


Figura 4.9 - Eixos locais dos pilares, vigas e nós condizentes com cada folha de cálculo: a) pórticos em X e b) pórticos em Y.

Para os ficheiros de esforço axial e de deslocamentos e rotações não foi necessário utilizar do filtro para separar o ficheiro previamente, pois o esforço axial pretendido é apenas para a extremidade L do pilar, por ser esse é o lado inferior do pilar. Para deslocamentos, o cálculo do deslocamento relativo entre os nós ocorre de forma interna, assim como as rotações selecionadas para cada lado do elemento. No entanto, para os esforços M e V das combinações sísmicas, como mostra a Figura 4.10, antes de inserir o ficheiro na folha de cálculo é necessário utilizar o filtro do *Excel(Microsoft)* e separar as estações entre L e R e entre valores extremos (-) e (+), estes últimos, designados em *SAP2000(CSI)* como Max e Min, respetivamente, conforme o exemplo da Figura 4.11.

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
2	Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem	ElemStation
3	Text	m	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	Text	m
4	1	0	Comb_100E2X_30E2Y	Combination Max		21,743	14,693	24,688	0,5795	49,6217	23,5387	1-1	0
5	1	3	Comb_100E2X_30E2Y	Combination Max		29,24	14,693	24,688	0,5795	31,0044	21,9554	1-1	3
6	1	0	Comb_100E2X_30E2Y	Combination Min		-314,869	-15,396	-28	-0,5768	-53,0081	-24,2353	1-1	0
7	1	3	Comb_100E2X_30E2Y	Combination Min		-307,372	-15,396	-28	-0,5768	-24,4567	-20,5413	1-1	3
8	2	0	Comb_100E2X_30E2Y	Combination Max		-1,16	14,154	17,024	0,7787	25,7864	21,478	2-1	0
9	2	3	Comb_100E2X_30E2Y	Combination Max		6,338	14,154	17,024	0,7787	35,265	23,5508	2-1	3
10	2	0	Comb_100E2X_30E2Y	Combination Min		-236,327	-15,786	-23,57	-0,7738	-35,4805	-23,8076	2-1	0
11	2	3	Comb_100E2X_30E2Y	Combination Min		-228,829	-15,786	-23,57	-0,7738	-25,3229	-20,984	2-1	3
12	3	0	Comb_100E2X_30E2Y	Combination Max		-21,968	12,743	15,655	0,6749	22,9337	19,6846	3-1	0
13	3	3	Comb_100E2X_30E2Y	Combination Max		-15,97	12,743	15,655	0,6749	32,2756	22,5928	3-1	3
14	3	0	Comb_100E2X_30E2Y	Combination Min		-160,087	-15,135	-20,598	-0,6724	-29,533	-22,8142	3-1	0
15	3	3	Comb_100E2X_30E2Y	Combination Min		-154,088	-15,135	-20,598	-0,6724	-24,044	-18,5456	3-1	3
16	4	0	Comb_100E2X_30E2Y	Combination Max		-27,149	9,901	7,88	0,4068	11,3803	14,6798	4-1	0
17	4	3	Comb_100E2X_30E2Y	Combination Max		-22,65	9,901	7,88	0,4068	18,7994	19,0448	4-1	3
18	4	0	Comb_100E2X_30E2Y	Combination Min		-90,485	-12,522	-11,958	-0,404	-17,0935	-18,5223	4-1	0
19	4	3	Comb_100E2X_30E2Y	Combination Min		-85,986	-12,522	-11,958	-0,404	-12,2775	-15,0244	4-1	3
20	5	0	Comb_100E2X_30E2Y	Combination Max		-20,513	7,066	4,313	0,2257	6,3857	10,3874	5-1	0
21	5	3	Comb_100E2X_30E2Y	Combination Max		-17,514	7,066	4,313	0,2257	9,7757	14,1441	5-1	3

Figura 4.10 - Ficheiro Columns_Seismic - Exemplo

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
2	Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem	ElemStation
3	Text	m	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	Text	m
4	1	0	Comb_100E2X_30E2Y	Combination Max		21,743	14,693	24,688	0,5795	49,6217	23,5387	1-1	0
8	2	0	Comb_100E2X_30E2Y	Combination Max		-1,16	14,154	17,024	0,7787	25,7864	21,478	2-1	0
12	3	0	Comb_100E2X_30E2Y	Combination Max		-21,968	12,743	15,655	0,6749	22,9337	19,6846	3-1	0
16	4	0	Comb_100E2X_30E2Y	Combination Max		-27,149	9,901	7,88	0,4068	11,3803	14,6798	4-1	0
20	5	0	Comb_100E2X_30E2Y	Combination Max		-20,513	7,066	4,313	0,2257	6,3857	10,3874	5-1	0

Figura 4.11 - Ficheiro Columns_seismic L (station 0 e Steptype Max) - Exemplo

A Figura 4.11 exemplifica como resulta o ficheiro a ser inserido na página “Columns_seismic Max” na folha de cálculo, o mesmo ocorrendo para os ficheiros Beams_seismic_(Max e Min). Assim as novas “páginas” da folha de cálculo, e que devem receber os ficheiros, estão designadas com os nomes dos ficheiros mostrado na Figura 4.12.

49	L-	L-											
50	L+	L+											
51	R-	R-											
52	R+	R+											

Verificação de Segurança

Nods_Columns Nods_Beams Axial_Columns_CQP Col_seism_Max Col_seism_Min Beam_seismMax Beam_seismMin Nods_Displ

Figura 4.12 - Folha de cálculo - “páginas” para inserção dos ficheiros

4.4 Sequência da utilização

Com a primeira parte da folha de cálculo já preenchida (método de análise, estado limite a ser verificado e o nível de conhecimento) passa-se então ao preenchimento bruto de elementos e seus respetivos valores agregados; assim a imagem da segunda página, onde ocorrem as verificações, encontra-se ilustrada na Figura 4.13:

Para o cálculo de todos										Para o cálculo de todos										Demanda por da corda														
Propriedades Geométricas					Propriedades mecânicas (valores médios ensaios)					Esforços provenientes da análise					Armadura longitudinal					Armadura transversal					Carga G					Exigência de rotação				
L	L _{cl}	cob	b	h	f _{cm}	f _{ym}	E _s	f _{td}	N	M	V	n	φ	n	φ	dbl	n	φ	s	φ	q _{ed,0.5}	d _{u,z,ref}	β _u	q _{ed,0.5}	d _{u,z,ref}	β _u								
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(MPa)	(MPa)	(GPa)	(MPa)	(kN)	(kNm)	(kN)	(un)	(mm)	(un)	(mm)	(mm)	(un)	(mm)	(mm)	(mm)	(kN/m)	(mm)	(mm)	(kN/m)	(mm)	(mm)								
<- Pilares <- Vigas																																		

Figura 4.13 - Verificação de segurança – pagina principal.

A folha de cálculo tem separações por grupos de células preenchíveis e células de cálculo oculto, facilitando a utilização e a análise dos resultados. Ao abrir um dos grupos de pilares ou vigas tem-se as primeiras células preenchíveis, como exemplificado na Figura 4.14.

1																													29
2																													29
3																													29
4																													29
5																													29
6																													29
7																													29
8																													29
9																													29
10																													29
11																													29
12																													29
13																													29
14																													29
15																													29
16																													29
17																													29
18																													29
19																													29
20																													29

Figura 4.14 - Verificação de segurança – Pagina principal.

Como se pode observar, antes de inserir ficheiros vindos do *Sap2000(CSI)*, não se sabe onde serão as barras e os nós, muito menos quais serão as armaduras e propriedades a se preencher. Assim, antes de começar a preencher, é necessário inserir os ficheiros, ficando então a alocação das barras e dos nós em ordem ascendente. O procedimento obedece então a seguinte ordem:

- I. Inserir os ficheiros na ordem e posição correta dentro das respetivas *páginas* (Figura 4.12).
- II. Ativar o botão do macro “Barras e nós” e esperar o processo ser concluído (Figura 4.7).
- III. Inserir as informações manuais (Figura 4.14).

Por fim tem-se o resultado que pode ser observado ao abrir o grupo de colunas a seguir à coluna “EP”.

4.4.1 Inserção de ficheiros “Nods_columns e Nods_Beams”

Ao retirar os ficheiros como mostrado em (4.2) os dois primeiros ficheiros serão os “Nods_Columns” e “Nods_beams”. Esses serão responsáveis por identificar quais são os pilares, quais são as vigas e quais são os seus respetivos nós, e deles são extraídos os valores que a macro utiliza para preencher as linhas “A” e “C”. O procedimento de inserir os dois ficheiros é semelhante e será explicado a seguir com o exemplo do Nods_columns.

Após a extração do ficheiro diretamente de *Sap2000* tem-se uma folha de cálculo como exemplificado na Figura 4.15.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	TABLE: Element Joint Forces - Frames										
2	Frame	Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3	FrameElem
3	Text	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	Text
4	1	1	DEAD	LinStatic	0,219	0,405	69,063	-0,4296	0,2174	-0,0001716	1-1
5	1	5	DEAD	LinStatic	-0,219	-0,405	-61,565	-0,7868	0,4392	0,0001716	1-1
6	2	5	DEAD	LinStatic	0,471	0,839	52,745	-1,2457	0,6898	-0,0003464	2-1
7	2	9	DEAD	LinStatic	-0,471	-0,839	-45,248	-1,2727	0,7242	0,0003464	2-1
8	3	9	DEAD	LinStatic	0,418	0,659	36,126	-0,9093	0,6192	-0,0002218	3-1
9	3	13	DEAD	LinStatic	-0,418	-0,659	-30,128	-1,0683	0,635	0,0002218	3-1
10	4	13	DEAD	LinStatic	0,344	0,511	22,259	-0,7207	0,5047	-0,0002826	4-1

Figura 4.15 - Ficheiro retirado do Sap2000 - Nods_columns.

Em seguida pode-se copiar todos os valores a partir da linha “4” e inserir diretamente na página “Nods_columns” da folha de cálculo, também na linha “4”, que inicialmente se encontrará com o mesmo padrão do ficheiro para evitar enganos, como exemplifica a Figura 4.16.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	TABLE: Element Joint Forces - Frames										
2	Frame	Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3	FrameElem
3	Text	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	Text
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											

Figura 4.16 - Folha de cálculo - Página “Nods_Columns” antes de receber o ficheiro.

O mesmo procedimento repete-se para o ficheiro Nods_Beams e assim que esses dois ficheiros estiverem na folha de cálculo pode-se utilizar o botão da macro para inserir os valores das barras e dos nós, abrindo espaço para começar o preenchimento manual, pois já estarão alocadas as posições de cada elemento.

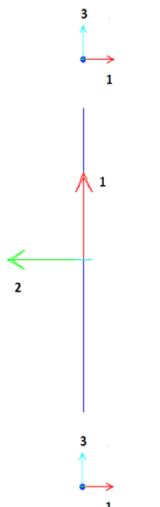
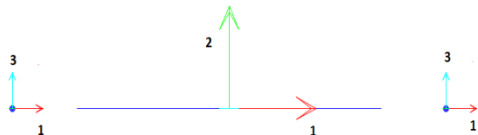
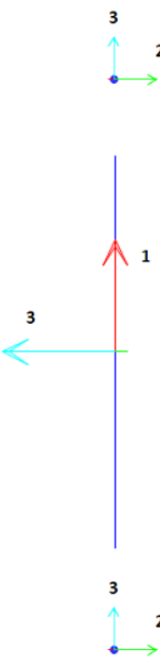
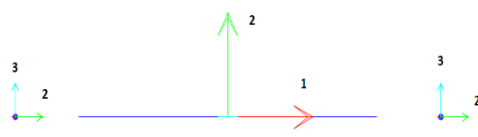
Contanto que não haja mudanças geométricas e espaciais no modelo em relação à numeração das barras e nós e suas posições, esse procedimento que envolve a macro não precisará ser repetido. Com as barras no local correto e com as propriedades geométricas, mecânicas, armaduras e elementos adjacentes, precisará apenas de se inserir os ficheiros dos esforços e deslocamento e rotações para fazer a análise, tornando o processo muito mais rápido para novas análises da mesma estrutura.

4.4.2 Inserção de ficheiros “Axial_Columns_CQP e Nods_Displ”

O procedimento para inserir os ficheiros de esforços axiais, de deslocamentos e rotações é o mesmo indicado na secção anterior (4.4.1): copiar todos valores a partir da linha “4” e inserir igualmente na folha de cálculo na mesma linha. Assim a página principal recolhe diretamente os valores dos esforços axiais da página Axial_Columns_CQP, para as extremidades inferiores dos pilares, e os valores para os deslocamentos e a rotação da página Nods_Displ.

A automatização da folha de cálculo está programada de forma que leva em consideração o eixo do nó em relação à direção do pórtico analisado (X ou Y) e se são pilares ou vigas, conforme a Tabela 10, diferenciando qual o eixo que se vai considerar para o cálculo dos deslocamentos e rotação, de acordo com os métodos de cálculo da secção 2.4.

Tabela 10 - Eixo local dos pilares, vigas e nós, para as duas direções.

	Pilares	Vigas
Pórtico em X		
Pórtico em Y		

Assim, exemplificando (para melhor compreensão), para o **Pórtico em X** o deslocamento relativo das **vigas** refere-se aos deslocamentos no eixo 3, e a rotação é em torno do eixo 2.

4.4.3 Inserção de ficheiros “Columns_seismic e Beams_seismic”

Os ficheiros de esforços sísmicos de pilares e vigas tem esforços diferentes para cada face e lado analisado. Assim, foi necessário separar os ficheiros com todos esses valores em quatro partes diferentes, dentro de duas *páginas* cada, ou seja, para o ficheiro “Columns_seismic” existem duas páginas, “Columns_seismic_MAX” e “Columns_seismic_MIN”, assim como para o ficheiro “Beams_seismic”.

A separação dos ficheiros é feita de forma simples através do filtro disponível em *Excel* já evidenciado na Figura 4.11, onde seleciona, para cada lado e face a sua respetiva secção e face superior ou inferior do elemento como mostra a Tabela 11 :

Tabela 11 - Station e Steptype de acordo com a face e o lado do elemento.

	Secção	face
L-	0	Max
L+	0	Min
R-	Comprimento do Pilar/Viga	Max
R+	Comprimento do Pilar/Viga	Min

Após a separação, deve-se inserir os ficheiros nas *páginas* correspondentes. De forma semelhante ao demonstrado na secção 4.4.1; no entanto, para cada *página* “_MAX” e “_MIN” devem conter os valores de L e R, entrando com os valores de L (ou secção 0) na *página* entre as linhas “4” e “254” e os valores de R (ou secção “3”), no caso de pilares com comprimento de 3m, a partir da linha “261” até a “511”, conforme ilustra a Figura 4.17.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	L-												
2	Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElen	lemStation
3	Text	m	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	Text	m
4	1	0	Comb_100E2X_3	Combination	Max	-93,037	4,913	9,26	0,2239	18,781	7,8967	1-1	0
5	2	0	Comb_100E2X_3	Combination	Max	-81,523	3,949	4,559	0,2753	6,7074	6,0162	2-1	0
6	3	0	Comb_100E2X_3	Combination	Max	-68,354	3,31	4,222	0,2323	6,3892	5,2477	3-1	0
7	4	0	Comb_100E2X_3	Combination	Max	-47,466	2,606	1,906	0,1489	2,8601	3,9214	4-1	0
8	5	0	Comb_100E2X_3	Combination	Max	-25,574	2,356	1,344	0,0894	2,0496	3,5189	5-1	0
259	Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElen	lemStation
260	Text	m	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	Text	m
261	1	3	Comb_100E2X_3	Combination	Max	-85,54	4,913	9,26	0,2239	15,2586	8,1992	1-1	3
262	2	3	Comb_100E2X_3	Combination	Max	-74,026	3,949	4,559	0,2753	16,6154	8,3495	2-1	3
263	3	3	Comb_100E2X_3	Combination	Max	-62,356	3,31	4,222	0,2323	14,1293	8,532	3-1	3
264	4	3	Comb_100E2X_3	Combination	Max	-42,968	2,606	1,906	0,1489	8,9751	7,67	4-1	3
265	5	3	Comb_100E2X_3	Combination	Max	-22,575	2,356	1,344	0,0894	4,9001	6,5799	5-1	3
... nns Nods_Beams Axial_Columns_CQP Col_seism_Max Col_seism_Min Beam_seismMax Beam_seismMin Nods_Displ													

Figura 4.17 - Folha de cálculo - Columns_seismic_MAX - Exemplo.

Com os ficheiros inseridos dessa forma a folha de cálculo recolhe os esforços para as barras para cada lado e face, sendo:

- **para as vigas**, o esforço transversal V referente ao eixo 2 (V2) e o momento para o eixo 3 (M3);
- **para pilares**, quando a análise é nos pórticos em X, tem-se o esforço transversal referente ao eixo 2 (V2) e o momento ao eixo 3 (M3). No entanto, para a análise nos pórticos em Y, o esforço transversal passa a ser segundo o eixo 3 (V3) e o momento segundo o eixo 2 (M2).

Após os ficheiros estarem nas respetivas *páginas* e após a execução do botão “barras e nós” a macro da folha de cálculo distribui corretamente os esforços e deslocamentos diretamente na folha de cálculo na página principal. Por fim, sobram as células de preenchimento manual, conforme ilustrado pela Figura 4.18.

1		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BD	BE	BF	BG	BH	BI	BJ	BK	BL	BM	BN	BO	BP	BQ	BR	BS	BT	BU	BV	BW	BX	BY	BZ	CA	CB	CC	CD	CE	CF	CG	CH	CI	CJ	CK	CL	CM	CN	CO	CP	CQ	CR	CS	CT	CU	CV	CW	CX	CY	CZ	DA	DB	DC	DD	DE	DF	DG	DH	DI	DJ	DK	DL	DM	DN	DO	DP	DQ	DR	DS	DT	DU	DV	DW	DX	DY	DZ	EA	EB	EC	ED	EE	EF	EG	EH	EI	EJ	EK	EL	EM	EN	EO	EP	EQ	ER	ES	ET	EU	EV	EW	EX	EY	EZ	FA	FB	FC	FD	FE	FF	FG	FH	FI	FJ	FK	FL	FM	FN	FO	FP	FQ	FR	FS	FT	FU	FV	FW	FX	FY	FZ	GA	GB	GC	GD	GE	GF	GG	GH	GI	GJ	GK	GL	GM	GN	GO	GP	GQ	GR	GS	GT	GU	GV	GW	GX	GY	GZ	HA	HB	HC	HD	HE	HF	HG	HH	HI	HJ	HK	HL	HM	HN	HO	HP	HQ	HR	HS	HT	HU	HV	HW	HX	HY	HZ	IA	IB	IC	ID	IE	IF	IG	IH	II	IJ	IK	IL	IM	IN	IO	IP	IQ	IR	IS	IT	IU	IV	IW	IX	IY	IZ	JA	JB	JC	JD	JE	JF	JG	JH	JI	IJ	JK	JL	JM	JN	JO	JP	JQ	JR	JS	JT	JU	JV	JW	JX	JY	JZ	KA	KB	KC	KD	KE	KF	KG	KH	KI	KJ	KK	KL	KM	KN	KO	KP	KQ	KR	KS	KT	KU	KV	KW	KX	KY	KZ	LA	LB	LC	LD	LE	LF	LG	LH	LI	LJ	LK	LL	LM	LN	LO	LP	LQ	LR	LS	LT	LU	LV	LW	LX	LY	LZ	MA	MB	MC	MD	ME	MF	MG	MH	MI	MJ	MK	ML	MM	MN	MO	MP	MQ	MR	MS	MT	MU	MV	MW	MX	MY	MZ	NA	NB	NC	ND	NE	NF	NG	NH	NI	NJ	NK	NL	NM	NN	NO	NP	NQ	NR	NS	NT	NU	NV	NW	NX	NY	NZ	OA	OB	OC	OD	OE	OF	OG	OH	OI	OJ	OK	OL	OM	ON	OO	OP	OQ	OR	OS	OT	OU	OV	OW	OX	OY	OZ	PA	PB	PC	PD	PE	PF	PG	PH	PI	PJ	PK	PL	PM	PN	PO	PP	PQ	PR	PS	PT	PU	PV	PW	PX	PY	PZ	QA	QB	QC	QD	QE	QF	QG	QH	QI	QJ	QK	QL	QM	QN	QO	QP	QQ	QR	QS	QT	QU	QV	QW	QX	QY	QZ	RA	RB	RC	RD	RE	RF	RG	RH	RI	RJ	RK	RL	RM	RN	RO	RP	RQ	RR	RS	RT	RU	RV	RW	RX	RY	RZ	SA	SB	SC	SD	SE	SF	SG	SH	SI	SJ	SK	SL	SM	SN	SO	SP	SQ	SR	SS	ST	SU	SV	SW	SX	SY	SZ	TA	TB	TC	TD	TE	TF	TG	TH	TI	TJ	TK	TL	TM	TN	TO	TP	TQ	TR	TS	TU	TV	TW	TX	TY	TZ	UA	UB	UC	UD	UE	UF	UG	UH	UI	UJ	UK	UL	UM	UN	UO	UP	UQ	UR	US	UT	UU	UV	UW	UX	UY	UZ	VA	VB	VC	VD	VE	VF	VG	VH	VI	VJ	VK	VL	VM	VN	VO	VP	VQ	VR	VS	VT	VU	VV	VW	VX	VY	VZ	WA	WB	WC	WD	WE	WF	WG	WH	WI	WJ	WK	WL	WM	WN	WO	WP	WQ	WR	WS	WT	WU	WV	WW	WX	WY	WZ	XA	XB	XC	XD	XE	XF	XG	XH	XI	XJ	XK	XL	XM	XN	XO	XP	XQ	XR	XS	XT	XU	XV	XW	XX	XY	XZ	YA	YB	YC	YD	YE	YF	YG	YH	YI	YJ	YK	YL	YM	YN	YO	YP	YQ	YR	YS	YT	YU	YV	YW	YX	YY	YZ	ZA	ZB	ZC	ZD	ZE	ZF	ZG
2		Barra e N.º		N.º		None		Para o cálculo de todos														Para o cálculo de todos														Demanda rot. da cord.				Elementos adjacentes a extremidade (L)				Elementos adjacentes a extremidade (R)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
3		ESP		Propriedades Geométricas						Propriedades mecânicas (valores médios anuais)						Esforços provenientes da anêlis						Armadores longitudinal						Armadores transversal						Carga G		Carga Q		Carga S		L		T		B		R		T		B																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
4		L		Ld		cob		b		h		f _{cm}		f _{yk}		E _s		f _{yk}		N		T		V		u		a		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h		d		h _l		a		u		h																																																																																																																																																																																		

Figura 4.18 - Folha de cálculo, página principal após a execução dos ficheiros e botão "barras e nós"

5

AVALIAÇÃO E REFORÇO DE UM CASO DE ESTUDO

5.1 Aspectos Gerais

O quinto capítulo desta tese destina-se a exemplificar de forma prática a aplicação dos procedimentos apresentados pelo EC8-3 em conjunto com as ferramentas de cálculo desenvolvidas por (Carvalho, 2020), aprimorada no âmbito deste trabalho, e o *software Sap2000(CSI)* para a avaliação e reabilitação sísmica de edifícios existentes.

O edifício avaliado encontra-se em Viseu, região continental mais ao centro de Portugal. Os seus projetos datam de maio 1964, poucos anos depois de ter entrado em vigor primeira norma sísmica lançada em Portugal (1958), portanto, com pouco apoio técnico voltado para a área sísmica em seu dimensionamento. O edifício divide-se em duas partes simétricas, é constituído por Piso 0 (térreo), onde se pode ter o acesso mais fácil às fundações, do Piso 1 ao Piso 4 que são pisos habitacionais de arquitetura semelhante, com dois apartamentos por andar, e o Piso 5 onde existe uma cobertura cerâmica com estrutura em madeira apoiada em algumas paredes de tijolo cerâmico. Por fim, existem duas estruturas de escada, uma central ao edifício e outra externa ao edifício.

5.2 Geometria do edifício e dos elementos estruturais

As informações sobre geometria foram obtidas através dos desenhos do projeto, que teve sua informação cruzada com as informações dispostas na memória de cálculo como mostra a Figura 5.1. Mesmo com uma documentação antiga, em algumas situações pouco legível, foi possível analisar as disposições construtivas das armaduras e os dados sobre os materiais.

O edifício apresenta a área aproximada de $19,20 \times 12,00 \text{ m}^2$ e é constituído por pórticos de betão armado nas duas direções (Figura 5.2), sendo quatro na direção X segundo os eixos 1, 2, 4 e 6, com os centrais (2 e 4) como mostra a Figura 5.3, apenas entre os eixos C e G, e mais 8 pórticos na direção Y segundo os eixos A, B, C, D, F, G, H, I apresentado na Figura 5.4.

Em altura os pórticos do edifício vão até 15m, com pé direito de 3m entre os pisos; as fundações consistem em sapatas isoladas para cada pilar.

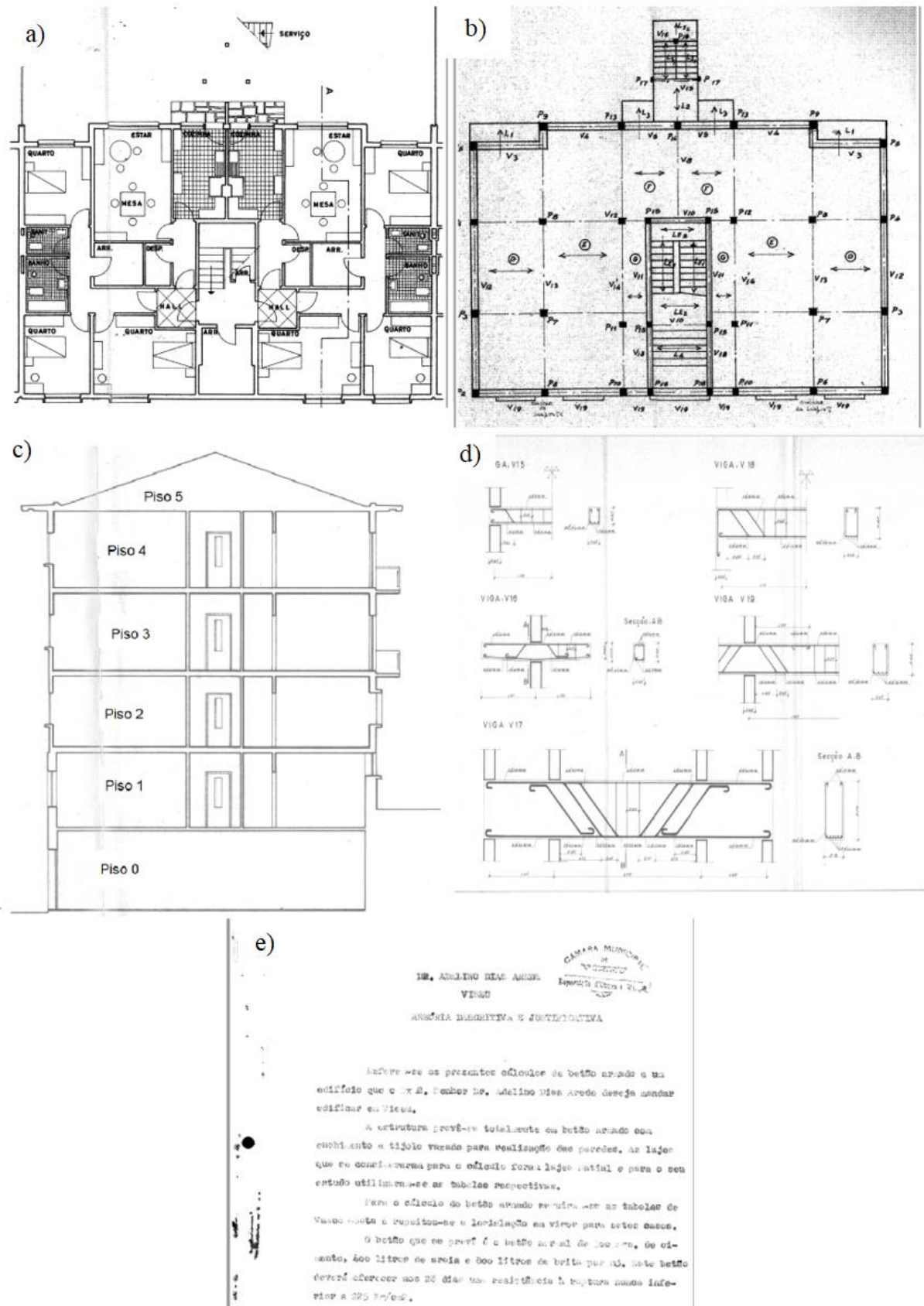


Figura 5.1 – Elementos do projeto do edifício do estudo de caso: a) Planta arquitetónica; b) Planta estrutural; c) Corte com nomenclatura dos pisos; d) disposições de armadura; e) excerto de memória de cálculo.

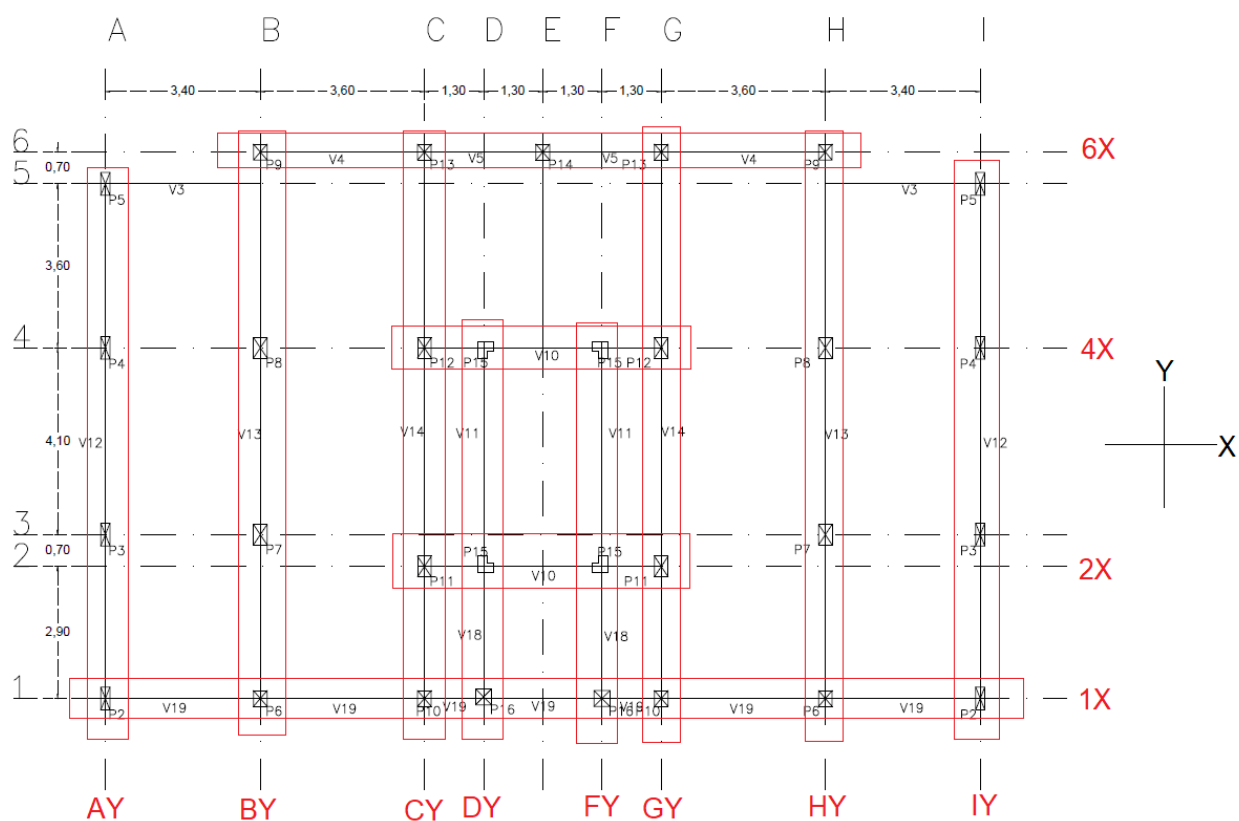


Figura 5.2 - Planta Estrutural Piso 1.

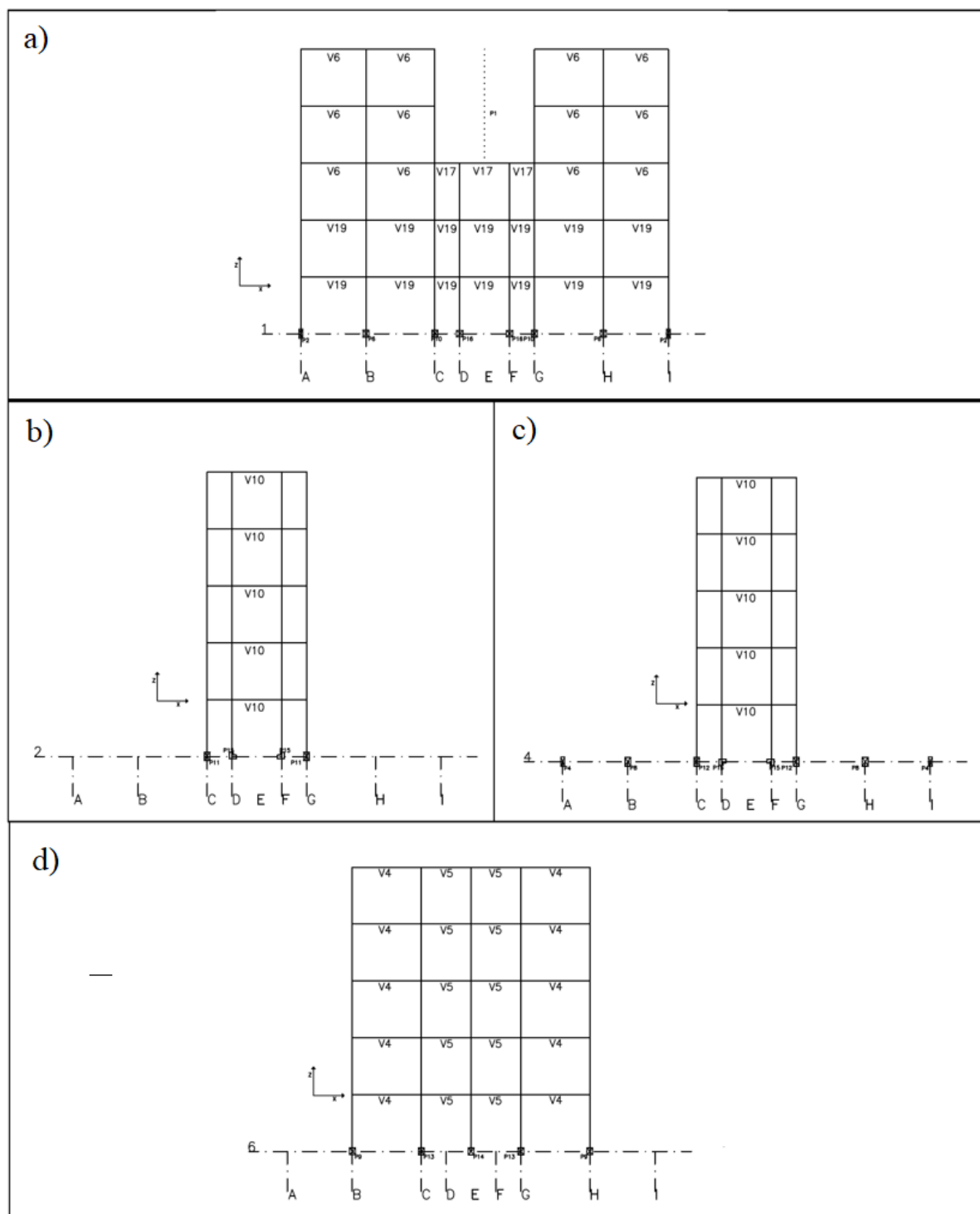


Figura 5.3 - Pórticos em X: a) pórtico 1X; b) pórtico 2X; c) pórtico 4X; d) pórtico 6X.

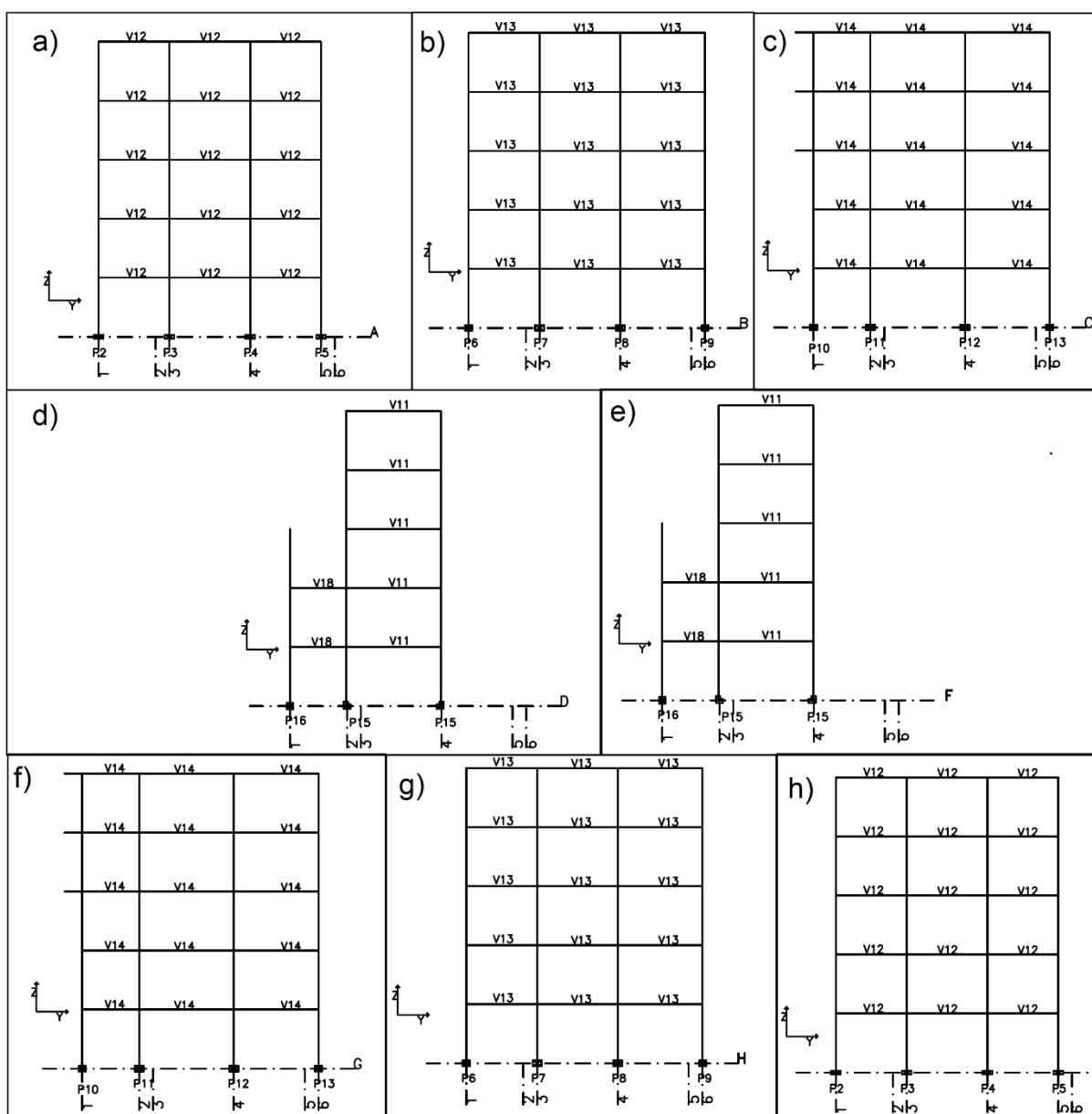


Figura 5.4 - Pórticos em Y: a) pórtico AY; b) pórtico BY; c) pórtico CY; d) pórtico DY; e) pórtico FY; f) pórtico GY; g) pórtico HY; h) pórtico IY.

As armaduras foram atribuídas de acordo com os pormenores encontrados nos documentos originais da estrutura, como mostrado na Figura 5.1. As plantas detalham a lista de pilares com secções e armaduras por andar, que apresenta uma diminuição de secção e armadura em altura, e incluem as disposições construtivas das armaduras referente às vigas.

Com exceção das lajes maciças das varandas e dos patamares de escada, as lajes, são aligeiradas (lajes D,G,E,F,H), armadas unidireccionalmente e apoiadas nas vigas que compõem os pórticos em Y, conforme ilustrado pela planta do piso 4 na Figura 5.5.

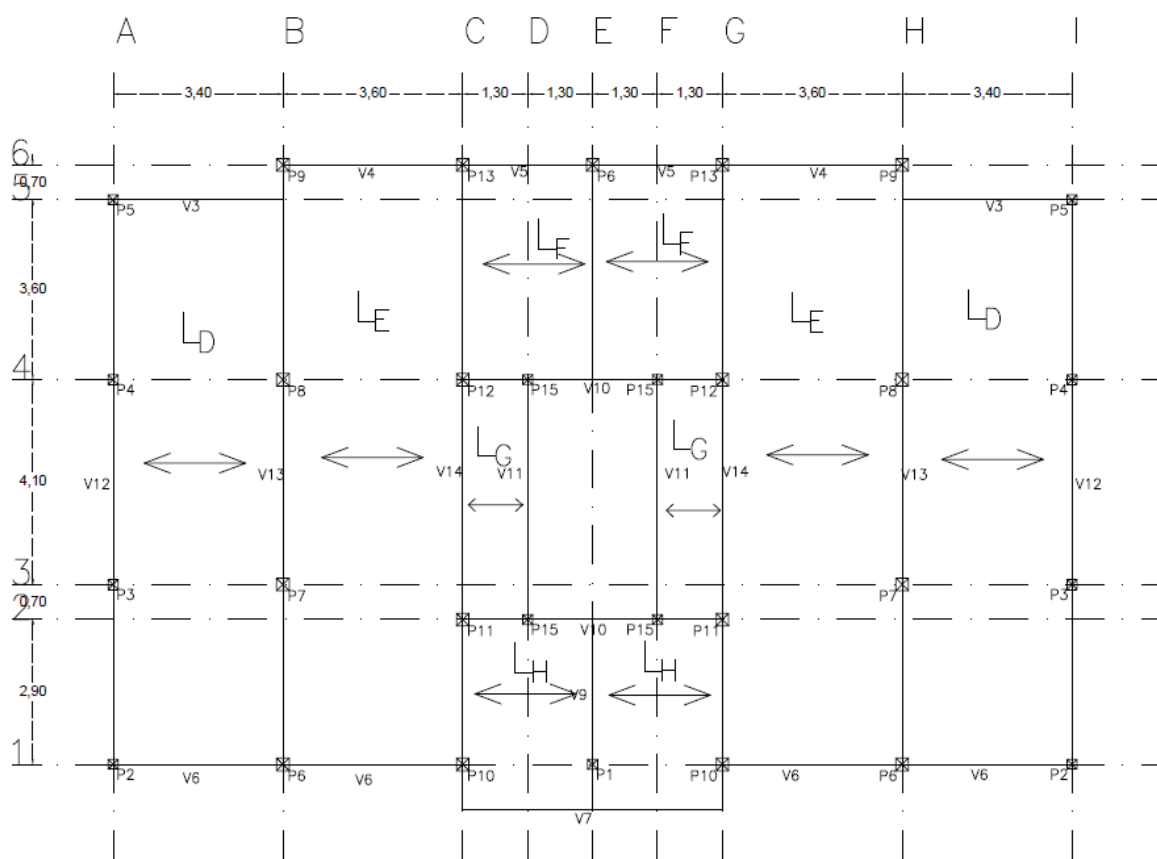


Figura 5.5 - Piso 4 -Plantas de distribuição das lajes aligeiradas

5.3 Propriedades dos materiais

As propriedades dos materiais dos elementos existentes foram definidas de acordo com as informações recolhidas na memória de cálculo. No âmbito desse trabalho não foi possível a execução de ensaios para a identificação das propriedades dos materiais *in-situ*, o que seria aconselhável numa situação em que se pretende executar o projeto de reabilitação.

Para os materiais dos elementos novos foram utilizados as propriedades nominais.

Assim os materiais utilizados na análise e verificações estão de acordo com a Tabela 12, onde para o betão foi utilizado um equivalente ao betão com classe de resistência C20/25 e o aço A24, mais tardiamente denominado de A235.

Tabela 12 - Propriedades dos materiais existentes e novos.

Elementos Existentes			
Betão		Aço A24	
f_{ck}	20 MPa	f_{syk}	235 MPa
f_{cm}	28 MPa	f_{yd}	205 MPa
E_{cm}	30 GPa	e_{suk}	2%
Elementos Novos			
Betão		Aço A500	
f_{ck}	30 MPa	f_{syk}	500 MPa
f_{cm}	38 MPa	f_{yd}	435 MPa
E_{cm}	33 GPa	e_{suk}	2%

5.4 Cargas Verticais

Para simular as ações gravíticas da estrutura foram aplicadas cargas verticais nas modelações numéricas de acordo com as cargas da memória descritiva, descritas nas Tabela 13 e Tabela 14.

Tabela 13- Cargas permanentes.

Cargas permanentes (G_k)	
	$G(kN/m^2)$
Lajes aligeirada	2,1
Lajes maciças	3
Revestimento	0,5
Divisórias	1,5
P.P Cobertura	1

Tabela 14- Sobrecargas

Sobrecargas (Q_k)		
	$Q(kN/m^2)$	ψ_2
Sobrecarga para Lajes L_D e L_E	2	0,3
sobrecarga para Lajes L_F, L_G e L_H	2,5	0,3
Varandas e patamares	5	0

Acima da estrutura existe uma subestrutura da cobertura, em telha cerâmica lusa, constituída por ripas e madres de madeira sustentadas por paredes de alvenarias de tijolo, cujas informações não estava na memória descritiva, mas que puderam ser observadas por um relatório fotográfico limitado e plantas. A quantificação dos seus pesos feita através das Tabelas Técnicas (Brazão e Correia, 1993) que também foram utilizadas para quantificar as cargas das paredes de tijolos em 5,4 kN/m linear, aplicadas na cobertura de forma distribuída.

As varandas em consola não foram modeladas, mas as suas cargas foram aplicadas de forma linear nas vigas em que são apoiadas.

5.5 Avaliação sísmica

5.5.1 Nível de conhecimento

Seguindo as diretrizes da Tabela 1 deste trabalho pode-se verificar que com a quantidade de informação que foi recolhida e suas fontes, sendo elas os desenhos do dimensionamento geral do projeto, tendo acesso a desenhos de pormenorização incompletos, inspeção fotográfica limitada e propriedades dos materiais descritas em memória descritiva foi possível assumir para esta avaliação sísmica um nível de conhecimento **KL2**, e, consequentemente, um coeficiente de confiança $CF = 1,2$.

5.5.2 Estados limites a verificar

O EC8-3 indica estados limites de dano de acordo com a classe de importância da estrutura. De acordo com o parágrafo 2.3.2 deste trabalho a classe de importância em que se enquadra o edifício em estudo é a classe II, para edifícios correntes, com coeficiente $\gamma_I = 1$. A norma indica que para edifícios de classe II deve-se verificar apenas o estado limite (SD) que envolve coeficientes multiplicativos próprios como mostrado na Tabela 15.

5.5.3 Quantificação da ação sísmica

A quantificação da ação sísmica é relativa à posição do edifício no mapa sísmico de Portugal. Assim o edifício localizado em Viseu atende à sismicidade local da zona 1.6 para o sismo do tipo 1 e zona 2.5 para sismo do tipo 2, sendo estas as zonas com menor aceleração máxima de referência que, de acordo com a Tabela 11, indica acelerações a_{gr} de 0.35m/s^2 e 0.8m/s^2 respetivamente.

Para o terreno adotado foi o tipo C. Assim foram calculados os parâmetros para o espectro resposta e as acelerações máximas para cada tipo de sismo de acordo com o espectro de resposta elástico do EC8-3 para o estado limite de danos severos (SD).

Tabela 15 - Parâmetros do espectro resposta para solo C e acelerações máximas para o estado limite (SD).

Estado limite de dano (SD)		Coef. Solo C	$T_B(\text{s})$	$T_C(\text{s})$	$T_D(\text{s})$	$a_{gr}(\text{m/s}^2)$	γ_I^*	$a_g(\text{m/s}^2)$
Ação Sísmica	Tipo 1	1,6	0,1	0,6	2	0,35	0,75	0,2625
	Tipo 2			0,25		0,8	0,84	0,672

γ_I^* - fator de importância afetado pelo fator associado ao estado limite de danos severos (SD).

Resultando nos espectros de resposta como ilustrados na Figura 5.6:

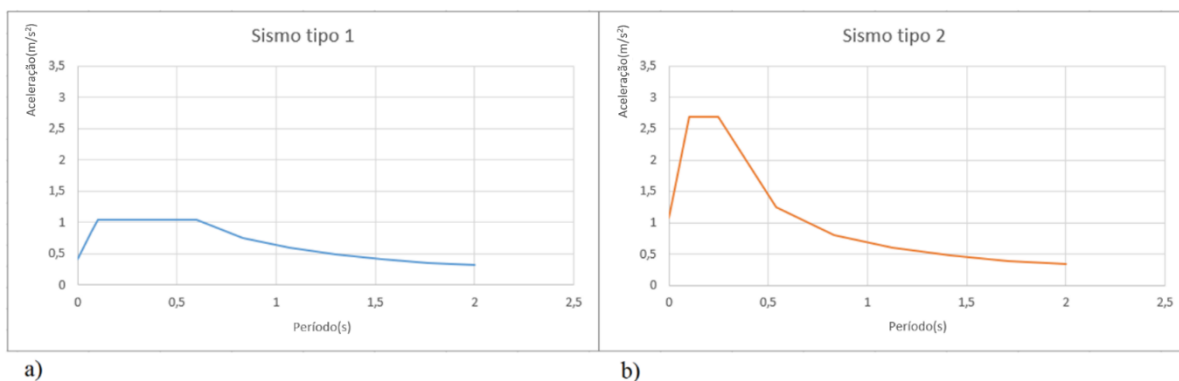


Figura 5.6 - Espectro de resposta elástico para classe de importância II, estado limite de danos severos, em Viseu, Solo tipo C: a) sismo tipo 1 e b) sismo do tipo 2.

5.5.4 Modelação numérica e análise da estrutura existente

De acordo com o EC8-3 para o nível de conhecimento disponível da estrutura e sua regularidade em planta e altura, é possível aplicar todos os métodos de análise disponíveis no código como mostrado no parágrafo 2.3.3 deste trabalho.

No âmbito deste trabalho foi adotado o método de análise linear por espectro de resposta, realizado através da modelação numérica em software *Sap2000*(CSI – 2021) com um modelo espacial (3D) com elementos de barra, como descrito no paragrafo 2.3.3, que, quando utilizado em conjunto com a folha de cálculo apresentada no capítulo 4, permite fazer a análise dos elementos lineares e seus mecanismos de rotura, frágil e dúctil, através da verificação da razão de exigência(D)/Capacidade(C).

Para realização dessa análise adotou-se algumas simplificações:

- desprezar estruturas da escada;
- não considerar que a estrutura tem uma de suas fachadas enterradas até meio do pé direito do Piso 1, considerando a estrutura livre até à cota das fundações para todas as fachadas.

