

QUANTIFICAÇÃO DO IMPACTO DA ALTERAÇÃO DE ELEMENTOS DA ENVOLVENTE NA FLUTUAÇÃO DA TEMPERATURA EM EDIFÍCIOS COM AQUECIMENTO INTERMITENTE

DENIS GOMES DOS SANTOS

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Vasco Peixoto de Freitas

JUNHO DE 2023

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2022/2023

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

✉ m.ec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado em Engenharia Civil - 2022/2023 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2023*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Ao meu Irmão

*Autism... offers a chance for us to glimpse an awe-filled vision of the world that otherwise
might pass us by.*

Dr. Colin Zimbleman

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar o meu sincero agradecimento a todas as pessoas que me acompanharam ao longo deste percurso académico.

Primeiramente, quero agradecer ao Professor Doutor Vasco Peixoto de Freitas, não só pela sua orientação e apoio ao longo deste semestre que tornaram possível a concretização deste trabalho, mas também pelos conhecimentos que foi partilhando ao longo destes anos e pelo gosto e paixão que me transmitiu para a área da física das construções. Agradeço a oportunidade de trabalhar sob a sua orientação num projeto tão interessante e que me deu um enorme prazer desenvolver.

Agradeço à Engenheira Cláudia Ferreira, Colaboradora do Núcleo de Física das Construções, pela disponibilidade e tempo dedicado para prestar apoio e esclarecimentos que permitiram a realização deste trabalho. Obrigado pela simpatia e disponibilidade.

Quero dedicar um especial agradecimento aos meus pais por todo o carinho, apoio incondicional e por acreditar sempre em mim. Agradeço e admiro todo o esforço e sacrifícios que fizeram para me permitir atingir os meus objetivos e sonhos, sem nunca me abandonar mesmo nos momentos mais difíceis.

Quero dedicar um especial agradecimento aos meus pais por todo o carinho e apoio incondicional. Agradeço por acreditarem sempre em mim e por todos os esforços e sacrifícios que fizeram para me permitir atingir os meus objetivos e sonhos, sem nunca me abandonar mesmo nos momentos mais difíceis.

Agradeço ao meu irmão por todas as alegrias que me proporcionou e por ser um pilar na minha vida. Mesmo perante todos os obstáculos e dificuldades, conseguiste apoiar-me nos momentos em que mais precisei. Admiro a tua força e a tua bondade.

Aos meus padrinhos, quero agradecer por todo o cuidado e fortaleza que me proporcionaram.

Agradeço aos meus primos por todas as alegrias de infância e pelo apoio que sempre me proporcionaram.

Por último, mas não menos importante, agradeço a todos os meus amigos pelos momentos felizes que passamos juntos e pelo apoio constante ao longo deste percurso académico. A vossa amizade e incentivo foram fundamentais para a minha jornada académica e diária, e serei eternamente grato por isso.

RESUMO

Em Portugal, devido às dificuldades económicas (pobreza energética), a prática de aquecimento é intermitente, ao contrário da maioria dos países da Europa. Essa prática é possível devido ao clima de inverno menos severo em comparação com outras regiões europeias. No entanto, essa forma de aquecimento não proporciona um nível adequado de conforto térmico. A regulamentação atual prevê uma prática de aquecimento contínuo, impondo exigências térmicas aos edifícios que podem não oferecer o melhor nível de conforto quando o aquecimento é feito de forma intermitente.

Assim, no presente trabalho é caracterizada a prática de aquecimento e é realizada uma quantificação e análise do desconforto térmico associado a alterações na envolvente de edifícios, com base em simulações em regime dinâmico da flutuação da temperatura, quando a prática de aquecimento é intermitente.

Foi realizado um inquérito aos moradores das cidades do Porto e Chaves para avaliar condições de conforto térmico e hábitos de aquecimento. As respostas obtidas indicam que, no Porto, as pessoas utilizam os sistemas de aquecimento algumas vezes por semana, durante os meses de novembro a março, com duração diária de 2 ou 4 horas. Já em Chaves, as pessoas utilizam os sistemas de aquecimento com maior frequência, entre os meses de outubro e março, com duração diária de 4 ou 8 horas.

Foi avaliado o desconforto térmico resultante de intervenções nas paredes, cobertura e vãos envidraçados de uma habitação, utilizando a ferramenta de simulação numérica WUFI Plus. A flutuação da temperatura interna da habitação para diferentes cenários foi quantificada com base no Índice de Desconforto Passivo, permitindo uma análise do impacto das intervenções no conforto térmico quando o aquecimento intermitente. Essa análise identificou quais intervenções têm maior impacto no conforto térmico. As melhores soluções foram o isolamento térmico externo (nas paredes e/ou cobertura) e a utilização de vidros duplos nos vãos envidraçados. Além disso, constatou-se que o aumento da espessura do isolamento em edifícios já com uma espessura considerável não proporciona muitos benefícios em termos de conforto.

Os resultados deste estudo evidenciam que a utilização de sistemas de aquecimento em Portugal é reduzida e a regulamentação atual não leva em consideração essa realidade nem possibilita a avaliação do desconforto associado a essa prática, sendo necessária a utilização de ferramentas de simulação higrotérmica para quantificar o desconforto e encontrar soluções que garantam maior conforto aos utilizadores e um desempenho térmico adequado em edifícios de habitação.

PALAVRAS-CHAVE: aquecimento intermitente, conforto térmico, simulação higrotérmica, estudo de sensibilidade, edifícios de habitação.

ABSTRACT

In Portugal, due to economic difficulties (energy poverty), the practice of heating is intermittent, unlike most countries in Europe. This practice is possible due to the milder winter climate compared to other European regions. However, this form of heating does not provide an adequate level of thermal comfort. The current regulations stipulate continuous heating practice, imposing thermal demands on buildings that may not offer the best level of comfort when heating is done intermittently.

Therefore, in this study, the heating practice is characterized, and a quantification and analysis of the thermal discomfort associated with changes in the building envelope are conducted, based on dynamic regime simulations of temperature fluctuation when heating is intermittent.

A survey was conducted among residents of the cities of Porto and Chaves to evaluate thermal comfort conditions and heating habits. The obtained responses indicate that in Porto, people use heating systems a few times per week, during the months of November to March, with a daily duration of 2 or 4 hours. In Chaves, on the other hand, people use heating systems more frequently, between the months of October and March, with a daily duration of 4 or 8 hours.

The thermal discomfort resulting from interventions on the walls, roof, and glazed openings of a dwelling was evaluated using the numerical simulation tool WUFI Plus. The fluctuation of the dwelling's internal temperature for different scenarios was quantified based on the *Índice de Desconforto Passivo* (Passive Discomfort Index), enabling an analysis of the impact of interventions on thermal comfort during intermittent heating. This analysis identified which interventions have the greatest impact on thermal comfort. The best solutions were external thermal insulation (in the walls and/or roof) and the use of double glazing in the glazed openings. Additionally, it was found that increasing the thickness of insulation in buildings that already have a considerable thickness does not provide significant benefits in terms of comfort.

The results of this study demonstrate that the utilization of heating systems in Portugal is low, and the current regulations do not take this reality into account, nor do they allow for the evaluation of the discomfort associated with this practice. Therefore, the use of hygrothermal simulation tools is necessary to quantify the discomfort and find solutions that ensure greater comfort for users and appropriate thermal performance in residential buildings.

KEYWORDS: intermittent heating, thermal comfort, hygrothermal simulation, sensitivity study, residential buildings.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURAÇÃO DO TEXTO	2
2. REABILITAÇÃO: O CLIMA, A POBREZA ENERGÉTICA E O CONFORTO TÉRMICO	3
2.1. ENQUADRAMENTO	3
2.2. AQUECIMENTO INTERMITENTE	4
2.2.1. CONSUMOS DE ENERGIA.....	4
2.2.2. O CLIMA DE PORTUGAL FACE À EUROPA.....	6
2.2.3. POBREZA ENERGÉTICA	9
2.2.3.1. Enquadramento	9
2.2.3.2. Pobreza energética em Portugal	10
2.2.4. HÁBITOS DE AQUECIMENTO DOS PORTUGUESES	13
2.3. CONFORTO TÉRMICO	14
2.3.1. ENQUADRAMENTO	14
2.3.2. AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO.....	15
2.3.2.1. Enquadramento	15
2.3.2.2. Modelos de conforto térmico adaptativos	16
2.3.2.3. Índices de conforto térmico: Índice de Desconforto Passivo (IDP).....	19
2.3.3. VANTAGENS DOS PROGRAMAS DE SIMULAÇÃO HIGROTÉRMICA PARA AVALIAÇÃO DO DESCONFORTO TÉRMICO	21
2.4. O ESTADO ATUAL DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO EM PORTUGAL.....	22
2.4.1. CARACTERIZAÇÃO DO PARQUE HABITACIONAL	22
2.4.2. SISTEMAS DE AQUECIMENTO NOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO	26
2.5. A REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS EM PORTUGAL.....	30
2.5.1. ENQUADRAMENTO	30
2.5.2. A ESTRATÉGIA DE LONGO PRAZO PARA A RENOVAÇÃO DOS EDIFÍCIOS: CONCEITO E FUNCIONAMENTO	30

2.5.3. REGULAMENTOS DE TÉRMICA: EVOLUÇÃO E IMPLICAÇÕES PARA A REABILITAÇÃO DOS EDIFÍCIOS.....	32
2.5.4. AVALIAÇÃO CRÍTICA DA ADEQUAÇÃO DOS REGULAMENTOS DE TÉRMICA AOS OBJETIVOS DA ELPRE ..	35
2.6. SÍNTESE.....	36

3. INQUÉRITO SOBRE CONDIÇÕES DE CONFORTO	37
3.1. INTRODUÇÃO	37
3.2. ESTRUTURA DO QUESTIONÁRIO	38
3.2.1. DADOS PESSOAIS.....	38
3.2.2. DADOS DA HABITAÇÃO	38
3.2.3. HÁBITOS DE AQUECIMENTO	39
3.3. CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA	39
3.4. TRATAMENTO DAS RESPOSTAS	40
3.5. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	52
3.6. SÍNTESE.....	54

4. METODOLOGIA PARA QUANTIFICAÇÃO DA VARIAÇÃO DINÂMICA DA TEMPERATURA	55
4.1. INTRODUÇÃO	55
4.2. SELEÇÃO DA FERRAMENTA PARA SIMULAÇÃO HIGROTÉRMICA.....	57
4.3. SELEÇÃO DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO DO DESCONFORTO TÉRMICO	58
4.4. DADOS CLIMÁTICOS	60
4.5. TIPIFICAÇÃO DAS FRAÇÕES EM ESTUDO	62
4.5.1. DESCRIÇÃO DA FRAÇÃO	62
4.5.1.1. Apresentação do edifício e zonas de estudo.....	62
4.5.1.2. Componentes e propriedades térmicas.....	64
4.5.2. APRESENTAÇÃO DAS INTERVENÇÕES	68
4.5.2.1. Código para identificação dos cenários.....	68
4.5.2.2. Alteração de elementos da envolvente	69
4.6. PERFIL DE OCUPAÇÃO, AQUECIMENTO, VENTILAÇÃO E PROTEÇÃO SOLAR.....	72
4.6.1. PERFIL DE OCUPAÇÃO	72
4.6.2. PERFIL DE AQUECIMENTO	75
4.6.3. PERFIL DE VENTILAÇÃO.....	77
4.6.4. PERFIL DE UTILIZAÇÃO DE PROTEÇÃO SOLAR	79
4.7. CENÁRIOS SIMULADOS	81
4.8. SÍNTESE.....	83

5. IMPACTO DAS INTERVENÇÕES NA ENVOLVENTE NA REDUÇÃO DO DESCONFORTO QUANDO O AQUECIMENTO É INTERMITENTE	85
5.1. INTRODUÇÃO	85
5.2. CLIMA, ORIENTAÇÃO E POSIÇÃO DO APARTAMENTO	85
5.2.1. CLIMA EXTERIOR	85
5.2.2. ORIENTAÇÃO DA HABITAÇÃO	89
5.2.3. POSIÇÃO DO APARTAMENTO NO EDIFÍCIO	92
5.3. INTERVENÇÕES NA ENVOLVENTE	95
5.3.1. ISOLAMENTO DE PAREDES	95
5.3.2. ISOLAMENTO DE COBERTURA	100
5.3.3. ALTERAÇÃO NOS VÃOS ENVIDRAÇADOS	102
5.4. COMPARAÇÃO DOS CUSTOS DE INTERVENÇÃO E PREÇO DA ENERGIA	105
5.4.1. CUSTOS DAS INTERVENÇÕES	105
5.4.2. CUSTOS ENERGÉTICOS.....	110
5.5. SÍNTESE.....	115
6. CONCLUSÕES	117
6.1. CONCLUSÕES.....	117
6.2. TRABALHOS FUTUROS	119
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 – Distribuição do consumo de energia por setor de atividade em 2021, adaptado de Eurostat (2023f)	4
Fig. 2.2 – Distribuição do consumo de energia por tipo de utilização no setor doméstico em 2021, adaptado de Eurostat (2023g)	4
Fig. 2.3 – Consumo de energia no setor doméstico da Europa em 2018, por tipo de utilização. Adaptado de Odyssee-Mure (2021)	5
Fig. 2.4 – Distribuição dos consumos de energia para aquecimento (2018) (esquerda) e das temperaturas médias de inverno (1991-2020) (direita) na Europa, adaptado de Odyssee-Mure (2021) e World Bank Group (WBG, sem data)	6
Fig. 2.5 – Mapa da classificação climática de Köppen-Geiger para a Europa (1980-2016), adaptado de Beck et al. (2018). Fonte: Wikimedia Commons (2018a)	7
Fig. 2.6 – Mapa da classificação climática de Köppen-Geiger para Portugal Continental (1980-2016), adaptado de Beck et al. (2018). Fonte: Wikimedia Commons (2018b)	7
Fig. 2.7 – Temperaturas médias no inverno (°C) na União Europeia, para o período de 1991-2020, adaptado de WBG (sem data)	8
Fig. 2.8 – Temperaturas médias no verão (°C) na União Europeia, para o período de 1991-2020, adaptado de WBG (sem data)	8
Fig. 2.9 – Temperaturas médias (°C) na União Europeia, para o período de 1991-2020, adaptado de WBG (sem data)	9
Fig. 2.10 – Percentagem da população incapaz de manter uma temperatura adequada da habitação em 2021, por país da União Europeia, adaptado de Eurostat (2023a)	10
Fig. 2.11 – Evolução dos preços da eletricidade em Portugal e na União Europeia, adaptado de Eurostat (2023b)	11
Fig. 2.12. – Evolução dos preços do gás em Portugal e na União Europeia, adaptado de Eurostat (2023c)	11
Fig. 2.13 – Preço da eletricidade por rendimento equivalente anual das famílias, adaptado de Eurostat (2023b; 2023d)	12
Fig. 2.14 – Preço do gás por rendimento equivalente anual das famílias, adaptado de Eurostat (2023c; 2023d)	12
Fig. 2.15 – Percentagem da população com patologias de carácter higrotérmico na habitação em 2020, por país da União Europeia, adaptado de Eurostat (2023e)	13
Fig. 2.16 – Modelo de conforto adaptativo da norma europeia EN 16798, adaptado de CEN/TC 156 (2019)	17
Fig. 2.17 – Modelo de conforto adaptativo da norma ASHRAE 55, adaptado de ANSI/ASHRAE (2010)	18
Fig. 2.18 – Modelo de conforto adaptativo “LNEC”, adaptado de Matias (2010)	19
Fig. 2.19 – Esquema representativo do IDP nas suas componentes: a) IDP1 b) IDP2	20

Fig. 2.20 – Evolução do número de edifícios clássicos e de alojamentos, 1970 – 2021 (Censos 2021)	22
Fig. 2.21 – Edifícios clássicos por época de construção, 2021 (Censos 2021)	23
Fig. 2.22 – Edifícios clássicos, segundo o número de alojamentos, 2021 (Censos 2021)	23
Fig. 2.23 – Edifícios clássicos, segundo o número de pisos do edifício, 2021 (Censos 2021)	24
Fig. 2.24 – Distribuição de edifícios clássicos, segundo o número de pisos do edifício, por NUTS III, 2021 (Censos 2021)	24
Fig. 2.25 – Densidade (esquerda) de alojamentos (nº alojamentos/km ²) e (direita) populacional (nº pessoas/km ²), por município, 2021 (Censos 2021)	25
Fig. 2.26 – Distribuição dos alojamentos familiares clássicos de residência habitual por índice de lotação, 2021 (Censos 2021)	25
Fig. 2.27 – Repartição do consumo de energia final por sector (ICESD 2020)	26
Fig. 2.28 – Distribuição do consumo (tep) e despesa (€) no alojamento por fonte de energia Portugal (ICESD 2020)	27
Fig. 2.29 – Distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de utilização (ICESD 2020)	27
Fig. 2.30 – Distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de utilização e tipo de fonte de energia (ICESD 2020)	27
Fig. 2.31 – Alojamentos por tipo de equipamento utilizado para aquecimento do ambiente e número médio de equipamentos por alojamento (ICESD 2020)	28
Fig. 2.32 – Alojamentos familiares clássicos, ocupados como residência habitual, segundo o tipo de aquecimento utilizado com mais frequência, 2021 (Censos 2021)	28
Fig. 2.33 – Distribuição de alojamentos familiares clássicos, ocupados como residência habitual, segundo o tipo de aquecimento utilizado com mais frequência, NUTS III, 2021 (Censos 2021)	29
Fig. 2.34 – Eixos de atuação da ELPRE (DGEG, 2020)	31
Fig. 2.35 – Evolução da legislação sobre o desempenho energético dos edifícios na Europa e em Portugal (2002 2020)	32
Fig. 3.1 – Distribuição das habitações por tipologia	41
Fig. 3.2 – Distribuição das habitações por ano construtivo	42
Fig. 3.3 – Distribuição das habitações que sofreram algum tipo de intervenção	43
Fig. 3.4 – Distribuição das habitações com isolamento térmico: existência de isolamento térmico, para o Porto; distribuição do isolamento térmico por elemento, para Chaves	44
Fig. 3.5 – Distribuição dos vãos das habitações por tipo de vidro e caixilharia	45
Fig. 3.6 – Posição das proteções solares por tipo de proteção	46
Fig. 3.7 – Distribuição das habitações por tipo de ventilação	47
Fig. 3.8 – Distribuição das habitações por sistema aquecimento	48
Fig. 3.9 – Distribuição das divisões por existência de aquecimento	49
Fig. 3.10 – Distribuição por frequência de aquecimento	50

Fig. 3.11 – Distribuição por meses em que o aquecimento é utilizado.....	51
Fig. 3.12 – Distribuição por número de horas diárias de utilização do aquecimento	52
Fig. 4.1 – Procedimento seguido para a quantificação do IDP para cada cenário.....	56
Fig. 4.2 – Interface do WUFI® Plus	57
Fig. 4.3 – Exemplo de visualização da flutuação da temperatura no WUFI® Plus (esquerda) e gráfico resultante do tratamento de dados numa folha de cálculo (direita)	58
Fig. 4.4 – Limites considerados na quantificação pelo IDP com o modelo de conforto, adaptativo de CEN/TC 156 (2019).....	59
Fig. 4.5 – Estação meteorológica do LFC/FEUP	60
Fig. 4.6 – Visualização gráfica do ficheiro climática do Porto no WUFI® Plus	61
Fig. 4.7 – Visualização gráfica do ficheiro climático de Bragança no WUFI® Plus	61
Fig. 4.8 – Planta do 3º andar do bloco A1 do conjunto habitacional de Moreira I, Maia	62
Fig. 4.9 – Localização das frações estudadas: piso intermédio (alçados esquerdos), piso de cobertura (alçados direitos) e localização da fração em planta.	63
Fig. 4.10 – Divisão da planta em zonas de estudo e localização dos componentes verticais	64
Fig. 4.11 – Representação dos elementos opacos verticais	64
Fig. 4.12 – Representação dos elementos opacos horizontais	64
Fig. 4.13 – Representação dos vãos da fachada poente	68
Fig. 4.14 – Elementos opacos verticais das fachadas principais para o cenário 6 (P00d).....	70
Fig. 4.15 – Perfis de ocupação das zonas de estudo	73
Fig. 4.16 – Perfis de aquecimento em função das horas de aquecimento e divisões.....	76
Fig. 4.17 – Perfil de ventilação na estação de arrefecimento	79
Fig. 4.18 – Perfis de ativação das proteções solares	81
Fig. 4.19 – Esquema dos cenários de estudo.....	82
Fig. 5.1 – Comparação do IDP de inverno, nas horas em que a habitação é ocupada, para climas exteriores (localização) diferentes em função da orientação e intervenções na envolvente, sem aquecimento.....	86
Fig. 5.2 – Comparação do IDP de inverno, nas horas em que a habitação é ocupada, para climas exteriores (localização) diferentes em função da orientação e intervenções na envolvente, com 2 h de aquecimento	86
Fig. 5.3 – Comparação do IDP de inverno, nas horas em que a habitação é ocupada, para climas exteriores (localização) diferentes em função da orientação e intervenções na envolvente, com 24 h de aquecimento	87
Fig. 5.4 – Comparação do IDP de verão, nas horas em que a habitação é ocupada, para climas exteriores (localização) diferentes em função da orientação e intervenções na envolvente	88
Fig. 5.5 – Comparação do IDP de verão, considerando os limites de conforto do modelo adaptativo EN 16798.....	88

Fig. 5.6 – Comparação do IDP de inverno, nas horas em que a habitação é ocupada, para diferentes orientações em função das intervenções na envolvente (clima do Porto), sem aquecimento	89
Fig. 5.7 – Comparação do IDP de inverno, nas horas em que a habitação é ocupada, para diferentes orientações em função das intervenções na envolvente (clima do Porto), com 2 h de aquecimento ..	89
Fig. 5.8 – Comparação do IDP de inverno, nas horas em que a habitação é ocupada, para diferentes orientações em função das intervenções na envolvente (clima do Porto), com 24 h de aquecimento	90
Fig. 5.9 – Comparação do IDP de verão, nas horas em que a habitação é ocupada, para diferentes orientações em função das intervenções na envolvente (clima do Porto)	90
Fig. 5.10 – Comparação do IDP global, nas horas em que a habitação é ocupada, para diferentes orientações em função das intervenções na envolvente (clima do Porto), sem aquecimento	91
Fig. 5.11 – Comparação do IDP de inverno, nas horas em que a habitação é ocupada, para diferentes posições do apartamento no edifício em função da orientação (clima do Porto), sem aquecimento ...	93
Fig. 5.12 – Comparação do IDP de inverno, nas horas em que a habitação é ocupada, para diferentes posições do apartamento no edifício em função da orientação (clima do Porto), com 2 h de aquecimento	93
Fig. 5.13 – Comparação do IDP de inverno, nas horas em que a habitação é ocupada, para diferentes posições do apartamento no edifício em função da orientação (clima do Porto), com 24 h de aquecimento	94
Fig. 5.14 – Comparação do IDP de verão, nas horas em que a habitação é ocupada, para diferentes posições do apartamento no edifício em função da orientação (clima do Porto)	94
Fig. 5.15 – Comparação do IDP global, nas horas em que a habitação é ocupada, em função das intervenções nas paredes (clima do Porto), para a orientação norte	95
Fig. 5.16 – Comparação do IDP global, nas horas em que a habitação é ocupada, em função das intervenções nas paredes (clima do Porto), para a orientação sul	95
Fig. 5.17 – Comparação do IDP global, nas horas em que a habitação é ocupada, em função das intervenções nas paredes (clima do Porto), para a orientação este	96
Fig. 5.18 – Comparação do IDP global, nas horas em que a habitação é ocupada, em função das intervenções nas paredes (clima do Porto), para a orientação oeste	96
Fig. 5.19 – Evolução do IDP de inverno em função da espessura de isolamento térmico pelo exterior, para as diferentes orientações e sem aquecimento (clima do Porto)	97
Fig. 5.20 – Evolução do IDP de inverno em função da espessura de isolamento térmico pelo exterior, para as diferentes orientações e com 2 h de aquecimento (clima do Porto)	97
Fig. 5.21 – Evolução do IDP de inverno em função da espessura de isolamento térmico pelo exterior, para as diferentes orientações e com 24 h de aquecimento (clima do Porto)	98
Fig. 5.22 – Evolução do IDP de verão em função da espessura de isolamento térmico pelo exterior, para as diferentes orientações (clima do Porto)	98
Fig. 5.23 – Comparação do IDP de inverno, nas horas em que a habitação é ocupada, para climas exteriores (localização) diferentes em função da orientação e intervenções na envolvente, com 2 h de aquecimento	99

Fig. 5.24 – Comparação do IDP global, nas horas em que a habitação é ocupada, em função das intervenções na cobertura (clima do Porto), para a orientação norte	100
Fig. 5.25 – Comparação do IDP global, nas horas em que a habitação é ocupada, em função das intervenções na cobertura (clima do Porto), para a orientação sul	100
Fig. 5.26 – Comparação do IDP global, nas horas em que a habitação é ocupada, em função das intervenções na cobertura (clima do Porto), para a orientação este	101
Fig. 5.27 – Comparação do IDP global, nas horas em que a habitação é ocupada, em função das intervenções na cobertura (clima do Porto), para a orientação sul	101
Fig. 5.28 – Comparação da influência do aumento do isolamento da cobertura (cima) e das paredes (baixo) na diminuição do IDP global, para a orientação sul.....	102
Fig. 5.29 – Comparação do IDP global, nas horas em que a habitação é ocupada, em função das intervenções nos vãos envidraçados (clima do Porto), para a orientação norte	103
Fig. 5.30 – Comparação do IDP global, nas horas em que a habitação é ocupada, em função das intervenções nos vãos envidraçados (clima do Porto), para a orientação sul.....	103
Fig. 5.31 – Comparação do IDP global, nas horas em que a habitação é ocupada, em função das intervenções nos vãos envidraçados (clima do Porto), para a orientação este	104
Fig. 5.32 – Comparação do IDP global, nas horas em que a habitação é ocupada, em função das intervenções nos vãos envidraçados (clima do Porto), para a orientação oeste	104
Fig. 5.33 – Comparação do IDP de verão, nas horas em que a habitação é ocupada, em função das intervenções nos vãos envidraçados (clima do Porto), para diferentes orientações.....	105
Fig. 5.34 – Relação entre o custo das intervenções e o IDP global associado (clima do Porto), sem aquecimento	107
Fig. 5.35 – Relação entre o custo das intervenções e o IDP global associado (clima do Porto), com 2 h de aquecimento	108
Fig. 5.36 – Relação entre o custo das intervenções e o IDP global associado (clima do Porto), com 24 h de aquecimento	109
Fig. 5.37 – Evolução dos custos da energia associados a 2 h de aquecimento, ao longo dos anos, para os diferentes cenários e contabilizando o custo inicial das intervenções	112
Fig. 5.38 – Evolução dos custos da energia associados a 4 h de aquecimento, ao longo dos anos, para os diferentes cenários e contabilizando o custo inicial das intervenções	113
Fig. 5.39 – Evolução dos custos da energia associados a 2 h de aquecimento, ao longo dos anos, para os diferentes cenários e contabilizando o custo inicial das intervenções	114

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Objetivos para os edifícios residenciais face a 2018 (DGEG et al., 2021)	31
Tabela 2.2 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais $[W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$, aplicáveis a partir de 2006 (RCCTE), adaptado de Decreto-Lei n.º 80/2006	33
Tabela 2.3 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais $[W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$, aplicáveis a partir de 2013 (REH), adaptado de Portaria n.º 349-B/2013.....	33
Tabela 2.4 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos, $U_{m\acute{a}x} [W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$, aplicáveis a partir de 2016 (REH), adaptado de (Portaria n.º 379-A/2015)	33
Tabela 2.5 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos, $U_{m\acute{a}x} [W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$, atualmente aplicáveis, adaptado de Portaria n.º 138-I/2021	34
Tabela 2.6 – Requisitos dos edifícios de habitação sujeitos a grande renovação, em função do ano de construção, adaptado de Despacho n.º 6476-E/2021	34
Tabela 4.1 – Propriedades dos materiais dos elementos opacos verticais	65
Tabela 4.2 – Propriedades dos materiais dos elementos opacos horizontais.....	66
Tabela 4.3 – Valor de U obtidos no WUFI® Plus para os componentes do edifício	67
Tabela 4.4 – Propriedades dos vãos envidraçados	68
Tabela 4.5 – Componentes alterados para o cenário 1 (P07e)	69
Tabela 4.6 – Componentes alterados para o cenário 2 (P11e)	70
Tabela 4.7 – Propriedades dos materiais dos elementos alterados no cenário 6 (P00d)	71
Tabela 4.8 – Variação do valor de U da cobertura para os diferentes cenários testados	71
Tabela 4.9 – Variação das propriedades da parte envidraçada dos vãos da fachada poente.....	72
Tabela 4.10 – Ganhos internos em função da hora e zona de estudo	74
Tabela 4.11 – Horas do dia em que a temperatura exterior é inferior à temperatura interior, por mês (valores em percentagem)	78
Tabela 5.1 – Custos das intervenções para o cenário original (PI-P05Vsi e PC-P05eC05eVsi)	106
Tabela 5.2 – Custo das intervenções para o cenário 6 (PI-P00dVsi)	106
Tabela 5.3 – Custo da energia para aquecimento para a orientação norte	110
Tabela 5.4. – IDP de inverno e verão, nas horas em que a habitação é ocupada, para todos os cenários estudados	116

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

c - calor específico [$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]

e - espessura [m]

$g_{\perp,vi}$ - fator solar da área transparente para uma incidência da radiação perpendicular ao vão envidraçado

$g_{\text{tot},vc}$ - fator solar do vão envidraçado com vidro corrente e um dispositivo de proteção solar totalmente ativado

HR - humidade relativa [%]

N_i - necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento de referência [$\text{kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{ano})$]

N_{ic} - necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento [$\text{kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{ano})$]

N_v - necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento de referência [$\text{kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{ano})$]

N_{vc} - necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento [$\text{kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{ano})$]

p_{sat} - pressão de saturação [Pa]

p_v - pressão parcial do vapor de água contido no ar [Pa]

R - resistência térmica [$(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})/\text{W}$]

R_{asc} - resistência térmica para um fluxo de calor ascendente [$(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})/\text{W}$]

R_{des} - resistência térmica para um fluxo de calor descendente [$(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})/\text{W}$]

Ren_{Hab} - indicador de energia primária renovável em edifícios de habitação

R_{NT} - rácio de classe energética em edifícios de habitação

T - temperatura do ar [$^\circ\text{C}$]

T_m - temperatura média exterior predominante [$^\circ\text{C}$]

T_{mm} - temperatura média móvel exterior, exponencialmente ponderada [$^\circ\text{C}$]

T_{n-i} - temperatura média exterior do dia “i” anterior [$^\circ\text{C}$]

T_{oc} - temperatura operativa de conforto [$^\circ\text{C}$]

T_{po} - temperatura de ponto de orvalho [$^\circ\text{C}$]

U - coeficiente de transmissão térmica [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$]

$U_{\text{máx}}$ - coeficiente de transmissão térmica superficial máximo [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$]

U_{ref} - Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$]

U_w - coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado não considerando dispositivos de proteção solar [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$]

U_{WDN} - coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado médio dia-noite [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$]

λ - condutibilidade térmica [$\text{W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$]

ρ - massa volúmica [kg/m^3]

ADENE - Agência para a Energia

AH - Atividade humana

AQS - água quente sanitária

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

CE - Certificado Energético

CO₂ - dióxido de carbono

DEC - Departamento de Engenharia Civil

DGEG - Direção-Geral de Energia e Geologia

ELPRE - Estratégia de Longo Prazo para a Renovação dos Edifícios

EN - Norma Europeia

EPBD - energy performance of buildings directive

EPS - poliestireno expandido moldado

ETICS - Sistema de Isolamento Térmico pelo Exterior

FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

FNRE - Fundo Nacional de Renovação do Edificado

GCC - Ganhos de calor por convecção

GCR - Ganhos de calor por radiação

GEE - gases com efeito de estufa

ICESD - Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico

IDP - Índice de Desconforto Passivo

IFE - Instrumento Financeiro para a Energia

LFC - Laboratório de Física das Construções

LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil

NUTS - Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos

nZEB - near Zero Energy Building [edifícios com necessidades quase nulas de energia]

OMS - Organização Mundial da Saúde

PAQCTE - Plano de Ação para a Qualidade da Construção e Transição Energética

PMV - Predicted Mean Vote

PNEC - Plano Nacional Energia-Clima 2021-2030

PPD - Predicted Percentage of Dissatisfied

PTP - ponte térmica plana

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RECS - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços

REH - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RERU - Regime Excecional para a Reabilitação Urbana

RNC - Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050

RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios

SCE - Sistema de Certificação Energética dos Edifícios

tep - tonelada equivalente de petróleo

rph – renovações por hora

UE - União Europeia

Aceit - Aceitabilidade

Cat - Categoria

Fig - Figura

Núm - Número

Unit - Unitário

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

Desde sempre, a melhoria do conforto tem sido uma grande preocupação para o ser humano. O conceito de conforto é amplo e depende de vários fatores, tanto ambientais como psicológicos. No que diz respeito aos edifícios, um dos fatores que influencia o conforto é a temperatura ambiente. Este conforto associado à temperatura designa-se por conforto térmico. De uma forma geral, para alcançar conforto térmico, é necessário isolar termicamente os edifícios, a fim de reduzir as trocas de calor no seu interior, e controlar a temperatura interior através de sistemas de aquecimento ou arrefecimento.

Assim, o conforto térmico é alcançado através da combinação de sistemas de climatização, que regulam a temperatura no interior dos edifícios para valores considerados confortáveis, e do isolamento térmico da envolvente exterior do edifício, de forma a minimizar as trocas de calor entre o ambiente interior e exterior, reduzindo os gastos energéticos associado ao funcionamento dos sistemas de climatização.

De modo a garantir que os edifícios em Portugal sejam construídos ou reabilitados de forma a proporcionar conforto térmico aos seus utilizadores e, ao mesmo tempo, reduzir o consumo de energia dos sistemas de aquecimento, foram estabelecidos regulamentos que impõem determinadas exigências. Estas incluem níveis mínimos de “isolamento” da envolvente do edifício ou a obrigatoriedade de que o desempenho energético do edifício, juntamente com os sistemas de climatização, atinja uma determinada classe energética. O regulamento em vigor, à data da escrita deste trabalho, é o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE). Este regulamento deriva da transição de Diretivas Europeias que visam melhorar o conforto das pessoas, ao mesmo tempo que reduzem os consumos de energia e as emissões de gases com efeito de estufa (GEE).

No que diz respeito aos edifícios de habitação, apesar dos benefícios que outorgou para a melhoria do conforto térmico, esta parte do pressuposto que não é possível viver sem aquecimento contínuo nas habitações. Por esse motivo, as exigências no regulamento são previstas para um aquecimento contínuo de 24 horas diárias. Esta suposição é válida para a maioria dos países europeus, onde os seus habitantes utilizam os sistemas de aquecimento de forma constante e regular, mas não se aplica a Portugal. Devido a um clima de inverno menos severo e a dificuldades financeiras associadas aos custos energéticos dos sistemas de climatização, a população portuguesa opta por uma prática de aquecimento intermitente, utilizando os sistemas de aquecimento ambiente conforme as necessidades e possibilidades dos utilizadores.

Esta diferença entre as práticas reais de aquecimento e as previstas nas normas aplicáveis à construção e reabilitação de edifícios de habitação levanta a dúvida sobre se a consideração de aquecimento contínuo no momento do projeto do edifício pode prejudicar o conforto térmico dos utilizadores que não seguem essa prática de aquecimento.

Desta forma, nesta dissertação propõe-se estudar o impacto de diferentes intervenções na envolvente exterior dos edifícios, para diferentes condições, de modo a quantificar os benefícios das alterações da envolvente no conforto térmico numa situação de aquecimento intermitente.

1.2. OBJETIVOS

Os principais objetivos deste trabalho são:

- Identificar as práticas de aquecimento adotadas no setor doméstico em Portugal, com base num inquérito;
- Quantificar o desconforto térmico de diferentes cenários de alteração de elementos da envolvente, por meio de um índice de desconforto térmico;
- Comparar e analisar o desconforto térmico entre diferentes cenários de alteração de elementos da envolvente;

Além desses objetivos principais, também estão previstos os seguintes objetivos secundários:

- Identificar métodos de avaliar o conforto térmico;
- Criar diferentes cenários de alteração de elementos da envolvente;
- Utilizar uma ferramenta de simulação higratérmica em regime dinâmico.

1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURAÇÃO DO TEXTO

O presente trabalho está dividido em 6 capítulos.

O Capítulo 1 apresenta uma breve introdução e são expostos os principais objetivos e a organização da dissertação.

O Capítulo 2 oferece um enquadramento do trabalho, caracterizando os consumos de energia, os hábitos de aquecimento, o clima e o fenómeno de pobreza energética em Portugal. Além disso, analisa o conceito de conforto térmico, formas de avaliá-lo e as vantagens dos programas de simulação higratérmica. Também caracteriza o parque habitacional português e analisa a regulamentação aplicável a edifícios sujeitos a grandes intervenções, assim como iniciativas para a reabilitação de edifícios.

O Capítulo 3 apresenta um inquérito sobre condições de conforto e hábitos de aquecimento.

O Capítulo 4 apresenta a ferramenta e o método de avaliação utilizado, descreve a fração estudada e apresenta as intervenções na envolvente a simular.

O Capítulo 5 apresenta o resultado das simulações higratérmicas em forma de índices de avaliação do conforto/desconforto térmico e faz uma análise desses resultados.

Por fim, o Capítulo 6 apresenta as principais conclusões e propõe trabalhos futuros nesta área.

2

REABILITAÇÃO: O CLIMA, A POBREZA ENERGÉTICA E O CONFORTO TÉRMICO

2.1. ENQUADRAMENTO

O aquecimento intermitente é uma prática comum nas habitações portuguesas, caracterizada pela utilização de sistemas de aquecimento que são ligados e desligados ao longo do dia, de acordo com as necessidades ou possibilidades dos moradores. No entanto, essa prática difere do tipo de aquecimento considerado na regulamentação portuguesa sobre térmica de edifícios. A regulamentação considera uma prática de aquecimento contínuo nos cálculos das necessidades energéticas para aquecimento, assumindo que os sistemas de aquecimento são mantidos ligados durante todo o dia.

Neste capítulo, será explorada a prática do aquecimento intermitente nas habitações portuguesas e a sua relação com o contexto energético e de conforto térmico do país.

Num primeiro momento, será feita uma comparação dos consumos de energia entre Portugal e no resto da Europa, com o objetivo de avaliar se existe uma prática predominante de aquecimento intermitente em Portugal, em contraste com o aquecimento contínuo adotado na maioria dos países europeus. Em seguida, será estudada a situação de Portugal em relação aos restantes países europeus, a fim de perceber por que esta prática de aquecimento é mais comum em Portugal do que em outros países europeus.

Numa segunda fase, será estudada a definição de conforto térmico, os parâmetros que influenciam o conforto e as formas que permitem avaliar o conforto, com o objetivo de analisar se é possível alcançar o conforto térmico numa habitação com aquecimento intermitente. Será também feita uma análise ao estado atual dos edifícios de habitação para tentar perceber se estes apresentam condições para oferecer conforto térmico aos seus utilizadores.

O capítulo conclui com uma reflexão sobre a reabilitação de edifícios, abordando iniciativas criadas para a sua promoção e analisando a regulamentação sobre térmica de edifícios e a sua compatibilidade com os objetivos para a reabilitação de edifícios em Portugal.

2.2. AQUECIMENTO INTERMITENTE

2.2.1. CONSUMOS DE ENERGIA

O consumo de energia é uma questão relevante em todo o mundo, à medida que a demanda por recursos energéticos continua a aumentar. No contexto europeu, a eficiência energética tem sido uma prioridade, visando reduzir os impactos ambientais e promover a sustentabilidade. Na procura por práticas mais eficientes e sustentáveis, torna-se relevante analisar o impacto do aquecimento intermitente. Embora o aquecimento intermitente possa parecer uma forma de reduzir o consumo de energia, esta prática pode levar ao surgimento de patologias de caráter higrotérmico nas habitações e acarretar problemas para a saúde humana.

Uma forma de analisar a extensão da prática de aquecimento intermitente num dado país consiste em analisar o seu consumo de energia no setor doméstico. A seguir estão representadas a distribuição do consumo de energia por setor de atividade (Figura 2.1) e a distribuição do consumo de energia por tipo de utilização no setor doméstico (Figura 2.2) para Portugal e para a média da União Europeia (UE).

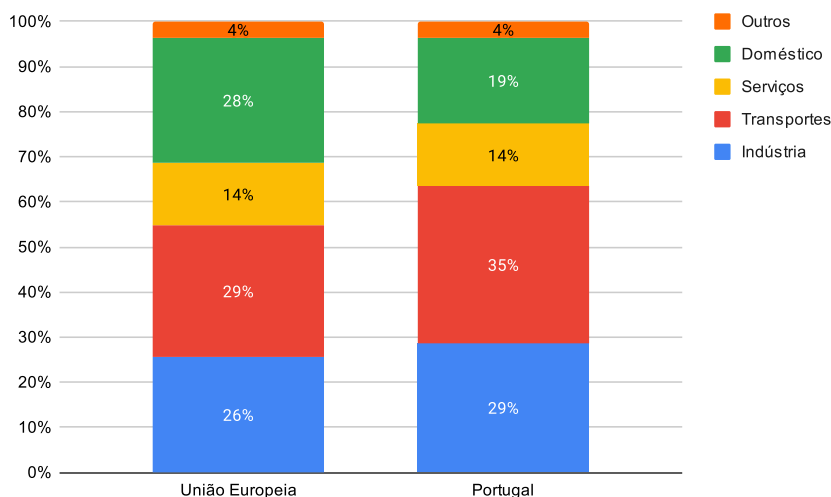


Fig. 2.1 – Distribuição do consumo de energia por setor de atividade em 2021, adaptado de Eurostat (2023f)

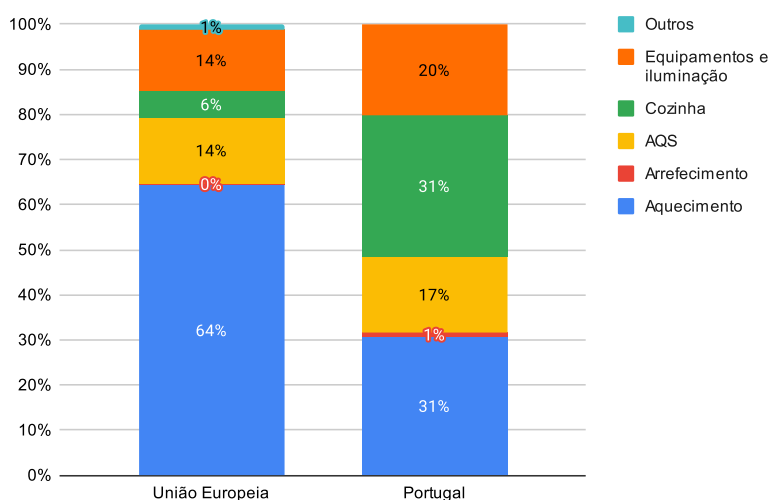


Fig. 2.2 – Distribuição do consumo de energia por tipo de utilização no setor doméstico em 2021, adaptado de Eurostat (2023g)

Em Portugal, o consumo de energia no setor doméstico representa cerca de 19% do consumo total do país, sendo que o aquecimento ambiente representa cerca de 31% desse consumo. Em comparação, o consumo médio de energia no setor doméstico da Europa é de 28%, sendo que o aquecimento das habitações representa 64% desse valor.

Embora os dados das Figuras 2.1 e 2.2 sobre o consumo de energia por setor de atividade possam ser influenciados pelo tipo de cultura e atividades económicas de cada país (por exemplo, é esperado que um país com uma grande atividade industrial tenha uma menor proporção de consumo de energia no setor doméstico em comparação com um país com pouca atividade industrial) e também pelo número de habitantes, ao comparar os resultados de Portugal com a média europeia, é perceptível que o consumo de energia para aquecimento das habitações portuguesas é mais reduzido que na generalidade da Europa.

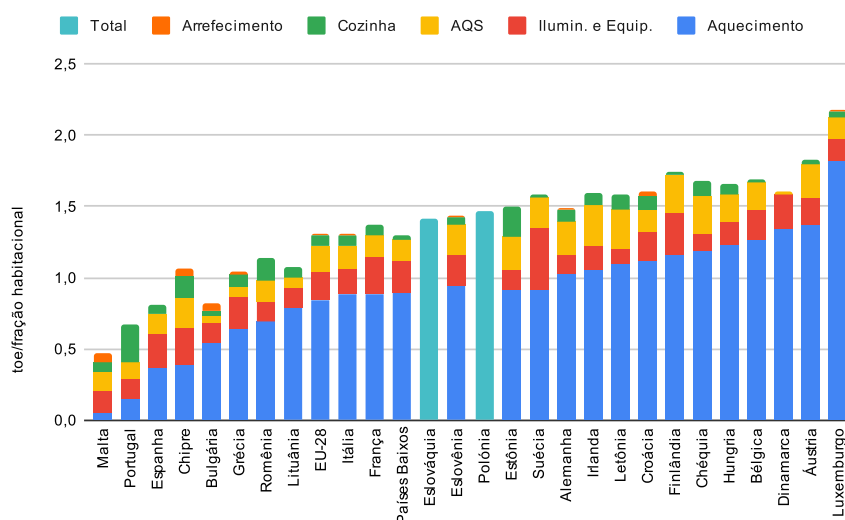


Fig. 2.3 – Consumo de energia no setor doméstico da Europa em 2018, por tipo de utilização. Adaptado de Odyssee-Mure (2021)

De acordo com os resultados apresentados na Figura 2.3 do projeto Odyssee-Mure (2021), uma iniciativa que visa fornecer informações sobre o consumo e a eficiência energética da UE, constata-se que, em 2018, Portugal apresentou um consumo de energia para aquecimento ambiente de 0,157 toneladas equivalentes de petróleo (tep) por fração habitacional. Esse valor é cerca de cinco vezes menor que a média da UE, que é de 0,845 tep por fração habitacional, colocando Portugal como o segundo país da UE com menor consumo de energia para aquecimento.