Foi feita a análise para a estrutura com todos os pórticos das duas direções, e para as combinações sísmicas em conjunto com as combinações de ações quase permanentes. Também se tomou em conta os aspetos de eixo local dos elementos lineares como mencionado em 4.3, visando a utilização em conjunto com a folha de cálculo. O modelo numérico da estrutura está ilustrado na Figura 5.7.

As propriedades dos materiais, a geometria e os aspetos sísmicos estão de acordo com os parágrafos 5.3, 5.4 e 5.5.2, respetivamente.

Na análise foi considerada a rigidez do betão fendilhado como descreve o EC8-3, com a sua rigidez de flexão e corte igual a 50% da rigidez elástica.

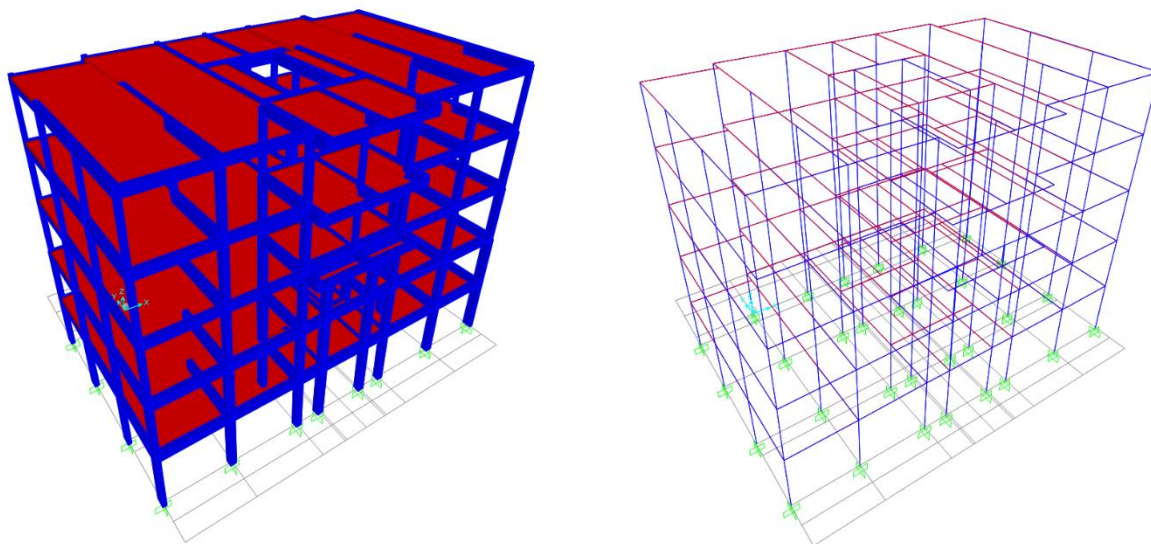


Figura 5.7 : Modelo numérico desenvolvido em Sap2000 (CSI-2021)

5.5.5 Resultados de análise sísmica.

5.5.6.1 Resultados globais

Com o modelo numérico ajustado, passou-se então para a análise do edifício para as ações sísmicas combinadas com as ações quase permanentes como conta no item 2.3.2 para cada direção, X e Y.

Da análise dinâmica modal constata-se que o modelo apresenta um período máximo de 0,95s no modo com maior participação em X, e um período de 0,75s no modo com maior participação em Y. A partir do 9º modo obteve-se mais de 90% das massas consideradas, mas, foram considerados mais modos do que a quantidade mínima necessária para atingir a percentagem mínima de massas a considerar, como mostra a Figura 5.8.

Modal Participating Mass Ratios

File View Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted

Filter:

	OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	
		Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
	MODAL	Mode	1	0,951125	0,76942	0,00165	6,152E-09	0,76942	0,00165	6,152E-09	0,00026	
	MODAL	Mode	2	0,758712	0,00065	0,73285	5,994E-07	0,77007	0,7345	6,056E-07	0,15177	
	MODAL	Mode	3	0,74597	0,01541	0,0082	5,697E-09	0,78548	0,7427	6,112E-07	0,00174	
	MODAL	Mode	4	0,364229	0,12943	0,00031	8,015E-09	0,91491	0,74301	6,193E-07	0,0006	
	MODAL	Mode	5	0,318747	0,00027	0,15221	4,079E-06	0,91518	0,89522	4,699E-06	0,16588	
	MODAL	Mode	6	0,312862	0,00205	0,00041	1,16E-08	0,91722	0,89563	4,71E-06	0,00041	
	MODAL	Mode	7	0,22144	0,05045	4,379E-05	3,079E-09	0,96767	0,89568	4,713E-06	0,00011	
	MODAL	Mode	8	0,180888	0,00023	0,00067	2,131E-10	0,96791	0,89635	4,714E-06	0,00144	
	MODAL	Mode	9	0,177818	0,0002	0,0603	2,095E-07	0,96811	0,95665	4,923E-06	0,13079	
	MODAL	Mode	10	0,160768	0,01975	7,534E-05	2,047E-08	0,98786	0,95672	4,944E-06	0,0002	
	MODAL	Mode	11	0,1217	0,00036	0,00012	3,23E-08	0,98822	0,95685	4,976E-06	0,00026	
	MODAL	Mode	12	0,119079	3,438E-06	0,03013	8,166E-06	0,98822	0,98698	1,314E-05	0,06198	

Record: << < 12 > >> of 12

Add Tables... Done

Figura 5.8: Períodos de vibração e rácios de massa participante em cada modo (Sap2000-CSI 2021)

Através da análise dos cortes basais, Tabela 16, e coeficientes sísmicos da estrutura, Figura 5.9, ficou evidente quais combinações seriam as mais condicionantes, sendo confirmada, posteriormente, com a verificação dos mecanismos. Assim, o tipo de sismo condicionante para o dimensionamento do edifício estudado é o sismo do tipo 2, tendo então as combinações mais graves e condicionantes como:

- **Em X** a combinação condicionante é $100\%E_{2X} + 30\%E_{2Y}$, onde se aplica 100% da ação sísmica em X e 30% em Y.
- **Em Y** a combinação condicionante é $30\%E_{2X} + 100\%E_{2Y}$ que por sua vez aplica 100% da ação sísmica em Y e 30% em X.

Tabela 16- Corte Basal para cada combinação e por eixo e correspondentes coeficientes sísmicos

Direção/Eixo	Corte Basal (kN) Coeficiente Sísmico na base			
	$100\%E_{1X_30\%E_{1Y}}$	$30\%E_{1X_100\%E_{1Y}}$	$100\%E_{2X_30\%E_{2Y}}$	$30\%E_{2X_100\%E_{2Y}}$
X	329,4 4,1%	117,8 1,5%	431,7 5,4%	154,1 1,9%
Y	138,2 1,7%	397,4 5,0%	184,0 2,3%	531,3 6,7%

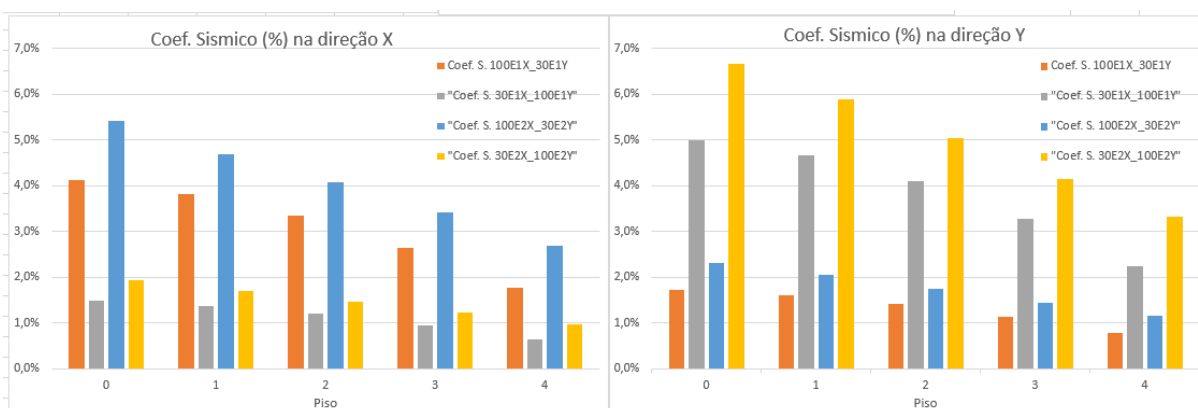


Figura 5.9 - Coeficientes sísmicos por piso e por direção da estrutura existente.

5.5.6.2 Resultados locais: Verificação de mecanismos.

Seguidamente passou-se à verificação dos mecanismos com a folha de cálculo. Na primeira parte da folha de cálculo pode-se verificar a admissibilidade da análise linear. Assim foi verificado para X e para Y a admissibilidade deste tipo de análise, onde, de acordo com o anexo nacional Português, o limite de $\rho_{\text{máx}}/\rho_{\text{mín}} = 3$, resultando na admissibilidade da análise para as duas direções, conforme mostra a Figura 5.10. Cada folha de cálculo possui todos os elementos de todos os pórticos para cada direção (X e Y).

a)			b)		
Método de análise	Estado limite a ser verificado	Nível de conhecimento	Método de análise	Estado limite a ser verificado	Nível de conhecimento
Análise Linear	SD	KL2	Análise Linear	SD	KL2
Admissível			Admissível		
$\rho_{\text{máx}}$ 3,14			$\rho_{\text{máx}}$ 2,12		
$\rho_{\text{mín}}$ 1,10			$\rho_{\text{mín}}$ 1,04		
$\rho_{\text{máx}} / \rho_{\text{mín}}$ 2,87			$\rho_{\text{máx}} / \rho_{\text{mín}}$ 2,05		

Figura 5.10 – Verificação da admissibilidade da análise linear de acordo com o EC8-3 – a) Elementos dos pórticos em X; b) Elementos dos pórticos em Y.

i) Análise dos Mecanismos dúcteis

Para toda a estrutura, pilares e vigas, o mecanismo dúctil foi verificado pela folha de cálculo com valores de exigência (D) muito inferiores aos da capacidade (C), para o estado limite de danos severos (SD), não necessitando de reforço para mecanismos dúcteis. A Figura 5.11 ilustra apenas um pequeno trecho da folha de cálculo (Y - 30%E_{2X}+100%E_{2Y}) que verifica todos os elementos pertencentes a pórticos na direção Y.

Barras e nós				Verif. Segurança Mec. Dúctil											
				da corda	Para cálculo do Vrd (EC8-3)						p/cálculo do θ_y				
N		Nó	Nome	Exigência SD	$\mu\Delta\phi$	$V_{r,N}$	θ	$V_{r,sw}$	$V_{r,c}$	Rigidez efetiva	θ_{um}	Capac NC	θ_{um}	Capac SD	Capac DL
				θ_D						Eleff	(mrad)	(mrad)	(mrad)	(mrad)	(mrad)
				(mrad)	MN			(kN)		MNm2	(mrad)	(mrad)	(mrad)	(mrad)	(mrad)
31	31L-	4	P5-0	0,82	-0,78	0,02	1,04	17,64	72,57	8,0	26,82	26,82	20,12	3,68	20,12
	31L+			0,82						8,0	26,82	26,82	20,12	3,68	20,12
	31R-	8		0,06	-0,98	0,02	1,05	17,64	72,57	8,0	26,82	26,82	20,12	3,68	20,12
	31R+			0,06						8,0	26,82	26,82	20,12	3,68	20,12
32	32L-	8	P5-1	0,22	-0,94	0,02	1,05	17,64	72,57	7,4	27,25	27,25	20,44	3,65	20,44
	32L+			0,22						7,4	27,25	27,25	20,44	3,65	20,44
	32R-	12		0,27	-0,93	0,02	1,05	17,64	72,57	7,4	27,25	27,25	20,44	3,65	20,44
	32R+			0,27						7,4	27,25	27,25	20,44	3,65	20,44
33	33L-	12	P5-2	0,31	-0,92	0,01	1,05	13,46	71,29	4,4	32,62	32,62	24,47	3,93	24,47
	33L+			0,31						4,4	32,62	32,62	24,47	3,93	24,47
	33R-	16		0,34	-0,91	0,01	1,05	13,46	71,29	4,4	32,62	32,62	24,47	3,93	24,47
	33R+			0,34						4,4	32,62	32,62	24,47	3,93	24,47
34	34L-	16	P5-3	0,38	-0,91	0,00	1,05	12,59	27,52	1,7	36,44	36,44	27,33	4,39	27,33
	34L+			0,38						1,7	36,44	36,44	27,33	4,39	27,33
	34R-	20		0,40	-0,91	0,00	1,05	12,59	27,52	1,7	36,44	36,44	27,33	4,39	27,33
	34R+			0,40						1,7	36,44	36,44	27,33	4,39	27,33
35	35L-	20	P5-4	1,01	-0,83	0,00	1,04	7,02	44,41	0,6	42,39	42,39	31,79	5,99	31,79
	35L+			1,01						0,6	42,39	42,39	31,79	5,99	31,79
	35R-	24		1,06	-0,82	0,00	1,04	7,02	44,41	0,6	42,39	42,39	31,79	5,99	31,79
	35R+			1,06						0,6	42,39	42,39	31,79	5,99	31,79

Figura 5.11 - Verificação dos mecanismos dúcteis, folha de cálculo (pórticos Y – Combinação 30%E_{2X}+100%E_{2Y}), onde o rácio D/C garante a condição OK.

ii) Análise do Mecanismo frágil

Para o mecanismo frágil a estrutura apresenta défice de capacidade, tanto em pilares quanto em vigas. É observável que os pilares centrais são os mais atingidos pelos esforços sísmicos, exemplificados na Figura 5.12.

Barras e nós						Verif. Segurança Mec. Frágil						Barras e nós						Verif. Segurança Mec. Frágil					
N	Nó	Nome				Exigência SD	Resistência ao esforço transversal			Capacidade SD	Condição	N	Nó	Nome				Exigência SD	Resistência ao esforço transversal			Capacidade SD	Condição
						Ved (kN)	Vr,EC2 SD	Vr,EC3 SD	Vrd max SD	Vrd SD								Ved (kN)	Vr,EC2 SD	Vr,EC3 SD	Vrd max SD	Vrd SD	
142	142L-	81	L-			24,78	11,37	66,09	40,90	66,09	11,37	56	56L-	26	L-			31,00	15,55	133,57	72,75	133,57	15,55
	142L+		L+			24,42				11,37	KO		56L+		L+			31,53					15,55
	142R-	84	R-			24,78				11,37	KO		56R-	30	R-			31,00	15,55	133,99	73,15	133,99	15,55
	142R+		R+			24,42	11,37	66,28	41,09	66,28	11,37		56R+		R+			31,53					15,55
143	143L-	84	L-			19,95	11,37	63,78	40,04	63,78	11,37	57	57L-	30	L-			28,84	15,55	125,91	68,77	125,91	15,55
	143L+		L+			18,48				11,37	KO		57L+		L+			30,21	15,55				15,55
	143R-	87	R-			19,95				11,37	KO		57R-	35	R-			28,84	15,55	125,92	68,78	125,92	15,55
	143R+		R+			18,48	11,37	63,83	40,09	63,83	11,37		57R+		R+			30,21					15,55
144	144L-	87	L-			29,46	11,37	61,34	39,03	61,34	11,37	58	58L-	35	L-			28,01	15,55	133,11	57,32	133,11	15,55
	144L+		L+			26,80				11,37	KO		58L+		L+			29,50	15,55				15,55
	144R-	90	R-			29,46				11,37	KO		58R-	40	R-			28,01	15,55	133,02	57,26	133,02	15,55
	144R+		R+			26,80	11,37	61,13	38,83	61,13	11,37		58R+		R+			29,50					15,55

a)

b)

Figura 5.12 - Verificação dos mecanismos frágeis – exemplo de pilares não verificados: a) trecho retirado da folha de cálculo para pórticos em X, combinação 100% E_{2X} +30% E_{2Y} ; b) trecho retirado da folha de cálculo para pórticos em Y, combinação 30% E_{2X} +100% E_{2Y} .

Esta análise foi feita para todas as combinações e pórticos, sendo graficamente ilustrada desde a Figura 5.13 até à Figura 5.16, para as combinações condicionantes, onde para a avaliação das faces e lados L+, L-, R+ e R- foi alocada uma cor dependendo do rácio de exigências (D) e capacidades (C): a verde para $\frac{D}{C} < 1$ e a vermelho para $\frac{D}{C} > 1$. Através dessa representação gráfica das verificações da folha de cálculo, para pilares e para vigas, é possível ter uma ideia dos pontos mais afetados da estrutura, permitindo analisar onde se deve ter mais atenção ao reabilitar a estrutura.

Nas Figura 5.13 e Figura 5.14 inclui-se as representações gráficas de cada elemento para os pórticos em X e para combinação condicionante (100% E_{2X} +30% E_{2Y}). Na Figura 5.13, correspondente aos pilares, pode-se observar que a maioria dos pilares centrais estão com défice de capacidade.

Para as vigas, Figura 5.14, a verificação mostra grande parte das vigas a favor da segurança, exceto as vigas mais ao centro, principalmente a viga V17, que, por receber o pilar centrado P1 acaba por ter um esforço do corte elevado e não verifica o mecanismo frágil, como se pode observar no pórtico 1X e 6X.

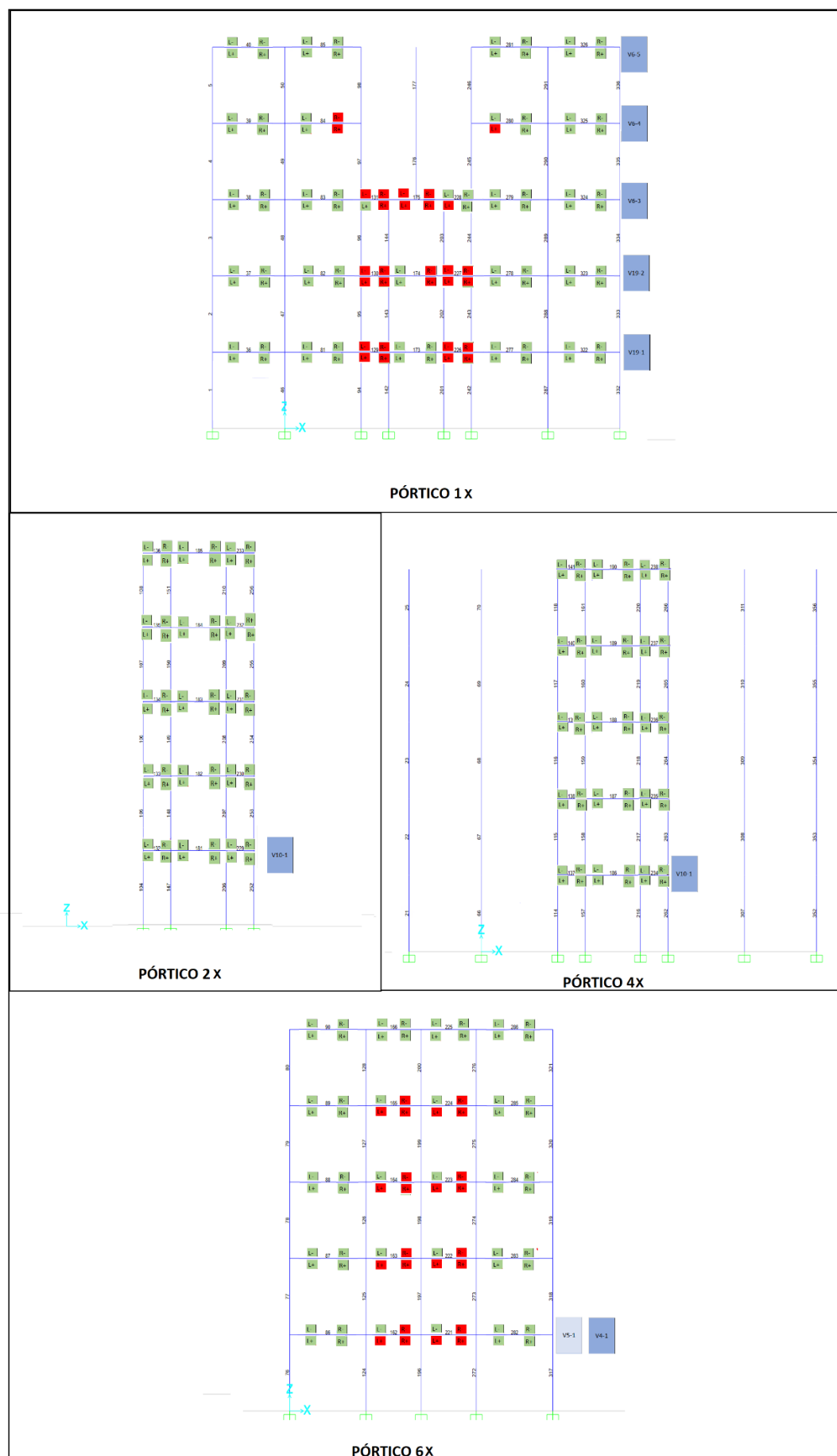


Figura 5.14 - Representação gráfica das verificações para o mecanismo frágil realizada na folha de cálculo para combinação sísmica CQP “+” 100%E2X+30%E2Y – verificação das **vigas**.

Na direção Y, conforme ilustrado pela Figura 5.15, assim como em X, os pilares centrais acabam por estar menos capacitados para receber as exigências sísmicas e, em sua maioria, não verificam para o mecanismo frágil, formando pontos onde poderia vir a ocorrer a rotura frágil.

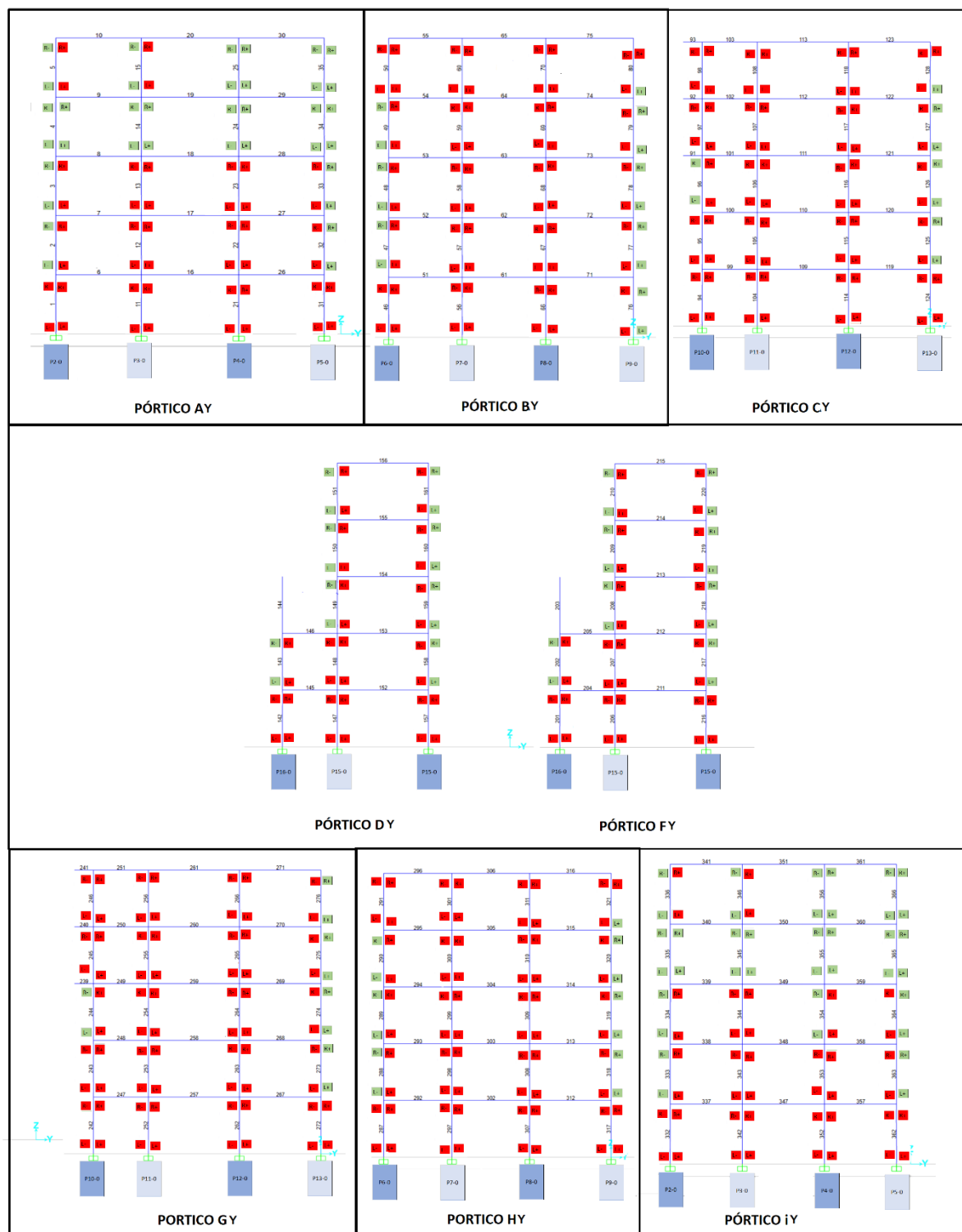


Figura 5.15 - Representação gráfica das verificações em pilares dos pórticos em Y para o mecanismo frágil realizadas na folha de cálculo para a combinação sísmica CQP “+” 30E2X_100E2Y.

As vigas dos pórticos em Y, apresentam desempenho insatisfatório em relação às ações sísmicas, provavelmente devido às deformações causadas pela mesma, aumentando os esforços de corte e, conseqüentemente, não verificando para o mecanismo frágil, como mostra a Figura 5.16.



Figura 5.16 - Representação gráfica das verificações em vigas dos pórticos em Y para o mecanismo frágil realizada na folha de cálculo para combinação sísmica CQP “+” 30E2X_100E2Y.

Através da análise destes resultados é clara a necessidade de reforço da estrutura. Os défices de capacidade em relação a exigência encontram-se por toda a estrutura, concentrando-se nos pilares e nas vigas centrais com uma leve melhoria em altura.

5.6 Reforço Sísmico

Para decidir como intervir na estrutura, foram tidos em conta os critérios descritos no parágrafo 5. do EC8-3, citados no presente trabalho, onde a decisão deve ser tomada em função da avaliação da estrutura e da extensão dos danos, assim como levar em conta os aspetos de interrupção da utilização da estrutura.

Com o intuito de manter a regularidade, evitar demasiadas intervenções locais e morosas, decidiu-se utilizar a estratégia de redução (**E.R.**). Assim foi escolhida uma mudança no sistema estrutural de contraventamento, deixando de ser assegurado por pórticos nas duas direções e transferindo todos os esforços sísmicos para um novo sistema de paredes de contraventamento, alterando os elementos existentes de elementos primários para elementos secundários.

Assim, levando em conta as limitações arquitetónicas e construtivas, optou-se por inserção de paredes de contraventamento de betão armado com a solução exibida na Figura 5.17.

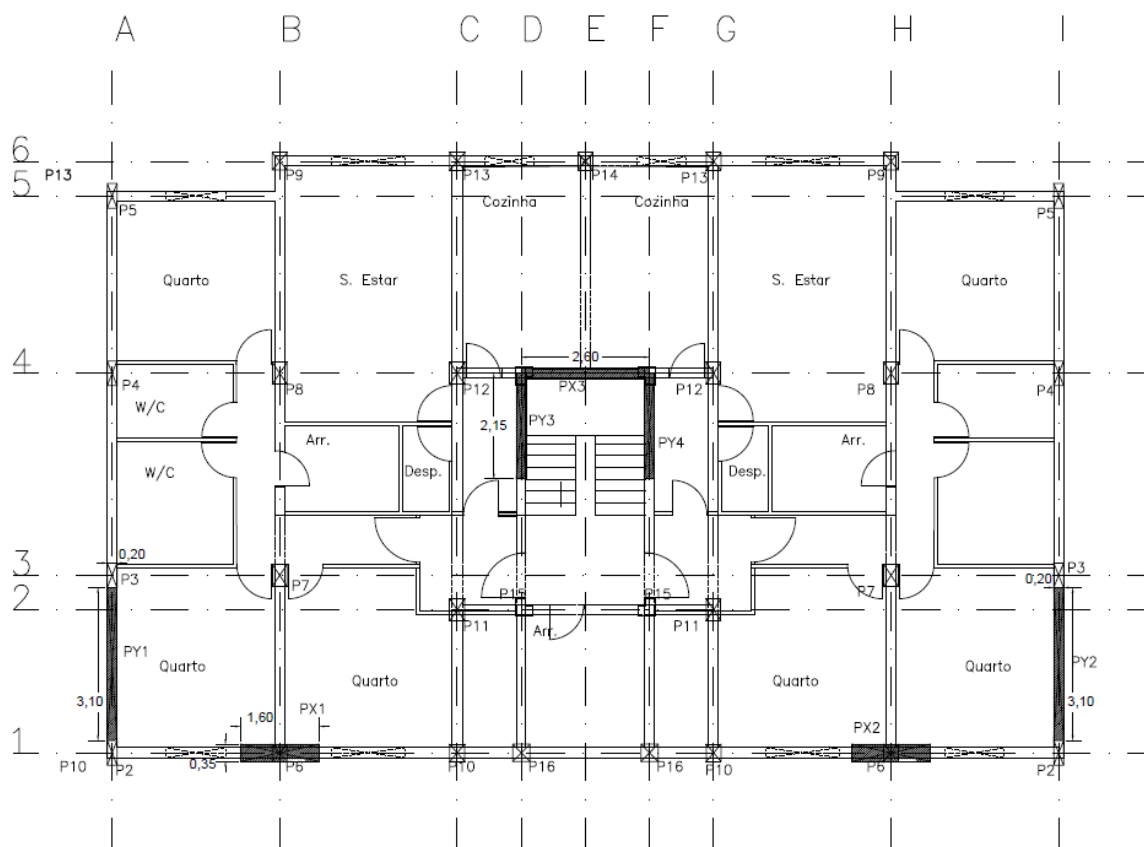


Figura 5.17 - Planta de reforço - limitações arquitetónicas

Visando uma menor intrusão, as paredes laterais PY1 e PY2 são paredes novas incluídas entre os pilares centrados nos eixos 1 e 3 dos pórticos A e I, sendo as suas dimensões limitadas pela secção do pilar e a distância entre pilares. Por outro lado, nas paredes centrais, PY3, PY4 e PX3, optou-se pela remoção dos pilares que ali existiam de modo a formar um núcleo rígido integralmente novo, com o intuito de evitar incertezas, tanto na sua modelação, como na sua eficiência para resistir à torção e no seu funcionamento global.

As paredes PX1 e PX2 substituem os pilares P6 existentes no eixo 1 e alinhamentos B e H, tendo as suas secções iguais às dos pilares anteriores, para evitar mudanças na arquitetura da

fachada, e a sua maior dimensão limitada pelas aberturas na alvenaria correspondentes às janelas e portas dos quartos.

Em resumo, as dimensões de todas as novas paredes estão de acordo com a Tabela 17.

Tabela 17 - Dimensões das paredes de reforço.

Eixo	Parede	b(m)	h(m)
X	PX1	0,35	1,6
	PX4	0,35	1,6
	PX3	0,2	2,6
Y	PY1	0,2	3,1
	PY2	0,2	3,1
	PY3	0,2	2,15
	PY4	0,2	2,15

5.6.1 Modelação numérica da estrutura com reforço

A modelação para a análise linear do reforço é baseada na modelação descrita em 5.5.4, com as propriedades de acordo com 5.3 e 5.4.

As paredes foram modeladas com elementos de barra, com propriedades equivalentes como descrito no capítulo 2, onde, para as barras rígidas que compõem o núcleo (Figura 2.3), se utilizou modificadores de propriedade no *Sap2000(CSI)* para gerar uma rigidez de torção equivalente.

Em particular, para a parede PX3, a barra rígida que representa as suas ligações laterais às paredes PY3 e PY4, deve simular uma rigidez torsional equivalente a secção do troço entre pisos. Assim, a rigidez torsional para as barras rígidas da alma da parede PX3 pode ser calculada de acordo com a

Tabela 7, para o pé direito de 3m ($h=3m$) e espessura de 0,2m ($t_1=0,2m$), resultando em um módulo de torção de $J=0.007664 \text{ m}^4$. O mesmo ocorreu para as paredes PY3 e PY4 de acordo com suas respectivas dimensões.

Para a modelação das paredes PY1 e PY2, foi levada em consideração a sua sequência construtiva, onde se prevê o desbaste/remoção do betão das vigas sobre o eixo 1 e 3, dos pórticos sobre o eixo A e I, seguido do escoramento da laje que a viga apoia e, por fim, a execução da parede e a retirada das escoras, o que leva à transferência das cargas da laje para a parede e ficando o pilar (3A) a resistir apenas aos esforços da viga entre o eixo 3 e 4(nos eixos A e I). Para tal, houve necessidade de adicionar rótulas de modo a que a transferência de esforços representasse o que foi citado, conforme ilustrado na Figura 5.18.a).

Em paredes que recebem vigas existentes, como é o caso da PX1 e PX2, também houve a adição de rótulas, para impedir a transferência de momentos entre as vigas e as paredes, supondo que as vigas seriam simplesmente apoiadas na conexão com as paredes, como pode ser observado na Figura 5.18b). Com isso, supõe-se que as armaduras da viga, na secção que conecta a parede, são armaduras construtivas e não estão dimensionadas para resistir aos momentos que, geralmente, se instalam em nós das vigas contínuas de pórticos sob ação horizontal.

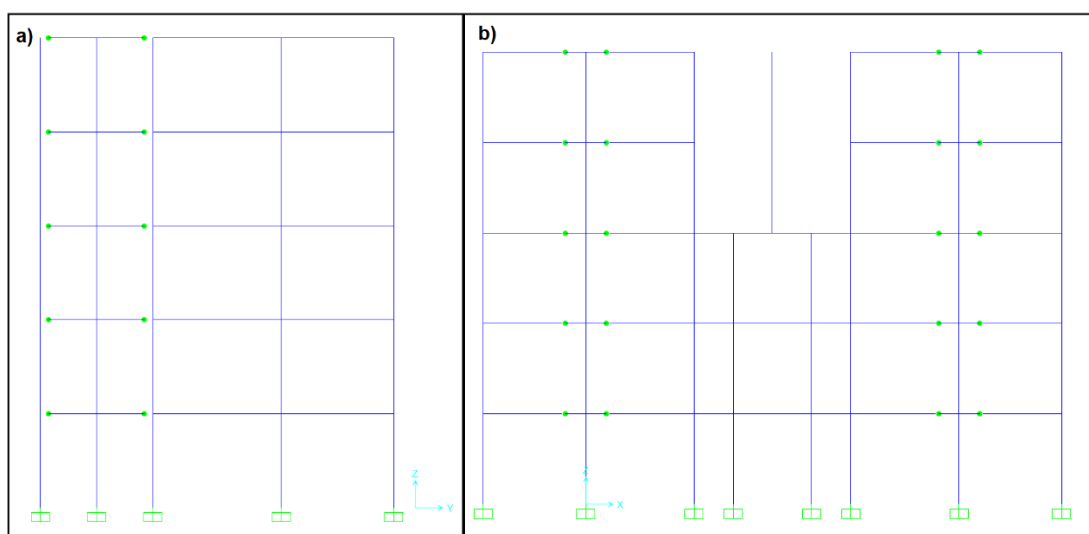


Figura 5.18 – Detalhe de discretização de modelação com as rótulas. a) Pórtico AY/IY, paredes PY1 e PY2; b) Pórtico 1X, paredes PX1 e PX2.

A Figura 5.19 ilustra o modelo numérico em *Sap2000* (CSI-2021) após o reforço.

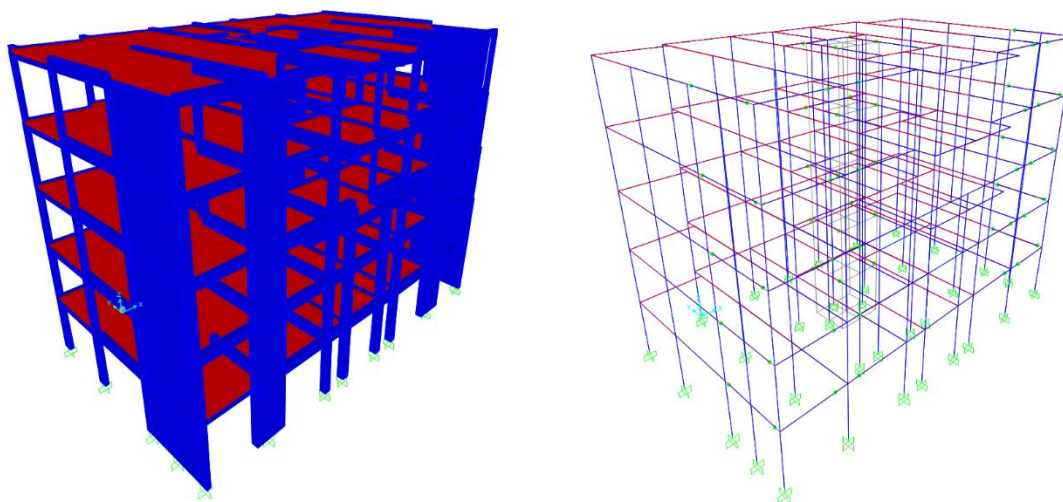


Figura 5.19 - Modelo numérico da estrutura com reforço, desenvolvido em Sap2000 (CSI-2021).

Esse modelo foi gerado considerando a metodologia descrita na secção 3.6.3.2 (Costa & Providência, 2019), que sugere, no caso de avaliação e reabilitação de estruturas existentes, reclassificar os ESP que violem os critérios de verificação de segurança em ESS (se forem satisfeitos os requisitos de regularidade), sendo possível devido a não imposição de limites à contribuição dos ESS para a rigidez lateral do edifício pelo EC8-3, contrariamente à EC8-1.

5.6.2 Avaliação sísmica da estrutura com reforço sísmico

Com as alterações na estrutura, para incluir o reforço, fez-se uma nova avaliação sísmica. O coeficiente de comportamento q passa a ser $q = 3$, devido à ductilidade das paredes novas que se considerou serem dimensionadas para ductilidade média. O coeficiente de importância (γ_I) para a classe II deixa receber a influência do coeficiente multiplicativo do estado limite de

danos severos (SD), dado que na estrutura reforçada com elementos novos, estes devem ser verificados para a ação sísmica prevista no EC8-1.

Manteve-se os mesmos parâmetros do espectro de resposta para o solo C, mudando-se então as acelerações máximas de acordo com a Tabela 18.

Tabela 18- Parâmetros do espectro resposta para solo C e acelerações máximas de acordo com o EC8-1.

Classe de importância II		Coef. Solo C	Tb(s)	Tc(s)	Td(s)	agr	γ_I	ag
Ação Sísmica	Tipo 1	1,6	0,1	0,6	2	0,35	1	0,35
	Tipo 2			0,25		0,8		0,8

Resultando nos espectros de resposta incluídos na Figura 5.20:

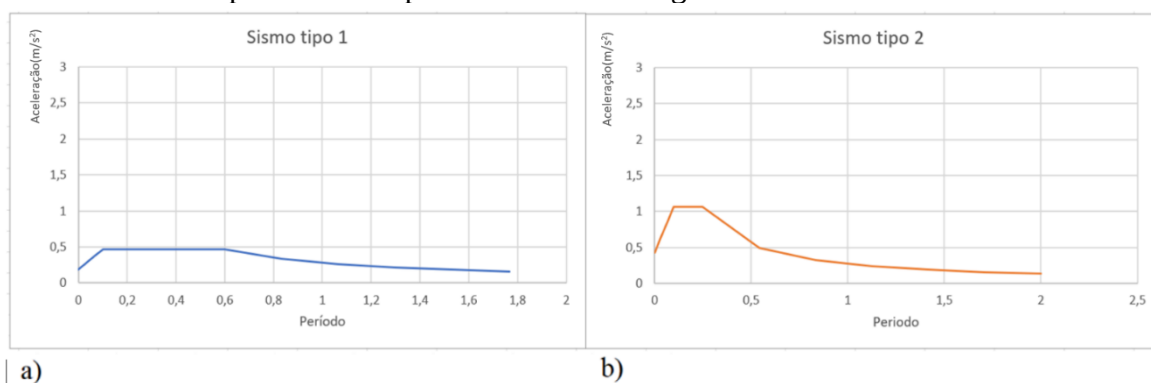


Figura 5.20 - Espectro de resposta de cálculo ($q=3$) de acordo com EC8-1 para classe de importância II em Viseu, Solo tipo C: a) sismo tipo 1 e; b) sismo do tipo 2.

O novo modelo teve uma diminuição no período máximo da estrutura, o que era de se esperar com o aumento da rigidez, passando de 0,95s para 0,51s, no modo de vibração fundamental que apresenta maior participação em X, e de 0,75s para 0,48s para a direção Y. No entanto, devido à diferença no espectro de resposta de elástico do EC8-3 (SD) para o espectro de resposta de cálculo do EC8-1 para um coeficiente de comportamento $q = 3$, teve-se uma diminuição da aceleração, como pode ser observado na seguinte Figura 5.21.

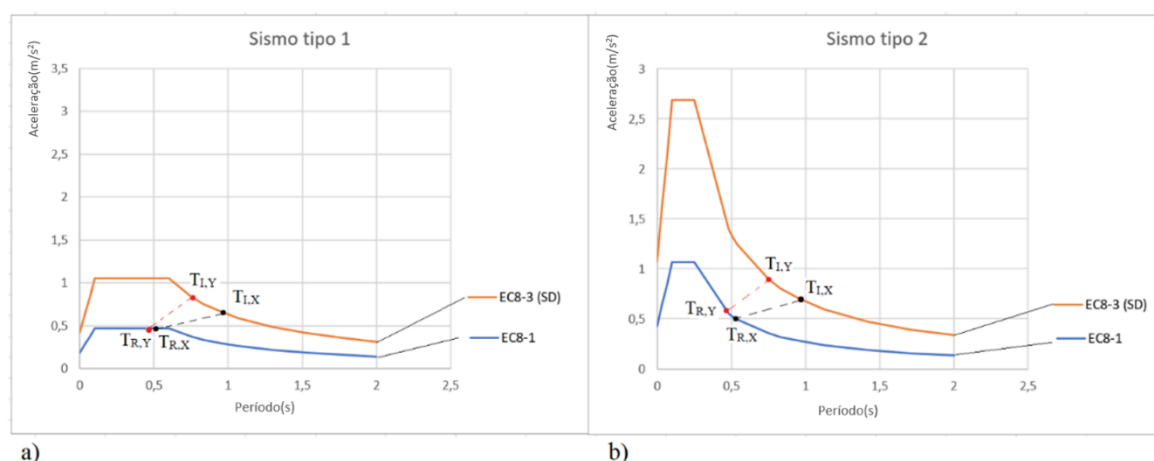


Figura 5.21 – Comparação do espectro de resposta elástico do EC8-3 (SD) com o espectro de resposta de cálculo EC8-1 com $q=3$: a) sismo tipo 1 e b) sismo tipo 2, onde: $T_{L,X}$ é o período da estrutura antes do reforço em X, $T_{L,Y}$ é o período da estrutura antes do reforço em Y, $T_{R,X}$ é o período da estrutura após o reforço em X e $T_{R,Y}$ é o período da estrutura após o reforço em Y.

Comparando os cortes basais da estrutura existente e a reforçada, mesmo com o aumento da rigidez, houve a diminuição nas forças de corte na base, decorrente da diminuição das

acelerações devido ao coeficiente de comportamento da nova estrutura, como se pode avaliar na Tabela 19 e Figura 5.22.

Tabela 19 - Corte Basal da estrutura reforçada para cada combinação e por eixo

Direção/Eixo	Corte Basal (kN) Coef. Sísmico da base			
	100%E _{1X} _30%E _{1Y}	30%E _{1X} _100%E _{1Y}	100%E _{2X} _30%E _{2Y}	30%E _{2X} _100%E _{2Y}
X	233,5 2,75%	76,0 0,9%	332,0 3,8%	107,9 1,2%
Y	75,28 0,9%	231,0 2,7%	116,0 1,3%	359,2 4,2%

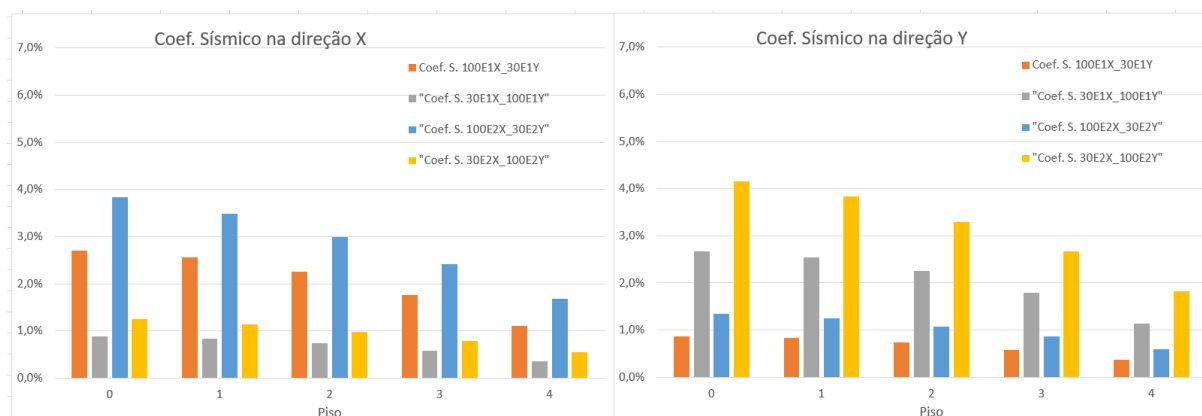


Figura 5.22 - Coeficientes sísmicos por piso e por direção da estrutura reforçada.

Na Tabela 20, que compara o corte basal e o coeficiente sísmico das duas combinações condicionantes, pode-se observar melhor os resultados:

Tabela 20 - Comparação de corte basal e coeficiente sísmico entre as estruturas, existente e após o reforço.

Combinação	Eixo	Estrutura	Antes do reforço	Após o Reforço
100%E _{2X} _30%E _{2Y}	X	Corte Basal	431,7 kN	332 kN
		Coef. Sísmico	5,4%	3,8%
30%E _{2X} _100%E _{2Y}	Y	Corte Basal	531,33 kN	359,2 kN
		Coef. Sísmico	6,7%	4,2%

Através do modelo também foi feita a análise de percentagem da força de corte para verificar a contribuição das paredes face à ação sísmica, chegando aos seguintes resultados pontuados na Tabela 21:

Tabela 21 – Percentagem de força de corte absorvida por cada parede para as combinações condicionantes.

Combinação	Eixo	Parede	Força de corte basal da parede	Corte basal total	Percentagem da força de corte	Total
100%E _{2X} _30%E _{2Y}	X	PX1	62,7 kN	332,0 kN	19%	86%
		PX4	60,0 kN		18%	
		PX7	164,0 kN		49%	
30%E _{2X} _100%E _{2Y}	Y	PY1	109,0 kN	359,2 kN	30%	99,8%
		PY3	60,6 kN		18%	
		PY4	60,5 kN		18%	
		PY5	109,4 kN		33%	

Ao observar as percentagens pode-se concluir que as paredes passam a resistir à quase totalidade da ação sísmica, salientando-se que, de acordo com o EC8-1 parágrafo 5.1.1, o mínimo que o sistema de paredes deve resistir em relação à totalidade da força de corte na base é de 65%, ou seja, o sistema de paredes adotado funciona e constitui de fato o sistema primário.

5.7 Verificação da segurança dos Elementos Existentes

Com o reforço inserido no modelo de cálculo e os coeficientes ajustados pode-se fazer a verificação dos mecanismos para os elementos existentes, que passam a ser elementos sísmicos secundários. Com as paredes na estrutura alguns elementos deixaram de formar pórticos fechados formados exclusivamente por pilares e vigas, assim deixando de ser possível sua análise através da folha de cálculo, sendo necessária sua verificação individual.

Após a configuração da folha para os novos esforços foi possível confirmar que, mesmo com o aumento do corte basal, ou seja, dos esforços transversais globais na estrutura, houve melhoria no desempenho da estrutura, tanto para pilares quanto para vigas existentes, nas duas direções. Afinal, esses esforços passam a ser resistidos pelo novo sistema sísmico.

i) Análise de Mecanismo Dúctil após o reforço

Os mecanismos dúcteis já verificavam antes do reforço. Com o reforço houve uma diminuição das exigências e os elementos existentes deixam de ser primários e passam a ser elementos sísmicos secundários, o que diminui o coeficiente de $\gamma_{ESP} = 1,2$ para $\gamma_{ESS} = 1$ utilizado nos cálculos para quantificar a capacidade, realçando-se que estes elementos devem agora ser verificados para o estado limite DL, i.e. garantindo que não entram em cedência. Isto é exemplificado na Figura 5.23, para o mesmo pilar (P5) mostrado na Figura 5.11 da verificação da estrutura sem reforço, no qual o número da barra e os nós estão diferentes devido a mudanças no modelo numérico.

Barras e nós				Verif. Segurança Mec. Dúctil													
				Para cálculo do V_{rd} (EC8-3)						Para cálculo do θ							
N	Nó	Nome		Exigência DL				Rigidez efetiva		Capac NC	Capac SD	Capac DL	Capacidade DL	Condição			
				θ_D	μ_{pl}	$V_{r,N}$	e	$V_{r,sw}$	$V_{r,c}$	E_{eff}	θ_{um}	θ_{um}	θ_{um}	θ_{y}	θ_{y}	θ_C	
				(mrad)		MN		(kN)	MNm2		(mrad)	(mrad)	(mrad)	(mrad)	(mrad)	(mrad)	
1	1L-	136	P5-0	L-	0,15	-0,96	0,02	1,05	20,28	72,57	8,1	40,17	40,17	30,12	3,68	3,68	OK
	1L+			L+	0,15					8,1	40,17	40,17	30,12	3,68	3,68	3,68	OK
	1R-	8		R-	0,09	-0,98	0,02	1,05	20,28	72,57	8,1	40,17	40,17	30,12	3,68	3,68	OK
	1R+			R+	0,09					8,1	40,17	40,17	30,12	3,68	3,68	3,68	OK
2	2L-	8	P5-1	L-	0,08	-0,98	0,02	1,05	20,28	72,57	7,4	40,81	40,81	30,61	3,65	3,65	OK
	2L+			L+	0,08					7,4	40,81	40,81	30,61	3,65	3,65	3,65	OK
	2R-	12		R-	0,02	-1,00	0,02	1,05	20,28	72,57	7,4	40,81	40,81	30,61	3,65	3,65	OK
	2R+			R+	0,02					7,4	40,81	40,81	30,61	3,65	3,65	3,65	OK
3	3L-	12	P5-2	L-	0,11	-0,97	0,01	1,05	15,48	71,29	4,4	48,87	48,87	36,65	3,94	3,94	OK
	3L+			L+	0,11					4,4	48,87	48,87	36,65	3,94	3,94	3,94	OK
	3R-	16		R-	0,06	-0,99	0,01	1,05	15,48	71,29	4,4	48,87	48,87	36,65	3,94	3,94	OK
	3R+			R+	0,06					4,4	48,87	48,87	36,65	3,94	3,94	3,94	OK
4	4L-	16	P5-3	L-	0,10	-0,98	0,00	1,05	14,48	27,52	1,7	54,60	54,60	40,95	4,39	4,39	OK
	4L+			L+	0,10					1,7	54,60	54,60	40,95	4,39	4,39	4,39	OK
	4R-	20		R-	0,08	-0,98	0,00	1,05	14,48	27,52	1,7	54,60	54,60	40,95	4,39	4,39	OK
	4R+			R+	0,08					1,7	54,60	54,60	40,95	4,39	4,39	4,39	OK
5	5L-	20	P5-4	L-	0,09	-0,98	0,00	1,05	8,08	44,41	0,6	63,54	63,54	47,65	5,99	5,99	OK
	5L+			L+	0,09					0,6	63,54	63,54	47,65	5,99	5,99	5,99	OK
	5R-	24		R-	0,03	-0,99	0,00	1,05	8,08	44,41	0,6	63,54	63,54	47,65	5,99	5,99	OK
	5R+			R+	0,03					0,6	63,54	63,54	47,65	5,99	5,99	5,99	OK

Figura 5.23 - Verificação dos mecanismos dúcteis, após o reforço, com condição OK, para o caso do pilar P5 na direção Y.

ii) Análise de Mecanismo Frágil Após o reforço

Para o mecanismo frágil a estrutura passa a apresentar uma grande melhoria. Para os pilares e as vigas analisadas houve a verificação de quase todos os elementos, com exceção da viga 17, onde os pilares centrais, que não verificavam antes do reforço, passam agora a verificar e mesmo para o estado limite DL. É possível ver a diminuição das exigências (D) como consequência direta da diminuição dos esforços nos pilares, conforme ilustrado na Figura 5.24.