Por outro lado, Portugal também não gasta muita energia para arrefecer o ambiente, mesmo sendo um país com verão relativamente quente. O consumo de energia para o arrefecimento da habitação em Portugal é de apenas 0,0045 tep por fração, valor próximo da média da UE que é de 0,0051 tep por fração.

No entanto, há um tipo de utilização no setor doméstico onde Portugal consome mais energia do que a média europeia: a cozinha. O consumo de energia para cozinhar em Portugal é de 0,262 tep por fração, enquanto a média da UE é de apenas 0,0813 tep por fração. Isto pode refletir os hábitos alimentares dos portugueses, que usam mais o fogão e o forno do que outros países.

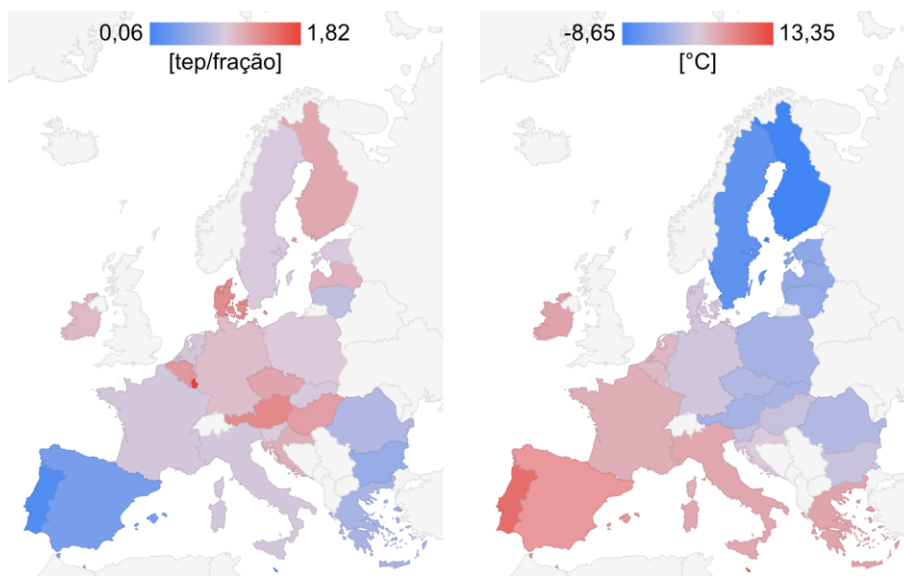


Fig. 2.4 – Distribuição dos consumos de energia para aquecimento (2018) (esquerda) e das temperaturas médias de inverno (1991-2020) (direita) na Europa, adaptado de Odyssee-Mure (2021) e World Bank Group (WBG, sem data)

Verifica-se ainda que a maioria dos países com baixo consumo de energia para aquecimento estão localizados no sul da Europa, enquanto que os países do centro e norte da Europa apresentam maior consumo de energia para aquecimento, possivelmente devido a um clima mais severo a norte e mais ameno a sul (Figura 2.4). No entanto, é importante ressaltar que, mesmo em comparação com os países com menor consumo de energia, Portugal apresenta um consumo de energia para aquecimento inferior, com exceção de Malta.

Desta forma, pode concluir-se que os valores de consumo de energia no setor doméstico levam a entender que o aquecimento das habitações portuguesas é feito de forma intermitente. É necessário verificar se esse baixo consumo de energia para aquecimento não se deve a uma amenidade do clima em comparação com os restantes países, ou a uma situação de pobreza energética, na qual a população apresenta dificuldades económicas que dificultam a utilização de sistemas de aquecimento devido ao custo que estes representam nas despesas das famílias.

2.2.2. O CLIMA DE PORTUGAL FACE À EUROPA

A Europa é um continente que apresenta uma grande variedade de climas, influenciados por fatores como a latitude, a altitude ou a proximidade do mar. Uma das formas de classificar os climas da Europa é usando o sistema de classificação climática de Köppen-Geiger. Esse sistema divide os climas em cinco grupos principais: A (tropical), B (árido), C (temperado), D (continental) e E (polar). Cada grupo tem subgrupos definidos pela precipitação e pela temperatura.

No entanto, esse sistema originalmente desenvolvido por Wladimir Köppen e Rudolf Geiger tem sido adaptado ao longo dos tempos para melhor representar a complexidade dos climas da Europa. Uma dessas adaptações é a de Beck et al. (Figuras 2.5 e 2.6).

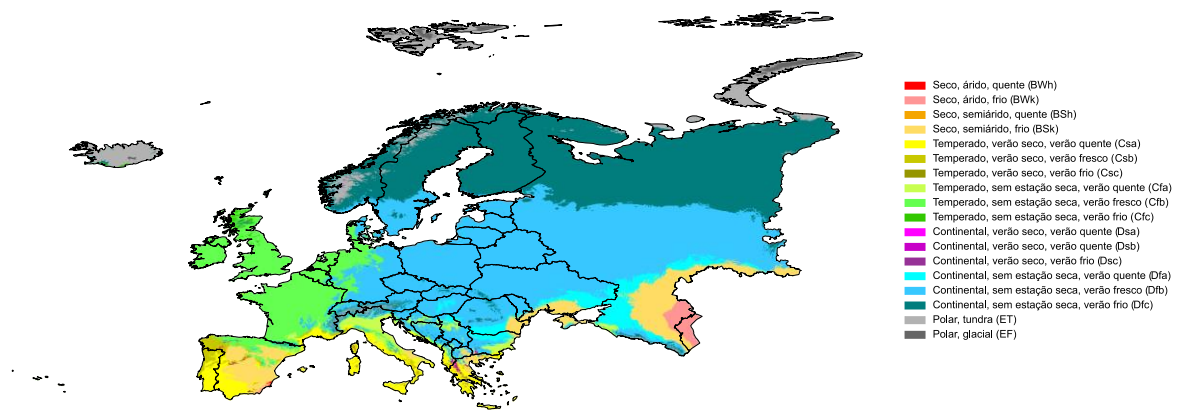


Fig. 2.5 – Mapa da classificação climática de Köppen-Geiger para a Europa (1980-2016), adaptado de Beck et al. (2018). Fonte: Wikimedia Commons (2018a)

Segundo essa adaptação, os principais climas da Europa são:

- Clima temperado oceânico (Cfb): É o clima que predomina na Europa Ocidental e nas ilhas britânicas. Caracteriza-se por ter verões frescos e invernos suaves, com chuvas distribuídas ao longo do ano. A temperatura média anual varia entre 10°C e 15°C.
- Clima temperado continental (Dfb): É o clima típico das regiões da Europa Central e Oriental. Caracteriza-se por ter verões quentes e chuvosos e invernos frios e secos, com neve frequente. A temperatura média anual varia entre 5°C e 10°C, com amplitudes térmicas elevadas.
- Clima mediterrânico (Csa): É o clima que predomina no Sul da Europa, nas áreas banhadas pelo mar Mediterrâneo. Caracteriza-se por ter verões secos e quentes e invernos amenos e chuvosos. A temperatura média anual varia entre 15°C e 20°C.
- Clima polar (ET): É o clima que se encontra nas regiões mais setentrionais da Europa, como a Escandinávia, a Islândia e partes da Rússia. Caracteriza-se por ter temperaturas muito baixas durante todo o ano, com neve permanente. A temperatura média anual é inferior a 0°C.



Fig. 2.6 – Mapa da classificação climática de Köppen-Geiger para Portugal Continental (1980-2016), adaptado de Beck et al. (2018). Fonte: Wikimedia Commons (2018b)

Quanto a Portugal, o clima é predominantemente mediterrânico com verões secos e quentes (classificação Csa) em quase todo o território. No entanto, há algumas variações regionais. Por exemplo, no norte do país há uma maior influência do clima temperado oceânico com verões frescos e invernos suaves (classificação Cfb).

Analisando os gráficos das temperaturas médias dos países europeus (Figuras 2.7 a 2.9), pode-se observar que Portugal possui um clima mais confortável em comparação com a maioria das regiões europeias. O inverno em Portugal é geralmente mais ameno e com temperaturas menos extremo do que em muitas outras regiões da Europa.

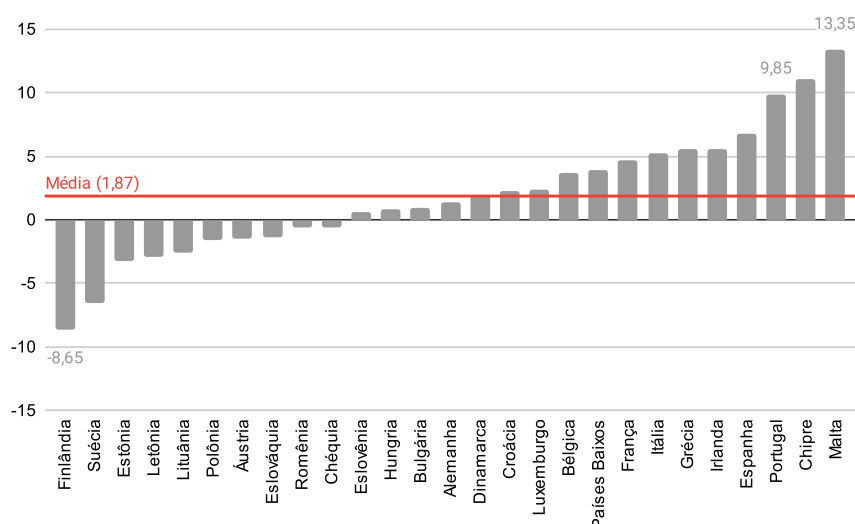


Fig. 2.7 – Temperaturas médias no inverno¹ (°C) na União Europeia, para o período de 1991-2020, adaptado de WBG (sem data)

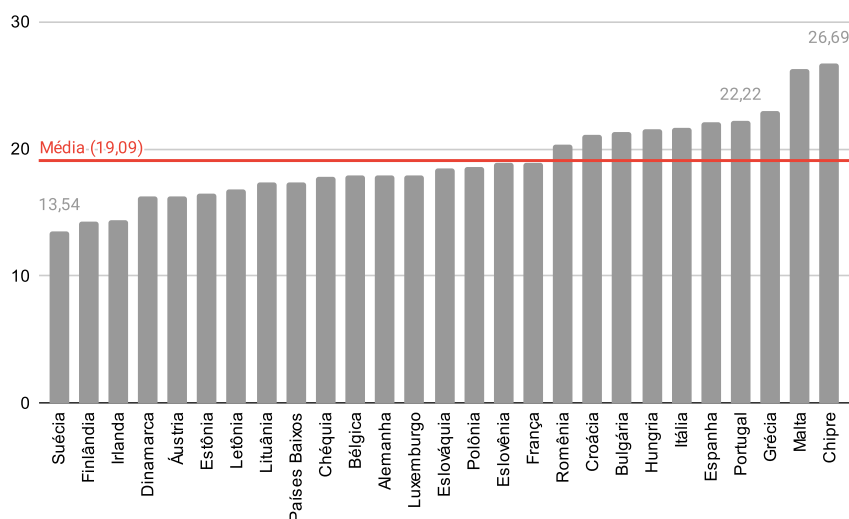


Fig. 2.8 – Temperaturas médias no verão² (°C) na União Europeia, para o período de 1991-2020, adaptado de WBG (sem data)

¹ Considerou-se a média ponderada das temperaturas média dos meses de janeiro, fevereiro e dezembro

² Considerou-se a média ponderada das temperaturas média dos meses de junho, julho e agosto

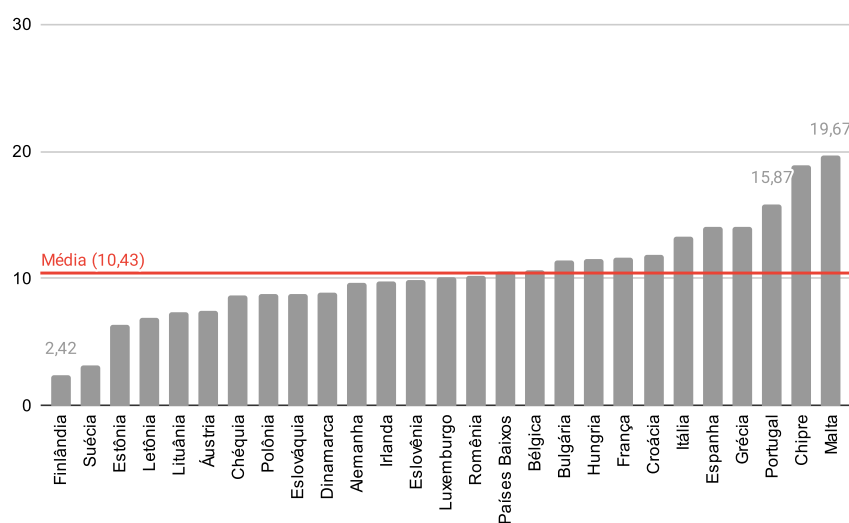


Fig. 2.9 – Temperaturas médias (°C) na União Europeia, para o período de 1991-2020, adaptado de WBG (sem data)

Devido às suas características climáticas favoráveis, Portugal oferece condições propícias para a adoção do aquecimento intermitente. Enquanto em regiões com temperaturas mais extremas o aquecimento contínuo é imprescindível, devido a invernos rigorosos, em Portugal, com o seu clima mediterrânico, o aquecimento intermitente surge como uma opção praticável. No entanto, é importante ressaltar que a prática de aquecimento intermitente em Portugal não pode ser atribuída unicamente ao seu clima favorável pois outros países com climas e temperaturas semelhantes, como a Itália e a Grécia, apresentam consumos de energia mais próximos da média europeia (Figura 2.4).

2.2.3. POBREZA ENERGÉTICA

2.2.3.1. Enquadramento

A pobreza energética é um fenómeno social que afeta milhões de pessoas em todo o mundo e que se caracteriza pela dificuldade ou impossibilidade de aceder aos serviços energéticos básicos, como para aquecimento, arrefecimento ou iluminação. A pobreza energética tem graves consequências para a saúde, o bem-estar, o ambiente e a situação económica das pessoas e da sociedade.

Vários autores e instituições têm proposto diferentes definições e indicadores para medir e combater a pobreza energética.

Uma das primeiras definições mais conhecidas de pobreza energética foi proposta por Boardman (1991) no Reino Unido. Boardman definiu a pobreza energética como a situação em que um alojamento precisa de gastar mais de 10% dos seus rendimentos em despesas associadas ao aquecimento da habitação, de forma a atingir um nível de conforto aceitável. Esse nível de aceitação é baseado nas recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS) de manter a temperatura ambiente em 18°C para a sala de estar e 21°C para as restantes divisões. Embora tenha sido um dos primeiros conceitos a clarificar o fenómeno da pobreza energética, também tem sido criticado por limitar as causas da pobreza energética a restrições financeiras, ignorando outros fatores como a flutuação dos preços da energia ou a qualidade das habitações.

Para complementar a definição anterior de pobreza energética, Hills (2011) propôs que os agregados familiares fossem considerados como pobres energeticamente se as despesas energéticas fossem superiores à média e esses gastos excessivos conduzissem a uma renda disponível abaixo de um determinado limite. Esta nova abordagem permitiu ao Reino Unido identificar a população afetada por este fenómeno e tomar medidas para combater a pobreza energética.

Uma terceira abordagem foi proposta por Bouzarovski (2014), que se concentrou na pobreza energética ao nível da União Europeia. Bouzarovski define a pobreza energética como a falta de acesso a serviços de energia adequados a um custo acessível, relacionando-a com baixos rendimentos, elevados custos energéticos e baixa eficiência energética nas habitações. Ao contrário das definições anteriores, Bouzarovski definiu a pobreza energética no contexto europeu, através da análise de dados quantitativos e análises espaciais.

A preocupação com a pobreza energética surgiu principalmente nas últimas décadas, em resposta aos desafios impostos pela crise económica e financeira de 2008, pelo aumento dos preços da energia, pela deterioração do parque habitacional e pelas mudanças climáticas. Nesse sentido, a pobreza energética tornou-se uma questão cada vez mais preocupante, com cada vez mais estudos nesta área e proposta de iniciativas para mitigar os seus efeitos.

2.2.3.2. Pobreza energética em Portugal

Portugal é um país com um clima agradável, mas também com um grave problema de pobreza energética, afetando sobretudo idosos e famílias com rendimentos baixos, que sofrem não só com o desconforto térmico, por não terem meios para aquecer corretamente as suas habitações, mas também com os impactos na saúde e na qualidade de vida (os quais serão abordados com mais detalhe no subcapítulo seguinte).

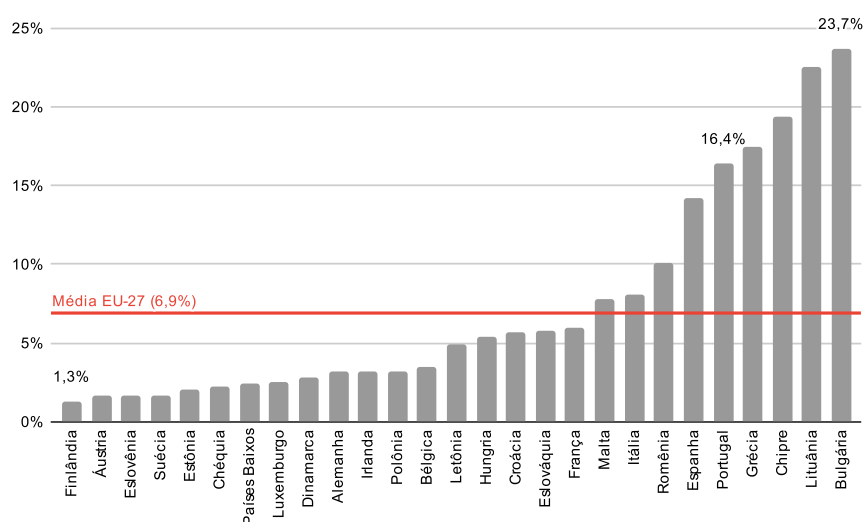


Fig. 2.10 – Percentagem da população incapaz de manter uma temperatura adequada da habitação em 2021, por país da União Europeia, adaptado de Eurostat (2023a)

Segundo dados da Eurostat, cerca de 16,4% dos portugueses não têm condições económicas para manter as suas casas devidamente aquecidas ou arrefecidas, em 2021 (Figura 2.10).

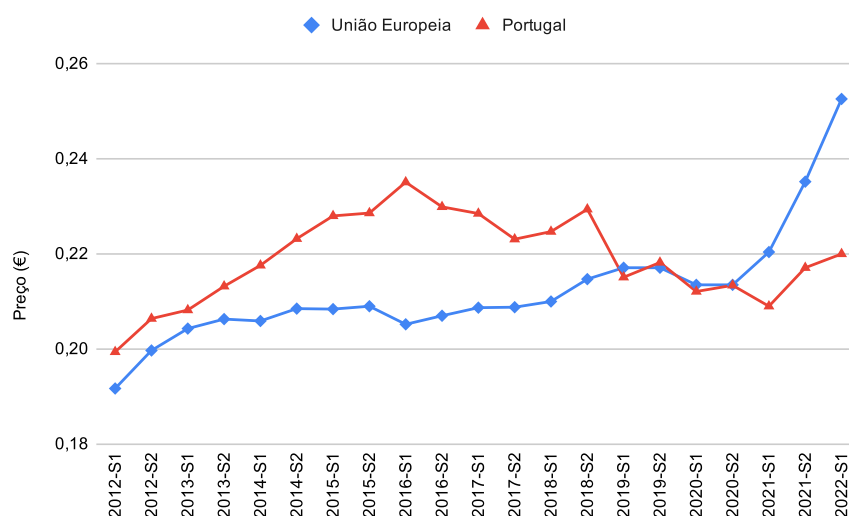


Fig. 2.11 – Evolução dos preços da eletricidade em Portugal e na União Europeia, adaptado de Eurostat (2023b)

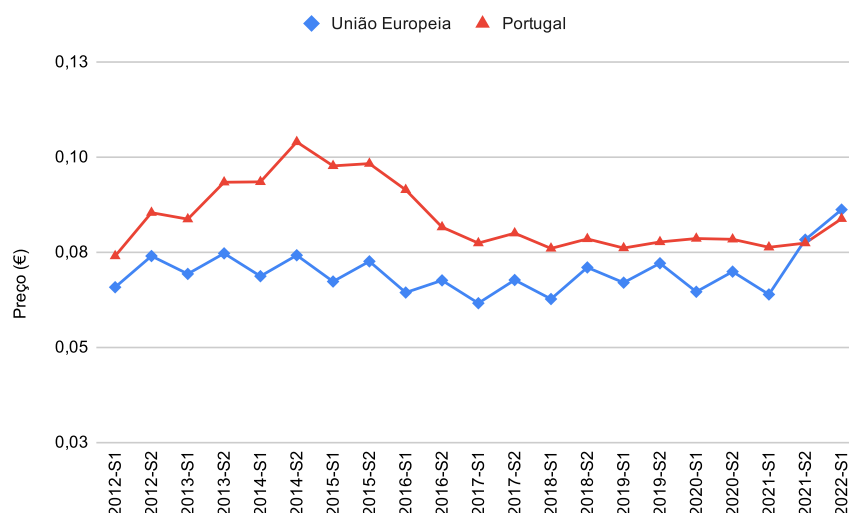


Fig. 2.12. – Evolução dos preços do gás em Portugal e na União Europeia, adaptado de Eurostat (2023c)

Uma das causas da pobreza energética em Portugal é o elevado custo da energia. De acordo com os dados do Eurostat (Figuras 2.11 e 2.12), o país ocupava a décima terceira posição em termos do preço da eletricidade mais caro na União Europeia em 2022, uma queda em relação à quinta posição ocupada até 2019. Quanto ao preço do gás, embora Portugal esteja atualmente na décima quarta posição em termos de preços mais elevados, nos primeiros semestres de 2018, 2020 e 2021, o país ocupava o terceiro lugar. Embora a situação atual em Portugal possa parecer mais favorável em comparação com o resto da Europa, os dados continuam a evidenciar as dificuldades enfrentadas pela população portuguesa ao lidar com os crescentes custos da energia.

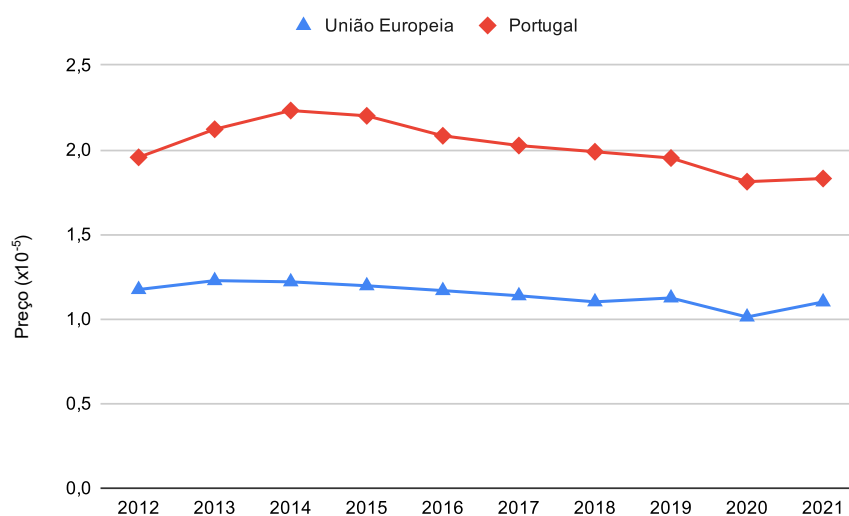


Fig. 2.13 – Preço da eletricidade por rendimento equivalente anual das famílias, adaptado de Eurostat (2023b; 2023d)

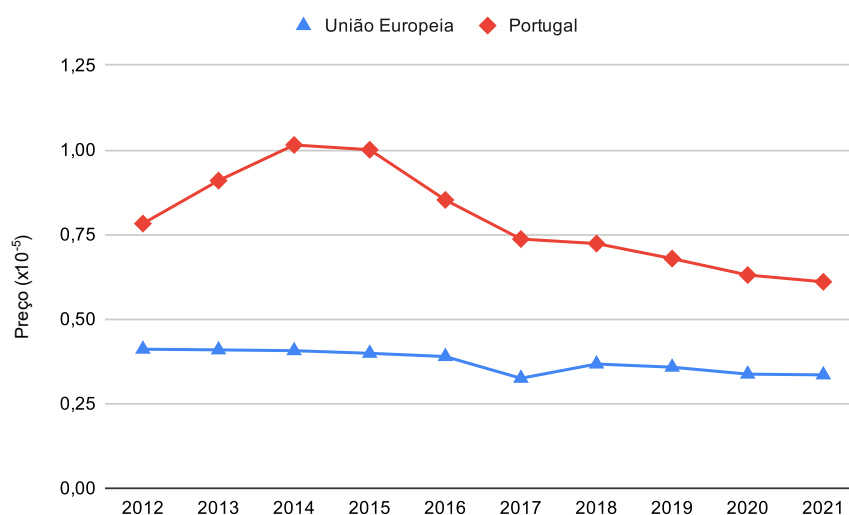


Fig. 2.14 – Preço do gás por rendimento equivalente anual das famílias, adaptado de Eurostat (2023c; 2023d)

Embora a mudança nos preços da energia seja menos gravosa em Portugal em comparação com o resto da Europa, é importante considerar os rendimentos médios das famílias para obter uma visão mais completa. Ao levar em conta os rendimentos médios equivalentes, constata-se que a situação de Portugal não é tão favorável em comparação com o resto da Europa (Figuras 2.13 e 2.14). De facto, para uma família portuguesa, o preço da eletricidade representa aproximadamente 60% a mais da sua parcela de rendimentos em comparação com a média europeia.

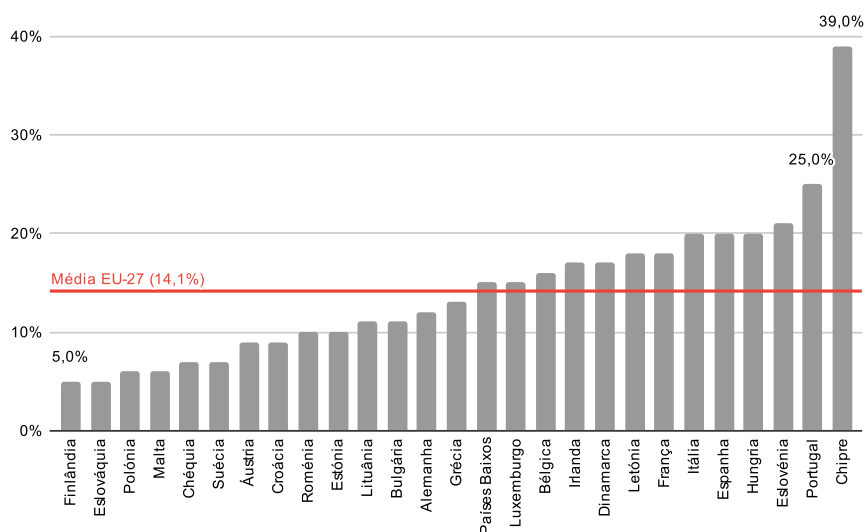


Fig. 2.15 – Percentagem da população com patologias de carácter higrotérmico na habitação em 2020, por país da União Europeia, adaptado de Eurostat (2023e)

Outra causa da pobreza energética é a má qualidade das habitações. Muitas casas em Portugal são antigas, com pouco isolamento térmico e sem sistemas de aquecimento eficientes o que provoca o surgimento de patologias de carácter higrotérmico (Figura 2.15). Isto faz com que seja necessário gastar mais energia para manter uma temperatura confortável no interior, além de condicionar a saúde.

Desta forma, Portugal é dos países europeus que mais sofre com a pobreza energética devido a uma desproporcionalidade entre os preços da energia e os rendimentos equivalentes e um parque habitacional que apresenta um número considerável de patologias relacionadas com a humidade e a falta de aquecimento das habitações.

2.2.4. HÁBITOS DE AQUECIMENTO DOS PORTUGUESES

Essa situação de pobreza energética e de baixo consumo de energia para aquecimento reflete-se nos hábitos de aquecimento dos portugueses, que tendem a aquecer as habitações de forma intermitente, o que impede que se alcancem temperaturas confortáveis e constantes no interior da habitação. A incapacidade de manter uma temperatura adequada, em conjunto com habitações antigas e degradadas, contribuem para o aparecimento de patologias no edifício, afetando os elementos construtivos e reduzindo o conforto e bem-estar dos ocupantes. De acordo com o Catálogo de Patologias de Reabilitação de Edifícios disponibilizado pelo Grupo de Estudos da Patologia da Construção (PATORREB, 2022), a prática de aquecimento intermitente é um dos fatores que contribuem para o desenvolvimento de patologias de carácter higrotérmico e o aparecimento de bolores.

Além dos problemas associados aos elementos construtivos que a falta de aquecimento pode causar, prática de aquecimento intermitente também pode ter impactos na saúde dos utilizadores. Um estudo realizado por Condemi e Gestro (2019) analisou os conhecimentos atuais sobre os efeitos na saúde humana associados à pobreza energética. Segundo o estudo, a prática de aquecimento intermitente (aquecimento insuficiente) está associada aos seguintes problemas:

- Excesso de mortalidade no inverno (doenças cardiovasculares e respiratórias);
- Aumento da taxa de morbilidade (mais pessoas doentes durante o inverno);
- Aumento da pressão arterial e de riscos de ataque cardíaco e AVC (derrame);
- Risco de hipotermia;
- Infecções respiratórias, otite em crianças menores de 4 anos e agravamento da doença pulmonar obstrutiva crónica (DPOC);
- Asma, alergias, dermatite e eczema;
- Agravamento de problemas de artrite e reumatismo, redução da força e destreza e aumento do risco de quedas em idosos.

Assim, os hábitos de aquecimento intermitente dos portugueses estão relacionados com a pobreza energética que conduz a um baixo consumo de energia para aquecimento em Portugal. Essa prática está associada a diversos problemas de saúde, afetando sobretudo as pessoas mais vulneráveis, como idosos ou crianças. No entanto, essa prática também pode estar relacionada com um mau desempenho térmico das habitações e da falta de equipamentos de aquecimento eficientes. Esses aspetos serão abordados detalhadamente nos subcapítulos seguintes.

Nesse contexto, torna-se essencial garantir uma temperatura interior adequada nas habitações, não só para proporcionar conforto térmico, mas também para salvaguardar a saúde e o bem-estar dos seus ocupantes.

Além disso, este hábito de aquecimento remete para uma outra questão: os regulamentos portugueses de desempenho térmico dos edifícios baseiam-se em normas europeias, que pressupõem um aquecimento constante das casas, devido a um clima mais severo na maior parte da Europa. Será que essas normas e exigências são adequadas aos hábitos de aquecimento dos portugueses ou, pelo contrário, comprometem o conforto e a saúde dos ocupantes?

2.3. CONFORTO TÉRMICO

2.3.1. ENQUADRAMENTO

O conforto térmico é um aspeto fundamental para o bem-estar e qualidade de vida das pessoas nas suas habitações. O conforto térmico é alcançado quando alguém se sente satisfeito com o ambiente térmico (ASHRAE 55 e EN 16798), ou seja, não sente nem calor nem frio.

Fanger (1970), considerado o pioneiro na área do conforto térmico, definiu que o conforto térmico ocorre quando as trocas térmicas entre o corpo humano e o ambiente estão em equilíbrio. Fanger também estudou os fatores que influenciam o conforto térmico e concluiu que existem dois tipos de fatores: ambientais e pessoais. Os fatores ambientais incluem a temperatura do ar, a temperatura média radiante, a humidade relativa e a velocidade do ar. Já os fatores pessoais estão relacionados com as atividades metabólicas e o vestuário.

No entanto, os fatores pessoais por si só não são suficientes para alcançar o conforto térmico, sendo necessário atuar nos fatores ambientais, nomeadamente através do aquecimento das habitações. Em Portugal, como visto anteriormente, muitas habitações não conseguem ser aquecidas de forma contínua.

As implicações do aquecimento intermitente na habitação afetam diretamente o conforto térmico das pessoas. Durante a estação de aquecimento, a sensação de frio pode ser desconfortável, levando ao desconforto físico e mental. Além disso, a exposição a temperaturas muito baixas durante longos períodos pode aumentar o risco de problemas de saúde, tais como constipações, gripes e dores musculares (Condeimi & Gestro, 2019).

Considerando que a mudança desse hábito de aquecimento não é algo que possa ser alcançado a curto ou médio prazo, é necessário realizar estudos específicos nessas condições. O objetivo é encontrar formas de melhorar o conforto térmico nas habitações, mesmo com o aquecimento intermitente. Felizmente, tem havido um esforço nesse sentido, com um aumento significativo de estudos em Portugal (Magalhães, 2020; Seabra et al., 2021) e em países do sul da Europa (Blázquez et al., 2023), visando encontrar soluções (passivas) que permitam melhorar o conforto térmico e a qualidade de vida das pessoas que vivem nessas habitações, considerando as limitações impostas pelo aquecimento intermitente.

2.3.2. AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO

2.3.2.1. Enquadramento

Com o crescimento das preocupações com o conforto térmico surgiu então a necessidade de desenvolver formas de avaliar esse conforto. Uma vez que o fator com maior impacto no conforto térmico é a temperatura ambiente, foram desenvolvidos estudos para entender os limites de temperatura para os quais o ser humano sente conforto. Esta forma de avaliar o conforto é das formas mais utilizadas, sendo inclusivamente esta a forma de avaliação do conforto térmico prevista pelas SCE, que define que se considera que haja conforto se a temperatura estiver compreendida entre 18°C e 25°C. Porém como o conforto térmico depende de diversos fatores, tanto pessoais quanto ambientais, percebeu-se que é possível sentir conforto com valores de temperatura ambiente fora destes intervalos de temperatura. Neste sentido surgiram modelos adaptativos da avaliação do conforto que têm em consideração, não só fatores ambientais, como também tem em consideração fatores pessoais, como a utilização de mais ou menos vestuário, considerando também a adaptação ao clima. Dois dos modelos de avaliação do conforto térmico adaptativo mais utilizados são as normas EN 16798 e ASHAE 55. Quanto a nível nacional, apesar de não existir nenhum modelo de avaliação de conforto adaptativo próprio nas normas portuguesas, foi desenvolvida uma proposta no âmbito de uma tese de doutoramento realizada no LNEC.

Uma das características destes modelos adaptativos é que são válidos apenas se o edifício não possui meios de arrefecimento mecânicos, sendo adequada a sua utilização para a avaliação do conforto térmico das habitações em Portugal, pois, como visto anteriormente, a maioria das habitações portuguesas não possuem meios mecânicos para arrefecimento do espaço. O inconveniente da utilização destes modelos para a situação de Portugal é que não permitem a avaliação do conforto para temperaturas exteriores reduzidas, pois, ao contrário do que acontece em Portugal e noutros países do sul da Europa, as pessoas são obrigadas a manter o aquecimento constantemente ligado dentro da casa para sentir conforto, sendo, por isso, necessário a utilização de outra forma de avaliar o conforto térmico na estação de aquecimento.

Como a interpretação do conforto segundo estes modelos é sobretudo gráfica, alguns autores trabalharam no desenvolvimento de índices que fornecem critérios e medidas objetivas para avaliar e quantificar as condições térmicas em ambientes internos. Assim, as duas normas mencionadas fazem referência a dois índices desenvolvidos por Fanger (1970). Os índices em questão são o Predicted Mean Vote (PMV) e Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD), dois índices amplamente utilizados. No entanto, a fiabilidade dos resultados desses índices tem sido questionada por alguns autores. Um estudo publicado por Cheung et al. (2019) propôs uma análise da precisão desses índices, revelando que o PMV apresentou uma precisão de apenas 34% na previsão da sensação térmica dos ocupantes.

Embora o PPD tenha demonstrado uma precisão ligeiramente melhor, ainda não foi suficiente para concluir que o indicador é confiável. Perante isso, será apresentado um outro índice desenvolvido especificamente para a situação de Portugal, que avalia o desconforto térmico em situações com pouco aquecimento. Esse índice designa-se por Índice de Desconforto Passivo (IDP) uma proposta nacional desenvolvida no âmbito de uma tese de doutoramento realizada na FEUP.

2.3.2.2. Modelos de conforto térmico adaptativos

i. Modelo adaptativo EN 16798

A norma EN 16798-1:2019 substituiu a norma anterior EN 15251:2007 e introduziu um modelo adaptativo para avaliar o conforto térmico em edifícios sem sistemas de arrefecimento ambiente. Esse modelo leva em consideração fatores como atividade dos ocupantes, vestuário e expectativas individuais, permitindo um dimensionamento mais preciso dos sistemas de ventilação e climatização. Dessa forma, é possível criar ambientes internos mais confortáveis e adequados às necessidades dos utilizadores.

O modelo é baseado na equação de conforto adaptativo proposta no âmbito do projeto europeu Smart Controls and Thermal Comfort (SCATs), que define a temperatura de conforto interior em edifícios sem arrefecimento ambiente, com base na temperatura exterior dos últimos 7 dias. A temperatura operativa de conforto pode ser obtida utilizando a seguinte fórmula:

$$T_{oc} = 0,33 \cdot T_{mm} + 18,8 \quad (1)$$

Em que:

T_{oc} é a temperatura operativa de conforto, em °C;

T_{mm} é a temperatura média móvel exterior, exponencialmente ponderada, em °C.

A temperatura média móvel exterior, T_{mm} , pode ser calculada pela média exponencial das temperaturas médias exteriores diárias da última semana. Essa média pressupõe que o ser humano tem a capacidade de se adaptar às condições climáticas, sendo que a norma considera um período de adaptação de 7 dias. A norma sugere a seguinte fórmula para obter a temperatura média móvel exterior:

$$T_{mm} = \frac{T_{n-1} + 0,8 \cdot T_{n-2} + 0,6 \cdot T_{n-3} + 0,5 \cdot T_{n-4} + 0,4 \cdot T_{n-5} + 0,3 \cdot T_{n-6} + 0,2 \cdot T_{n-7}}{3,8} \quad (2)$$

Em que:

T_{n-i} é a temperatura média exterior do dia “i” anterior, em °C.

A norma também define diferentes níveis de conforto térmico (Figura 2.16), divididos em três categorias:

- Categoria I: o limite superior é obtido somando 2 °C à T_{oc} , e o limite inferior é obtido subtraindo 3 °C. Esta categoria deve ser considerada quando existem ocupantes com necessidades especiais, como pessoas idosas ou recém-nascidos.
- Categoria II: o limite superior obtém-se somando 3 °C à T_{oc} , e o limite inferior é obtido subtraindo 4 °C. Esta categoria deve ser considerada em condições normais.
- Categoria III: o limite superior obtém-se somando 4 °C à T_{oc} , e o limite inferior é obtido subtraindo 5 °C. Esta categoria pode ser considerada quando as expectativas de conforto são inferiores ao normal.

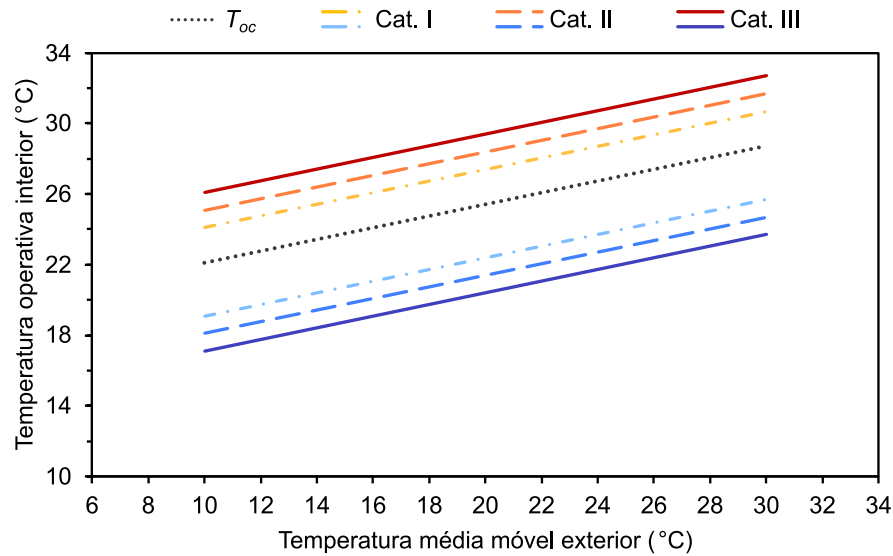


Fig. 2.16 – Modelo de conforto adaptativo da norma europeia EN 16798, adaptado de CEN/TC 156 (2019)

Estes níveis de conforto são aplicáveis somente para valores de T_{mm} entre 10 °C e 30 °C, limitando assim a utilização deste modelo de conforto à avaliação do conforto térmico durante a estação de aquecimento. Além desses limites de temperatura exterior, esse modelo só pode ser aplicado quando os sistemas de climatização não estão em funcionamento. No entanto, são aceitas formas de arrefecimento passivo, como a utilização de proteção solar e ventilação, incluindo a ventilação mecânica, embora a ênfase seja dada principalmente à ventilação natural. Além disso, os limites superiores do modelo adaptativo apresentados só são considerados quando a velocidade do vento for inferior a 0,6 m/s, podendo ser mais permissivo para velocidades superiores. A norma também requer que as atividades dos ocupantes sejam sedentárias, com taxas metabólicas entre 1,0 e 1,3 met, o que corresponde a edifícios de habitação ou de escritórios, e que os ocupantes tenham liberdade de adaptar o vestuário para se sentirem mais confortáveis nesse ambiente.

ii. Modelo adaptativo ASHRAE 55

A ASHRAE, uma sociedade técnica e profissional americana que realiza investigações e pesquisas na área da ventilação e climatização, apresentou um modelo de conforto adaptativo na sua norma ASHRAE 55. À semelhança do modelo adaptativo da EN 16798, este modelo procura compreender como as pessoas se adaptam e respondem à temperatura interior ao longo do tempo.

Segundo o modelo, a temperatura operativa de conforto depende da temperatura média exterior predominante e pode ser calculada utilizando a seguinte fórmula:

$$T_{oc} = 0,31 \cdot T_m + 17,8 \quad (3)$$

Em que:

T_m é a temperatura média exterior predominante, em °C.

Esta fórmula proposta por de Dear e Brager (2001), foi desenvolvida no contexto do projeto RP-884 promovido pela ASHRAE, que envolveu uma análise estatística abrangente de uma extensa base de dados contendo mais de 22 000 resultados de pesquisas sobre conforto realizadas em edifícios de todo o mundo.

Com base nesta equação, a norma define dois limites de aceitabilidade (Fig. 2.17):

- 90% de aceitabilidade: obtém-se somando ou subtraindo 2,5 °C à T_{oc} . Esta faixa de valores delimita a zona em que teoricamente 90% das pessoas sentem conforto térmico;
- 80% de aceitabilidade: obtém-se somando ou subtraindo 3,5 °C à T_{oc} . Esta faixa de valores delimita a zona em que teoricamente 80% das pessoas sentem conforto térmico.

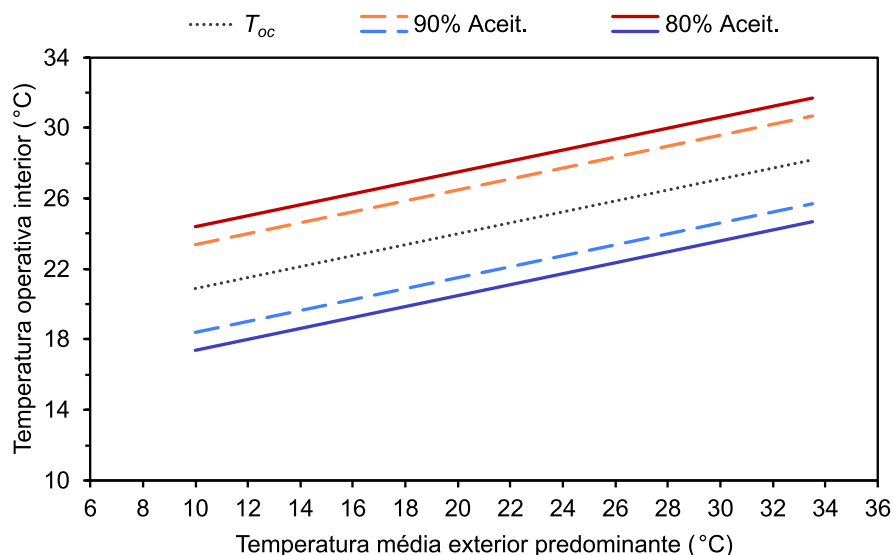


Fig. 2.17 – Modelo de conforto adaptativo da norma ASHRAE 55, adaptado de ANSI/ASHRAE (2010)

Assim como o modelo adaptativo da norma europeia, este modelo só deve ser utilizado em edifícios sem sistemas de arrefecimento e que não possuam sistemas de aquecimento em funcionamento, permitindo-se o uso de sistemas de arrefecimento passivos, como ventilação natural ou mecânica. Além disso, o modelo pressupõe um nível de atividade sedentário por parte dos ocupantes, com valores entre 1,0 e 1,3 met, e a possibilidade de ajustar o vestuário, com valores de resistência térmica entre 0,5 e 1,0 clo. É importante ressaltar que os limites apresentados são válidos apenas para temperaturas médias exteriores entre 10 e 33 °C e, para uma velocidade do ar igual ou superior a 0,6 m/s, os limites superiores são distintos dos apresentados.

iii. Modelo adaptativo “LNEC”

Na sua tese de doutoramento, Matias (2010) propôs um modelo de avaliação do conforto térmico que, à semelhança com o modelo adaptativo da norma europeia, propõe uma temperatura operativa de conforto, que varia em função da temperatura média móvel exterior dos 7 dias anteriores, exponencialmente ponderada. O estudo envolveu medições de parâmetros ambientais interiores e exteriores em edifícios de serviços (como escolas e escritórios) e edifícios residenciais (convencionais e lares de idosos), num total de 40 amostras, acompanhados de questionários respondidos pelos utentes desses espaços.