Barras e nós						Verif. Segurança Mec. Frágil							Barras e nós						Verif. Segurança Mec. Frágil						
N		Nó	Nome			Exigência DL	Resistência ao esforço transverso			Condição Vrd máx	Capacidade DL	Condição	N		Nó	Nome			Exigência DL	Resistência ao esforço transverso			Condição Vrd máx	Capacidade DL	Condição
						Ved (kN)	Vr,EC2 DL	Vr,EC8 DL	Vrd max DL	Vrd DL	Vrd (kN)								Ved (kN)	Vr,EC2 DL	Vr,EC3 DL	Vrd max DL	Vrd DL	Vrd (kN)	
142	142L-	81	P16-0	L-		4,06	13,07	67,05	71,42	67,05	13,07	OK	56	56L-	26	L-			3,10	17,88	130,86	118,16	130,86	17,88	OK
	142L+			L+		3,42						13,07	OK		56L+				6,02					17,88	OK
	142R-	84		R-		4,06	13,07	67,08	71,47	67,08	13,07	OK		56R-	30	R-			3,10	17,88	130,90	118,23	130,90	17,88	OK
	142R+			R+		3,42						13,07	OK		56R+				6,02					17,88	OK
143	143L-	84	P16-1	L-		7,43	13,07	63,95	69,78	63,95	13,07	OK	57	57L-	30	L-			5,00	17,88	123,34	113,22	123,34	17,88	OK
	143L+			L+		5,05						13,07	OK		57L+				11,95					17,88	OK
	143R-	87		R-		7,43	13,07	63,96	69,80	63,96	13,07	OK		57R-	35	R-			5,00	17,88	123,36	113,26	123,36	17,88	OK
	143R+			R+		5,05						13,07	OK		57R+				11,95					17,88	OK
144	144L-	87	P16-2	L-		12,38	13,07	60,66	68,10	60,66	13,07	OK	58	58L-	35	L-			5,70	17,88	131,46	94,06	131,46	17,88	OK
	144L+			L+		6,32						13,07	OK		58L+				14,70					17,88	OK
	144R-	90		R-		12,38	13,07	60,53	67,90	60,53	13,07	OK		58R-	40	R-			5,70	17,88	131,35	93,95	131,35	17,88	OK
	144R+			R+		6,32						13,07	OK		58R+				14,70					17,88	OK

a)

b)

a)

b)

Figura 5.24 - Verificação dos mecanismos frágeis, após o reforço: a) trecho retirado da folha de cálculo para pórticos em X; b) trecho retirado da folha de cálculo para pórticos em Y.

Através da representação gráfica é possível comparar as duas versões da verificação, onde a verificação após o reforço, mesmo não sendo feita para mesma quantidade de pilares, reflete a melhoria na estrutura globalmente, atendendo à necessidade exigida.

Relativamente aos pórticos em X, na Figura 5.25 e Figura 5.26, pode-se observar que o pórtico 4 não aparece na análise, porque no seu lugar existe agora uma parede de contraventamento. Além disso é clara a melhoria da estrutura de forma global, onde os pilares estão todos verificados para o estado limite de limitação de danos (DL) que, conforme já referido, passa a ser o estado limite a se verificar porque, para elementos sísmicos secundários, deve-se garantir a permanência dos elementos no estado elástico.

Relativamente às vigas, apenas a viga 17 não verificou para o estado limite analisado. No entanto os esforços de corte instalados na viga 17 não ultrapassam os valores do $V_{Rd,max}$, sendo possível tirar partido um pouco mais da resistência do elemento através do reforço local com encamisamento metálico, abordado neste trabalho na secção 3.3.2.

A representação dos pórticos em Y apresentam claramente a melhoria da estrutura, conforme mostrado nas Figura 5.27, para pilares, e Figura 5.28, para vigas.

Assim, pode-se atestar que o reforço com as paredes foi suficiente para diminuir os esforços cortantes provenientes das ações sísmicas, havendo melhoria da estrutura como um todo. A diminuição das exigências (D), relativa ao reforço com paredes, foi maior nos pilares, tendo um menor efeito nas vigas, mas ainda sendo suficiente para a verificação favorável da maioria.

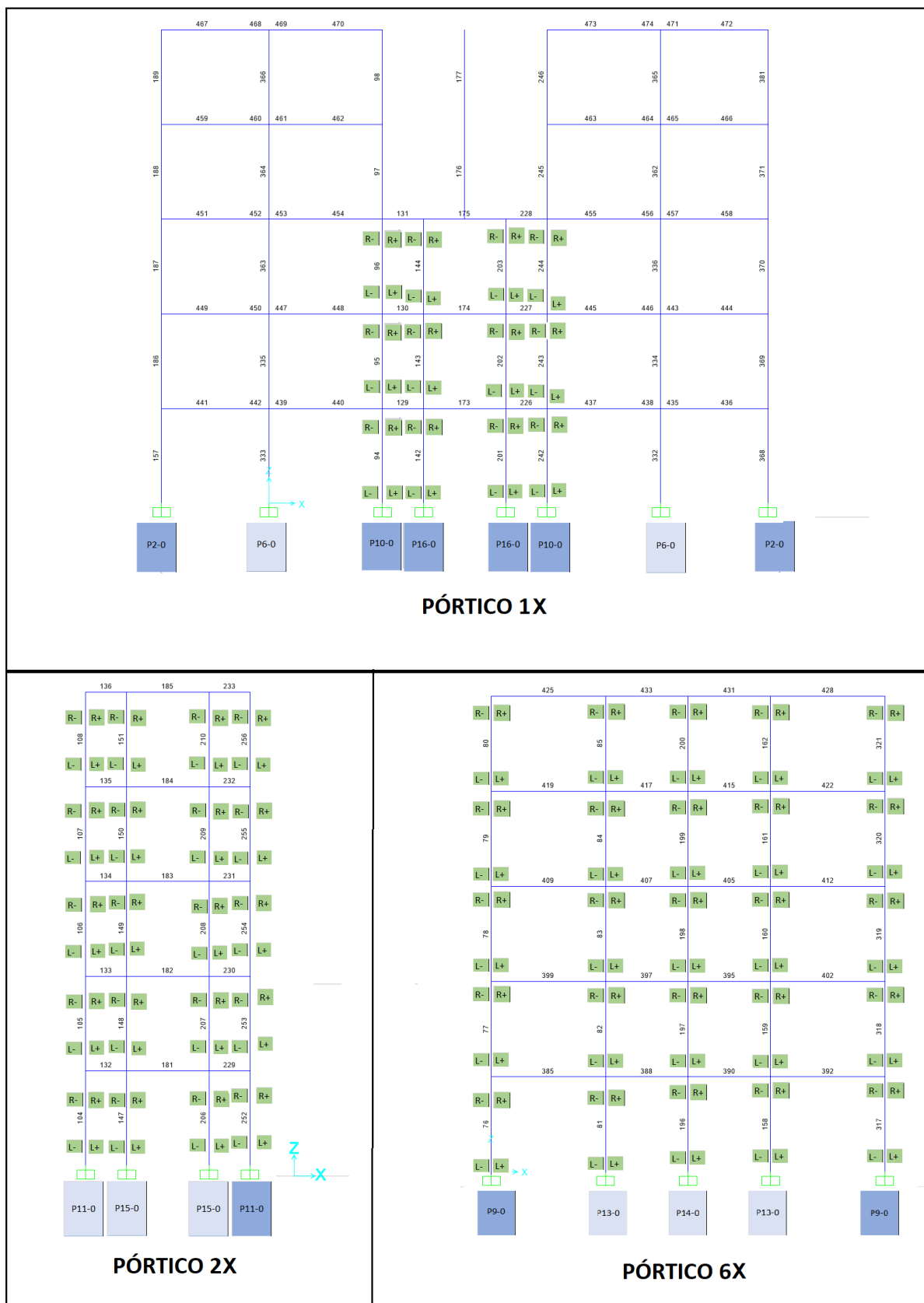


Figura 5.25 - Representação gráfica das verificações para o **mecanismo frágil** para os pórticos em X na estrutura reforçada, realizada na folha de cálculo para combinação sísmica CQP “+” 100E2X_30E2Y –verificação dos pilares.

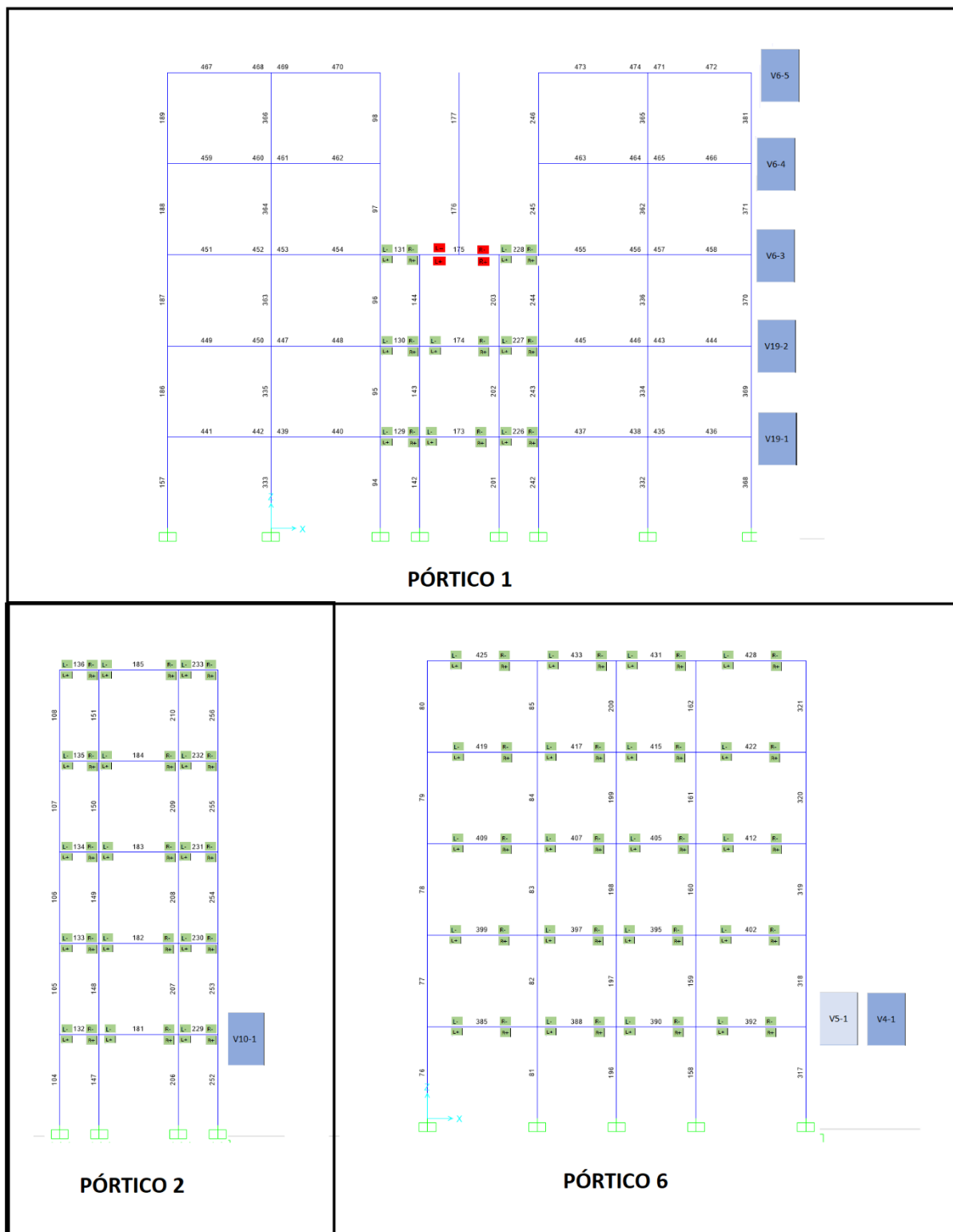


Figura 5.26- Representação gráfica das verificações para o **mecanismo frágil** para os pórticos em X na estrutura reforçada, realizada na folha de cálculo para combinação sísmica CQP “+” 100E2X_30E2Y – verificação das vigas.

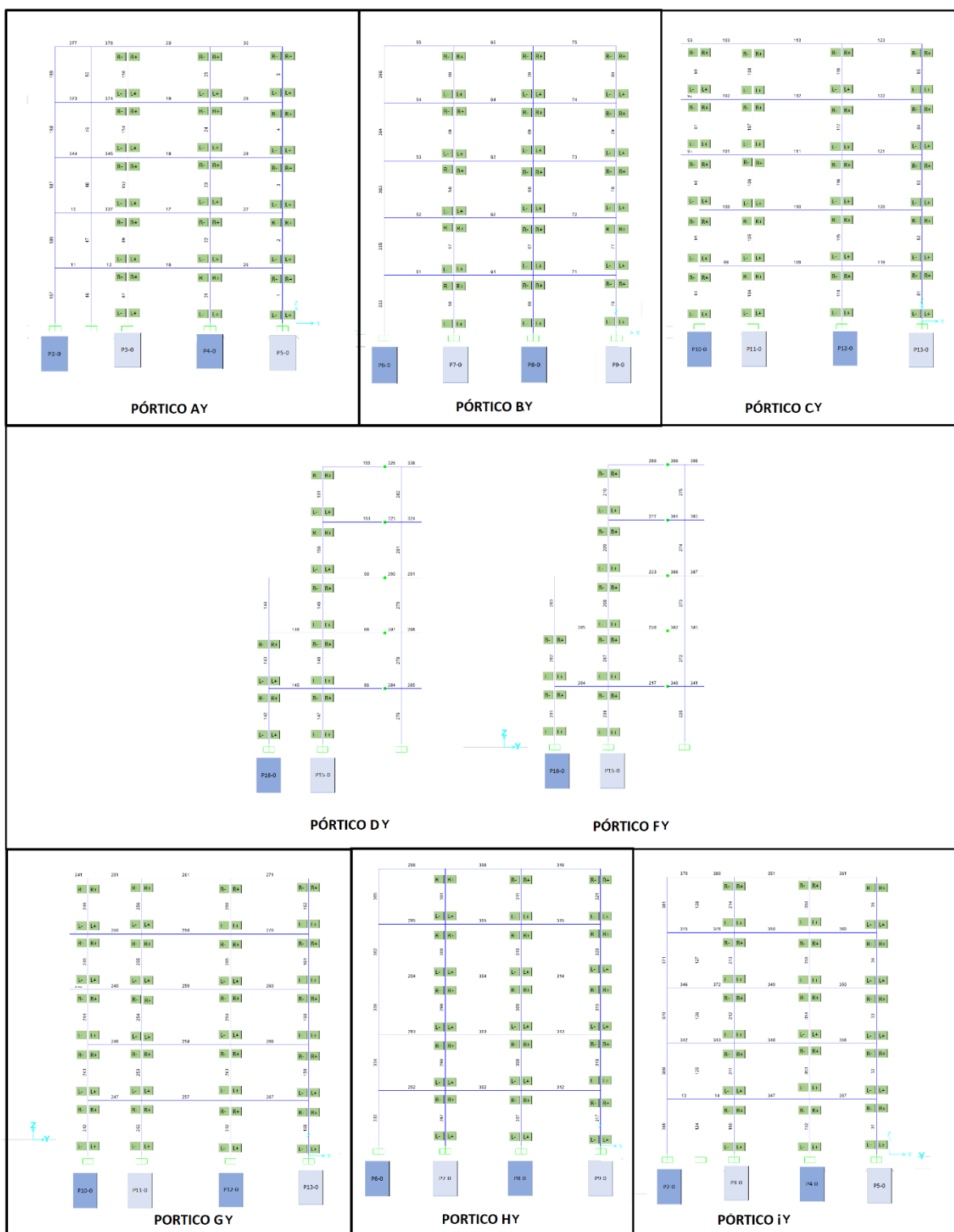


Figura 5.27 - Representação gráfica das verificações em **pilares** dos pórticos em Y da estrutura reforçada para o **mecanismo frágil**, após o reforço realizada na folha de cálculo para combinação sísmica CQP “+” 30E2X_100E2Y.

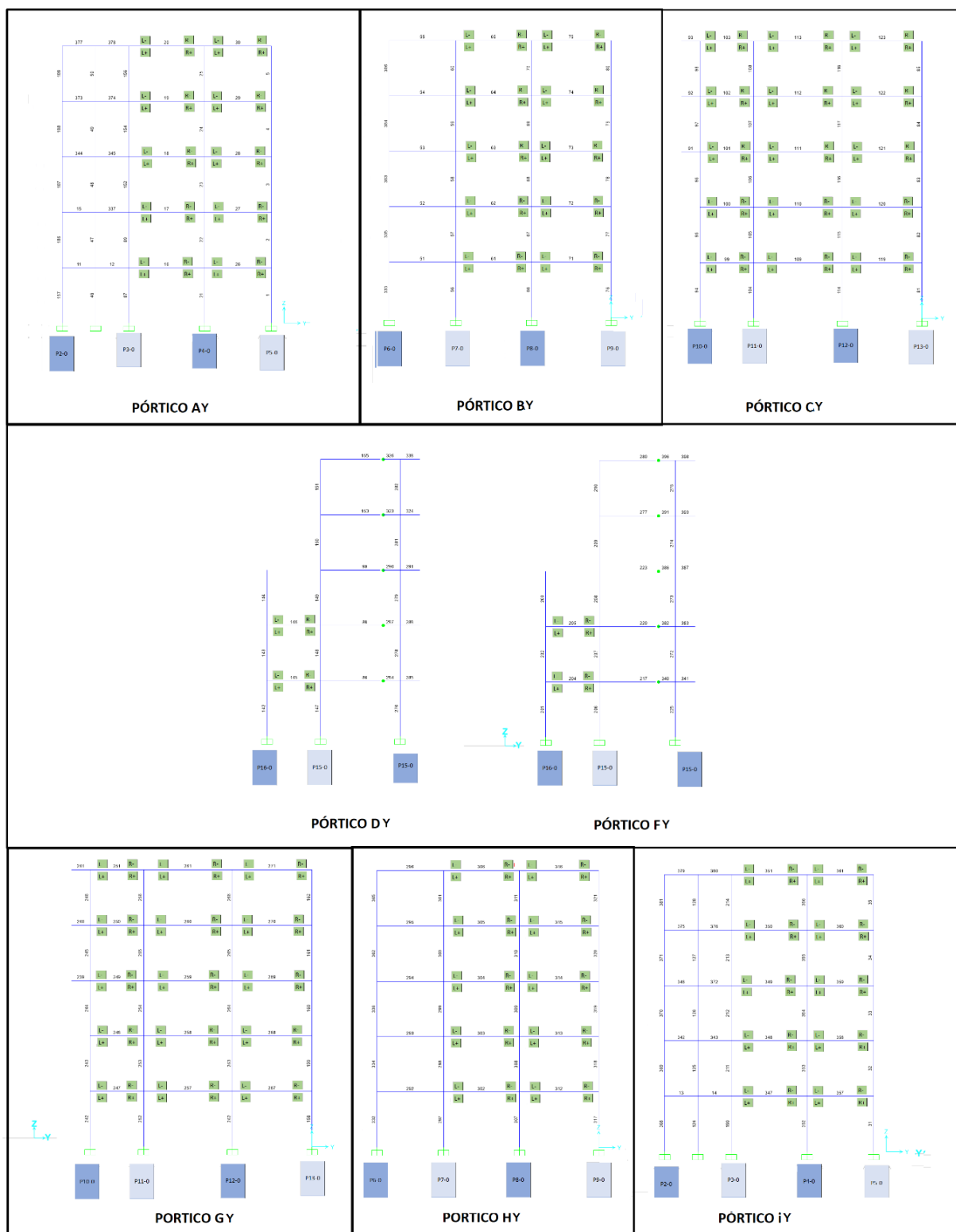


Figura 5.28 - Representação gráfica das verificações em **vigas** dos pórticos em Y da estrutura reforçada para o **mecanismo frágil**, após o reforço, realizada na folha de cálculo para combinação sísmica CQP “+” 30E2X_100E2Y.

5.8 Dimensionamento do reforço

O EC8-3 estabelece que os elementos constituintes do novo sistema estrutural, paredes de contraventamento, devem ser dimensionados como elementos novos de acordo com o EC8-1.

Para quantificar os esforços para o dimensionamento foi necessário levar em consideração as combinações sísmicas ($G_k + \psi_2 Q \pm E$), que dá origem as quatro variações da componente horizontal sísmica, como mencionado na secção 2.3.2.5, onde as componentes condicionantes foram $100\%E_{2X} - 30\%E_{2Y}$, na direção X, e $30\%E_{2X} - 100\%E_{2Y}$, na direção Y.

As paredes foram dimensionadas como estrutura de ductilidade média (DCM), com valor de comportamento $q = 3,0$.

5.8.1 Exemplo de dimensionamento de parede (PY1)

A parede foi dimensionada de acordo com o parágrafo 3.4.1 deste trabalho.

Primeiro, para dimensionar as paredes, deve-se avaliar a necessidade de considerar os efeitos de segunda ordem. Foi feita a análise de acordo com o parágrafo 5.8.3.3 do EC2 onde a carga vertical total $F_{v,Ed}$ foi inferior $F^*_{v,Ed}$, não sendo necessário considerar os efeitos de segunda ordem.

l) Esforços de cálculo

Os esforços obtidos na análise estrutural devem considerar envoltantes de cálculo como descrito no capítulo 3, onde, para o esforço de corte e a classe de ductilidade média (DCM), deve-se multiplicar o esforço de corte V_E por $\epsilon = 1.5$, conforme exemplificado na Figura 5.29.

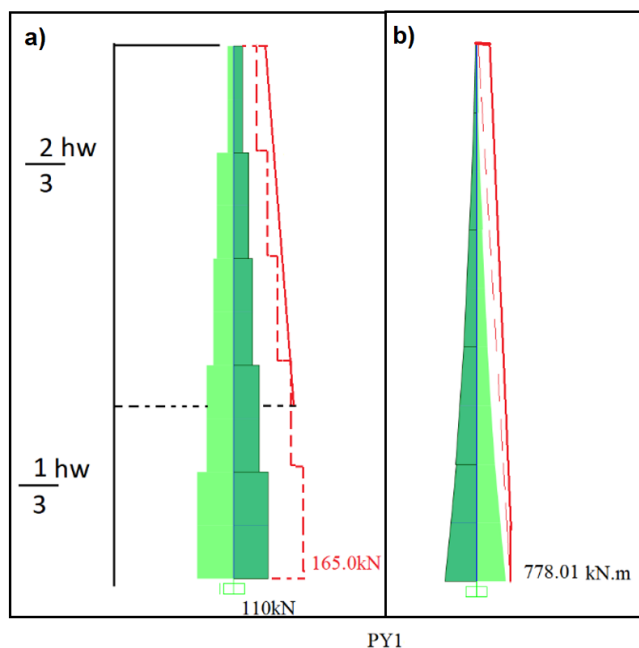


Figura 5.29: Envoltantes de Cálculo para: a) esforço de corte (kN) e b) momento fletor (kN.m).

Assim, tem-se que os esforços na base da parede PY1 são 778.01 kN.m para momento fletor (M), 165.0kN para o esforço transversal (V) e 381kN para esforço axial (N).

A zona de encastramento da base deve ser considerada como zona crítica com altura $h_{cr} = 3m$, delimitada pela altura entre pisos, calculada de acordo com a expressão (3.14).

A armadura longitudinal principal deve ser disposta junto às extremidades da secção da parede, com comprimento mínimo l_c calculado de acordo com a expressão (3.12), que por sua vez foi condicionado por $0,15 \cdot l_w = 0,465m$, tendo-se adotado 0,5m.

O esforço axial reduzido na parede, v_d , é inferior a 0,15, dispensando a verificação da ductilidade local. Ainda assim, foram calculados todos os coeficientes relativos ao confinamento dos elementos de extremidade de acordo com o EC8-1 e descritos na secção 3.4.1 deste trabalho.

A armadura proposta para a parede, PY1, tem a seguinte configuração, de acordo com Figura 5.30.

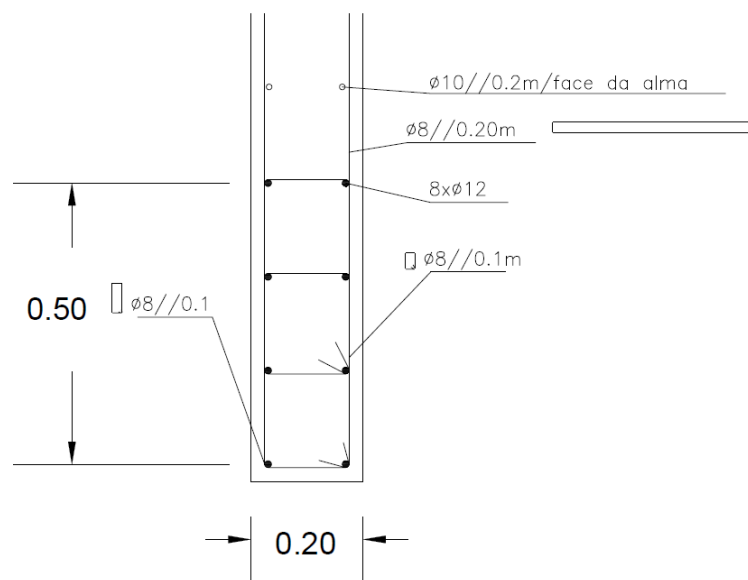


Figura 5.30 - Armadura da parede PY1/PY5.

Essa pormenorização garante uma taxa de armadura vertical $\rho_v > 0,71\%$ maior que 0,5% que é o mínimo e menor que 4% que é o máximo.

Para analisar se a armadura proposta é adequada, foram calculados os seguintes coeficientes da Tabela 22, de acordo com os métodos propostos pelo EC8-1, abordados neste trabalho.

A posição do eixo neutro, x_u , foi calculada para uma extensão de compressão do betão não confinado, $\varepsilon_{cu2} = 0,0035$, de acordo com a expressão (3.13); considerando o comprimento l_c medido da fibra mais comprimida até o ponto onde o betão possa se destacar, resultou numa distância de 0,33m que é inferior ao mínimo adotado. Por fim, por ser uma parede de secção retangular, a sua armadura de confinamento foi baseada na expressão (3.15), onde o produto do coeficiente de confinamento (α) pela taxa volumétrica de armadura de confinamento (ω_{wd}) deve ser maior que o limite mínimo que resulta da equação empírica descrita no EC8-1. De acordo com os resultados da Tabela 22, verifica-se que ω_{wd} é maior que o mínimo de 0,08 e $\alpha \omega_{wd} > 0,015$, garantindo assim a verificação do rácio do volume mecânico dos estribos de confinamento.

Tabela 22 - Coeficientes de dimensionamento da parede PY1.

ω_{wd}	$\epsilon_{sy,d}$	$\alpha(\text{confinamento})$	x_u	$\alpha\omega_{wd}$	$\alpha\omega_{wd}(\text{mínimo})$	l_c
0,170	0,002	0,448	0,48m	0,076	0,015	0,33m

II) Verificação de corte

Para paredes DCM, ductilidade média, é preciso verificar o corte, que por sua vez é condicionado pelo valor da resistência ao corte associada ao esmagamento das escoras diagonais do betão, $V_{Rd,max}$, que pode ser quantificado através da expressão (3.16). Assim é possível saber se as dimensões da parede e a classe do betão utilizados são adequados para resistir aos esforços instalados.

Por fim, é necessário saber se a resistência ao corte das armaduras transversais, $V_{Rd,s}$, é suficiente em relação ao esforço de corte, $1,5.V_{ed}$, sendo quantificada através da expressão (3.17). Como mostra a Tabela 23, os valores calculados de $V_{Rd,max}$ e $V_{Rd,s}$ são superiores a $1,5.V_{ed}$.

Tabela 23- Valores da verificação de corte para parede PY1.

$V_{Rd,max}$	$V_{Rd,s}$	$1,5.V_{ed}$
340,8 kN	271,0kN	165,0 kN

5.8.2 Exemplo de dimensionamento de encamisamento metálico (Viga V17)

Como visto na secção 5.5.5, a Viga V17 (0.35mx0.75m) (pórtico 1X) não verifica para a análise do mecanismo frágil. Pelo fato da viga receber um pilar centrado a meio vão os esforços de corte são elevados e, mesmo com a atenuação promovida pelo reforço com paredes de betão armado, não foi possível atingir redução de exigência (D) necessária para garantir a segurança do elemento.

Observando os resultados da análise da folha de cálculo para a Viga V17, da estrutura reforçada com paredes, a exigência (D) é maior que a capacidade (C), mas ainda é menor que a condição de esmagamento das escoras diagonais $V_{Rd,max}$. Isso significa que é possível resistir aos esforços de corte sem o aumento da secção, ou seja, é possível garantir a segurança do elemento aumentando a quantidade de armadura transversal através de um encamisamento metálico. A Figura 5.31 ilustra os resultados mencionados, onde o maior esforço de corte na viga V17 é $V_{ed} = 74,10$ kN, no trecho da barra 175 (L+), e menor que $V_{Rd,max} = 374.45$.

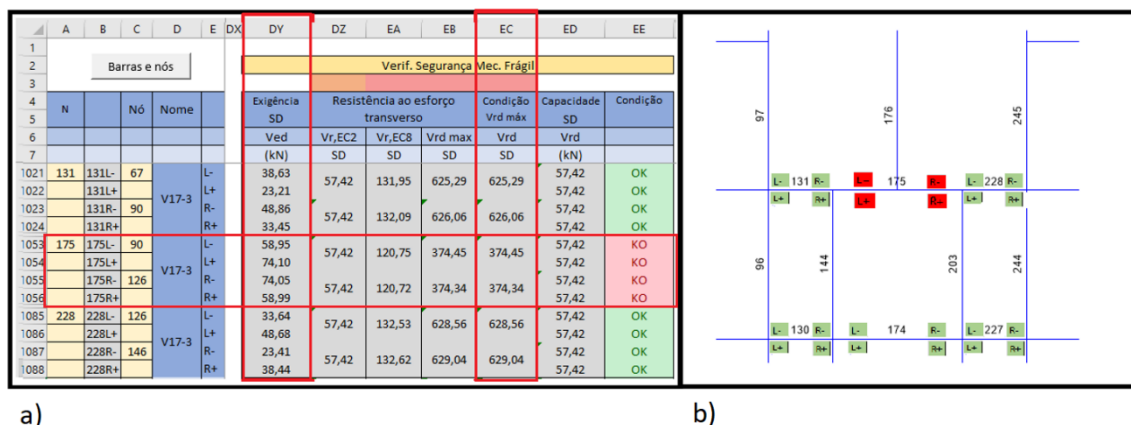


Figura 5.31 – Viga 17 - a) Folha de cálculo para verificação do mecanismo frágil; b) trecho da representação gráfica do pórtico 1X, no qual se encontra a viga V17.

Como mencionado na secção 3.3.2, a resistência ao corte do elemento reforçado, V_R , é a soma da resistência promovida pelo encamisamento metálico, $V_{R,j}$, com a resistência dos estribos, $V_{R,EC2,sw}$, que para a armadura do elemento em questão é 57,42 kN, conforme mostrado na Figura 5.31. Assim, considerando $\theta = 45^\circ$, a armadura externa do encamisamento deve conferir uma resistência $V_{R,j}$ tal que:

$$V_{ed} \leq V_R = V_{R,j} + V_{R,EC2,sw} \rightarrow 74,10 \leq V_{R,j} + 57,42 \rightarrow V_{R,j} \geq 16,68 \text{ kN} \quad (5.1)$$

Utilizando a expressão (3.8) é possível se calcular o $V_{R,j}$, garantindo que o encamisamento funcione em regime elástico. Como a necessidade de reforço é baixa, foi tomada a decisão de ignorar a parcela de resistência dos estribos e dimensionar o reforço para resistir à totalidade dos esforços de corte. Assim, assumindo um encamisamento metálico com chapas de aço S235 ($f_{yd}=204 \text{ MPa}$), conectadas por cantoneira metálica, largura de 4cm e espessura de 5mm, tem-se a resistência de:

$$V_{R,j} = 0,5 \times 0,75 \times \frac{2 \times 0,04 \times 0,005}{0,325} \times 204 \times 10^3 \times 1 = 94,15 \text{ kN} \quad (5.2)$$

O encamisamento escolhido tem resistência suficiente para a totalidade dos esforços de corte na viga V17, resultando em uma resistência total de $V_{R,j} + V_{R,EC2,sw} = 151,5 \text{ kN}$, ou seja, a viga com o encamisamento está do lado da segurança de forma conservativa.

A Figura 5.32 ilustra como seria o encamisamento metálico no trecho da viga V17, onde as chapas tem largura de 4cm, espessura de 5mm e o espaçamento das chapas é de 32,5cm, ficando estas soldadas às cantoneiras envolvendo toda a viga.

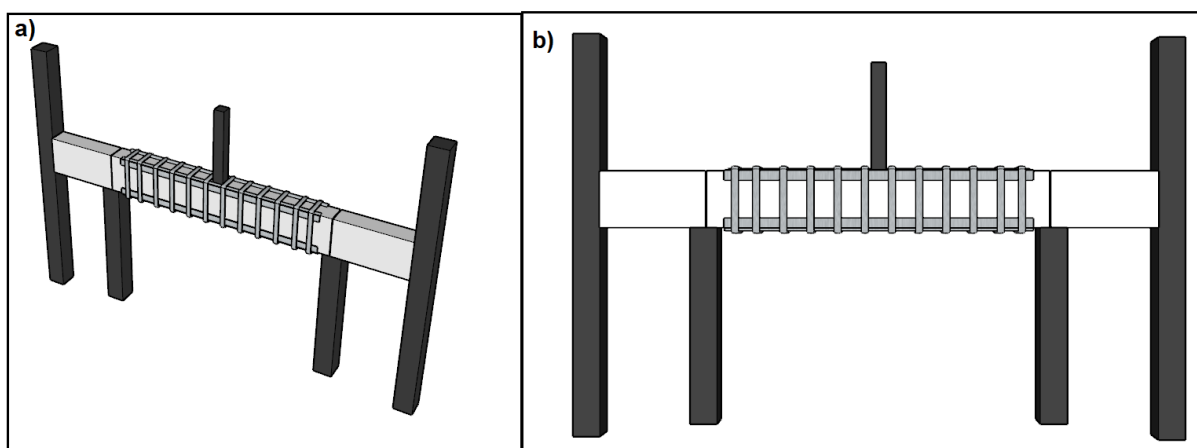


Figura 5.32- Encamisamento metálico da Viga V17, Imagem ilustrativa. a) imagem em perspectiva; b) imagem frontal. (*SketchUp ,Trimble ,2021*)

6

CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

6.1 Conclusões

Esta dissertação teve como objetivo a sistematização do procedimento de avaliação sísmica e de estratégias de reforço de edifícios existentes, de acordo com o Eurocódigo 8 parte 3, com o auxílio de uma folha de cálculo existente.

Fez-se necessário a automatização da folha de cálculo para agilizar o processo de transferência de dados da avaliação sísmica, elaborada no *software* de análise estrutural *Sap2000*(CSI-2021), para o preenchimento adequado na folha de cálculo. Assim houve um moroso trabalho de aprendizagem detalhada do funcionamento da folha de cálculo e da sua interação com o *software* estrutural, que ocorre através de ficheiros, para então programar em *Visual Basic Applications* (VBA) e *Excel*(Microsoft) de forma que, além de agilizar o processo de transferência de dados, trouxesse mais trabalhabilidade para folha de cálculo.

Através da aplicação dos procedimentos e da folha de cálculo no estudo de caso, pôde-se observar que a ferramenta, quando acompanhada de uma representação gráfica, consegue trazer uma visualização ampla das deficiências do edifício em relação às suas necessidades sísmicas, sendo assim uma proveitosa ferramenta de análise estrutural.

O estudo de caso também evidenciou a eficiência da estratégia de redução de exigências (E.R.) mediante a inserção de paredes de contraventamento como método de reforço sísmico. Obteve-se uma diminuição global das exigências que garantiu a verificação de acordo com o EC8-3, com exceção de um elemento viga que pôde ser reforçado através de um encamisamento metálico, opção que se revelou eficaz para reforçar elementos de betão armado com área secção suficiente mas com armadura deficitária.

6.2 Desenvolvimentos futuros

O trabalho aqui desenvolvido é, também, uma atualização de uma ferramenta de cálculo computacional. Como sugestão do seu primeiro criador, este trabalho elaborou uma maneira de agilizar a interação entre a folha e programa de cálculo estrutural.

Como uma próxima atualização, seria interessante implementar um forma automática de reproduzir graficamente as respostas da folha de cálculo. O presente trabalho inclui representações gráficas da folha de cálculo, mas que foram reproduzidas de forma manual.

A folha ainda necessita de grande fonte de informações, onde algumas, como geometria, armaduras e barras adjacentes, ainda são inseridas de forma manual; uma próxima atualização pode tornar o preenchimento dessas partes de forma mais eficiente.

REFERÊNCIAS

CEN (Comité Européen de Normalização) (2017). Eurocódigo 8 - Projeto de estruturas para resistência aos sismos - Parte 3: Avaliação e reabilitação de edifícios. CEN, Bruxelas.

CEN (Comité Européen de Normalização) (2010). Eurocódigo 8 - Projecto de estruturas para resistência aos sismos - Parte 1: Regras gerais, ações sísmicas e regras para edifícios. CEN, Bruxelas.

Sen, Tapan K.(2009). Fundamentals of seismic loading on structures - John Wiley & Sons Ltd. – United Kingdom

Carvalho, L. (2020). Avaliação sísmica de edifícios Existentes segundo o Eurocódigo 8 com vista à reabilitação. Mestrado em Engenharia Civil - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2020.

Costa R, Providência P. (2019). Avaliação e reabilitação sísmicas de edifícios de betão armado. Quântica Editora Conteúdos Especializados, Lda, Porto.

Fardis, M. (2009). Seismic design, Assessment and retrofitting of concrete buildings - Based on EN- Eurocode 8. Springer.

Brito, J. d. (2002). Reforço de Estruturas de betão por encamisamento. Lisboa: University of Lisbon

CEN (Comité Européen de Normalização) (2010). Eurocódigo 2 - Projecto de estruturas de betão - Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios. CEN, Bruxelas.

CEN (Comité Européen de Normalização) (2009). Eurocódigo 1 - Ações em estruturas - Parte 1-1: Acções gerais - Pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios. CEN, Bruxelas.

Appleton, J. (2008). Reforço Sísmico de Estruturas de Betão - Encontro Nacional de Betão Estrutural 2008 - Guimarães

CSI (2021). SAP2000_v22.1.0 Finite element program for modelling, analysis and design of any type of structure. Help documentation of the program, <https://www.csiportugal.com/>, 2021.

R.E.B.A.P. (1983). Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado. Porto Editora, Porto.

Avramidis et al.(2016), Eurocode-Compliant Seismic Analysis and Design of R/C Buildings. Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering , Volume 38 , London.

Mpampatsikos, V, Nascimbene, R, Petrini, L. (2008). A Critical Review of the R.C Frame Existing Building Assessment Procedure According to Eurocode 8 and Italian Seismic Code. Master's Thesis in Earthquake Engineering - 2008 - Rose School, Pavia, Italy, 2008.

Fernandes, A. (2008). Avaliação da segurança sísmica de edifícios existentes no contexto do Eurocódigo 8. Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2007/2008 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008.

Anexo A

VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA ANTERIOR AO REFORÇO – CASO DE ESTUDO

Tabela A. 1 – Resultados locais dos pórticos em X: Verificação de mecanismos da estrutura antes do reforço para combinação CQP+100%E2X+30%E2Y.

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					SD	SD		SD	SD	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
1	1L-	1	P2-0	L-	1,02	20,23	OK	6,73	17,64	OK
	1L+			L+	1,02	20,23	OK	7,54	17,64	OK
	1R-	5		R-	0,67	20,23	OK	6,73	17,64	OK
	1R+			R+	0,67	20,23	OK	7,54	17,64	OK
2	2L-	5	P2-1	L-	0,69	20,50	OK	5,45	17,64	OK
	2L+			L+	0,69	20,50	OK	7,36	17,64	OK
	2R-	9		R-	0,63	20,50	OK	5,45	17,64	OK
	2R+			R+	0,63	20,50	OK	7,36	17,64	OK
3	3L-	9	P2-2	L-	0,75	24,48	OK	4,74	13,46	OK
	3L+			L+	0,75	24,48	OK	7,49	13,46	OK
	3R-	13		R-	0,53	24,48	OK	4,74	13,46	OK
	3R+			R+	0,53	24,48	OK	7,49	13,46	OK
4	4L-	13	P2-3	L-	0,52	27,34	OK	3,70	12,59	OK
	4L+			L+	0,52	27,34	OK	6,66	12,59	OK
	4R-	17		R-	0,52	27,34	OK	3,70	12,59	OK
	4R+			R+	0,52	27,34	OK	6,66	12,59	OK
5	5L-	17	P2-4	L-	0,55	31,81	OK	3,31	7,02	OK
	5L+			L+	0,55	31,81	OK	5,66	7,02	OK
	5R-	21		R-	0,60	31,81	OK	3,31	7,02	OK
	5R+			R+	0,60	31,81	OK	5,66	7,02	OK
46	46L-	25	P6-0	L-	1,02	24,19	OK	15,95	11,20	KO
	46L+			L+	1,02	24,19	OK	16,03	11,20	KO
	46R-	29		R-	0,71	24,19	OK	15,95	11,20	KO
	46R+			R+	0,71	24,19	OK	16,03	11,20	KO
47	47L-	29	P6-1	L-	0,73	24,67	OK	14,30	11,20	KO
	47L+			L+	0,73	24,67	OK	14,63	11,20	KO
	47R-	34		R-	0,78	24,67	OK	14,30	11,20	KO
	47R+			R+	0,78	24,67	OK	14,63	11,20	KO
48	48L-	34	P6-2	L-	0,91	24,75	OK	10,36	11,37	OK
	48L+			L+	0,91	24,75	OK	10,75	11,37	OK
	48R-	39		R-	0,82	24,75	OK	10,36	11,37	OK
	48R+			R+	0,82	24,75	OK	10,75	11,37	OK
49	49L-	39	P6-3	L-	0,81	25,51	OK	11,46	11,37	KO
	49L+			L+	0,81	25,51	OK	11,79	11,37	KO
	49R-	44		R-	0,84	25,51	OK	11,46	11,37	KO
	49R+			R+	0,84	25,51	OK	11,79	11,37	KO
50	50L-	44	P6-4	L-	0,86	29,23	OK	10,60	9,81	KO
	50L+			L+	0,86	29,23	OK	10,92	9,81	KO
	50R-	49		R-	1,00	29,23	OK	10,60	9,81	KO
	50R+			R+	1,00	29,23	OK	10,92	9,81	KO
76	76L-	28	P9-0	L-	1,24	24,38	OK	14,81	11,20	KO
	76L+			L+	1,24	24,38	OK	14,91	11,20	KO
	76R-	33		R-	0,37	24,38	OK	14,81	11,20	KO
	76R+			R+	0,37	24,38	OK	14,91	11,20	KO

Tabela A. 1 – Resultados locais dos pórticos em X: Verificação de mecanismos da estrutura antes do reforço para combinação CQP+100%E2X+30%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					SD	SD		SD	SD	
					θD	θC		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
77	77L-	33	P9-1	L-	0,45	24,91	OK	9,74	11,20	OK
	77L+			L+	0,45	24,91	OK	10,13	11,20	OK
	77R-	38		R-	0,54	24,91	OK	9,74	11,20	OK
	77R+			R+	0,54	24,91	OK	10,13	11,20	OK
78	78L-	38	P9-2	L-	0,73	25,11	OK	9,26	11,37	OK
	78L+			L+	0,73	25,11	OK	9,68	11,37	OK
	78R-	43		R-	0,73	25,11	OK	9,26	11,37	OK
	78R+			R+	0,73	25,11	OK	9,68	11,37	OK
79	79L-	43	P9-3	L-	0,62	25,77	OK	9,65	11,37	OK
	79L+			L+	0,62	25,77	OK	10,24	11,37	OK
	79R-	48		R-	0,60	25,77	OK	9,65	11,37	OK
	79R+			R+	0,60	25,77	OK	10,24	11,37	OK
80	80L-	48	P9-4	L-	0,63	29,46	OK	10,02	9,81	KO
	80L+			L+	0,63	29,46	OK	10,62	9,81	KO
	80R-	53		R-	0,93	29,46	OK	10,02	9,81	KO
	80R+			R+	0,93	29,46	OK	10,62	9,81	KO
94	94L-	54	P10-0	L-	1,02	24,98	OK	17,19	11,20	KO
	94L+			L+	1,02	24,98	OK	16,03	11,20	KO
	94R-	58		R-	0,84	24,98	OK	17,19	11,20	KO
	94R+			R+	0,84	24,98	OK	16,03	11,20	KO
95	95L-	58	P10-1	L-	0,86	25,30	OK	16,93	11,20	KO
	95L+			L+	0,86	25,30	OK	13,82	11,20	KO
	95R-	62		R-	0,93	25,30	OK	16,93	11,20	KO
	95R+			R+	0,93	25,30	OK	13,82	11,20	KO
96	96L-	62	P10-2	L-	1,06	25,31	OK	13,14	11,37	KO
	96L+			L+	1,06	25,31	OK	9,83	11,37	OK
	96R-	67		R-	1,18	25,31	OK	13,14	11,37	KO
	96R+			R+	1,18	25,31	OK	9,83	11,37	OK
97	97L-	67	P10-3	L-	1,17	25,51	OK	13,83	11,37	KO
	97L+			L+	1,17	25,51	OK	10,06	11,37	OK
	97R-	72		R-	0,89	25,51	OK	13,83	11,37	KO
	97R+			R+	0,89	25,51	OK	10,06	11,37	OK
98	98L-	72	P10-4	L-	0,91	29,12	OK	11,46	9,81	KO
	98L+			L+	0,91	29,12	OK	8,96	9,81	OK
	98R-	77		R-	1,16	29,12	OK	11,46	9,81	KO
	98R+			R+	1,16	29,12	OK	8,96	9,81	OK
104	104L-	55	P11-0	L-	1,07	22,22	OK	21,76	15,55	KO
	104L+			L+	1,07	22,22	OK	22,26	15,55	KO
	104R-	59		R-	0,77	22,22	OK	21,76	15,55	KO
	104R+			R+	0,77	22,22	OK	22,26	15,55	KO
105	105L-	59	P11-1	L-	0,80	22,71	OK	19,42	15,55	KO
	105L+			L+	0,80	22,71	OK	20,24	15,55	KO
	105R-	63		R-	0,80	22,71	OK	19,42	15,55	KO
	105R+			R+	0,80	22,71	OK	20,24	15,55	KO

Tabela A. 1 – Resultados locais dos pórticos em X: Verificação de mecanismos da estrutura antes do reforço para combinação CQP+100%E2X+30%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dútil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					SD	SD		SD	SD	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
106	106L-	63	P11-2	L-	0,94	22,84	OK	14,55	15,55	OK
	106L+			L+	0,94	22,84	OK	14,89	15,55	OK
	106R-	68		R-	0,97	22,84	OK	14,55	15,55	OK
	106R+			R+	0,97	22,84	OK	14,89	15,55	OK
107	107L-	68	P11-3	L-	0,93	25,11	OK	13,09	11,37	KO
	107L+			L+	0,93	25,11	OK	12,83	11,37	KO
	107R-	73		R-	1,01	25,11	OK	13,09	11,37	KO
	107R+			R+	1,01	25,11	OK	12,83	11,37	KO
108	108L-	73	P11-4	L-	1,03	28,47	OK	11,88	7,19	KO
	108L+			L+	1,03	28,47	OK	11,35	7,19	KO
	108R-	78		R-	1,12	28,47	OK	11,88	7,19	KO
	108R+			R+	1,12	28,47	OK	11,35	7,19	KO
114	114L-	56	P12-0	L-	1,16	21,80	OK	23,94	15,55	KO
	114L+			L+	1,16	21,80	OK	24,16	15,55	KO
	114R-	60		R-	0,87	21,80	OK	23,94	15,55	KO
	114R+			R+	0,87	21,80	OK	24,16	15,55	KO
115	115L-	60	P12-1	L-	0,92	22,34	OK	22,18	15,55	KO
	115L+			L+	0,92	22,34	OK	22,61	15,55	KO
	115R-	64		R-	0,90	22,34	OK	22,18	15,55	KO
	115R+			R+	0,90	22,34	OK	22,61	15,55	KO
116	116L-	64	P12-2	L-	1,07	22,47	OK	16,44	15,55	KO
	116L+			L+	1,07	22,47	OK	16,80	15,55	KO
	116R-	69		R-	1,09	22,47	OK	16,44	15,55	KO
	116R+			R+	1,09	22,47	OK	16,80	15,55	KO
117	117L-	69	P12-3	L-	1,02	24,71	OK	14,18	11,37	KO
	117L+			L+	1,02	24,71	OK	13,91	11,37	KO
	117R-	74		R-	1,10	24,71	OK	14,18	11,37	KO
	117R+			R+	1,10	24,71	OK	13,91	11,37	KO
118	118L-	74	P12-4	L-	1,13	28,02	OK	12,83	7,19	KO
	118L+			L+	1,13	28,02	OK	12,12	7,19	KO
	118R-	79		R-	1,22	28,02	OK	12,83	7,19	KO
	118R+			R+	1,22	28,02	OK	12,12	7,19	KO
124	124L-	57	P13-0	L-	1,24	24,00	OK	17,26	11,20	KO
	124L+			L+	1,24	24,00	OK	18,47	11,20	KO
	124R-	61		R-	0,64	24,00	OK	17,26	11,20	KO
	124R+			R+	0,64	24,00	OK	18,47	11,20	KO
125	125L-	61	P13-1	L-	0,72	24,58	OK	14,11	11,20	KO
	125L+			L+	0,72	24,58	OK	16,80	11,20	KO
	125R-	65		R-	0,76	24,58	OK	14,11	11,20	KO
	125R+			R+	0,76	24,58	OK	16,80	11,20	KO
126	126L-	65	P13-2	L-	0,95	24,79	OK	11,61	11,37	KO
	126L+			L+	0,95	24,79	OK	13,53	11,37	KO
	126R-	70		R-	0,97	24,79	OK	11,61	11,37	KO
	126R+			R+	0,97	24,79	OK	13,53	11,37	KO

Tabela A. 1 – Resultados locais dos pórticos em X: Verificação de mecanismos da estrutura antes do reforço para combinação CQP+100%E2X+30%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					SD	SD		SD	SD	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
127	127L-	70	P13-3	L-	0,86	25,51	OK	12,23	11,37	KO
	127L+			L+	0,86	25,51	OK	14,43	11,37	KO
	127R-	75		R-	0,87	25,51	OK	12,23	11,37	KO
	127R+			R+	0,87	25,51	OK	14,43	11,37	KO
128	128L-	75	P13-4	L-	0,90	29,14	OK	11,60	9,81	KO
	128L+			L+	0,90	29,14	OK	13,46	9,81	KO
	128R-	80		R-	1,08	29,14	OK	11,66	9,81	KO
	128R+			R+	1,08	29,14	OK	13,46	9,81	KO
142	142L-	81	P16-0	L-	1,02	25,40	OK	24,78	11,37	KO
	142L+			L+	1,02	25,40	OK	24,42	11,37	KO
	142R-	84		R-	0,69	25,40	OK	24,78	11,37	KO
	142R+			R+	0,69	25,40	OK	24,42	11,37	KO
143	143L-	84	P16-1	L-	0,71	25,67	OK	19,95	11,37	KO
	143L+			L+	0,71	25,67	OK	18,48	11,37	KO
	143R-	87		R-	0,61	25,67	OK	19,95	11,37	KO
	143R+			R+	0,61	25,67	OK	18,48	11,37	KO
144	144L-	87	P16-2	L-	0,74	25,94	OK	29,46	11,37	KO
	144L+			L+	0,74	25,94	OK	26,80	11,37	KO
	144R-	90		R-	1,10	25,94	OK	29,46	11,37	KO
	144R+			R+	1,10	25,94	OK	26,80	11,37	KO
147	147L-	82	P15-0	L-	1,07	24,82	OK	21,18	9,96	KO
	147L+			L+	1,07	24,82	OK	22,93	9,96	KO
	147R-	85		R-	0,91	24,82	OK	21,18	9,96	KO
	147R+			R+	0,91	24,82	OK	22,93	9,96	KO
148	148L-	85	P15-1	L-	0,94	25,63	OK	18,92	9,96	KO
	148L+			L+	0,94	25,63	OK	22,34	9,96	KO
	148R-	88		R-	0,87	25,63	OK	18,92	9,96	KO
	148R+			R+	0,87	25,63	OK	22,34	9,96	KO
149	149L-	88	P15-2	L-	1,02	26,82	OK	13,84	11,41	KO
	149L+			L+	1,02	26,82	OK	15,97	11,41	KO
	149R-	91		R-	1,00	26,82	OK	13,84	11,41	KO
	149R+			R+	1,00	26,82	OK	15,97	11,41	KO
150	150L-	91	P15-3	L-	0,97	27,59	OK	15,39	11,64	KO
	150L+			L+	0,97	27,59	OK	18,00	11,64	KO
	150R-	93		R-	1,03	27,59	OK	15,39	11,64	KO
	150R+			R+	1,03	27,59	OK	18,00	11,64	KO
151	151L-	93	P15-4	L-	1,06	30,87	OK	4,99	7,02	OK
	151L+			L+	1,06	30,87	OK	5,04	7,02	OK
	151R-	95		R-	1,14	30,87	OK	4,99	7,02	OK
	151R+			R+	1,14	30,87	OK	5,04	7,02	OK
157	157L-	83	P15-0	L-	1,16	24,37	OK	23,46	9,96	KO
	157L+			L+	1,16	24,37	OK	22,97	9,96	KO
	157R-	86		R-	0,90	24,37	OK	23,46	9,96	KO
	157R+			R+	0,90	24,37	OK	22,97	9,96	KO

Tabela A. 1 – Resultados locais dos pórticos em X: Verificação de mecanismos da estrutura antes do reforço para combinação CQP+100%E2X+30%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					SD	SD		SD	SD	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
158	158L-	86	P15-1	L-	0,95	25,16	OK	22,28	9,96	KO
	158L+			L+	0,95	25,16	OK	21,88	9,96	KO
	158R-	89		R-	0,91	25,16	OK	22,28	9,96	KO
	158R+			R+	0,91	25,16	OK	21,88	9,96	KO
159	159L-	89	P15-2	L-	1,08	26,34	OK	16,15	11,41	KO
	159L+			L+	1,08	26,34	OK	16,70	11,41	KO
	159R-	92		R-	1,07	26,34	OK	16,15	11,41	KO
	159R+			R+	1,07	26,34	OK	16,70	11,41	KO
160	160L-	92	P15-3	L-	0,99	27,23	OK	17,88	11,64	KO
	160L+			L+	0,99	27,23	OK	17,71	11,64	KO
	160R-	94		R-	1,09	27,23	OK	17,88	11,64	KO
	160R+			R+	1,09	27,23	OK	17,71	11,64	KO
161	161L-	94	P15-4	L-	1,12	30,38	OK	5,26	7,02	OK
	161L+			L+	1,12	30,38	OK	5,44	7,02	OK
	161R-	96		R-	1,20	30,38	OK	5,26	7,02	OK
	161R+			R+	1,20	30,38	OK	5,44	7,02	OK
196	196L-	97	P14-0	L-	1,24	23,65	OK	18,40	11,20	KO
	196L+			L+	1,24	23,65	OK	18,48	11,20	KO
	196R-	99		R-	0,76	23,65	OK	18,40	11,20	KO
	196R+			R+	0,76	23,65	OK	18,48	11,20	KO
197	197L-	99	P14-1	L-	0,85	24,31	OK	16,36	11,20	KO
	197L+			L+	0,85	24,31	OK	16,47	11,20	KO
	197R-	101		R-	0,88	24,31	OK	16,36	11,20	KO
	197R+			R+	0,88	24,31	OK	16,47	11,20	KO
198	198L-	101	P14-2	L-	1,07	24,61	OK	12,93	11,37	KO
	198L+			L+	1,07	24,61	OK	12,97	11,37	KO
	198R-	106		R-	1,10	24,61	OK	12,93	11,37	KO
	198R+			R+	1,10	24,61	OK	12,97	11,37	KO
199	199L-	106	P14-3	L-	0,99	25,42	OK	13,62	11,37	KO
	199L+			L+	0,99	25,42	OK	13,64	11,37	KO
	199R-	111		R-	1,00	25,42	OK	13,62	11,37	KO
	199R+			R+	1,00	25,42	OK	13,64	11,37	KO
200	200L-	111	P14-4	L-	1,04	29,16	OK	12,60	9,81	KO
	200L+			L+	1,04	29,16	OK	12,61	9,81	KO
	200R-	116		R-	1,20	29,16	OK	12,60	9,81	KO
	200R+			R+	1,20	29,16	OK	12,61	9,81	KO
201	201L-	117	P16-0	L-	1,02	25,40	OK	24,40	11,37	KO
	201L+			L+	1,02	25,40	OK	24,77	11,37	KO
	201R-	120		R-	0,66	25,40	OK	24,40	11,37	KO
	201R+			R+	0,66	25,40	OK	24,77	11,37	KO
202	202L-	120	P16-1	L-	0,68	25,67	OK	18,46	11,37	KO
	202L+			L+	0,68	25,67	OK	19,85	11,37	KO
	202R-	123		R-	0,54	25,67	OK	18,46	11,37	KO
	202R+			R+	0,54	25,67	OK	19,85	11,37	KO

Tabela A. 1 – Resultados locais dos pórticos em X: Verificação de mecanismos da estrutura antes do reforço para combinação CQP+100%E2X+30%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					SD	SD		SD	SD	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
203	203L-	123	P16-2	L-	0,66	25,94	OK	26,98	11,37	KO
	203L+			L+	0,66	25,94	OK	29,43	11,37	KO
	203R-	126		R-	0,99	25,94	OK	26,98	11,37	KO
	203R+			R+	0,99	25,94	OK	29,43	11,37	KO
206	206L-	118	P15-0	L-	1,07	24,83	OK	21,39	9,96	KO
	206L+			L+	1,07	24,83	OK	22,28	9,96	KO
	206R-	121		R-	0,95	24,83	OK	21,39	9,96	KO
	206R+			R+	0,95	24,83	OK	22,28	9,96	KO
207	207L-	121	P15-1	L-	0,98	25,63	OK	19,56	9,96	KO
	207L+			L+	0,98	25,63	OK	21,19	9,96	KO
	207R-	124		R-	0,92	25,63	OK	19,56	9,96	KO
	207R+			R+	0,92	25,63	OK	21,19	9,96	KO
208	208L-	124	P15-2	L-	1,06	26,83	OK	14,61	11,41	KO
	208L+			L+	1,06	26,83	OK	14,92	11,41	KO
	208R-	127		R-	1,10	26,83	OK	14,61	11,41	KO
	208R+			R+	1,10	26,83	OK	14,92	11,41	KO
209	209L-	127	P15-3	L-	1,06	27,59	OK	16,07	11,64	KO
	209L+			L+	1,06	27,59	OK	17,08	11,64	KO
	209R-	129		R-	1,05	27,59	OK	16,07	11,64	KO
	209R+			R+	1,05	27,59	OK	17,08	11,64	KO
210	210L-	129	P15-4	L-	1,08	30,87	OK	5,06	7,02	OK
	210L+			L+	1,08	30,87	OK	4,94	7,02	OK
	210R-	131		R-	1,16	30,87	OK	5,06	7,02	OK
	210R+			R+	1,16	30,87	OK	4,94	7,02	OK
216	216L-	119	P15-0	L-	1,16	24,36	OK	24,41	9,96	KO
	216L+			L+	1,16	24,36	OK	21,71	9,96	KO
	216R-	122		R-	1,01	24,36	OK	24,41	9,96	KO
	216R+			R+	1,01	24,36	OK	21,71	9,96	KO
217	217L-	122	P15-1	L-	1,07	25,15	OK	24,43	9,96	KO
	217L+			L+	1,07	25,15	OK	19,47	9,96	KO
	217R-	125		R-	1,03	25,15	OK	24,43	9,96	KO
	217R+			R+	1,03	25,15	OK	19,47	9,96	KO
218	218L-	125	P15-2	L-	1,20	26,33	OK	17,63	11,41	KO
	218L+			L+	1,20	26,33	OK	15,05	11,41	KO
	218R-	128		R-	1,21	26,33	OK	17,63	11,41	KO
	218R+			R+	1,21	26,33	OK	15,05	11,41	KO
219	219L-	128	P15-3	L-	1,14	27,23	OK	18,95	11,64	KO
	219L+			L+	1,14	27,23	OK	16,53	11,64	KO
	219R-	130		R-	1,14	27,23	OK	18,95	11,64	KO
	219R+			R+	1,14	27,23	OK	16,53	11,64	KO
220	220L-	130	P15-4	L-	1,17	30,37	OK	5,43	7,02	OK
	220L+			L+	1,17	30,37	OK	5,30	7,02	OK
	220R-	132		R-	1,26	30,37	OK	5,43	7,02	OK
	220R+			R+	1,26	30,37	OK	5,30	7,02	OK

Tabela A. 1 – Resultados locais dos pórticos em X: Verificação de mecanismos da estrutura antes do reforço para combinação CQP+100%E2X+30%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					SD	SD		SD	SD	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
242	242L-	133	P10-0	L-	1,02	24,99	OK	16,03	11,20	KO
	242L+			L+	1,02	24,99	OK	17,17	11,20	KO
	242R-	137		R-	0,72	24,99	OK	16,03	11,20	KO
	242R+			R+	0,72	24,99	OK	17,17	11,20	KO
243	243L-	137	P10-1	L-	0,73	25,31	OK	13,82	11,20	KO
	243L+			L+	0,73	25,31	OK	16,84	11,20	KO
	243R-	141		R-	0,72	25,31	OK	13,82	11,20	KO
	243R+			R+	0,72	25,31	OK	16,84	11,20	KO
244	244L-	141	P10-2	L-	0,84	25,31	OK	9,91	11,37	OK
	244L+			L+	0,84	25,31	OK	13,13	11,37	KO
	244R-	146		R-	0,77	25,31	OK	9,91	11,37	OK
	244R+			R+	0,77	25,31	OK	13,13	11,37	KO
245	245L-	146	P10-3	L-	0,77	25,52	OK	10,16	11,37	OK
	245L+			L+	0,77	25,52	OK	13,71	11,37	KO
	245R-	151		R-	0,60	25,52	OK	10,16	11,37	OK
	245R+			R+	0,60	25,52	OK	13,71	11,37	KO
246	246L-	151	P10-4	L-	0,63	29,12	OK	8,97	9,81	OK
	246L+			L+	0,63	29,12	OK	11,47	9,81	KO
	246R-	156		R-	0,79	29,12	OK	8,97	9,81	OK
	246R+			R+	0,79	29,12	OK	11,47	9,81	KO
252	252L-	134	P11-0	L-	1,07	22,25	OK	22,19	15,55	KO
	252L+			L+	1,07	22,25	OK	21,78	15,55	KO
	252R-	138		R-	0,80	22,25	OK	22,19	15,55	KO
	252R+			R+	0,80	22,25	OK	21,78	15,55	KO
253	253L-	138	P11-1	L-	0,83	22,73	OK	20,13	15,55	KO
	253L+			L+	0,83	22,73	OK	19,39	15,55	KO
	253R-	142		R-	0,82	22,73	OK	20,13	15,55	KO
	253R+			R+	0,82	22,73	OK	19,39	15,55	KO
254	254L-	142	P11-2	L-	0,96	22,85	OK	14,84	15,55	OK
	254L+			L+	0,96	22,85	OK	14,47	15,55	OK
	254R-	147		R-	0,98	22,85	OK	14,84	15,55	OK
	254R+			R+	0,98	22,85	OK	14,47	15,55	OK
255	255L-	147	P11-3	L-	0,95	25,11	OK	12,83	11,37	KO
	255L+			L+	0,95	25,11	OK	12,93	11,37	KO
	255R-	152		R-	0,94	25,11	OK	12,83	11,37	KO
	255R+			R+	0,94	25,11	OK	12,93	11,37	KO
256	256L-	152	P11-4	L-	0,97	28,46	OK	11,30	7,19	KO
	256L+			L+	0,97	28,46	OK	11,81	7,19	KO
	256R-	157		R-	1,03	28,46	OK	11,30	7,19	KO
	256R+			R+	1,03	28,46	OK	11,81	7,19	KO
262	262L-	135	P12-0	L-	1,16	21,76	OK	24,24	15,55	KO
	262L+			L+	1,16	21,76	OK	24,02	15,55	KO
	262R-	139		R-	0,89	21,76	OK	24,24	15,55	KO
	262R+			R+	0,89	21,76	OK	24,02	15,55	KO

Tabela A. 1 – Resultados locais dos pórticos em X: Verificação de mecanismos da estrutura antes do reforço para combinação CQP+100%E2X+30%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					SD	SD		SD	SD	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
289	289L-	169	P6-2	L-	0,94	24,75	OK	10,75	11,37	OK
	289L+			L+	0,94	24,75	OK	10,33	11,37	OK
	289R-	174		R-	0,86	24,75	OK	10,75	11,37	OK
	289R+			R+	0,86	24,75	OK	10,33	11,37	OK
290	290L-	174	P6-3	L-	0,85	25,51	OK	11,86	11,37	KO
	290L+			L+	0,85	25,51	OK	11,36	11,37	OK
	290R-	179		R-	0,87	25,51	OK	11,86	11,37	KO
	290R+			R+	0,87	25,51	OK	11,36	11,37	OK
291	291L-	179	P6-4	L-	0,90	29,23	OK	10,89	9,81	KO
	291L+			L+	0,90	29,23	OK	10,59	9,81	KO
	291R-	184		R-	1,04	29,23	OK	10,89	9,81	KO
	291R+			R+	1,04	29,23	OK	10,59	9,81	KO
317	317L-	163	P9-0	L-	1,24	24,38	OK	14,87	11,20	KO
	317L+			L+	1,24	24,38	OK	14,85	11,20	KO
	317R-	168		R-	0,38	24,38	OK	14,87	11,20	KO
	317R+			R+	0,38	24,38	OK	14,85	11,20	KO
318	318L-	168	P9-1	L-	0,46	24,91	OK	10,08	11,20	OK
	318L+			L+	0,46	24,91	OK	9,79	11,20	OK
	318R-	173		R-	0,57	24,91	OK	10,08	11,20	OK
	318R+			R+	0,57	24,91	OK	9,79	11,20	OK
319	319L-	173	P9-2	L-	0,76	25,11	OK	9,68	11,37	OK
	319L+			L+	0,76	25,11	OK	9,26	11,37	OK
	319R-	178		R-	0,78	25,11	OK	9,68	11,37	OK
	319R+			R+	0,78	25,11	OK	9,26	11,37	OK
320	320L-	178	P9-3	L-	0,67	25,76	OK	10,25	11,37	OK
	320L+			L+	0,67	25,76	OK	9,65	11,37	OK
	320R-	183		R-	0,66	25,76	OK	10,25	11,37	OK
	320R+			R+	0,66	25,76	OK	9,65	11,37	OK
321	321L-	183	P9-4	L-	0,69	29,46	OK	10,62	9,81	KO
	321L+			L+	0,69	29,46	OK	10,02	9,81	KO
	321R-	188		R-	1,02	29,46	OK	10,62	9,81	KO
	321R+			R+	1,02	29,46	OK	10,02	9,81	KO
332	332L-	189	P2-0	L-	1,02	20,23	OK	7,54	17,64	OK
	332L+			L+	1,02	20,23	OK	6,72	17,64	OK
	332R-	193		R-	0,88	20,23	OK	7,54	17,64	OK
	332R+			R+	0,88	20,23	OK	6,72	17,64	OK
333	333L-	193	P2-1	L-	0,90	20,50	OK	7,37	17,64	OK
	333L+			L+	0,90	20,50	OK	5,42	17,64	OK
	333R-	197		R-	0,91	20,50	OK	7,37	17,64	OK
	333R+			R+	0,91	20,50	OK	5,42	17,64	OK
334	334L-	197	P2-2	L-	1,04	24,48	OK	7,47	13,46	OK
	334L+			L+	1,04	24,48	OK	4,69	13,46	OK
	334R-	201		R-	1,12	24,48	OK	7,47	13,46	OK
	334R+			R+	1,12	24,48	OK	4,69	13,46	OK

Tabela A. 1 – Resultados locais dos pórticos em X: Verificação de mecanismos da estrutura antes do reforço para combinação CQP+100%E2X+30%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dútil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					SD	SD		SD	SD	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
335	335L-	201	P2-3	L-	1,11	27,34	OK	6,69	12,59	OK
	335L+			L+	1,11	27,34	OK	3,65	12,59	OK
	335R-	205		R-	1,19	27,34	OK	6,69	12,59	OK
	335R+			R+	1,19	27,34	OK	3,65	12,59	OK
336	336L-	205	P2-4	L-	1,22	31,81	OK	5,63	7,02	OK
	336L+			L+	1,22	31,81	OK	3,28	7,02	OK
	336R-	209		R-	1,41	31,81	OK	5,63	7,02	OK
	336R+			R+	1,41	31,81	OK	3,28	7,02	OK
36	36L-	5	V19-1	L-	0,28	23,22	OK	1,20	23,93	OK
	36L+			L+	0,28	31,72	OK	13,38	23,93	OK
	36R-	29		R-	0,24	23,22	OK	13,44	23,93	OK
	36R+			R+	0,24	31,72	OK	13,44	23,93	OK
37	37L-	9	V19-2	L-	0,29	23,22	OK	0,29	23,93	OK
	37L+			L+	0,29	31,72	OK	13,09	23,93	OK
	37R-	34		R-	0,13	23,22	OK	11,95	23,93	OK
	37R+			R+	0,13	31,72	OK	11,95	23,93	OK
38	38L-	13	V6-3	L-	0,46	25,37	OK	8,72	20,21	OK
	38L+			L+	0,46	31,92	OK	18,02	20,21	OK
	38R-	39		R-	0,17	25,37	OK	18,57	20,21	OK
	38R+			R+	0,17	31,92	OK	18,57	20,21	OK
39	39L-	17	V6-4	L-	0,44	25,37	OK	9,28	20,21	OK
	39L+			L+	0,44	31,92	OK	17,46	20,21	OK
	39R-	44		R-	0,12	25,37	OK	18,00	20,21	OK
	39R+			R+	0,12	31,92	OK	18,00	20,21	OK
40	40L-	21	V6-5	L-	0,38	25,37	OK	10,89	20,21	OK
	40L+			L+	0,38	31,92	OK	14,94	20,21	OK
	40R-	49		R-	0,02	25,37	OK	16,39	20,21	OK
	40R+			R+	0,02	31,92	OK	16,39	20,21	OK
81	81L-	29	V19-1	L-	0,25	23,69	OK	1,34	23,93	OK
	81L+			L+	0,25	32,36	OK	13,87	23,93	OK
	81R-	58		R-	0,12	23,69	OK	14,30	23,93	OK
	81R+			R+	0,12	32,36	OK	14,30	23,93	OK
82	82L-	34	V19-2	L-	0,16	23,69	OK	0,88	23,93	OK
	82L+			L+	0,16	32,36	OK	12,71	23,93	OK
	82R-	62		R-	0,01	23,69	OK	13,83	23,93	OK
	82R+			R+	0,01	32,36	OK	13,83	23,93	OK
83	83L-	39	V6-3	L-	0,23	25,88	OK	10,25	20,21	OK
	83L+			L+	0,23	32,57	OK	18,54	20,21	OK
	83R-	67		R-	0,14	25,88	OK	18,63	20,21	OK
	83R+			R+	0,14	32,57	OK	18,63	20,21	OK
84	84L-	44	V6-4	L-	0,20	25,88	OK	8,49	20,21	OK
	84L+			L+	0,20	32,57	OK	19,53	20,21	OK
	84R-	72		R-	0,15	25,88	OK	20,39	20,21	KO
	84R+			R+	0,15	32,57	OK	20,39	20,21	KO

Tabela A. 1 – Resultados locais dos pórticos em X: Verificação de mecanismos da estrutura antes do reforço para combinação CQP+100%E2X+30%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					SD	SD		SD	SD	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
134	134L-	68	V10-3	L-	0,14	14,37	OK	12,29	34,78	OK
	134L+			L+	0,14	20,59	OK	19,41	34,78	OK
	134R-	91		R-	0,11	14,37	OK	16,58	34,78	OK
	134R+			R+	0,11	20,59	OK	16,58	34,78	OK
135	135L-	73	V10-4	L-	0,10	14,37	OK	11,26	34,78	OK
	135L+			L+	0,10	20,59	OK	11,73	34,78	OK
	135R-	93		R-	0,08	14,37	OK	15,55	34,78	OK
	135R+			R+	0,08	20,59	OK	15,55	34,78	OK
136	136L-	78	V10-5	L-	0,05	14,37	OK	4,29	34,78	OK
	136L+			L+	0,05	20,59	OK	1,83	34,78	OK
	136R-	95		R-	0,03	14,37	OK	8,58	34,78	OK
	136R+			R+	0,03	20,59	OK	8,58	34,78	OK
137	137L-	60	V10-1	L-	0,24	14,37	OK	27,96	34,78	OK
	137L+			L+	0,24	20,59	OK	24,52	34,78	OK
	137R-	86		R-	0,21	14,37	OK	32,25	34,78	OK
	137R+			R+	0,21	20,59	OK	32,25	34,78	OK
138	138L-	64	V10-2	L-	0,23	14,37	OK	21,43	34,78	OK
	138L+			L+	0,23	20,59	OK	18,65	34,78	OK
	138R-	89		R-	0,22	14,37	OK	25,72	34,78	OK
	138R+			R+	0,22	20,59	OK	25,72	34,78	OK
139	139L-	69	V10-3	L-	0,16	14,37	OK	14,95	34,78	OK
	139L+			L+	0,16	20,59	OK	12,85	34,78	OK
	139R-	92		R-	0,19	14,37	OK	19,24	34,78	OK
	139R+			R+	0,19	20,59	OK	19,24	34,78	OK
140	140L-	74	V10-4	L-	0,13	14,37	OK	12,89	34,78	OK
	140L+			L+	0,13	20,59	OK	5,96	34,78	OK
	140R-	94		R-	0,14	14,37	OK	17,18	34,78	OK
	140R+			R+	0,14	20,59	OK	17,18	34,78	OK
141	141L-	79	V10-5	L-	0,04	14,37	OK	7,36	34,78	OK
	141L+			L+	0,04	20,59	OK	1,76	34,78	OK
	141R-	96		R-	0,06	14,37	OK	11,65	34,78	OK
	141R+			R+	0,06	20,59	OK	11,65	34,78	OK
162	162L-	61	V5-1	L-	0,56	23,36	OK	5,97	16,50	OK
	162L+			L+	0,56	31,92	OK	9,63	16,50	OK
	162R-	99		R-	0,43	23,36	OK	19,57	16,50	KO
	162R+			R+	0,43	31,92	OK	19,57	16,50	KO
163	163L-	65	V5-2	L-	0,49	23,36	OK	6,76	16,50	OK
	163L+			L+	0,49	31,92	OK	17,43	16,50	KO
	163R-	101		R-	0,37	23,36	OK	18,32	16,50	KO
	163R+			R+	0,37	31,92	OK	18,32	16,50	KO
164	164L-	70	V5-3	L-	0,45	23,36	OK	7,07	16,50	OK
	164L+			L+	0,45	31,92	OK	17,10	16,50	KO
	164R-	106		R-	0,32	23,36	OK	17,49	16,50	KO
	164R+			R+	0,32	31,92	OK	17,49	16,50	KO

Tabela A. 1 – Resultados locais dos pórticos em X: Verificação de mecanismos da estrutura antes do reforço para combinação CQP+100%E2X+30%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					SD	SD		SD	SD	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
165	165L-	75	V5-4	L-	0,43	23,36	OK	6,98	16,50	OK
	165L+			L+	0,43	31,92	OK	17,36	16,50	KO
	165R-	111		R-	0,29	23,36	OK	17,58	16,50	KO
	165R+			R+	0,29	31,92	OK	17,58	16,50	KO
166	166L-	80	V5-5	L-	0,25	23,36	OK	8,98	16,50	OK
	166L+			L+	0,25	31,92	OK	14,87	16,50	OK
	166R-	116		R-	0,13	23,36	OK	15,40	16,50	OK
	166R+			R+	0,13	31,92	OK	15,40	16,50	OK
173	173L-	84	V19-1	L-	0,33	21,14	OK	12,57	23,93	OK
	173L+			L+	0,33	28,87	OK	20,77	23,93	OK
	173R-	120		R-	0,36	21,14	OK	21,93	23,93	OK
	173R+			R+	0,36	28,87	OK	21,46	23,93	OK
174	174L-	87	V19-2	L-	0,43	21,14	OK	17,95	23,93	OK
	174L+			L+	0,43	28,87	OK	23,49	23,93	OK
	174R-	123		R-	0,50	21,14	OK	27,31	23,93	KO
	174R+			R+	0,50	28,87	OK	24,15	23,93	KO
175	175L-	90	V17-3	L-	0,06	17,65	OK	29,57	49,93	OK
	175L+			L+	0,06	22,15	OK	8,33	49,93	OK
	175R-	126		R-	0,17	17,65	OK	99,83	49,93	KO
	175R+			R+	0,17	22,15	OK	99,83	49,93	KO
181	181L-	85	V10-1	L-	0,16	18,32	OK	11,30	34,78	OK
	181L+			L+	0,16	26,24	OK	17,35	34,78	OK
	181R-	121		R-	0,12	18,32	OK	15,54	34,78	OK
	181R+			R+	0,12	26,24	OK	15,54	34,78	OK
182	182L-	88	V10-2	L-	0,22	18,32	OK	16,21	34,78	OK
	182L+			L+	0,22	26,24	OK	26,51	34,78	OK
	182R-	124		R-	0,18	18,32	OK	24,79	34,78	OK
	182R+			R+	0,18	26,24	OK	28,30	34,78	OK
183	183L-	91	V10-3	L-	0,23	18,32	OK	9,24	34,78	OK
	183L+			L+	0,23	26,24	OK	26,46	34,78	OK
	183R-	127		R-	0,14	18,32	OK	26,05	34,78	OK
	183R+			R+	0,14	26,24	OK	26,05	34,78	OK
184	184L-	93	V10-4	L-	0,16	18,32	OK	3,21	34,78	OK
	184L+			L+	0,16	26,24	OK	23,95	34,78	OK
	184R-	129		R-	0,14	18,32	OK	23,56	34,78	OK
	184R+			R+	0,14	26,24	OK	23,56	34,78	OK
185	185L-	95	V10-5	L-	0,10	18,32	OK	5,07	34,78	OK
	185L+			L+	0,10	26,24	OK	18,00	34,78	OK
	185R-	131		R-	0,08	18,32	OK	18,10	34,78	OK
	185R+			R+	0,08	26,24	OK	18,10	34,78	OK
186	186L-	86	V10-1	L-	0,25	18,32	OK	1,34	34,78	OK
	186L+			L+	0,25	26,24	OK	24,14	34,78	OK
	186R-	122		R-	0,14	18,32	OK	25,35	34,78	OK
	186R+			R+	0,14	26,24	OK	25,35	34,78	OK

Tabela A. 1 – Resultados locais dos pórticos em X: Verificação de mecanismos da estrutura antes do reforço para combinação CQP+100%E2X+30%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					SD	SD		SD	SD	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
187	187L-	89	V10-2	L-	0,29	18,32	OK	3,25	34,78	OK
	187L+			L+	0,29	26,24	OK	21,37	34,78	OK
	187R-	125		R-	0,17	18,32	OK	31,84	34,78	OK
	187R+			R+	0,17	26,24	OK	31,84	34,78	OK
188	188L-	92	V10-3	L-	0,30	18,32	OK	2,59	34,78	OK
	188L+			L+	0,30	26,24	OK	20,82	34,78	OK
	188R-	128		R-	0,16	18,32	OK	31,32	34,78	OK
	188R+			R+	0,16	26,24	OK	31,32	34,78	OK
189	189L-	94	V10-4	L-	0,21	18,32	OK	2,24	34,78	OK
	189L+			L+	0,21	26,24	OK	14,11	34,78	OK
	189R-	130		R-	0,16	18,32	OK	27,43	34,78	OK
	189R+			R+	0,16	26,24	OK	27,43	34,78	OK
190	190L-	96	V10-5	L-	0,13	18,32	OK	12,37	34,78	OK
	190L+			L+	0,13	26,24	OK	24,04	34,78	OK
	190R-	132		R-	0,07	18,32	OK	23,96	34,78	OK
	190R+			R+	0,07	26,24	OK	23,96	34,78	OK
221	221L-	99	V5-1	L-	0,44	23,36	OK	5,08	16,50	OK
	221L+			L+	0,44	31,92	OK	9,61	16,50	OK
	221R-	140		R-	0,43	23,36	OK	17,77	16,50	KO
	221R+			R+	0,43	31,92	OK	17,77	16,50	KO
222	222L-	101	V5-2	L-	0,37	23,36	OK	6,38	16,50	OK
	222L+			L+	0,37	31,92	OK	18,43	16,50	KO
	222R-	144		R-	0,33	23,36	OK	17,36	16,50	KO
	222R+			R+	0,33	31,92	OK	17,36	16,50	KO
223	223L-	106	V5-3	L-	0,32	23,36	OK	7,04	16,50	OK
	223L+			L+	0,32	31,92	OK	17,56	16,50	KO
	223R-	149		R-	0,25	23,36	OK	17,06	16,50	KO
	223R+			R+	0,25	31,92	OK	17,06	16,50	KO
224	224L-	111	V5-4	L-	0,30	23,36	OK	6,96	16,50	OK
	224L+			L+	0,30	31,92	OK	17,60	16,50	KO
	224R-	154		R-	0,22	23,36	OK	17,32	16,50	KO
	224R+			R+	0,22	31,92	OK	17,32	16,50	KO
225	225L-	116	V5-5	L-	0,13	23,36	OK	9,80	16,50	OK
	225L+			L+	0,13	31,92	OK	15,38	16,50	OK
	225R-	159		R-	0,01	23,36	OK	14,84	16,50	OK
	225R+			R+	0,01	31,92	OK	14,84	16,50	OK
226	226L-	120	V19-1	L-	0,33	16,58	OK	26,00	23,93	KO
	226L+			L+	0,33	22,65	OK	35,00	23,93	KO
	226R-	137		R-	0,28	16,58	OK	30,68	23,93	KO
	226R+			R+	0,28	22,65	OK	30,68	23,93	KO
227	227L-	123	V19-2	L-	0,46	16,58	OK	24,07	23,93	KO
	227L+			L+	0,46	22,65	OK	34,37	23,93	KO
	227R-	141		R-	0,28	16,58	OK	28,75	23,93	KO
	227R+			R+	0,28	22,65	OK	28,75	23,93	KO

Tabela A. 1 – Resultados locais dos pórticos em X: Verificação de mecanismos da estrutura antes do reforço para combinação CQP+100%E2X+30%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					SD	SD		SD	SD	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
228	228L-	126	V17-3	L-	0,15	13,85	OK	27,38	49,93	OK
	228L+			L+	0,15	17,38	OK	54,70	49,93	KO
	228R-	146		R-	0,37	13,85	OK	17,15	49,93	OK
	228R+			R+	0,37	17,38	OK	17,15	49,93	OK
229	229L-	121	V10-1	L-	0,06	14,37	OK	22,95	34,78	OK
	229L+			L+	0,06	20,59	OK	24,84	34,78	OK
	229R-	138		R-	0,21	14,37	OK	27,24	34,78	OK
	229R+			R+	0,21	20,59	OK	27,24	34,78	OK
230	230L-	124	V10-2	L-	0,10	14,37	OK	18,78	34,78	OK
	230L+			L+	0,10	20,59	OK	20,05	34,78	OK
	230R-	142		R-	0,20	14,37	OK	23,07	34,78	OK
	230R+			R+	0,20	20,59	OK	23,07	34,78	OK
231	231L-	127	V10-3	L-	0,03	14,37	OK	12,95	34,78	OK
	231L+			L+	0,03	20,59	OK	16,54	34,78	OK
	231R-	147		R-	0,14	14,37	OK	17,24	34,78	OK
	231R+			R+	0,14	20,59	OK	17,24	34,78	OK
232	232L-	129	V10-4	L-	0,07	14,37	OK	6,18	34,78	OK
	232L+			L+	0,07	20,59	OK	15,51	34,78	OK
	232R-	152		R-	0,19	14,37	OK	10,47	34,78	OK
	232R+			R+	0,19	20,59	OK	10,47	34,78	OK
233	233L-	131	V10-5	L-	0,01	14,37	OK	2,29	34,78	OK
	233L+			L+	0,01	20,59	OK	8,54	34,78	OK
	233R-	157		R-	0,13	14,37	OK	2,00	34,78	OK
	233R+			R+	0,13	20,59	OK	2,00	34,78	OK
234	234L-	122	V10-1	L-	0,08	14,37	OK	22,85	34,78	OK
	234L+			L+	0,08	20,59	OK	31,05	34,78	OK
	234R-	139		R-	0,20	14,37	OK	27,14	34,78	OK
	234R+			R+	0,20	20,59	OK	27,14	34,78	OK
235	235L-	125	V10-2	L-	0,08	14,37	OK	16,74	34,78	OK
	235L+			L+	0,08	20,59	OK	25,51	34,78	OK
	235R-	143		R-	0,18	14,37	OK	21,02	34,78	OK
	235R+			R+	0,18	20,59	OK	21,02	34,78	OK
236	236L-	128	V10-3	L-	0,02	14,37	OK	10,49	34,78	OK
	236L+			L+	0,02	20,59	OK	19,47	34,78	OK
	236R-	148		R-	0,09	14,37	OK	14,77	34,78	OK
	236R+			R+	0,09	20,59	OK	14,77	34,78	OK
237	237L-	130	V10-4	L-	0,07	14,37	OK	2,79	34,78	OK
	237L+			L+	0,07	20,59	OK	17,41	34,78	OK
	237R-	153		R-	0,17	14,37	OK	7,08	34,78	OK
	237R+			R+	0,17	20,59	OK	7,08	34,78	OK
238	238L-	132	V10-5	L-	0,00	14,37	OK	6,28	34,78	OK
	238L+			L+	0,00	20,59	OK	11,59	34,78	OK
	238R-	158		R-	0,15	14,37	OK	1,99	34,78	OK
	238R+			R+	0,15	20,59	OK	1,99	34,78	OK

Tabela A. 1 – Resultados locais dos pórticos em X: Verificação de mecanismos da estrutura antes do reforço para combinação CQP+100%E2X+30%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					SD	SD		SD	SD	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
277	277L-	137	V19-1	L-	0,25	23,69	OK	0,92	23,93	OK
	277L+			L+	0,25	32,36	OK	14,29	23,93	OK
	277R-	164		R-	0,24	23,69	OK	13,88	23,93	OK
	277R+			R+	0,24	32,36	OK	13,88	23,93	OK
278	278L-	141	V19-2	L-	0,23	23,69	OK	0,25	23,93	OK
	278L+			L+	0,23	32,36	OK	13,80	23,93	OK
	278R-	169		R-	0,13	23,69	OK	12,70	23,93	OK
	278R+			R+	0,13	32,36	OK	12,70	23,93	OK
279	279L-	146	V6-3	L-	0,28	25,88	OK	10,36	20,21	OK
	279L+			L+	0,28	32,57	OK	18,60	20,21	OK
	279R-	174		R-	0,19	25,88	OK	18,52	20,21	OK
	279R+			R+	0,19	32,57	OK	18,52	20,21	OK
280	280L-	151	V6-4	L-	0,44	25,88	OK	9,34	20,21	OK
	280L+			L+	0,44	32,57	OK	20,37	20,21	KO
	280R-	179		R-	0,18	25,88	OK	19,55	20,21	OK
	280R+			R+	0,18	32,57	OK	19,55	20,21	OK
281	281L-	156	V6-5	L-	0,30	25,88	OK	11,60	20,21	OK
	281L+			L+	0,30	32,57	OK	17,49	20,21	OK
	281R-	184		R-	0,04	25,88	OK	17,28	20,21	OK
	281R+			R+	0,04	32,57	OK	17,28	20,21	OK
282	282L-	140	V4-1	L-	0,46	27,93	OK	2,30	16,50	OK
	282L+			L+	0,46	33,52	OK	10,70	16,50	OK
	282R-	168		R-	0,85	27,93	OK	10,39	16,50	OK
	282R+			R+	0,85	33,52	OK	10,39	16,50	OK
283	283L-	144	V4-2	L-	0,37	27,93	OK	1,64	16,50	OK
	283L+			L+	0,37	33,52	OK	10,00	16,50	OK
	283R-	173		R-	0,72	27,93	OK	9,73	16,50	OK
	283R+			R+	0,72	33,52	OK	9,73	16,50	OK
284	284L-	149	V4-3	L-	0,30	27,93	OK	1,43	16,50	OK
	284L+			L+	0,30	33,52	OK	9,79	16,50	OK
	284R-	178		R-	0,69	27,93	OK	9,53	16,50	OK
	284R+			R+	0,69	33,52	OK	9,53	16,50	OK
285	285L-	154	V4-4	L-	0,26	27,93	OK	1,50	16,50	OK
	285L+			L+	0,26	33,52	OK	9,76	16,50	OK
	285R-	183		R-	0,69	27,93	OK	9,59	16,50	OK
	285R+			R+	0,69	33,52	OK	9,59	16,50	OK
286	286L-	159	V4-5	L-	0,02	27,93	OK	1,00	16,50	OK
	286L+			L+	0,02	33,52	OK	7,48	16,50	OK
	286R-	188		R-	0,35	27,93	OK	7,10	16,50	OK
	286R+			R+	0,35	33,52	OK	7,10	16,50	OK
322	322L-	164	V19-1	L-	0,23	23,22	OK	1,17	23,93	OK
	322L+			L+	0,23	31,72	OK	13,42	23,93	OK
	322R-	193		R-	0,07	23,22	OK	13,40	23,93	OK
	322R+			R+	0,07	31,72	OK	13,40	23,93	OK

Tabela A. 1 – Resultados locais dos pórticos em X: Verificação de mecanismos da estrutura antes do reforço para combinação CQP+100%E2X+30%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					SD	SD		SD	SD	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
323	323L-	169	V19-2	L-	0,11	23,22	OK	0,88	23,93	OK
	323L+			L+	0,11	31,72	OK	11,93	23,93	OK
	323R-	197		R-	0,01	23,22	OK	13,12	23,93	OK
	323R+			R+	0,01	31,72	OK	13,12	23,93	OK
324	324L-	174	V6-3	L-	0,13	25,37	OK	9,23	20,21	OK
	324L+			L+	0,13	31,92	OK	18,54	20,21	OK
	324R-	201		R-	0,13	25,37	OK	18,05	20,21	OK
	324R+			R+	0,13	31,92	OK	18,05	20,21	OK
325	325L-	179	V6-4	L-	0,10	25,37	OK	9,82	20,21	OK
	325L+			L+	0,10	31,92	OK	17,97	20,21	OK
	325R-	205		R-	0,23	25,37	OK	17,46	20,21	OK
	325R+			R+	0,23	31,92	OK	17,46	20,21	OK
326	326L-	184	V6-5	L-	0,06	25,37	OK	12,36	20,21	OK
	326L+			L+	0,06	31,92	OK	16,37	20,21	OK
	326R-	209		R-	0,43	25,37	OK	14,92	20,21	OK
	326R+			R+	0,43	31,92	OK	14,92	20,21	OK

Tabela A. 2 – Resultados locais dos pórticos em Y: Verificação de mecanismos da estrutura antes do reforço para combinação CQP+30%E2X+100%E2Y.

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					SD	SD		SD	SD	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
1	1L-	1	P2-0	L-	0,82	20,23	OK	20,50	17,64	KO
	1L+			L+	0,82	20,23	OK	24,26	17,64	KO
	1R-	5		R-	0,21	20,23	OK	20,50	17,64	KO
	1R+			R+	0,21	20,23	OK	24,26	17,64	KO
2	2L-	5	P2-1	L-	0,37	20,50	OK	12,02	17,64	OK
	2L+			L+	0,37	20,50	OK	19,54	17,64	KO
	2R-	9		R-	0,43	20,50	OK	12,02	17,64	OK
	2R+			R+	0,43	20,50	OK	19,54	17,64	KO
3	3L-	9	P2-2	L-	0,48	24,48	OK	9,42	13,46	OK
	3L+			L+	0,48	24,48	OK	15,08	13,46	KO
	3R-	13		R-	0,65	24,48	OK	9,42	13,46	OK
	3R+			R+	0,65	24,48	OK	15,08	13,46	KO
4	4L-	13	P2-3	L-	0,69	27,34	OK	6,03	12,59	OK
	4L+			L+	0,69	27,34	OK	10,62	12,59	OK
	4R-	17		R-	0,88	27,34	OK	6,03	12,59	OK
	4R+			R+	0,88	27,34	OK	10,62	12,59	OK
5	5L-	17	P2-4	L-	1,48	31,81	OK	4,90	7,02	OK
	5L+			L+	1,48	31,81	OK	7,10	7,02	KO
	5R-	21		R-	1,78	31,81	OK	4,90	7,02	OK
	5R+			R+	1,78	31,81	OK	7,10	7,02	KO
11	11L-	2	P3-0	L-	0,82	19,66	OK	27,09	17,64	KO
	11L+			L+	0,82	19,66	OK	28,16	17,64	KO
	11R-	6		R-	0,38	19,66	OK	27,09	17,64	KO
	11R+			R+	0,38	19,66	OK	28,16	17,64	KO
12	12L-	6	P3-1	L-	0,54	20,05	OK	24,93	17,64	KO
	12L+			L+	0,54	20,05	OK	27,33	17,64	KO
	12R-	10		R-	0,60	20,05	OK	24,93	17,64	KO
	12R+			R+	0,60	20,05	OK	27,33	17,64	KO
13	13L-	10	P3-2	L-	0,65	23,95	OK	17,30	13,46	KO
	13L+			L+	0,65	23,95	OK	19,04	13,46	KO
	13R-	14		R-	0,81	23,95	OK	17,30	13,46	KO
	13R+			R+	0,81	23,95	OK	19,04	13,46	KO
14	14L-	14	P3-3	L-	0,85	26,73	OK	10,29	12,59	OK
	14L+			L+	0,85	26,73	OK	11,88	12,59	OK
	14R-	18		R-	0,98	26,73	OK	10,29	12,59	OK
	14R+			R+	0,98	26,73	OK	11,88	12,59	OK
15	15L-	18	P3-4	L-	1,58	31,09	OK	6,36	7,02	OK
	15L+			L+	1,58	31,09	OK	7,02	7,02	KO
	15R-	22		R-	1,67	31,09	OK	6,36	7,02	OK
	15R+			R+	1,67	31,09	OK	7,02	7,02	KO
21	21L-	3	P4-0	L-	0,82	19,63	OK	27,82	17,64	KO
	21L+			L+	0,82	19,63	OK	27,41	17,64	KO
	21R-	7		R-	0,35	19,63	OK	27,82	17,64	KO
	21R+			R+	0,35	19,63	OK	27,41	17,64	KO

Tabela A. 2 – Resultados locais dos pórticos em Y: Verificação de mecanismos da estrutura antes do reforço para combinação CQP+30%E2X+100%E2Y (continuação).