Embora a amostra seja significativamente menor em comparação com estudos anteriores, este estudo apresenta duas vantagens distintas em relação a esses modelos. Em primeiro lugar, o modelo proposto foi adaptado especificamente ao clima de Portugal. Além disso, o modelo apresenta duas avaliações do conforto distintas: um válido para edifícios não climatizados e outro válido para edifícios climatizados.

As fórmulas para a obtenção da temperatura operativa de conforto são as seguintes:

- Ambiente não climatizado:

$$T_{oc} = 0,43 \cdot T_{mm} + 15,6 \quad (4)$$

- Ambiente climatizado:

$$T_{oc} = 0,30 \cdot T_{mm} + 17,9 \quad (5)$$

Os limites deste modelo correspondem aos valores de temperatura para os quais 90% das pessoas sentem conforto térmico. Esses limites obtêm-se somando ou subtraindo 3 °C à T_{oc} e são apresentados na Figura seguinte:

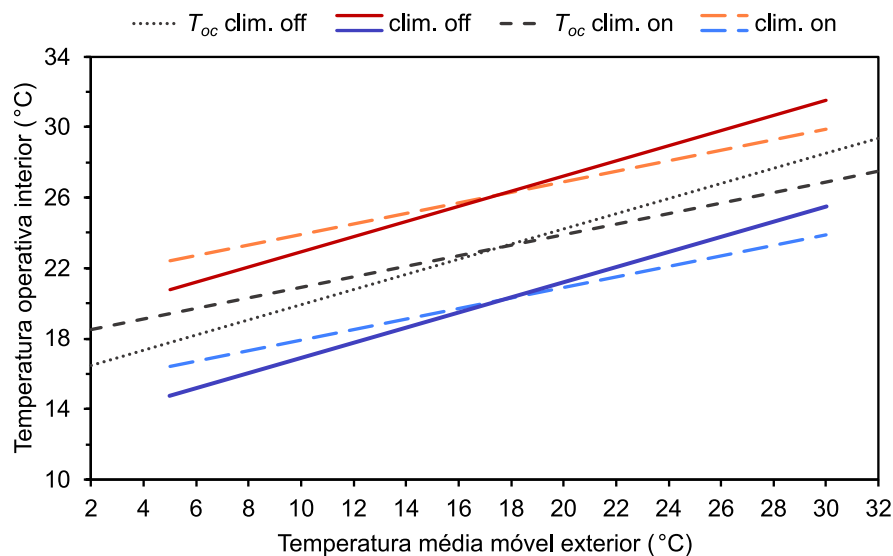


Fig. 2.18 – Modelo de conforto adaptativo “LNEC”, adaptado de Matias (2010)

À semelhança dos outros modelos, este modelo só deverá ser aplicado caso se cumpram os seguintes requisitos:

- Taxa metabólica entre 1,0 e 1,3 met;
- Resistência térmica associado ao vestuário de 0,4 clo (Verão) a 1,4 clo (Inverno);
- Velocidade do ar inferior a 0,6 m/s;
- Temperatura média móvel exterior entre 5 °C a 30 °C.

2.3.2.3. Índices de conforto térmico: Índice de Desconforto Passivo (IDP)

No âmbito da tese de doutoramento de Magalhães (2020), foram propostos dois índices de modo a quantifica o desconforto térmico passivo: IDP_1 e IDP_2 . Ao contrário do PMD/PPD, que permite a avaliação do conforto térmico influenciado pelos fatores ambientais e pessoais, os IDP_1 e IDP_2 permitem a quantificação do desconforto térmico.

Ambos os índices de desconforto passivo têm as seguintes considerações:

- O inverno corresponde ao período de 15 de outubro a 15 de abril e o verão ao período de 1 de junho a 30 de setembro;
- No inverno, a temperatura mínima de conforto é de 20 °C e, no verão, a temperatura máxima é de 25 °C.

O IDP_1 indica a quantidade de desconforto e corresponde à soma dos integrais dos gauss-hora de desconforto de inverno e verão, ou seja, corresponde à soma das áreas do gráfico da flutuação de temperatura anual fora do intervalo de conforto de inverno e verão, como esquematizado na Figura 2.19. O IDP_1 pode ser obtido pela seguinte fórmula:

$$IDP_1 = \sum (^\circ C \cdot h_{INV}) + \sum (^\circ C \cdot h_{VER}) [^\circ C \cdot h] \quad (6)$$

Onde:

- $^\circ C \cdot h_{INV}$ (graus-hora desconforto de inverno) é a diferença entre a temperatura registada/simulada e a temperatura de conforto mínima, em cada hora, para o período de inverno.
- $^\circ C \cdot h_{VER}$ (graus-hora desconforto de verão) é a diferença entre a temperatura registada/simulada e a temperatura de conforto máxima, em cada hora, para o período de verão.

O IDP_2 indica a severidade de desconforto e pode ser obtido pela seguinte fórmula:

$$IDP_2 = \frac{\left(\frac{\sum (^\circ C \cdot h_{INV})}{\sum h_{INV}} \cdot \sum (^\circ C \cdot h_{INV}) \right) + \left(\frac{\sum (^\circ C \cdot h_{VER})}{\sum h_{VER}} \cdot \sum (^\circ C \cdot h_{VER}) \right)}{\sum (^\circ C \cdot h_{INV}) + \sum (^\circ C \cdot h_{VER})} [^\circ C] \quad (7)$$

Onde:

- $^\circ C \cdot h_{INV}$ (graus-hora desconforto de inverno) é a diferença entre a temperatura registada/simulada e a temperatura de conforto mínima, em cada hora, para o período de inverno.
- $^\circ C \cdot h_{VER}$ (graus-hora desconforto de verão) é a diferença entre a temperatura registada/simulada e a temperatura de conforto máxima, em cada hora, para o período de verão.
- h_{INV} (hora desconforto de inverno) é o número de horas de desconforto de inverno.
- h_{VER} (graus-hora desconforto de verão) é o número de horas de desconforto de verão.

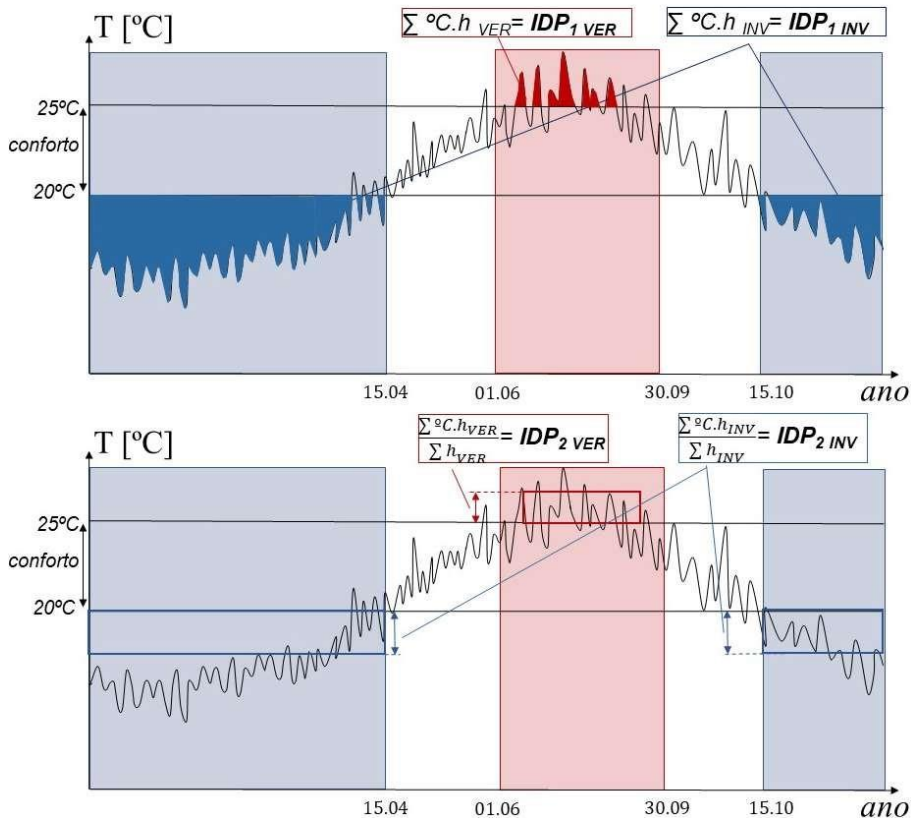


Fig. 2.19 – Esquema representativo do IDP nas suas componentes: a) IDP_1 b) IDP_2

2.3.3. VANTAGENS DOS PROGRAMAS DE SIMULAÇÃO HIGROTÉRMICA PARA AVALIAÇÃO DO DESCONFORTO TÉRMICO

Os modelos e índices de avaliação de desconforto térmico, independentemente de qual se escolha, permitem entender o conforto que os edifícios apresentam e dessa forma analisar formas de intervenção que permitam minimizar o desconforto térmico. Porém para poder ser feita esta avaliação do conforto térmico é necessário que o edifício exista e que seja utilizado para os fins a que foi concebido, para que dessa forma sejam feitas as medições necessárias para realizar estas avaliações, o que impossibilita prever e avaliar o conforto térmico de um edifício que ainda não tenha sido construído.

Uma vez que é possível fazer uma análise do conforto térmico de um edifício com os dados da flutuação da temperatura tanto no interior da habitação, como no ambiente exterior a esta, é possível fazer a análise do conforto térmico de edifícios futuros recorrendo a simulações da flutuação da temperatura obtidos de programas de simulação higrotérmica.

Os programas de simulação higrotérmica são ferramentas que permitem analisar o comportamento térmico e higrométrico de edifícios, considerando as condições climáticas, a geometria e sistemas construtivos, as características e propriedades dos materiais e o tipo de utilização.

Dois dos programas mais utilizados para a simulação higrotérmica em edifícios são o EnergyPlus™ e o WUFI® Plus.

O EnergyPlus™ é um programa de código aberto desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos. Com esta ferramenta, é possível definir parâmetros como geometria, orientação, envolvente, ganhos internos e sistemas HVAC e obter resultados para esses parâmetros.

Com a informatização da Indústria da Construção, tornou-se comum a produção de modelos informáticos dos edifícios que permitem, não só simular e analisar o comportamento dos edifícios quanto à resistência ou à eficiência energética, entre outros, como também permite fazer a ligação entre as diferentes especialidades da Engenharia Civil e permite a comunicação e a colaboração entre os diferentes agentes envolvidos na obra. Neste sentido, o EnergyPlus™ foi desenvolvido com o objetivo de ser integrado nestes programas de modelização de edifícios, como por exemplo o DesignBuilder ou o Revit®, e permitir a simulação higrotérmica do edifício modelado e para as condições desejadas, sem ter de voltar a modelar o edifício e as suas propriedades em outros programas. Também é possível utilizar o EnergyPlus™ diretamente, sem a utilização de outros programas, com recurso ao EP-Launch que vem incluído na instalação do programa de base, porém a sua utilização por este meio é mais difícil e laboriosa pois não possui uma interface gráfica muito intuitiva e a introdução de dados, incluindo o modelo do edifício, é feita com ficheiros de texto.

Apesar disso, a fiabilidade dos resultados obtidos e a integração com ferramentas utilizadas de forma cada vez mais comum na Engenharia Civil tornam este programa uma boa alternativa, quer para a realização de estudos higrotérmicos avançados, quer para um estudo mais casual sem meios ou disponibilidade de utilizar programas de modelação ou simulação mais avançados.

Quanto ao WUFI® Plus, é um programa desenvolvido pelo Instituto Fraunhofer de Física da Construção da Alemanha. Apesar de não permitir a sua integração em outros programas, como no caso do EnergyPlus™, este possui uma interface mais simples e fácil de utilizar, sendo bastante fácil a modelização do edifício neste programa. Para além disso, é possível importar modelos criados em outros programas (como por exemplo o SketchUp ou o Revit®) diretamente para o WUFI® Plus e adicionar ou alterar parâmetros para a realização de simulações higrotérmicas.

Ambos os programas foram amplamente utilizados em vários estudos para analisar a eficiência energética de edifícios (Teixeira, 2021), avaliar o conforto térmico (Magalhães, 2020) e até mesmo estudar patologias de características higrotérmicas (Freitas & Ferreira, 2018).

Os dois programas foram alvo de um estudo que possibilitou a comparação dos resultados simulados em ambos com medições reais realizadas num edifício histórico (Coelho et al., 2019). Os resultados do estudo sugerem que, para as considerações feitas, o WUFI® Plus apresenta resultados mais precisos do que o EnergyPlus™, embora conclua que ambos os programas são adequados para a simulação higrotérmica.

Em qualquer caso, ambos os programas cumprem com a sua finalidade e apresentam resultados bastante corretos, no entanto, deve-se sempre ter em consideração que os resultados obtidos não são perfeitos e podem não corresponder à realidade, sendo que a precisão destes depende muito da correta introdução dos dados de entrada.

2.4. O ESTADO ATUAL DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO EM PORTUGAL

2.4.1. CARACTERIZAÇÃO DO PARQUE HABITACIONAL

Portugal é um país com uma grande diversidade de edifícios de habitação, que refletem a sua história, cultura e geografia. Segundo os dados dos Censos de 2021, existem em Portugal 3 573 416 edifícios clássicos e 5 981 482 alojamentos. Estes números representam um ligeiro crescimento face aos Censos de 2011 (0,8% para os edifícios clássicos e 1,7% para os alojamentos), mas a um ritmo bastante inferior ao das décadas anteriores.

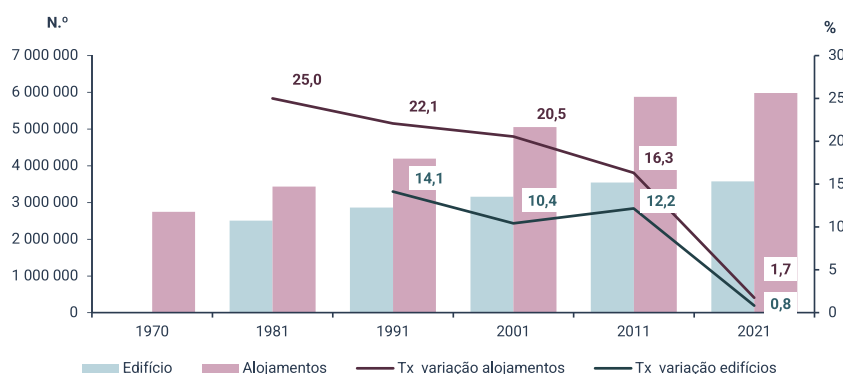


Fig. 2.20 – Evolução do número de edifícios clássicos e de alojamentos, 1970 – 2021 (Censos 2021)

Um dos aspetos mais relevantes do parque habitacional português é a sua antiguidade. De acordo com os Censos de 2021, dois terços dos edifícios clássicos foram construídos antes de 1990, sendo que cerca de um quarto datam de antes de 1960. Isto significa que a maioria dos edifícios não cumpre os requisitos mínimos de eficiência energética e térmica uma vez que foram construídos antes do aparecimento do primeiro regulamento nacional sobre esta matéria, que entrou em vigor em 1990.

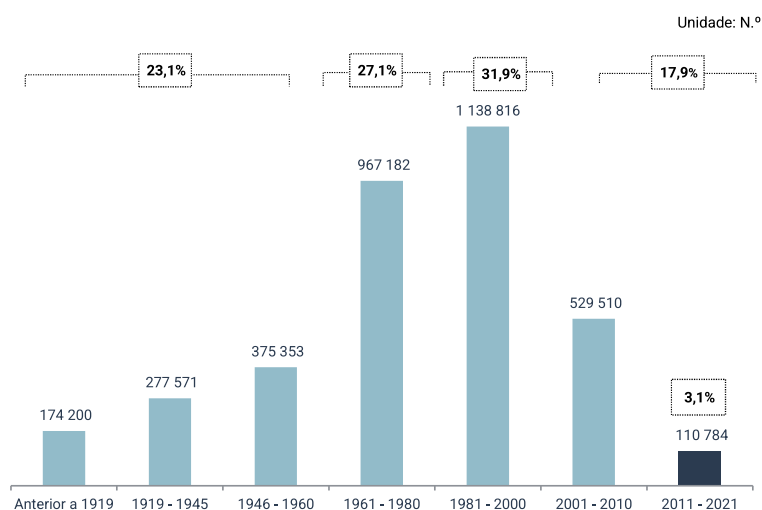


Fig. 2.21 – Edifícios clássicos por época de construção, 2021 (Censos 2021)

Outro aspeto importante é o tipo e a dimensão dos edifícios. Segundo os Censos de 2021, a maior parte dos edifícios clássicos são unifamiliares, ou seja, têm apenas um alojamento (cerca de 87%). Os edifícios multifamiliares representam cerca de 13% do total, sendo que a maior parte tem dois alojamentos (cerca de 39%). Apenas cerca de 2% dos edifícios têm mais do que cinco alojamentos.

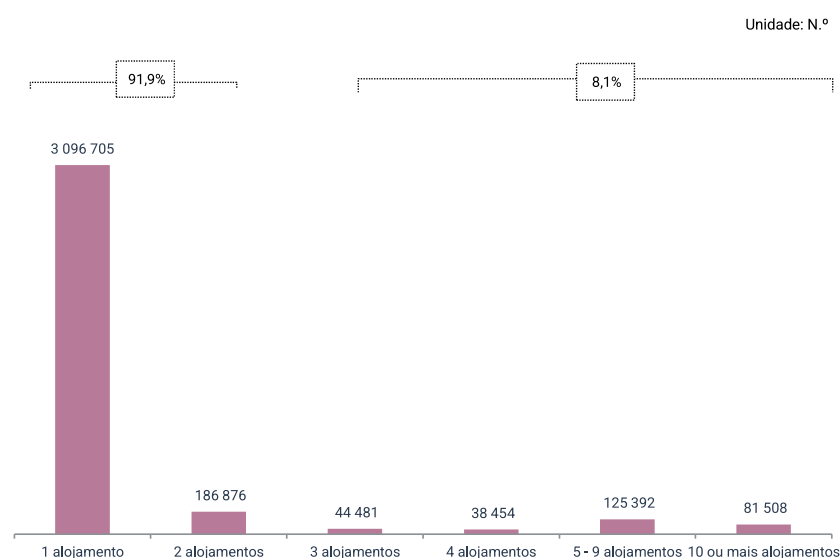


Fig. 2.22 – Edifícios clássicos, segundo o número de alojamentos, 2021 (Censos 2021)

Quanto ao número de pisos dos edifícios verifica-se que a maioria tem entre um e três pisos (cerca de 94%). Os edifícios com dois pisos representam quase metade (47%) dos edifícios existentes em Portugal e predominam sobretudo na região Norte. Quanto aos edifícios com três pisos estes representam cerca de 38% e predominam na região do Alentejo. Os edifícios com mais do que três pisos são menos frequentes (cerca de 6%) e concentram-se sobretudo nas Áreas Metropolitanas de Lisboa (20%) e do Porto (9%).

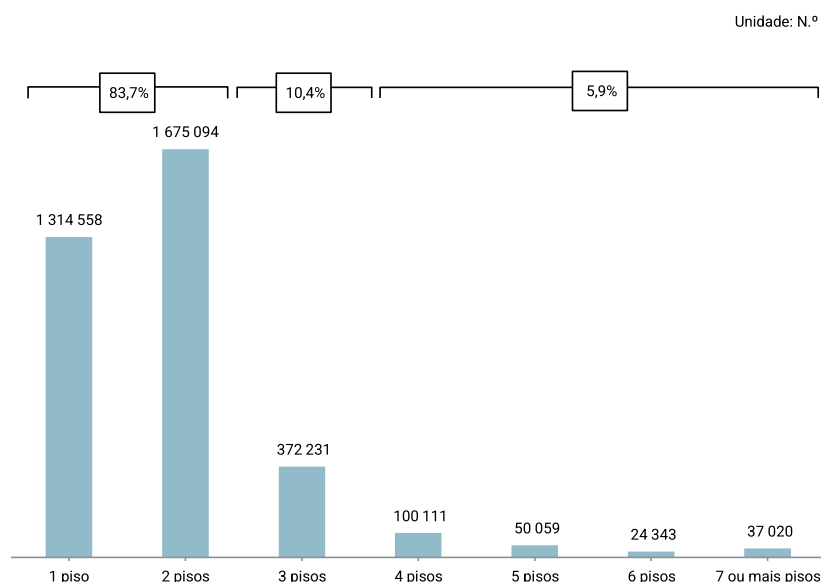


Fig. 2.23 – Edifícios clássicos, segundo o número de pisos do edifício, 2021 (Censos 2021)

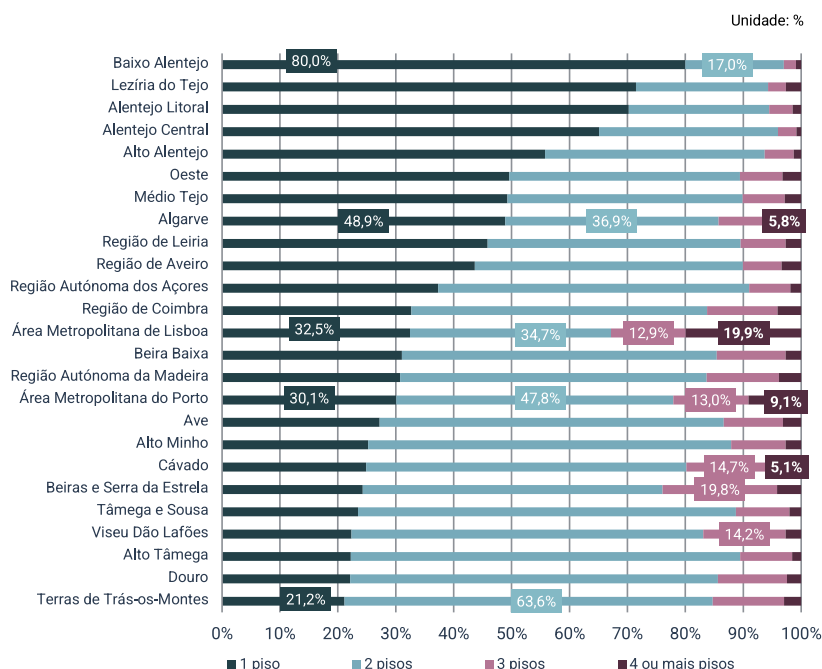


Fig. 2.24 – Distribuição de edifícios clássicos, segundo o número de pisos do edifício, por NUTS III, 2021 (Censos 2021)

A densidade média de alojamentos por quilómetro quadrado é de cerca de 64,9, mas varia muito consoante as regiões e os municípios. As áreas metropolitanas de Lisboa e Porto apresentam as maiores densidades, com 39% dos alojamentos do país.

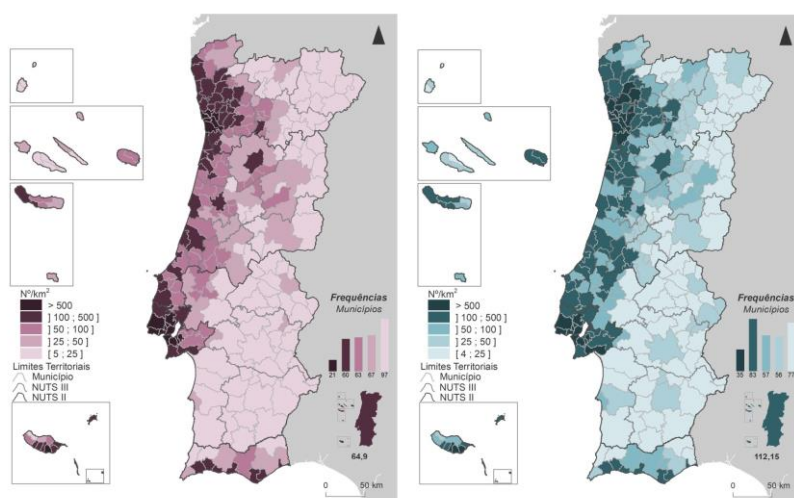


Fig. 2.25 – Densidade (esquerda) de alojamentos (nº alojamentos/km²) e (direita) populacional (nº pessoas/km²), por município, 2021 (Censos 2021)

No que diz respeito à lotação dos alojamentos, ou seja, ao número médio de pessoas por alojamento, verifica-se que houve uma diminuição deste indicador nos últimos anos. Segundo dados dos Censos de 2021, o índice de lotação médio em Portugal é de 2,5 pessoas por alojamento, o que representa uma descida face aos 2,6 registados em 2011. A maioria dos alojamentos (63,6%) tem mais espaço do que o necessário para as pessoas que lá moram (sublotação), enquanto que apenas 23,7% tem o espaço adequado e 12,7% tem menos espaço do que o mínimo necessário (sobrelotação).

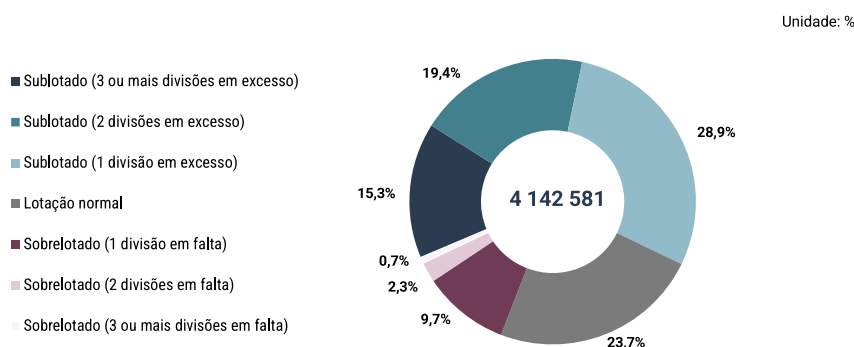


Fig. 2.26 – Distribuição dos alojamentos familiares clássicos de residência habitual por índice de lotação, 2021 (Censos 2021)

Estes dados mostram que o parque habitacional português tem baixa densidade e elevada dispersão territorial, sendo constituído por muitas moradias e edifícios com poucos alojamentos, e concentrando-se mais no litoral do que no interior. Além disso, há muitos alojamentos vagos ou secundários. Os Censos de 2021 indicam que há 6,0 milhões de alojamentos para 4,1 milhões de famílias em Portugal. Esta situação sugere que a construção de novos alojamentos pode ser menos prioritária do que a reabilitação dos edifícios existentes, muitos dos quais são antigos e carecem de melhorias, de forma a aproveitar melhor o potencial habitacional do país.

2.4.2. SISTEMAS DE AQUECIMENTO NOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

O sistema de aquecimento é um dos fatores que influencia o conforto térmico e o consumo de energia dos edifícios de habitação. De seguida, vai ser analisado o tipo de sistemas de aquecimento utilizados em Portugal, tendo por base os resultados do Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico (ICESD) (INE & DGEG, 2020), realizado pelo Instituto Nacional de Estatística (INE) em colaboração com a Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG).

O consumo de energia no sector doméstico em Portugal tem vindo a diminuir nos últimos anos. O consumo total de energia no sector doméstico foi de 5 098 ktep (quilotoneladas equivalentes de petróleo) em 2020, sendo que o consumo de energia do alojamento representou 56,2% do total do sector (49,4% em 2010).

O consumo de energia final por sector revela que o sector dos transportes é o que mais consome energia (32,7%), seguido do sector industrial (31,1%), do sector residencial (19,5%) e do sector dos serviços (13,5%). Dentro do sector residencial, verificou-se um aumento do consumo de energia final de 2,8% face aos resultados de 2010.

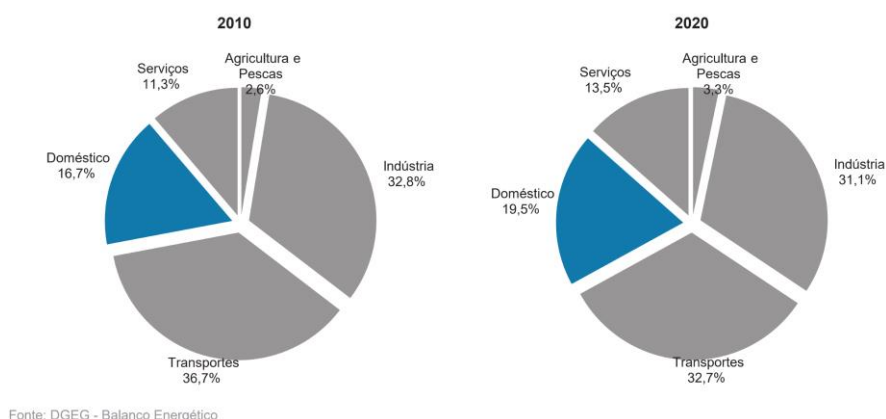


Fig. 2.27 – Repartição do consumo de energia final por sector (ICESD 2020)

A distribuição do consumo e da despesa no alojamento por fonte de energia mostra que a eletricidade é a fonte mais consumida (43,1%), seguida da biomassa (27,2%), dos produtos petrolíferos refinados (16,3%) e do gás natural (11%). No entanto, a eletricidade é a fonte mais dispendiosa em comparação com o consumo (69,6%), seguida dos produtos petrolíferos refinados (17,0%), do gás natural (7,6%), da biomassa (5,8%). Observa-se que a fonte de energia com melhor relação consumo/despesa é a biomassa e a energia solar térmica, que atualmente é obrigatória na construções novas (apesar de poder ser substituída por outras alternativas)

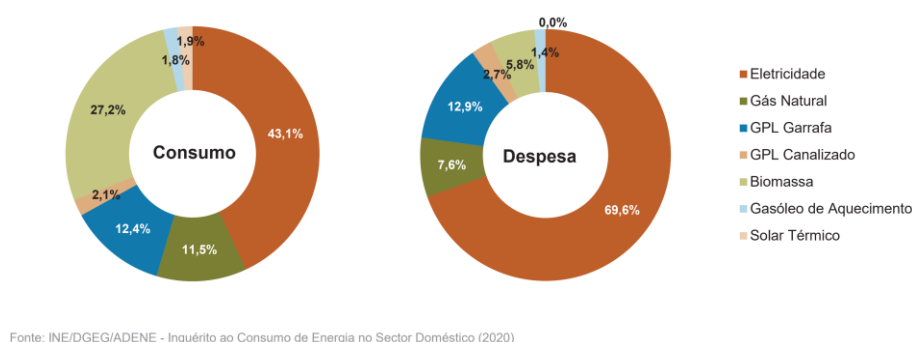


Fig. 2.28 – Distribuição do consumo (tep) e despesa (€) no alojamento por fonte de energia Portugal (ICESD 2020)

A distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de utilização indica que é na cozinha onde o consumo de energia é mais importante (34,6%), ficando o aquecimento ambiente como a segunda utilização com maior consumo de energia (23,2%). Estes valores comprovam o que, foi apresentado anteriormente, os portugueses gastam pouca energia para aquecimento ambiente.

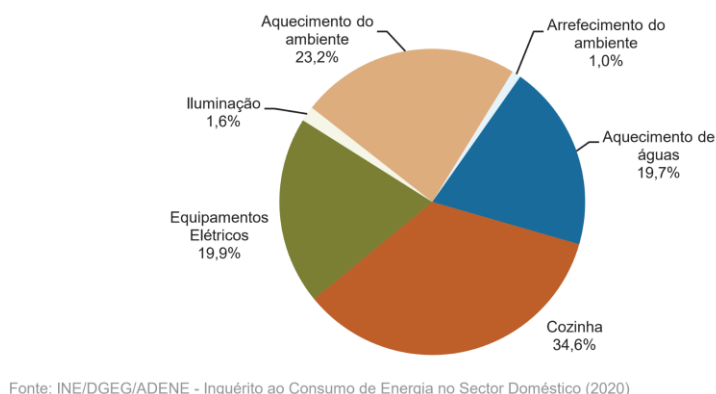


Fig. 2.29 – Distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de utilização (ICESD 2020)

A distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de utilização e tipo de fonte de energia mostra que a biomassa é a fonte mais utilizada para o aquecimento ambiente (81,2%), seguida da eletricidade (7,6%) e dos produtos petrolíferos refinados (cerca de 11%). Quanto ao tipo de fonte de energia utilizada para arrefecimento ambiente, este é conseguido exclusivamente com eletricidade.

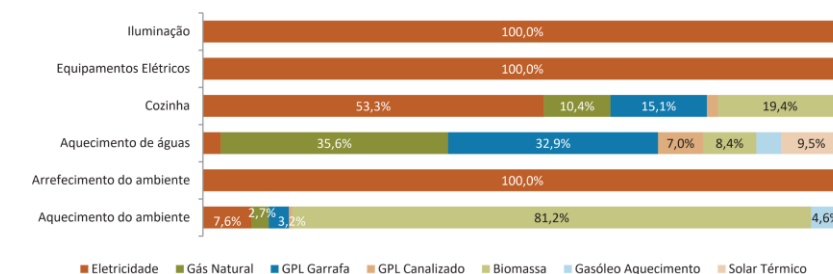
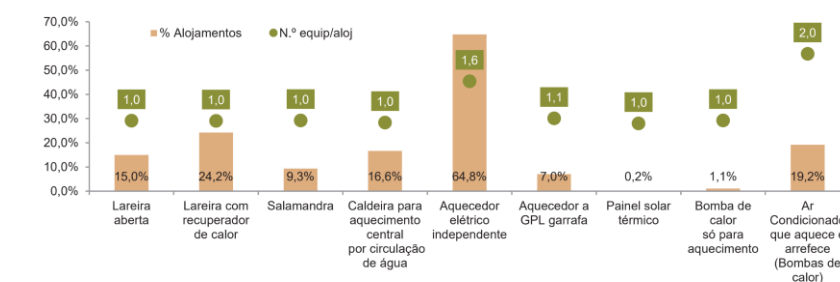


Fig. 2.30 – Distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de utilização e tipo de fonte de energia (ICESD 2020)

Para aquecimento ambiente, os equipamentos mais utilizados são os aquecedores elétricos independentes (64,8%), seguido da lareira (39,2%) e da bomba de calor (20,3%).



Fonte: INE/DGEG/ADENE - Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico (2020)

Fig. 2.31 – Alojamentos por tipo de equipamento utilizado para aquecimento do ambiente e número médio de equipamentos por alojamento (ICESD 2020)

Os resultados dos Censos 2021 confirmam a tendência do uso predominante de equipamentos móveis e lareiras para aquecimento ambiente nos alojamentos familiares clássicos ocupados como residência habitual. Segundo os Censos 2021, o tipo de aquecimento utilizado com mais frequência nestes alojamentos é o aquecedor elétrico independente (30%), seguido da lareira (22%).

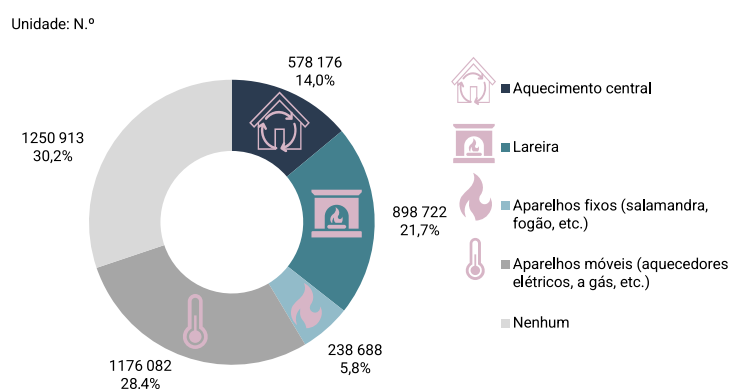


Fig. 2.32 – Alojamentos familiares clássicos, ocupados como residência habitual, segundo o tipo de aquecimento utilizado com mais frequência, 2021 (Censos 2021)

A distribuição por NUTS III mostra ainda que a lareira é o tipos de aquecimento mais frequente nas regiões do Centro (46,2%) e Norte (32,4%), enquanto que os aparelhos móveis de aquecimento são mais frequentes nas regiões da Área Metropolitana de Lisboa (65,5%), a Região Autónoma da Madeira (58,6%) e a Região Autónoma dos Açores (52,2%).

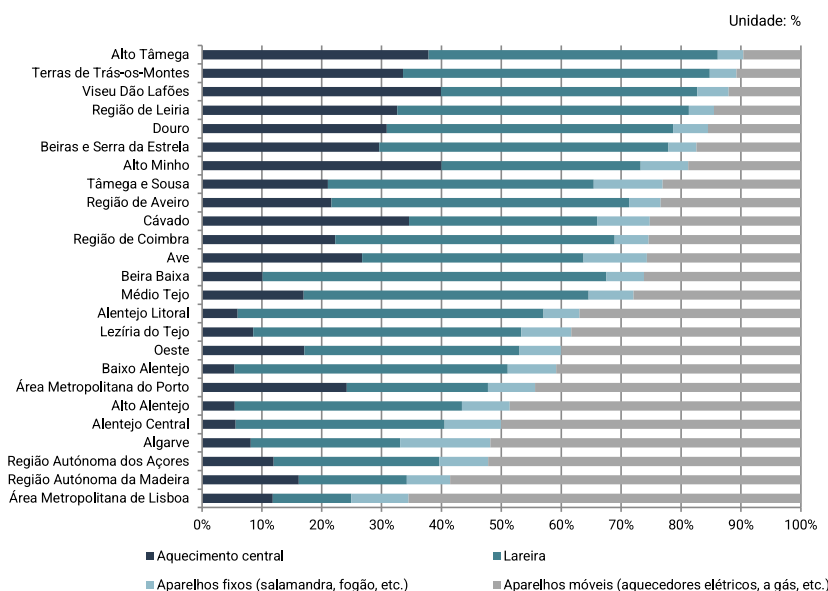


Fig. 2.33 – Distribuição de alojamentos familiares clássicos, ocupados como residência habitual, segundo o tipo de aquecimento utilizado com mais frequência, NUTS III, 2021 (Censos 2021)

Estes dados sugerem que há uma necessidade de promover a eficiência energética e a diversificação das fontes de energia no sector doméstico em Portugal, especialmente no que diz respeito ao aquecimento e arrefecimento ambiente. Helder Gonçalves (2022), investigador principal do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) e autor do Programa de I&D, defende que é urgente aumentar a qualidade térmica dos edifícios residenciais em Portugal, estudando as melhores soluções em termos de envolvente, inércia térmica, ganhos solares, ventilação, integração de sistemas passivos ou bioclimáticos, para aumentar o desempenho térmico dos edifícios. O autor propõe também focar-se nas novas tendências relacionadas com a energia, como a integração de energias renováveis nos edifícios, para alcançar os chamados “Edifícios com Balanço Energético Nulo” (nZEB). Estas medidas podem contribuir para melhorar o conforto térmico dos habitantes, reduzir o consumo de energia e as emissões de gases com efeito de estufa (GEE) dos edifícios residenciais e promover a sustentabilidade global.

2.5. A REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS EM PORTUGAL

2.5.1. ENQUADRAMENTO

A reabilitação energética dos edifícios é uma das prioridades da União Europeia e de Portugal para alcançar a neutralidade carbónica até 2050 e combater as alterações climáticas. Neste sentido, foi desenvolvida a Estratégia de Longo Prazo para a Renovação dos Edifícios (ELPRE), que visa apoiar a transformação do parque edificado nacional em edifícios com necessidades quase nulas de energia (nZEB), promovendo o conforto térmico e a qualidade de vida dos ocupantes, diminuindo o consumo energético e as emissões de GEE e favorecendo a transição energética. No subcapítulo anterior, foi feita uma análise do estado do parque habitacional em Portugal, concluindo-se que existe um elevado potencial de reabilitação dos edifícios de habitação existentes, que apresentam baixos níveis de eficiência energética e de conforto térmico. Neste subcapítulo, pretende-se avaliar a adequação dos regulamentos de térmica à reabilitação de edifícios segundo os objetivos da ELPRE. Para tal, será feita uma análise crítica das medidas propostas na ELPRE com foco nos eixos de atuação 1 e 3, que são sobre a reabilitação do edificado e a certificação energética de edifícios, respetivamente, assim como uma análise das exigências atuais no âmbito da térmica de edifícios e a sua compatibilidade com a situação económica e hábitos de aquecimento dos portugueses.

2.5.2. A ESTRATÉGIA DE LONGO PRAZO PARA A RENOVAÇÃO DOS EDIFÍCIOS: CONCEITO E FUNCIONAMENTO

A ELPRE é um documento que define a visão e as ações para promover a renovação energética dos edifícios em Portugal até 2050, em linha com o Plano Nacional Energia-Clima 2021-2030 (PNEC) e o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC) (Direção-Geral de Energia e Geologia [DGEG], 2021). A ELPRE foi elaborada pelo Governo português em cumprimento da Diretiva 2018/844 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 30 de maio de 2018, que altera a Diretiva 2010/31/UE relativa ao desempenho energético dos edifícios e a Diretiva 2012/27/UE relativa à eficiência energética (Resolução do Conselho de Ministros n.º 8-A/2021).

O objetivo desta estratégia é transformar os edifícios existentes em edifícios com necessidades quase nulas de energia (nZEB), ou seja, edifícios com elevada eficiência energética que utilizem fontes de energia renováveis. Esta transformação trará vários benefícios sociais, ambientais e económicos, incluindo redução de emissões de GEE, melhoria da saúde e conforto dos ocupantes, aumento da eficiência e competitividade do setor da construção, criação de empregos qualificados e valorização do património cultural.

A ELPRE estimou em 2020 que seriam necessários cerca de 143 mil milhões de euros para renovar o parque edificado até 2050, sendo a maior parte desse valor destinada ao setor residencial (77%). No entanto, a estratégia prevê um retorno financeiro do investimento ao longo do tempo, com poupanças no consumo de energia (102% do investimento inicial, ao fim de 30 anos) (RCM 8-A/2021).

Para implementar esta estratégia, serão necessários investimentos significativos por parte dos proprietários e das entidades públicas e privadas. Para apoiar este investimento, a ELPRE propõe uma série de instrumentos financeiros e não financeiros, como fundos europeus, incentivos fiscais, linhas de crédito bonificado, certificados verdes, informação, formação, certificação energética e monitorização.

Para alcançar os objetivos definidos pela ELPRE, foram estabelecidas metas nacionais para os horizontes temporais de 2030, 2040 e 2050. Estas metas estão presentes na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Objetivos para os edifícios residenciais face a 2018 (DGEG et al., 2021)

Edifícios Residenciais	2030	2040	2050
Percentagem de Poupança Energia Primária	15%	37%	40%
Percentagem de Energia Renovável Local	10%	35%	73%
Percentagem de Energia Renovável Total	57%	62%	98%
Percentagem de Redução Emissões GEE	16%	56%	85%
Área de edifícios renovada	299 524 729	513 059 967	514 265 282
Percentagem de Edifícios Renovados	70%	100%	100%
Percentagem de Redução Horas desconforto	26%	34%	56%
Investimento (€/m ²)	82	165	258
Poupança (€/m ²)	88	191	279

Para concretizar as metas propostas pela ELPRE, foram identificados sete eixos estratégicos de atuação que englobam diversas medidas concretas. Estes sete eixos estão representados na Figura 2.33. Cada eixo de atuação inclui um conjunto de políticas específicas que visam superar as falhas de mercado e os obstáculos à renovação dos edifícios.



Fig. 2.34 – Eixos de atuação da ELPRE (DGEG, 2020)

Destes eixos os mais relevantes no desempenho térmico dos edifícios são os eixos da Renovação de Edifícios e da Certificação Energética.

O eixo de atuação da Renovação do Edifício visa promover a renovação energética dos edifícios existentes, de forma a reduzir as suas necessidades de energia e emissões de gases de efeito estufa, melhorar o conforto térmico dos ocupantes e contribuir para a transição energética e a neutralidade carbónica (DGEG, 2020).

O eixo de atuação da Certificação Energética visa melhorar o funcionamento do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), que é um instrumento essencial para informar os proprietários, arrendatários ou compradores sobre o desempenho energético dos edifícios e as medidas recomendadas para o melhorar (DGEG, 2020).

A implementação da ELPRE requer uma articulação entre os diferentes agentes envolvidos no processo de renovação dos edifícios, tais como: proprietários ou arrendatários dos imóveis; empresas ou profissionais do setor da construção civil ou das energias renováveis; entidades públicas responsáveis pela definição das políticas públicas ou pela gestão dos fundos disponíveis para financiar as intervenções nos edifícios; entidades privadas que operam no mercado da reabilitação e da eficiência energética; e os proprietários e utilizadores dos edifícios.