N		Nó	Nome		Verif. Segurança Mec. Dútil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
					Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					SD	SD		SD	SD	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
22	22L-	7	P4-1	L-	0,51	20,02	OK	26,94	17,64	KO
	22L+			L+	0,51	20,02	OK	25,30	17,64	KO
	22R-	11		R-	0,55	20,02	OK	26,94	17,64	KO
	22R+			R+	0,55	20,02	OK	25,30	17,64	KO
23	23L-	11	P4-2	L-	0,59	23,92	OK	19,04	13,46	KO
	23L+			L+	0,59	23,92	OK	17,33	13,46	KO
	23R-	15		R-	0,73	23,92	OK	19,04	13,46	KO
	23R+			R+	0,73	23,92	OK	17,33	13,46	KO
24	24L-	15	P4-3	L-	0,77	26,70	OK	11,36	12,59	OK
	24L+			L+	0,77	26,70	OK	10,86	12,59	OK
	24R-	19		R-	0,87	26,70	OK	11,36	12,59	OK
	24R+			R+	0,87	26,70	OK	10,86	12,59	OK
25	25L-	19	P4-4	L-	1,47	31,06	OK	6,73	7,02	OK
	25L+			L+	1,47	31,06	OK	6,67	7,02	OK
	25R-	23		R-	1,55	31,06	OK	6,73	7,02	OK
	25R+			R+	1,55	31,06	OK	6,67	7,02	OK
31	31L-	4	P5-0	L-	0,82	20,12	OK	23,63	17,64	KO
	31L+			L+	0,82	20,12	OK	20,69	17,64	KO
	31R-	8		R-	0,06	20,12	OK	23,63	17,64	KO
	31R+			R+	0,06	20,12	OK	20,69	17,64	KO
32	32L-	8	P5-1	L-	0,22	20,44	OK	18,60	17,64	KO
	32L+			L+	0,22	20,44	OK	12,14	17,64	OK
	32R-	12		R-	0,27	20,44	OK	18,60	17,64	KO
	32R+			R+	0,27	20,44	OK	12,14	17,64	OK
33	33L-	12	P5-2	L-	0,31	24,47	OK	14,87	13,46	KO
	33L+			L+	0,31	24,47	OK	9,29	13,46	OK
	33R-	16		R-	0,34	24,47	OK	14,87	13,46	KO
	33R+			R+	0,34	24,47	OK	9,29	13,46	OK
34	34L-	16	P5-3	L-	0,38	27,33	OK	10,11	12,59	OK
	34L+			L+	0,38	27,33	OK	6,52	12,59	OK
	34R-	20		R-	0,40	27,33	OK	10,11	12,59	OK
	34R+			R+	0,40	27,33	OK	6,52	12,59	OK
35	35L-	20	P5-4	L-	1,01	31,79	OK	6,80	7,02	OK
	35L+			L+	1,01	31,79	OK	5,21	7,02	OK
	35R-	24		R-	1,06	31,79	OK	6,80	7,02	OK
	35R+			R+	1,06	31,79	OK	5,21	7,02	OK
46	46L-	25	P6-0	L-	0,79	24,19	OK	13,21	11,20	KO
	46L+			L+	0,79	24,19	OK	17,22	11,20	KO
	46R-	29		R-	0,58	24,19	OK	13,21	11,20	KO
	46R+			R+	0,58	24,19	OK	17,22	11,20	KO
47	47L-	29	P6-1	L-	0,74	24,67	OK	10,73	11,20	OK
	47L+			L+	0,74	24,67	OK	18,14	11,20	KO
	47R-	34		R-	0,70	24,67	OK	10,73	11,20	OK
	47R+			R+	0,70	24,67	OK	18,14	11,20	KO

Tabela A. 2 – Resultados locais dos pórticos em Y: Verificação de mecanismos da estrutura antes do reforço para combinação CQP+30%E2X+100%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					SD	SD		SD	SD	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
48	48L-	34	P6-2	L-	0,73	24,75	OK	9,64	11,37	OK
	48L+			L+	0,73	24,75	OK	15,78	11,37	KO
	48R-	39		R-	0,68	24,75	OK	9,64	11,37	OK
	48R+			R+	0,68	24,75	OK	15,78	11,37	KO
49	49L-	39	P6-3	L-	0,73	25,51	OK	10,73	11,37	OK
	49L+			L+	0,73	25,51	OK	19,20	11,37	KO
	49R-	44		R-	0,70	25,51	OK	10,73	11,37	OK
	49R+			R+	0,70	25,51	OK	19,20	11,37	KO
50	50L-	44	P6-4	L-	1,29	29,23	OK	10,76	9,81	KO
	50L+			L+	1,29	29,23	OK	15,53	9,81	KO
	50R-	49		R-	1,64	29,23	OK	15,53	9,81	KO
	50R+			R+	1,64	29,23	OK	15,87	9,81	KO
56	56L-	26	P7-0	L-	0,79	21,90	OK	31,00	15,55	KO
	56L+			L+	0,79	21,90	OK	31,53	15,55	KO
	56R-	30		R-	0,42	21,90	OK	31,00	15,55	KO
	56R+			R+	0,42	21,90	OK	31,53	15,55	KO
57	57L-	30	P7-1	L-	0,57	22,47	OK	28,84	15,55	KO
	57L+			L+	0,57	22,47	OK	30,21	15,55	KO
	57R-	35		R-	0,57	22,47	OK	28,84	15,55	KO
	57R+			R+	0,57	22,47	OK	30,21	15,55	KO
58	58L-	35	P7-2	L-	0,61	22,61	OK	28,01	15,55	KO
	58L+			L+	0,61	22,61	OK	29,50	15,55	KO
	58R-	40		R-	0,68	22,61	OK	28,01	15,55	KO
	58R+			R+	0,68	22,61	OK	29,50	15,55	KO
59	59L-	40	P7-3	L-	0,72	24,93	OK	18,49	11,37	KO
	59L+			L+	0,72	24,93	OK	20,62	11,37	KO
	59R-	45		R-	0,85	24,93	OK	18,49	11,37	KO
	59R+			R+	0,85	24,93	OK	20,62	11,37	KO
60	60L-	45	P7-4	L-	1,44	28,50	OK	14,83	7,19	KO
	60L+			L+	1,44	28,50	OK	15,86	7,19	KO
	60R-	50		R-	1,51	28,50	OK	14,83	7,19	KO
	60R+			R+	1,51	28,50	OK	15,86	7,19	KO
66	66L-	27	P8-0	L-	0,79	21,66	OK	29,45	15,55	KO
	66L+			L+	0,79	21,66	OK	31,90	15,55	KO
	66R-	31		R-	0,44	21,66	OK	29,45	15,55	KO
	66R+			R+	0,44	21,66	OK	31,90	15,55	KO
67	67L-	31	P8-1	L-	0,59	22,28	OK	26,72	15,55	KO
	67L+			L+	0,59	22,28	OK	30,35	15,55	KO
	67R-	36		R-	0,56	22,28	OK	26,72	15,55	KO
	67R+			R+	0,56	22,28	OK	30,35	15,55	KO
68	68L-	36	P8-2	L-	0,60	22,43	OK	27,14	15,55	KO
	68L+			L+	0,60	22,43	OK	29,43	15,55	KO
	68R-	41		R-	0,68	22,43	OK	27,14	15,55	KO
	68R+			R+	0,68	22,43	OK	29,43	15,55	KO

Tabela A. 2 – Resultados locais dos pórticos em Y: Verificação de mecanismos da estrutura antes do reforço para combinação CQP+30%E2X+100%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					SD	SD		SD	SD	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
69	69L-	41	P8-3	L-	0,73	24,73	OK	18,35	11,37	KO
	69L+			L+	0,73	24,73	OK	20,72	11,37	KO
	69R-	46		R-	0,85	24,73	OK	18,35	11,37	KO
	69R+			R+	0,85	24,73	OK	20,72	11,37	KO
70	70L-	46	P8-4	L-	1,45	28,29	OK	14,49	7,19	KO
	70L+			L+	1,45	28,29	OK	16,40	7,19	KO
	70R-	51		R-	1,66	28,29	OK	14,49	7,19	KO
	70R+			R+	1,66	28,29	OK	16,40	7,19	KO
76	76L-	28	P9-0	L-	0,79	24,38	OK	18,16	11,20	KO
	76L+			L+	0,79	24,38	OK	10,95	11,20	OK
	76R-	33		R-	0,08	24,38	OK	18,16	11,20	KO
	76R+			R+	0,08	24,38	OK	10,95	11,20	OK
77	77L-	33	P9-1	L-	0,23	24,91	OK	20,25	11,20	KO
	77L+			L+	0,23	24,91	OK	6,41	11,20	OK
	77R-	38		R-	0,26	24,91	OK	20,25	11,20	KO
	77R+			R+	0,26	24,91	OK	6,41	11,20	OK
78	78L-	38	P9-2	L-	0,29	25,11	OK	18,18	11,37	KO
	78L+			L+	0,29	25,11	OK	5,79	11,37	OK
	78R-	43		R-	0,16	25,11	OK	18,18	11,37	KO
	78R+			R+	0,16	25,11	OK	5,79	11,37	OK
79	79L-	43	P9-3	L-	0,20	25,77	OK	21,57	11,37	KO
	79L+			L+	0,20	25,77	OK	6,76	11,37	OK
	79R-	48		R-	0,02	25,77	OK	21,57	11,37	KO
	79R+			R+	0,02	25,77	OK	6,76	11,37	OK
80	80L-	48	P9-4	L-	0,61	29,46	OK	14,40	9,81	KO
	80L+			L+	0,61	29,46	OK	8,76	9,81	OK
	80R-	53		R-	0,47	29,46	OK	17,41	9,81	KO
	80R+			R+	0,47	29,46	OK	14,40	9,81	KO
94	94L-	54	P10-0	L-	0,77	24,98	OK	13,61	11,20	KO
	94L+			L+	0,77	24,98	OK	15,64	11,20	KO
	94R-	58		R-	0,49	24,98	OK	13,61	11,20	KO
	94R+			R+	0,49	24,98	OK	15,64	11,20	KO
95	95L-	58	P10-1	L-	0,63	25,30	OK	11,36	11,20	KO
	95L+			L+	0,63	25,30	OK	15,83	11,20	KO
	95R-	62		R-	0,62	25,30	OK	11,36	11,20	KO
	95R+			R+	0,62	25,30	OK	15,83	11,20	KO
96	96L-	62	P10-2	L-	0,65	25,31	OK	9,91	11,37	OK
	96L+			L+	0,65	25,31	OK	13,38	11,37	KO
	96R-	67		R-	0,55	25,31	OK	9,91	11,37	OK
	96R+			R+	0,55	25,31	OK	13,38	11,37	KO
97	97L-	67	P10-3	L-	0,60	25,51	OK	12,57	11,37	KO
	97L+			L+	0,60	25,51	OK	16,72	11,37	KO
	97R-	72		R-	0,59	25,51	OK	12,57	11,37	KO
	97R+			R+	0,59	25,51	OK	16,72	11,37	KO

Tabela A. 2 – Resultados locais dos pórticos em Y: Verificação de mecanismos da estrutura antes do reforço para combinação CQP+30%E2X+100%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					SD	SD		SD	SD	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
98	98L-	72	P10-4	L-	1,18	29,12	OK	12,02	9,81	KO
	98L+			L+	1,18	29,12	OK	14,43	9,81	KO
	98R-	77		R-	1,36	29,12	OK	14,43	9,81	KO
	98R+			R+	1,36	29,12	OK	14,31	9,81	KO
104	104L-	55	P11-0	L-	0,77	22,22	OK	27,33	15,55	KO
	104L+			L+	0,77	22,22	OK	31,83	15,55	KO
	104R-	59		R-	0,46	22,22	OK	27,33	15,55	KO
	104R+			R+	0,46	22,22	OK	31,83	15,55	KO
105	105L-	59	P11-1	L-	0,60	22,71	OK	22,61	15,55	KO
	105L+			L+	0,60	22,71	OK	31,59	15,55	KO
	105R-	63		R-	0,59	22,71	OK	22,61	15,55	KO
	105R+			R+	0,59	22,71	OK	31,59	15,55	KO
106	106L-	63	P11-2	L-	0,62	22,84	OK	21,79	15,55	KO
	106L+			L+	0,62	22,84	OK	31,04	15,55	KO
	106R-	68		R-	0,73	22,84	OK	21,79	15,55	KO
	106R+			R+	0,73	22,84	OK	31,04	15,55	KO
107	107L-	68	P11-3	L-	0,79	25,11	OK	14,61	11,37	KO
	107L+			L+	0,79	25,11	OK	22,07	11,37	KO
	107R-	73		R-	0,93	25,11	OK	14,61	11,37	KO
	107R+			R+	0,93	25,11	OK	22,07	11,37	KO
108	108L-	73	P11-4	L-	1,52	28,47	OK	12,43	7,19	KO
	108L+			L+	1,52	28,47	OK	17,04	7,19	KO
	108R-	78		R-	1,76	28,47	OK	12,43	7,19	KO
	108R+			R+	1,76	28,47	OK	17,04	7,19	KO
114	114L-	56	P12-0	L-	0,77	21,80	OK	28,12	15,55	KO
	114L+			L+	0,77	21,80	OK	28,38	15,55	KO
	114R-	60		R-	0,33	21,80	OK	28,12	15,55	KO
	114R+			R+	0,33	21,80	OK	28,38	15,55	KO
115	115L-	60	P12-1	L-	0,47	22,34	OK	24,59	15,55	KO
	115L+			L+	0,47	22,34	OK	25,00	15,55	KO
	115R-	64		R-	0,47	22,34	OK	24,59	15,55	KO
	115R+			R+	0,47	22,34	OK	25,00	15,55	KO
116	116L-	64	P12-2	L-	0,50	22,47	OK	25,01	15,55	KO
	116L+			L+	0,50	22,47	OK	24,95	15,55	KO
	116R-	69		R-	0,57	22,47	OK	25,01	15,55	KO
	116R+			R+	0,57	22,47	OK	24,95	15,55	KO
117	117L-	69	P12-3	L-	0,62	24,71	OK	17,90	11,37	KO
	117L+			L+	0,62	24,71	OK	18,42	11,37	KO
	117R-	74		R-	0,73	24,71	OK	17,90	11,37	KO
	117R+			R+	0,73	24,71	OK	18,42	11,37	KO
118	118L-	74	P12-4	L-	1,32	28,02	OK	14,58	7,19	KO
	118L+			L+	1,32	28,02	OK	15,19	7,19	KO
	118R-	79		R-	1,48	28,02	OK	14,58	7,19	KO
	118R+			R+	1,48	28,02	OK	15,19	7,19	KO

Tabela A. 2 – Resultados locais dos pórticos em Y: Verificação de mecanismos da estrutura antes do reforço para combinação CQP+30%E2X+100%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					SD	SD		SD	SD	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
124	124L-	57	P13-0	L-	0,77	24,00	OK	16,63	11,20	KO
	124L+			L+	0,77	24,00	OK	11,47	11,20	KO
	124R-	61		R-	0,15	24,00	OK	16,63	11,20	KO
	124R+			R+	0,15	24,00	OK	11,47	11,20	KO
125	125L-	61	P13-1	L-	0,29	24,58	OK	17,86	11,20	KO
	125L+			L+	0,29	24,58	OK	7,71	11,20	OK
	125R-	65		R-	0,30	24,58	OK	17,86	11,20	KO
	125R+			R+	0,30	24,58	OK	7,71	11,20	OK
126	126L-	65	P13-2	L-	0,33	24,79	OK	15,95	11,37	KO
	126L+			L+	0,33	24,79	OK	6,86	11,37	OK
	126R-	70		R-	0,23	24,79	OK	15,95	11,37	KO
	126R+			R+	0,23	24,79	OK	6,86	11,37	OK
127	127L-	70	P13-3	L-	0,28	25,51	OK	18,93	11,37	KO
	127L+			L+	0,28	25,51	OK	8,75	11,37	OK
	127R-	75		R-	0,14	25,51	OK	18,93	11,37	KO
	127R+			R+	0,14	25,51	OK	8,75	11,37	OK
128	128L-	75	P13-4	L-	0,73	29,14	OK	11,31	9,81	KO
	128L+			L+	0,73	29,14	OK	9,36	9,81	OK
	128R-	80		R-	0,52	29,14	OK	16,34	9,81	KO
	128R+			R+	0,52	29,14	OK	11,31	9,81	KO
142	142L-	81	P16-0	L-	0,77	25,40	OK	13,74	11,37	KO
	142L+			L+	0,77	25,40	OK	15,63	11,37	KO
	142R-	84		R-	0,30	25,40	OK	13,74	11,37	KO
	142R+			R+	0,30	25,40	OK	15,63	11,37	KO
143	143L-	84	P16-1	L-	0,44	25,67	OK	7,99	11,37	OK
	143L+			L+	0,44	25,67	OK	11,62	11,37	KO
	143R-	87		R-	0,33	25,67	OK	7,99	11,37	OK
	143R+			R+	0,33	25,67	OK	11,62	11,37	KO
147	147L-	82	P15-0	L-	0,77	24,82	OK	12,81	9,96	KO
	147L+			L+	0,77	24,82	OK	18,35	9,96	KO
	147R-	85		R-	0,78	24,82	OK	12,81	9,96	KO
	147R+			R+	0,78	24,82	OK	18,35	9,96	KO
148	148L-	85	P15-1	L-	0,92	25,63	OK	10,40	9,96	KO
	148L+			L+	0,92	25,63	OK	21,25	9,96	KO
	148R-	88		R-	0,90	25,63	OK	10,40	9,96	KO
	148R+			R+	0,90	25,63	OK	21,25	9,96	KO
149	149L-	88	P15-2	L-	0,92	26,82	OK	5,76	11,41	OK
	149L+			L+	0,92	26,82	OK	13,71	11,41	KO
	149R-	91		R-	0,97	26,82	OK	5,76	11,41	OK
	149R+			R+	0,97	26,82	OK	13,71	11,41	KO
150	150L-	91	P15-3	L-	1,03	27,59	OK	6,45	11,64	OK
	150L+			L+	1,03	27,59	OK	17,37	11,64	KO
	150R-	93		R-	1,12	27,59	OK	6,45	11,64	OK
	150R+			R+	1,12	27,59	OK	17,37	11,64	KO

Tabela A. 2 – Resultados locais dos pórticos em Y: Verificação de mecanismos da estrutura antes do reforço para combinação CQP+30%E2X+100%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					SD	SD		SD	SD	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
151	151L-	93	P15-4	L-	1,71	30,87	OK	4,29	7,02	OK
	151L+			L+	1,71	30,87	OK	7,93	7,02	KO
	151R-	95		R-	2,10	30,87	OK	4,29	7,02	OK
	151R+			R+	2,10	30,87	OK	7,93	7,02	KO
157	157L-	83	P15-0	L-	0,77	24,37	OK	16,96	9,96	KO
	157L+			L+	0,77	24,37	OK	10,45	9,96	KO
	157R-	86		R-	0,01	24,37	OK	16,96	9,96	KO
	157R+			R+	0,01	24,37	OK	10,45	9,96	KO
158	158L-	86	P15-1	L-	0,16	25,16	OK	18,13	9,96	KO
	158L+			L+	0,16	25,16	OK	7,23	9,96	OK
	158R-	89		R-	0,31	25,16	OK	18,13	9,96	KO
	158R+			R+	0,31	25,16	OK	7,23	9,96	OK
159	159L-	89	P15-2	L-	0,33	26,34	OK	12,08	11,41	KO
	159L+			L+	0,33	26,34	OK	5,92	11,41	OK
	159R-	92		R-	0,32	26,34	OK	12,08	11,41	KO
	159R+			R+	0,32	26,34	OK	5,92	11,41	OK
160	160L-	92	P15-3	L-	0,38	27,23	OK	15,69	11,64	KO
	160L+			L+	0,38	27,23	OK	8,66	11,64	OK
	160R-	94		R-	0,40	27,23	OK	15,69	11,64	KO
	160R+			R+	0,40	27,23	OK	8,66	11,64	OK
161	161L-	94	P15-4	L-	0,99	30,38	OK	7,30	7,02	KO
	161L+			L+	0,99	30,38	OK	5,12	7,02	OK
	161R-	96		R-	1,06	30,38	OK	7,30	7,02	KO
	161R+			R+	1,06	30,38	OK	5,12	7,02	OK
201	201L-	117	P16-0	L-	0,79	25,40	OK	14,01	11,37	KO
	201L+			L+	0,79	25,40	OK	15,86	11,37	KO
	201R-	120		R-	0,30	25,40	OK	14,01	11,37	KO
	201R+			R+	0,30	25,40	OK	15,86	11,37	KO
202	202L-	120	P16-1	L-	0,45	25,67	OK	8,13	11,37	OK
	202L+			L+	0,45	25,67	OK	11,70	11,37	KO
	202R-	123		R-	0,33	25,67	OK	8,13	11,37	OK
	202R+			R+	0,33	25,67	OK	11,70	11,37	KO
206	206L-	118	P15-0	L-	0,79	24,83	OK	12,68	9,96	KO
	206L+			L+	0,79	24,83	OK	18,01	9,96	KO
	206R-	121		R-	0,81	24,83	OK	12,68	9,96	KO
	206R+			R+	0,81	24,83	OK	18,01	9,96	KO
207	207L-	121	P15-1	L-	0,95	25,63	OK	10,37	9,96	KO
	207L+			L+	0,95	25,63	OK	20,79	9,96	KO
	207R-	124		R-	0,93	25,63	OK	10,37	9,96	KO
	207R+			R+	0,93	25,63	OK	20,79	9,96	KO
208	208L-	124	P15-2	L-	0,96	26,83	OK	5,73	11,41	OK
	208L+			L+	0,96	26,83	OK	13,42	11,41	KO
	208R-	127		R-	1,01	26,83	OK	5,73	11,41	OK
	208R+			R+	1,01	26,83	OK	13,42	11,41	KO

Tabela A. 2 – Resultados locais dos pórticos em Y: Verificação de mecanismos da estrutura antes do reforço para combinação CQP+30%E2X+100%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					SD	SD		SD	SD	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
209	209L-	127	P15-3	L-	1,07	27,59	OK	6,48	11,64	OK
	209L+			L+	1,07	27,59	OK	17,15	11,64	KO
	209R-	129		R-	1,15	27,59	OK	6,48	11,64	OK
	209R+			R+	1,15	27,59	OK	17,15	11,64	KO
210	210L-	129	P15-4	L-	1,75	30,87	OK	4,35	7,02	OK
	210L+			L+	1,75	30,87	OK	8,01	7,02	KO
	210R-	131		R-	2,13	30,87	OK	4,35	7,02	OK
	210R+			R+	2,13	30,87	OK	8,01	7,02	KO
216	216L-	119	P15-0	L-	0,79	24,36	OK	16,91	9,96	KO
	216L+			L+	0,79	24,36	OK	10,02	9,96	KO
	216R-	122		R-	0,05	24,36	OK	16,91	9,96	KO
	216R+			R+	0,05	24,36	OK	10,02	9,96	KO
217	217L-	122	P15-1	L-	0,20	25,15	OK	18,22	9,96	KO
	217L+			L+	0,20	25,15	OK	6,52	9,96	OK
	217R-	125		R-	0,34	25,15	OK	18,22	9,96	KO
	217R+			R+	0,34	25,15	OK	6,52	9,96	OK
218	218L-	125	P15-2	L-	0,37	26,33	OK	11,98	11,41	KO
	218L+			L+	0,37	26,33	OK	5,47	11,41	OK
	218R-	128		R-	0,36	26,33	OK	11,98	11,41	KO
	218R+			R+	0,36	26,33	OK	5,47	11,41	OK
219	219L-	128	P15-3	L-	0,42	27,23	OK	15,64	11,64	KO
	219L+			L+	0,42	27,23	OK	8,29	11,64	OK
	219R-	130		R-	0,43	27,23	OK	15,64	11,64	KO
	219R+			R+	0,43	27,23	OK	8,29	11,64	OK
220	220L-	130	P15-4	L-	1,02	30,37	OK	7,38	7,02	KO
	220L+			L+	1,02	30,37	OK	5,22	7,02	OK
	220R-	132		R-	1,08	30,37	OK	7,38	7,02	KO
	220R+			R+	1,08	30,37	OK	5,22	7,02	OK
242	242L-	133	P10-0	L-	0,79	24,99	OK	14,08	11,20	KO
	242L+			L+	0,79	24,99	OK	16,05	11,20	KO
	242R-	137		R-	0,49	24,99	OK	14,08	11,20	KO
	242R+			R+	0,49	24,99	OK	16,05	11,20	KO
243	243L-	137	P10-1	L-	0,64	25,31	OK	11,76	11,20	KO
	243L+			L+	0,64	25,31	OK	16,08	11,20	KO
	243R-	141		R-	0,63	25,31	OK	11,76	11,20	KO
	243R+			R+	0,63	25,31	OK	16,08	11,20	KO
244	244L-	141	P10-2	L-	0,66	25,31	OK	10,14	11,37	OK
	244L+			L+	0,66	25,31	OK	13,49	11,37	KO
	244R-	146		R-	0,55	25,31	OK	10,14	11,37	OK
	244R+			R+	0,55	25,31	OK	13,49	11,37	KO
245	245L-	146	P10-3	L-	0,61	25,52	OK	13,00	11,37	KO
	245L+			L+	0,61	25,52	OK	16,97	11,37	KO
	245R-	151		R-	0,60	25,52	OK	13,00	11,37	KO
	245R+			R+	0,60	25,52	OK	16,97	11,37	KO

Tabela A. 2 – Resultados locais dos pórticos em Y: Verificação de mecanismos da estrutura antes do reforço para combinação CQP+30%E2X+100%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					SD	SD		SD	SD	
					θD	θC		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
246	246L-	151	P10-4	L-	1,20	29,12	OK	12,32	9,81	KO
	246L+			L+	1,20	29,12	OK	14,79	9,81	KO
	246R-	156		R-	1,38	29,12	OK	14,79	9,81	KO
	246R+			R+	1,38	29,12	OK	14,57	9,81	KO
252	252L-	134	P11-0	L-	0,79	22,25	OK	28,24	15,55	KO
	252L+			L+	0,79	22,25	OK	32,67	15,55	KO
	252R-	138		R-	0,47	22,25	OK	28,24	15,55	KO
	252R+			R+	0,47	22,25	OK	32,67	15,55	KO
253	253L-	138	P11-1	L-	0,62	22,73	OK	23,36	15,55	KO
	253L+			L+	0,62	22,73	OK	32,23	15,55	KO
	253R-	142		R-	0,61	22,73	OK	23,36	15,55	KO
	253R+			R+	0,61	22,73	OK	32,23	15,55	KO
254	254L-	142	P11-2	L-	0,64	22,85	OK	22,44	15,55	KO
	254L+			L+	0,64	22,85	OK	31,64	15,55	KO
	254R-	147		R-	0,75	22,85	OK	22,44	15,55	KO
	254R+			R+	0,75	22,85	OK	31,64	15,55	KO
255	255L-	147	P11-3	L-	0,81	25,11	OK	15,07	11,37	KO
	255L+			L+	0,81	25,11	OK	22,46	11,37	KO
	255R-	152		R-	0,95	25,11	OK	15,07	11,37	KO
	255R+			R+	0,95	25,11	OK	22,46	11,37	KO
256	256L-	152	P11-4	L-	1,55	28,46	OK	12,76	7,19	KO
	256L+			L+	1,55	28,46	OK	17,39	7,19	KO
	256R-	157		R-	1,79	28,46	OK	12,76	7,19	KO
	256R+			R+	1,79	28,46	OK	17,39	7,19	KO
262	262L-	135	P12-0	L-	0,79	21,76	OK	29,12	15,55	KO
	262L+			L+	0,79	21,76	OK	29,35	15,55	KO
	262R-	139		R-	0,34	21,76	OK	29,12	15,55	KO
	262R+			R+	0,34	21,76	OK	29,35	15,55	KO
263	263L-	139	P12-1	L-	0,49	22,33	OK	25,54	15,55	KO
	263L+			L+	0,49	22,33	OK	25,92	15,55	KO
	263R-	143		R-	0,50	22,33	OK	25,54	15,55	KO
	263R+			R+	0,50	22,33	OK	25,92	15,55	KO
264	264L-	143	P12-2	L-	0,52	22,47	OK	25,83	15,55	KO
	264L+			L+	0,52	22,47	OK	25,80	15,55	KO
	264R-	148		R-	0,59	22,47	OK	25,83	15,55	KO
	264R+			R+	0,59	22,47	OK	25,80	15,55	KO
265	265L-	148	P12-3	L-	0,65	24,71	OK	18,46	11,37	KO
	265L+			L+	0,65	24,71	OK	18,96	11,37	KO
	265R-	153		R-	0,77	24,71	OK	18,46	11,37	KO
	265R+			R+	0,77	24,71	OK	18,96	11,37	KO
266	266L-	153	P12-4	L-	1,36	28,02	OK	14,95	7,19	KO
	266L+			L+	1,36	28,02	OK	15,58	7,19	KO
	266R-	158		R-	1,52	28,02	OK	14,95	7,19	KO
	266R+			R+	1,52	28,02	OK	15,58	7,19	KO

Tabela A. 2 – Resultados locais dos pórticos em Y: Verificação de mecanismos da estrutura antes do reforço para combinação CQP+30%E2X+100%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					SD	SD		SD	SD	
					θD	θC		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
272	272L-	136	P13-0	L-	0,79	24,00	OK	17,16	11,20	KO
	272L+			L+	0,79	24,00	OK	11,94	11,20	KO
	272R-	140		R-	0,16	24,00	OK	17,16	11,20	KO
	272R+			R+	0,16	24,00	OK	11,94	11,20	KO
273	273L-	140	P13-1	L-	0,31	24,58	OK	18,38	11,20	KO
	273L+			L+	0,31	24,58	OK	8,10	11,20	OK
	273R-	144		R-	0,32	24,58	OK	18,38	11,20	KO
	273R+			R+	0,32	24,58	OK	8,10	11,20	OK
274	274L-	144	P13-2	L-	0,35	24,79	OK	16,35	11,37	KO
	274L+			L+	0,35	24,79	OK	7,15	11,37	OK
	274R-	149		R-	0,24	24,79	OK	16,35	11,37	KO
	274R+			R+	0,24	24,79	OK	7,15	11,37	OK
275	275L-	149	P13-3	L-	0,30	25,51	OK	19,50	11,37	KO
	275L+			L+	0,30	25,51	OK	9,18	11,37	OK
	275R-	154		R-	0,16	25,51	OK	19,50	11,37	KO
	275R+			R+	0,16	25,51	OK	9,18	11,37	OK
276	276L-	154	P13-4	L-	0,76	29,14	OK	11,62	9,81	KO
	276L+			L+	0,76	29,14	OK	9,68	9,81	OK
	276R-	159		R-	0,56	29,14	OK	16,69	9,81	KO
	276R+			R+	0,56	29,14	OK	11,62	9,81	KO
287	287L-	160	P6-0	L-	0,82	24,19	OK	13,66	11,20	KO
	287L+			L+	0,82	24,19	OK	17,58	11,20	KO
	287R-	164		R-	0,60	24,19	OK	13,66	11,20	KO
	287R+			R+	0,60	24,19	OK	17,58	11,20	KO
288	288L-	164	P6-1	L-	0,75	24,68	OK	11,13	11,20	OK
	288L+			L+	0,75	24,68	OK	18,39	11,20	KO
	288R-	169		R-	0,72	24,68	OK	11,13	11,20	OK
	288R+			R+	0,72	24,68	OK	18,39	11,20	KO
289	289L-	169	P6-2	L-	0,75	24,75	OK	9,84	11,37	OK
	289L+			L+	0,75	24,75	OK	15,90	11,37	KO
	289R-	174		R-	0,69	24,75	OK	9,84	11,37	OK
	289R+			R+	0,69	24,75	OK	15,90	11,37	KO
290	290L-	174	P6-3	L-	0,75	25,51	OK	11,16	11,37	OK
	290L+			L+	0,75	25,51	OK	19,47	11,37	KO
	290R-	179		R-	0,72	25,51	OK	11,16	11,37	OK
	290R+			R+	0,72	25,51	OK	19,47	11,37	KO
291	291L-	179	P6-4	L-	1,31	29,23	OK	11,03	9,81	KO
	291L+			L+	1,31	29,23	OK	15,52	9,81	KO
	291R-	184		R-	1,66	29,23	OK	15,52	9,81	KO
	291R+			R+	1,66	29,23	OK	16,14	9,81	KO
297	297L-	161	P7-0	L-	0,82	21,90	OK	31,92	15,55	KO
	297L+			L+	0,82	21,90	OK	32,30	15,55	KO
	297R-	165		R-	0,44	21,90	OK	31,92	15,55	KO
	297R+			R+	0,44	21,90	OK	32,30	15,55	KO

Tabela A. 2 – Resultados locais dos pórticos em Y: Verificação de mecanismos da estrutura antes do reforço para combinação CQP+30%E2X+100%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					SD	SD		SD	SD	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
298	298L-	165	P7-1	L-	0,59	22,47	OK	29,70	15,55	KO
	298L+			L+	0,59	22,47	OK	30,79	15,55	KO
	298R-	170		R-	0,59	22,47	OK	29,70	15,55	KO
	298R+			R+	0,59	22,47	OK	30,79	15,55	KO
299	299L-	170	P7-2	L-	0,62	22,62	OK	28,56	15,55	KO
	299L+			L+	0,62	22,62	OK	29,92	15,55	KO
	299R-	175		R-	0,69	22,62	OK	28,56	15,55	KO
	299R+			R+	0,69	22,62	OK	29,92	15,55	KO
300	300L-	175	P7-3	L-	0,75	24,93	OK	19,05	11,37	KO
	300L+			L+	0,75	24,93	OK	21,00	11,37	KO
	300R-	180		R-	0,87	24,93	OK	19,05	11,37	KO
	300R+			R+	0,87	24,93	OK	21,00	11,37	KO
301	301L-	180	P7-4	L-	1,47	28,50	OK	15,16	7,19	KO
	301L+			L+	1,47	28,50	OK	16,19	7,19	KO
	301R-	185		R-	1,55	28,50	OK	15,16	7,19	KO
	301R+			R+	1,55	28,50	OK	16,19	7,19	KO
307	307L-	162	P8-0	L-	0,82	21,66	OK	30,36	15,55	KO
	307L+			L+	0,82	21,66	OK	32,64	15,55	KO
	307R-	166		R-	0,45	21,66	OK	30,36	15,55	KO
	307R+			R+	0,45	21,66	OK	32,64	15,55	KO
308	308L-	166	P8-1	L-	0,61	22,28	OK	27,54	15,55	KO
	308L+			L+	0,61	22,28	OK	30,90	15,55	KO
	308R-	171		R-	0,58	22,28	OK	27,54	15,55	KO
	308R+			R+	0,58	22,28	OK	30,90	15,55	KO
309	309L-	171	P8-2	L-	0,61	22,43	OK	27,66	15,55	KO
	309L+			L+	0,61	22,43	OK	29,81	15,55	KO
	309R-	176		R-	0,70	22,43	OK	27,66	15,55	KO
	309R+			R+	0,70	22,43	OK	29,81	15,55	KO
310	310L-	176	P8-3	L-	0,75	24,73	OK	18,92	11,37	KO
	310L+			L+	0,75	24,73	OK	21,11	11,37	KO
	310R-	181		R-	0,88	24,73	OK	18,92	11,37	KO
	310R+			R+	0,88	24,73	OK	21,11	11,37	KO
311	311L-	181	P8-4	L-	1,48	28,28	OK	14,81	7,19	KO
	311L+			L+	1,48	28,28	OK	16,72	7,19	KO
	311R-	186		R-	1,69	28,28	OK	14,81	7,19	KO
	311R+			R+	1,69	28,28	OK	16,72	7,19	KO
317	317L-	163	P9-0	L-	0,82	24,38	OK	18,59	11,20	KO
	317L+			L+	0,82	24,38	OK	11,29	11,20	KO
	317R-	168		R-	0,09	24,38	OK	18,59	11,20	KO
	317R+			R+	0,09	24,38	OK	11,29	11,20	KO
318	318L-	168	P9-1	L-	0,25	24,91	OK	20,62	11,20	KO
	318L+			L+	0,25	24,91	OK	6,63	11,20	OK
	318R-	173		R-	0,27	24,91	OK	20,62	11,20	KO
	318R+			R+	0,27	24,91	OK	6,63	11,20	OK

Tabela A. 2 – Resultados locais dos pórticos em Y: Verificação de mecanismos da estrutura antes do reforço para combinação CQP+30%E2X+100%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					SD	SD		SD	SD	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
319	319L-	173	P9-2	L-	0,30	25,11	OK	18,35	11,37	KO
	319L+			L+	0,30	25,11	OK	5,90	11,37	OK
	319R-	178		R-	0,16	25,11	OK	18,35	11,37	KO
	319R+			R+	0,16	25,11	OK	5,90	11,37	OK
320	320L-	178	P9-3	L-	0,22	25,76	OK	22,00	11,37	KO
	320L+			L+	0,22	25,76	OK	7,04	11,37	OK
	320R-	183		R-	0,03	25,76	OK	22,00	11,37	KO
	320R+			R+	0,03	25,76	OK	7,04	11,37	OK
321	321L-	183	P9-4	L-	0,63	29,46	OK	14,40	9,81	KO
	321L+			L+	0,63	29,46	OK	9,02	9,81	OK
	321R-	188		R-	0,49	29,46	OK	17,67	9,81	KO
	321R+			R+	0,49	29,46	OK	14,40	9,81	KO
332	332L-	189	P2-0	L-	0,84	20,23	OK	21,00	17,64	KO
	332L+			L+	0,84	20,23	OK	24,60	17,64	KO
	332R-	193		R-	0,22	20,23	OK	21,00	17,64	KO
	332R+			R+	0,22	20,23	OK	24,60	17,64	KO
333	333L-	193	P2-1	L-	0,38	20,50	OK	12,36	17,64	OK
	333L+			L+	0,38	20,50	OK	19,62	17,64	KO
	333R-	197		R-	0,45	20,50	OK	12,36	17,64	OK
	333R+			R+	0,45	20,50	OK	19,62	17,64	KO
334	334L-	197	P2-2	L-	0,48	24,48	OK	9,48	13,46	OK
	334L+			L+	0,48	24,48	OK	15,06	13,46	KO
	334R-	201		R-	0,66	24,48	OK	9,48	13,46	OK
	334R+			R+	0,66	24,48	OK	15,06	13,46	KO
335	335L-	201	P2-3	L-	0,71	27,34	OK	6,23	12,59	OK
	335L+			L+	0,71	27,34	OK	10,69	12,59	OK
	335R-	205		R-	0,90	27,34	OK	6,23	12,59	OK
	335R+			R+	0,90	27,34	OK	10,69	12,59	OK
336	336L-	205	P2-4	L-	1,50	31,81	OK	4,99	7,02	OK
	336L+			L+	1,50	31,81	OK	7,19	7,02	KO
	336R-	209		R-	1,80	31,81	OK	4,99	7,02	OK
	336R+			R+	1,80	31,81	OK	7,19	7,02	KO
342	342L-	190	P3-0	L-	0,84	19,66	OK	27,71	17,64	KO
	342L+			L+	0,84	19,66	OK	28,56	17,64	KO
	342R-	194		R-	0,40	19,66	OK	27,71	17,64	KO
	342R+			R+	0,40	19,66	OK	28,56	17,64	KO
343	343L-	194	P3-1	L-	0,55	20,05	OK	25,47	17,64	KO
	343L+			L+	0,55	20,05	OK	27,49	17,64	KO
	343R-	198		R-	0,62	20,05	OK	25,47	17,64	KO
	343R+			R+	0,62	20,05	OK	27,49	17,64	KO
344	344L-	198	P3-2	L-	0,66	23,95	OK	17,45	13,46	KO
	344L+			L+	0,66	23,95	OK	19,05	13,46	KO
	344R-	202		R-	0,82	23,95	OK	17,45	13,46	KO
	344R+			R+	0,82	23,95	OK	19,05	13,46	KO

Tabela A. 2 – Resultados locais dos pórticos em Y: Verificação de mecanismos da estrutura antes do reforço para combinação CQP+30%E2X+100%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					SD	SD		SD	SD	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
345	345L-	202	P3-3	L-	0,87	26,73	OK	10,54	12,59	OK
	345L+			L+	0,87	26,73	OK	11,97	12,59	OK
	345R-	206		R-	1,00	26,73	OK	10,54	12,59	OK
	345R+			R+	1,00	26,73	OK	11,97	12,59	OK
346	346L-	206	P3-4	L-	1,60	31,09	OK	6,47	7,02	OK
	346L+			L+	1,60	31,09	OK	7,12	7,02	KO
	346R-	210		R-	1,69	31,09	OK	6,47	7,02	OK
	346R+			R+	1,69	31,09	OK	7,12	7,02	KO
352	352L-	191	P4-0	L-	0,84	19,63	OK	28,44	17,64	KO
	352L+			L+	0,84	19,63	OK	27,81	17,64	KO
	352R-	195		R-	0,36	19,63	OK	28,44	17,64	KO
	352R+			R+	0,36	19,63	OK	27,81	17,64	KO
353	353L-	195	P4-1	L-	0,52	20,02	OK	27,49	17,64	KO
	353L+			L+	0,52	20,02	OK	25,47	17,64	KO
	353R-	199		R-	0,57	20,02	OK	27,49	17,64	KO
	353R+			R+	0,57	20,02	OK	25,47	17,64	KO
354	354L-	199	P4-2	L-	0,60	23,92	OK	19,20	13,46	KO
	354L+			L+	0,60	23,92	OK	17,35	13,46	KO
	354R-	203		R-	0,74	23,92	OK	19,20	13,46	KO
	354R+			R+	0,74	23,92	OK	17,35	13,46	KO
355	355L-	203	P4-3	L-	0,79	26,70	OK	11,61	12,59	OK
	355L+			L+	0,79	26,70	OK	10,95	12,59	OK
	355R-	207		R-	0,89	26,70	OK	11,61	12,59	OK
	355R+			R+	0,89	26,70	OK	10,95	12,59	OK
356	356L-	207	P4-4	L-	1,49	31,06	OK	6,84	7,02	OK
	356L+			L+	1,49	31,06	OK	6,78	7,02	OK
	356R-	211		R-	1,58	31,06	OK	6,84	7,02	OK
	356R+			R+	1,58	31,06	OK	6,78	7,02	OK
362	362L-	192	P5-0	L-	0,84	20,12	OK	24,14	17,64	KO
	362L+			L+	0,84	20,12	OK	21,04	17,64	KO
	362R-	196		R-	0,07	20,12	OK	24,14	17,64	KO
	362R+			R+	0,07	20,12	OK	21,04	17,64	KO
363	363L-	196	P5-1	L-	0,23	20,44	OK	18,96	17,64	KO
	363L+			L+	0,23	20,44	OK	12,25	17,64	OK
	363R-	200		R-	0,28	20,44	OK	18,96	17,64	KO
	363R+			R+	0,28	20,44	OK	12,25	17,64	OK
364	364L-	200	P5-2	L-	0,32	24,47	OK	14,96	13,46	KO
	364L+			L+	0,32	24,47	OK	9,31	13,46	OK
	364R-	204		R-	0,35	24,47	OK	14,96	13,46	KO
	364R+			R+	0,35	24,47	OK	9,31	13,46	OK
365	365L-	204	P5-3	L-	0,40	27,33	OK	10,32	12,59	OK
	365L+			L+	0,40	27,33	OK	6,60	12,59	OK
	365R-	208		R-	0,42	27,33	OK	10,32	12,59	OK
	365R+			R+	0,42	27,33	OK	6,60	12,59	OK

Tabela A. 2 – Resultados locais dos pórticos em Y: Verificação de mecanismos da estrutura antes do reforço para combinação CQP+30%E2X+100%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					SD	SD		SD	SD	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
366	366L-	208	P5-4	L-	1,03	31,79	OK	6,90	7,02	OK
	366L+			L+	1,03	31,79	OK	5,31	7,02	OK
	366R-	212		R-	1,08	31,79	OK	6,90	7,02	OK
	366R+			R+	1,08	31,79	OK	5,31	7,02	OK
6	6L-	5	V12-1	L-	0,55	25,76	OK	32,00	31,65	KO
	6L+			L+	0,55	25,10	OK	32,00	31,65	KO
	6R-	6		R-	0,38	20,70	OK	36,64	31,65	KO
	6R+			R+	0,38	31,26	OK	32,39	31,65	KO
7	7L-	9	V12-2	L-	0,44	25,76	OK	2,35	31,65	OK
	7L+			L+	0,44	25,10	OK	30,74	31,65	OK
	7R-	10		R-	0,27	20,70	OK	31,95	31,65	KO
	7R+			R+	0,27	31,26	OK	31,60	31,65	OK
8	8L-	13	V12-3	L-	0,23	25,76	OK	8,11	31,65	OK
	8L+			L+	0,23	25,10	OK	28,58	31,65	OK
	8R-	14		R-	0,07	20,70	OK	29,49	31,65	OK
	8R+			R+	0,07	31,26	OK	28,52	31,65	OK
9	9L-	17	V12-4	L-	0,01	25,76	OK	11,28	31,65	OK
	9L+			L+	0,01	25,10	OK	24,00	31,65	OK
	9R-	18		R-	0,09	20,70	OK	26,32	31,65	OK
	9R+			R+	0,09	31,26	OK	13,61	31,65	OK
10	10L-	21	V12-5	L-	0,31	25,76	OK	17,43	31,65	OK
	10L+			L+	0,31	25,10	OK	22,31	31,65	OK
	10R-	22		R-	0,20	20,70	OK	27,51	31,65	OK
	10R+			R+	0,20	31,26	OK	22,64	31,65	OK
16	16L-	6	V12-1	L-	0,44	21,66	OK	9,49	31,36	OK
	16L+			L+	0,44	32,72	OK	29,33	31,36	OK
	16R-	7		R-	0,47	21,66	OK	33,33	31,36	KO
	16R+			R+	0,47	32,72	OK	31,47	31,36	KO
17	17L-	10	V12-2	L-	0,37	21,66	OK	8,68	31,36	OK
	17L+			L+	0,37	32,72	OK	29,16	31,36	OK
	17R-	11		R-	0,43	21,66	OK	30,38	31,36	OK
	17R+			R+	0,43	32,72	OK	31,26	31,36	OK
18	18L-	14	V12-3	L-	0,21	21,66	OK	14,26	31,36	OK
	18L+			L+	0,21	32,72	OK	26,96	31,36	OK
	18R-	15		R-	0,29	21,66	OK	28,56	31,36	OK
	18R+			R+	0,29	32,72	OK	29,10	31,36	OK
19	19L-	18	V12-4	L-	0,08	21,66	OK	17,12	31,36	OK
	19L+			L+	0,08	32,72	OK	25,91	31,36	OK
	19R-	19		R-	0,19	21,66	OK	25,70	31,36	OK
	19R+			R+	0,19	32,72	OK	16,92	31,36	OK
20	20L-	22	V12-5	L-	0,01	21,66	OK	23,49	31,36	OK
	20L+			L+	0,01	32,72	OK	27,88	31,36	OK
	20R-	23		R-	0,11	21,66	OK	27,70	31,36	OK
	20R+			R+	0,11	32,72	OK	23,31	31,36	OK

Tabela A. 2 – Resultados locais dos pórticos em Y: Verificação de mecanismos da estrutura antes do reforço para combinação CQP+30%E2X+100%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					SD	SD		SD	SD	
					θD	θC		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
26	26L-	7	V12-1	L-	0,42	20,70	OK	1,59	31,36	OK
	26L+			L+	0,42	31,26	OK	30,31	31,36	OK
	26R-	8		R-	0,72	20,70	OK	36,01	31,36	KO
	26R+			R+	0,72	31,26	OK	34,33	31,36	KO
27	27L-	11	V12-2	L-	0,35	20,70	OK	1,90	31,36	OK
	27L+			L+	0,35	31,26	OK	29,56	31,36	OK
	27R-	12		R-	0,63	20,70	OK	32,40	31,36	KO
	27R+			R+	0,63	31,26	OK	32,93	31,36	KO
28	28L-	15	V12-3	L-	0,18	20,70	OK	8,92	31,36	OK
	28L+			L+	0,18	31,26	OK	26,48	31,36	OK
	28R-	16		R-	0,57	20,70	OK	28,68	31,36	OK
	28R+			R+	0,57	31,26	OK	30,79	31,36	OK
29	29L-	19	V12-4	L-	0,05	20,70	OK	13,62	31,36	OK
	29L+			L+	0,05	31,26	OK	26,60	31,36	OK
	29R-	20		R-	0,51	20,70	OK	23,98	31,36	OK
	29R+			R+	0,51	31,26	OK	11,01	31,36	OK
30	30L-	23	V12-5	L-	0,06	20,70	OK	22,38	31,36	OK
	30L+			L+	0,06	31,26	OK	27,35	31,36	OK
	30R-	24		R-	0,43	20,70	OK	22,57	31,36	OK
	30R+			R+	0,43	31,26	OK	17,60	31,36	OK
51	51L-	29	V13-1	L-	0,16	34,77	OK	18,21	31,65	OK
	51L+			L+	0,16	18,73	OK	45,36	31,65	KO
	51R-	30		R-	0,32	21,85	OK	50,47	31,65	KO
	51R+			R+	0,32	29,85	OK	23,32	31,65	OK
52	52L-	34	V13-2	L-	0,16	34,77	OK	15,81	31,65	OK
	52L+			L+	0,16	18,73	OK	41,95	31,65	KO
	52R-	35		R-	0,29	21,85	OK	46,07	31,65	KO
	52R+			R+	0,29	29,85	OK	19,93	31,65	OK
53	53L-	39	V13-3	L-	0,19	34,77	OK	19,99	31,65	OK
	53L+			L+	0,19	18,73	OK	43,92	31,65	KO
	53R-	40		R-	0,20	21,85	OK	48,69	31,65	KO
	53R+			R+	0,20	29,85	OK	24,77	31,65	OK
54	54L-	44	V13-4	L-	0,19	34,77	OK	21,31	31,65	OK
	54L+			L+	0,19	18,73	OK	42,58	31,65	KO
	54R-	45		R-	0,04	21,85	OK	47,37	31,65	KO
	54R+			R+	0,04	29,85	OK	26,10	31,65	OK
55	55L-	49	V13-5	L-	0,19	34,77	OK	32,48	31,65	KO
	55L+			L+	0,19	18,73	OK	42,58	31,65	KO
	55R-	50		R-	0,06	21,85	OK	51,32	31,65	KO
	55R+			R+	0,06	29,85	OK	41,22	31,65	KO
61	61L-	30	V13-1	L-	0,36	22,87	OK	26,25	30,76	OK
	61L+			L+	0,36	31,24	OK	51,21	30,76	KO
	61R-	31		R-	0,34	20,88	OK	51,98	30,76	KO
	61R+			R+	0,34	34,23	OK	27,01	30,76	OK

Tabela A. 2 – Resultados locais dos pórticos em Y: Verificação de mecanismos da estrutura antes do reforço para combinação CQP+30%E2X+100%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					SD	SD		SD	SD	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
62	62L-	35	V13-2	L-	0,35	22,87	OK	22,15	30,76	OK
	62L+			L+	0,35	31,24	OK	48,22	30,76	KO
	62R-	36		R-	0,36	20,88	OK	48,33	30,76	KO
	62R+			R+	0,36	34,23	OK	22,26	30,76	OK
63	63L-	40	V13-3	L-	0,27	22,87	OK	28,19	30,76	OK
	63L+			L+	0,27	31,24	OK	50,08	30,76	KO
	63R-	41		R-	0,26	20,88	OK	50,03	30,76	KO
	63R+			R+	0,26	34,23	OK	28,14	30,76	OK
64	64L-	45	V13-4	L-	0,13	22,87	OK	31,65	30,76	KO
	64L+			L+	0,13	31,24	OK	46,59	30,76	KO
	64R-	46		R-	0,13	20,88	OK	46,57	30,76	KO
	64R+			R+	0,13	34,23	OK	31,63	30,76	KO
65	65L-	50	V13-5	L-	0,05	22,87	OK	43,08	30,76	KO
	65L+			L+	0,05	31,24	OK	50,99	30,76	KO
	65R-	51		R-	0,09	20,88	OK	52,37	30,76	KO
	65R+			R+	0,09	34,23	OK	44,45	30,76	KO
71	71L-	31	V13-1	L-	0,30	21,23	OK	31,84	30,76	KO
	71L+			L+	0,30	34,80	OK	51,72	30,76	KO
	71R-	33		R-	0,66	29,82	OK	38,72	30,76	KO
	71R+			R+	0,66	24,73	OK	14,78	30,76	OK
72	72L-	36	V13-2	L-	0,28	21,23	OK	27,24	30,76	OK
	72L+			L+	0,28	34,80	OK	46,77	30,76	KO
	72R-	38		R-	0,59	29,82	OK	36,96	30,76	KO
	72R+			R+	0,59	24,73	OK	13,70	30,76	OK
73	73L-	41	V13-3	L-	0,15	21,23	OK	31,50	30,76	KO
	73L+			L+	0,15	34,80	OK	50,13	30,76	KO
	73R-	43		R-	0,68	29,82	OK	38,18	30,76	KO
	73R+			R+	0,68	24,73	OK	16,43	30,76	OK
74	74L-	46	V13-4	L-	0,02	21,23	OK	32,51	30,76	KO
	74L+			L+	0,02	34,80	OK	49,57	30,76	KO
	74R-	48		R-	0,82	29,82	OK	36,85	30,76	KO
	74R+			R+	0,82	24,73	OK	17,38	30,76	OK
75	75L-	51	V13-5	L-	0,26	21,23	OK	47,73	30,76	KO
	75L+			L+	0,26	34,80	OK	56,20	30,76	KO
	75R-	53		R-	0,93	29,82	OK	33,51	30,76	KO
	75R+			R+	0,93	24,73	OK	23,86	30,76	OK
99	99L-	58	V14-1	L-	0,20	19,49	OK	1,57	31,36	OK
	99L+			L+	0,20	29,43	OK	36,73	31,36	KO
	99R-	59		R-	0,23	19,49	OK	42,61	31,36	KO
	99R+			R+	0,23	29,43	OK	37,89	31,36	KO
100	100L-	62	V14-2	L-	0,15	19,49	OK	0,80	31,36	OK
	100L+			L+	0,15	29,43	OK	36,09	31,36	KO
	100R-	63		R-	0,18	19,49	OK	39,29	31,36	KO
	100R+			R+	0,18	29,43	OK	38,18	31,36	KO

Tabela A. 2 – Resultados locais dos pórticos em Y: Verificação de mecanismos da estrutura antes do reforço para combinação CQP+30%E2X+100%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					SD	SD		SD	SD	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
101	101L-	67	V14-3	L-	0,22	19,49	OK	6,88	31,36	OK
	101L+			L+	0,22	29,43	OK	34,32	31,36	KO
	101R-	68		R-	0,03	19,49	OK	42,01	31,36	KO
	101R+			R+	0,03	29,43	OK	35,83	31,36	KO
102	102L-	72	V14-4	L-	0,19	19,49	OK	9,25	31,36	OK
	102L+			L+	0,19	29,43	OK	33,46	31,36	KO
	102R-	73		R-	0,14	19,49	OK	39,64	31,36	KO
	102R+			R+	0,14	29,43	OK	33,09	31,36	KO
103	103L-	77	V14-5	L-	0,02	19,49	OK	27,80	31,36	OK
	103L+			L+	0,02	29,43	OK	24,98	31,36	OK
	103R-	78		R-	0,42	19,49	OK	50,67	31,36	KO
	103R+			R+	0,42	29,43	OK	39,32	31,36	KO
109	109L-	59	V14-1	L-	0,29	22,97	OK	23,33	31,36	OK
	109L+			L+	0,29	34,69	OK	38,83	31,36	KO
	109R-	60		R-	0,42	20,37	OK	44,60	31,36	KO
	109R+			R+	0,42	39,18	OK	42,12	31,36	KO
110	110L-	63	V14-2	L-	0,28	22,97	OK	21,12	31,36	OK
	110L+			L+	0,28	34,69	OK	38,70	31,36	KO
	110R-	64		R-	0,40	20,37	OK	42,60	31,36	KO
	110R+			R+	0,40	39,18	OK	41,52	31,36	KO
111	111L-	68	V14-3	L-	0,15	22,97	OK	24,94	31,36	OK
	111L+			L+	0,15	34,69	OK	39,43	31,36	KO
	111R-	69		R-	0,32	20,37	OK	43,44	31,36	KO
	111R+			R+	0,32	39,18	OK	42,69	31,36	KO
112	112L-	73	V14-4	L-	0,00	22,97	OK	27,19	31,36	OK
	112L+			L+	0,00	34,69	OK	39,84	31,36	KO
	112R-	74		R-	0,19	20,37	OK	41,19	31,36	KO
	112R+			R+	0,19	39,18	OK	43,93	31,36	KO
113	113L-	78	V14-5	L-	0,26	22,97	OK	51,10	31,36	KO
	113L+			L+	0,26	34,69	OK	40,77	31,36	KO
	113R-	79		R-	0,02	20,37	OK	62,50	31,36	KO
	113R+			R+	0,02	39,18	OK	45,70	31,36	KO
119	119L-	60	V14-1	L-	0,41	19,60	OK	25,11	30,76	OK
	119L+			L+	0,41	37,70	OK	35,91	30,76	KO
	119R-	61		R-	0,59	23,38	OK	27,60	30,76	OK
	119R+			R+	0,59	31,54	OK	42,03	30,76	KO
120	120L-	64	V14-2	L-	0,38	19,60	OK	23,43	30,76	OK
	120L+			L+	0,38	37,70	OK	35,63	30,76	KO
	120R-	65		R-	0,55	23,38	OK	26,73	30,76	OK
	120R+			R+	0,55	31,54	OK	41,65	30,76	KO
121	121L-	69	V14-3	L-	0,29	19,60	OK	26,33	30,76	OK
	121L+			L+	0,29	37,70	OK	36,73	30,76	KO
	121R-	70		R-	0,63	23,38	OK	27,33	30,76	OK
	121R+			R+	0,63	31,54	OK	41,68	30,76	KO

Tabela A. 2 – Resultados locais dos pórticos em Y: Verificação de mecanismos da estrutura antes do reforço para combinação CQP+30%E2X+100%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					SD	SD		SD	SD	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
122	122L-	74	V14-4	L-	0,15	19,60	OK	27,47	30,76	OK
	122L+			L+	0,15	37,70	OK	37,72	30,76	KO
	122R-	75		R-	0,74	23,38	OK	26,54	30,76	OK
	122R+			R+	0,74	31,54	OK	41,42	30,76	KO
123	123L-	79	V14-5	L-	0,05	19,60	OK	58,16	30,76	KO
	123L+			L+	0,05	37,70	OK	42,26	30,76	KO
	123R-	80		R-	0,90	23,38	OK	34,28	30,76	KO
	123R+			R+	0,90	31,54	OK	27,27	30,76	OK
145	145L-	84	V18-1	L-	0,37	22,07	OK	2,31	24,22	OK
	145L+			L+	0,37	29,77	OK	31,24	24,22	KO
	145R-	85		R-	0,11	22,07	OK	28,84	24,22	KO
	145R+			R+	0,11	29,77	OK	29,83	24,22	KO
146	146L-	87	V18-2	L-	0,42	22,07	OK	4,77	24,22	OK
	146L+			L+	0,42	29,77	OK	32,73	24,22	KO
	146R-	88		R-	0,15	22,07	OK	21,05	24,22	OK
	146R+			R+	0,15	29,77	OK	32,50	24,22	KO
152	152L-	85	V11-1	L-	0,03	22,71	OK	38,02	34,78	KO
	152L+			L+	0,03	32,52	OK	42,37	34,78	KO
	152R-	86		R-	0,74	22,71	OK	52,43	34,78	KO
	152R+			R+	0,74	32,52	OK	43,01	34,78	KO
153	153L-	88	V11-2	L-	0,03	22,71	OK	25,04	34,78	OK
	153L+			L+	0,03	32,52	OK	39,99	34,78	KO
	153R-	89		R-	0,57	22,71	OK	40,77	34,78	KO
	153R+			R+	0,57	32,52	OK	42,18	34,78	KO
154	154L-	91	V11-3	L-	0,09	22,71	OK	24,37	34,78	OK
	154L+			L+	0,09	32,52	OK	39,31	34,78	KO
	154R-	92		R-	0,56	22,71	OK	41,45	34,78	KO
	154R+			R+	0,56	32,52	OK	42,25	34,78	KO
155	155L-	93	V11-4	L-	0,19	22,71	OK	25,67	34,78	OK
	155L+			L+	0,19	32,52	OK	39,30	34,78	KO
	155R-	94		R-	0,53	22,71	OK	40,14	34,78	KO
	155R+			R+	0,53	32,52	OK	42,18	34,78	KO
156	156L-	95	V11-5	L-	0,60	22,71	OK	31,50	34,78	OK
	156L+			L+	0,60	32,52	OK	37,06	34,78	KO
	156R-	96		R-	0,45	22,71	OK	38,07	34,78	KO
	156R+			R+	0,45	32,52	OK	32,50	34,78	OK
204	204L-	120	V18-1	L-	0,39	22,07	OK	2,26	24,22	OK
	204L+			L+	0,39	29,77	OK	26,48	24,22	KO
	204R-	121		R-	0,12	22,07	OK	28,90	24,22	KO
	204R+			R+	0,12	29,77	OK	24,19	24,22	OK
205	205L-	123	V18-2	L-	0,44	22,07	OK	4,85	24,22	OK
	205L+			L+	0,44	29,77	OK	27,98	24,22	KO
	205R-	124		R-	0,16	22,07	OK	21,12	24,22	OK
	205R+			R+	0,16	29,77	OK	26,88	24,22	KO

Tabela A. 2 – Resultados locais dos pórticos em Y: Verificação de mecanismos da estrutura antes do reforço para combinação CQP+30%E2X+100%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dútil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					SD	SD		SD	SD	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
211	211L-	121	V11-1	L-	0,04	22,71	OK	38,03	34,78	KO
	211L+			L+	0,04	32,52	OK	53,16	34,78	KO
	211R-	122		R-	0,71	22,71	OK	52,42	34,78	KO
	211R+			R+	0,71	32,52	OK	54,94	34,78	KO
212	212L-	124	V11-2	L-	0,04	22,71	OK	25,04	34,78	OK
	212L+			L+	0,04	32,52	OK	50,78	34,78	KO
	212R-	125		R-	0,55	22,71	OK	40,78	34,78	KO
	212R+			R+	0,55	32,52	OK	53,75	34,78	KO
213	213L-	127	V11-3	L-	0,11	22,71	OK	24,39	34,78	OK
	213L+			L+	0,11	32,52	OK	50,04	34,78	KO
	213R-	128		R-	0,54	22,71	OK	41,43	34,78	KO
	213R+			R+	0,54	32,52	OK	53,81	34,78	KO
214	214L-	129	V11-4	L-	0,21	22,71	OK	25,70	34,78	OK
	214L+			L+	0,21	32,52	OK	50,09	34,78	KO
	214R-	130		R-	0,52	22,71	OK	40,11	34,78	KO
	214R+			R+	0,52	32,52	OK	53,92	34,78	KO
215	215L-	131	V11-5	L-	0,60	22,71	OK	31,46	34,78	OK
	215L+			L+	0,60	32,52	OK	37,12	34,78	KO
	215R-	132		R-	0,45	22,71	OK	38,10	34,78	KO
	215R+			R+	0,45	32,52	OK	32,44	34,78	OK
247	247L-	137	V14-1	L-	0,23	19,49	OK	2,21	31,36	OK
	247L+			L+	0,23	29,43	OK	37,07	31,36	KO
	247R-	138		R-	0,25	19,49	OK	43,25	31,36	KO
	247R+			R+	0,25	29,43	OK	38,09	31,36	KO
248	248L-	141	V14-2	L-	0,19	19,49	OK	1,26	31,36	OK
	248L+			L+	0,19	29,43	OK	36,34	31,36	KO
	248R-	142		R-	0,21	19,49	OK	39,75	31,36	KO
	248R+			R+	0,21	29,43	OK	38,22	31,36	KO
249	249L-	146	V14-3	L-	0,25	19,49	OK	6,49	31,36	OK
	249L+			L+	0,25	29,43	OK	34,56	31,36	KO
	249R-	147		R-	0,06	19,49	OK	42,40	31,36	KO
	249R+			R+	0,06	29,43	OK	35,80	31,36	KO
250	250L-	151	V14-4	L-	0,23	19,49	OK	8,97	31,36	OK
	250L+			L+	0,23	29,43	OK	33,65	31,36	KO
	250R-	152		R-	0,12	19,49	OK	39,93	31,36	KO
	250R+			R+	0,12	29,43	OK	33,03	31,36	KO
251	251L-	156	V14-5	L-	0,01	19,49	OK	27,74	31,36	OK
	251L+			L+	0,01	29,43	OK	24,94	31,36	OK
	251R-	157		R-	0,40	19,49	OK	50,73	31,36	KO
	251R+			R+	0,40	29,43	OK	39,42	31,36	KO
257	257L-	138	V14-1	L-	0,30	22,97	OK	23,04	31,36	OK
	257L+			L+	0,30	34,69	OK	38,67	31,36	KO
	257R-	139		R-	0,42	20,37	OK	44,90	31,36	KO
	257R+			R+	0,42	39,18	OK	41,93	31,36	KO

Tabela A. 2 – Resultados locais dos pórticos em Y: Verificação de mecanismos da estrutura antes do reforço para combinação CQP+30%E2X+100%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					SD	SD		SD	SD	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
258	258L-	142	V14-2	L-	0,28	22,97	OK	20,86	31,36	OK
	258L+			L+	0,28	34,69	OK	38,84	31,36	KO
	258R-	143		R-	0,40	20,37	OK	42,85	31,36	KO
	258R+			R+	0,40	39,18	OK	41,51	31,36	KO
259	259L-	147	V14-3	L-	0,15	22,97	OK	24,75	31,36	OK
	259L+			L+	0,15	34,69	OK	39,33	31,36	KO
	259R-	148		R-	0,31	20,37	OK	43,63	31,36	KO
	259R+			R+	0,31	39,18	OK	42,52	31,36	KO
260	260L-	152	V14-4	L-	0,00	22,97	OK	27,08	31,36	OK
	260L+			L+	0,00	34,69	OK	39,76	31,36	KO
	260R-	153		R-	0,18	20,37	OK	41,30	31,36	KO
	260R+			R+	0,18	39,18	OK	43,81	31,36	KO
261	261L-	157	V14-5	L-	0,26	22,97	OK	51,07	31,36	KO
	261L+			L+	0,26	34,69	OK	40,77	31,36	KO
	261R-	158		R-	0,01	20,37	OK	62,52	31,36	KO
	261R+			R+	0,01	39,18	OK	45,70	31,36	KO
267	267L-	139	V14-1	L-	0,42	19,60	OK	24,80	30,76	OK
	267L+			L+	0,42	37,70	OK	35,72	30,76	KO
	267R-	140		R-	0,60	23,38	OK	27,93	30,76	OK
	267R+			R+	0,60	31,54	OK	42,21	30,76	KO
268	268L-	143	V14-2	L-	0,39	19,60	OK	23,06	30,76	OK
	268L+			L+	0,39	37,70	OK	35,79	30,76	KO
	268R-	144		R-	0,56	23,38	OK	27,06	30,76	OK
	268R+			R+	0,56	31,54	OK	41,83	30,76	KO
269	269L-	148	V14-3	L-	0,29	19,60	OK	25,98	30,76	OK
	269L+			L+	0,29	37,70	OK	36,53	30,76	KO
	269R-	149		R-	0,64	23,38	OK	27,64	30,76	OK
	269R+			R+	0,64	31,54	OK	41,85	30,76	KO
270	270L-	153	V14-4	L-	0,14	19,60	OK	27,24	30,76	OK
	270L+			L+	0,14	37,70	OK	37,60	30,76	KO
	270R-	154		R-	0,75	23,38	OK	26,76	30,76	OK
	270R+			R+	0,75	31,54	OK	41,54	30,76	KO
271	271L-	158	V14-5	L-	0,06	19,60	OK	58,05	30,76	KO
	271L+			L+	0,06	37,70	OK	42,33	30,76	KO
	271R-	159		R-	0,91	23,38	OK	34,32	30,76	KO
	271R+			R+	0,91	31,54	OK	27,26	30,76	OK
292	292L-	164	V13-1	L-	0,17	34,77	OK	17,83	31,65	OK
	292L+			L+	0,17	18,73	OK	45,64	31,65	KO
	292R-	165		R-	0,33	21,85	OK	50,85	31,65	KO
	292R+			R+	0,33	29,85	OK	23,05	31,65	OK
293	293L-	169	V13-2	L-	0,17	34,77	OK	15,51	31,65	OK
	293L+			L+	0,17	18,73	OK	42,14	31,65	KO
	293R-	170		R-	0,29	21,85	OK	46,36	31,65	KO
	293R+			R+	0,29	29,85	OK	19,74	31,65	OK

Tabela A. 2 – Resultados locais dos pórticos em Y: Verificação de mecanismos da estrutura antes do reforço para combinação CQP+30%E2X+100%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dútil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					SD	SD		SD	SD	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
294	294L-	174	V13-3	L-	0,20	34,77	OK	19,72	31,65	OK
	294L+			L+	0,20	18,73	OK	44,09	31,65	KO
	294R-	175		R-	0,20	21,85	OK	48,97	31,65	KO
	294R+			R+	0,20	29,85	OK	24,59	31,65	OK
295	295L-	179	V13-4	L-	0,20	34,77	OK	21,07	31,65	OK
	295L+			L+	0,20	18,73	OK	42,76	31,65	KO
	295R-	180		R-	0,04	21,85	OK	47,61	31,65	KO
	295R+			R+	0,04	29,85	OK	25,92	31,65	OK
296	296L-	184	V13-5	L-	0,18	34,77	OK	32,40	31,65	KO
	296L+			L+	0,18	18,73	OK	42,67	31,65	KO
	296R-	185		R-	0,06	21,85	OK	51,41	31,65	KO
	296R+			R+	0,06	29,85	OK	41,14	31,65	KO
302	302L-	165	V13-1	L-	0,36	22,87	OK	25,91	30,76	OK
	302L+			L+	0,36	31,24	OK	51,46	30,76	KO
	302R-	166		R-	0,35	20,88	OK	52,32	30,76	KO
	302R+			R+	0,35	34,23	OK	26,76	30,76	OK
303	303L-	170	V13-2	L-	0,35	22,87	OK	21,86	30,76	OK
	303L+			L+	0,35	31,24	OK	48,41	30,76	KO
	303R-	171		R-	0,36	20,88	OK	48,62	30,76	KO
	303R+			R+	0,36	34,23	OK	22,06	30,76	OK
304	304L-	175	V13-3	L-	0,27	22,87	OK	27,96	30,76	OK
	304L+			L+	0,27	31,24	OK	50,24	30,76	KO
	304R-	176		R-	0,27	20,88	OK	50,26	30,76	KO
	304R+			R+	0,27	34,23	OK	27,98	30,76	OK
305	305L-	180	V13-4	L-	0,13	22,87	OK	31,50	30,76	KO
	305L+			L+	0,13	31,24	OK	46,72	30,76	KO
	305R-	181		R-	0,13	20,88	OK	46,73	30,76	KO
	305R+			R+	0,13	34,23	OK	31,50	30,76	KO
306	306L-	185	V13-5	L-	0,05	22,87	OK	43,02	30,76	KO
	306L+			L+	0,05	31,24	OK	51,05	30,76	KO
	306R-	186		R-	0,09	20,88	OK	52,43	30,76	KO
	306R+			R+	0,09	34,23	OK	44,39	30,76	KO
312	312L-	166	V13-1	L-	0,31	21,23	OK	31,54	30,76	KO
	312L+			L+	0,31	34,80	OK	51,95	30,76	KO
	312R-	168		R-	0,67	29,82	OK	38,82	30,76	KO
	312R+			R+	0,67	24,73	OK	14,80	30,76	OK
313	313L-	171	V13-2	L-	0,29	21,23	OK	26,98	30,76	OK
	313L+			L+	0,29	34,80	OK	46,95	30,76	KO
	313R-	173		R-	0,59	29,82	OK	36,96	30,76	KO
	313R+			R+	0,59	24,73	OK	13,83	30,76	OK
314	314L-	176	V13-3	L-	0,16	21,23	OK	31,25	30,76	KO
	314L+			L+	0,16	34,80	OK	50,31	30,76	KO
	314R-	178		R-	0,69	29,82	OK	38,16	30,76	KO
	314R+			R+	0,69	24,73	OK	16,55	30,76	OK

Tabela A. 2 – Resultados locais dos pórticos em Y: Verificação de mecanismos da estrutura antes do reforço para combinação CQP+30%E2X+100%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					SD	SD		SD	SD	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
315	315L-	181	V13-4	L-	0,01	21,23	OK	32,29	30,76	KO
	315L+			L+	0,01	34,80	OK	49,74	30,76	KO
	315R-	183		R-	0,83	29,82	OK	36,83	30,76	KO
	315R+			R+	0,83	24,73	OK	17,48	30,76	OK
316	316L-	186	V13-5	L-	0,26	21,23	OK	47,63	30,76	KO
	316L+			L+	0,26	34,80	OK	56,30	30,76	KO
	316R-	188		R-	0,93	29,82	OK	33,44	30,76	KO
	316R+			R+	0,93	24,73	OK	23,95	30,76	OK
337	337L-	193	V12-1	L-	0,56	25,76	OK	32,00	31,65	KO
	337L+			L+	0,56	25,10	OK	32,00	31,65	KO
	337R-	194		R-	0,38	20,70	OK	37,00	31,65	KO
	337R+			R+	0,38	31,26	OK	32,47	31,65	KO
338	338L-	197	V12-2	L-	0,45	25,76	OK	2,12	31,65	OK
	338L+			L+	0,45	25,10	OK	30,87	31,65	OK
	338R-	198		R-	0,28	20,70	OK	32,18	31,65	KO
	338R+			R+	0,28	31,26	OK	31,62	31,65	OK
339	339L-	201	V12-3	L-	0,24	25,76	OK	7,98	31,65	OK
	339L+			L+	0,24	25,10	OK	28,67	31,65	OK
	339R-	202		R-	0,08	20,70	OK	29,63	31,65	OK
	339R+			R+	0,08	31,26	OK	28,53	31,65	OK
340	340L-	205	V12-4	L-	0,02	25,76	OK	11,16	31,65	OK
	340L+			L+	0,02	25,10	OK	24,06	31,65	OK
	340R-	206		R-	0,08	20,70	OK	26,44	31,65	OK
	340R+			R+	0,08	31,26	OK	13,55	31,65	OK
341	341L-	209	V12-5	L-	0,30	25,76	OK	17,39	31,65	OK
	341L+			L+	0,30	25,10	OK	22,35	31,65	OK
	341R-	210		R-	0,20	20,70	OK	27,55	31,65	OK
	341R+			R+	0,20	31,26	OK	22,59	31,65	OK
347	347L-	194	V12-1	L-	0,44	21,66	OK	9,26	31,36	OK
	347L+			L+	0,44	32,72	OK	29,46	31,36	OK
	347R-	195		R-	0,47	21,66	OK	33,57	31,36	KO
	347R+			R+	0,47	32,72	OK	31,52	31,36	KO
348	348L-	198	V12-2	L-	0,37	21,66	OK	8,51	31,36	OK
	348L+			L+	0,37	32,72	OK	29,25	31,36	OK
	348R-	199		R-	0,43	21,66	OK	30,55	31,36	OK
	348R+			R+	0,43	32,72	OK	31,28	31,36	OK
349	349L-	202	V12-3	L-	0,20	21,66	OK	14,16	31,36	OK
	349L+			L+	0,20	32,72	OK	27,01	31,36	OK
	349R-	203		R-	0,29	21,66	OK	28,66	31,36	OK
	349R+			R+	0,29	32,72	OK	29,11	31,36	OK
350	350L-	206	V12-4	L-	0,08	21,66	OK	17,05	31,36	OK
	350L+			L+	0,08	32,72	OK	25,94	31,36	OK
	350R-	207		R-	0,19	21,66	OK	25,78	31,36	OK
	350R+			R+	0,19	32,72	OK	16,89	31,36	OK

Tabela A. 2 – Resultados locais dos pórticos em Y: Verificação de mecanismos da estrutura antes do reforço para combinação CQP+30%E2X+100%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					SD	SD		SD	SD	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
351	351L-	210	V12-5	L-	0,01	21,66	OK	23,46	31,36	OK
	351L+			L+	0,01	32,72	OK	27,90	31,36	OK
	351R-	211		R-	0,10	21,66	OK	27,73	31,36	OK
	351R+			R+	0,10	32,72	OK	23,29	31,36	OK
357	357L-	195	V12-1	L-	0,43	20,70	OK	1,23	31,36	OK
	357L+			L+	0,43	31,26	OK	30,49	31,36	OK
	357R-	196		R-	0,72	20,70	OK	36,38	31,36	KO
	357R+			R+	0,72	31,26	OK	34,42	31,36	KO
358	358L-	199	V12-2	L-	0,35	20,70	OK	1,66	31,36	OK
	358L+			L+	0,35	31,26	OK	29,68	31,36	OK
	358R-	200		R-	0,63	20,70	OK	32,64	31,36	KO
	358R+			R+	0,63	31,26	OK	32,96	31,36	KO
359	359L-	203	V12-3	L-	0,18	20,70	OK	8,77	31,36	OK
	359L+			L+	0,18	31,26	OK	26,54	31,36	OK
	359R-	204		R-	0,56	20,70	OK	28,83	31,36	OK
	359R+			R+	0,56	31,26	OK	30,81	31,36	OK
360	360L-	207	V12-4	L-	0,05	20,70	OK	13,50	31,36	OK
	360L+			L+	0,05	31,26	OK	26,65	31,36	OK
	360R-	208		R-	0,51	20,70	OK	24,10	31,36	OK
	360R+			R+	0,51	31,26	OK	10,95	31,36	OK
361	361L-	211	V12-5	L-	0,07	20,70	OK	22,34	31,36	OK
	361L+			L+	0,07	31,26	OK	27,39	31,36	OK
	361R-	212		R-	0,43	20,70	OK	22,60	31,36	OK
	361R+			R+	0,43	31,26	OK	17,56	31,36	OK

Anexo B

VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA POSTERIOR AO REFORÇO– CASO DE ESTUDO

Tabela B. 1 – Resultados locais dos pórticos em X: Verificação de mecanismos da estrutura existente, posterior ao reforço, para combinação CQP+100%E2X+30%E2Y.

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					DL	DL		DL	DL	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
76	76L-	28	P9-0	L-	0,15	4,51	OK	1,53	12,88	OK
	76L+			L+	0,15	4,51	OK	1,73	12,88	OK
	76R-	33		R-	0,01	4,51	OK	1,53	12,88	OK
	76R+			R+	0,01	4,51	OK	1,73	12,88	OK
77	77L-	33	P9-1	L-	0,12	4,44	OK	2,02	12,88	OK
	77L+			L+	0,12	4,44	OK	2,59	12,88	OK
	77R-	38		R-	0,10	4,44	OK	2,02	12,88	OK
	77R+			R+	0,10	4,44	OK	2,59	12,88	OK
78	78L-	38	P9-2	L-	0,14	4,27	OK	1,54	13,07	OK
	78L+			L+	0,14	4,27	OK	2,13	13,07	OK
	78R-	43		R-	0,13	4,27	OK	1,54	13,07	OK
	78R+			R+	0,13	4,27	OK	2,13	13,07	OK
79	79L-	43	P9-3	L-	0,14	4,18	OK	1,65	13,07	OK
	79L+			L+	0,14	4,18	OK	2,47	13,07	OK
	79R-	48		R-	0,14	4,18	OK	1,65	13,07	OK
	79R+			R+	0,14	4,18	OK	2,47	13,07	OK
80	80L-	48	P9-4	L-	0,13	4,89	OK	1,20	11,28	OK
	80L+			L+	0,13	4,89	OK	2,18	11,28	OK
	80R-	53		R-	0,16	4,89	OK	1,20	11,28	OK
	80R+			R+	0,16	4,89	OK	2,18	11,28	OK
81	81L-	190	P13-0	L-	0,15	4,54	OK	1,70	12,88	OK
	81L+			L+	0,15	4,54	OK	2,50	12,88	OK
	81R-	61		R-	0,03	4,54	OK	1,70	12,88	OK
	81R+			R+	0,03	4,54	OK	2,50	12,88	OK
82	82L-	61	P13-1	L-	0,14	4,47	OK	2,48	12,88	OK
	82L+			L+	0,14	4,47	OK	4,13	12,88	OK
	82R-	65		R-	0,12	4,47	OK	2,48	12,88	OK
	82R+			R+	0,12	4,47	OK	4,13	12,88	OK
83	83L-	65	P13-2	L-	0,17	4,30	OK	1,92	13,07	OK
	83L+			L+	0,17	4,30	OK	2,97	13,07	OK
	83R-	70		R-	0,16	4,30	OK	1,92	13,07	OK
	83R+			R+	0,16	4,30	OK	2,97	13,07	OK
84	84L-	70	P13-3	L-	0,17	4,21	OK	2,09	13,07	OK
	84L+			L+	0,17	4,21	OK	3,22	13,07	OK
	84R-	75		R-	0,18	4,21	OK	2,09	13,07	OK
	84R+			R+	0,18	4,21	OK	3,22	13,07	OK
85	85L-	75	P13-4	L-	0,16	4,95	OK	1,52	11,28	OK
	85L+			L+	0,16	4,95	OK	2,43	11,28	OK
	85R-	80		R-	0,18	4,95	OK	1,52	11,28	OK
	85R+			R+	0,18	4,95	OK	2,43	11,28	OK
94	94L-	54	P10-0	L-	0,17	4,41	OK	3,15	12,88	OK
	94L+			L+	0,17	4,41	OK	2,59	12,88	OK
	94R-	58		R-	0,18	4,41	OK	3,15	12,88	OK
	94R+			R+	0,18	4,41	OK	2,59	12,88	OK

Tabela B. 1 – Resultados locais dos pórticos em X: Verificação de mecanismos da estrutura existente, posterior ao reforço, para combinação CQP+100%E2X+30%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					DL	DL		DL	DL	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
95	95L-	58	P10-1	L-	0,33	4,37	OK	6,38	12,88	OK
	95L+			L+	0,33	4,37	OK	4,89	12,88	OK
	95R-	62		R-	0,36	4,37	OK	6,38	12,88	OK
	95R+			R+	0,36	4,37	OK	4,89	12,88	OK
96	96L-	62	P10-2	L-	0,43	4,26	OK	5,76	13,07	OK
	96L+			L+	0,43	4,26	OK	2,60	13,07	OK
	96R-	67		R-	0,61	4,26	OK	5,76	13,07	OK
	96R+			R+	0,61	4,26	OK	2,60	13,07	OK
104	104L-	55	P12-0	L-	0,16	3,85	OK	3,16	17,88	OK
	104L+			L+	0,16	3,85	OK	2,86	17,88	OK
	104R-	59		R-	0,10	3,85	OK	3,16	17,88	OK
	104R+			R+	0,10	3,85	OK	2,86	17,88	OK
105	105L-	59	P12-1	L-	0,24	3,80	OK	5,83	17,88	OK
	105L+			L+	0,24	3,80	OK	4,90	17,88	OK
	105R-	63		R-	0,23	3,80	OK	5,83	17,88	OK
	105R+			R+	0,23	3,80	OK	4,90	17,88	OK
106	106L-	63	P12-2	L-	0,29	3,80	OK	4,41	17,88	OK
	106L+			L+	0,29	3,80	OK	3,56	17,88	OK
	106R-	68		R-	0,30	3,80	OK	4,41	17,88	OK
	106R+			R+	0,30	3,80	OK	3,56	17,88	OK
107	107L-	68	P12-3	L-	0,32	4,20	OK	3,86	13,07	OK
	107L+			L+	0,32	4,20	OK	3,04	13,07	OK
	107R-	73		R-	0,33	4,20	OK	3,86	13,07	OK
	107R+			R+	0,33	4,20	OK	3,04	13,07	OK
108	108L-	73	P12-4	L-	0,32	5,28	OK	2,85	8,27	OK
	108L+			L+	0,32	5,28	OK	2,17	8,27	OK
	108R-	78		R-	0,34	5,28	OK	2,85	8,27	OK
	108R+			R+	0,34	5,28	OK	2,17	8,27	OK
142	142L-	81	P16-0	L-	0,17	4,17	OK	4,06	13,07	OK
	142L+			L+	0,17	4,17	OK	3,42	13,07	OK
	142R-	84		R-	0,11	4,17	OK	4,06	13,07	OK
	142R+			R+	0,11	4,17	OK	3,42	13,07	OK
143	143L-	84	P16-1	L-	0,26	4,12	OK	7,43	13,07	OK
	143L+			L+	0,26	4,12	OK	5,05	13,07	OK
	143R-	87		R-	0,24	4,12	OK	7,43	13,07	OK
	143R+			R+	0,24	4,12	OK	5,05	13,07	OK
144	144L-	87	P16-2	L-	0,31	4,06	OK	12,38	13,07	OK
	144L+			L+	0,31	4,06	OK	6,32	13,07	OK
	144R-	90		R-	0,52	4,06	OK	12,38	13,07	OK
	144R+			R+	0,52	4,06	OK	6,32	13,07	OK
147	147L-	82	P15-0	L-	0,16	4,62	OK	3,16	11,45	OK
	147L+			L+	0,16	4,62	OK	3,06	11,45	OK
	147R-	85		R-	0,12	4,62	OK	3,16	11,45	OK
	147R+			R+	0,12	4,62	OK	3,06	11,45	OK

Tabela B. 1 – Resultados locais dos pórticos em X: Verificação de mecanismos da estrutura existente, posterior ao reforço, para combinação CQP+100%E2X+30%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					DL	DL		DL	DL	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
148	148L-	85	P15-1	L-	0,26	4,54	OK	5,80	11,45	OK
	148L+			L+	0,26	4,54	OK	5,27	11,45	OK
	148R-	88		R-	0,25	4,54	OK	5,80	11,45	OK
	148R+			R+	0,25	4,54	OK	5,27	11,45	OK
149	149L-	88	P15-2	L-	0,30	4,92	OK	4,15	13,13	OK
	149L+			L+	0,30	4,92	OK	3,85	13,13	OK
	149R-	91		R-	0,28	4,92	OK	4,15	13,13	OK
	149R+			R+	0,28	4,92	OK	3,85	13,13	OK
150	150L-	91	P15-3	L-	0,30	4,58	OK	4,75	13,38	OK
	150L+			L+	0,30	4,58	OK	4,15	13,38	OK
	150R-	93		R-	0,32	4,58	OK	4,75	13,38	OK
	150R+			R+	0,32	4,58	OK	4,15	13,38	OK
151	151L-	93	P15-4	L-	0,31	6,10	OK	1,09	8,08	OK
	151L+			L+	0,31	6,10	OK	0,96	8,08	OK
	151R-	95		R-	0,32	6,10	OK	1,09	8,08	OK
	151R+			R+	0,32	6,10	OK	0,96	8,08	OK
158	158L-	192	P13-0	L-	0,15	4,54	OK	2,52	12,88	OK
	158L+			L+	0,15	4,54	OK	1,70	12,88	OK
	158R-	140		R-	0,12	4,54	OK	2,52	12,88	OK
	158R+			R+	0,12	4,54	OK	1,70	12,88	OK
159	159L-	140	P13-1	L-	0,22	4,47	OK	4,15	12,88	OK
	159L+			L+	0,22	4,47	OK	2,49	12,88	OK
	159R-	144		R-	0,21	4,47	OK	4,15	12,88	OK
	159R+			R+	0,21	4,47	OK	2,49	12,88	OK
160	160L-	144	P13-2	L-	0,26	4,30	OK	2,98	13,07	OK
	160L+			L+	0,26	4,30	OK	1,92	13,07	OK
	160R-	149		R-	0,27	4,30	OK	2,98	13,07	OK
	160R+			R+	0,27	4,30	OK	1,92	13,07	OK
161	161L-	149	P13-3	L-	0,28	4,21	OK	3,23	13,07	OK
	161L+			L+	0,28	4,21	OK	2,11	13,07	OK
	161R-	154		R-	0,28	4,21	OK	3,23	13,07	OK
	161R+			R+	0,28	4,21	OK	2,11	13,07	OK
162	162L-	154	P13-4	L-	0,27	4,95	OK	2,44	11,28	OK
	162L+			L+	0,27	4,95	OK	1,52	11,28	OK
	162R-	159		R-	0,32	4,95	OK	2,44	11,28	OK
	162R+			R+	0,32	4,95	OK	1,52	11,28	OK
196	196L-	97	P14-0	L-	0,15	4,56	OK	2,18	12,88	OK
	196L+			L+	0,15	4,56	OK	2,17	12,88	OK
	196R-	99		R-	0,08	4,56	OK	2,18	12,88	OK
	196R+			R+	0,08	4,56	OK	2,17	12,88	OK
197	197L-	99	P14-1	L-	0,19	4,48	OK	3,42	12,88	OK
	197L+			L+	0,19	4,48	OK	3,41	12,88	OK
	197R-	101		R-	0,18	4,48	OK	3,42	12,88	OK
	197R+			R+	0,18	4,48	OK	3,41	12,88	OK

Tabela B. 1 – Resultados locais dos pórticos em X: Verificação de mecanismos da estrutura existente, posterior ao reforço, para combinação CQP+100%E2X+30%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					DL	DL		DL	DL	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
198	198L-	101	P14-2	L-	0,22	4,30	OK	2,46	13,07	OK
	198L+			L+	0,22	4,30	OK	2,46	13,07	OK
	198R-	106		R-	0,22	4,30	OK	2,46	13,07	OK
	198R+			R+	0,22	4,30	OK	2,46	13,07	OK
199	199L-	106	P14-3	L-	0,23	4,20	OK	2,62	13,07	OK
	199L+			L+	0,23	4,20	OK	2,62	13,07	OK
	199R-	111		R-	0,23	4,20	OK	2,62	13,07	OK
	199R+			R+	0,23	4,20	OK	2,62	13,07	OK
200	200L-	111	P14-4	L-	0,22	4,92	OK	1,88	11,28	OK
	200L+			L+	0,22	4,92	OK	1,88	11,28	OK
	200R-	116		R-	0,25	4,92	OK	1,88	11,28	OK
	200R+			R+	0,25	4,92	OK	1,88	11,28	OK
201	201L-	117	P16-0	L-	0,17	4,17	OK	3,43	13,07	OK
	201L+			L+	0,17	4,17	OK	4,05	13,07	OK
	201R-	120		R-	0,07	4,17	OK	3,43	13,07	OK
	201R+			R+	0,07	4,17	OK	4,05	13,07	OK
202	202L-	120	P16-1	L-	0,22	4,12	OK	5,06	13,07	OK
	202L+			L+	0,22	4,12	OK	7,42	13,07	OK
	202R-	123		R-	0,12	4,12	OK	5,06	13,07	OK
	202R+			R+	0,12	4,12	OK	7,42	13,07	OK
203	203L-	123	P16-2	L-	0,19	4,06	OK	6,33	13,07	OK
	203L+			L+	0,19	4,06	OK	12,39	13,07	OK
	203R-	126		R-	0,22	4,06	OK	6,33	13,07	OK
	203R+			R+	0,22	4,06	OK	12,39	13,07	OK
206	206L-	118	P15-0	L-	0,16	4,62	OK	2,89	11,45	OK
	206L+			L+	0,16	4,62	OK	3,09	11,45	OK
	206R-	121		R-	0,10	4,62	OK	2,89	11,45	OK
	206R+			R+	0,10	4,62	OK	3,09	11,45	OK
207	207L-	121	P15-1	L-	0,24	4,54	OK	4,84	11,45	OK
	207L+			L+	0,24	4,54	OK	5,52	11,45	OK
	207R-	124		R-	0,20	4,54	OK	4,84	11,45	OK
	207R+			R+	0,20	4,54	OK	5,52	11,45	OK
208	208L-	124	P15-2	L-	0,26	4,92	OK	3,54	13,13	OK
	208L+			L+	0,26	4,92	OK	3,86	13,13	OK
	208R-	127		R-	0,27	4,92	OK	3,54	13,13	OK
	208R+			R+	0,27	4,92	OK	3,86	13,13	OK
209	209L-	127	P15-3	L-	0,29	4,58	OK	4,03	13,38	OK
	209L+			L+	0,29	4,58	OK	4,00	13,38	OK
	209R-	129		R-	0,27	4,58	OK	4,03	13,38	OK
	209R+			R+	0,27	4,58	OK	4,00	13,38	OK
210	210L-	129	P15-4	L-	0,26	6,10	OK	0,96	8,08	OK
	210L+			L+	0,26	6,10	OK	1,10	8,08	OK
	210R-	131		R-	0,28	6,10	OK	0,96	8,08	OK
	210R+			R+	0,28	6,10	OK	1,10	8,08	OK

Tabela B. 1 – Resultados locais dos pórticos em X: Verificação de mecanismos da estrutura existente, posterior ao reforço, para combinação CQP+100%E2X+30%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dútil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					DL	DL		DL	DL	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
242	242L-	133	P10-0	L-	0,17	4,41	OK	2,60	12,88	OK
	242L+			L+	0,17	4,41	OK	3,14	12,88	OK
	242R-	137		R-	0,12	4,41	OK	2,60	12,88	OK
	242R+			R+	0,12	4,41	OK	3,14	12,88	OK
243	243L-	137	P10-1	L-	0,27	4,37	OK	4,89	12,88	OK
	243L+			L+	0,27	4,37	OK	6,36	12,88	OK
	243R-	141		R-	0,26	4,37	OK	4,89	12,88	OK
	243R+			R+	0,26	4,37	OK	6,36	12,88	OK
244	244L-	141	P10-2	L-	0,33	4,26	OK	2,60	13,07	OK
	244L+			L+	0,33	4,26	OK	5,76	13,07	OK
	244R-	146		R-	0,13	4,26	OK	2,60	13,07	OK
	244R+			R+	0,13	4,26	OK	5,76	13,07	OK
252	252L-	134	P12-0	L-	0,16	3,85	OK	2,85	17,88	OK
	252L+			L+	0,16	3,85	OK	3,13	17,88	OK
	252R-	138		R-	0,08	3,85	OK	2,85	17,88	OK
	252R+			R+	0,08	3,85	OK	3,13	17,88	OK
253	253L-	138	P12-1	L-	0,21	3,80	OK	4,87	17,88	OK
	253L+			L+	0,21	3,80	OK	5,79	17,88	OK
	253R-	142		R-	0,18	3,80	OK	4,87	17,88	OK
	253R+			R+	0,18	3,80	OK	5,79	17,88	OK
254	254L-	142	P12-2	L-	0,24	3,80	OK	3,54	17,88	OK
	254L+			L+	0,24	3,80	OK	4,38	17,88	OK
	254R-	147		R-	0,23	3,80	OK	3,54	17,88	OK
	254R+			R+	0,23	3,80	OK	4,38	17,88	OK
255	255L-	147	P12-3	L-	0,25	4,20	OK	3,03	13,07	OK
	255L+			L+	0,25	4,20	OK	3,84	13,07	OK
	255R-	152		R-	0,25	4,20	OK	3,03	13,07	OK
	255R+			R+	0,25	4,20	OK	3,84	13,07	OK
256	256L-	152	P12-4	L-	0,24	5,28	OK	2,16	8,27	OK
	256L+			L+	0,24	5,28	OK	2,85	8,27	OK
	256R-	157		R-	0,25	5,28	OK	2,16	8,27	OK
	256R+			R+	0,25	5,28	OK	2,85	8,27	OK
317	317L-	163	P9-0	L-	0,15	4,51	OK	1,74	12,88	OK
	317L+			L+	0,15	4,51	OK	1,53	12,88	OK
	317R-	168		R-	0,03	4,51	OK	1,74	12,88	OK
	317R+			R+	0,03	4,51	OK	1,53	12,88	OK
318	318L-	168	P9-1	L-	0,14	4,44	OK	2,59	12,88	OK
	318L+			L+	0,14	4,44	OK	2,01	12,88	OK
	318R-	173		R-	0,14	4,44	OK	2,59	12,88	OK
	318R+			R+	0,14	4,44	OK	2,01	12,88	OK
319	319L-	173	P9-2	L-	0,18	4,27	OK	2,13	13,07	OK
	319L+			L+	0,18	4,27	OK	1,53	13,07	OK
	319R-	178		R-	0,20	4,27	OK	2,13	13,07	OK
	319R+			R+	0,20	4,27	OK	1,53	13,07	OK

Tabela B. 1 – Resultados locais dos pórticos em X: Verificação de mecanismos da estrutura existente, posterior ao reforço, para combinação CQP+100%E2X+30%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					DL	DL		DL	DL	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
320	320L-	178	P9-3	L-	0,21	4,18	OK	2,47	13,07	OK
	320L+			L+	0,21	4,18	OK	1,65	13,07	OK
	320R-	183		R-	0,23	4,18	OK	2,47	13,07	OK
	320R+			R+	0,23	4,18	OK	1,65	13,07	OK
321	321L-	183	P9-4	L-	0,21	4,89	OK	2,19	11,28	OK
	321L+			L+	0,21	4,89	OK	1,20	11,28	OK
	321R-	188		R-	0,34	4,89	OK	2,19	11,28	OK
	321R+			R+	0,34	4,89	OK	1,20	11,28	OK
129	129L-	58	V19-1	L-	0,07	3,54	OK	6,11	27,52	OK
	129L+			L+	0,07	3,50	OK	6,57	27,52	OK
	129R-	84		R-	0,01	3,54	OK	10,78	27,52	OK
	129R+			R+	0,01	3,50	OK	1,89	27,52	OK
130	130L-	62	V19-2	L-	0,17	3,54	OK	11,30	27,52	OK
	130L+			L+	0,17	3,50	OK	7,52	27,52	OK
	130R-	87		R-	0,05	3,54	OK	15,98	27,52	OK
	130R+			R+	0,05	3,50	OK	2,84	27,52	OK
131	131L-	67	V17-3	L-	0,46	4,54	OK	38,63	57,42	OK
	131L+			L+	0,46	4,22	OK	23,21	57,42	OK
	131R-	90		R-	0,37	4,54	OK	48,86	57,42	OK
	131R+			R+	0,37	4,22	OK	33,45	57,42	OK
132	132L-	59	V10-1	L-	0,04	4,11	OK	2,28	39,99	OK
	132L+			L+	0,04	3,74	OK	8,60	39,99	OK
	132R-	85		R-	0,02	4,11	OK	6,57	39,99	OK
	132R+			R+	0,02	3,74	OK	4,31	39,99	OK
133	133L-	63	V10-2	L-	0,04	4,11	OK	3,11	39,99	OK
	133L+			L+	0,04	3,74	OK	8,45	39,99	OK
	133R-	88		R-	0,03	4,11	OK	7,40	39,99	OK
	133R+			R+	0,03	3,74	OK	4,16	39,99	OK
134	134L-	68	V10-3	L-	0,03	4,11	OK	3,28	39,99	OK
	134L+			L+	0,03	3,74	OK	5,07	39,99	OK
	134R-	91		R-	0,05	4,11	OK	7,57	39,99	OK
	134R+			R+	0,05	3,74	OK	0,78	39,99	OK
135	135L-	73	V10-4	L-	0,02	4,11	OK	4,13	39,99	OK
	135L+			L+	0,02	3,74	OK	0,28	39,99	OK
	135R-	93		R-	0,03	4,11	OK	8,42	39,99	OK
	135R+			R+	0,03	3,74	OK	4,01	39,99	OK
136	136L-	78	V10-5	L-	0,02	4,11	OK	2,65	39,99	OK
	136L+			L+	0,02	3,74	OK	0,51	39,99	OK
	136R-	95		R-	0,00	4,11	OK	6,94	39,99	OK
	136R+			R+	0,00	3,74	OK	4,80	39,99	OK
173	173L-	84	V19-1	L-	0,05	3,53	OK	0,66	27,52	OK
	173L+			L+	0,05	3,44	OK	8,69	27,52	OK
	173R-	120		R-	0,09	3,53	OK	8,70	27,52	OK
	173R+			R+	0,09	3,44	OK	0,67	27,52	OK

Tabela B. 1 – Resultados locais dos pórticos em X: Verificação de mecanismos da estrutura existente, posterior ao reforço, para combinação CQP+100%E2X+30%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dútil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					DL	DL		DL	DL	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
174	174L-	87	V19-2	L-	0,07	3,53	OK	2,40	27,52	OK
	174L+			L+	0,07	3,44	OK	11,75	27,52	OK
	174R-	123		R-	0,19	3,53	OK	11,76	27,52	OK
	174R+			R+	0,19	3,44	OK	2,40	27,52	OK
175	175L-	90	V17-3	L-	0,14	3,32	OK	58,95	57,42	KO
	175L+			L+	0,14	3,29	OK	74,10	57,42	KO
	175R-	126		R-	0,16	3,32	OK	74,05	57,42	KO
	175R+			R+	0,16	3,29	OK	58,99	57,42	KO
181	181L-	85	V10-1	L-	0,03	3,35	OK	0,44	39,99	OK
	181L+			L+	0,03	3,27	OK	6,66	39,99	OK
	181R-	121		R-	0,05	3,35	OK	6,11	39,99	OK
	181R+			R+	0,05	3,27	OK	0,03	39,99	OK
182	182L-	88	V10-2	L-	0,04	3,35	OK	0,83	39,99	OK
	182L+			L+	0,04	3,27	OK	9,40	39,99	OK
	182R-	124		R-	0,09	3,35	OK	9,41	39,99	OK
	182R+			R+	0,09	3,27	OK	0,83	39,99	OK
183	183L-	91	V10-3	L-	0,07	3,35	OK	4,26	39,99	OK
	183L+			L+	0,07	3,27	OK	12,46	39,99	OK
	183R-	127		R-	0,08	3,35	OK	12,97	39,99	OK
	183R+			R+	0,08	3,27	OK	3,88	39,99	OK
184	184L-	93	V10-4	L-	0,05	3,35	OK	7,69	39,99	OK
	184L+			L+	0,05	3,27	OK	13,16	39,99	OK
	184R-	129		R-	0,09	3,35	OK	13,47	39,99	OK
	184R+			R+	0,09	3,27	OK	7,56	39,99	OK
185	185L-	95	V10-5	L-	0,03	3,35	OK	11,34	39,99	OK
	185L+			L+	0,03	3,27	OK	13,04	39,99	OK
	185R-	131		R-	0,07	3,35	OK	13,04	39,99	OK
	185R+			R+	0,07	3,27	OK	11,34	39,99	OK
226	226L-	120	V19-1	L-	0,04	3,54	OK	1,83	27,52	OK
	226L+			L+	0,04	3,50	OK	10,69	27,52	OK
	226R-	137		R-	0,01	3,54	OK	6,51	27,52	OK
	226R+			R+	0,01	3,50	OK	6,01	27,52	OK
227	227L-	123	V19-2	L-	0,07	3,54	OK	2,80	27,52	OK
	227L+			L+	0,07	3,50	OK	15,90	27,52	OK
	227R-	141		R-	0,07	3,54	OK	7,47	27,52	OK
	227R+			R+	0,07	3,50	OK	11,22	27,52	OK
228	228L-	126	V17-3	L-	0,08	4,54	OK	33,64	57,42	OK
	228L+			L+	0,08	4,22	OK	48,68	57,42	OK
	228R-	146		R-	0,02	4,54	OK	23,41	57,42	OK
	228R+			R+	0,02	4,22	OK	38,44	57,42	OK
229	229L-	121	V10-1	L-	0,04	4,11	OK	4,21	39,99	OK
	229L+			L+	0,04	3,74	OK	6,52	39,99	OK
	229R-	138		R-	0,06	4,11	OK	8,50	39,99	OK
	229R+			R+	0,06	3,74	OK	2,23	39,99	OK

Tabela B. 1 – Resultados locais dos pórticos em X: Verificação de mecanismos da estrutura existente, posterior ao reforço, para combinação CQP+100%E2X+30%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dútil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					DL	DL		DL	DL	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
230	230L-	124	V10-2	L-	0,08	4,11	OK	4,00	39,99	OK
	230L+			L+	0,08	3,74	OK	7,21	39,99	OK
	230R-	142		R-	0,10	4,11	OK	8,29	39,99	OK
	230R+			R+	0,10	3,74	OK	2,92	39,99	OK
231	231L-	127	V10-3	L-	0,06	4,11	OK	0,49	39,99	OK
	231L+			L+	0,06	3,74	OK	7,15	39,99	OK
	231R-	147		R-	0,10	4,11	OK	4,78	39,99	OK
	231R+			R+	0,10	3,74	OK	2,86	39,99	OK
232	232L-	129	V10-4	L-	0,07	4,11	OK	3,91	39,99	OK
	232L+			L+	0,07	3,74	OK	8,34	39,99	OK
	232R-	152		R-	0,10	4,11	OK	0,38	39,99	OK
	232R+			R+	0,10	3,74	OK	4,05	39,99	OK
233	233L-	131	V10-5	L-	0,04	4,11	OK	4,86	39,99	OK
	233L+			L+	0,04	3,74	OK	6,89	39,99	OK
	233R-	157		R-	0,07	4,11	OK	0,57	39,99	OK
	233R+			R+	0,07	3,74	OK	2,60	39,99	OK
385	385L-	33	V4-1	L-	0,13	4,55	OK	1,83	18,97	OK
	385L+			L+	0,13	4,43	OK	6,07	18,97	OK
	385R-	61		R-	0,12	4,55	OK	4,97	18,97	OK
	385R+			R+	0,12	4,43	OK	3,21	18,97	OK
388	388L-	61	V5-1	L-	0,11	4,07	OK	11,91	18,97	OK
	388L+			L+	0,11	3,91	OK	14,57	18,97	OK
	388R-	99		R-	0,06	4,07	OK	13,08	18,97	OK
	388R+			R+	0,06	3,91	OK	10,78	18,97	OK
390	390L-	99	V5-1	L-	0,06	4,07	OK	10,78	18,97	OK
	390L+			L+	0,06	3,91	OK	13,07	18,97	OK
	390R-	140		R-	0,02	4,07	OK	14,56	18,97	OK
	390R+			R+	0,02	3,91	OK	11,91	18,97	OK
392	392L-	140	V4-1	L-	0,03	4,55	OK	3,20	18,97	OK
	392L+			L+	0,03	4,43	OK	4,97	18,97	OK
	392R-	168		R-	0,11	4,55	OK	6,07	18,97	OK
	392R+			R+	0,11	4,43	OK	1,85	18,97	OK
395	395L-	101	V5-2	L-	0,06	4,07	OK	10,64	18,97	OK
	395L+			L+	0,06	3,91	OK	12,95	18,97	OK
	395R-	144		R-	0,03	4,07	OK	16,31	18,97	OK
	395R+			R+	0,03	3,91	OK	12,33	18,97	OK
397	397L-	65	V5-2	L-	0,12	4,07	OK	12,32	18,97	OK
	397L+			L+	0,12	3,91	OK	16,32	18,97	OK
	397R-	101		R-	0,06	4,07	OK	12,96	18,97	OK
	397R+			R+	0,06	3,91	OK	10,64	18,97	OK
399	399L-	38	V4-2	L-	0,15	4,55	OK	1,49	18,97	OK
	399L+			L+	0,15	4,43	OK	6,31	18,97	OK
	399R-	65		R-	0,12	4,55	OK	5,05	18,97	OK
	399R+			R+	0,12	4,43	OK	3,01	18,97	OK

Tabela B. 1 – Resultados locais dos pórticos em X: Verificação de mecanismos da estrutura existente, posterior ao reforço, para combinação CQP+100%E2X+30%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					DL	DL		DL	DL	
					θD	θC		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
402	402L-	144	V4-2	L-	0,03	4,55	OK	3,01	18,97	OK
	402L+			L+	0,03	4,43	OK	5,05	18,97	OK
	402R-	173		R-	0,11	4,55	OK	6,30	18,97	OK
	402R+			R+	0,11	4,43	OK	1,50	18,97	OK
405	405L-	106	V5-3	L-	0,06	4,07	OK	10,80	18,97	OK
	405L+			L+	0,06	3,91	OK	12,62	18,97	OK
	405R-	149		R-	0,01	4,07	OK	17,15	18,97	OK
	405R+			R+	0,01	3,91	OK	13,16	18,97	OK
407	407L-	70	V5-3	L-	0,12	4,07	OK	13,15	18,97	OK
	407L+			L+	0,12	3,91	OK	17,16	18,97	OK
	407R-	106		R-	0,06	4,07	OK	12,63	18,97	OK
	407R+			R+	0,06	3,91	OK	10,80	18,97	OK
409	409L-	43	V4-3	L-	0,15	4,55	OK	1,97	18,97	OK
	409L+			L+	0,15	4,43	OK	6,59	18,97	OK
	409R-	70		R-	0,12	4,55	OK	5,08	18,97	OK
	409R+			R+	0,12	4,43	OK	3,08	18,97	OK
412	412L-	149	V4-3	L-	0,01	4,55	OK	3,07	18,97	OK
	412L+			L+	0,01	4,43	OK	5,09	18,97	OK
	412R-	178		R-	0,08	4,55	OK	6,58	18,97	OK
	412R+			R+	0,08	4,43	OK	1,98	18,97	OK
415	415L-	111	V5-4	L-	0,06	4,07	OK	10,90	18,97	OK
	415L+			L+	0,06	3,91	OK	12,41	18,97	OK
	415R-	154		R-	0,01	4,07	OK	17,83	18,97	OK
	415R+			R+	0,01	3,91	OK	14,39	18,97	OK
417	417L-	75	V5-4	L-	0,12	4,07	OK	14,38	18,97	OK
	417L+			L+	0,12	3,91	OK	17,85	18,97	OK
	417R-	111		R-	0,06	4,07	OK	12,41	18,97	OK
	417R+			R+	0,06	3,91	OK	10,89	18,97	OK
419	419L-	48	V4-4	L-	0,14	4,55	OK	2,44	18,97	OK
	419L+			L+	0,14	4,43	OK	6,73	18,97	OK
	419R-	75		R-	0,11	4,55	OK	5,03	18,97	OK
	419R+			R+	0,11	4,43	OK	3,08	18,97	OK
422	422L-	154	V4-4	L-	0,00	4,55	OK	3,08	18,97	OK
	422L+			L+	0,00	4,43	OK	5,03	18,97	OK
	422R-	183		R-	0,06	4,55	OK	6,73	18,97	OK
	422R+			R+	0,06	4,43	OK	2,45	18,97	OK
425	425L-	53	V4-5	L-	0,10	4,55	OK	4,85	18,97	OK
	425L+			L+	0,10	4,43	OK	6,83	18,97	OK
	425R-	80		R-	0,08	4,55	OK	4,96	18,97	OK
	425R+			R+	0,08	4,43	OK	3,90	18,97	OK
428	428L-	159	V4-5	L-	0,06	4,55	OK	3,90	18,97	OK
	428L+			L+	0,06	4,43	OK	4,96	18,97	OK
	428R-	188		R-	0,08	4,55	OK	6,82	18,97	OK
	428R+			R+	0,08	4,43	OK	4,85	18,97	OK

Tabela B. 1 – Resultados locais dos pórticos em X: Verificação de mecanismos da estrutura existente, posterior ao reforço, para combinação CQP+100%E2X+30%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dútil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					DL	DL		DL	DL	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
431	431L-	116	V5-5	L-	0,04	4,07	OK	11,43	18,97	OK
	431L+			L+	0,04	3,91	OK	11,76	18,97	OK
	431R-	159		R-	0,03	4,07	OK	17,99	18,97	OK
	431R+			R+	0,03	3,91	OK	15,00	18,97	OK
433	433L-	80	V5-5	L-	0,10	4,07	OK	14,99	18,97	OK
	433L+			L+	0,10	3,91	OK	18,00	18,97	OK
	433R-	116		R-	0,04	4,07	OK	11,77	18,97	OK
	433R+			R+	0,04	3,91	OK	11,42	18,97	OK

Tabela B. 2 – Resultados locais dos pórticos em Y: Verificação de mecanismos da estrutura existente, posterior ao reforço, para combinação CQP+30%E2X+100%E2Y.