2.5.3. REGULAMENTOS DE TÉRMICA: EVOLUÇÃO E IMPLICAÇÕES PARA A REABILITAÇÃO DOS EDIFÍCIOS

A reabilitação dos edifícios é uma das principais medidas previstas na ELPRE, que visa apoiar a transição energética do setor da construção em Portugal. Para alcançar este objetivo, é necessário melhorar o desempenho energético dos edifícios existentes. No entanto, a reabilitação dos edifícios enfrenta vários desafios, sendo um deles a adequação da regulamentação térmica que se aplica aos edifícios.

Os regulamentos de térmica de edifícios são normas que estabelecem os requisitos mínimos de desempenho energético e de qualidade do ar interior dos edifícios, tendo em vista a sua eficiência energética e a redução das emissões de GEE. Em Portugal, os regulamentos de térmica evoluíram ao longo do tempo, acompanhando as diretivas europeias e as metas nacionais para a transição energética.

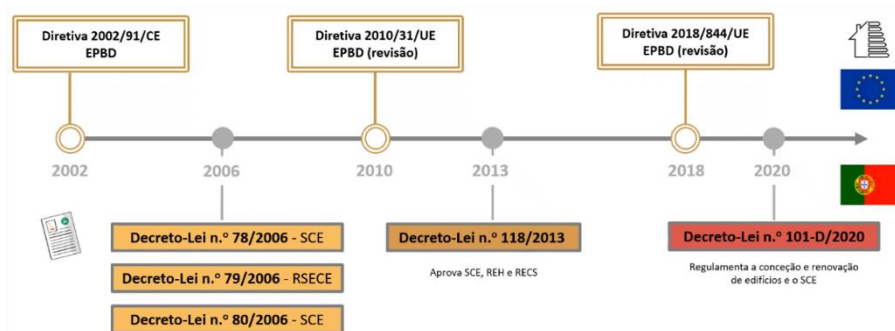


Fig. 2.35 – Evolução da legislação sobre o desempenho energético dos edifícios na Europa e em Portugal (2002-2020)

O primeiro regulamento de térmica foi o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 40/90, que se aplicava aos edifícios novos ou sujeitos a grandes intervenções. O RCCTE foi revisto pelo Decreto-Lei n.º 80/2006, que introduziu o conceito de certificação energética dos edifícios e o sistema nacional de certificação energética e da qualidade do ar interior nos edifícios (SCE).

O segundo regulamento de térmica foi o Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 79/2006, que se aplicava aos edifícios com sistemas técnicos instalados para climatização ou produção descentralizada de energia elétrica. O RSECE estabelecia as regras para o dimensionamento, instalação e manutenção desses sistemas, bem como para a sua inspeção periódica.

Em 2013, foram criados o REH e o RECS, dois novos regulamentos de desempenho energético dos edifícios para habitação e para comércio e serviços, respetivamente. Estes regulamentos transpuseram a Diretiva Europeia 2010/31/EU (EPBD) e definiram os requisitos mínimos de energia primária, energia útil, qualidade do ar interior, fontes renováveis, produção local de eletricidade, água quente sanitária e iluminação artificial para os edifícios novos e existentes. O SCE avalia estes requisitos e atribui aos edifícios uma classe energética de A+ (melhor) a F (pior), emitindo um certificado energético com informações sobre as características do edifício e as medidas de melhoria propostas.

Mais recentemente, o Decreto-Lei n.º 101-D/2020 transpõe a Diretiva 2018/844/UE do Parlamento Europeu e do Conselho para a legislação nacional. Esse decreto-lei estabeleceu requisitos de desempenho energético mais exigentes para os edifícios e regulou o Sistema de Certificação Energética de Edifícios (Decreto-Lei n.º 101-D/2020).

De seguida são apresentados a evolução de alguns dos requisitos de desempenho energético aplicáveis aos edifícios existentes sujeitos a grandes intervenções.

Tabela 2.2 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$], aplicáveis a partir de 2006 (RCCTE), adaptado de Decreto-Lei n.º 80/2006

Elementos da envolvente	U_{ref}			$U_{máx}$		
	I1	I2	I3	I1	I2	I3
Vertical	0,70	0,60	0,50	1,80	1,60	1,45
Horizontal	0,50	0,45	0,40	1,25	1,00	0,90
Envidraçada ³	4,30	3,30	3,30	—	—	—

Tabela 2.3 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$], aplicáveis a partir de 2013 (REH), adaptado de Portaria n.º 349-B/2013

Elementos da envolvente	U_{ref}			$U_{máx}$		
	I1	I2	I3	I1	I2	I3
Vertical	0,50	0,40	0,35	1,75	1,60	1,45
Horizontal	0,40	0,35	0,30	1,25	1,00	0,90
Envidraçada ³	2,90	2,60	2,40	—	—	—

Tabela 2.4 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos, $U_{máx}$ [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$], aplicáveis a partir de 2016 (REH), adaptado de (Portaria n.º 379-A/2015)

Elementos da envolvente	I1	I2	I3
Vertical	0,50	0,40	0,35
Horizontal	0,40	0,35	0,30
Envidraçada ³	2,90	2,60	2,40

³ Pode ser avaliado tendo em conta o contributo dos dispositivos de proteção solar, considerando o valor de U_{WDN}

⁴ Valor máximo para pontes térmicas planas (PTP).

Tabela 2.5 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos, $U_{máx}$ [W/(m²·°C)], atualmente aplicáveis, adaptado de Portaria n.º 138-I/2021

Elementos da envolvente	I1	I2	I3
Vertical	0,50	0,40	0,35
	0,90 ^{4,5}		
Horizontal	0,40	0,35	0,30
	0,90 ^{4,5}		
Envidraçada ³	2,80	2,40	2,20
	3,00 ⁵		

Tabela 2.6 – Requisitos dos edifícios de habitação sujeitos a grande renovação, em função do ano de construção, adaptado de Despacho n.º 6476-E/2021

Tipo de requisito	Anterior a 1960	De 1960 a 1990	Posterior a 1990
N_{id}/N_i	Não aplicável	≤ 1,25	≤ 1,15
N_{vc}/N_v	Não aplicável	≤ 1,25	≤ 1,15
CE	Igual ou superior a C		
R_{NT}	≤ 1,50		
Ren_{Hab} ⁶	≥ 0,50		

Na Tabela 2.5, é possível observar que uma parede exterior reabilitada deve ter um coeficiente de transmissão térmico (U) menor que 0,35 W/(m²·°C) para cumprir os requisitos mínimos para a zona climática I3. No entanto, o ITE 50 mostra que uma parede simples de alvenaria de tijolo revestida tem $U = 1,3$ W/(m²·°C) e uma parede simples de alvenaria de pedra revestida tem $U = 2,9$ W/(m²·°C). Estes casos são comuns em edifícios antigos e em zonas rurais, muitas vezes localizados em zonas climáticas mais exigentes. Nesse exemplo, seria necessário utilizar um isolamento térmico mínimo (EPS neste exemplo) de 90 mm e 100 mm para a alvenaria de tijolo e pedra, respetivamente. Em contrapartida, caso os requisitos mínimos em vigor fossem dos da Tabela 2.3, como se trata de uma reabilitação, deveria ser garantido um valor de U menor que 1,45 W/(m²·°C). Para cumprir com esta exigência, seria apenas necessário realizar uma intervenção no caso da parede simples de alvenaria de pedra, aplicando um isolamento térmico de 20 mm (também em EPS).

Tem-se constatado uma evolução da regulamentação aplicável à eficiência energética dos edifícios, tanto para a construção nova quanto para a reabilitação de edifícios. No entanto, a reabilitação de edifícios enfrenta desafios adicionais desde a atualização dos requisitos mínimos com a entrada em vigor da Portaria n.º 379-A/2015, que aumentou as exigências de desempenho energético para os edifícios reabilitados.

⁵ Valor máximo dos elementos da envolvente, caso seja garantido o cumprimento dos requisitos de conforto térmico.

⁶ Apenas aplicável quando renovados, cumulativamente, a rede de distribuição e o sistema produtor de Águas Quentes Sanitárias (AQS).

Essas exigências dificultam mais as intervenções de caráter térmico em edifícios exigentes, tanto ao nível técnico como ao nível arquitetónico ou funcional. Com a regulamentação em vigor, a única diferença entre as exigências de desempenho térmico dos edifícios novos e dos edifícios existentes sujeitos a grandes intervenções é sobretudo ao nível da certificação energética (Tabela 2.6) onde, de forma simplificada, os edifícios sujeitos a grandes intervenções são obrigados a obter uma classe energética igual ou superior a C, enquanto que os edifícios novos necessitam de obter uma classe energética igual ou superior a A. Como ambos os tipos de edifícios (novos e existentes) possuem os mesmos requisitos ao nível da envolvente, significa que a diferença entre as exigências nos certificados provem da instalação de sistemas técnicos (climatização e AQS) mais eficiente. Além disso, tem sido observado que o SCE pode não ser o método mais adequado para avaliar a eficiência energética dos edifícios, pois não considera os hábitos de aquecimento dos utilizadores. Assim, conclui-se que para motivar as intervenções de reabilitação, é necessário adequar a regulamentação de térmica à realidade do parque edificado português.

2.5.4. AVALIAÇÃO CRÍTICA DA ADEQUAÇÃO DOS REGULAMENTOS DE TÉRMICA AOS OBJETIVOS DA ELPRE

Neste subcapítulo, avaliou-se a ELPRE e o seu impacto na reabilitação de edifícios em Portugal. A ELPRE tem como missão apoiar a transição energética, que visa atingir a neutralidade carbónica na Europa até 2050, através da promoção de edifícios nZEB no parque edificado. Contudo, constatou-se que os regulamentos de térmica não consideram os hábitos de aquecimento dos portugueses, que são muito diferentes dos de outros países europeus. Na maioria das habitações portuguesas, o aquecimento é quase nulo ou intermitente. Além disso, o sistema de certificação energética atual privilegia os sistemas de aquecimento mais eficientes, mas não assegura a sua utilização ou a otimização da envolvente do edifício às reais condições de utilização.

No seu estudo, Magalhães (2020) sugere que há um limite para o benefício do isolamento térmico no conforto térmico, face aos hábitos normais de aquecimento dos portugueses. A regulamentação atual não considera esse limite nas exigências da envolvente, o que pode resultar em investimentos desnecessários e dificuldades na adaptação à arquitetura.

Quanto às necessidades de energia para aquecimento previstas pelos SCE, estas estimativas não consideram os hábitos de aquecimento reais. Isso significa que as estimativas dos tempos de retorno do investimento, realizadas com base nas necessidades de energia para aquecimento, podem não corresponder à realidade. Um estudo realizado por Palma et al. (2019) em 3092 freguesias portuguesas revelou que os consumos reais de energia para aquecimento são significativamente inferiores aos consumos teóricos. Esta constatação sugere que as estimativas de poupanças energéticas e retorno do investimento apresentados na ELPRE não estejam corretos.

Por isso, conclui-se que há uma necessidade de adaptar a regulamentação à realidade portuguesa, levando em consideração os hábitos de aquecimento dos portugueses e as especificidades do edificado nacional. Além disso, é necessária uma revisão à ELPRE devido à sua implicação com o SCE. Somente dessa forma será possível cumprir os objetivos propostos pela ELPRE.

2.6. SÍNTESE

Ao longo deste capítulo, analisou-se o consumo de energia em Portugal e comparou-se com outros países da Europa. Essa comparação permitiu concluir que o consumo de energia para aquecimento no setor doméstico em Portugal é muito baixo, o que sugere uma prática de aquecimento intermitente. Ao analisar o clima europeu, observou-se que Portugal e outros países do Sul possuem um inverno menos rigoroso do que outras regiões da Europa, o que explica a viabilidade do aquecimento intermitente em Portugal. No entanto, além da severidade do clima, há outras razões que levam os habitantes a optarem por essa prática, mesmo que ela não garanta condições de conforto e saúde adequadas. Por esse motivo, estudou-se o conceito de pobreza energética e constatou-se que Portugal é um dos países europeus mais afetados por esse fenômeno, principalmente devido à disparidade entre os rendimentos, que são mais baixos que a média europeia, e o preço da energia, que (durante vários anos) foi um dos mais altos da Europa. Além disso, constatou-se que o mau desempenho energético de grande parte das habitações em Portugal também contribui para a pobreza energética dos seus moradores.

No sentido de compreender de que forma o aquecimento intermitente afeta o conforto dos utilizadores, analisou-se o conceito de conforto térmico e diferentes formas de o avaliar. Destacam-se os modelos de conforto adaptativo, que consideram não apenas fatores ambientais, mas também os fatores pessoais, bem como os índices que permitem uma melhor comparação dos resultados entre diferentes análises.

Embora essas formas de avaliação do conforto térmico sejam muito úteis, elas não possuem meios de avaliar o conforto térmico de edifícios que ainda não foram construídos. Nesse sentido, a única forma de avaliar o conforto térmico passa pela modelização e simulação do comportamento higrotérmico do edifício, recorrendo a ferramentas de simulação higrotérmica.

Em seguida, realizou-se uma análise do parque habitacional português para compreender o estado atual das habitações. Concluiu-se que a construção de novas habitações tem diminuído, em parte devido ao excesso de edifícios em relação ao número de famílias. No entanto, também se constatou que a maioria dos edifícios existentes não consegue proporcionar conforto térmico adequado aos utilizadores, de acordo com seus hábitos de aquecimento. Alguns edifícios necessitam de grandes reparações e uma grande parte foi construída antes dos primeiros regulamentos de desempenho térmico dos edifícios, apresentando mau desempenho térmico e energético. Portanto, concluiu-se que o futuro da construção deve se concentrar cada vez mais na reabilitação de edifícios, aproveitando o grande número de edifícios existentes e melhorando o conforto dos moradores.

Também foi analisada a ELPRE, os seus objetivos e as razões que conduziram à criação desta estratégia e das suas implicações. Analisou-se a evolução dos regulamentos aplicados à térmica de edifícios e concluiu-se que estes são cada vez mais rigorosas, sobretudo para a área da reabilitação tendo em conta as dificuldades técnicas que certas intervenções podem implicar e dificultando os objetivos propostos pela ELPRE. Para além disso, questionou-se a adequação da regulamentação pois estes têm por base normativas europeias que pressupõem que o aquecimento das habitações é feito de forma contante. Ora como visto anteriormente, esta não é a realidade portuguesas, concluindo-se que seria necessário a realização de estudos de forma a adequar as normativas e objetivos energéticos europeus ao tipo de utilização dos edifícios em Portugal.

3

INQUÉRITO SOBRE CONDIÇÕES DE CONFORTO

3.1. INTRODUÇÃO

Com o objetivo de adaptar os hábitos de aquecimento e obter uma análise mais próxima da realidade portuguesa, foi realizado um pequeno inquérito com o principal objetivo de obter dados e criar um perfil de utilização dos sistemas de aquecimento e da habitação para introduzir no programa de simulação higratérmico. Alguns dos questionários foram realizados diretamente com os participantes de modo a auxiliar no preenchimento das questões e garantir que as perguntas fossem respondidas corretamente.

O inquérito foi realizado em duas zonas diferentes do país: no concelho de Chaves e no Distrito do Porto. A escolha destas duas regiões deve-se a duas razões: a primeira é uma questão de facilidade no preenchimento dos inquéritos, por ter contato com estas duas zonas do país; a segunda é que estas duas regiões pertencem a zonas climáticas de inverno diferentes, sendo que Chaves pertence à zona I3 e o Porto à zona I1.

O questionário foi dividido em três partes: dados pessoais, dados da habitação e hábitos de aquecimento. O questionário em si não possui perguntas que permitam a identificação das pessoas que o preencheram, sendo completamente anônimo. As perguntas consideradas mais sensíveis eram completamente opcionais, não tendo sido verificado o seu correto preenchimento.

É importante mencionar que o inquérito foi sendo adaptado à medida que se foram obtendo respostas, havendo algumas perguntas com menos respostas que outras e cujos resultados não sejam tão completos.

Os dados dos inquéritos foram recolhidos, agrupados e tratados para permitir uma melhor análise e retirar as devidas conclusões.

3.2. ESTRUTURA DO QUESTIONÁRIO

3.2.1. DADOS PESSOAIS

A primeira secção corresponde aos “Dados Pessoais” e foi criada apenas para poder caracterizar os dados e ver se o perfil de utilização daquela habitação corresponde ao perfil de utilização desejado/escolhido para o programa de simulação, sendo por isso de caráter opcional e não foi verificado o seu correto preenchimento de modo a tornar o inquérito anónimo e dar mais conforto ao preenchimento deste. Esta secção também existe para comparar os resultados com o dos Censos de 2021 para entender se os dados recolhidos com este inquérito correspondem à realidade portuguesa.

As perguntas que constam nesta parte do inquérito são as seguintes:

- i. Quantas pessoas vivem na sua habitação?
- ii. Qual é a faixa etária das pessoas que vivem na sua habitação?
- iii. Qual é a situação profissional das pessoas que vivem na sua habitação?
- iv. Qual é o rendimento mensal líquido do seu agregado familiar?

3.2.2. DADOS DA HABITAÇÃO

Na segunda secção foram colocadas perguntas sobre as características da habitação, desde o tipo e ano de construção da habitação, as intervenções realizadas, a existência de isolamento térmico, o tipo ventilação, o tipo de vãos envidraçados e o sistema de aquecimento. Mais uma vez, os resultados de algumas destas perguntas também foram comparados com os resultados dos Censos de 2021 do ICESD 2020.

As perguntas realizadas foram as seguintes:

- v. Em que tipo de habitação vive?
- vi. Qual é o ano de construção da sua habitação?
- vii. A habitação sofreu alguma intervenção depois de ser construída?
- viii. A sua habitação tem isolamento térmico?
- ix. O que me pode dizer sobre as janelas da sua habitação?
- x. As janelas têm algum tipo de proteção solar?
- xi. A sua habitação tem ventilação?
- xii. Qual é o sistema de aquecimento da sua habitação?
- xiii. Em que divisões possui aquecimento?

As perguntas v., viii., ix., x. e xi. permitem caracterizar a habitação de modo a verificar e adaptar os resultados ao perfil que vai ser utilizado no programa de simulação higratérmica.

O objetivo das perguntas vi. e vii. é conseguir auxiliar a resposta à pergunta viii., uma vez que antes de 1990 (ano da aparição dos primeiros regulamentos sobre térmica de edifícios), não havia muita preocupação em isolar a casa. Os resultados da pergunta vi. também foram comparados com os dados dos Censos 2021.

As perguntas xii. e xiii. permitem caracterizar o sistema de aquecimento e a sua localização na habitação. Esta caracterização tem por objetivo identificar qual o sistema de aquecimento mais comum e em que divisões é mais comum haver aquecimento ambiente, permitindo introduzir um sistema de aquecimento mais realista no programa de simulação. Os resultados da pergunta xii. foram comparados com os dos Censos 2021 e do ICESD 2020.

3.2.3. HÁBITOS DE AQUECIMENTO

A última secção tem por objetivo caracterizar a utilização dos sistemas de aquecimento, de modo a criar um perfil de aquecimento adaptado à realidade portuguesa e ao tipo de utilização considerado nesta tese.

Sendo o perfil de utilização da habitação e dos sistemas de aquecimento um fator importante para a obtenção de resultados realistas da simulação higratérmica, foi esta a razão para a criação deste inquérito, uma vez que os dados pretendidos não foram encontrados em inquéritos como os Censos ou o ICESD.

As perguntas realizadas foram:

- xiv. Em que períodos do dia as divisões da sua habitação estão ocupadas?
- xv. Com que frequência costuma aquecer a sua habitação?
- xvi. Em que meses costuma ter o aquecimento ligado?
- xvii. Quantas horas por dia costuma ter o aquecimento ligado quando o utiliza?
- xviii. Em que períodos do dia costuma ter o aquecimento ligado quando o utiliza?

A pergunta xiv. serviu para criar um perfil de utilização da habitação, de modo a definir de forma mais realista os ganhos internos da habitação, assim como perceber em que horas ligar o aquecimento.

A pergunta xv. e xvi. permitiram identificar a frequência do funcionamento do aquecimento por semana/meses.

A pergunta xvii. serviu para ver quantas horas de aquecimento devo colocar nas simulações.

A pergunta xviii. tem por objetivo ver os períodos do dia em que o aquecimento é ligado nos diferentes compartimentos, de modo a criar um perfil realista a introduzir no software.

3.3. CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

Os questionários foram entregues a diferentes moradores da área metropolitana do Porto e a habitantes do concelho de Chaves. A seleção dos participantes para os questionários do Porto foi realizada de forma não probabilística. Optou-se por selecionar participantes conhecidos do pesquisador, que possuíam conhecimentos técnicos relevantes para garantir respostas mais verídicas em relação à caracterização da habitação. Essa abordagem de seleção contribuiu para a obtenção de informações mais confiáveis. Em contraste, a amostragem para os questionários em Chaves foi conduzida de forma aleatória dentro de uma zona rural específica. De modo a garantir resultados mais corretos, foram feitas visitas às habitações dos participantes em Chaves, a fim de auxiliá-los no preenchimento de questões mais técnicas sobre características construtivas da habitação.

No total, participaram 32 pessoas pertencentes a agregados familiares e domicílios diferentes, sendo 18 participantes da área metropolitana do Porto e 14 participantes do concelho de Chaves. O tamanho da amostra permitiu confirmar a maioria dos resultados esperados. No entanto, é importante ressaltar que, para obter resultados mais precisos, seria necessário um tamanho de amostra bastante maior, sobretudo nas perguntas finais sobre as horas de ocupação e utilização de sistemas de aquecimento. Devido a restrições de recursos e tempo, não foi possível alcançar um tamanho de amostra maior, sendo necessário considerar essa limitação na interpretação dos resultados.

Em relação às características demográficas da amostra, a análise dos resultados fornece alguns resultados como a faixa etária ou a situação profissional. No entanto, os participantes não foram questionados a este nível de modo a garantir uma maior confidencialidade dos resultados.

Os métodos de recolha de dados variaram nas duas zonas. Os questionários na área metropolitana do Porto foram realizados em formato digital, enquanto que no concelho de Chaves foram utilizados questionários em papel. Essas abordagens foram selecionadas com base nas preferências dos participantes.

No que diz respeito à taxa de resposta, a maioria das perguntas foi respondida por todos os participantes, com exceção das perguntas iv., xiv., xvi., xvii. e xviii., que apresentaram algumas respostas em falta.

Na pergunta iv., que diz respeito aos rendimentos líquidos mensais do agregado familiar, foram obtidas 16 respostas de um total de 18 participantes na zona do Porto e 10 respostas de 14 participantes na zona de Chaves. Na pergunta xvi., que questiona em quais meses os participantes utilizam o sistema de aquecimento, apenas 15 respostas foram obtidas dos 18 participantes da região do Porto. As respostas em falta nessa pergunta devem-se à resposta anterior (pergunta xv., sobre a frequência de aquecimento das habitações), que dispensa a continuação do questionário para os participantes que responderam "Nunca". O mesmo ocorreu na pergunta xvii., que questiona o número de horas por dia em que a família utiliza o aquecimento. Nessa situação, foi considerado para a análise dos resultados que aqueles que responderam "Nunca" utilizam os sistemas de aquecimento 0 horas por dia.

Devido à ausência das perguntas xiv. e xviii., que diziam respeito aos perfis de ocupação e de aquecimento, respetivamente, na versão do questionário distribuída na região do Porto, nem todos os participantes puderam responder a essas perguntas. No total, dos 18 participantes do inquérito do Porto, 12 tiveram a disponibilidade de responder às perguntas em falta. No inquérito realizado em Chaves, essa ausência foi corrigida antes da realização dos questionários, e todos os participantes puderam responder às perguntas.

3.4. TRATAMENTO DAS RESPOSTAS

Para auxiliar na análise dos resultados obtidos nas cidades do Porto e de Chaves, foi realizado um processo de recolha e tratamento separado das respostas de ambos os questionários.

Com o objetivo de simplificar o tratamento dos questionários em papel, todas as respostas foram inseridas numa versão digital do questionário. Essa abordagem permitiu padronizar os dados e facilitar o seu tratamento.

Uma vez que todas as respostas dos questionários estavam disponíveis em formato digital, os dados foram exportados para uma folha de cálculo. Essa etapa possibilitou a organização dos dados e a criação de gráficos que permitem uma análise visual mais clara e aprofundada dos resultados obtidos.

A seguir, são apresentados os gráficos com os resultados do tratamento para as cidades do Porto e de Chaves, referentes às características das habitações e práticas de aquecimento. Os perfis de ocupação e aquecimento não são apresentados neste capítulo devido à falta de resultados conclusivos.

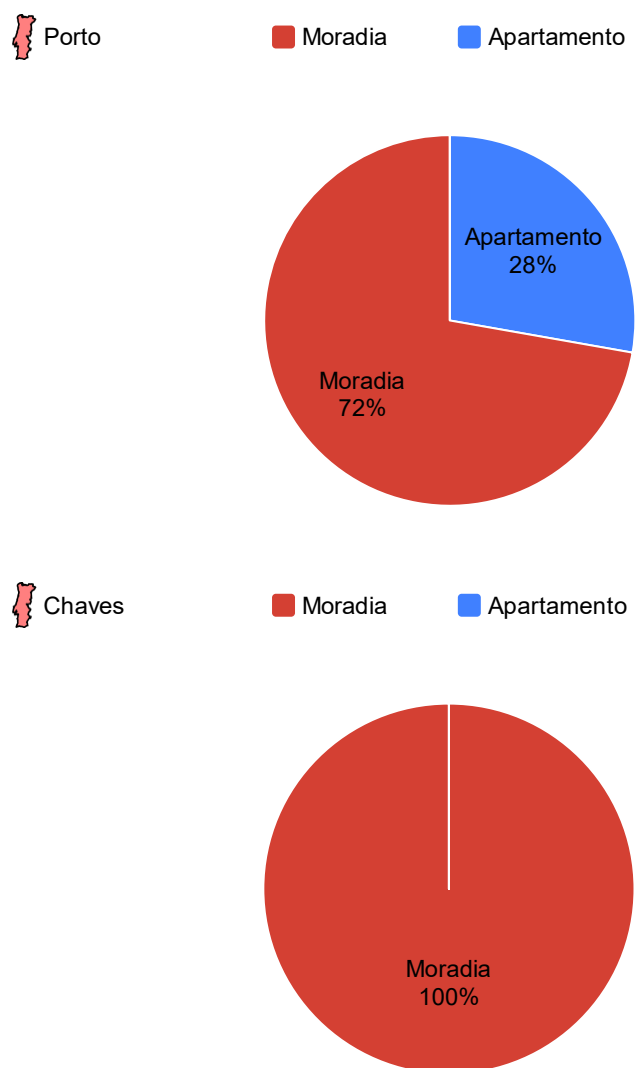


Fig. 3.1 – Distribuição das habitações por tipologia

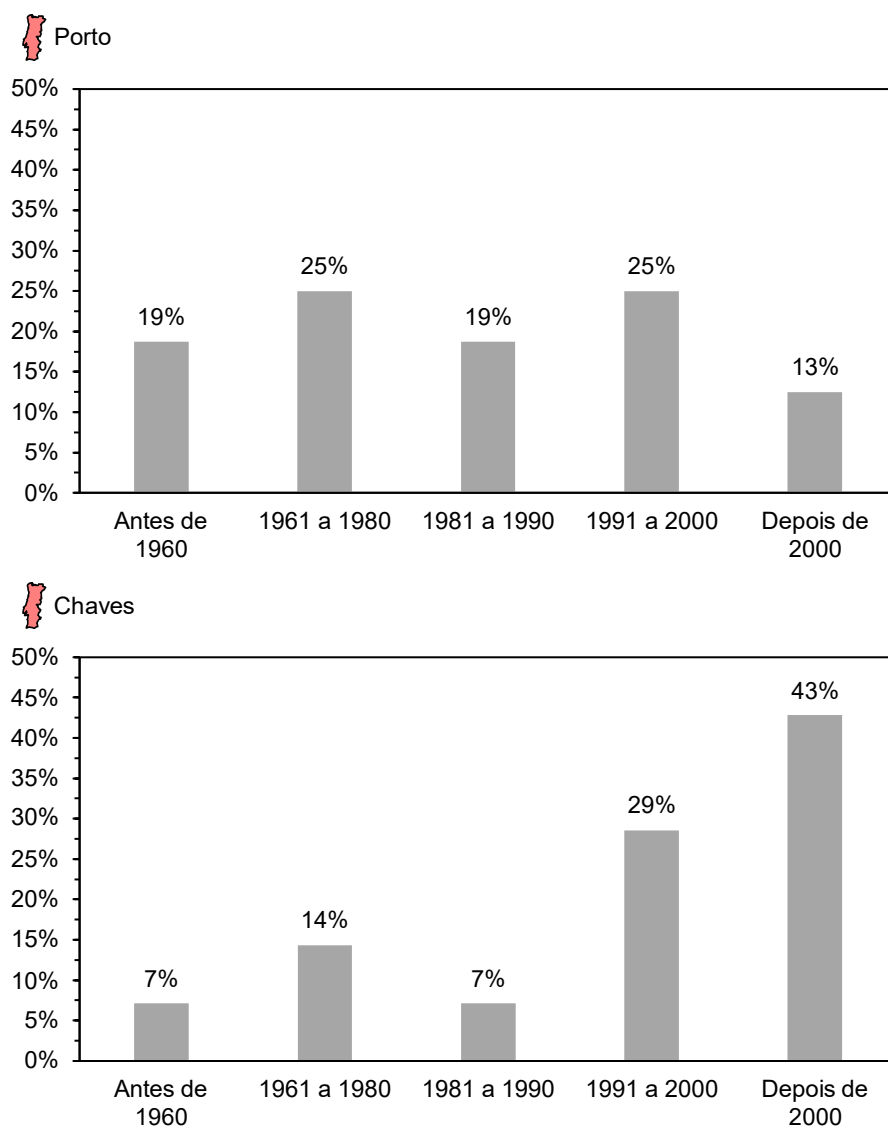
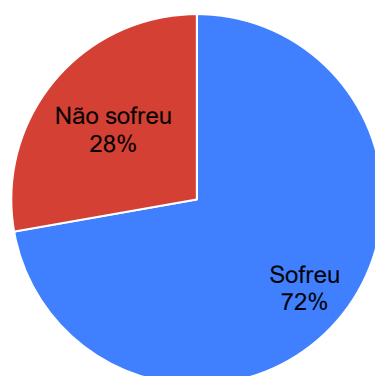


Fig. 3.2 – Distribuição das habitações por ano construtivo

 Porto  Sofreu intervenções  Não sofreu intervenções



 Chaves  Sofreu intervenções  Não sofreu intervenções

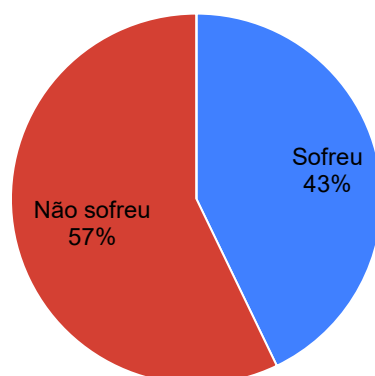


Fig. 3.3 – Distribuição das habitações que sofreram algum tipo de intervenção

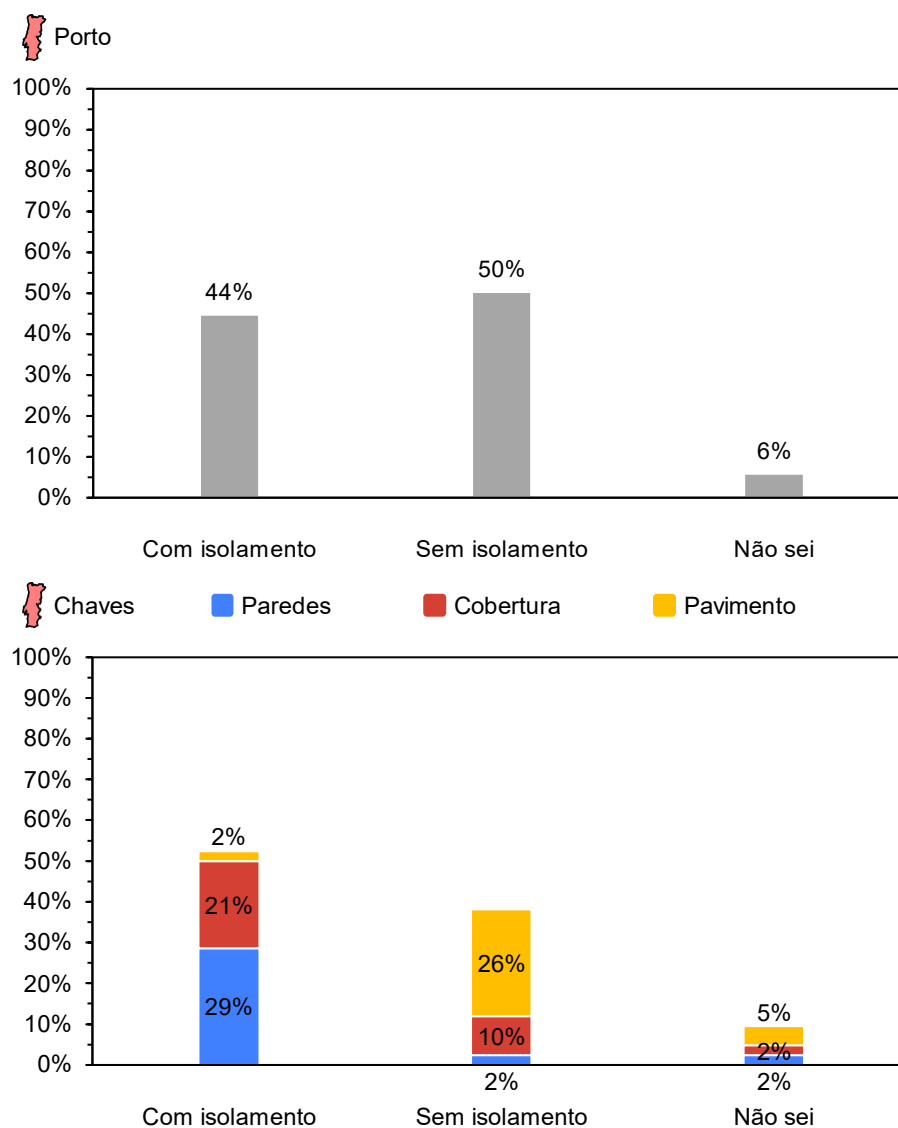


Fig. 3.4 – Distribuição das habitações com isolamento térmico: existência de isolamento térmico, para o Porto; distribuição do isolamento térmico por elemento, para Chaves

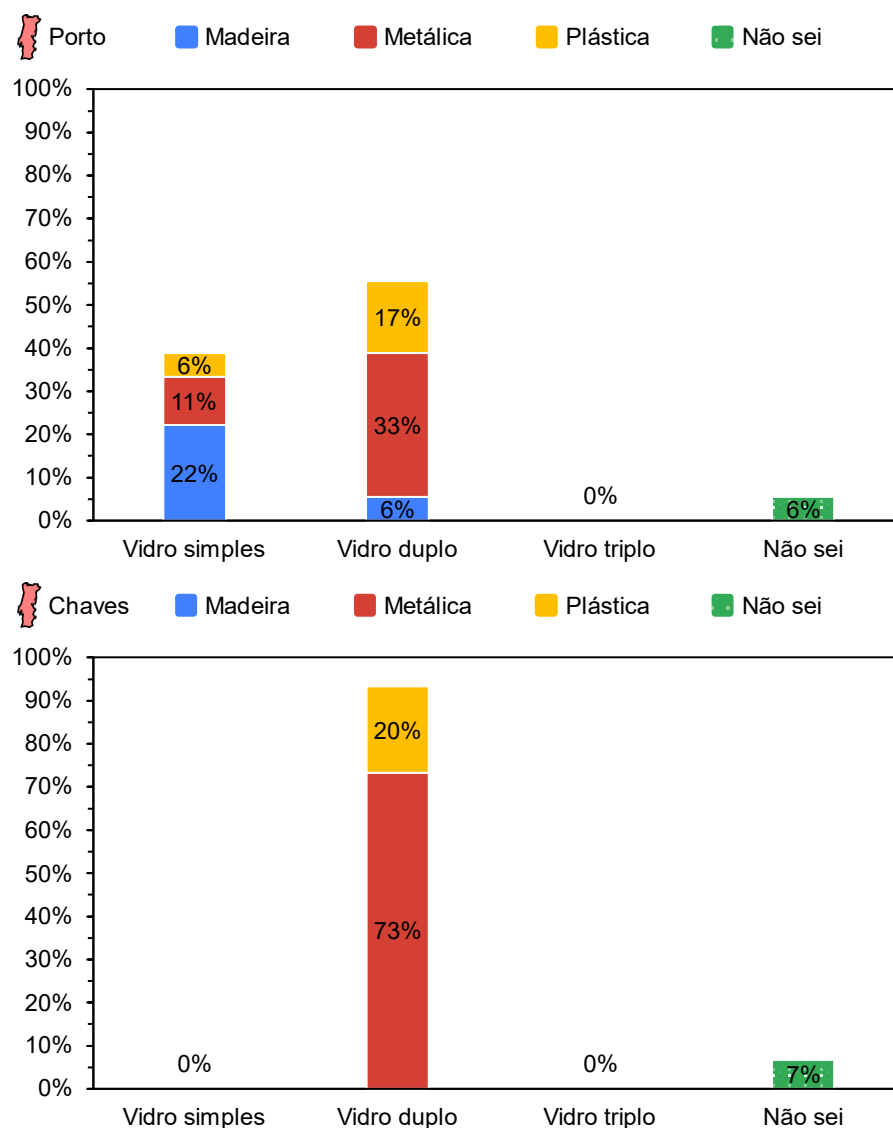


Fig. 3.5 – Distribuição dos vãos das habitações por tipo de vidro e caixilharia

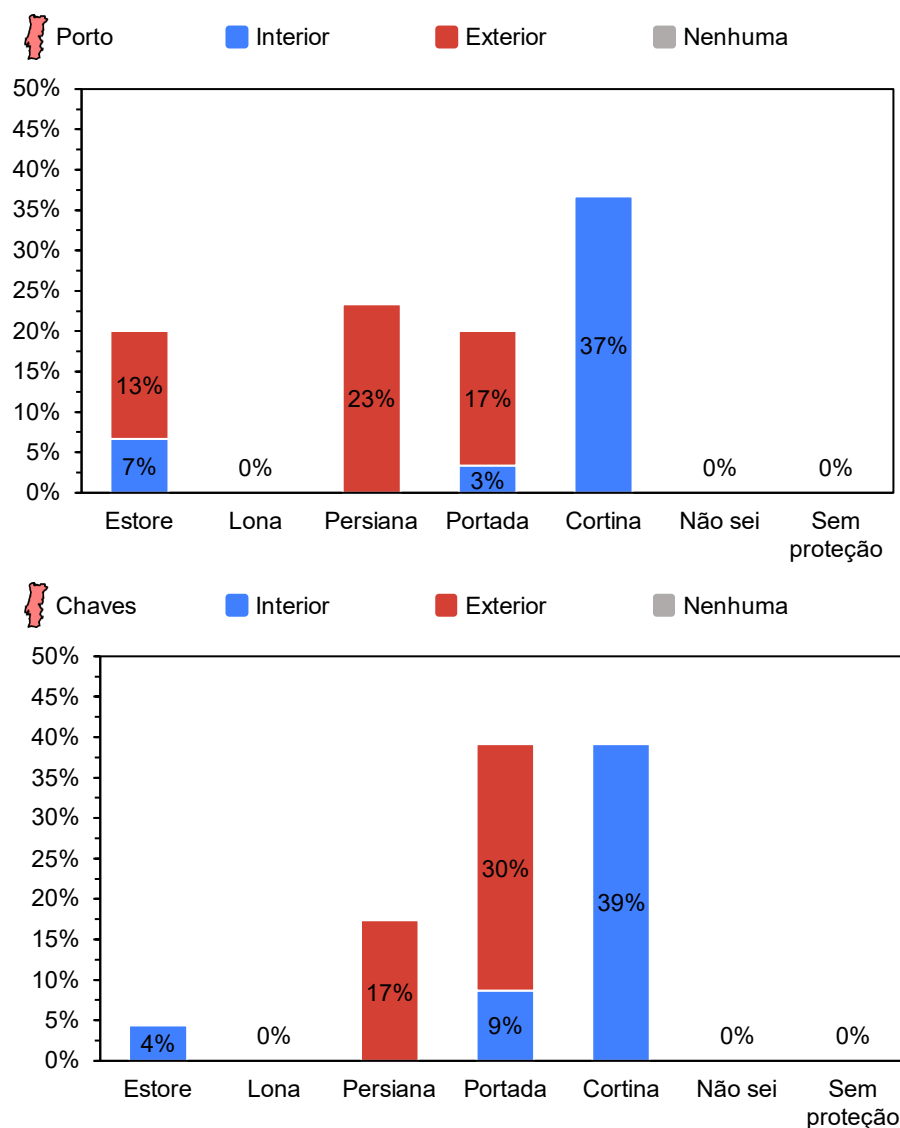


Fig. 3.6 – Posição das proteções solares por tipo de proteção

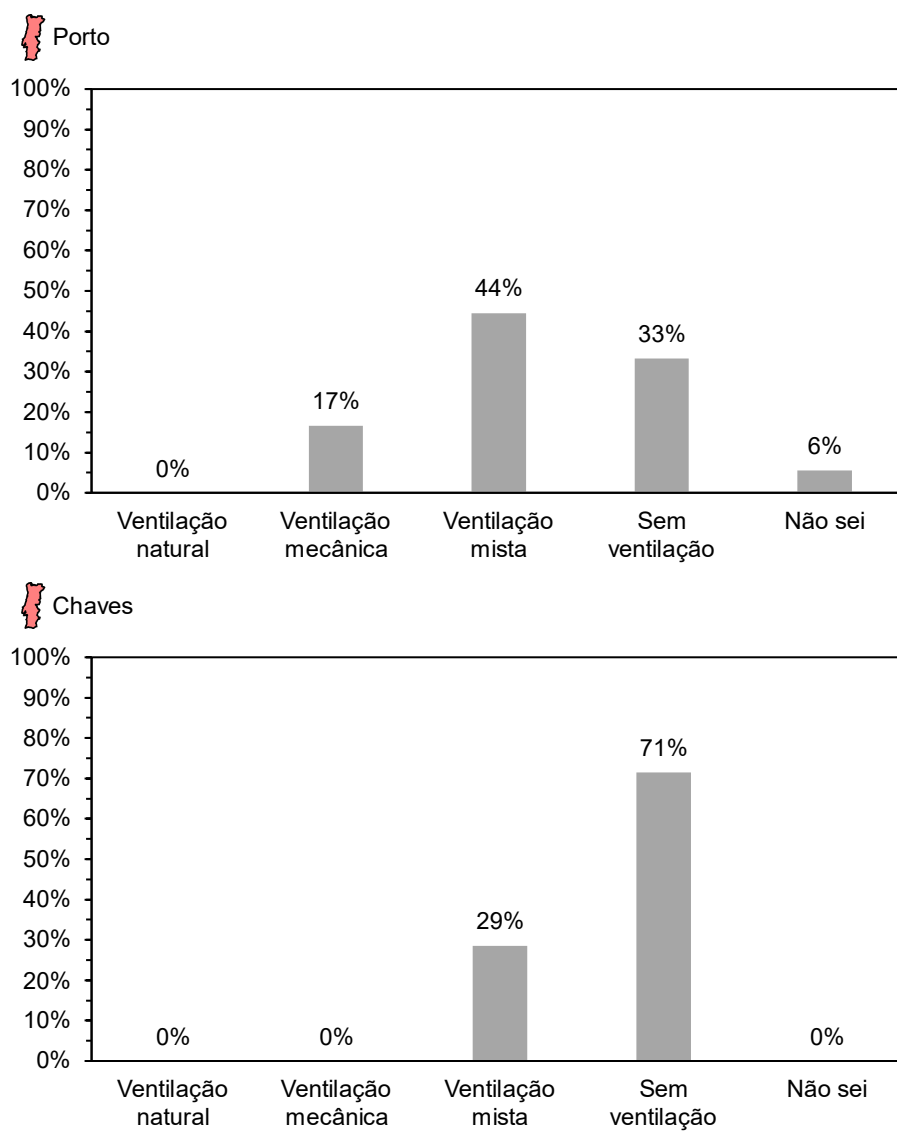


Fig. 3.7 – Distribuição das habitações por tipo de ventilação

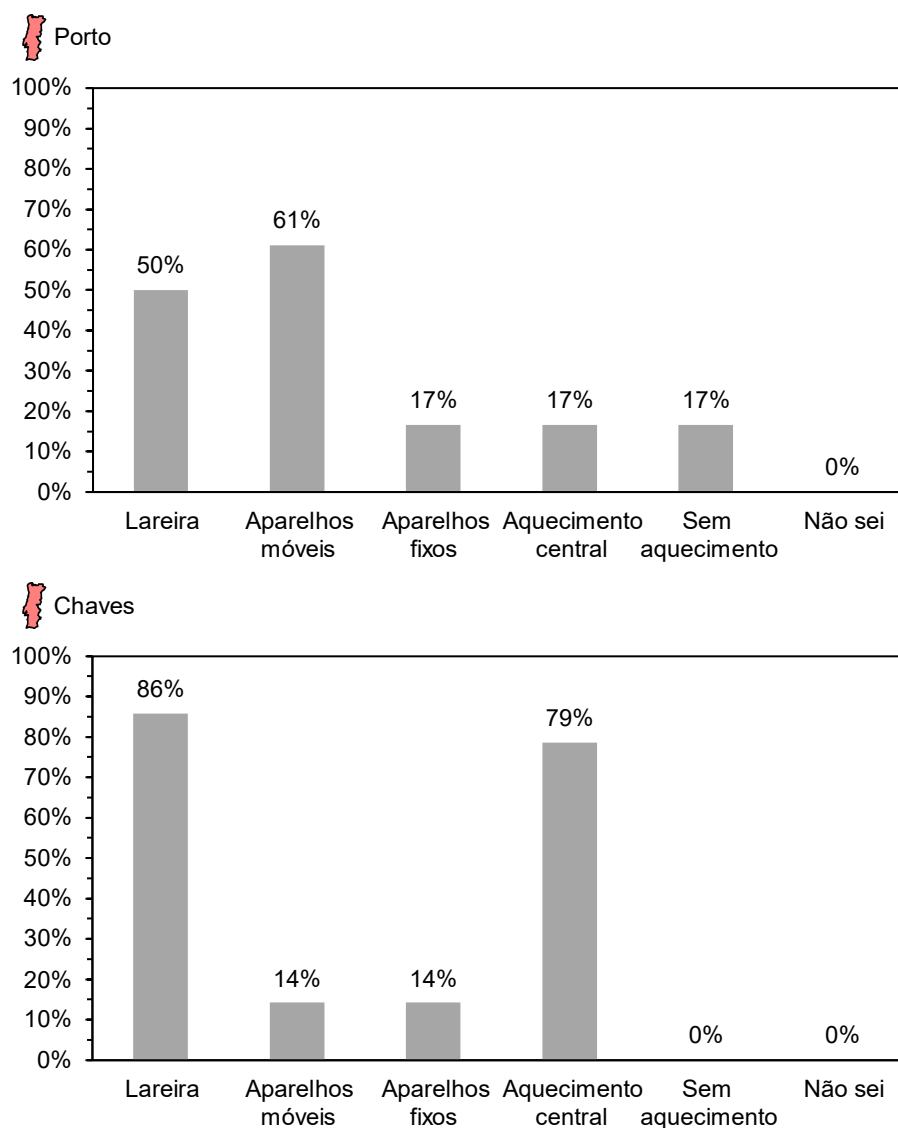


Fig. 3.8 – Distribuição das habitações por sistema aquecimento

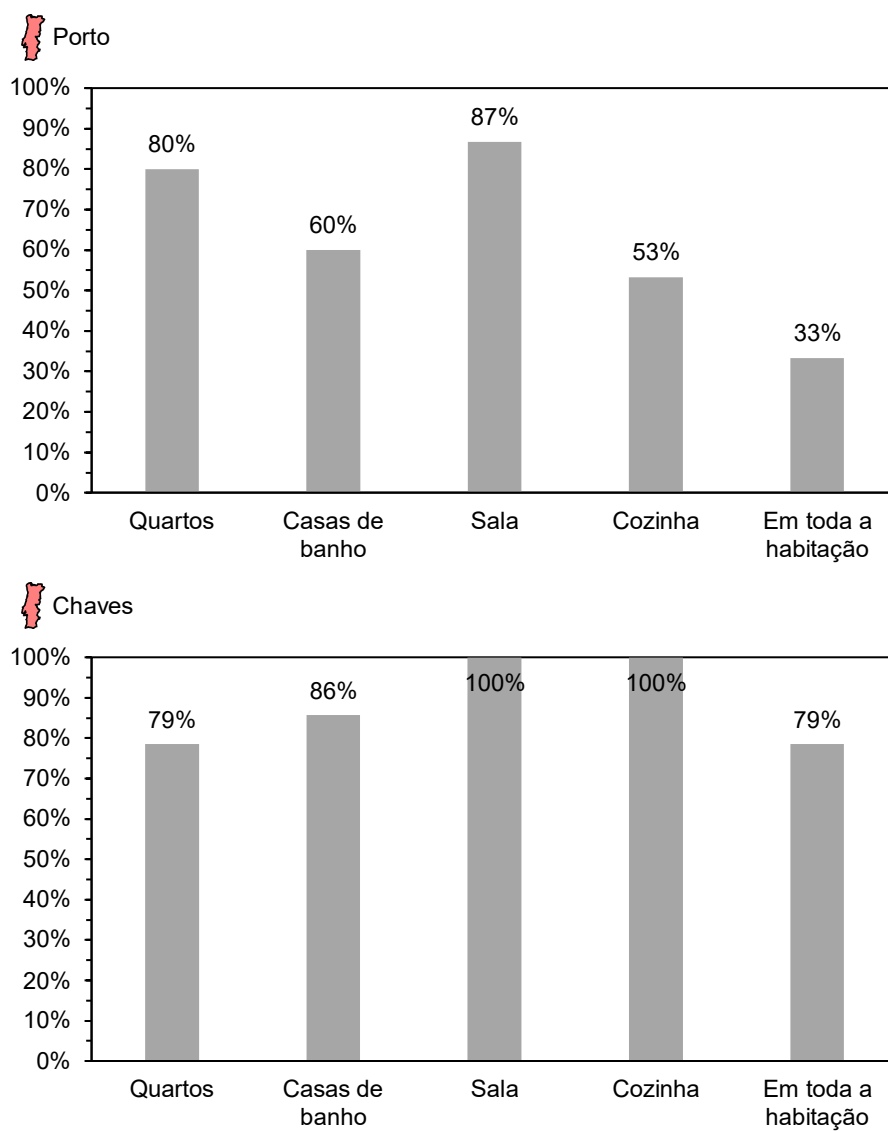


Fig. 3.9 – Distribuição das divisões por existência de aquecimento

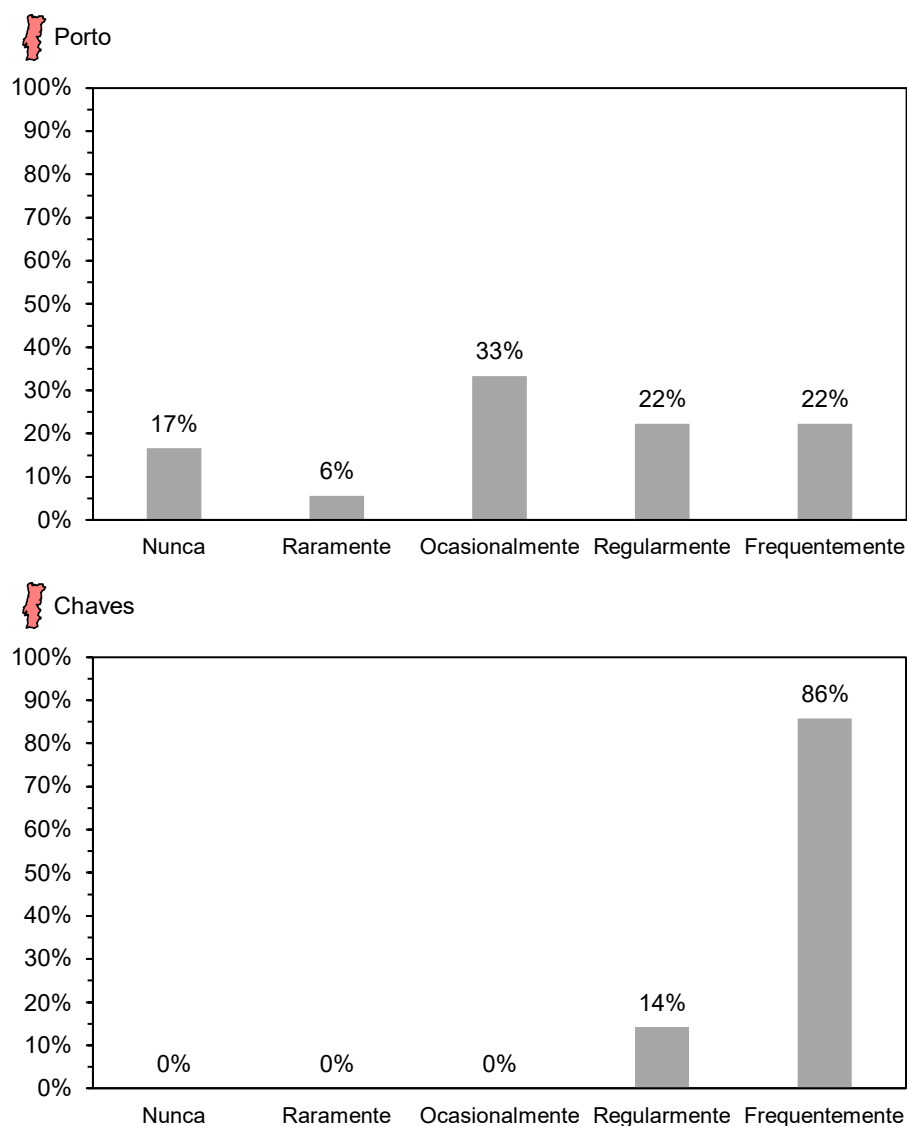


Fig. 3.10 – Distribuição por frequência de aquecimento

As designações das frequências utilizadas no gráfico correspondem aos seguintes intervalos de utilização:

- Raramente – uma ou duas vezes por mês;
- Ocasionalmente – uma ou duas vezes por semana;
- Regularmente – várias vezes por semana;
- Frequentemente – todos ou quase todos os dias

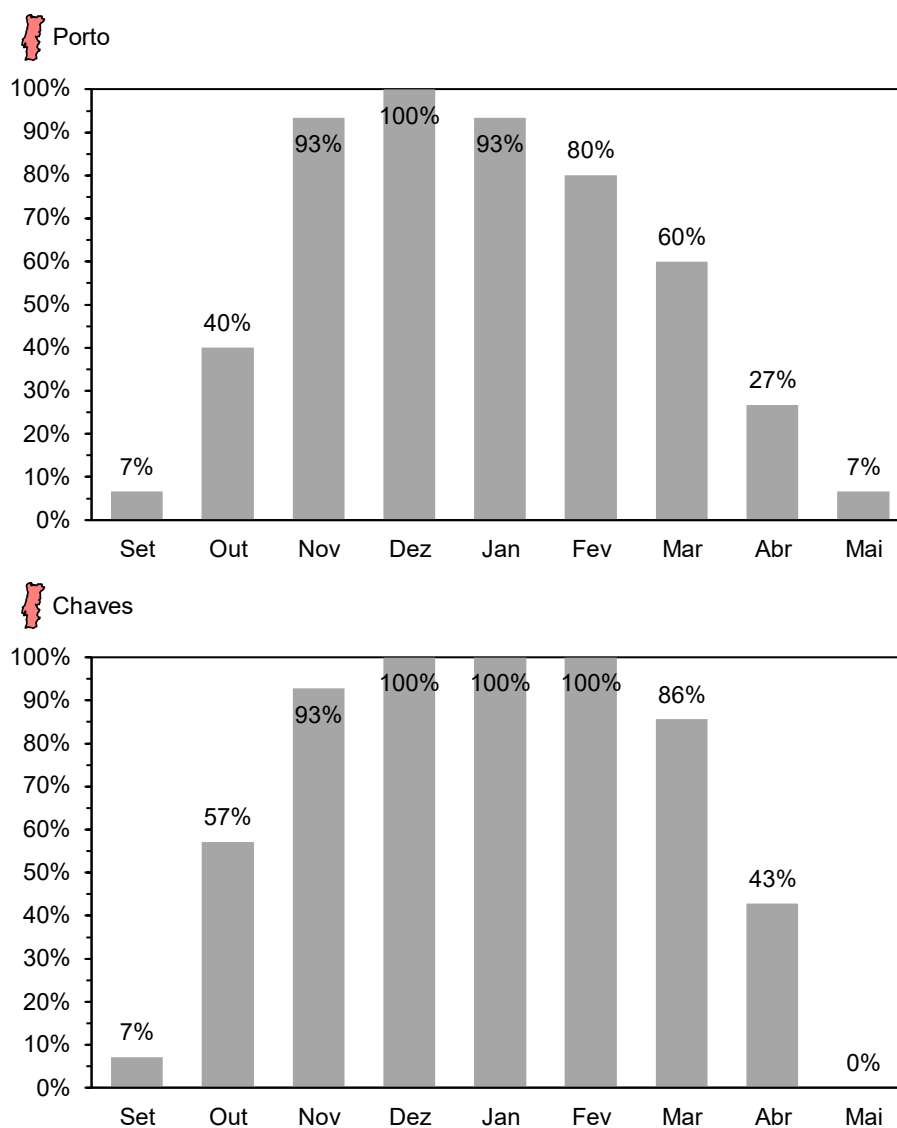


Fig. 3.11 - Distribuição por meses em que o aquecimento é utilizado

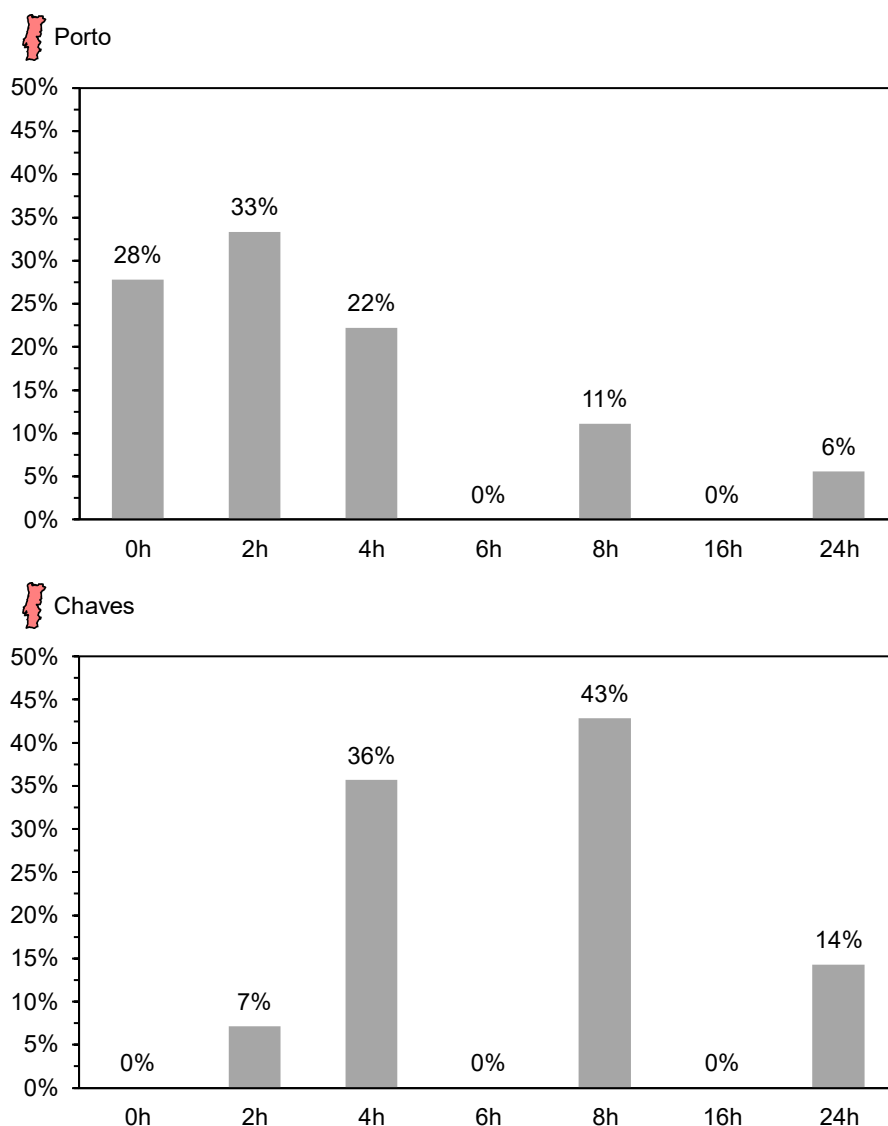


Fig. 3.12 - Distribuição por número de horas diárias de utilização do aquecimento

3.5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

As primeiras observações revelam que, no que diz respeito aos moradores, a maioria das habitações na zona de Chaves são ocupadas por 3 ou 4 pessoas, sendo também comum residirem apenas 2 pessoas. Verifica-se também a uma população mais envelhecida entre os participantes do inquérito em Chaves, assim como uma maior predominância de reformados em comparação com o Porto, o que pode ser explicado pelo facto da zona Chaves, onde os questionários foram feitos, corresponder a uma zona rural do interior do país. Em ambos os casos, observa-se uma predominância de pessoas empregadas, refletindo-se nos rendimentos líquidos do agregado familiar, onde a maioria dos participantes afirmam obter rendimentos superiores à média nacional. Isso pode explicar-se devido a que, em zonas rurais, é comum as pessoas viverem, em parte, de atividades agrícolas. No entanto, o facto de não haver nenhuma resposta com rendimentos inferiores a 500 € também pode indicar que em todos os agregados familiares há pelo menos um trabalhador remunerado.

Quanto às características das habitações, verifica-se que a maioria dos participantes residem em moradias, mesmo nas zonas urbanas da região do Porto. Além disso, todos os participantes no questionário realizados em Chaves, por se tratar de uma zona rural, afirmaram residir em moradias. A maioria das habitações nessa zona foi construída depois de 1990, apesar da população mais envelhecida em comparação com os participantes do Porto. Isso pode ser explicado pelo fato de ser comum as pessoas idosas irem residir com familiares, além de ser relativamente mais fácil e comum construir casas em zonas rurais, devido aos preços mais baixos dos terrenos em comparação com as áreas urbanas, e a um setor da venda imobiliárias praticamente inexistente. No caso do inquérito do Porto, há uma distribuição maior nos anos de construção das habitações, com uma predominância de edifícios construídos antes de 1990, provavelmente devido à forte presença de edifícios vagos e à falta de espaço para a construção de novos edifícios. A presença de edifícios mais recentes em Chaves reflete-se em outras características das habitações, pois menos da metade delas sofreram intervenções de qualquer tipo, quase todas têm vidros duplos nos vãos envidraçados e a grande maioria possui aquecimento central conseguido com recuperadores de calor (considerando que a percentagem de habitações com lareira e aquecimento central são próximas e, com base em observação e diálogo com os moradores, pressupõe-se que o aquecimento central seja obtido com o uso de recuperadores de calor). No entanto, dado que a maioria das habitações foram construída após a aparição do primeiro regulamento de térmica de edifícios, seria de esperar que houvesse mais habitações com isolamento térmico e menos de um terço possui ventilação de qualquer tipo. No Porto, devido à antiguidade das habitações, mais de dois terços sofreram intervenções de qualquer natureza. Metade das habitações não possui isolamento térmico e ainda existe um número significativo de habitações com vidro simples nos vãos, predominando a caixilharia em madeira para esses vidros. Ao contrário de Chaves, apenas um terço das famílias que participaram nos questionários do Porto não possuem ventilação nos seus domicílios, sendo que, em alguns casos, a ventilação é mecânica. A maioria das residências possuem lareiras e/ou aparelhos móveis, como aquecedores elétricos ou a gás. Além disso, existem casos em que não há nenhum tipo de aquecimento, assim como são poucos os casos em que existe aquecimento central.

Quanto aos hábitos de utilização dos sistemas de aquecimento, na maioria dos casos, o aquecimento utilizado de forma frequente a partir de novembro, cerca de dois meses após o início da estação de aquecimento considerada nos regulamentos de eficiência energética, e o último mês de aquecimento costuma ser fevereiro para o Porto e março para Chaves, enquanto que o regulamento prevê o fim da estação de aquecimento em maio. Além disso, existe alguma frequência na utilização de aquecimento em março para o Porto e em outubro para Chaves. Quanto à frequência de aquecimento, verificam-se diversas situações no Porto, desde famílias que nunca utilizam sistemas de aquecimento até famílias que os utilizam todos os dias. Em Chaves, a situação mais comum é aquecer todos os dias ou várias vezes por semana. Por fim, o número diário de horas de aquecimento também é diferente nas duas zonas. No Porto, além das famílias que não aquecem (mais de um quarto das respostas), a maioria das pessoas utiliza o sistema de aquecimento durante 2 ou 4 horas (média diária), enquanto que em Chaves as habitações são aquecidas cerca de 4 ou 8 horas. Essas diferenças na duração e frequência do aquecimento podem ser atribuídas a dois motivos: o clima exterior e o acesso a diferentes fontes de energia. Considerando que o clima de inverno na região de Chaves (zona climática I3) é mais severo do que na região do Porto (zona climática I1), é expectável que as famílias em Chaves utilizem com mais frequência e por mais tempo os sistemas de aquecimento. Quanto à fonte de energia, conforme indicado pelos resultados do inquérito, a maioria das habitações em Chaves utiliza lareira com recuperador de calor e, por consequência, biomassa como fonte de energia, que é mais barata (em torno de 0,04 €/kWh para a lenha) do que a eletricidade (cerca de 0,22 €/kWh) ou o gás natural (cerca de 0,09 €/kWh), além da sua aquisição ser mais fácil e económico por se tratar de uma área rural.

No Porto, apesar de existirem muitas habitações com lareiras (cerca de metade), a dificuldade na obtenção de lenha, juntamente com um grande número de habitações com aparelhos de aquecimento móveis, sugere que o aquecimento é feito principalmente com fontes de energia elétrica e gás natural, que são mais caras do que a biomassa.

Por último, este inquérito também permitiu perceber como as famílias utilizam os sistemas de aquecimento nas diversas divisões e em função da ocupação destas. Embora não haja um número significativo de respostas que permitam criar um perfil de ocupação e utilização dos sistemas de aquecimento da habitação, pode-se concluir que, geralmente, as famílias utilizam os sistemas de aquecimento de noite, com início entre as 16h e as 18h e fim entre as 0h e as 2h (valores válidos principalmente para os quartos e a sala). Além disso, a utilização do aquecimento também é influenciada pelas horas de ocupação das divisões. No caso da sala o aquecimento é desligado perto das 22h, enquanto nos quartos é mantido em funcionamento até depois da meia-noite, o que correspondendo às horas em que os residentes vão dormir.

3.6. SÍNTESE

Neste capítulo, foi apresentado um inquérito sobre as condições de conforto térmico com o objetivo de obter dados que ajudem a compreender a prática de aquecimento intermitente, informação essencial para desenvolver uma análise da flutuação da temperatura em regime dinâmico.

Ao longo do capítulo foi apresentada a estrutura do questionário, explicando a finalidade de cada pergunta, caracterizou-se a amostra e analisou-se os resultados.

A amostragem para os questionários do Porto foi conduzida de forma não probabilística, selecionando participantes com conhecimentos técnicos relevantes, visando obter respostas mais verídicas em relação a questões técnicas específicas. Em contrapartida, a amostragem em Chaves foi aleatória, tendo sido apoiado os participantes na resposta de questões mais técnicas.

Os resultados observados no Porto assemelham-se aos dos Censos 2021, tanto ao nível da antiguidade das construções quanto aos sistemas de aquecimento utilizados. Além disso, as conclusões sobre os hábitos de aquecimento de ambas as zonas coincidem com as observações feitas no capítulo anterior.

Além de refletir as conclusões do Capítulo 2, este inquérito permitiu perceber que a prática de aquecimento intermitente é algo que (potencialmente) ocorre em todo o país, embora a duração do aquecimento possa variar em função da zona. Percebeu-se que a maioria das famílias aquecem apenas 2 ou 4 horas, enquanto em zonas climáticas mais frias, o aquecimento pode chegar a 8 horas de funcionamento. Essa diferença pode dever-se não só à severidade do clima, mas também ao acesso a diferentes fontes de energia, como é o caso de Chaves, onde a maioria das habitações possui recuperadores de calor e lareiras, devido à facilidade de acesso à biomassa nas áreas rurais em comparação com grandes cidades, como o Porto.

Por fim, mesmo que os dados sobre a ocupação e horas de aquecimento das divisões não sejam muito abrangentes nem rigorosos devido ao número limitado de respostas obtidas, permitiu auxiliar na criação de um perfil de utilização de habitação, algo necessário para o desenvolvimento do estudo e que poderá influenciar os resultados obtidos.

4

METODOLOGIA PARA QUANTIFICAÇÃO DA VARIAÇÃO DINÂMICA DA TEMPERATURA

4.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo, será explicado o método utilizado para analisar o impacto das intervenções em edifícios na sua qualidade higrotérmica. Ao longo do capítulo, será apresentada a ferramenta de simulação higrotérmica utilizada, assim como os critérios adotados para selecionar a fração tipo. Também será feita uma descrição da fração tipo, abordando os aspetos construtivos e arquitetónicos, além de apresentar os perfis de ocupação, ventilação e uso dos sistemas de aquecimento ambiente e proteção solar. Serão ainda abordados os diferentes cenários de intervenção que foram testados.

As escolhas dos diferentes perfis de utilização da habitação levaram em consideração as conclusões da análise dos hábitos de aquecimento em Portugal, utilizando os dados recolhidos e apresentados no Capítulo 3.

Quanto aos cenários, estes envolvem a alteração dos componentes construtivos do edifício, como o isolamento das paredes e da cobertura, a substituição dos vãos envidraçados, bem como a variação das horas de funcionamento dos sistemas de aquecimento e a alteração da posição do edifício segundo as quatro orientações principais. Além disso, foram realizadas simulações em diferentes zonas climáticas, a fim de compreender a necessidade de adaptar os edifícios às regiões e climas. Também foram testados cenários com frações localizadas em diferentes posições do edifício, como no piso intermédio e no piso de cobertura, para entender as diferenças que duas frações com interiores idênticos e pertencentes ao mesmo edifício podem apresentar níveis de conforto diferentes.

De seguida, encontra-se esquematizado o procedimento seguido para quantificar a variação dinâmica da temperatura nos diferentes cenários testados. O esquema indica os principais parâmetros exigidos pelo WUFI® Plus para simular numericamente um modelo de uma habitação, considerando a sua geometria, propriedades físicas, utilização, entre outros. A partir desse modelo, uma das condições simuladas é a flutuação da temperatura nas zonas de estudo, com base nos parâmetros de entrada definidos anteriormente, durante um período de um ano. Os resultados horários da temperatura são exportados do programa de simulação para uma folha de cálculo, onde os dados são processados para obter o valor do IDP para esse cenário. Para testar um novo cenário, é alterado um dos parâmetros de entrada do WUFI® Plus e é repetido o procedimento até obter IDP correspondente ao novo cenário.

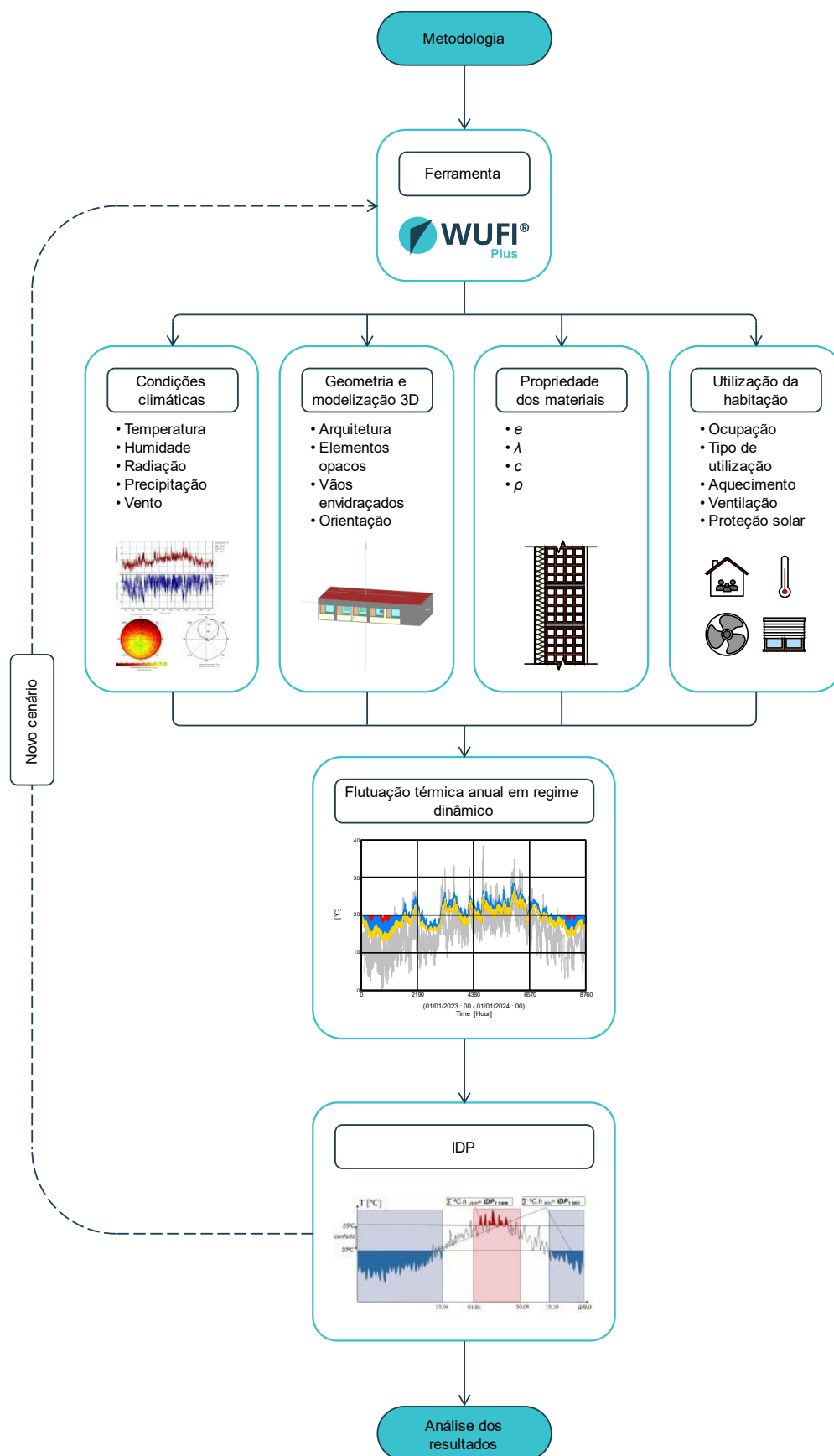


Fig. 4.1 – Procedimento seguido para a quantificação do IDP para cada cenário

4.2. SELEÇÃO DA FERRAMENTA PARA SIMULAÇÃO HIGROTÉRMICA

O software WUFI® Plus foi utilizado para realizar simulações hidrotérmicas neste trabalho por três motivos principais:

- A primeira razão é a sua confiabilidade, que já foi comprovada por diversos estudos e pesquisas (Coelho et al., 2019; Freitas & Ferreira, 2018; Magalhães, 2020);
- A segunda razão é a sua interface amigável, que facilita o uso e a compreensão dos resultados em comparação com outros programas de simulação, como o EnergyPlus;
- A terceira razão é a facilidade de suporte, pois os professores, pesquisadores e engenheiros da FEUP que trabalham com simulações hidrotérmicas têm experiência na utilização deste software.

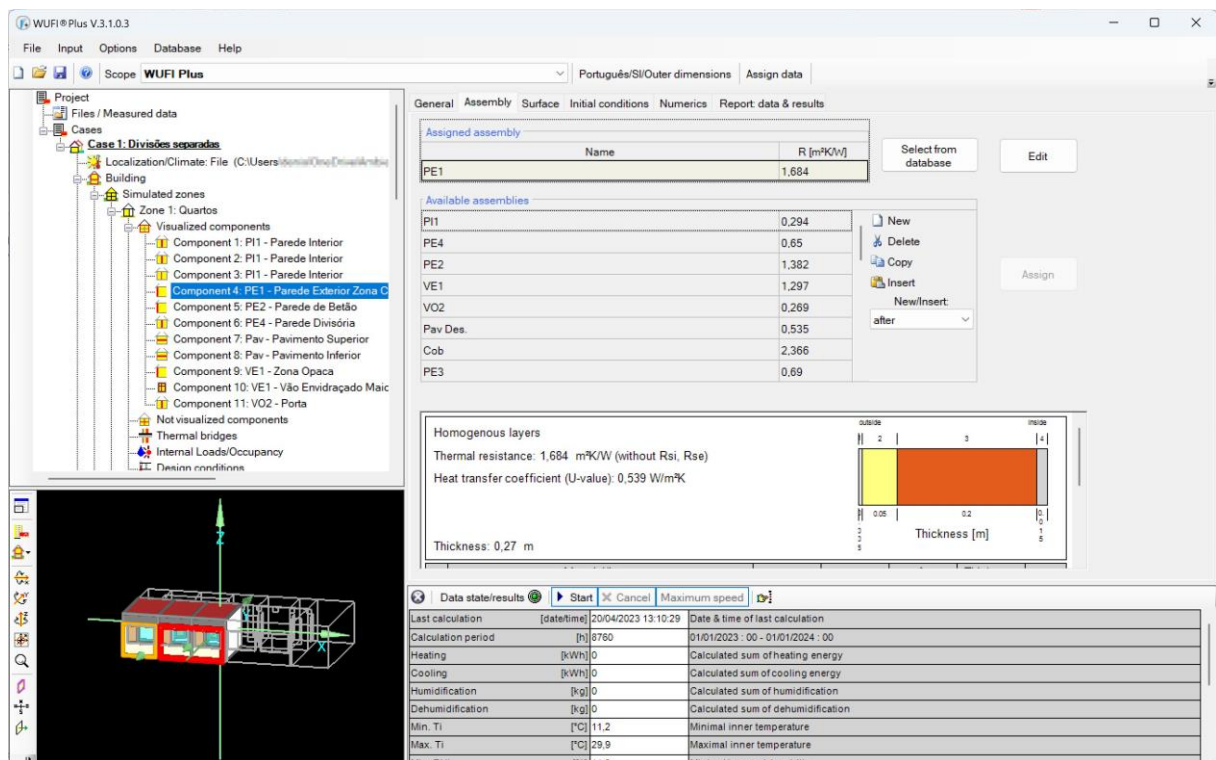


Fig. 4.2 – Interface do WUFI® Plus

Para realizar as simulações neste programa, foi necessário introduzir as seguintes informações:

- Dados climáticos;
- Geometria e orientação do edifício ou da fração;
- Características dos componentes, como espessuras (e), densidade (ρ), condutividade térmica (λ), calor específico (c) e outras propriedades;
- Perfil de utilização da habitação para os ganhos internos;
- Perfil de utilização de sistemas de aquecimento;
- Perfil de ventilação;
- Perfil de utilização de proteção solar.

Para este estudo os resultados pretendidos das simulações numéricas deste software são a flutuação térmica da habitação e o consumo de energia para aquecimento. Porém o programa permite a simulação de uma variedade de parâmetros tanto do comportamento higrotérmico do edifício como outros parâmetros relevantes para a avaliação do conforto e saúde. O programa ainda integra alguns modelos para a avaliação do conforto térmico como o modelo de conforto adaptativo da norma EN 15251 ou o modelo PMV/PPD. Além de permitir a visualização das simulações, o programa permite a exportação dos dados pretendidos para uma folha de cálculo.

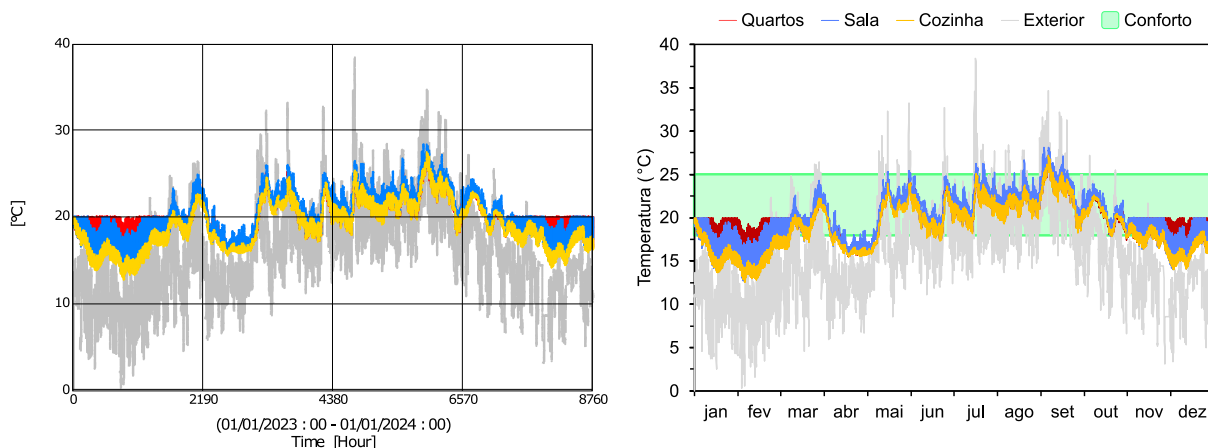


Fig. 4.3 – Exemplo de visualização da flutuação da temperatura no WUFI® Plus (esquerda) e gráfico resultante do tratamento de dados numa folha de cálculo (direita)

Nos subcapítulos seguintes, serão explicadas as escolhas desses tópicos para a obtenção das simulações.

4.3. SELEÇÃO DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO DO DESCONFORTO TÉRMICO

Os resultados das simulações higrotérmicas realizadas pelo WUFI® Plus são apenas gráficos, o que dificulta a comparação visual de dois cenários diferentes. Consequentemente, é impossível obter conclusões para os cenários todos apenas através da análise visual dos gráficos. Para contornar este problema, foi necessário exportar os dados de flutuação de temperatura obtidos do programa de simulação higrotérmica e tratá-los de forma a poder quantificar o conforto/desconforto em cada simulação realizada. Para quantificar o impacto das alterações feitas aos elementos da envolvente, optou-se por adaptar o IDP_1 apresentado no Subcapítulo 2.3.2.3. Ao longo desta dissertação, este índice será referido como IDP.

As considerações e adaptações feitas deste método de avaliação do desconforto térmico foram as seguintes:

- Considerou-se que o período de inverno corresponde ao período de 1 de outubro a 31 de maio, em vez de 15 de outubro a 15 de abril, e a período de verão corresponde na mesma ao período de 1 de junho a 30 de setembro;
- No inverno considerou-se o limite inferior da norma portuguesa para o conforto térmico, ou seja, considerou-se 18 °C a temperatura mínima de conforto, em vez de 20 °C, e no verão considerou-se na mesma os 25 °C como a temperatura máxima de conforto.

A opção de consideração de um período mais alargado do inverno foi para permitir uma avaliação do conforto térmico ao longo de todo o ano, que poderá ter alguma influência nos climas mais frios de Portugal.

Quanto à escolha de um limite da temperatura mínima inferior ao proposto pela autora, esta escolha deveu-se ao facto que maioria das pessoas aquecem muito pouco as suas habitações, estando familiarizados com a utilização de outros métodos para se manterem quentes quando as temperaturas são baixas, como a utilização de mais roupa dentro de casa, ou a utilização de cobertores.

Foi ainda feita uma segunda quantificação deste índice tendo sido considerado outros limites para o conforto térmico. Na segunda quantificação foi considerada uma adaptação dos limites de conforto adaptativo da EN 16798. Os limites considerados da norma foram os seguintes:

- Para o inverno foram considerados os limites da categoria III para edifícios com sistemas de aquecimento ambiente ativos;
- Para o verão foram considerados os limites da categoria III.

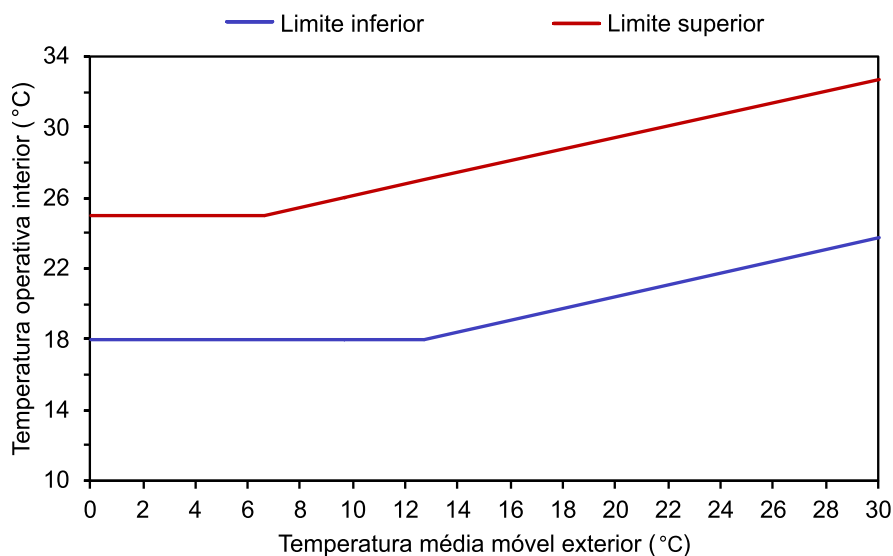


Fig. 4.4 – Limites considerados na quantificação pelo IDP com o modelo de conforto, adaptativo de CEN/TC 156 (2019)

A seleção dos limites categoria III da norma europeia deveu-se a que os limites para a estação de aquecimento (limites para ambientes climatizados) desta categoria coincidem com os limites de conforto da norma portuguesa. Apesar dos limites do conforto adaptativo da norma serem aplicáveis apenas para uma temperatura média móvel exterior compreendidas entre 10 °C e 30 °C, de modo a evitar ambiguidades na quantificação do IDP, foram prolongados estes limites até se intercetarem com os limites para a estação de aquecimento. Prevê-se que esta adaptação não terá grande impacto na quantificação do IDP uma vez que como as habitações são pouco aquecidas, dificilmente o limite superior será alcançado na estação de aquecimento e na estação de arrefecimento dificilmente a temperatura média móvel exterior será inferior a 10 °C. Quanto ao limite inferior de verão este continua compreendido no intervalo de valores para o qual a curva de conforto adaptativo é válido, tendo apenas sido considerado um limite de conforto mais restritivo.

Por último, foi ainda contabilizado um IDP durante o dia todo e outro nos momentos do dia em que a habitação está ocupada. Como as habitações em portuguesas são aquecidas de forma intermitente e, na maioria das vezes, o aquecimento é ligado apenas enquanto os moradores estão em casa, a avaliação do desconforto nas horas em que a habitação é ocupada torna-se mais realista e os resultados não são tão influenciados pelos períodos do dia em que a casa não é aquecida e que os residentes não se encontram na habitação.

4.4. DADOS CLIMÁTICOS

A vantagem da utilização de ferramentas de simulação como o WUFI® Plus é que permitem a simulação do comportamento higrotérmico de um edifício modelizado e obter resultados próximos aos que se poderia obter em medições feitas num edifício real. Porém, para a obtenção de resultados similares não basta modelizar um edifício com as mesmas características que o edifício real em estudo, também é necessário introduzir fatores externos ao edifício que vão influenciar o comportamento higrotérmico deste. Estes fatores externos são a temperatura exterior, a radiação solar, a precipitação, a intensidade e direção do vento, entre outros fatores climáticos próprios da localização do edifício. Para introduzir estes fatores externos no programa de simulação é possível selecionar uma região da base de dados do WUFI® Plus ou introduzir manualmente um ficheiro climático criado com os registos de estações meteorológicas.

Para este estudo optou-se por utilizar um ficheiro climático criado por Ferreira (2015) a partir dos dados climáticos registados pela Estação Meteorológica do Laboratório de Física das Construções (LFC) do Departamento de Engenharia Civil (DEC) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), no âmbito da sua tese de doutoramento.



Fig. 4.5 – Estação meteorológica do LFC/FEUP

A utilização de dados climáticos da zona do Porto permite a realização de um estudo da fração próximo do real uma vez que o clima da Maia (localização do edifício estudado) é similar ao do Porto. Além disso, a zona climática de inverno do Porto é I1 que é representativa de grande parte do território nacional. Assim sendo, as conclusões retiradas podem ser facilmente aplicadas em outros locais com a mesma zona climática.

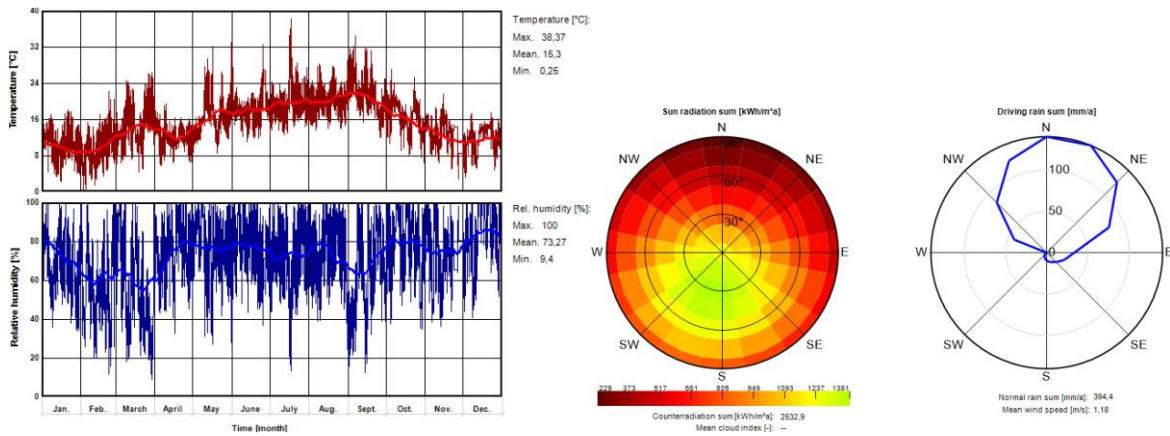


Fig. 4.6 – Visualização gráfica do ficheiro climática do Porto no WUFI® Plus

Para além do clima do Porto, que corresponde às zonas climáticas de inverno e verão de I1 e V2, respetivamente, foi ainda utilizado um ficheiro climático de Bragança, que corresponde às zonas climáticas I3 e V1, para poder comparar com os resultados obtidos para o Porto e entender se é possível aplicar as mesmas conclusões ou se é possível relacioná-las com zonas climáticas mais severas. O ficheiro climático de Bragança utilizado no presente estudo foi disponibilizado pelo professor doutor Vasco Peixoto de Freitas.