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					DL	DL		DL	DL	
					θD	θC		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
1	1L-	136	P5-0	L-	0,15	3,68	OK	4,71	20,28	OK
	1L+			L+	0,15	3,68	OK	1,23	20,28	OK
	1R-	8		R-	0,09	3,68	OK	4,71	20,28	OK
	1R+			R+	0,09	3,68	OK	1,23	20,28	OK
2	2L-	8	P5-1	L-	0,08	3,65	OK	8,91	20,28	OK
	2L+			L+	0,08	3,65	OK	1,49	20,28	OK
	2R-	12		R-	0,02	3,65	OK	8,91	20,28	OK
	2R+			R+	0,02	3,65	OK	1,49	20,28	OK
3	3L-	12	P5-2	L-	0,11	3,94	OK	7,68	15,48	OK
	3L+			L+	0,11	3,94	OK	1,47	15,48	OK
	3R-	16		R-	0,06	3,94	OK	7,68	15,48	OK
	3R+			R+	0,06	3,94	OK	1,47	15,48	OK
4	4L-	16	P5-3	L-	0,10	4,39	OK	5,24	14,48	OK
	4L+			L+	0,10	4,39	OK	0,67	14,48	OK
	4R-	20		R-	0,08	4,39	OK	5,24	14,48	OK
	4R+			R+	0,08	4,39	OK	0,67	14,48	OK
5	5L-	20	P5-4	L-	0,09	5,99	OK	2,22	8,08	OK
	5L+			L+	0,09	5,99	OK	0,10	8,08	OK
	5R-	24		R-	0,03	5,99	OK	2,22	8,08	OK
	5R+			R+	0,03	5,99	OK	0,10	8,08	OK
21	21L-	3	P4-0	L-	0,15	3,74	OK	4,55	20,28	OK
	21L+			L+	0,15	3,74	OK	3,75	20,28	OK
	21R-	7		R-	0,02	3,74	OK	4,55	20,28	OK
	21R+			R+	0,02	3,74	OK	3,75	20,28	OK
22	22L-	7	P4-1	L-	0,19	3,69	OK	9,02	20,28	OK
	22L+			L+	0,19	3,69	OK	7,42	20,28	OK
	22R-	11		R-	0,16	3,69	OK	9,02	20,28	OK
	22R+			R+	0,16	3,69	OK	7,42	20,28	OK
23	23L-	11	P4-2	L-	0,26	4,01	OK	7,40	15,48	OK
	23L+			L+	0,26	4,01	OK	6,20	15,48	OK
	23R-	15		R-	0,30	4,01	OK	7,40	15,48	OK
	23R+			R+	0,30	4,01	OK	6,20	15,48	OK
24	24L-	15	P4-3	L-	0,34	4,50	OK	4,36	14,48	OK
	24L+			L+	0,34	4,50	OK	3,57	14,48	OK
	24R-	19		R-	0,39	4,50	OK	4,36	14,48	OK
	24R+			R+	0,39	4,50	OK	3,57	14,48	OK
25	25L-	19	P4-4	L-	0,40	6,16	OK	1,56	8,08	OK
	25L+			L+	0,40	6,16	OK	1,19	8,08	OK
	25R-	23		R-	0,41	6,16	OK	1,56	8,08	OK
	25R+			R+	0,41	6,16	OK	1,19	8,08	OK
31	31L-	160	P5-0	L-	0,15	3,68	OK	4,68	20,28	OK
	31L+			L+	0,15	3,68	OK	1,21	20,28	OK
	31R-	196		R-	0,09	3,68	OK	4,68	20,28	OK
	31R+			R+	0,09	3,68	OK	1,21	20,28	OK

Tabela B. 2 – Resultados locais dos pórticos em Y: Verificação de mecanismos da estrutura existente, posterior ao reforço, para combinação CQP+30%E2X+100%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					DL	DL		DL	DL	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
32	32L-	196	P5-1	L-	0,08	3,65	OK	8,87	20,28	OK
	32L+			L+	0,08	3,65	OK	1,44	20,28	OK
	32R-	200		R-	0,02	3,65	OK	8,87	20,28	OK
	32R+			R+	0,02	3,65	OK	1,44	20,28	OK
33	33L-	200	P5-2	L-	0,11	3,94	OK	7,65	15,48	OK
	33L+			L+	0,11	3,94	OK	1,43	15,48	OK
	33R-	204		R-	0,05	3,94	OK	7,65	15,48	OK
	33R+			R+	0,05	3,94	OK	1,43	15,48	OK
34	34L-	204	P5-3	L-	0,10	4,39	OK	5,22	14,48	OK
	34L+			L+	0,10	4,39	OK	0,65	14,48	OK
	34R-	208		R-	0,07	4,39	OK	5,22	14,48	OK
	34R+			R+	0,07	4,39	OK	0,65	14,48	OK
35	35L-	208	P5-4	L-	0,09	5,99	OK	2,21	8,08	OK
	35L+			L+	0,09	5,99	OK	0,09	8,08	OK
	35R-	212		R-	0,03	5,99	OK	2,21	8,08	OK
	35R+			R+	0,03	5,99	OK	0,09	8,08	OK
56	56L-	26	P7-0	L-	0,14	3,89	OK	3,10	17,88	OK
	56L+			L+	0,14	3,89	OK	6,02	17,88	OK
	56R-	30		R-	0,10	3,89	OK	3,10	17,88	OK
	56R+			R+	0,10	3,89	OK	6,02	17,88	OK
57	57L-	30	P7-1	L-	0,26	3,83	OK	5,00	17,88	OK
	57L+			L+	0,26	3,83	OK	11,95	17,88	OK
	57R-	35		R-	0,24	3,83	OK	5,00	17,88	OK
	57R+			R+	0,24	3,83	OK	11,95	17,88	OK
58	58L-	35	P7-2	L-	0,33	3,82	OK	5,70	17,88	OK
	58L+			L+	0,33	3,82	OK	14,70	17,88	OK
	58R-	40		R-	0,41	3,82	OK	5,70	17,88	OK
	58R+			R+	0,41	3,82	OK	14,70	17,88	OK
59	59L-	40	P7-3	L-	0,45	4,23	OK	3,15	13,07	OK
	59L+			L+	0,45	4,23	OK	10,70	13,07	OK
	59R-	45		R-	0,64	4,23	OK	3,15	13,07	OK
	59R+			R+	0,64	4,23	OK	10,70	13,07	OK
60	60L-	45	P7-4	L-	0,65	5,28	OK	1,20	8,27	OK
	60L+			L+	0,65	5,28	OK	5,28	8,27	OK
	60R-	50		R-	0,74	5,28	OK	1,20	8,27	OK
	60R+			R+	0,74	5,28	OK	5,28	8,27	OK
66	66L-	27	P8-0	L-	0,14	3,96	OK	3,25	17,88	OK
	66L+			L+	0,14	3,96	OK	4,92	17,88	OK
	66R-	31		R-	0,06	3,96	OK	3,25	17,88	OK
	66R+			R+	0,06	3,96	OK	4,92	17,88	OK
67	67L-	31	P8-1	L-	0,22	3,89	OK	6,05	17,88	OK
	67L+			L+	0,22	3,89	OK	8,67	17,88	OK
	67R-	36		R-	0,15	3,89	OK	6,05	17,88	OK
	67R+			R+	0,15	3,89	OK	8,67	17,88	OK

Tabela B. 2 – Resultados locais dos pórticos em Y: Verificação de mecanismos da estrutura existente, posterior ao reforço, para combinação CQP+30%E2X+100%E2Y (continuação).

N		Nó	Nome		Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
					Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					DL	DL		DL	DL	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
68	68L-	36	P8-2	L-	0,24	3,89	OK	8,06	17,88	OK
	68L+			L+	0,24	3,89	OK	9,88	17,88	OK
	68R-	41		R-	0,27	3,89	OK	8,06	17,88	OK
	68R+			R+	0,27	3,89	OK	9,88	17,88	OK
69	69L-	41	P8-3	L-	0,31	4,32	OK	5,59	13,07	OK
	69L+			L+	0,31	4,32	OK	6,59	13,07	OK
	69R-	46		R-	0,38	4,32	OK	5,59	13,07	OK
	69R+			R+	0,38	4,32	OK	6,59	13,07	OK
70	70L-	46	P8-4	L-	0,39	5,39	OK	2,45	8,27	OK
	70L+			L+	0,39	5,39	OK	3,25	8,27	OK
	70R-	51		R-	0,52	5,39	OK	2,45	8,27	OK
	70R+			R+	0,52	5,39	OK	3,25	8,27	OK
76	76L-	28	P9-0	L-	0,14	4,51	OK	5,77	12,88	OK
	76L+			L+	0,14	4,51	OK	1,69	12,88	OK
	76R-	33		R-	0,27	4,51	OK	5,77	12,88	OK
	76R+			R+	0,27	4,51	OK	1,69	12,88	OK
77	77L-	33	P9-1	L-	0,11	4,44	OK	10,85	12,88	OK
	77L+			L+	0,11	4,44	OK	3,36	12,88	OK
	77R-	38		R-	0,13	4,44	OK	10,85	12,88	OK
	77R+			R+	0,13	4,44	OK	3,36	12,88	OK
78	78L-	38	P9-2	L-	0,04	4,27	OK	10,29	13,07	OK
	78L+			L+	0,04	4,27	OK	2,24	13,07	OK
	78R-	43		R-	0,13	4,27	OK	10,29	13,07	OK
	78R+			R+	0,13	4,27	OK	2,24	13,07	OK
79	79L-	43	P9-3	L-	0,09	4,18	OK	12,62	13,07	OK
	79L+			L+	0,09	4,18	OK	3,19	13,07	OK
	79R-	48		R-	0,17	4,18	OK	12,62	13,07	OK
	79R+			R+	0,17	4,18	OK	3,19	13,07	OK
80	80L-	48	P9-4	L-	0,15	4,89	OK	7,09	11,28	OK
	80L+			L+	0,15	4,89	OK	2,52	11,28	OK
	80R-	53		R-	0,44	4,89	OK	7,09	11,28	OK
	80R+			R+	0,44	4,89	OK	2,52	11,28	OK
81	81L-	190	P13-0	L-	0,13	4,54	OK	4,62	12,88	OK
	81L+			L+	0,13	4,54	OK	0,50	12,88	OK
	81R-	61		R-	0,16	4,54	OK	4,62	12,88	OK
	81R+			R+	0,16	4,54	OK	0,50	12,88	OK
82	82L-	61	P13-1	L-	0,02	4,47	OK	8,57	12,88	OK
	82L+			L+	0,02	4,47	OK	0,69	12,88	OK
	82R-	65		R-	0,01	4,47	OK	8,57	12,88	OK
	82R+			R+	0,01	4,47	OK	0,69	12,88	OK
83	83L-	65	P13-2	L-	0,07	4,30	OK	7,95	13,07	OK
	83L+			L+	0,07	4,30	OK	0,66	13,07	OK
	83R-	70		R-	0,03	4,30	OK	7,95	13,07	OK
	83R+			R+	0,03	4,30	OK	0,66	13,07	OK

Tabela B. 2 – Resultados locais dos pórticos em Y: Verificação de mecanismos da estrutura existente, posterior ao reforço, para combinação CQP+30%E2X+100%E2Y (continuação).

N		Nó	Nome		Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
					Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					DL	DL		DL	DL	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
84	84L-	70	P13-3	L-	0,07	4,21	OK	9,37	13,07	OK
	84L+			L+	0,07	4,21	OK	1,00	13,07	OK
	84R-	75		R-	0,06	4,21	OK	9,37	13,07	OK
	84R+			R+	0,06	4,21	OK	1,00	13,07	OK
85	85L-	75	P13-4	L-	0,07	4,95	OK	5,81	11,28	OK
	85L+			L+	0,07	4,95	OK	0,65	11,28	OK
	85R-	80		R-	0,22	4,95	OK	5,81	11,28	OK
	85R+			R+	0,22	4,95	OK	0,65	11,28	OK
87	87L-	83	P3-0	L-	0,15	3,64	OK	0,81	20,28	OK
	87L+			L+	0,15	3,64	OK	5,77	20,28	OK
	87R-	6		R-	0,11	3,64	OK	0,81	20,28	OK
	87R+			R+	0,11	3,64	OK	5,77	20,28	OK
89	89L-	6	P3-1	L-	0,27	3,61	OK	0,91	20,28	OK
	89L+			L+	0,27	3,61	OK	11,37	20,28	OK
	89R-	10		R-	0,25	3,61	OK	0,91	20,28	OK
	89R+			R+	0,25	3,61	OK	11,37	20,28	OK
94	94L-	54	P10-0	L-	0,13	4,41	OK	1,10	12,88	OK
	94L+			L+	0,13	4,41	OK	3,03	12,88	OK
	94R-	58		R-	0,12	4,41	OK	1,10	12,88	OK
	94R+			R+	0,12	4,41	OK	3,03	12,88	OK
95	95L-	58	P10-1	L-	0,27	4,37	OK	1,92	12,88	OK
	95L+			L+	0,27	4,37	OK	5,76	12,88	OK
	95R-	62		R-	0,23	4,37	OK	1,92	12,88	OK
	95R+			R+	0,23	4,37	OK	5,76	12,88	OK
96	96L-	62	P10-2	L-	0,31	4,26	OK	2,75	13,07	OK
	96L+			L+	0,31	4,26	OK	5,49	13,07	OK
	96R-	67		R-	0,27	4,26	OK	2,75	13,07	OK
	96R+			R+	0,27	4,26	OK	5,49	13,07	OK
97	97L-	67	P10-3	L-	0,31	4,26	OK	4,60	13,07	OK
	97L+			L+	0,31	4,26	OK	5,17	13,07	OK
	97R-	72		R-	0,24	4,26	OK	4,60	13,07	OK
	97R+			R+	0,24	4,26	OK	5,17	13,07	OK
98	98L-	72	P10-4	L-	0,26	5,02	OK	2,46	11,28	OK
	98L+			L+	0,26	5,02	OK	1,96	11,28	OK
	98R-	77		R-	0,31	5,02	OK	2,46	11,28	OK
	98R+			R+	0,31	5,02	OK	1,96	11,28	OK
104	104L-	55	P11-0	L-	0,13	3,85	OK	3,64	17,88	OK
	104L+			L+	0,13	3,85	OK	5,27	17,88	OK
	104R-	59		R-	0,08	3,85	OK	3,64	17,88	OK
	104R+			R+	0,08	3,85	OK	5,27	17,88	OK
105	105L-	59	P11-1	L-	0,22	3,80	OK	7,07	17,88	OK
	105L+			L+	0,22	3,80	OK	9,83	17,88	OK
	105R-	63		R-	0,18	3,80	OK	7,07	17,88	OK
	105R+			R+	0,18	3,80	OK	9,83	17,88	OK

Tabela B. 2 – Resultados locais dos pórticos em Y: Verificação de mecanismos da estrutura existente, posterior ao reforço, para combinação CQP+30%E2X+100%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					DL	DL		DL	DL	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
106	106L-	63	P11-2	L-	0,26	3,80	OK	9,58	17,88	OK
	106L+			L+	0,26	3,80	OK	10,82	17,88	OK
	106R-	68		R-	0,27	3,80	OK	9,58	17,88	OK
	106R+			R+	0,27	3,80	OK	10,82	17,88	OK
107	107L-	68	P11-3	L-	0,31	4,20	OK	6,76	13,07	OK
	107L+			L+	0,31	4,20	OK	6,75	13,07	OK
	107R-	73		R-	0,35	4,20	OK	6,76	13,07	OK
	107R+			R+	0,35	4,20	OK	6,75	13,07	OK
108	108L-	73	P11-4	L-	0,37	5,28	OK	3,13	8,27	OK
	108L+			L+	0,37	5,28	OK	3,08	8,27	OK
	108R-	78		R-	0,37	5,28	OK	3,13	8,27	OK
	108R+			R+	0,37	5,28	OK	3,08	8,27	OK
114	114L-	56	P12-0	L-	0,13	3,84	OK	1,92	17,88	OK
	114L+			L+	0,13	3,84	OK	4,89	17,88	OK
	114R-	60		R-	0,07	3,84	OK	1,92	17,88	OK
	114R+			R+	0,07	3,84	OK	4,89	17,88	OK
115	115L-	60	P12-1	L-	0,21	3,79	OK	2,76	17,88	OK
	115L+			L+	0,21	3,79	OK	8,89	17,88	OK
	115R-	64		R-	0,16	3,79	OK	2,76	17,88	OK
	115R+			R+	0,16	3,79	OK	8,89	17,88	OK
116	116L-	64	P12-2	L-	0,24	3,79	OK	3,45	17,88	OK
	116L+			L+	0,24	3,79	OK	10,26	17,88	OK
	116R-	69		R-	0,27	3,79	OK	3,45	17,88	OK
	116R+			R+	0,27	3,79	OK	10,26	17,88	OK
117	117L-	69	P12-3	L-	0,31	4,20	OK	1,85	13,07	OK
	117L+			L+	0,31	4,20	OK	7,02	13,07	OK
	117R-	74		R-	0,39	4,20	OK	1,85	13,07	OK
	117R+			R+	0,39	4,20	OK	7,02	13,07	OK
118	118L-	74	P12-4	L-	0,40	5,29	OK	0,29	8,27	OK
	118L+			L+	0,40	5,29	OK	3,59	8,27	OK
	118R-	79		R-	0,55	5,29	OK	0,29	8,27	OK
	118R+			R+	0,55	5,29	OK	3,59	8,27	OK
142	142L-	81	P16-0	L-	0,13	4,17	OK	0,66	13,07	OK
	142L+			L+	0,13	4,17	OK	3,12	13,07	OK
	142R-	84		R-	0,10	4,17	OK	0,66	13,07	OK
	142R+			R+	0,10	4,17	OK	3,12	13,07	OK
143	143L-	84	P16-1	L-	0,24	4,12	OK	0,59	13,07	OK
	143L+			L+	0,24	4,12	OK	4,85	13,07	OK
	143R-	87		R-	0,13	4,12	OK	0,59	13,07	OK
	143R+			R+	0,13	4,12	OK	4,85	13,07	OK
147	147L-	82	P15-0	L-	0,13	4,62	OK	2,69	11,45	OK
	147L+			L+	0,13	4,62	OK	2,91	11,45	OK
	147R-	85		R-	0,14	4,62	OK	2,69	11,45	OK
	147R+			R+	0,14	4,62	OK	2,91	11,45	OK

Tabela B. 2 – Resultados locais dos pórticos em Y: Verificação de mecanismos da estrutura existente, posterior ao reforço, para combinação CQP+30%E2X+100%E2Y (continuação).

N		Nó	Nome		Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
					Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					DL	DL		DL	DL	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
148	148L-	85	P15-1	L-	0,27	4,54	OK	5,63	11,45	OK
	148L+			L+	0,27	4,54	OK	5,83	11,45	OK
	148R-	88		R-	0,27	4,54	OK	5,63	11,45	OK
	148R+			R+	0,27	4,54	OK	5,83	11,45	OK
152	152L-	10	P3-2	L-	0,34	3,89	OK	1,16	15,48	OK
	152L+			L+	0,34	3,89	OK	9,87	15,48	OK
	152R-	14		R-	0,51	3,89	OK	1,16	15,48	OK
	152R+			R+	0,51	3,89	OK	9,87	15,48	OK
154	154L-	14	P3-3	L-	0,56	4,34	OK	0,34	14,48	OK
	154L+			L+	0,56	4,34	OK	6,89	14,48	OK
	154R-	18		R-	0,80	4,34	OK	0,34	14,48	OK
	154R+			R+	0,80	4,34	OK	6,89	14,48	OK
156	156L-	18	P3-4	L-	0,82	5,93	OK	0,10	8,08	OK
	156L+			L+	0,82	5,93	OK	2,94	8,08	OK
	156R-	22		R-	1,05	5,93	OK	0,10	8,08	OK
	156R+			R+	1,05	5,93	OK	2,94	8,08	OK
158	158L-	192	P13-0	L-	0,13	4,54	OK	4,60	12,88	OK
	158L+			L+	0,13	4,54	OK	0,52	12,88	OK
	158R-	140		R-	0,16	4,54	OK	4,60	12,88	OK
	158R+			R+	0,16	4,54	OK	0,52	12,88	OK
159	159L-	140	P13-1	L-	0,02	4,47	OK	8,54	12,88	OK
	159L+			L+	0,02	4,47	OK	0,72	12,88	OK
	159R-	144		R-	0,01	4,47	OK	8,54	12,88	OK
	159R+			R+	0,01	4,47	OK	0,72	12,88	OK
160	160L-	144	P13-2	L-	0,07	4,30	OK	7,92	13,07	OK
	160L+			L+	0,07	4,30	OK	0,63	13,07	OK
	160R-	149		R-	0,03	4,30	OK	7,92	13,07	OK
	160R+			R+	0,03	4,30	OK	0,63	13,07	OK
161	161L-	149	P13-3	L-	0,06	4,21	OK	9,34	13,07	OK
	161L+			L+	0,06	4,21	OK	0,97	13,07	OK
	161R-	154		R-	0,05	4,21	OK	9,34	13,07	OK
	161R+			R+	0,05	4,21	OK	0,97	13,07	OK
162	162L-	154	P13-4	L-	0,07	4,95	OK	5,79	11,28	OK
	162L+			L+	0,07	4,95	OK	0,66	11,28	OK
	162R-	159		R-	0,23	4,95	OK	5,79	11,28	OK
	162R+			R+	0,23	4,95	OK	0,66	11,28	OK
190	190L-	294	P3-0	L-	0,15	3,64	OK	0,78	20,28	OK
	190L+			L+	0,15	3,64	OK	5,74	20,28	OK
	190R-	194		R-	0,11	3,64	OK	0,78	20,28	OK
	190R+			R+	0,11	3,64	OK	5,74	20,28	OK
201	201L-	117	P16-0	L-	0,12	4,17	OK	0,65	13,07	OK
	201L+			L+	0,12	4,17	OK	3,11	13,07	OK
	201R-	120		R-	0,10	4,17	OK	0,65	13,07	OK
	201R+			R+	0,10	4,17	OK	3,11	13,07	OK

Tabela B. 2 – Resultados locais dos pórticos em Y: Verificação de mecanismos da estrutura existente, posterior ao reforço, para combinação CQP+30%E2X+100%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					DL	DL		DL	DL	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
202	202L-	120	P16-1	L-	0,24	4,12	OK	0,58	13,07	OK
	202L+			L+	0,24	4,12	OK	4,86	13,07	OK
	202R-	123		R-	0,13	4,12	OK	0,58	13,07	OK
	202R+			R+	0,13	4,12	OK	4,86	13,07	OK
206	206L-	118	P15-0	L-	0,12	4,62	OK	2,56	11,45	OK
	206L+			L+	0,12	4,62	OK	2,83	11,45	OK
	206R-	121		R-	0,13	4,62	OK	2,56	11,45	OK
	206R+			R+	0,13	4,62	OK	2,83	11,45	OK
207	207L-	121	P15-1	L-	0,26	4,54	OK	5,19	11,45	OK
	207L+			L+	0,26	4,54	OK	5,64	11,45	OK
	207R-	124		R-	0,25	4,54	OK	5,19	11,45	OK
	207R+			R+	0,25	4,54	OK	5,64	11,45	OK
211	211L-	194	P3-1	L-	0,27	3,61	OK	0,85	20,28	OK
	211L+			L+	0,27	3,61	OK	11,31	20,28	OK
	211R-	198		R-	0,25	3,61	OK	0,85	20,28	OK
	211R+			R+	0,25	3,61	OK	11,31	20,28	OK
212	212L-	198	P3-2	L-	0,34	3,89	OK	1,11	15,48	OK
	212L+			L+	0,34	3,89	OK	9,82	15,48	OK
	212R-	202		R-	0,51	3,89	OK	1,11	15,48	OK
	212R+			R+	0,51	3,89	OK	9,82	15,48	OK
213	213L-	202	P3-3	L-	0,56	4,34	OK	0,31	14,48	OK
	213L+			L+	0,56	4,34	OK	6,86	14,48	OK
	213R-	206		R-	0,80	4,34	OK	0,31	14,48	OK
	213R+			R+	0,80	4,34	OK	6,86	14,48	OK
214	214L-	206	P3-4	L-	0,82	5,93	OK	0,11	8,08	OK
	214L+			L+	0,82	5,93	OK	2,93	8,08	OK
	214R-	210		R-	1,05	5,93	OK	0,11	8,08	OK
	214R+			R+	1,05	5,93	OK	2,93	8,08	OK
242	242L-	133	P10-0	L-	0,13	4,41	OK	1,07	12,88	OK
	242L+			L+	0,13	4,41	OK	3,00	12,88	OK
	242R-	137		R-	0,12	4,41	OK	1,07	12,88	OK
	242R+			R+	0,12	4,41	OK	3,00	12,88	OK
243	243L-	137	P10-1	L-	0,26	4,37	OK	1,84	12,88	OK
	243L+			L+	0,26	4,37	OK	5,70	12,88	OK
	243R-	141		R-	0,23	4,37	OK	1,84	12,88	OK
	243R+			R+	0,23	4,37	OK	5,70	12,88	OK
244	244L-	141	P10-2	L-	0,31	4,19	OK	2,68	13,07	OK
	244L+			L+	0,31	4,19	OK	5,41	13,07	OK
	244R-	146		R-	0,26	4,19	OK	2,68	13,07	OK
	244R+			R+	0,26	4,19	OK	5,41	13,07	OK
245	245L-	146	P10-3	L-	0,30	4,19	OK	4,51	13,07	OK
	245L+			L+	0,30	4,19	OK	5,09	13,07	OK
	245R-	151		R-	0,23	4,19	OK	4,51	13,07	OK
	245R+			R+	0,23	4,19	OK	5,09	13,07	OK

Tabela B. 2 – Resultados locais dos pórticos em Y: Verificação de mecanismos da estrutura existente, posterior ao reforço, para combinação CQP+30%E2X+100%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					DL	DL		DL	DL	
					θD	θC		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
246	246L-	151	P10-4	L-	0,25	3,93	OK	2,42	17,69	OK
	246L+			L+	0,25	3,93	OK	1,93	17,69	OK
	246R-	156		R-	0,31	3,93	OK	2,42	17,69	OK
	246R+			R+	0,31	3,93	OK	1,93	17,69	OK
252	252L-	134	P11-0	L-	0,13	3,85	OK	3,63	17,88	OK
	252L+			L+	0,13	3,85	OK	5,25	17,88	OK
	252R-	138		R-	0,08	3,85	OK	3,63	17,88	OK
	252R+			R+	0,08	3,85	OK	5,25	17,88	OK
253	253L-	138	P11-1	L-	0,22	3,80	OK	7,04	17,88	OK
	253L+			L+	0,22	3,80	OK	9,79	17,88	OK
	253R-	142		R-	0,18	3,80	OK	7,04	17,88	OK
	253R+			R+	0,18	3,80	OK	9,79	17,88	OK
254	254L-	142	P11-2	L-	0,26	4,35	OK	9,54	13,07	OK
	254L+			L+	0,26	4,35	OK	10,78	13,07	OK
	254R-	147		R-	0,26	4,35	OK	9,54	13,07	OK
	254R+			R+	0,26	4,35	OK	10,78	13,07	OK
255	255L-	147	P11-3	L-	0,30	4,20	OK	6,74	13,07	OK
	255L+			L+	0,30	4,20	OK	6,72	13,07	OK
	255R-	152		R-	0,35	4,20	OK	6,74	13,07	OK
	255R+			R+	0,35	4,20	OK	6,72	13,07	OK
256	256L-	152	P11-4	L-	0,36	5,28	OK	3,12	8,27	OK
	256L+			L+	0,36	5,28	OK	3,07	8,27	OK
	256R-	157		R-	0,37	5,28	OK	3,12	8,27	OK
	256R+			R+	0,37	5,28	OK	3,07	8,27	OK
262	262L-	135	P12-0	L-	0,13	3,84	OK	1,91	17,88	OK
	262L+			L+	0,13	3,84	OK	4,88	17,88	OK
	262R-	139		R-	0,07	3,84	OK	1,91	17,88	OK
	262R+			R+	0,07	3,84	OK	4,88	17,88	OK
263	263L-	139	P12-1	L-	0,21	3,79	OK	2,76	17,88	OK
	263L+			L+	0,21	3,79	OK	8,89	17,88	OK
	263R-	143		R-	0,16	3,79	OK	2,76	17,88	OK
	263R+			R+	0,16	3,79	OK	8,89	17,88	OK
264	264L-	143	P12-2	L-	0,24	3,79	OK	3,46	17,88	OK
	264L+			L+	0,24	3,79	OK	10,26	17,88	OK
	264R-	148		R-	0,27	3,79	OK	3,46	17,88	OK
	264R+			R+	0,27	3,79	OK	10,26	17,88	OK
265	265L-	148	P12-3	L-	0,31	4,20	OK	1,86	13,07	OK
	265L+			L+	0,31	4,20	OK	7,02	13,07	OK
	265R-	153		R-	0,39	4,20	OK	1,86	13,07	OK
	265R+			R+	0,39	4,20	OK	7,02	13,07	OK
266	266L-	153	P12-4	L-	0,40	5,29	OK	0,29	8,27	OK
	266L+			L+	0,40	5,29	OK	3,59	8,27	OK
	266R-	158		R-	0,55	5,29	OK	0,29	8,27	OK
	266R+			R+	0,55	5,29	OK	3,59	8,27	OK

Tabela B. 2 – Resultados locais dos pórticos em Y: Verificação de mecanismos da estrutura existente, posterior ao reforço, para combinação CQP+30%E2X+100%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					DL	DL		DL	DL	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
297	297L-	161	P7-0	L-	0,14	3,89	OK	3,08	17,88	OK
	297L+			L+	0,14	3,89	OK	5,92	17,88	OK
	297R-	165		R-	0,10	3,89	OK	3,08	17,88	OK
	297R+			R+	0,10	3,89	OK	5,92	17,88	OK
298	298L-	165	P7-1	L-	0,25	3,83	OK	4,94	17,88	OK
	298L+			L+	0,25	3,83	OK	11,82	17,88	OK
	298R-	170		R-	0,24	3,83	OK	4,94	17,88	OK
	298R+			R+	0,24	3,83	OK	11,82	17,88	OK
299	299L-	170	P7-2	L-	0,33	3,77	OK	5,60	17,88	OK
	299L+			L+	0,33	3,77	OK	14,61	17,88	OK
	299R-	175		R-	0,41	3,77	OK	5,60	17,88	OK
	299R+			R+	0,41	3,77	OK	14,61	17,88	OK
300	300L-	175	P7-3	L-	0,45	3,68	OK	3,09	17,88	OK
	300L+			L+	0,45	3,68	OK	10,64	17,88	OK
	300R-	180		R-	0,63	3,68	OK	3,09	17,88	OK
	300R+			R+	0,63	3,68	OK	10,64	17,88	OK
301	301L-	180	P7-4	L-	0,65	3,62	OK	1,17	17,88	OK
	301L+			L+	0,65	3,62	OK	5,25	17,88	OK
	301R-	185		R-	0,74	3,62	OK	1,17	17,88	OK
	301R+			R+	0,74	3,62	OK	5,25	17,88	OK
307	307L-	162	P8-0	L-	0,14	3,96	OK	3,21	17,88	OK
	307L+			L+	0,14	3,96	OK	4,89	17,88	OK
	307R-	166		R-	0,06	3,96	OK	3,21	17,88	OK
	307R+			R+	0,06	3,96	OK	4,89	17,88	OK
308	308L-	166	P8-1	L-	0,21	3,89	OK	5,98	17,88	OK
	308L+			L+	0,21	3,89	OK	8,60	17,88	OK
	308R-	171		R-	0,15	3,89	OK	5,98	17,88	OK
	308R+			R+	0,15	3,89	OK	8,60	17,88	OK
309	309L-	171	P8-2	L-	0,24	3,83	OK	7,98	17,88	OK
	309L+			L+	0,24	3,83	OK	9,79	17,88	OK
	309R-	176		R-	0,27	3,83	OK	7,98	17,88	OK
	309R+			R+	0,27	3,83	OK	9,79	17,88	OK
310	310L-	176	P8-3	L-	0,31	3,73	OK	5,54	17,88	OK
	310L+			L+	0,31	3,73	OK	6,53	17,88	OK
	310R-	181		R-	0,38	3,73	OK	5,54	17,88	OK
	310R+			R+	0,38	3,73	OK	6,53	17,88	OK
311	311L-	181	P8-4	L-	0,39	3,65	OK	2,42	17,88	OK
	311L+			L+	0,39	3,65	OK	3,22	17,88	OK
	311R-	186		R-	0,52	3,65	OK	2,42	17,88	OK
	311R+			R+	0,52	3,65	OK	3,22	17,88	OK
317	317L-	163	P9-0	L-	0,14	4,51	OK	5,75	12,88	OK
	317L+			L+	0,14	4,51	OK	1,71	12,88	OK
	317R-	168		R-	0,27	4,51	OK	5,75	12,88	OK
	317R+			R+	0,27	4,51	OK	1,71	12,88	OK

Tabela B. 2 – Resultados locais dos pórticos em Y: Verificação de mecanismos da estrutura existente, posterior ao reforço, para combinação CQP+30%E2X+100%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					DL	DL		DL	DL	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
318	318L-	168	P9-1	L-	0,12	4,44	OK	10,82	12,88	OK
	318L+			L+	0,12	4,44	OK	3,40	12,88	OK
	318R-	173		R-	0,13	4,44	OK	10,82	12,88	OK
	318R+			R+	0,13	4,44	OK	3,40	12,88	OK
319	319L-	173	P9-2	L-	0,04	4,27	OK	10,25	13,07	OK
	319L+			L+	0,04	4,27	OK	2,28	13,07	OK
	319R-	178		R-	0,13	4,27	OK	10,25	13,07	OK
	319R+			R+	0,13	4,27	OK	2,28	13,07	OK
320	320L-	178	P9-3	L-	0,09	4,18	OK	12,57	13,07	OK
	320L+			L+	0,09	4,18	OK	3,23	13,07	OK
	320R-	183		R-	0,17	4,18	OK	12,57	13,07	OK
	320R+			R+	0,17	4,18	OK	3,23	13,07	OK
321	321L-	183	P9-4	L-	0,16	4,89	OK	7,07	11,28	OK
	321L+			L+	0,16	4,89	OK	2,54	11,28	OK
	321R-	188		R-	0,44	4,89	OK	7,07	11,28	OK
	321R+			R+	0,44	4,89	OK	2,54	11,28	OK
352	352L-	191	P4-0	L-	0,15	3,74	OK	4,51	20,28	OK
	352L+			L+	0,15	3,74	OK	3,71	20,28	OK
	352R-	195		R-	0,02	3,74	OK	4,51	20,28	OK
	352R+			R+	0,02	3,74	OK	3,71	20,28	OK
353	353L-	195	P4-1	L-	0,19	3,69	OK	8,95	20,28	OK
	353L+			L+	0,19	3,69	OK	7,35	20,28	OK
	353R-	199		R-	0,16	3,69	OK	8,95	20,28	OK
	353R+			R+	0,16	3,69	OK	7,35	20,28	OK
354	354L-	199	P4-2	L-	0,26	4,01	OK	7,34	15,48	OK
	354L+			L+	0,26	4,01	OK	6,14	15,48	OK
	354R-	203		R-	0,29	4,01	OK	7,34	15,48	OK
	354R+			R+	0,29	4,01	OK	6,14	15,48	OK
355	355L-	203	P4-3	L-	0,34	4,50	OK	4,32	14,48	OK
	355L+			L+	0,34	4,50	OK	3,54	14,48	OK
	355R-	207		R-	0,38	4,50	OK	4,32	14,48	OK
	355R+			R+	0,38	4,50	OK	3,54	14,48	OK
356	356L-	207	P4-4	L-	0,40	6,16	OK	1,55	8,08	OK
	356L+			L+	0,40	6,16	OK	1,18	8,08	OK
	356R-	211		R-	0,41	6,16	OK	1,55	8,08	OK
	356R+			R+	0,41	6,16	OK	1,18	8,08	OK
16	16L-	6	V12-1	L-	0,00	3,71	OK	17,54	36,06	OK
	16L+			L+	0,00	3,54	OK	25,00	36,06	OK
	16R-	7		R-	0,09	3,71	OK	25,29	36,06	OK
	16R+			R+	0,09	3,54	OK	17,83	36,06	OK
17	17L-	10	V12-2	L-	0,01	3,71	OK	15,22	36,06	OK
	17L+			L+	0,01	3,54	OK	24,81	36,06	OK
	17R-	11		R-	0,07	3,71	OK	23,84	36,06	OK
	17R+			R+	0,07	3,54	OK	14,25	36,06	OK

Tabela B. 2 – Resultados locais dos pórticos em Y: Verificação de mecanismos da estrutura existente, posterior ao reforço, para combinação CQP+30%E2X+100%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					DL	DL		DL	DL	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
18	18L-	14	V12-3	L-	0,22	3,71	OK	17,64	36,06	OK
	18L+			L+	0,22	3,54	OK	25,12	36,06	OK
	18R-	15		R-	0,01	3,71	OK	25,19	36,06	OK
	18R+			R+	0,01	3,54	OK	17,70	36,06	OK
19	19L-	18	V12-4	L-	0,50	3,71	OK	18,64	36,06	OK
	19L+			L+	0,50	3,54	OK	22,53	36,06	OK
	19R-	19		R-	0,09	3,71	OK	24,19	36,06	OK
	19R+			R+	0,09	3,54	OK	20,30	36,06	OK
20	20L-	22	V12-5	L-	0,77	3,71	OK	22,82	36,06	OK
	20L+			L+	0,77	3,54	OK	23,73	36,06	OK
	20R-	23		R-	0,13	3,71	OK	28,37	36,06	OK
	20R+			R+	0,13	3,54	OK	27,46	36,06	OK
26	26L-	7	V12-1	L-	0,10	3,59	OK	14,72	36,06	OK
	26L+			L+	0,10	3,43	OK	23,76	36,06	OK
	26R-	8		R-	0,21	3,59	OK	22,88	36,06	OK
	26R+			R+	0,21	3,43	OK	13,84	36,06	OK
27	27L-	11	V12-2	L-	0,10	3,59	OK	11,09	36,06	OK
	27L+			L+	0,10	3,43	OK	22,50	36,06	OK
	27R-	12		R-	0,24	3,59	OK	23,20	36,06	OK
	27R+			R+	0,24	3,43	OK	11,79	36,06	OK
28	28L-	15	V12-3	L-	0,03	3,59	OK	14,67	36,06	OK
	28L+			L+	0,03	3,43	OK	23,50	36,06	OK
	28R-	16		R-	0,27	3,59	OK	22,93	36,06	OK
	28R+			R+	0,27	3,43	OK	14,10	36,06	OK
29	29L-	19	V12-4	L-	0,04	3,59	OK	17,68	36,06	OK
	29L+			L+	0,04	3,43	OK	22,24	36,06	OK
	29R-	20		R-	0,27	3,59	OK	19,92	36,06	OK
	29R+			R+	0,27	3,43	OK	15,36	36,06	OK
30	30L-	23	V12-5	L-	0,08	3,59	OK	24,82	36,06	OK
	30L+			L+	0,08	3,43	OK	25,86	36,06	OK
	30R-	24		R-	0,30	3,59	OK	20,13	36,06	OK
	30R+			R+	0,30	3,43	OK	19,09	36,06	OK
61	61L-	30	V13-1	L-	0,00	3,98	OK	34,79	35,38	OK
	61L+			L+	0,00	3,77	OK	33,81	35,38	OK
	61R-	31		R-	0,04	4,14	OK	34,74	35,38	OK
	61R+			R+	0,04	3,74	OK	35,24	35,38	OK
62	62L-	35	V13-2	L-	0,01	3,98	OK	29,67	35,38	OK
	62L+			L+	0,01	3,77	OK	32,60	35,38	OK
	62R-	36		R-	0,07	4,14	OK	32,64	35,38	OK
	62R+			R+	0,07	3,74	OK	29,73	35,38	OK
63	63L-	40	V13-3	L-	0,13	3,98	OK	33,72	35,38	OK
	63L+			L+	0,13	3,77	OK	35,18	35,38	OK
	63R-	41		R-	0,02	4,14	OK	31,15	35,38	OK
	63R+			R+	0,02	3,74	OK	34,25	35,38	OK

Tabela B. 2 – Resultados locais dos pórticos em Y: Verificação de mecanismos da estrutura existente, posterior ao reforço, para combinação CQP+30%E2X+100%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					DL	DL		DL	DL	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
64	64L-	45	V13-4	L-	0,34	3,98	OK	35,21	35,38	OK
	64L+			L+	0,34	3,77	OK	32,75	35,38	OK
	64R-	46		R-	0,08	4,14	OK	35,27	35,38	OK
	64R+			R+	0,08	3,74	OK	34,31	35,38	OK
65	65L-	50	V13-5	L-	0,45	3,98	OK	35,36	35,38	OK
	65L+			L+	0,45	3,77	OK	29,96	35,38	OK
	65R-	51		R-	0,23	4,14	OK	34,33	35,38	OK
	65R+			R+	0,23	3,74	OK	32,08	35,38	OK
71	71L-	31	V13-1	L-	0,04	4,21	OK	31,94	35,38	OK
	71L+			L+	0,04	3,80	OK	29,97	35,38	OK
	71R-	33		R-	0,37	3,66	OK	34,99	35,38	OK
	71R+			R+	0,37	3,87	OK	30,49	35,38	OK
72	72L-	36	V13-2	L-	0,07	4,21	OK	33,64	35,38	OK
	72L+			L+	0,07	3,80	OK	33,89	35,38	OK
	72R-	38		R-	0,35	3,66	OK	35,21	35,38	OK
	72R+			R+	0,35	3,87	OK	27,47	35,38	OK
73	73L-	41	V13-3	L-	0,02	4,21	OK	29,90	35,38	OK
	73L+			L+	0,02	3,80	OK	30,08	35,38	OK
	73R-	43		R-	0,41	3,66	OK	33,97	35,38	OK
	73R+			R+	0,41	3,87	OK	29,59	35,38	OK
74	74L-	46	V13-4	L-	0,09	4,21	OK	31,12	35,38	OK
	74L+			L+	0,09	3,80	OK	29,35	35,38	OK
	74R-	48		R-	0,46	3,66	OK	32,51	35,38	OK
	74R+			R+	0,46	3,87	OK	30,58	35,38	OK
75	75L-	51	V13-5	L-	0,25	4,21	OK	34,46	35,38	OK
	75L+			L+	0,25	3,80	OK	35,07	35,38	OK
	75R-	53		R-	0,70	3,66	OK	30,36	35,38	OK
	75R+			R+	0,70	3,87	OK	34,45	35,38	OK
99	99L-	58	V14-1	L-	0,02	3,43	OK	13,63	36,06	OK
	99L+			L+	0,02	3,32	OK	22,94	36,06	OK
	99R-	59		R-	0,02	3,43	OK	27,41	36,06	OK
	99R+			R+	0,02	3,32	OK	18,10	36,06	OK
100	100L-	62	V14-2	L-	0,00	3,43	OK	10,97	36,06	OK
	100L+			L+	0,00	3,32	OK	24,21	36,06	OK
	100R-	63		R-	0,05	3,43	OK	27,53	36,06	OK
	100R+			R+	0,05	3,32	OK	14,29	36,06	OK
101	101L-	67	V14-3	L-	0,05	3,43	OK	16,65	36,06	OK
	101L+			L+	0,05	3,32	OK	29,58	36,06	OK
	101R-	68		R-	0,05	3,43	OK	32,24	36,06	OK
	101R+			R+	0,05	3,32	OK	19,31	36,06	OK
102	102L-	72	V14-4	L-	0,14	3,43	OK	21,00	36,06	OK
	102L+			L+	0,14	3,32	OK	28,65	36,06	OK
	102R-	73		R-	0,02	3,43	OK	27,89	36,06	OK
	102R+			R+	0,02	3,32	OK	20,24	36,06	OK

Tabela B. 2 – Resultados locais dos pórticos em Y: Verificação de mecanismos da estrutura existente, posterior ao reforço, para combinação CQP+30%E2X+100%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					DL	DL		DL	DL	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
103	103L-	77	V14-5	L-	0,09	3,43	OK	30,23	36,06	OK
	103L+			L+	0,09	3,32	OK	31,18	36,06	OK
	103R-	78		R-	0,03	3,43	OK	32,54	36,06	OK
	103R+			R+	0,03	3,32	OK	34,36	36,06	OK
109	109L-	59	V14-1	L-	0,04	3,87	OK	21,68	36,06	OK
	109L+			L+	0,04	3,69	OK	35,64	36,06	OK
	109R-	60		R-	0,05	4,06	OK	24,27	36,06	OK
	109R+			R+	0,05	3,67	OK	21,91	36,06	OK
110	110L-	63	V14-2	L-	0,07	3,87	OK	16,39	36,06	OK
	110L+			L+	0,07	3,69	OK	33,89	36,06	OK
	110R-	64		R-	0,10	4,06	OK	21,36	36,06	OK
	110R+			R+	0,10	3,67	OK	17,54	36,06	OK
111	111L-	68	V14-3	L-	0,06	3,87	OK	16,69	36,06	OK
	111L+			L+	0,06	3,69	OK	33,74	36,06	OK
	111R-	69		R-	0,06	4,06	OK	23,00	36,06	OK
	111R+			R+	0,06	3,67	OK	16,50	36,06	OK
112	112L-	73	V14-4	L-	0,01	3,87	OK	16,36	36,06	OK
	112L+			L+	0,01	3,69	OK	30,03	36,06	OK
	112R-	74		R-	0,03	4,06	OK	23,39	36,06	OK
	112R+			R+	0,03	3,67	OK	13,57	36,06	OK
113	113L-	78	V14-5	L-	0,00	3,87	OK	35,06	36,06	OK
	113L+			L+	0,00	3,69	OK	33,59	36,06	OK
	113R-	79		R-	0,18	4,06	OK	34,26	36,06	OK
	113R+			R+	0,18	3,67	OK	35,70	36,06	OK
119	119L-	60	V14-1	L-	0,03	3,93	OK	34,60	35,38	OK
	119L+			L+	0,03	3,57	OK	35,13	35,38	OK
	119R-	61		R-	0,26	3,67	OK	27,02	35,38	OK
	119R+			R+	0,26	3,59	OK	21,17	35,38	OK
120	120L-	64	V14-2	L-	0,06	3,93	OK	31,53	35,38	OK
	120L+			L+	0,06	3,57	OK	34,68	35,38	OK
	120R-	65		R-	0,23	3,67	OK	27,16	35,38	OK
	120R+			R+	0,23	3,59	OK	18,97	35,38	OK
121	121L-	69	V14-3	L-	0,01	3,93	OK	33,44	35,38	OK
	121L+			L+	0,01	3,57	OK	35,13	35,38	OK
	121R-	70		R-	0,25	3,67	OK	28,80	35,38	OK
	121R+			R+	0,25	3,59	OK	19,79	35,38	OK
122	122L-	74	V14-4	L-	0,08	3,93	OK	34,07	35,38	OK
	122L+			L+	0,08	3,57	OK	34,65	35,38	OK
	122R-	75		R-	0,25	3,67	OK	28,01	35,38	OK
	122R+			R+	0,25	3,59	OK	20,69	35,38	OK
123	123L-	79	V14-5	L-	0,23	3,93	OK	35,32	35,38	OK
	123L+			L+	0,23	3,57	OK	31,60	35,38	OK
	123R-	80		R-	0,55	3,67	OK	34,10	35,38	OK
	123R+			R+	0,55	3,59	OK	34,58	35,38	OK