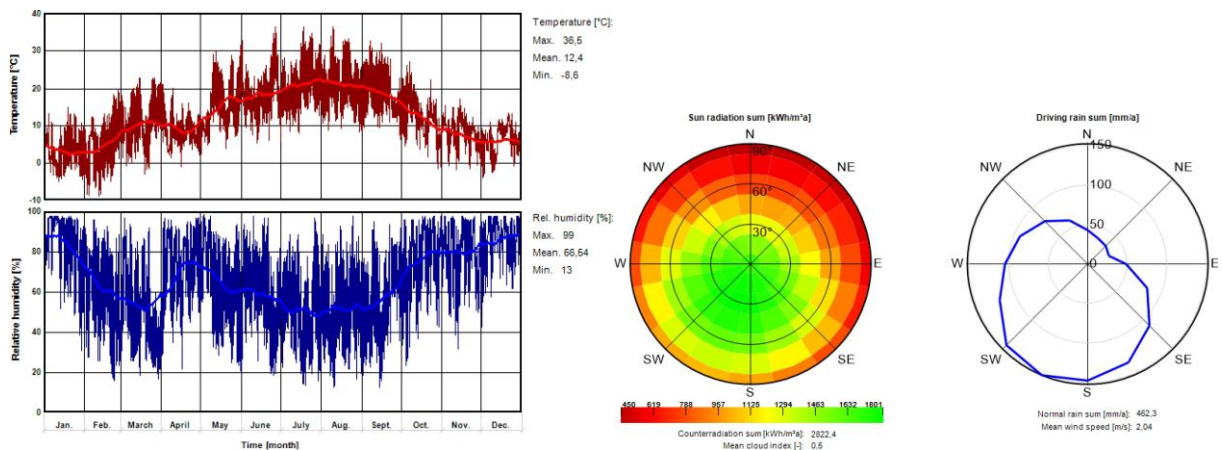


Fig. 4.7 – Visualização gráfica do ficheiro climático de Bragança no WUFI® Plus

Além destes ficheiros climáticos, foi ainda necessário criar um ficheiro climático para caracterizar o clima da caixa de escadas. Como a caixa de escadas é um espaço não aquecido e ventilado significa que a flutuação da temperatura no seu interior acompanha as variações da temperatura exterior. Além disso, como possui vãos envidraçados, esta vai ser aquecida pelos ganhos solares, tanto no verão quanto no inverno. Desta forma optou-se por considerar que a temperatura na caixa de escadas estaria 4 °C acima da temperatura exterior, independentemente da estação.

Para obter esse ficheiro climático foram utilizadas as temperaturas exteriores dos ficheiros climáticos originais (Porto e Bragança), adicionou-se os 4 °C e calculou-se a humidade relativa correspondente com recurso às fórmulas seguintes:

$$p_{sat} = \begin{cases} 611 \cdot \exp\left(\frac{17,08 \cdot T}{234,18 + T}\right), & \text{para } t \geq 0^\circ\text{C} \\ 611 \cdot \exp\left(\frac{22,44 \cdot T}{272,44 + T}\right), & \text{para } t < 0^\circ\text{C} \end{cases} \quad (8)$$

$$p_{sat}(T_{po}) = p_v \quad (9)$$

$$HR = \frac{p_v}{p_{sat}} \quad (10)$$

Em que:

T é a temperatura do ar, em °C;

T_{po} é a temperatura de ponto de orvalho, em °C;

p_v é a pressão parcial do vapor de água contido no ar;

p_{sat} é a pressão de saturação, em Pa;

HR é a humidade relativa, em %.

Uma vez obtidos os dados de temperatura e humidade numa folha de cálculo, foram exportados os dados para um ficheiro climático compatível com o WUFI® Plus.

4.5. TIPIFICAÇÃO DAS FRAÇÕES EM ESTUDO

4.5.1. DESCRIÇÃO DA FRAÇÃO

4.5.1.1. Apresentação do edifício e zonas de estudo

Para a tipificação da fração habitacional a estudar, optou-se por utilizar uma planta já existente em vez de criar um modelo de teste. Esta escolha permite obter resultados mais realistas e, no caso de se tratar de uma planta de um edifício existente, pode permitir, futuramente, a realização de medições e comparação/adaptação do modelo simulado ao edifício real.

O modelo a simular teve por base o projeto de Arquitetura de "João Álvaro Rocha - Arquitetos, LDA." do bloco A1 do conjunto habitacional de Moreira I, na Maia (Figura 4.8). Foi ainda possível ter acesso ao projeto de térmica original disponibilizado pelo professor doutor Vasco Peixoto de Freitas.

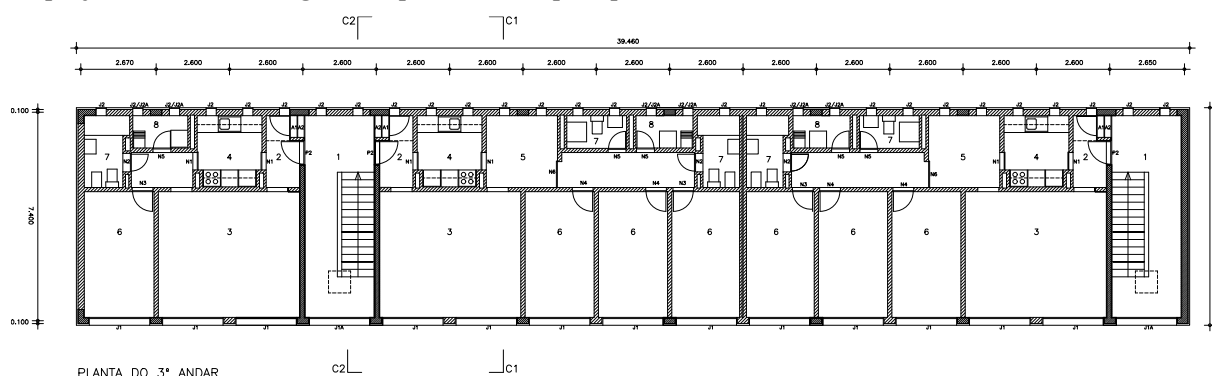


Fig. 4.8 – Planta do 3º andar do bloco A1 do conjunto habitacional de Moreira I, Maia

Foi escolhida uma planta de um edifício de habitação social por ser uma habitação destinada a pessoas com poucos meios, dando acesso a uma habitação digna com uma renda baixa. Estas pessoas são as mais propícias a sofrerem de pobreza energética, ou seja, são as que possuem mais dificuldades para manter uma temperatura adequada da habitação, afetando a saúde e bem estar. Apesar desta escolha, prevê-se que os resultados deste estudo sejam aplicáveis em qualquer tipo de habitação e classe social.

Este edifício corresponde a um edifício de habitação social, com quatro andares, dos quais o primeiro é destinado a garagem e os restantes a apartamentos. O edifício tem um T1 (norte) e dois T3 (sul) por andar (com exceção do rés-do-chão), com caixa de escadas a norte e sul dos apartamentos T3. Os apartamentos T1 têm um quarto, uma sala, uma cozinha, uma casa de banho e uma lavandaria. Os apartamentos T3 têm três quartos, uma sala, uma cozinha, uma casa de banho, uma lavandaria e um espaço complementar. A garagem (no rés-do-chão) tem 10 lugares individuais e 12 arrumos.

Dentro deste edifício, foram escolhidas as frações sul (T3) do piso intermédio (segundo andar) e do piso de cobertura (terceiro andar), de modo a permitir estudar a influência no conforto térmico da posição da habitação no edifício (Figura 4.9).



Fig. 4.9 – Localização das frações estudadas: piso intermédio (alçados esquerdos), piso de cobertura (alçados direitos) e localização da fração em planta.

Tendo em conta o perfil de utilização, a fração em estudo foi dividida em 3 partes (Fig. 4.10) para permitir um estudo mais detalhado e adaptado ao perfil de utilização. As zonas de estudo foram as seguintes:

- i. Quartos: nesta zona foram agrupados todos os quartos.
- ii. Sala: esta zona corresponde apenas à sala.
- iii. Cozinha: nesta zona foram incluídas as restantes divisões por não possuírem aquecimento (com exceção da casa de banho), com principal foco na cozinha por ser o compartimento mais utilizado a seguir aos quartos e à sala.

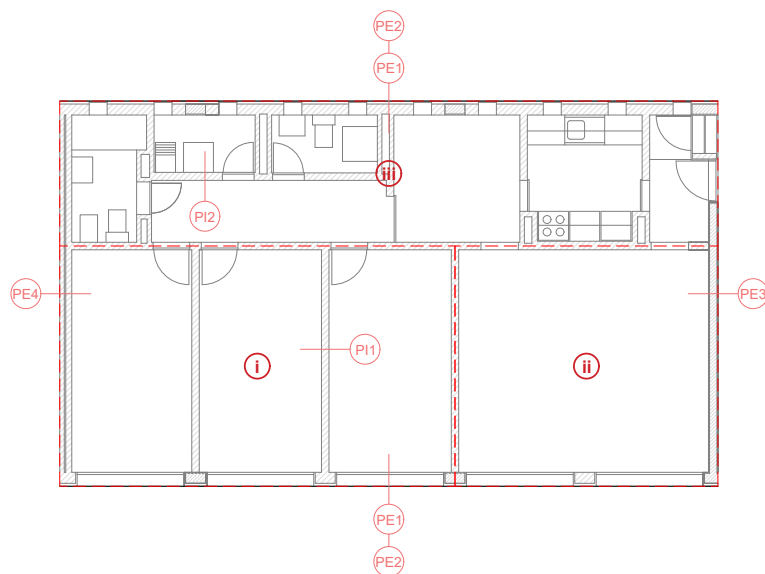


Fig. 4.10 – Divisão da planta em zonas de estudo e localização dos componentes verticais

4.5.1.2. Componentes e propriedades térmicas

No caso deste edifício, as fachadas principais (a este e oeste) são em alvenaria de tijolo cerâmico dupla confinado na estrutura de betão armado, as paredes da caixa de escadas são em betão armado e o tipo de cobertura é plana invertida (isolamento térmico sobre o sistema de impermeabilização). O projeto do edifício é de 1997, mas já utilizou um sistema de isolamento pelo exterior (ETICS), com 5 cm de espessura de isolamento térmico, superior ao padrão da época em termos de requisitos térmicos.

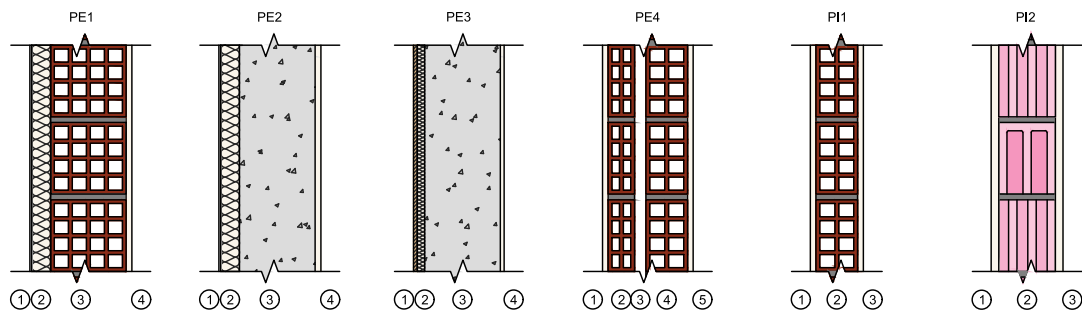


Fig. 4.11 – Representação dos elementos opacos verticais

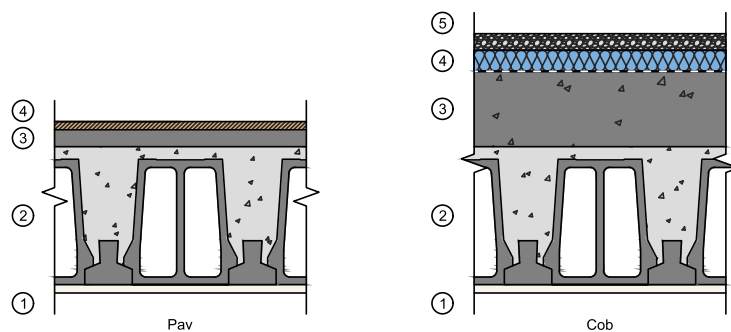


Fig. 4.12 – Representação dos elementos opacos horizontais

As propriedades dos materiais utilizados foram as seguintes:

Tabela 4.1 – Propriedades dos materiais dos elementos opacos verticais

Núm.	Material	e [m]	λ [W/(m·°C)]	c [J/(kg·K)]	ρ [kg/m³]
PE1 – Parede exterior					
1	Revestimento do sistema ETICS	0,005	1,15	840	1700
2	Isolamento térmico em EPS	0,050	0,04	1500	20
3	Tijolo cerâmico furado	0,200	0,48 ⁷	900	790
4	Reboco interior	0,015	1,15	900	1900
PE2 – Envolvente exterior – ponte térmica plana					
1	Revestimento do sistema ETICS	0,005	1,15	840	1700
2	Isolamento térmico em EPS	0,050	0,04	1500	20
3	Betão normal	0,200	1,75	900	2200
4	Reboco interior	0,015	1,15	900	1900
PE3 – Parede divisória entre a habitação e a caixa de escadas					
1	Madeira	0,010	0,15	1880	500
2	Isolamento térmico em EPS	0,020	0,04	1500	20
3	Betão normal	0,200	1,75	900	2200
4	Acabamento à base de ligantes hidráulicos	0,010	1,15	900	1900
PE4 – Parede divisória entre as duas habitações T3					
1	Reboco interior	0,015	1,15	900	1900
2	Tijolo cerâmico furado	0,070	0,37 ⁷	900	910
3	Camada de ar	0,030	0,18 ⁷	1000	1,3
4	Tijolo cerâmico furado	0,110	0,41 ⁷	900	820
5	Reboco interior	0,015	1,15	900	1900
PI1 – Parede interior					
1	Reboco interior	0,015	1,15	900	1900
2	Tijolo cerâmico furado	0,110	0,41 ⁷	900	820
3	Reboco interior	0,015	1,15	900	1900

⁷ Valor obtido a partir da resistência térmica, R , do material/elemento.

Núm.	Material	e [m]	λ [W/(m·°C)]	c [J/(kg·K)]	ρ [kg/m³]
PI2 – Parede interior da lavandaria					
1	Acabamento à base de ligantes hidráulicos	0,020	1,15	900	1900
2	Alvenaria de betão	0,150	0,24	850	650
3	Acabamento à base de ligantes hidráulicos	0,020	1,15	900	1900

Tabela 4.2 – Propriedades dos materiais dos elementos opacos horizontais

Núm.	Material	e [m]	λ [W/(m·°C)]	c [J/(kg·K)]	ρ [kg/m³]
Pav – Pavimento					
1	Acabamento à base de gesso	0,020	0,35	1000	900
2	Laje aligeirada – fluxo ascendente	0,330	1,14 ⁸	1000	1200
3	Camada de regularização	0,040	1,15	850	1900
4	Revestimento de piso	0,020	0,13	1880	500
Pav – Cobertura					
1	Acabamento à base de gesso	0,020	0,35	1000	900
2	Laje aligeirada	0,330	1,22 ⁸	1000	1200
3	Camada de regularização	0,040	1,15	850	1900
4	Revestimento de piso	0,020	0,13	1880	500
Cob – Cobertura					
1	Acabamento à base de gesso	0,020	0,35	1000	900
2	Laje aligeirada	0,330	1,22 ⁸	1000	1200
3	Camada de forma em betão leve	0,180 ⁹	0,33	1000	1100
4	Isolamento térmico em XPS	0,050	0,035	1470	28,6
5	Godo	0,040	0,70	700	1500

⁸ Valor obtido a partir da média ponderada das resistências térmicas com fluxo de calor ascendente e descendente, R_{asc} e R_{des} , do material/elemento.

⁹ Valor da espessura média da camada.

Uma vez que o WUFI® Plus utiliza apenas os valores da transmissibilidade térmica, λ , e não os da resistência térmica, R , recorreu-se à Fórmula 11 para obter o valor de λ a partir de R e da espessura, e , da camada.

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (11)$$

Os valores da transmissibilidade e resistência térmica foram baseados no projeto original de térmica. As outras propriedades necessárias para o programa realizar as simulações higrótérmicas foram obtidas de várias fontes. Para o calor específico, c , usou-se como referência as tabelas de propriedades disponibilizadas no anexo da tese de doutoramento de Mendonça (2005), a base de dados do WUFI®, e também as tabelas publicadas pela Bruxelles Environnement (2019) e pela Região Valónia no seu site Énergie+ (2007). Para a massa volúmica, ρ , os valores foram baseados no ITE 50 (Santos & Matias, 2006) e nas tabelas de Mendonça, com exceção da laje aligeirada cuja massa volúmica foi calculada com base no valor do peso próprio retirado das tabelas do DH 895 (LNEC, 2008). Para as propriedades restantes (que não estão presentes nas tabelas anteriores) foram usados valores da base de dados do WUFI®.

Tendo em conta os materiais dos componentes e o tipo de espaço que estes separam (espaço exterior, espaço interior aquecido ou espaço interior não aquecido) foram obtidos os seguintes valores de U :

Tabela 4.3 – Valor de U obtidos no WUFI® Plus para os componentes do edifício

Componente	U [W/(m ² ·°C)]
PE1	0,54
PE2	0,64
PE3	1,05
PE4	1,01
PI1	1,80
PI2	1,09
Pav	1,14 ¹⁰ 1,40 ¹¹
Cob	0,40

Relativamente aos vãos envidraçados, este edifício possui dois tipos de vãos distintos nas fachadas a nascente e a poente (Figura 4.13). Os vãos da fachada a nascente são de dimensões reduzidas (0,36×0,36 m²) em caixilharia de ferro e vidro simples (incolore 6 mm), sem proteção solar. Os vãos da fachada a poente têm dimensões de 2,14×1,41 m², com caixilharia em madeira e vidro simples, com portadas interiores de madeira. Além disso, este vão é dividido em duas partes: uma opaca e envidraçada. A parte opaca é em contraplacado de madeira, com 3 cm de isolamento térmico em XPS no interior. A largura deste vão opaco é de aproximada 0,80 m e não possui proteção solar nesta parte. O vidro da parte envidraçada, tem dimensões de 1,20×1,20 m² (excluindo caixilharia).

¹⁰ Componente como pavimento (fluxo de calor descendente no inverno).

¹¹ Componente como cobertura (fluxo de calor ascendente no inverno).

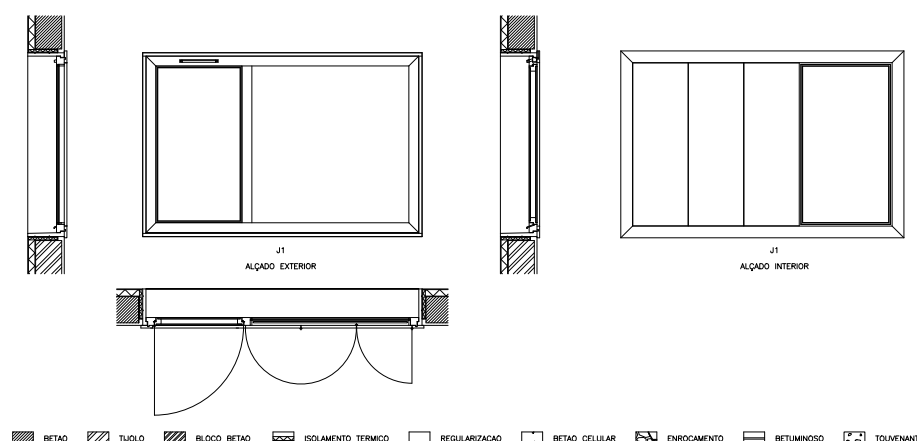


Fig. 4.13 – Representação dos vãos da fachada poente

A fim de integrar os vãos envidraçados da fachada poente no modelo a simular, decidiu-se dividir os vãos nas suas partes opacas e envidraçadas, de forma que as proteções solares só sejam ativadas na parte envidraçada. Para tal, fez-se uma pequena dedução e simplificação do vão. A Tabela 4.4 mostra os valores usados e considerados para os vãos, bem como as outras propriedades relevantes para o cálculo.

Tabela 4.4 – Propriedades dos vãos envidraçados

Vão	Descrição	U ou U_w [W/(m ² ·°C)]	$g_{l,vi}$	$g_{tot,vc}$
VE1	Vão envidraçado da fachada poente	3,7	0,85	0,30
VE1e	Parte envidraçada do vão da fachada poente	5,10	0,85	0,30
VE1o	Parte opaca do vão da fachada poente	0,68	—	—
VE2	Vão envidraçado da fachada nascente	5,8	0,85	—

4.5.2. APRESENTAÇÃO DAS INTERVENÇÕES

4.5.2.1. Código para identificação dos cenários

Para avaliar o impacto das intervenções na envolvente do edifício, foi necessário definir outros cenários além do cenário base. Para identificar cada cenário foi utilizado o seguinte código:

Grupo I: Clima, orientação e posição do apartamento

- Clima exterior: *P* para Porto e *B* para Bragança;
- Orientação: *N* para norte, *S* para sul, *E* para este e *O* para oeste;
- Posição do apartamento: *I* para piso intermédio e *C* para piso de cobertura.

Grupo II: Intervenções na envolvente

- Elemento da envolvente exterior: *P* para paredes, *C* para cobertura e *V* para vãos envidraçados;
- Espessura do isolamento: 00 para nenhum, 05 para 5 cm, 07 para 7 cm e 11 para 11 cm;
- Posição do isolamento térmico: *i* para interior, *e* para exterior e *d* para parede dupla;
- Tipo de vidro: *s* para simples e *d* para duplo;
- Posição da proteção solar: *i* para interior e *e* para exterior.

Grupo III: Tempo de funcionamento do aquecimento

- Número de horas de aquecimento: 00, 02, 04, 06, 08, 16 ou 24

Exemplo:

PNC-P05iC05eVsi-02

Este código refere-se a um apartamento no Porto com orientação norte, situado no piso de cobertura (PNC-P05iC05eVsi-02), com 5 cm de isolamento térmico no interior da parede (PNC-P05iC05eVsi-02), 5 cm de isolamento no exterior da cobertura (PNC-P05iC05eVsi-02), com vidro simples e proteção solar interior (PNC-P05iC05eVsi-02) e com 2 horas de aquecimento por dia (PNC-P05iC05eVsi-02).

A omissão de partes do código deverá ser considerada que as partes em falta fazem referência ao edifício no seu estado original (com exceção da orientação e horas de aquecimento), ou seja, Pxi-P05eVsi-xx. Por exemplo, PNI-P07eVsi-08 pode ser escrito da forma N-P07e-08. Caso se faça referência à cobertura ou ao piso de cobertura deverá assumir-se o código PxC-P05eC05eVsi-xx para os elementos em falta.

4.5.2.2. Alteração de elementos da envolvente

Considerando que o edifício fosse construído de acordo com o regulamento de térmica atual, este deveria atender aos requisitos mínimos de coeficiente de transmissão térmica (U) para a envolvente. Os valores de U exigidos pelo regulamento para a envolvente exterior vertical são, respetivamente, 0,50 e 0,35 para as zonas climáticas I1 e I3. Com base nesses valores, foram criados dois cenários: um cenário que atende aos requisitos mínimos para a zona climática I1 e outro cenário que atende aos requisitos mínimos para a zona climática I3.

No caso do edifício original, o isolamento térmico já possuía uma espessura bastante elevada para os padrões da época. Para atender aos requisitos mínimos da zona climática I1, bastou acrescentar 1 cm de isolamento térmico. No entanto, para o primeiro cenário proposto, optou-se por adicionar 2 cm de isolamento térmico (totalizando 7 cm). Assim, obteve-se um valor de U inferior a 0,50 W/(m²·°C) para toda a envolvente opaca exterior, incluindo PTP. O segundo cenário consistiu em aumentar a espessura do isolamento térmico de 6 cm (totalizando 11 cm) e desta forma obter um U inferior a 0,35 W/(m²·°C), embora fosse possível cumprir os requisitos mínimos para a zona climática I3 aumentando apenas de 4 cm.

Tabela 4.5 – Componentes alterados para o cenário 1 (P07e)

Componente alterada	U [W/(m ² ·°C)]	Valor original
PE1	0,42	0,54
PE2	0,49	0,64

Tabela 4.6 – Componentes alterados para o cenário 2 (P11e)

Componente alterada	U [W/(m ² ·°C)]	Valor original
PE1	0,30	0,54
PE2	0,33	0,64

Para além de aumentar a espessura, foram ainda criados cenários onde se alterou a posição do isolamento, do exterior para o interior, de modo a entender as vantagens e desvantagens da alteração da inércia térmica no conforto térmico assim como o impacto que as pontes térmicas têm nas perdas de calor da habitação. Desta forma, foram criados mais 3 cenários com os mesmos valores de U do cenário original (P05e) e dos cenários 1 (P07e) e 2 (P11e), porém com o isolamento na face interior da habitação.

Como analisado no Subcapítulo 2.4.1, há muitos edifícios com grandes necessidades de reparação e que têm um baixo desempenho energético, pois a maior parte do parque habitacional foi construída antes do primeiro regulamento de térmica. Perante essa situação e considerando que o edifício em estudo tem um desempenho superior a grande parte do parque habitacional, decidiu-se criar um cenário em que o sistema ETICS e a parede de alvenaria simples foram substituídos por uma parede dupla de alvenaria de tijolo furado sem isolamento, que é o tipo de parede mais comum (junto com a parede simples de alvenaria sem isolamento térmico) nos edifícios das décadas de 60 a 90, representando cerca de 44 % dos edifícios existentes, de acordo com a ADENE (Agência para a Energia, 2016). Foi também alterada a espessura das vigas e pilares para corresponder à espessura da alvenaria, passando de 20 cm para 25 cm de espessura.

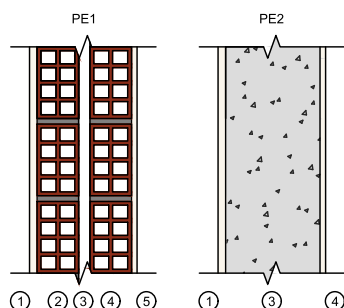


Fig. 4.14 – Elementos opacos verticais das fachadas principais para o cenário 6 (P00d)

Neste cenário, obteve-se um U de 1,11 e 2,91, para os componentes PE1 e PE2, respetivamente. As propriedades dos materiais considerados estão presentes na Tabela 4.7 (página seguinte).

Tabela 4.7 – Propriedades dos materiais dos elementos alterados no cenário 6 (P00d)

Núm.	Material	e [m]	λ [W/(m·°C)]	c [J/(kg·K)]	ρ [kg/m³]
PE1 – Parede exterior					
1	Reboco exterior	0,020	1,15	900	1900
2	Tijolo cerâmico furado	0,110	0,41 ⁷	900	820
3	Camada de ar	0,03	0,18 ⁷	1000	1,3
4	Tijolo cerâmico furado	0,110	0,41 ⁷	900	820
5	Reboco interior	0,015	1,15	900	1900
PE2 – Envolvente exterior – ponte térmica plana					
1	Reboco exterior	0,020	1,15	900	1900
2	Betão normal	0,250	1,75	900	2200
3	Reboco interior	0,015	1,15	900	1900

Relativamente à envolvente opaca horizontal, como a cobertura cumpre com os requisitos mínimos atuais para a zona climática I1, optou-se por criar os mesmos cenários que para a envolvente vertical, ou seja, um cenário onde a espessura do isolamento térmico da cobertura passou de 5 cm para 7 cm, e outro cenário onde a espessura foi aumentada para 11 cm (Tabela 4.8). No primeiro caso, obteve-se um U inferior a 0,35, o que permite cumprir com os requisitos mínimos da zona climática I2. Para o segundo caso, obteve-se um U inferior ao $U_{\max}$ (0,30 W/(m²·°C)) para a zona climática I3, apesar de se conseguir cumprir o requisito mínimo com uma espessura de 8 cm de isolamento térmico (3 cm a menos que o utilizado neste cenário).

Tabela 4.8 – Variação do valor de U da cobertura para os diferentes cenários testados

Cenário	Código	Espessura do isolamento (XPS) [cm]	U [W/(m²·°C)]
Original	C05e	5	0,40
7	C07e	7	0,32
8	C11e	11	0,24

Quanto aos vãos envidraçados, uma vez que os vãos da fachada poente (vão de maior dimensão e com proteção solar) cumprem com os requisitos mínimos atuais de U para a envolvente opaca e como os vãos da fachada nascente são de reduzida dimensão, foram apenas definidos um cenário onde se altera a posição da proteção solar interior para o exterior e um outro cenário onde se substituiu o vidro simples dos vãos da fachada poente, por vidros duplos com 16 mm de lâmina de ar, mantendo as respetivas caixilharias e proteção solar (Tabela 4.9).

Tabela 4.9 – Variação das propriedades da parte envidraçada dos vãos da fachada poente

Cenário	Código	U_w [W/(m ² ·°C)]	$g_{\perp,vi}$	$g_{tot,vc}$
Original	Vsi	5,10	0,85	0,30
9	Vse	5,10	0,85	0,04
10	Vdi	2,80	0,75	0,35

4.6. PERFIL DE OCUPAÇÃO, AQUECIMENTO, VENTILAÇÃO E PROTEÇÃO SOLAR

4.6.1. PERFIL DE OCUPAÇÃO

Como referido anteriormente, foi necessário definir perfis de ocupação, aquecimento, ventilação e acionamento da proteção solar, para obter simulações higrotérmicas realistas.

Primeiro foi definido o perfil de ocupação da habitação, uma vez que este vai condicionar os restantes perfis. Para além disso, este perfil vai definir os ganhos internos da habitação, que são relativamente importantes uma vez que, como foi analisado no Subcapítulo 2.2.4, os portugueses não conseguem aquecer adequadamente as suas casas, sendo, por isso, relevante qualquer tipo de ganhos que ajudem a melhorar o conforto térmico.

Apesar dos dados dos Censos 2021 indicarem que a maioria das habitações em Portugal encontram-se sublotadas (63,6 %), neste caso optou por se considerar que a habitação possuía a lotação prevista para aquela tipologia uma vez que se trata de uma habitação social e a gestão das famílias que nela residem deve ser feita de modo a otimizar o espaço às necessidades das famílias que necessitam desta ajuda. Sendo assim, considerou-se que nesta habitação residem um casal com dois filhos menores de idade. Considerou-se que ambos os pais eram empregados, com um horário laboral corrente e que ambos os filhos são estudantes. Tendo em conta o tipo de residentes e os resultados obtidos do inquérito realizado, considerou-se que a casa estaria ocupada da meia-noite às 8:00 da manhã e das 16:00 da tarde à meia-noite. Para além das horas de ocupação da habitação, foi ainda criado um perfil de ocupação por zona de estudo da habitação que levou em conta as divisões das zonas de estudo e o tipo de residente (pais ou filhos). Os perfis de ocupação das zonas de estudo criados estão representados na Figura 4.15 da página seguinte.

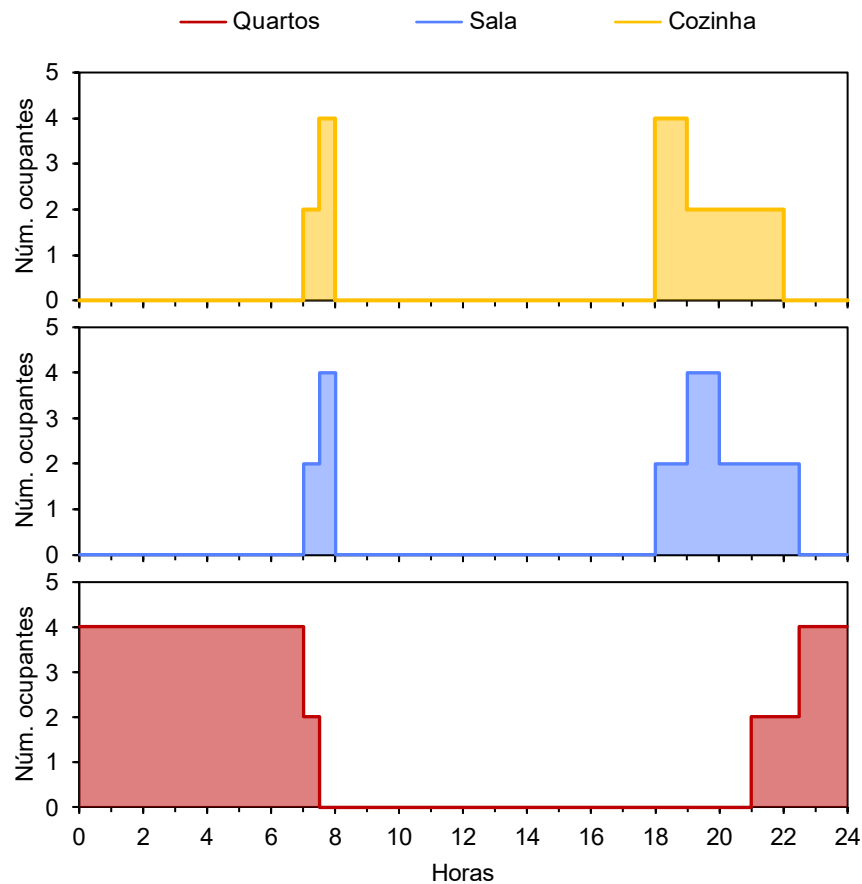


Fig. 4.15 – Perfis de ocupação das zonas de estudo

Estes perfis foram criados em intervalos de meia hora. Como resultado, parece haver momentos em que existem mais de 4 ocupantes na habitação. No entanto, isso significa que, em média, durante o intervalo de meia hora, a zona de estudo foi ocupada pelo número de pessoas indicado.

A partir destes perfis de ocupação, foi então definido o perfil de ganhos internos a introduzir no programa. O WUFI® Plus dispõe de uma ferramenta que permite calcular os ganhos internos em função do tipo de pessoa e atividade exercida, assim como uma base de dados com perfis de ganhos internos por tipos de edifícios, divisões e utilizadores desse edifício. Apesar da possibilidade de utilizar essa ferramenta de cálculo, optou-se por utilizar como base um dos perfis de ganhos internos da sua base de dados, uma vez que dispõe de perfis para uma família de quatro pessoas e para as divisões dos quartos de adultos e crianças, sala, cozinha e casa de banho. Para além disso, ainda dispõe de um perfil de ganhos internos diferentes em função do dia da semana (dias úteis e fim-de-semana). Foram então selecionados estes perfis e foram adaptadas as horas para corresponder aos perfis de ocupação criados anteriormente. Não foi criado um perfil de ganhos internos com a ferramenta uma vez que seria necessário criar um perfil bastante detalhado de todas as atividades exercidas em cada divisão e por todos os moradores. Uma vez que, mesmo dentro do perfil de ocupação considerado, existem diversas possibilidades diferentes de atividades, a utilização dum perfil já existente, proveniente do Instituto Fraunhofer para a Física das Construções, garante uma maior fiabilidade dos dados. Os valores dos ganhos internos utilizados estão representados a seguir, na Tabela 4.10.

Tabela 4.10 – Ganhos internos em função da hora e zona de estudo

Horas	GCC ¹² [W]	GCR ¹³ [W]	Humidade [g/h]	CO ₂ [g/h]	AH ¹⁴ [met]
Zona i – Quartos					
00:00	140	70	132	50	0,8
07:00	25	12,5	44	10	1
07:30	1	0,5	0	0	0
21:00	250	125	44	36	1
21:30	160	80	44	20	0,8
22:30	184	92	44	38	0,9
23:00	140	70	132	50	0,8
Zona ii – Sala					
00:00	22	11	20	0	0
07:00	70	35	20	16	1
07:30	256	128	196	238	1,2
08:00	22	11	20	0	0
18:00	70	35	20	34	1
18:30	116	58	64	34	1
19:00	330	165	108	118	1,2
19:30	422	211	196	138	1
20:00	330	165	108	34	1
21:00	282	141	108	34	1
22:30	22	11	20	0	0

¹² Ganhos de calor por convecção.

¹³ Ganhos de calor por radiação.

¹⁴ Atividade humana.

Horas	GCC ¹² [W]	GCR ¹³ [W]	Humidade [g/h]	CO ₂ [g/h]	AH ¹⁴ [met]
Zona iii – Cozinha					
00:00	94	47	0	0	0
07:00	188	94	0	24	1
07:30	511	255,5	372	50	1,1
08:00	94	47	0	0	0
18:00	148	74	0	34	1
18:15	910	460	744	60	1,1
18:45	158	80	744	60	1,1
19:00	122	61	0	0	1
20:00	154	77	1250	34	1
20:30	204	102	372	18	1
21:00	204	102	1322	18	1
22:00	94	47	0	0	0

De referir que, uma vez que a utilização da habitação ao fim de semana varia muito de família para família, foi considerado o perfil de ganhos internos da base de dados do WUFI para o fim de semana, sem proceder a nenhuma alteração.

4.6.2. PERFIL DE AQUECIMENTO

No que diz respeito ao aquecimento, como já foi comprovado que o hábito de aquecimento dos portugueses é intermitente, foram definidos perfis sem aquecimento e para 2 h, 4 h, 8 h, 16 h e 24 h de aquecimento, adaptando os perfis com o estilo de vida definido para o estudo e tendo em conta os resultados obtidos nos inquéritos realizados (Capítulo 3). Foi definido o mesmo perfil de aquecimento para todos os dias da semana e para os meses de janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro. Devido ao reduzido hábito de consumo de energia para aquecimento, foi ainda considerado que ao serem atingidos 20 °C nas zonas de estudo o aquecimento fosse desligado ou a potencia ajustada, de modo a manter essa temperatura e reduzir o consumo de energia.

Com base nos resultados do inquérito realizado anteriormente, considerou-se que existiriam apenas sistemas de aquecimento nos quartos, na sala e na casa de banho. Para esta última divisão, considerou-se apenas dois perfis de aquecimento: um sem aquecimento e outro com 2 horas de aquecimento.

Quanto à duração da estação de aquecimento, definiu-se que os sistemas de aquecimento funcionariam apenas de novembro a março (inclusivo). Esta escolha também se baseou nos resultados do inquérito sobre condições de conforto térmico.

Tendo em conta os resultados da utilização de sistemas de aquecimento dos Censo 2021, optou-se por utilizar dispositivos de aquecimento móveis para o aquecimento dos quartos (um por divisão), com uma potência de 1500 W por dispositivo e possibilidade de programar o horário de funcionamento dos aparelhos. Para a sala foram considerados dos sistemas de aquecimento diferentes. Como os Censos indicam que muitas habitações portuguesas dispõem de lareiras abertas, nos perfis de aquecimento de 2 h e 4 h foi considerado que a sala dispunha de uma lareira aberta, considerando uma potência equivalente de 1500 W. Devido a uma questão de incompatibilidade com os perfis de ocupação da habitação, para os perfis de aquecimento de 8 h, 16 h e 24 h, foi considerado que o aquecimento da sala era feito por meio de um dispositivo móvel com horário de funcionamento programável e com uma potência de 1500 W.

A utilização do mesmo perfil de aquecimento para toda a semana foi uma simplificação considerada, pois como para a seleção dos ganhos internos, a utilização da habitação varia muito segundo os moradores. Além disso, esta simplificação ocorre apenas dois dias por semana e os perfis de aquecimento para a semana não são totalmente incompatíveis com os perfis de ocupação considerados ao fim de semana. Os perfis de aquecimento considerado foram os seguintes:

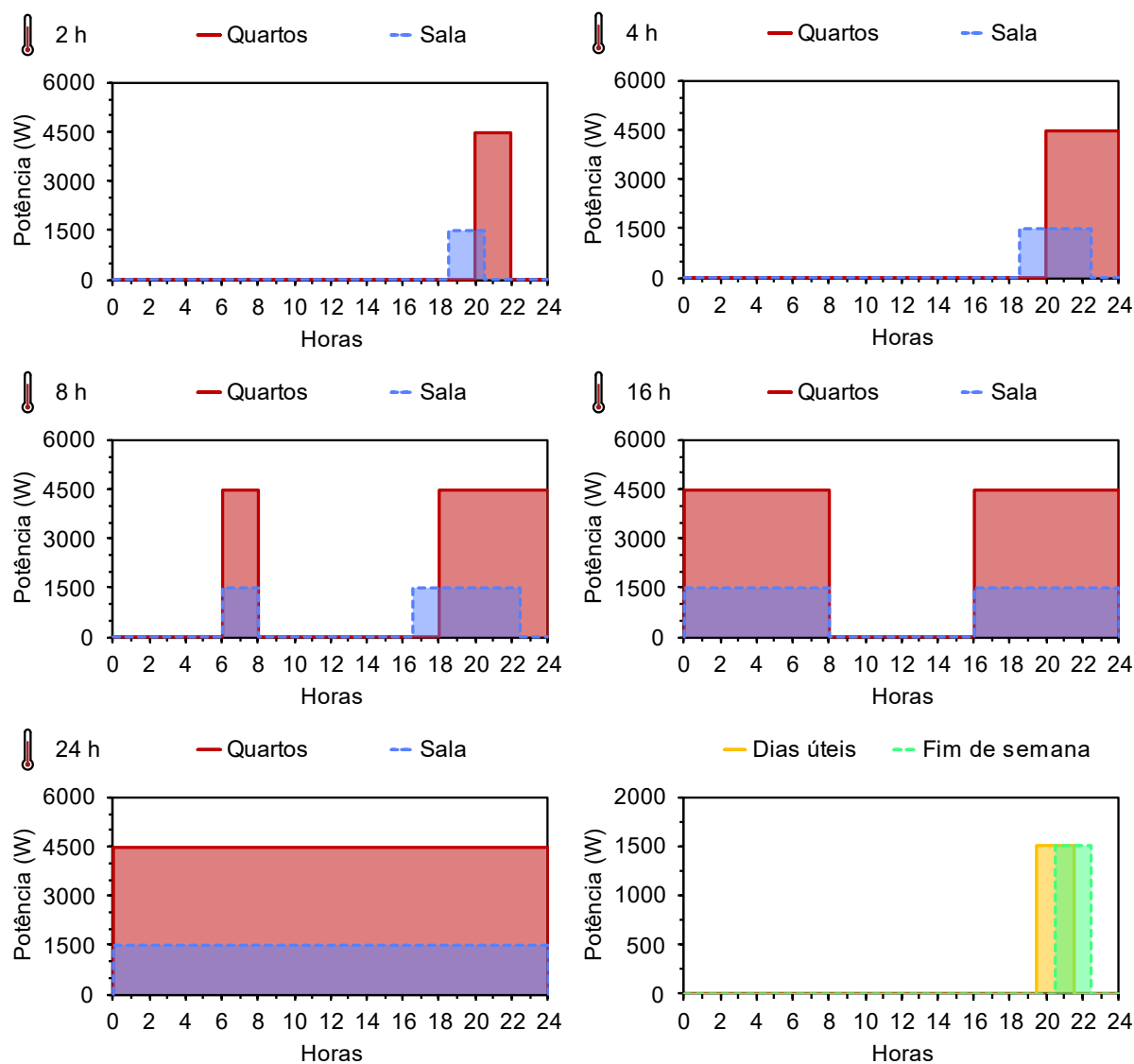


Fig. 4.16 – Perfis de aquecimento em função das horas de aquecimento e divisões

O último gráfico (do lado direito) da Figura 4.16. representa os perfis de aquecimento considerados na zona de estudo “Cozinha”. Este perfil mantém-se independentemente das horas de aquecimento das restantes divisões uma vez que segundo o inquérito realizado, são raras as habitações onde se aqueça frequentemente a cozinha e a casa de banho, com exceção das habitações com aquecimento central. Desde modo considerou-se que caso a família utilize os sistemas de aquecimento nos quartos e na sala, então também aqueceria a casa de banho durante duas horas, ao fim do dia. Foi ainda considerado um perfil de aquecimento diferente no fim de semana de modo a melhor adaptar-se ao perfil de ocupação e utilização da habitação.

4.6.3. PERFIL DE VENTILAÇÃO

Quanto ao perfil de ventilação, foi definido que a ventilação da habitação seria ventilação mista, com uma renovação horária de ar da habitação de cerca de 0,7 rph, feita de forma natural e conseguida pelas grelhas de admissão de ar presentes nas caixilharias dos vãos envidraçados e extração de ar na cozinha e casa de banho.

Considerou-se que as grelhas de admissão de ar, localizadas nos vãos envidraçados da fachada principal, foram dimensionadas para permitir a entrada 30 m³/h de ar. Desta forma, obtém-se uma entrada de 30 m³/h por quarto e na sala 60 m³/h, o que equivale a aproximadamente 1,1 rph.

No que diz respeito à extração de ar, esta ocorre na cozinha e na casa de banho, responsáveis por extrair o total do caudal entrante. A renovação normal de ar nestes compartimentos é superior a 6 rph. Considerou-se um caudal de ventilação do exaustor da cozinha de 340 m³/h, durante meia hora, cada vez que se utiliza a cozinha, e nos restantes períodos do dia, considerou-se que este permite a extração de ar necessária para garantir as renovações de ar referidas. A cozinha ainda dispõe de uma grelha de ventilação para permitir uma admissão extra de ar quando é utilizado o exaustor.