Tabela B. 2 – Resultados locais dos pórticos em Y: Verificação de mecanismos da estrutura existente, posterior ao reforço, para combinação CQP+30%E2X+100%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dútil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					DL	DL		DL	DL	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
145	145L-	84	V18-1	L-	0,02	3,59	OK	13,47	27,86	OK
	145L+			L+	0,02	3,51	OK	17,22	27,86	OK
	145R-	85		R-	0,06	3,59	OK	17,69	27,86	OK
	145R+			R+	0,06	3,51	OK	13,94	27,86	OK
146	146L-	87	V18-2	L-	0,05	3,59	OK	5,87	27,86	OK
	146L+			L+	0,05	3,51	OK	12,67	27,86	OK
	146R-	88		R-	0,08	3,59	OK	10,41	27,86	OK
	146R+			R+	0,08	3,51	OK	3,60	27,86	OK
204	204L-	120	V18-1	L-	0,02	3,59	OK	13,40	27,86	OK
	204L+			L+	0,02	3,51	OK	17,34	27,86	OK
	204R-	121		R-	0,05	3,59	OK	17,76	27,86	OK
	204R+			R+	0,05	3,51	OK	13,82	27,86	OK
205	205L-	123	V18-2	L-	0,05	3,59	OK	5,79	27,86	OK
	205L+			L+	0,05	3,51	OK	12,83	27,86	OK
	205R-	124		R-	0,07	3,59	OK	10,49	27,86	OK
	205R+			R+	0,07	3,51	OK	3,44	27,86	OK
247	247L-	137	V14-1	L-	0,02	3,43	OK	13,74	36,06	OK
	247L+			L+	0,02	3,32	OK	22,83	36,06	OK
	247R-	138		R-	0,02	3,43	OK	27,30	36,06	OK
	247R+			R+	0,02	3,32	OK	18,21	36,06	OK
248	248L-	141	V14-2	L-	0,00	3,43	OK	11,14	36,06	OK
	248L+			L+	0,00	3,32	OK	24,04	36,06	OK
	248R-	142		R-	0,05	3,43	OK	27,36	36,06	OK
	248R+			R+	0,05	3,32	OK	14,45	36,06	OK
249	249L-	146	V14-3	L-	0,05	3,43	OK	16,83	36,06	OK
	249L+			L+	0,05	3,32	OK	29,42	36,06	OK
	249R-	147		R-	0,04	3,43	OK	32,06	36,06	OK
	249R+			R+	0,04	3,32	OK	19,47	36,06	OK
250	250L-	151	V14-4	L-	0,13	3,43	OK	21,14	36,06	OK
	250L+			L+	0,13	3,32	OK	28,52	36,06	OK
	250R-	152		R-	0,02	3,43	OK	27,75	36,06	OK
	250R+			R+	0,02	3,32	OK	20,37	36,06	OK
251	251L-	156	V14-5	L-	0,09	3,43	OK	35,20	36,06	OK
	251L+			L+	0,09	3,32	OK	35,04	36,06	OK
	251R-	157		R-	0,02	3,43	OK	32,50	36,06	OK
	251R+			R+	0,02	3,32	OK	35,19	36,06	OK
257	257L-	138	V14-1	L-	0,04	3,87	OK	21,66	36,06	OK
	257L+			L+	0,04	3,69	OK	35,65	36,06	OK
	257R-	139		R-	0,05	4,06	OK	24,27	36,06	OK
	257R+			R+	0,05	3,67	OK	21,94	36,06	OK
258	258L-	142	V14-2	L-	0,07	3,87	OK	16,37	36,06	OK
	258L+			L+	0,07	3,69	OK	33,90	36,06	OK
	258R-	143		R-	0,09	4,06	OK	21,25	36,06	OK
	258R+			R+	0,09	3,67	OK	17,67	36,06	OK

Tabela B. 2 – Resultados locais dos pórticos em Y: Verificação de mecanismos da estrutura existente, posterior ao reforço, para combinação CQP+30%E2X+100%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					DL	DL		DL	DL	
					θ_D	θ_C		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
259	259L-	147	V14-3	L-	0,05	3,87	OK	16,65	36,06	OK
	259L+			L+	0,05	3,69	OK	33,74	36,06	OK
	259R-	148		R-	0,05	4,06	OK	22,89	36,06	OK
	259R+			R+	0,05	3,67	OK	16,62	36,06	OK
260	260L-	152	V14-4	L-	0,01	3,87	OK	16,32	36,06	OK
	260L+			L+	0,01	3,69	OK	30,06	36,06	OK
	260R-	153		R-	0,03	4,06	OK	23,31	36,06	OK
	260R+			R+	0,03	3,67	OK	13,65	36,06	OK
261	261L-	157	V14-5	L-	0,00	3,87	OK	35,02	36,06	OK
	261L+			L+	0,00	3,69	OK	33,56	36,06	OK
	261R-	158		R-	0,18	4,06	OK	34,22	36,06	OK
	261R+			R+	0,18	3,67	OK	35,71	36,06	OK
267	267L-	139	V14-1	L-	0,03	3,93	OK	34,63	35,38	OK
	267L+			L+	0,03	3,57	OK	34,51	35,38	OK
	267R-	140		R-	0,26	3,67	OK	27,00	35,38	OK
	267R+			R+	0,26	3,59	OK	21,19	35,38	OK
268	268L-	143	V14-2	L-	0,06	3,93	OK	31,56	35,38	OK
	268L+			L+	0,06	3,57	OK	30,23	35,38	OK
	268R-	144		R-	0,23	3,67	OK	27,12	35,38	OK
	268R+			R+	0,23	3,59	OK	19,01	35,38	OK
269	269L-	148	V14-3	L-	0,00	3,93	OK	33,47	35,38	OK
	269L+			L+	0,00	3,57	OK	35,13	35,38	OK
	269R-	149		R-	0,24	3,67	OK	28,75	35,38	OK
	269R+			R+	0,24	3,59	OK	19,84	35,38	OK
270	270L-	153	V14-4	L-	0,08	3,93	OK	34,09	35,38	OK
	270L+			L+	0,08	3,57	OK	34,66	35,38	OK
	270R-	154		R-	0,25	3,67	OK	27,97	35,38	OK
	270R+			R+	0,25	3,59	OK	20,73	35,38	OK
271	271L-	158	V14-5	L-	0,23	3,93	OK	35,32	35,38	OK
	271L+			L+	0,23	3,57	OK	33,75	35,38	OK
	271R-	159		R-	0,55	3,67	OK	33,71	35,38	OK
	271R+			R+	0,55	3,59	OK	34,60	35,38	OK
302	302L-	165	V13-1	L-	0,00	3,98	OK	34,84	35,38	OK
	302L+			L+	0,00	3,77	OK	34,65	35,38	OK
	302R-	166		R-	0,04	4,14	OK	35,14	35,38	OK
	302R+			R+	0,04	3,74	OK	35,25	35,38	OK
303	303L-	170	V13-2	L-	0,01	3,98	OK	29,72	35,38	OK
	303L+			L+	0,01	3,77	OK	34,58	35,38	OK
	303R-	171		R-	0,07	4,14	OK	32,60	35,38	OK
	303R+			R+	0,07	3,74	OK	29,79	35,38	OK
304	304L-	175	V13-3	L-	0,13	3,98	OK	33,77	35,38	OK
	304L+			L+	0,13	3,77	OK	35,14	35,38	OK
	304R-	176		R-	0,01	4,14	OK	35,12	35,38	OK
	304R+			R+	0,01	3,74	OK	34,30	35,38	OK

Tabela B. 2 – Resultados locais dos pórticos em Y: Verificação de mecanismos da estrutura existente, posterior ao reforço, para combinação CQP+30%E2X+100%E2Y (continuação).

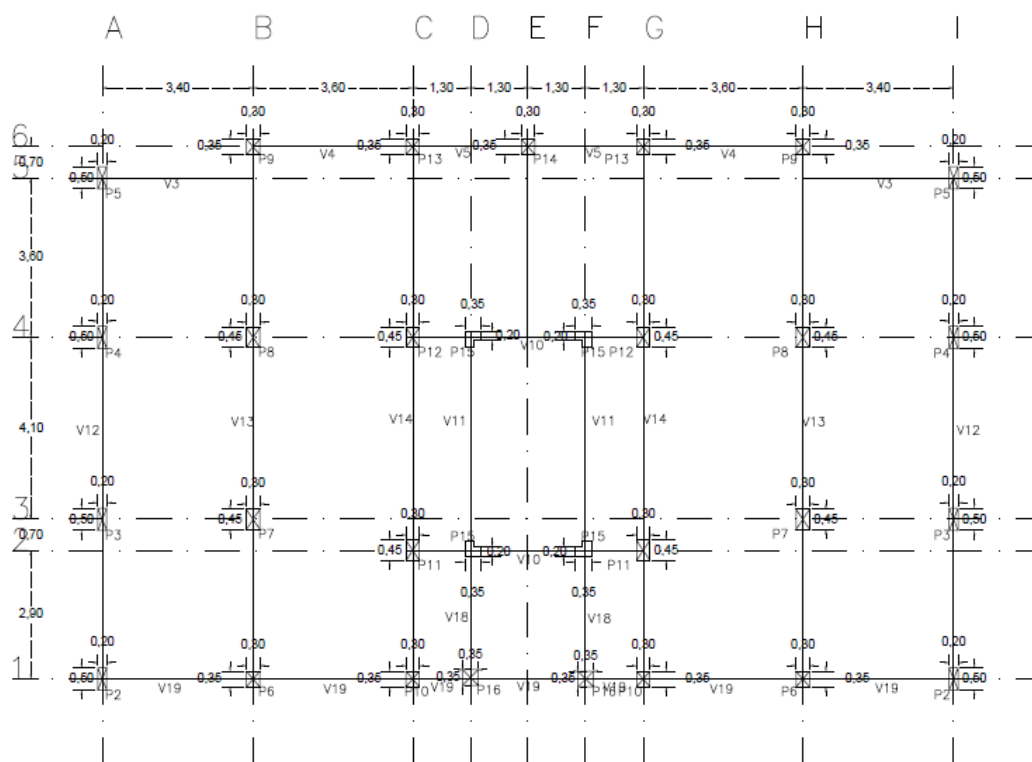
					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					DL	DL		DL	DL	
					θD	θC		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
305	305L-	180	V13-4	L-	0,34	3,98	OK	35,24	35,38	OK
	305L+			L+	0,34	3,77	OK	32,73	35,38	OK
	305R-	181		R-	0,08	4,14	OK	34,39	35,38	OK
	305R+			R+	0,08	3,74	OK	34,33	35,38	OK
306	306L-	185	V13-5	L-	0,45	3,98	OK	34,92	35,38	OK
	306L+			L+	0,45	3,77	OK	34,56	35,38	OK
	306R-	186		R-	0,23	4,14	OK	34,84	35,38	OK
	306R+			R+	0,23	3,74	OK	34,55	35,38	OK
312	312L-	166	V13-1	L-	0,04	4,21	OK	33,95	35,38	OK
	312L+			L+	0,04	3,80	OK	35,02	35,38	OK
	312R-	168		R-	0,37	3,66	OK	33,39	35,38	OK
	312R+			R+	0,37	3,87	OK	30,52	35,38	OK
313	313L-	171	V13-2	L-	0,07	4,21	OK	33,68	35,38	OK
	313L+			L+	0,07	3,80	OK	33,86	35,38	OK
	313R-	173		R-	0,35	3,66	OK	33,58	35,38	OK
	313R+			R+	0,35	3,87	OK	27,51	35,38	OK
314	314L-	176	V13-3	L-	0,01	4,21	OK	24,31	35,38	OK
	314L+			L+	0,01	3,80	OK	34,67	35,38	OK
	314R-	178		R-	0,41	3,66	OK	35,20	35,38	OK
	314R+			R+	0,41	3,87	OK	29,64	35,38	OK
315	315L-	181	V13-4	L-	0,09	4,21	OK	33,87	35,38	OK
	315L+			L+	0,09	3,80	OK	33,85	35,38	OK
	315R-	183		R-	0,45	3,66	OK	34,51	35,38	OK
	315R+			R+	0,45	3,87	OK	30,63	35,38	OK
316	316L-	186	V13-5	L-	0,25	4,21	OK	34,46	35,38	OK
	316L+			L+	0,25	3,80	OK	34,52	35,38	OK
	316R-	188		R-	0,70	3,66	OK	32,24	35,38	OK
	316R+			R+	0,70	3,87	OK	34,46	35,38	OK
347	347L-	194	V12-1	L-	0,00	3,71	OK	17,57	36,06	OK
	347L+			L+	0,00	3,54	OK	24,96	36,06	OK
	347R-	195		R-	0,09	3,71	OK	25,25	36,06	OK
	347R+			R+	0,09	3,54	OK	17,86	36,06	OK
348	348L-	198	V12-2	L-	0,01	3,71	OK	15,26	36,06	OK
	348L+			L+	0,01	3,54	OK	24,77	36,06	OK
	348R-	199		R-	0,07	3,71	OK	23,80	36,06	OK
	348R+			R+	0,07	3,54	OK	14,29	36,06	OK
349	349L-	202	V12-3	L-	0,22	3,71	OK	17,67	36,06	OK
	349L+			L+	0,22	3,54	OK	25,09	36,06	OK
	349R-	203		R-	0,01	3,71	OK	25,16	36,06	OK
	349R+			R+	0,01	3,54	OK	17,73	36,06	OK
350	350L-	206	V12-4	L-	0,50	3,71	OK	18,65	36,06	OK
	350L+			L+	0,50	3,54	OK	22,52	36,06	OK
	350R-	207		R-	0,09	3,71	OK	24,17	36,06	OK
	350R+			R+	0,09	3,54	OK	20,31	36,06	OK

Tabela B. 2 – Resultados locais dos pórticos em Y: Verificação de mecanismos da estrutura existente, posterior ao reforço, para combinação CQP+30%E2X+100%E2Y (continuação).

					Verif. Segurança Mec. Dúctil			Verif. Segurança Mec. Frágil		
N		Nó	Nome		Exigência	Capacidade	Condição	Exigência	Capacidade	Condição
					DL	DL		DL	DL	
					θD	θC		Ved	Vrd	
					(mrad)	(mrad)		(kN)	(kN)	
351	351L-	210	V12-5	L-	0,77	3,71	OK	22,82	36,06	OK
	351L+			L+	0,77	3,54	OK	23,73	36,06	OK
	351R-	211		R-	0,13	3,71	OK	28,37	36,06	OK
	351R+			R+	0,13	3,54	OK	27,46	36,06	OK
357	357L-	195	V12-1	L-	0,10	3,59	OK	14,76	36,06	OK
	357L+			L+	0,10	3,43	OK	23,72	36,06	OK
	357R-	196		R-	0,21	3,59	OK	22,84	36,06	OK
	357R+			R+	0,21	3,43	OK	13,88	36,06	OK
358	358L-	199	V12-2	L-	0,09	3,59	OK	11,14	36,06	OK
	358L+			L+	0,09	3,43	OK	22,46	36,06	OK
	358R-	200		R-	0,24	3,59	OK	23,16	36,06	OK
	358R+			R+	0,24	3,43	OK	11,84	36,06	OK
359	359L-	203	V12-3	L-	0,03	3,59	OK	14,71	36,06	OK
	359L+			L+	0,03	3,43	OK	23,46	36,06	OK
	359R-	204		R-	0,27	3,59	OK	22,90	36,06	OK
	359R+			R+	0,27	3,43	OK	14,14	36,06	OK
360	360L-	207	V12-4	L-	0,04	3,59	OK	17,70	36,06	OK
	360L+			L+	0,04	3,43	OK	22,22	36,06	OK
	360R-	208		R-	0,27	3,59	OK	19,90	36,06	OK
	360R+			R+	0,27	3,43	OK	15,38	36,06	OK
361	361L-	211	V12-5	L-	0,08	3,59	OK	24,82	36,06	OK
	361L+			L+	0,08	3,43	OK	25,86	36,06	OK
	361R-	212		R-	0,30	3,59	OK	20,12	36,06	OK
	361R+			R+	0,30	3,43	OK	19,09	36,06	OK

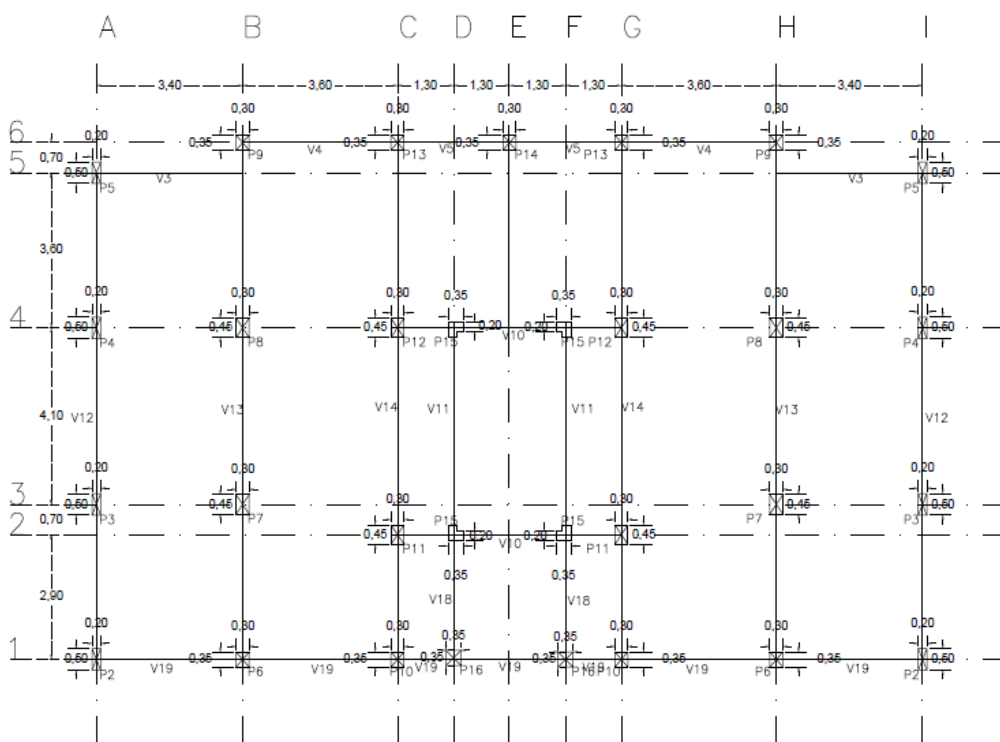
Anexo C

PLANTAS, ALÇADOS E
DESENHOS DE ARMAÇÃO DO
EDIFÍCIO – CASO DE ESTUDO



Piso 0

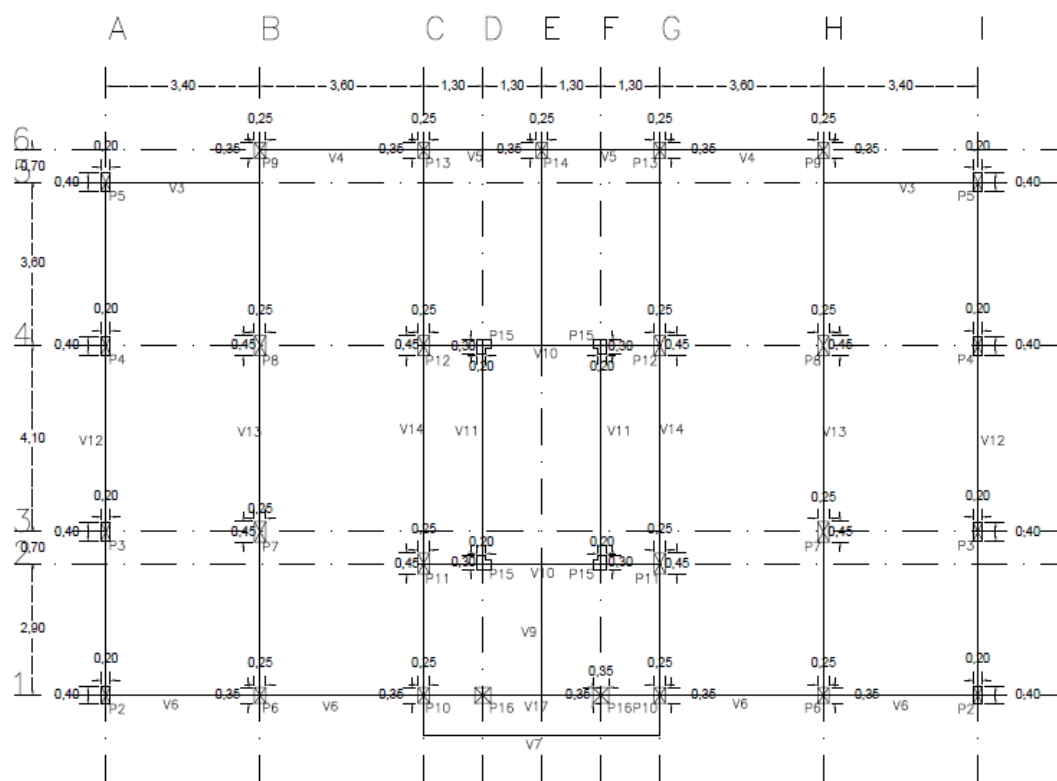
a)



Piso 1

b)

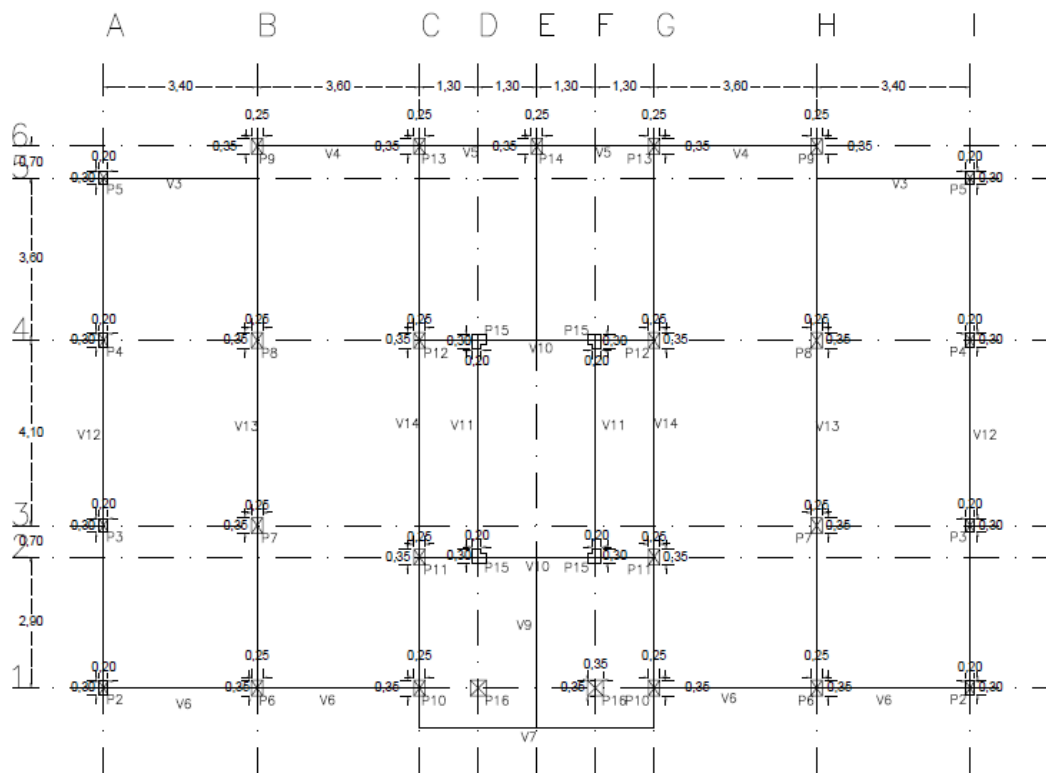
Figura C 1 - Plantas estruturais: a) Piso 0; b) Piso 1.



Piso 2



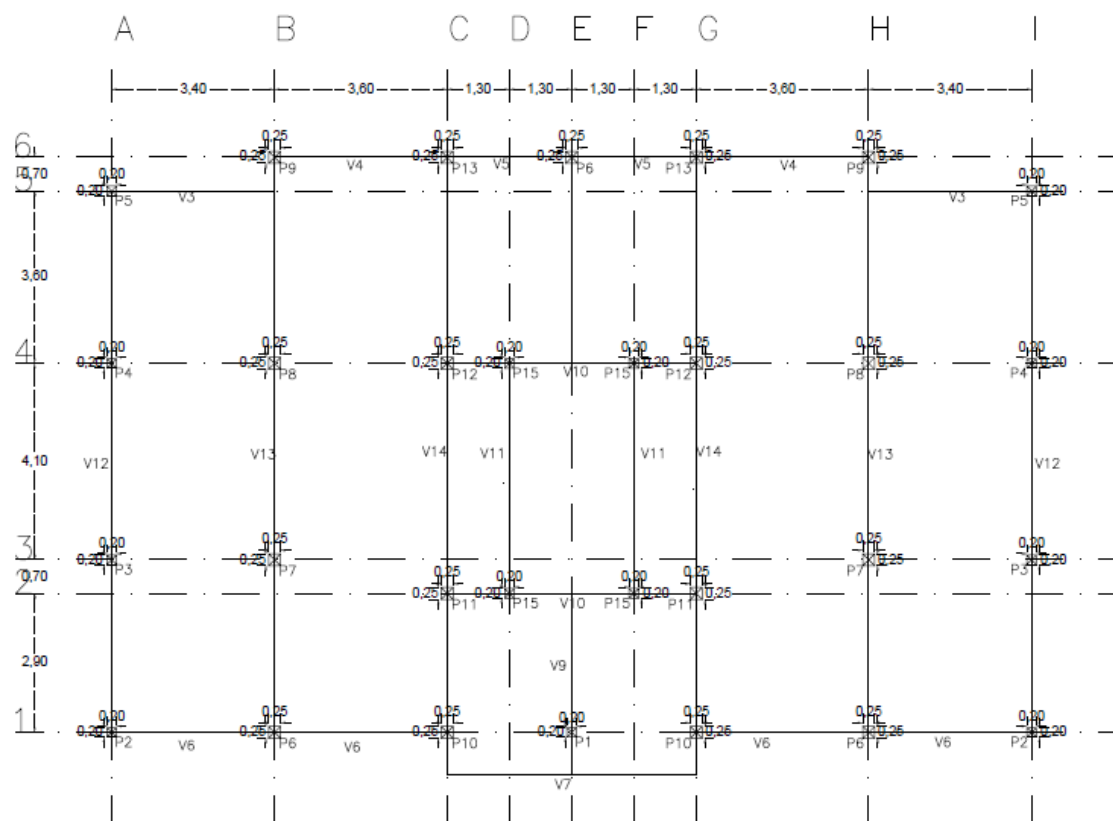
a)



Piso 3

b)

Figura C 2- Plantas estruturais: a) Piso 2; b) Piso 3.



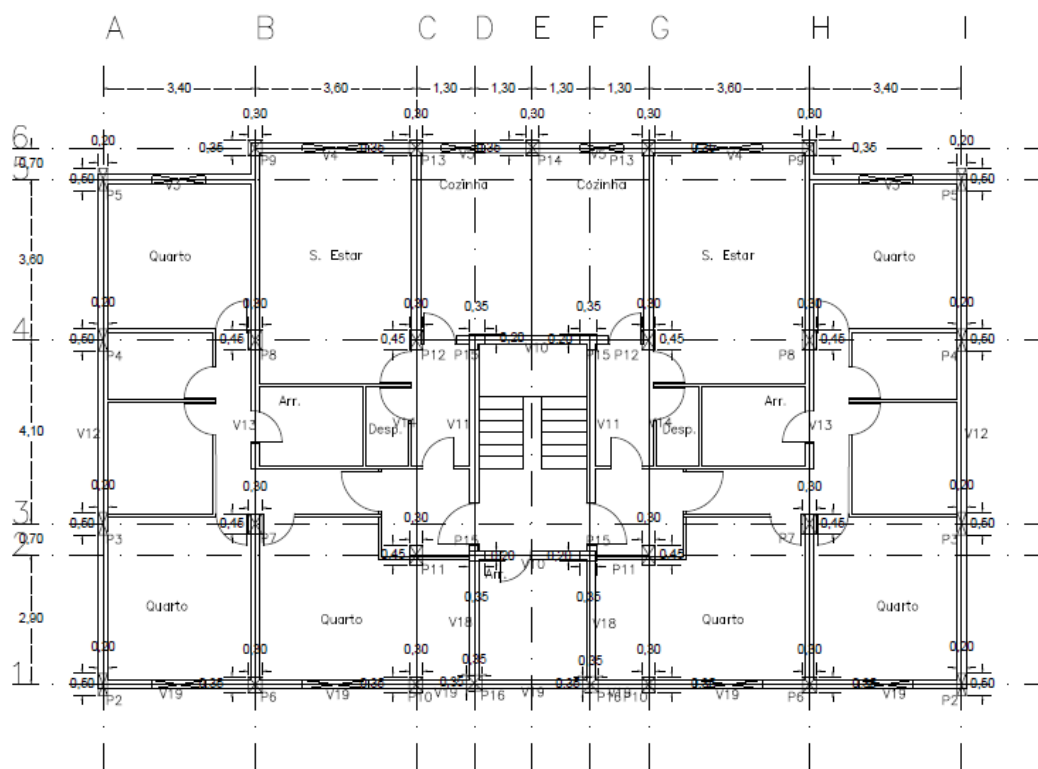
Piso 4

a)



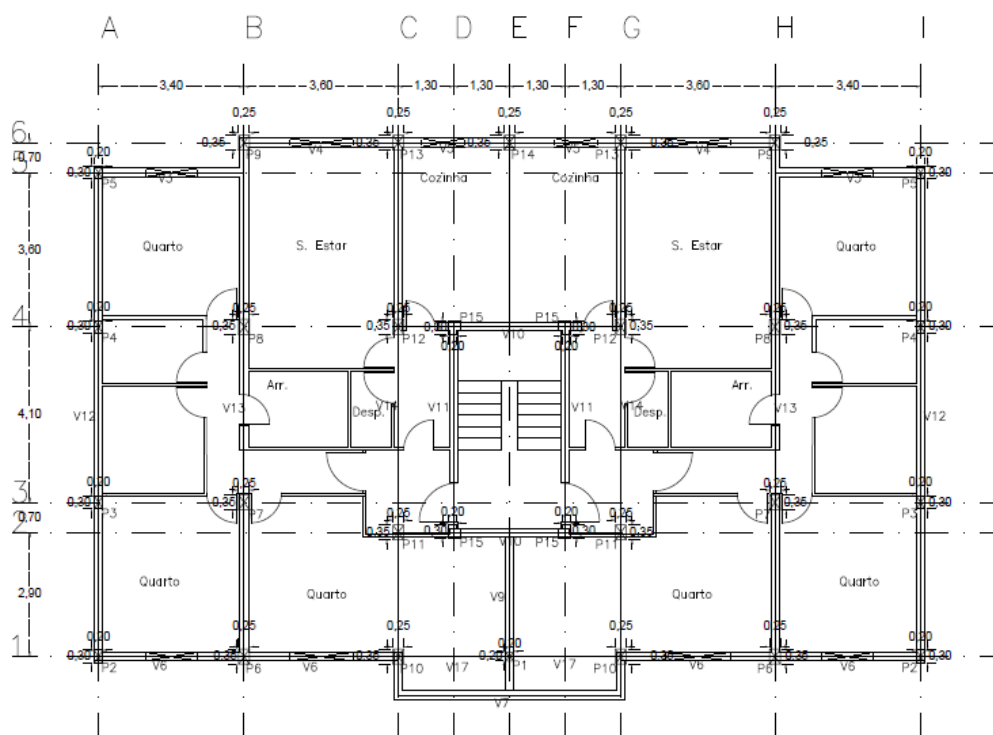
b)

Figura C 3 - a) Planta estrutural do Piso 4; b) Alçado e Corte(Projetos Originais).



Arquitetônico 1

a)

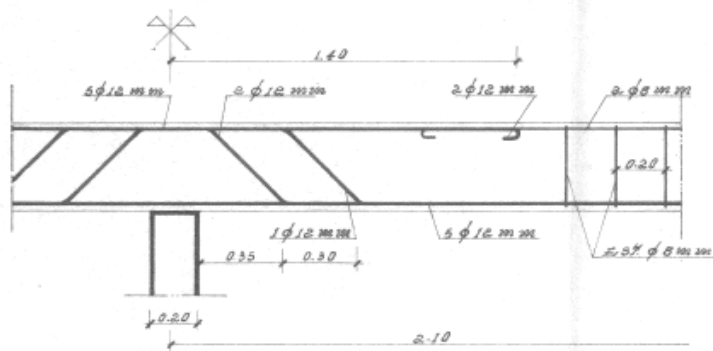


Arquitetônico 2

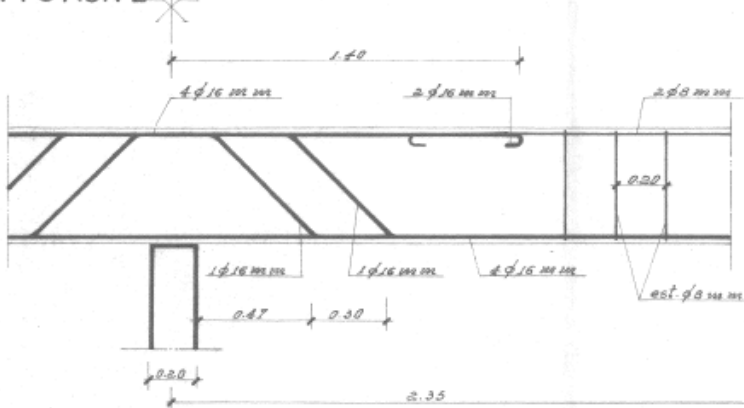
b)

Figura C 4 - Planta arquitetônica; a) Tipo 1; b) Tipo 2.

VIGAS . V 1



VIGAS.V2



VIGA . V 3

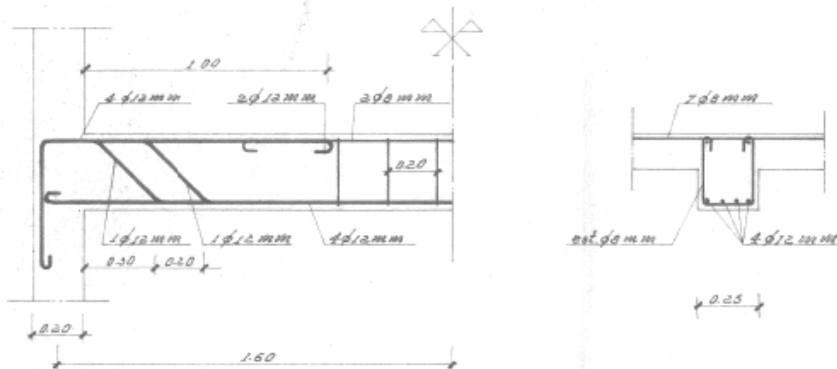


Figura C 5 - Pormenorização das armaduras: Vigas V1, V2 e V3. (Projetos Originais)

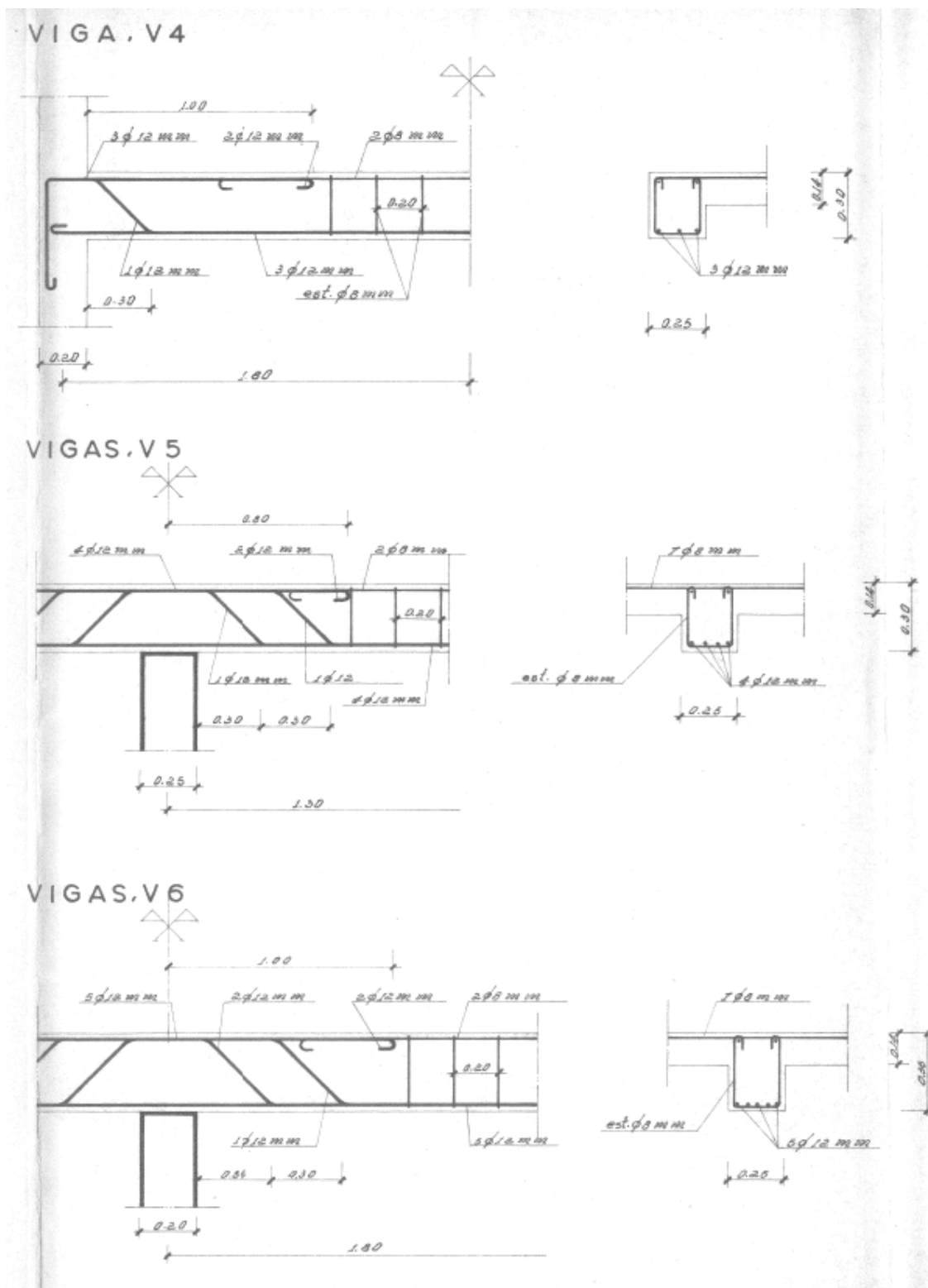
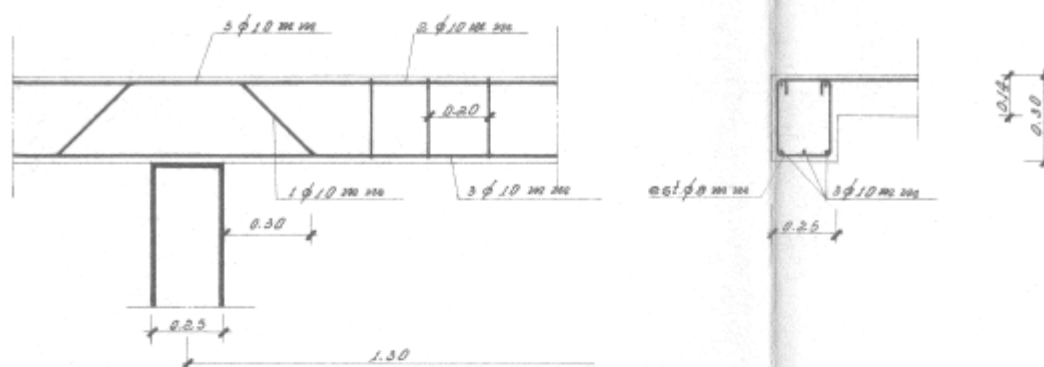
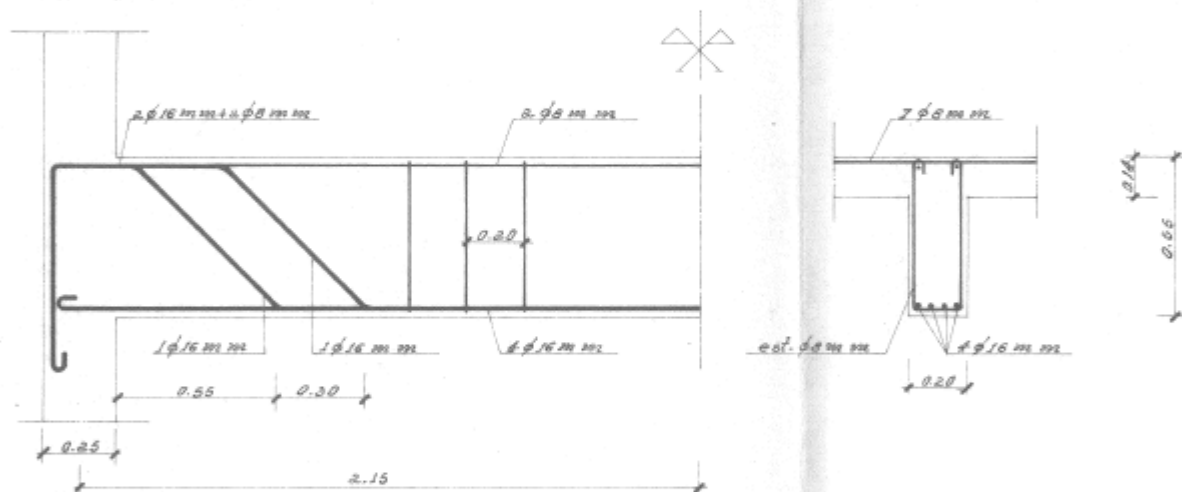


Figura C 6 - Pormenorização das armaduras: Vigas V4, V5, V6.(Projetos Originais)

VIGAS , V 7



VIGAS , V 8



VIGAS , V 9

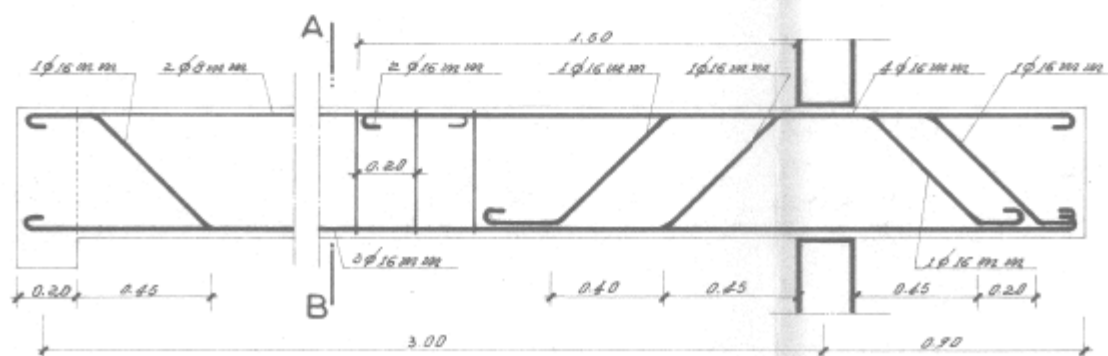


Figura C 7 - Pormenorização das armaduras: Vigas V7, V8, V9. (Projetos Originais)

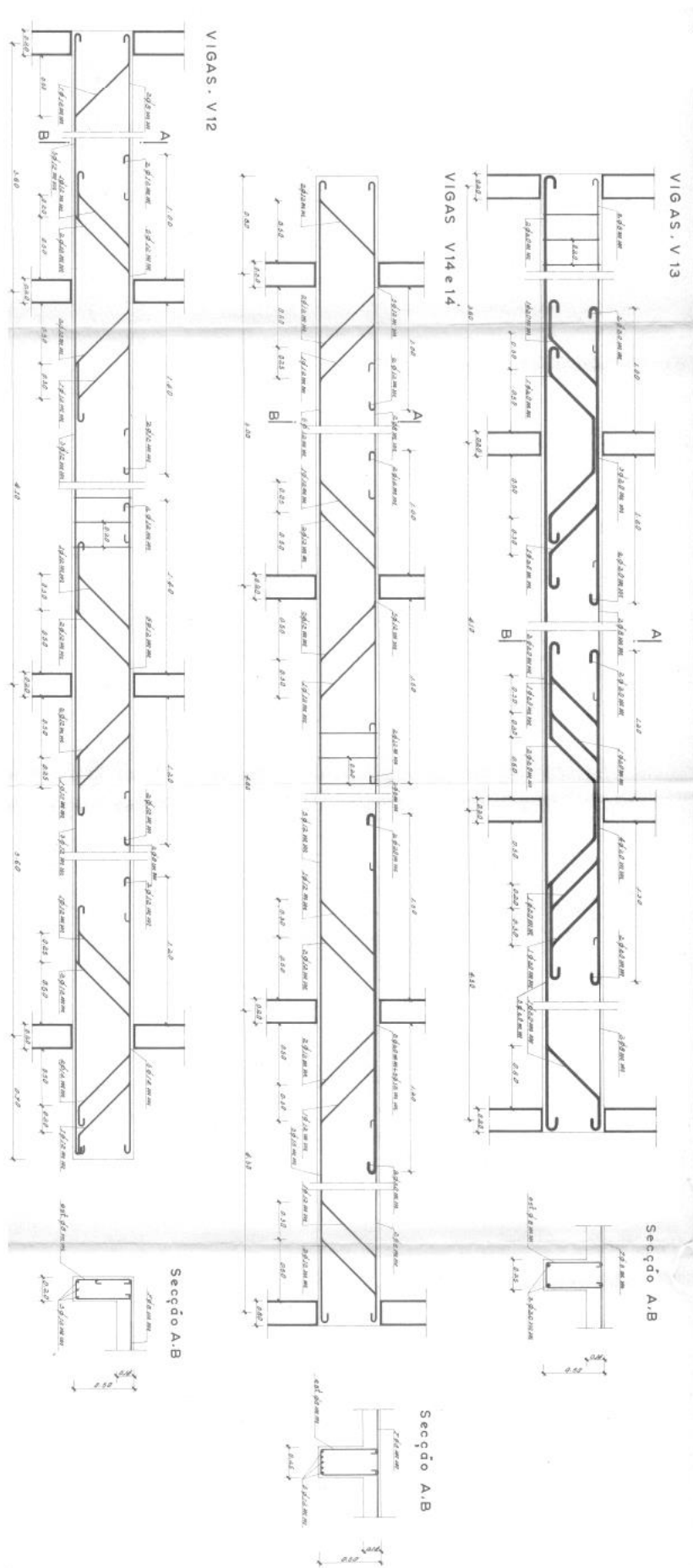
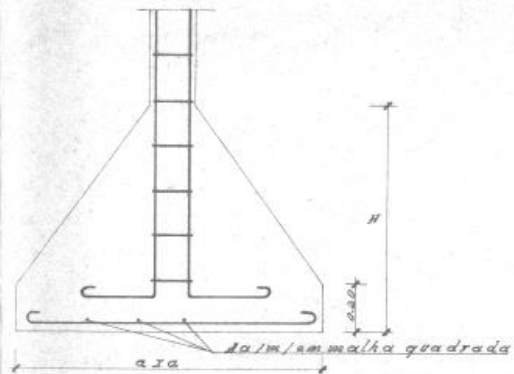


Figura C 8 – Pormenorização das armaduras: Vigas V12, V13 e V14. (Projetos Originais).

PILARES

PILAR	ANDAR	SECÇÃO	ARMADURA	CINTAS
P 1	2º andar	20 x 20	4 Ø 12 mm	Ø 6 mm - 0,15
	1º andar	20 x 20	4 Ø 12 mm	Ø 6 mm - 0,15
P 2 - P 3	sotão	20 x 20	4 Ø 10 mm	Ø 6 mm - 0,12
	2º andar	20 x 20	4 Ø 12 mm	Ø 6 mm - 0,15
	1º andar	20 x 30	4 Ø 12 mm	Ø 6 mm - 0,15
P 4 - P 5	r / c	20 x 40	4 Ø 16 mm	Ø 6 mm - 0,20
	cave	20 x 50	4 Ø 16 mm + 2 Ø 12 mm	Ø 6 mm - 0,20
P 6 - P 9	sotão			
	2º andar	25 x 25	4 Ø 12 mm	Ø 6 mm - 0,15
	1º andar	25 x 35	4 Ø 16 mm	Ø 6 mm - 0,20
P 10 - P 14	r / c	25 x 35	4 Ø 16 mm	Ø 6 mm - 0,20
	cave	30 x 35	4 Ø 20 mm	Ø 6 mm - 0,20
P 7 - P 8	sotão	20 x 20	4 Ø 16 mm	Ø 6 mm - 0,20
	2º andar	25 x 25	4 Ø 16 mm	Ø 6 mm - 0,20
	1º andar	25 x 35	4 Ø 16 mm	Ø 6 mm - 0,20
P 11 - P 12	r / c	25 x 45	6 Ø 16 mm	Ø 6 mm - 0,20
	cave	30 x 45	6 Ø 16 mm	Ø 6 mm - 0,20
P 15	sotão			
	2º andar	20 x 20	4 Ø 12 mm	Ø 6 mm - 0,15
	1º andar		6 Ø 12 mm	Ø 6 mm - 0,15
	r / c		6 Ø 16 mm	Ø 6 mm - 0,15
	cave		6 Ø 16 mm	Ø 6 mm - 0,20
P 16	r / c	35 x 35	4 Ø 16 mm	Ø 6 mm - 0,20
	cave	35 x 35	4 Ø 16 mm	Ø 6 mm - 0,20
P 17 - P 18	1º andar	20 x 20	4 Ø 12 mm	Ø 6 mm - 0,15
	r / c	25 x 20	4 Ø 12 mm	Ø 6 mm - 0,15
	cave	30 x 20	4 Ø 12 mm	Ø 6 mm - 0,15

SAPATAS



PILARES	axa (m2)	H (m)	Aa
P 2 - P 3 - P 4 - P 5	1,35 x 1,35	1,00	7 Ø 8 mm
P 6 - P 9 - P 10 - P 13 - P 14	1,40 x 1,40	1,00	7 Ø 8 mm
P 7 - P 8 - P 11 - P 12	1,65 x 1,65	1,20	7 Ø 8 mm
P 15	1,35 x 1,35	1,00	7 Ø 8 mm
P 16	1,10 x 1,10	0,70	7 Ø 8 mm
P 17 - P 18	1,00 x 1,00	0,70	7 Ø 8 mm

Figura C 9 - Disposição das armaduras dos pilares e pormenorização das sapatas.(Projetos Originais).