Além do caudal de admissão de ar das grelhas, foi considerado que a abertura dos vãos permite a entrada de um caudal de 150 m³/h de ar por vão, de modo a permitir ventilação noturna. Desta forma obtém-se uma entrada de ar de 150 m³/h por quarto e 300 m³/h na sala e uma extração de ar pelo resto da divisão de 750 m³/h.

Para obter o perfil de ventilação noturna foram realizadas simulação nas condições originais do edifício, com ventilação mínima constante de 0,7 rph ao longo de todo o ano. Para estas simulações foi considerado um caso com as portadas totalmente fechadas (proteção solar ativa) e outro com as portadas totalmente abertas (proteção solar desativa). Foi ainda feita, em cada caso, uma simulação por orientação.

De seguida analisou-se em que horas do dia a temperatura exterior nos meses de junho, julho, agosto e setembro era inferior à temperatura interior. Uma vez que o clima do Porto é bastante ameno, verificou-se que, em média, nos períodos do dia entre 21 h da noite e as 9 h da manhã, a temperatura exterior era menor que a temperatura interior em pelo menos 90 % dos dias de cada mês. Para a orientação norte e com as portadas fechadas (que corresponde ao cenário com a menor temperatura interior global), a temperatura exterior era menor que a temperatura interior em pelo menos 90 % dos dias de cada mês, para o intervalo entre as 22 h da noite e as 8 h da manhã.

A Tabela 4.11 (página seguinte) representa as horas do dia onde a temperatura exterior é inferior à temperatura no interior da habitação. As percentagens representam a frequência dos dias do mês respetivo em que a temperatura exterior foi inferior à temperatura no interior da habitação, para a faixa horária de referência. Os valores dessa tabela resultaram da média dos valores para os diferentes cenários testados para a criação do perfil de ventilação noturna, ou seja, dos cenários com as portadas totalmente fechadas e totalmente abertas e para as orientações norte, este, sul e oeste.

Tabela 4.11 – Horas do dia em que a temperatura exterior é inferior à temperatura interior, por mês (valores em percentagem)

Mês	Horas																							
	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Junho	95	96	96	98	98	98	98	99	98	93	90	85	86	84	83	83	88	89	90	91	91	95	96	97
Julho	97	98	98	98	97	97	97	97	96	94	89	86	81	76	71	71	75	75	87	93	94	94	95	97
Agosto	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	89	79	77	72	70	78	81	85	92	98	100	100	100
Setembro	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	92	78	69	58	60	65	69	78	91	97	100	100	100

Com base nestes resultados, optou-se que o caudal de ventilação noturno seria cinco vezes superior ao caudal normal, o que corresponde a aproximadamente 3,6 rph da habitação, e que o período de funcionamento seria das 22 h da noite até às 8 h da manhã, para os meses de junho e julho, o que corresponde aproximada às horas que os pais ainda estão acordados (22 h) e quando saem de casa para ir trabalhar (8 h) (gráfico da esquerda da Figura 4.17). Nos meses de agosto e setembro foi considerado um período ligeiramente mais amplo, com início às 20 h da noite e fim às 8 h da manhã (gráfico da direita da Figura 4.17). Num caso real, seria possível de obter este caudal com recurso a grelhas de ventilação reguláveis ou com a abertura das janelas.

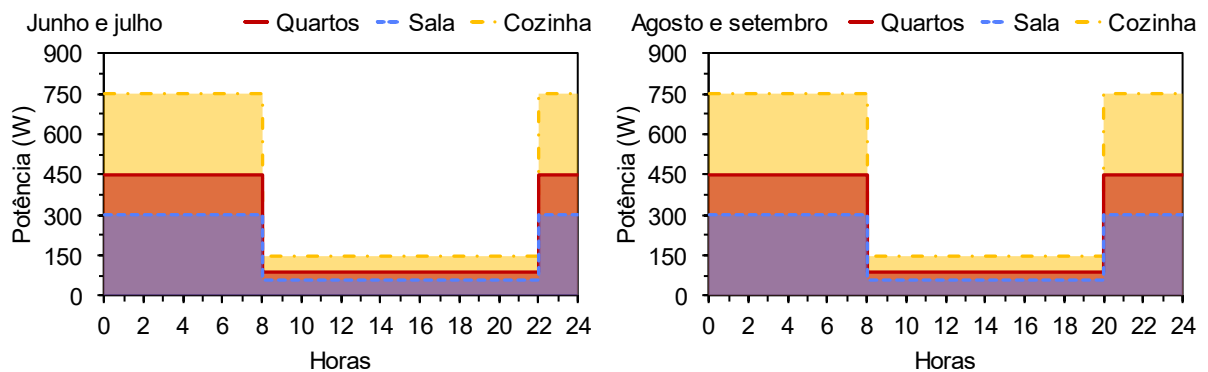


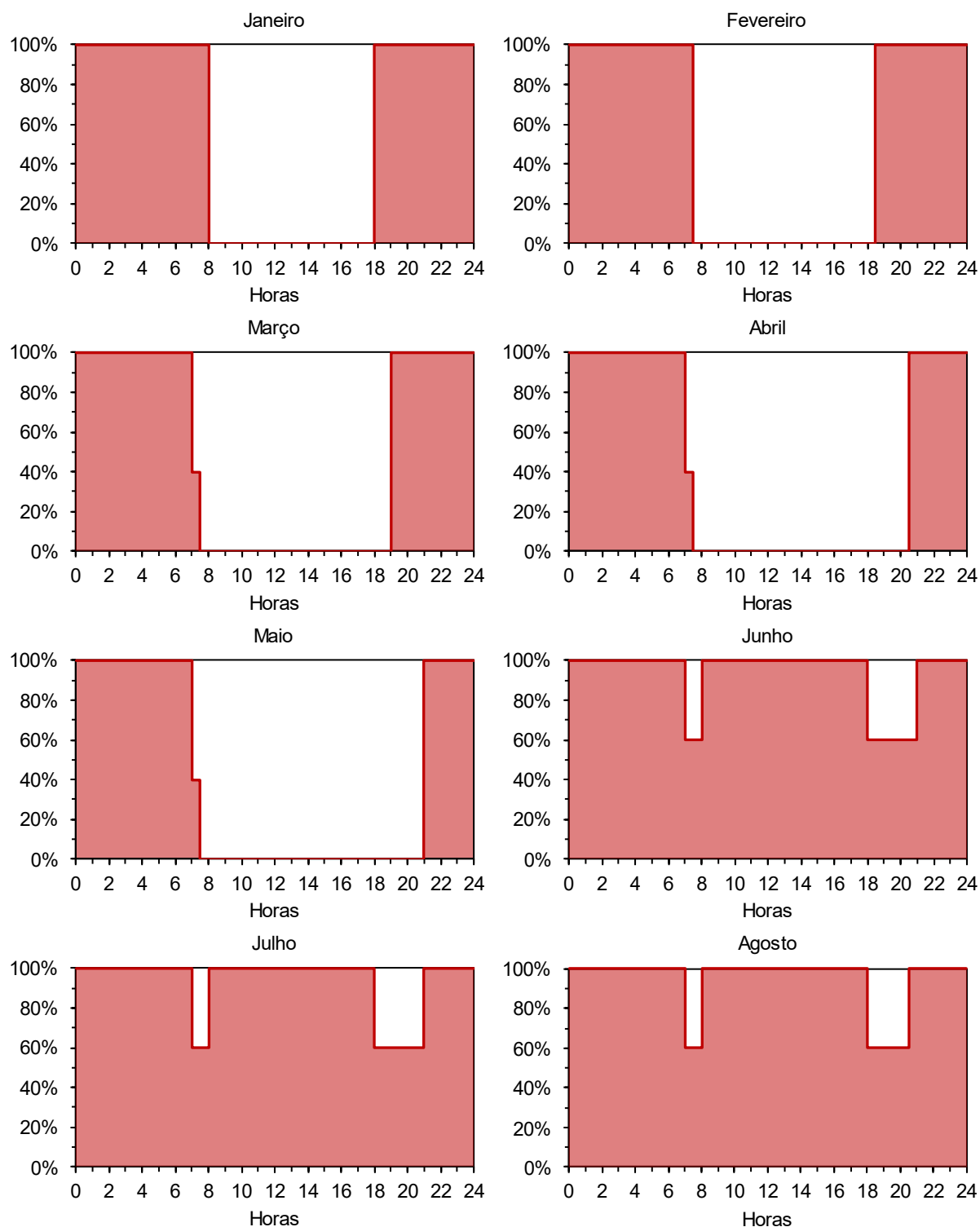
Fig. 4.17 – Perfil de ventilação na estação de arrefecimento

Relativamente à abertura de janelas para a redução do desconforto de verão, esta acaba por ser uma boa solução para reduzir a temperatura interior da habitação, porém esta prática pode ser irrealista em zonas urbanas devido ao ruído noturna. Por outro lado, esta prática pode ser mais bem empregue em zonas rurais onde a produção de ruídos durante o período noturno é mais reduzida.

4.6.4. PERFIL DE UTILIZAÇÃO DE PROTEÇÃO SOLAR

De modo a maximizar os ganhos solares no inverno e reduzi-los no verão foi criado um perfil de ativação de ganhos solares (Figura 4.18, páginas 80 e 81) que levou em conta, não só a presença de radiação solar direta como também o perfil de ocupação da habitação pois, tendo em conta o tipo de proteção solar da habitação, a abertura e fecho é feita de forma manual. Para a estação de aquecimento foi definido que as portadas eram abertas a partir do momento do amanhecer, desde que a família esteja acordada, e eram fechadas no momento do anoitecer desde que algum membro da família já esteja em casa. Na estação de arrefecimento, considerou-se que as portadas dos quartos iriam permanecer na grande parte do tempo fechadas, e as portadas da sala eram abertas apenas durante o tempo em que a família utiliza esta divisão, desde que haja luz solar. Para os horários de luz solar, foi definida uma aproximação da média horária das horas em que ocorre o amanhecer e anoitecer em cada mês. Pelo referido anteriormente, para os fins de semana foi definido o mesmo perfil ao longo de todo o ano, com ativação da proteção solar entre as 20:00 da noite e as 7:00 da manhã.

Os perfis horários da ativação das portadas utilizado no estudo encontram-se representados nos seguintes gráficos, onde 100 % significa que a proteção solar está totalmente ativa e 0 % significa que a proteção solar está totalmente fechada. Uma vez que este perfil é aplicado simultaneamente em todos os vãos, foi definido que as percentagens múltiplas de 20 representam o número de portadas totalmente fechadas. Por exemplo, uma percentagem de 60 % significa que há 3 portadas fechadas.



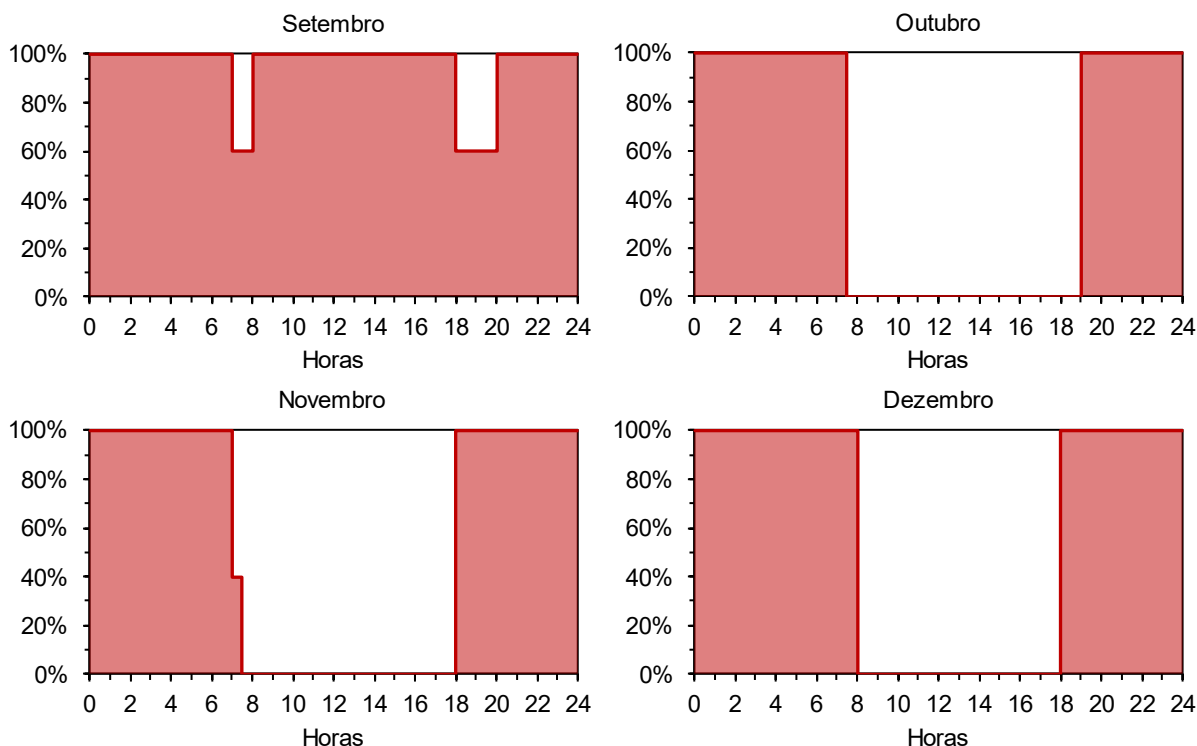


Fig. 4.18 – Perfis de ativação das proteções solares

4.7. CENÁRIOS SIMULADOS

Até agora foram apresentadas a fração estudada e as suas propriedades construtivas, assim como um possível tipo de utilização da habitação, incluindo a sua ocupação e a utilização dos sistemas de aquecimento, proteção solar e ventilação. Foram ainda apresentadas algumas intervenções possíveis para a melhoria do conforto térmico. Também foram apresentadas as condições climáticas que o edifício poderia ficar sujeita em duas localizações distintas (Porto e Bragança).

Com base nesses elementos, foram testados vários cenários que resultam da introdução desses elementos no WUFI® Plus. Essa combinação encontra-se representadas no esquema da página seguinte (Figura 4.19). No total, foram simulados 360 cenários distintos, dos quais 48 são referentes ao edifício nas suas condições originais, para o clima do Porto. O objetivo destes cenários é identificar quais das melhorias possíveis apresentam uma maior redução do desconforto térmico, para diferentes condições de isolamento da envolvente, o clima a que o edifício está sujeito, a orientação deste, a sua posição e o número de horas que os utilizadores ligam o aquecimento.

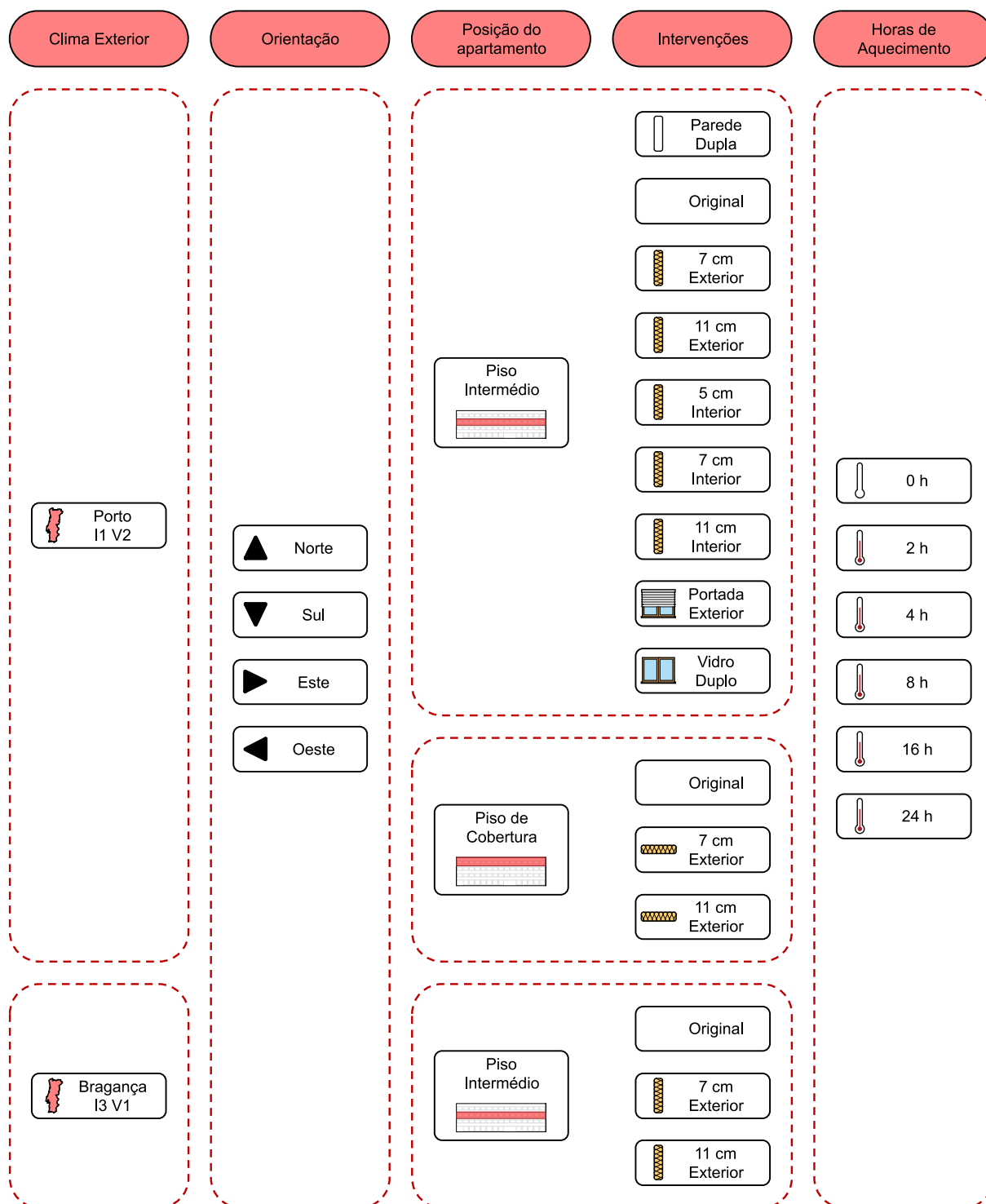


Fig. 4.19 – Esquema dos cenários de estudo

4.8. SÍNTESE

Neste capítulo, foi explicado o procedimento seguido para a realização do estudo de sensibilidade, começando por apresentar a ferramenta de simulação higrotérmica WUFI® Plus, a razão da sua escolha, o seu funcionamento e as vantagens da utilização desta ferramenta. Em seguida, foi descrito o método utilizado para poder avaliar os resultados obtidos por esta ferramenta, através da adaptação do IDP, com o intuito de permitir a comparação dos resultados dos diversos cenários estudados. Por fim, foi apresentada a fração de estudo utilizada como base para retirar as conclusões necessárias para responder aos objetivos deste trabalho, assim como os cenários de melhoria que foram estudados de modo a verificar se tendo em conta os diferentes perfis de aquecimento, justifica-se a implementação de mais isolamento ou a substituição dos vãos envidraçados. Além dos pormenores físicos e construtivos da fração, também foi apresentado o tipo de utilização associado à habitação, que teve como base a tipologia e contexto social da habitação, assim como os resultados apresentados no Capítulo 3. Este tipo de utilização da habitação associados ao WUFI® Plus traduziram-se em perfis de ocupação, ganhos internos, aquecimento, ventilação e acionamento das proteções solares.

Desta forma, foi possível obter a flutuação térmica anual dos cenários testados que permitiram quantificar o desconforto térmico de cada intervenção para diferentes condições da fração de estudo, o que permitirá realizar uma análise destes índices e concluir que tipo de intervenção contribui mais para a redução do desconforto térmico.

5

IMPACTO DAS INTERVENÇÕES NA ENVOLVENTE NA REDUÇÃO DO DESCONFORTO QUANDO O AQUECIMENTO É INTERMITENTE

5.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo irá ser feita uma análise dos diferentes cenários descritos no Capítulo 4, tendo em conta os valores dos IDP, e serão feitas reflexões sobre cada parâmetro que possa influenciar o conforto térmico do interior das habitações. Também serão feitas análises mais detalhadas de situações em específico que permitam esclarecer melhor os resultados obtidos dos IDP, assim como qualquer observação relevante para responder ao objetivo do trabalho.

Uma vez que os resultados obtidos do IDP com os limites de conforto adaptativo da norma europeia EN 16798 são nulos na estação de arrefecimento (não existe desconforto em nenhum cenário segundo este modelo) e na estação de aquecimento foram obtidos resultados muito próximos dos resultados do IDP com limite da norma portuguesa, vão ser apenas analisados e comentados os valores do IDP da estação de aquecimento com modelo de conforto clássico.

5.2. CLIMA, ORIENTAÇÃO E POSIÇÃO DO APARTAMENTO

5.2.1. CLIMA EXTERIOR

Um dos parâmetros, se não o que mais influência vai ter no desconforto térmico passivo dos utilizadores do edifício é o clima exterior. Com clima exterior entende-se não só a temperatura e precipitação no exterior dos edifícios, como também a intensidade e direção da radiação, a intensidade e direção do vento, a humidade relativa, entre outros.

Uma vez que o clima exterior é algo própria a cada local, é objetivo da Construção Civil adaptar da melhor forma possível os seus edifícios para tirar melhor partido das características climáticas locais e conseguir outorgar uma melhor qualidade de vida às pessoas.

Como foi analisado ao longo deste trabalho, nem todas as regiões de Portugal têm as mesmas condições climáticas, havendo zonas com climas mais ou menos severos tanto na estação de aquecimento como na de arrefecimento. Isto verifica-se facilmente com a divisão do país em zonas climáticas de inverno e verão, que refletem a severidade do clima, e para cada uma dessas zonas as exigências térmicas dos edifícios também são diferentes. As exigências aqui referidas são as que foram abordadas no Subcapítulo 2.5.3.

De modo a compreender melhor a influência da severidade do clima exterior no desconforto térmico, vai ser analisado o IDP nas suas componentes de inverno e verão, para a fração de estudo sujeito ao clima do Porto, que apresenta um clima de inverno mais ameno, e ao clima de Bragança, que apresenta um dos climas mais rigorosos em Portugal, para estação de aquecimento.

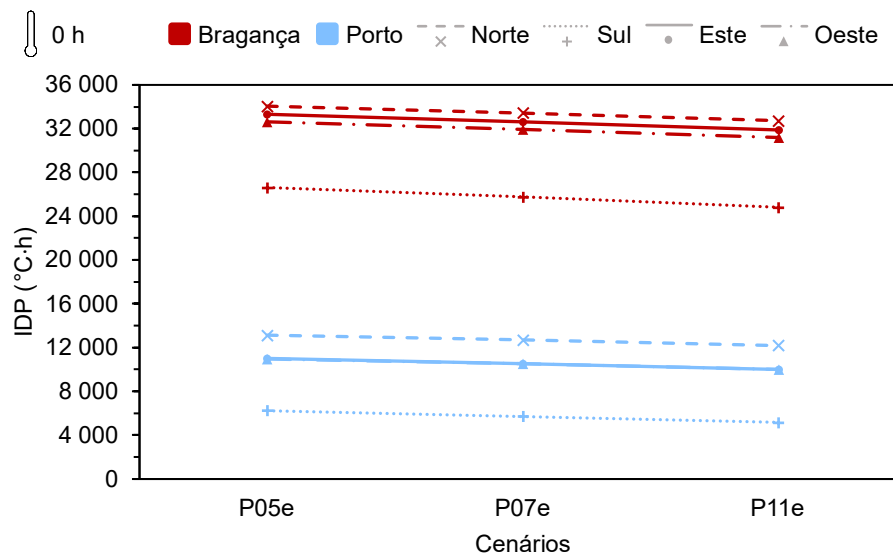


Fig. 5.1 – Comparação do IDP de inverno, nas horas em que a habitação é ocupada, para climas exteriores (localização) diferentes em função da orientação e intervenções na envolvente, sem aquecimento

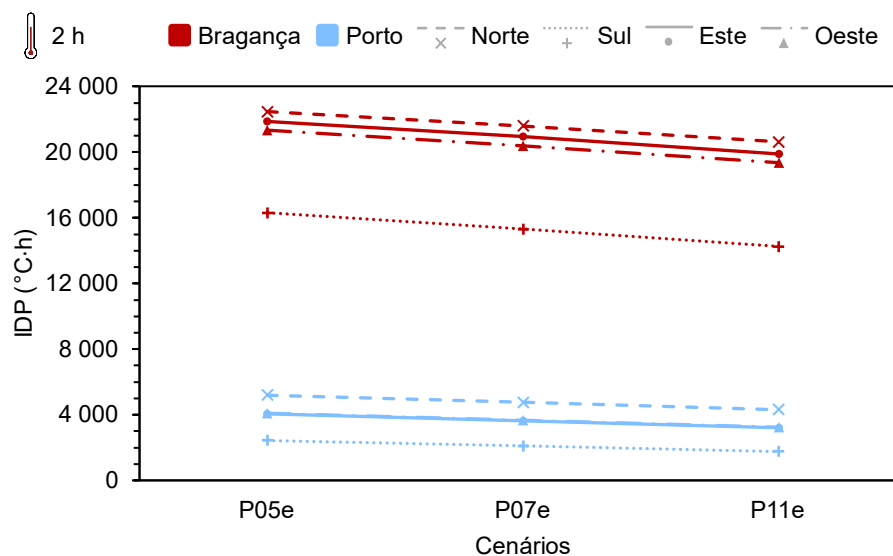


Fig. 5.2 – Comparação do IDP de inverno, nas horas em que a habitação é ocupada, para climas exteriores (localização) diferentes em função da orientação e intervenções na envolvente, com 2 h de aquecimento

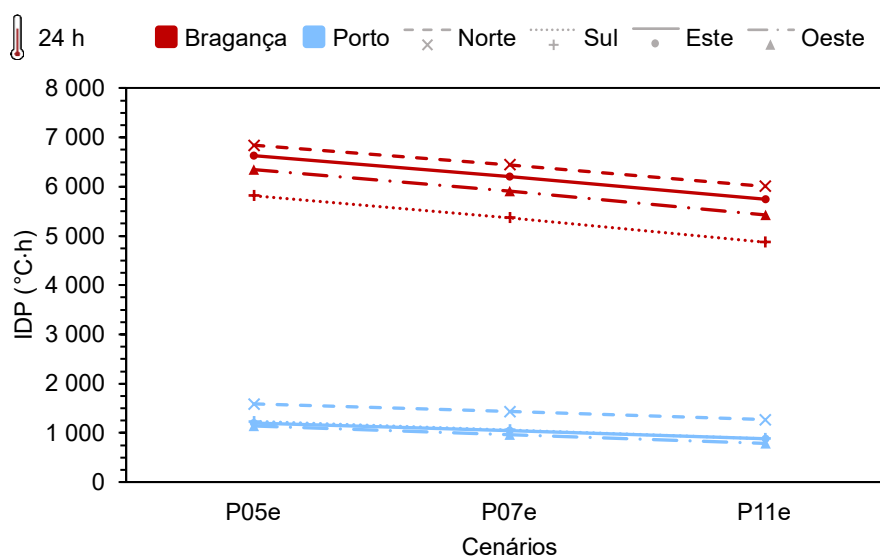


Fig. 5.3 – Comparação do IDP de inverno, nas horas em que a habitação é ocupada, para climas exteriores (localização) diferentes em função da orientação e intervenções na envolvente, com 24 h de aquecimento

Neste caso (Figuras 5.1 a 5.3) podemos observar que, globalmente, para o edifício estudado, sem aquecimento e localizado no Porto (ou com clima semelhante), este apresenta entre 60% e 80% de desconforto a menos que o mesmo edifício localizado numa zona com clima de inverno próximo ao de Bragança, sem aquecimento e independentemente do isolamento da envolvente ou da orientação da fachada principal.

Mesmo para a situação onde o aquecimento é utilizado de forma contínua, ainda se constata uma diferença considerável entre o desconforto sentido em Bragança em comparação com o desconforto sentido no Porto. Apesar de utilizar os sistemas de aquecimento de forma contínua observa-se bastante mais desconforto em Bragança pois foi definido que os sistemas de aquecimento só funcionariam de novembro a março (inclusivo). Isso significa que em Bragança, nos restantes meses da estação de aquecimento, as temperaturas exteriores continuam a ser demasiado baixas para não utilizar sistemas de aquecimento. Esta conclusão vai ao encontro das conclusões retiradas no Capítulo 3, onde se concluiu que em Chaves, uma zona com clima de inverno próximo de Bragança, as pessoas utilizavam os sistemas de aquecimento com mais frequência e de forma mais prolongada que no Porto.

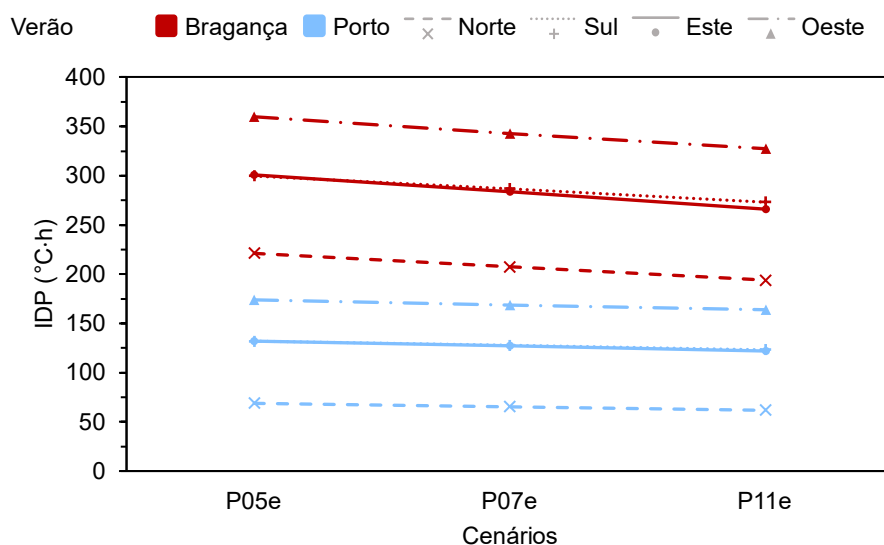


Fig. 5.4 – Comparação do IDP de verão, nas horas em que a habitação é ocupada, para climas exteriores (localização) diferentes em função da orientação e intervenções na envolvente

Quanto ao desconforto térmico de verão (Figura 5.4), mesmo que os valores do IDP dos cenários de Bragança sejam superiores aos resultados obtidos para os cenários com o ficheiro climático do Porto, estes representam, no máximo, 6% do desconforto anual, enquanto que para os cenários do Porto representam até 17% do desconforto anual.

No Subcapítulo 2.2.2 concluiu-se que apesar de possuir um dos climas mais quentes da Europa, este é relativamente ameno e agradável até mesmo no verão. Esta observação reflete-se diretamente no desconforto térmico pois se forem considerados os limites da categoria III do modelo de conforto adaptativo da norma EN 16798, conclui-se que o clima português é suficientemente ameno para não se sentir desconforto em regiões com climas semelhantes ao Porto e a Bragança. Para os cenários testados, em nenhum caso se verificou desconforto térmico utilizando a combinação do IDP com o modelo de conforto adaptativo (Figura 5.5).

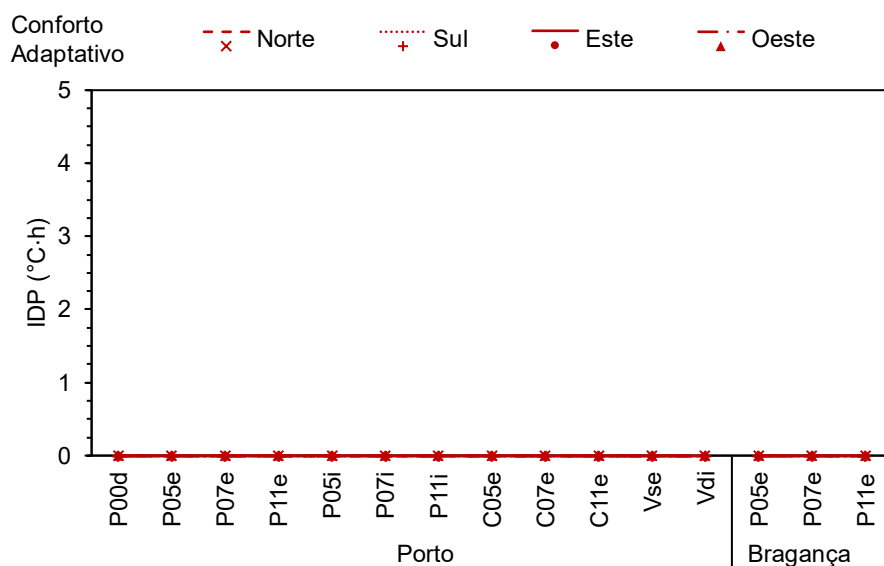


Fig. 5.5 – Comparação do IDP de verão, considerando os limites de conforto do modelo adaptativo EN 16798

5.2.2. ORIENTAÇÃO DA HABITAÇÃO

A escolha da orientação do edifício é a forma mais fácil de aproveitar as condições climáticas de forma passiva, uma vez que o posicionamento dos vãos envidraçados vai influenciar muito nos ganhos solares que o edifício vai receber e é esperado que estes ganhos sejam dos fatores mais relevantes para a obtenção de conforto térmico passivo dentro das habitações, tendo em conta o clima em Portugal e os hábitos de aquecimento dos seus habitantes.

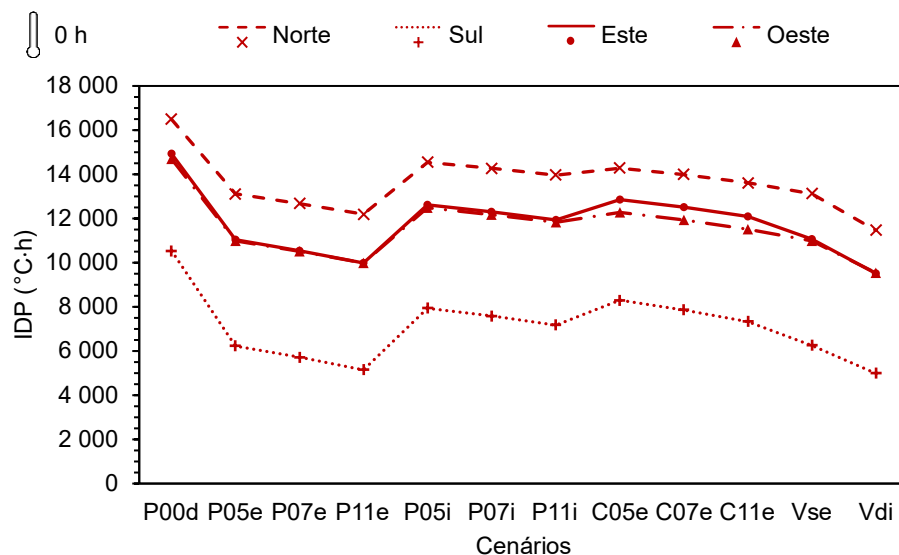


Fig. 5.6 – Comparação do IDP de inverno, nas horas em que a habitação é ocupada, para diferentes orientações em função das intervenções na envolvente (clima do Porto), sem aquecimento

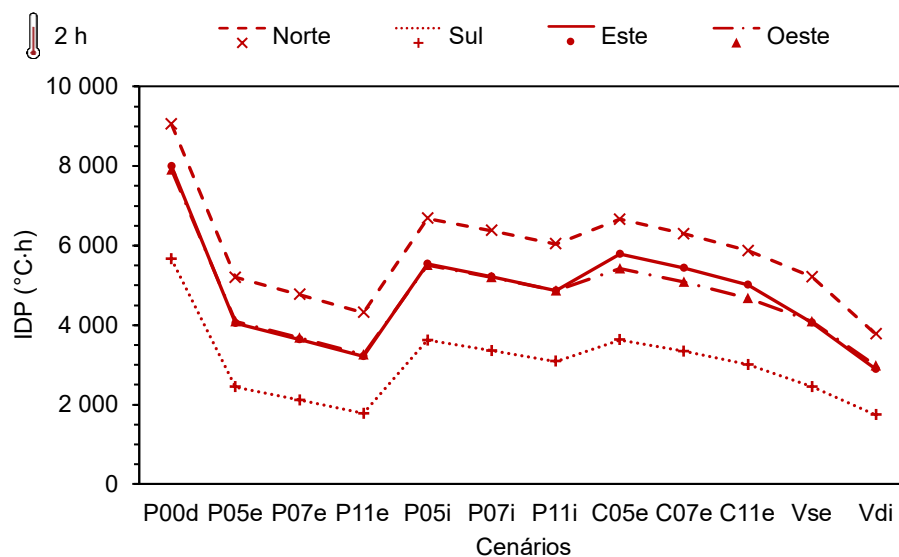


Fig. 5.7 – Comparação do IDP de inverno, nas horas em que a habitação é ocupada, para diferentes orientações em função das intervenções na envolvente (clima do Porto), com 2 h de aquecimento

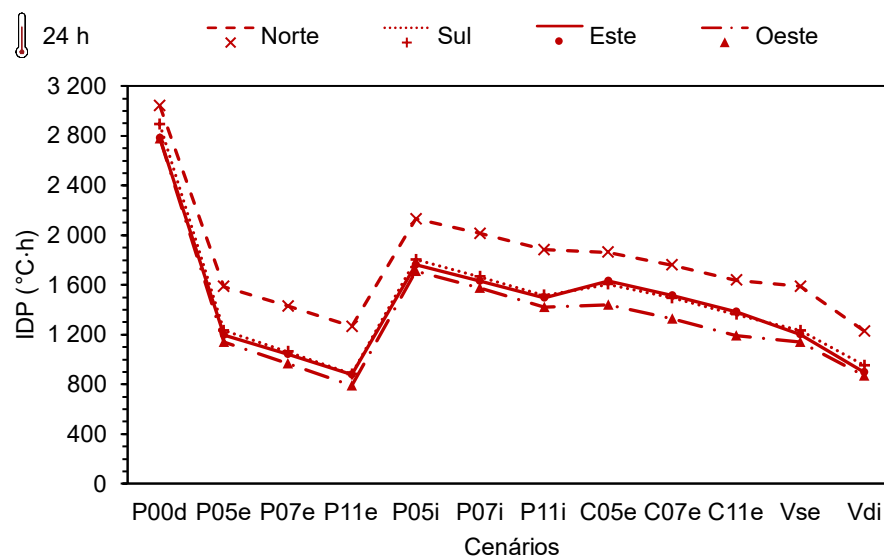


Fig. 5.8 – Comparação do IDP de inverno, nas horas em que a habitação é ocupada, para diferentes orientações em função das intervenções na envolvente (clima do Porto), com 24 h de aquecimento

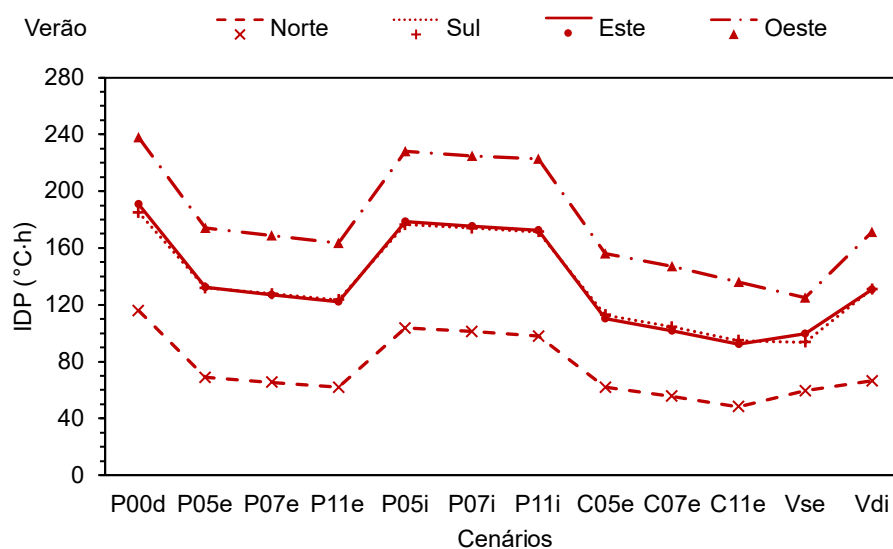


Fig. 5.9 – Comparação do IDP de verão, nas horas em que a habitação é ocupada, para diferentes orientações em função das intervenções na envolvente (clima do Porto)

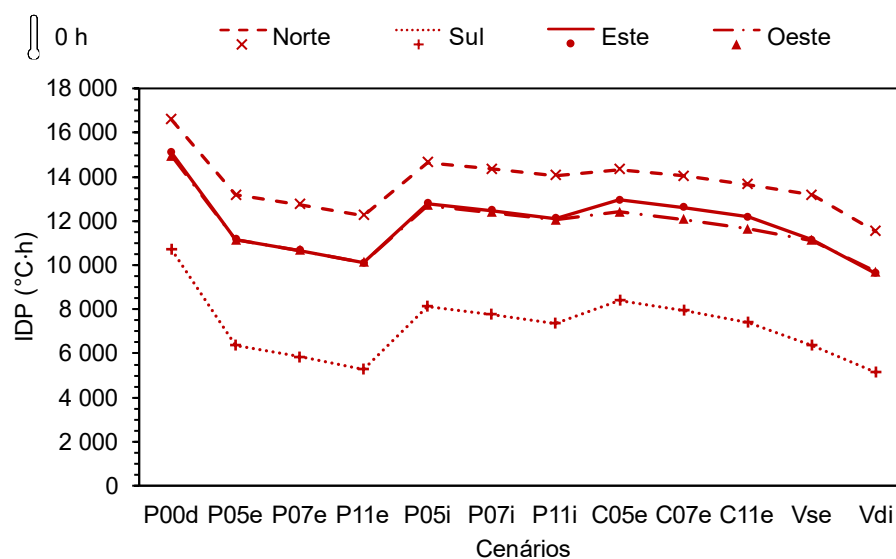


Fig. 5.10 – Comparação do IDP global, nas horas em que a habitação é ocupada, para diferentes orientações em função das intervenções na envolvente (clima do Porto), sem aquecimento

Como podemos observar com os valores de IDP obtidos para as diferentes orientações (Figuras 5.6 a 5.10), podemos constatar que o posicionamento dos vãos envidraçados do edifício tem uma grande influência na obtenção de conforto térmico.

É possível observar que independentemente dos restantes parâmetros, a orientação que fornece mais conforto no inverno é a orientação sul, apesar de não ser nesta orientação onde o desconforto de verão é mais reduzido. Isto deve-se a que, no inverno, é nesta orientação onde a radiação solar é mais intensa, sendo que também é nesta estação onde a radiação solar a sul incide de forma mais perpendicular nos vãos pois a trajetória solar é mais baixa. A combinação destes fatores aumenta a temperatura da habitação com recurso aos ganhos solares, caso se possuam vãos envidraçados nesta orientação e que as proteções solares (caso existam) estejam desativadas nas horas de incidência da radiação solar. Por outro lado, a vantagem no inverno torna-se uma desvantagem no verão por aquecer a habitação numa altura em que o objetivo é arrefecer a mesma. Apesar de ser na orientação sul onde a radiação solar incide por mais tempo, esta não é a que apresenta piores resultados no desconforto de verão pois a incidência da radiação é mais vertical nesta altura do ano por o sol “percorrer” uma trajetória mais elevada e como os vãos envidraçados não se encontram alinhados pelo lado exterior da habitação, os ganhos solares são mais reduzidos que se os vãos estivessem alinhados pelo exterior do edifício pois as ombreiras e peitoril das janelas atuam como elementos de sombreamento.

A pior orientação resultou ser a norte por ser a única orientação que não recebe radiação solar direta. Além disso, como os vãos são os elementos da envolvente exterior com pior coeficiente de transmissão térmica e, do ponto de vista da térmica, não se justifica a presença destes nesta orientação por não haver ganhos solares, havendo apenas perdas de calor consideráveis. A vantagem de ter os vãos envidraçados orientados a norte acontece apenas no verão, pois durante o dia a temperatura da habitação não vai aumentar devido aos ganhos solares e permite uma melhor diminuição da temperatura, se comparada com o resto da envolvente, por permitir mais trocas de calor quando a temperatura exterior for inferior à temperatura interior. Mas, mesmo com esta vantagem, segundo os resultados obtidos, não se justifica o posicionamento de vãos envidraçados em fachadas orientadas a norte (do ponto de vista térmico) pois se for tido em conta o conforto adaptativo abordado pela EN 16798, em nenhuma orientação, existe desconforto no verão, independentemente das intervenções feitas e para o clima do Porto.

Quanto às orientações este e oeste, globalmente os resultados obtidos são muito similares, com este (nascente) a ser a orientação que apresenta os piores resultados de inverno e anuais (entre este e oeste), enquanto que oeste apresentou os piores resultados de verão. Para a estação de aquecimento ambas as orientações apresentam mau desempenho pelas mesmas razões que a norte, ou seja, permitem perdas maiores de calor do que ganhos solares, apresentando, mesmo assim, melhores resultados que a norte pois nestas orientações ainda há alguma incidência da radiação solar.

No que diz respeito ao desconforto de verão a pior orientação é a oeste pelos mesmos motivos que esta é melhor na estação de arrefecimento, ou seja, há mais ganhos de calor pela envolvente devido a uma maior temperatura exterior nas horas em que a radiação incide a oeste. Como no verão a radiação solar incide de forma mais horizontal sobre os edifícios nas orientações este e oeste e de forma mais vertical na orientação sul e como este edifício possui vãos envidraçados em fachadas opostas significa que a habitação aquecesse mais de manhã devido aos ganhos solares da fachada com os vãos menores (nascente) e ao final da tarde devido aos ganhos solares da fachada com os vãos maiores (poente), enquanto que no cenário em que a fachada principal fica orientada a sul, há apenas ganhos solares num lado da fachada.

5.2.3. POSIÇÃO DO APARTAMENTO NO EDIFÍCIO

Um apartamento com as mesmas características dos restantes apartamentos de um mesmo edifício (como é o caso do edifício estudado) pode apresentar desempenhos térmicos diferentes devido à sua localização no edifício. O mesmo pode acontecer a dois edifícios com características arquitetónicas e construtivas iguais, mas com elementos ao seu redor diferentes, ou seja, num caso de uma moradia isolada com as mesmas características arquitetónicas e construtivas de uma outra moradia, mas desta vez geminada, é espectável que apresentem desempenhos térmicos diferentes. Esta diferença no desempenho térmico deve-se a diferenças em certos elementos da envolvente ou condições de fronteira e nesta secção, apesar de não terem sido testados muitos cenários que permitam retirar conclusões detalhadas, vai ser feita uma análise da influência deste parâmetro no comportamento térmico.

De seguida são apresentados os IDP obtidos para apartamentos nos pisos intermédio e de cobertura, para as condições originais da envolvente, ou seja, com 5 cm de isolamento térmico em toda a envolvente opaca e vãos envidraçados com vidro simples e proteção solar interior nos vãos de maior dimensão.

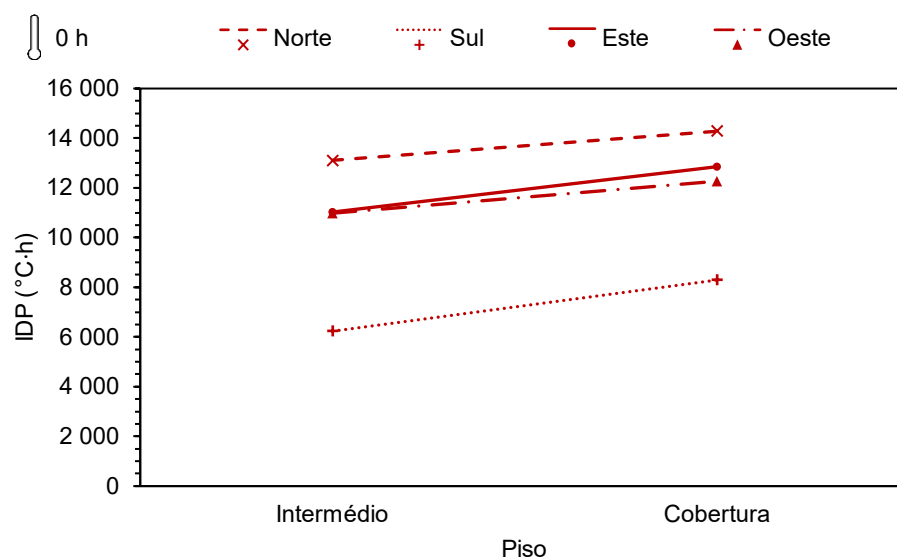


Fig. 5.11 – Comparação do IDP de inverno, nas horas em que a habitação é ocupada, para diferentes posições do apartamento no edifício em função da orientação (clima do Porto), sem aquecimento

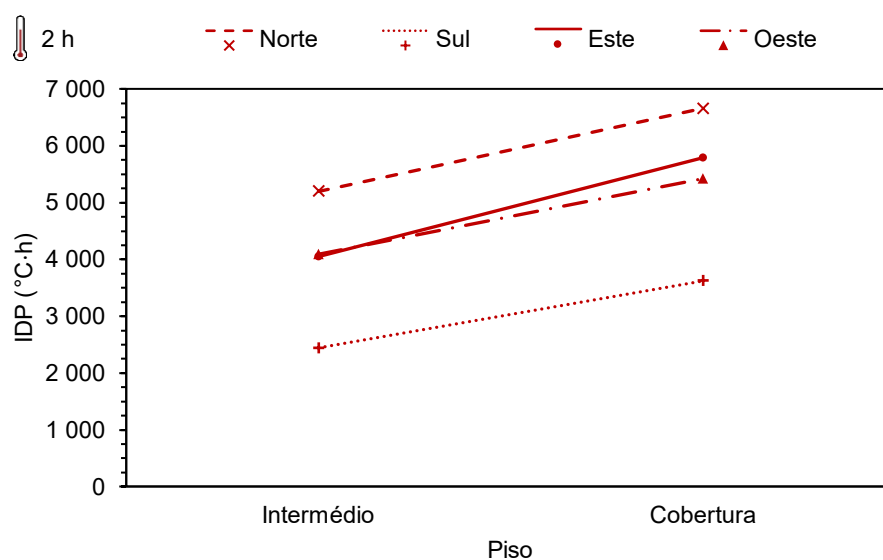


Fig. 5.12 – Comparação do IDP de inverno, nas horas em que a habitação é ocupada, para diferentes posições do apartamento no edifício em função da orientação (clima do Porto), com 2 h de aquecimento

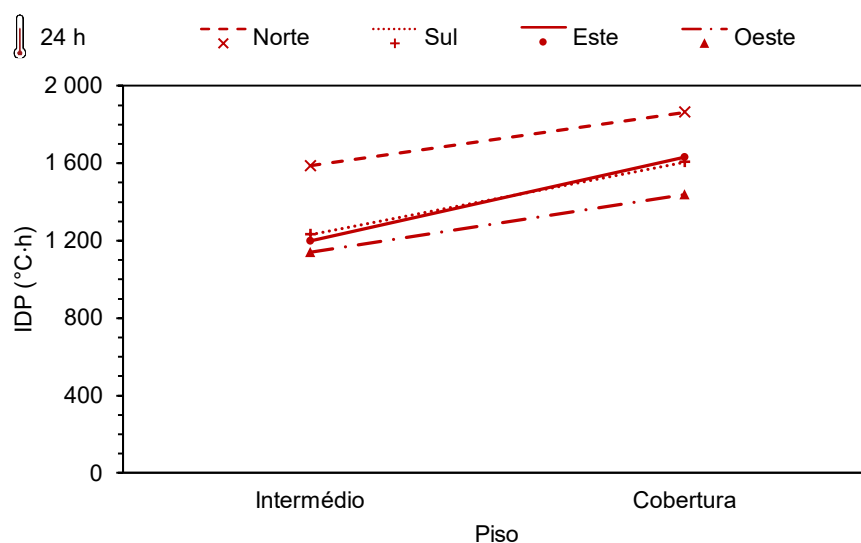


Fig. 5.13 – Comparação do IDP de inverno, nas horas em que a habitação é ocupada, para diferentes posições do apartamento no edifício em função da orientação (clima do Porto), com 24 h de aquecimento

Nesta análise (Figuras 5.11 a 5.13) observa-se que em todas as situações simuladas, o desconforto térmico na estação de aquecimento é menor para o apartamento localizado no piso intermédio pois possui uma envolvente exterior menor, sendo que a sua envolvente horizontal superior é uma laje de piso sem isolamento térmico e que separa o apartamento de estudo de outro apartamento que, nesta estação, estará a uma temperatura superiores à temperatura exterior do edifício.

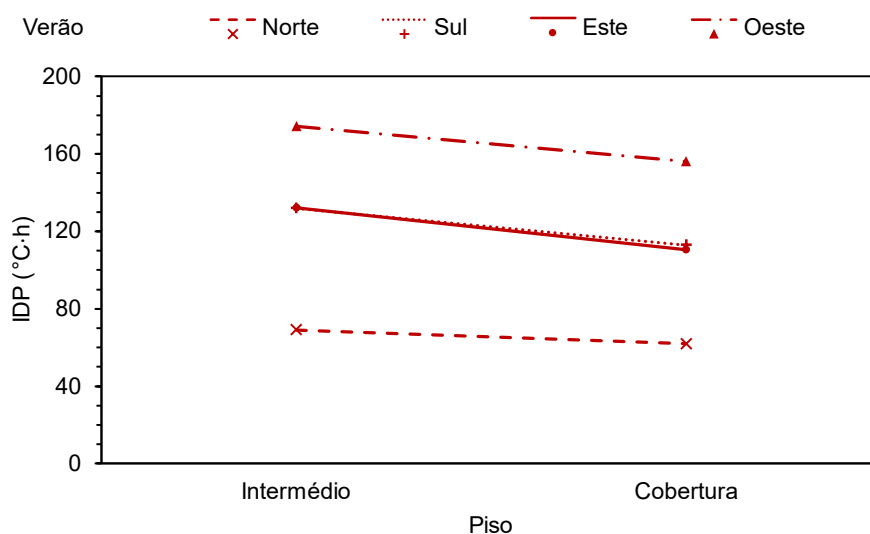


Fig. 5.14 – Comparação do IDP de verão, nas horas em que a habitação é ocupada, para diferentes posições do apartamento no edifício em função da orientação (clima do Porto)

No que diz respeito à estação de arrefecimento (Figura 5.14), verifica-se uma situação inversa em relação ao inverno, havendo um menor desconforto térmico no piso de cobertura. Durante o dia, ocorrem mais trocas de calor no piso de cobertura do que no piso intermédio. No entanto, a diferença nos ganhos de calor entre os dois pisos durante o dia não é tão significativa (especialmente porque nas horas de maior calor a habitação não é muito ocupada) como durante a noite, quando o piso de cobertura perde mais calor do que o piso intermédio, resultando numa temperatura mais confortável nos momentos em que a habitação está ocupada.

5.3. INTERVENÇÕES NA ENVOLVENTE

5.3.1. ISOLAMENTO DE PAREDES

O isolamento das paredes exteriores de um edifício é das intervenções mais correntes em edifícios já existentes, havendo diversas formas de realizar estas intervenções que permitem adaptar-se às necessidades e características do edifício. Os diferentes cenários testados que envolveram alterações neste elemento vão permitir analisar o impacto do aumento do isolamento de edifícios já existentes, permitindo verificar se, para as condições normais de aquecimento em Portugal, há vantagens em aumentar o isolamento de edifícios com um desempenho térmico correto (mas inferior aos requisitos mínimos de desempenho térmico), assim como verificar a melhor posição para a colocação deste isolamento (interior ou exterior).

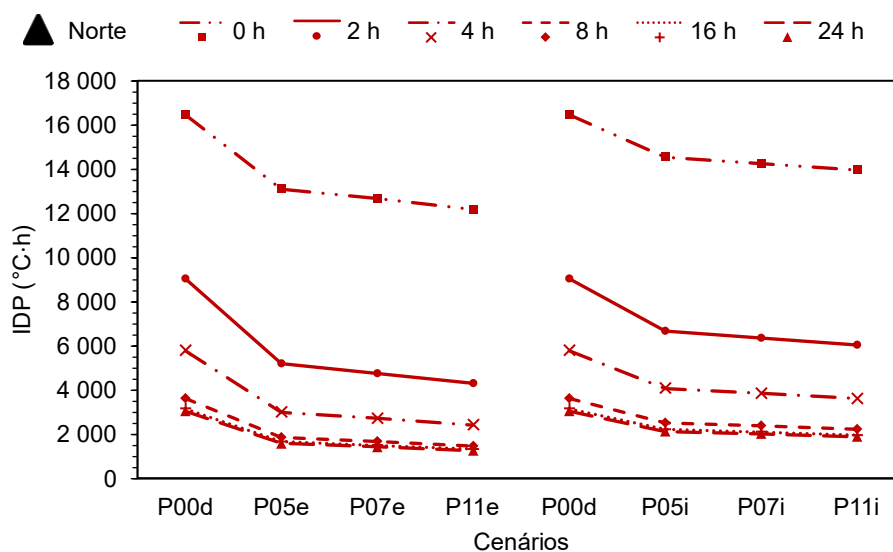


Fig. 5.15 – Comparação do IDP global, nas horas em que a habitação é ocupada, em função das intervenções nas paredes (clima do Porto), para a orientação norte

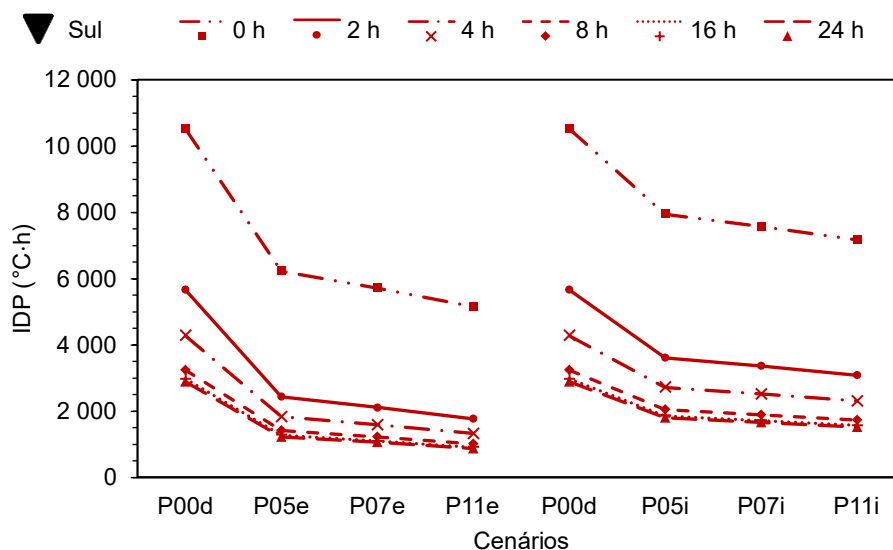


Fig. 5.16 – Comparação do IDP global, nas horas em que a habitação é ocupada, em função das intervenções nas paredes (clima do Porto), para a orientação sul

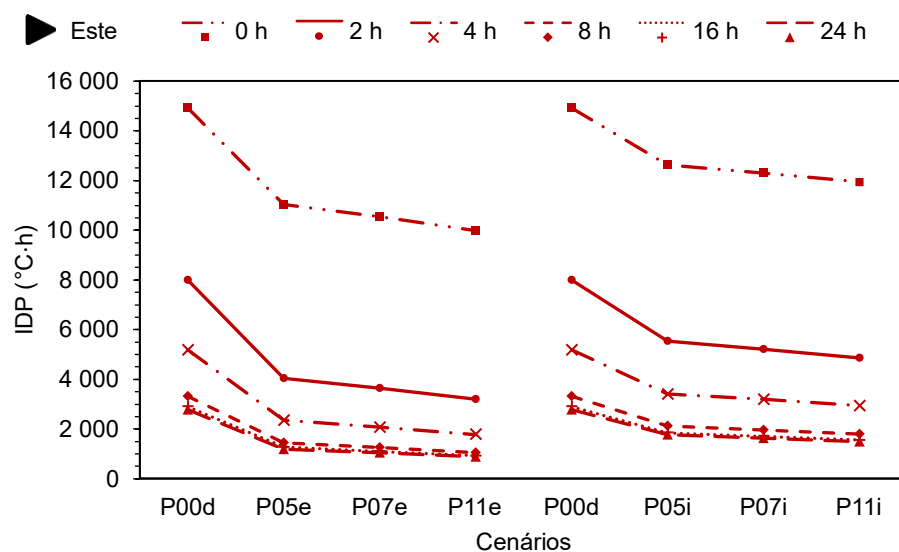


Fig. 5.17 – Comparação do IDP global, nas horas em que a habitação é ocupada, em função das intervenções nas paredes (clima do Porto), para a orientação este

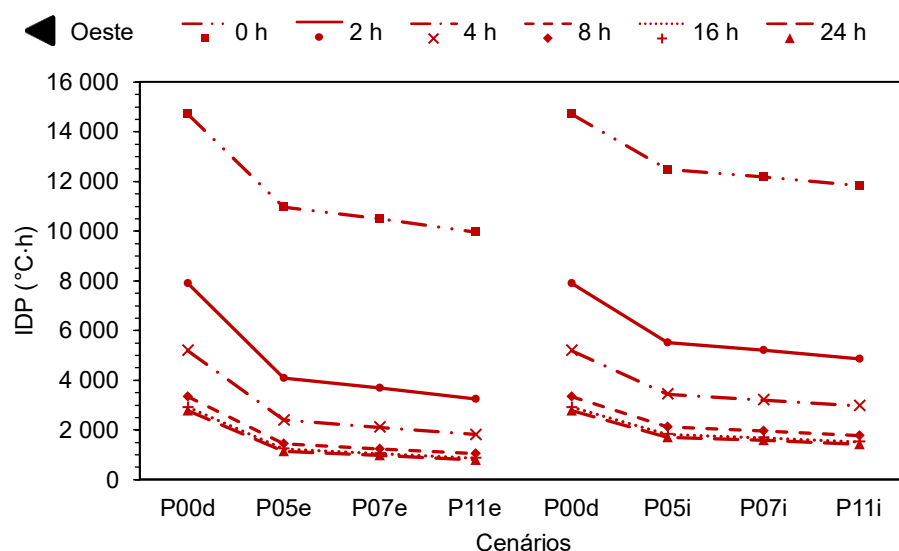


Fig. 5.18 – Comparação do IDP global, nas horas em que a habitação é ocupada, em função das intervenções nas paredes (clima do Porto), para a orientação oeste

As primeiras conclusões tiradas das Figuras 5.15 a 5.18 são que o aumento do isolamento térmico tem maior influência na melhoria do conforto térmico para a orientação sul e menor influência na orientação norte. Como explicado na análise da influência das orientações sobre o conforto térmico, a orientação da fachada com maior número de vãos a sul permite um número de ganhos solares maior que na orientação norte, para a estação de aquecimento. Como o aumento da espessura do isolamento da fachada não tem influência nos ganhos solares, o aumento do isolamento térmico permite reduzir as perdas de calor obtidas pela radiação solar, permitindo um maior conforto de inverno nas orientações com maior incidência de radiação solar.

Quanto à posição do isolamento térmico, constata-se que esta escolha também tem influência na melhoria do conforto. De facto, a colocação do isolamento térmico pelo exterior da envolvente apresenta uma redução do IDP duas vezes superior à colocação da mesma espessura pelo interior da envolvente. Na

estação de aquecimento esta diferença no conforto é explicada pela ocorrência de perdas de calor significativas ao nível das pontes térmicas, pois, ao contrário do que acontece com a aplicação de isolamento térmico pelo exterior, a implementação de isolamento térmico exclusivamente pelo interior não permite a correção das zonas de intercessão da laje ou das paredes divisórias com a envolvente exterior.

As figuras a seguir representam a evolução na redução do IDP com o aumento da espessura do isolamento. Estes gráficos são úteis para perceber como pode evoluir o IDP para espessuras de isolamento térmico que não foram testadas.

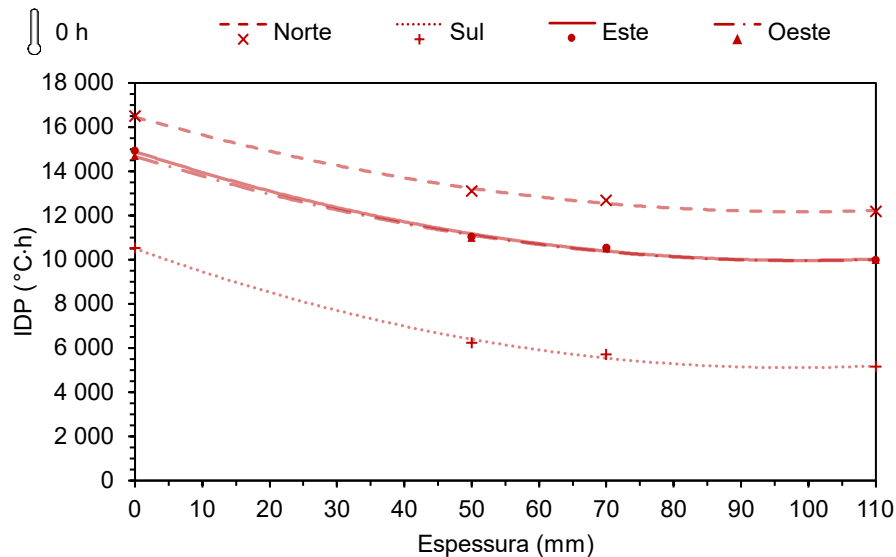


Fig. 5.19 – Evolução do IDP de inverno em função da espessura de isolamento térmico pelo exterior, para as diferentes orientações e sem aquecimento (clima do Porto)

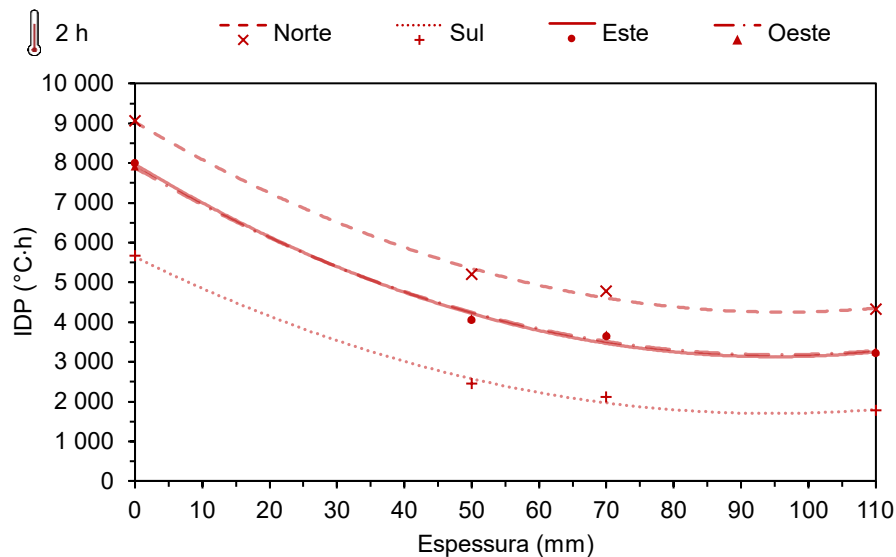


Fig. 5.20 – Evolução do IDP de inverno em função da espessura de isolamento térmico pelo exterior, para as diferentes orientações e com 2 h de aquecimento (clima do Porto)

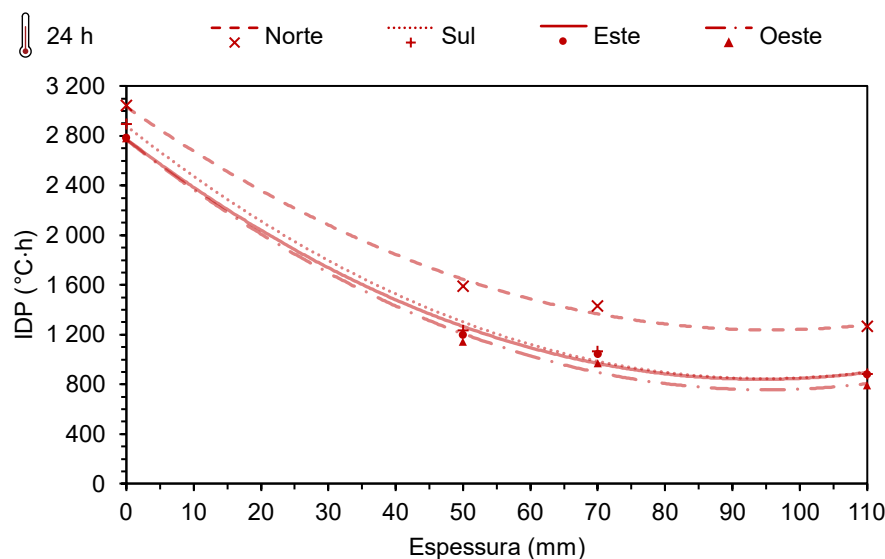


Fig. 5.21 – Evolução do IDP de inverno em função da espessura de isolamento térmico pelo exterior, para as diferentes orientações e com 24 h de aquecimento (clima do Porto)

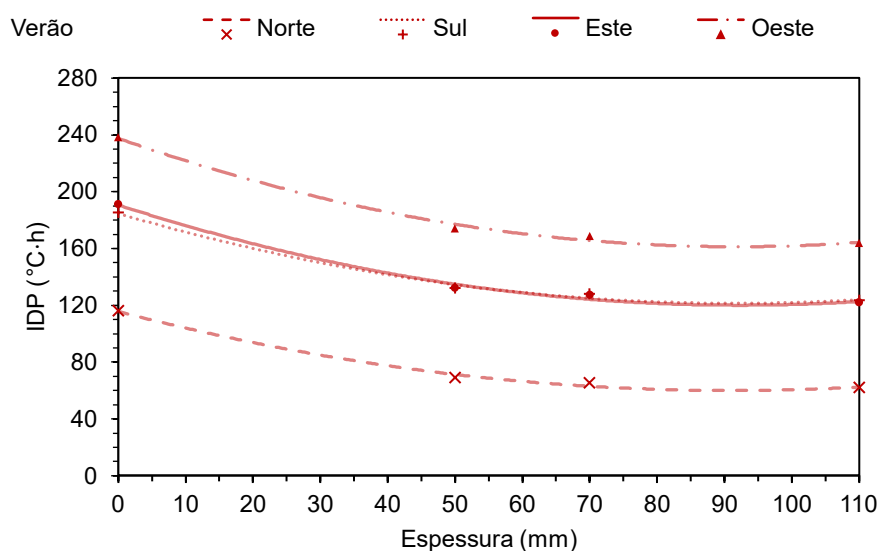


Fig. 5.22 – Evolução do IDP de verão em função da espessura de isolamento térmico pelo exterior, para as diferentes orientações (clima do Porto)

Apesar de parecer que nas Figuras 5.15 a 5.18 exista alguma linearidade entre o aumento da espessura do isolamento térmico e a diminuição do IDP, a verdade é que quando analisada a evolução do IDP em função da espessura de isolamento térmico percebe-se que a diminuição do desconforto térmico não é diretamente proporcional ao aumento da espessura do isolamento térmico. Observando as Figuras 5.19 a 5.22 verifica-se que a diminuição do desconforto térmico é mais importante para os primeiros centímetros de isolamento térmico. Além disso, parece que para grandes espessuras de isolamento térmico, o aumento do isolamento térmico tem um impacto cada vez mais reduzido no aumento do conforto térmico, sugerindo que existe um limite para o qual o isolamento térmico deixa de ter influência na melhoria do conforto. Isso significa que para a melhoria do conforto térmico, tem mais impacto a implementação de 5 cm de isolamento térmico num edifício sem isolamento térmico (cenário P00d para cenário P05e) do que o aumento de 6 cm de isolamento térmico num edifício com espessura de isolamento

considerável (cenário P05e para cenário P11e), podendo o primeiro caso apresentar uma redução do desconforto térmico cinco vezes maior que a redução do desconforto térmico do segundo caso. Isto pode explicar-se, em parte, pelo aumento de U que não é diretamente proporcional ao aumento da espessura do isolamento térmico. De referir que estas conclusões também se aplicam ao isolamento térmico pelo interior, apenas não são tão evidentes (a nível gráfico).

Relativamente às horas de aquecimento, apesar de o aumento do isolamento térmico ter mais impacto na diminuição do desconforto térmico para os cenários com poucas horas de aquecimento (ou até nulas), porém, quando comparados apenas os cenários para as mesmas horas de aquecimento, observa-se que, em proporção, o aumento do isolamento térmico apresenta mais benefícios quanto mais se aqueça a habitação.

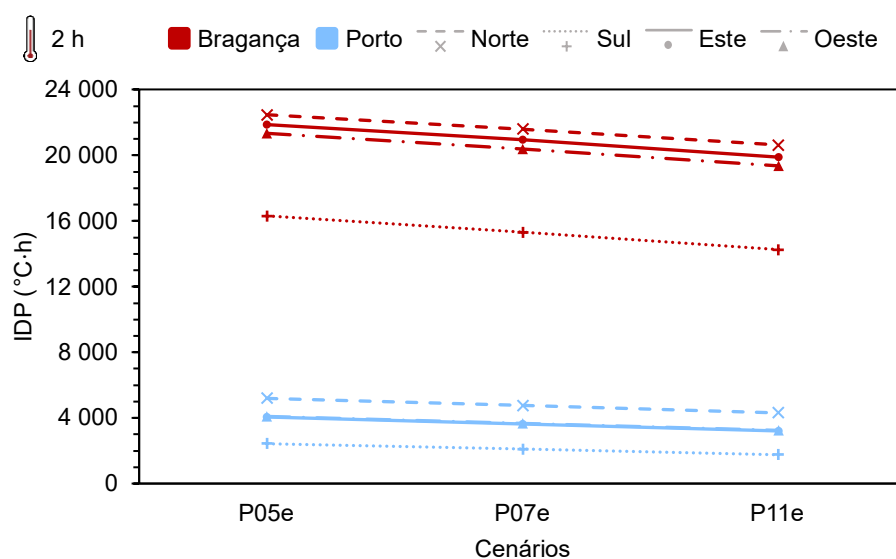


Fig. 5.23 – Comparação do IDP de inverno, nas horas em que a habitação é ocupada, para climas exteriores (localização) diferentes em função da orientação e intervenções na envolvente, com 2 h de aquecimento

Também se verifica que o aumento do isolamento térmico tem um maior impacto na melhoria do conforto térmico em climas mais frios (Figura 5.23) como o caso de Bragança, sobretudo quando são utilizados sistemas de aquecimento (podem ser observados gráficos para outras horas de aquecimento nas Figuras 5.1 a 5.4).

5.3.2. ISOLAMENTO DE COBERTURA

A cobertura é dos elementos da envolvente exterior opaca por onde há maiores transferências de calor entre o interior da habitação e o ambiente exterior, sendo por isso interessante a sua isolamento. Por outro lado, dependendo do tipo de cobertura, pode torna-se mais dispendiosa a sua isolamento do que a aplicação de isolamento em paredes exteriores.

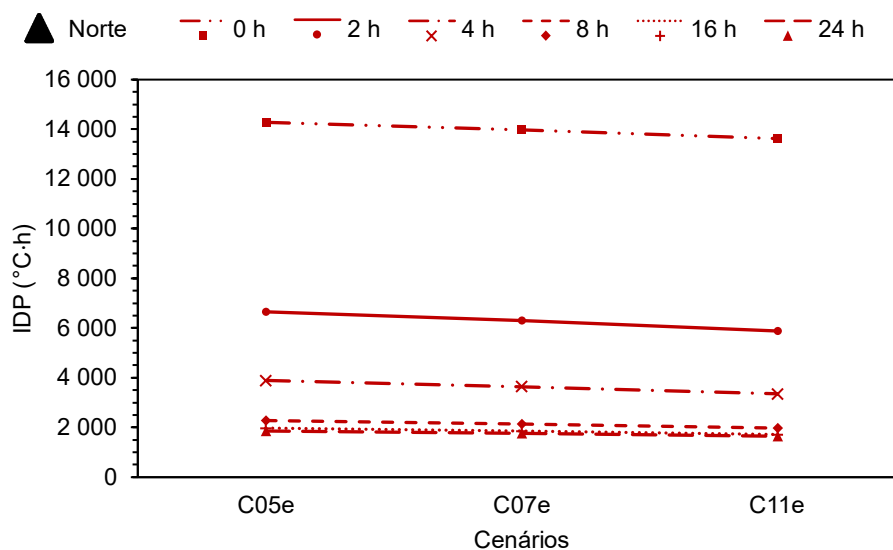


Fig. 5.24 – Comparação do IDP global, nas horas em que a habitação é ocupada, em função das intervenções na cobertura (clima do Porto), para a orientação norte

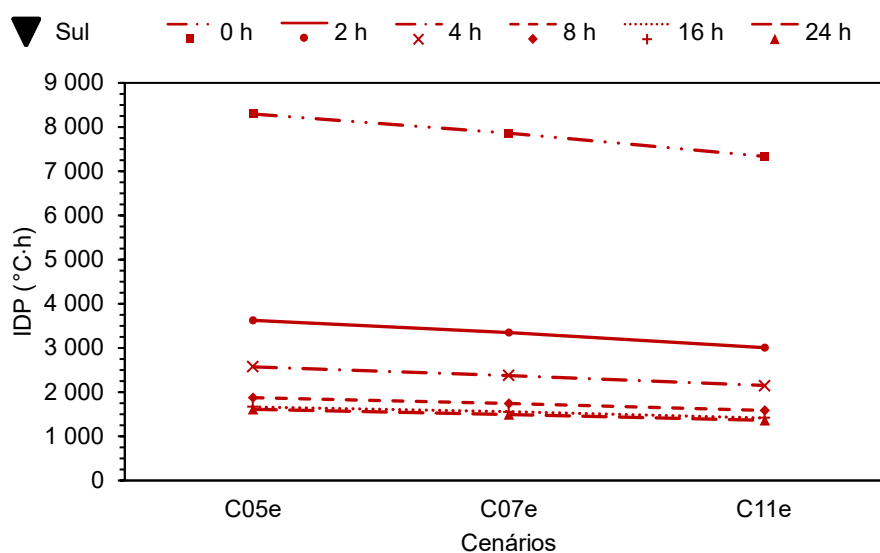


Fig. 5.25 – Comparação do IDP global, nas horas em que a habitação é ocupada, em função das intervenções na cobertura (clima do Porto), para a orientação sul

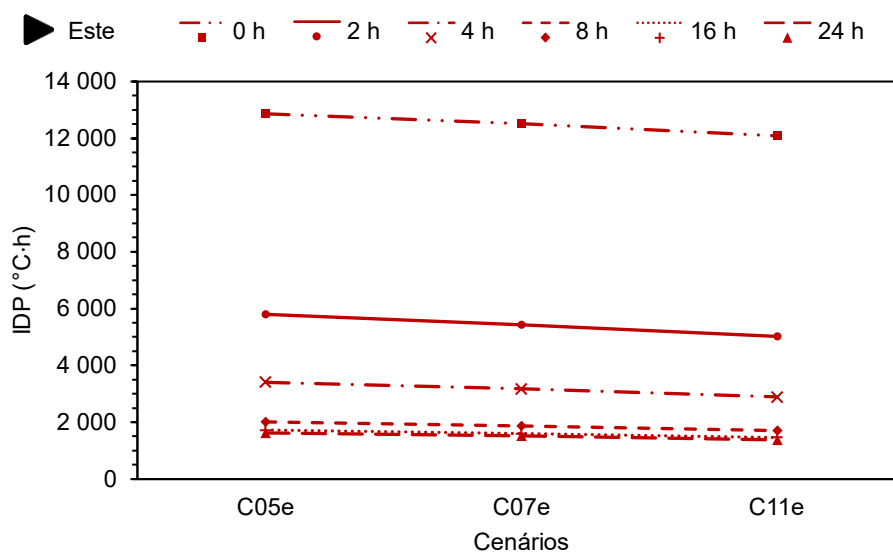


Fig. 5.26 – Comparação do IDP global, nas horas em que a habitação é ocupada, em função das intervenções na cobertura (clima do Porto), para a orientação este

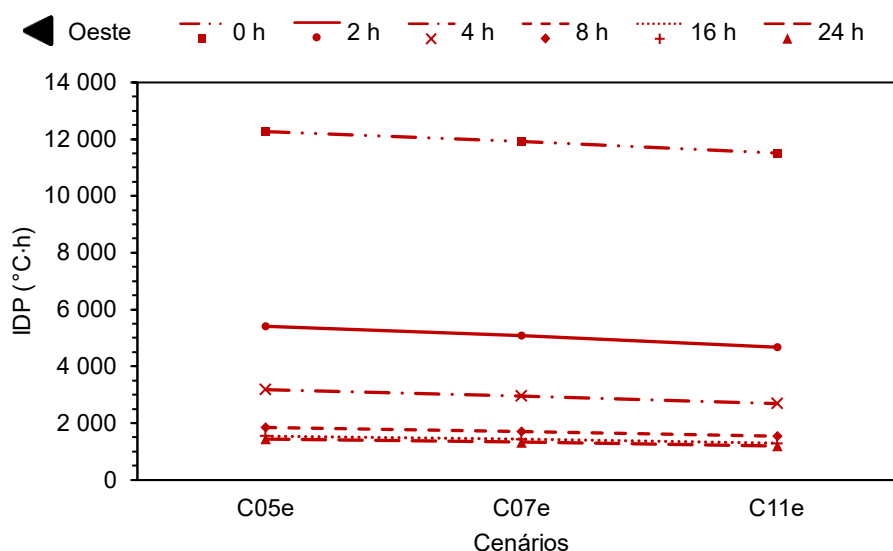


Fig. 5.27 – Comparação do IDP global, nas horas em que a habitação é ocupada, em função das intervenções na cobertura (clima do Porto), para a orientação sul

As conclusões retiradas, no que diz respeito ao aumento da isolamento da cobertura, são bastante semelhantes às conclusões do isolamento das fachadas, ou seja, observa-se diminuição do desconforto térmico que não é proporcional ao aumento da espessura do isolamento térmico da cobertura. Para além disso também se confirma que o aumento do isolamento térmico da cobertura tem maior influência quando são utilizados sistemas de aquecimento na habitação ou quando a fachada principal do edifício fica orientada a sul.

Uma vez que os cenários de melhoria do isolamento das paredes foram testados num piso intermédio e a melhoria do isolamento da cobertura foi testada no piso de cobertura, não é possível fazer uma comparação direta do IDP, uma vez que o cenário base do piso de cobertura apresenta um desconforto superior ao cenário base do piso intermédio. Para avaliar qual das duas intervenções proporciona maiores benefícios na melhoria do conforto térmico, foi criado um gráfico onde os cenários com o maior valor de IDP em ambos os pisos correspondem a 100%, enquanto os restantes valores refletem a proporção de melhoria no desconforto.

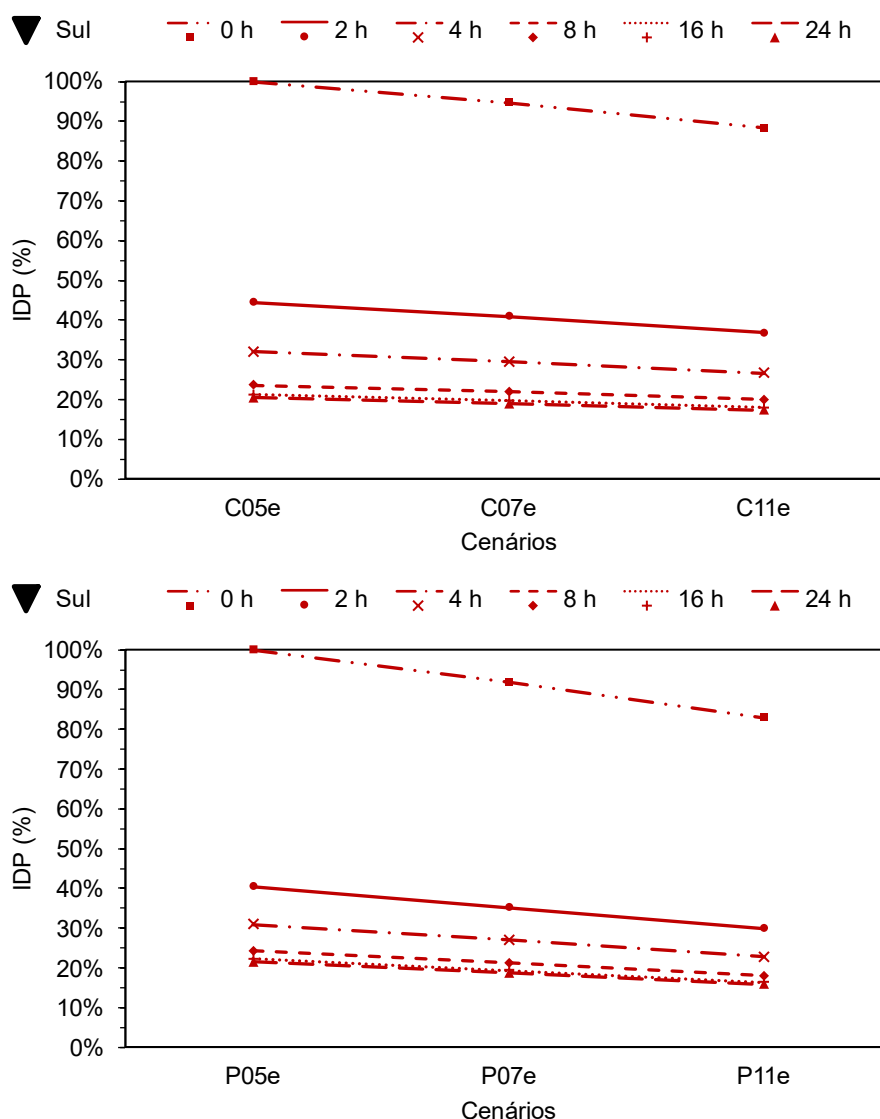


Fig. 5.28 – Comparação da influência do aumento do isolamento da cobertura (cima) e das paredes (baixo) na diminuição do IDP global, para a orientação sul

Com base nesses gráficos (Figura 5.28), conclui-se que o aumento do isolamento da cobertura tem uma influência menor na redução do desconforto térmico em comparação ao isolamento das paredes. Isso reflete que as perdas de calor pela cobertura são mais significativas do que as perdas de calor pelas paredes, sendo necessário uma espessura de isolamento térmico mais importante na cobertura do que nas paredes para alcançar níveis de conforto térmico semelhantes.

5.3.3. ALTERAÇÃO NOS VÃOS ENVIDRAÇADOS

Os vãos envidraçados são elementos pertencentes à envolvente exterior e permitem a ventilação dos espaços e a entrada de luz natural no interior da habitação e, por consequência, o aumento da temperatura interior devido aos ganhos solares. Estes elementos são também dos elementos do edifício com piores coeficientes de transmissão térmica, sendo por isso essencial o seu devido dimensionamento e a sua correta utilização (com as proteções solares) de modo a permitir um máximo de ganhos solares e um mínimo de perdas de calor no inverno e o contrário no verão.

Como referido no Subcapítulo 4.5.2, foram criados dois cenários alternativos ao cenário original: um cenário onde as portadas interiores do edifício foram substituídas por portadas exteriores com as mesmas características; e outro cenário onde o vidro simples dos vãos foi substituído por um vidro duplo, mantendo as características das caixilharias e das proteções solares.

Observando os valores dos IDP global percebe-se que apenas a substituição do vidro simples por vidro duplo teve impacto significativo na diminuição do desconforto térmico.

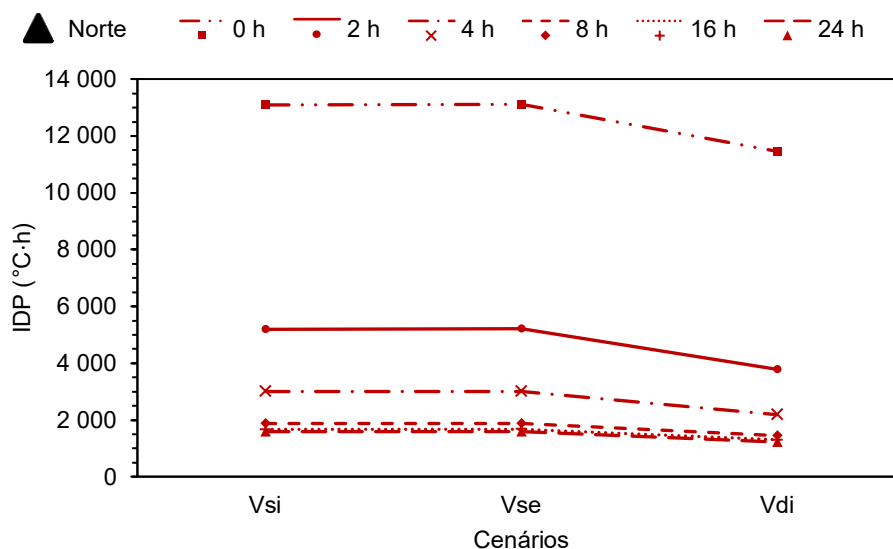


Fig. 5.29 – Comparação do IDP global, nas horas em que a habitação é ocupada, em função das intervenções nos vãos envidraçados (clima do Porto), para a orientação norte

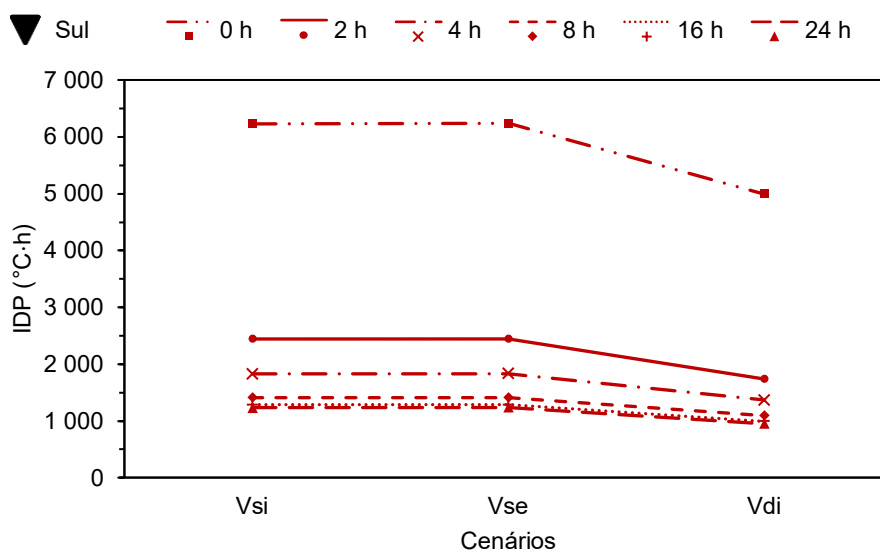


Fig. 5.30 – Comparação do IDP global, nas horas em que a habitação é ocupada, em função das intervenções nos vãos envidraçados (clima do Porto), para a orientação sul

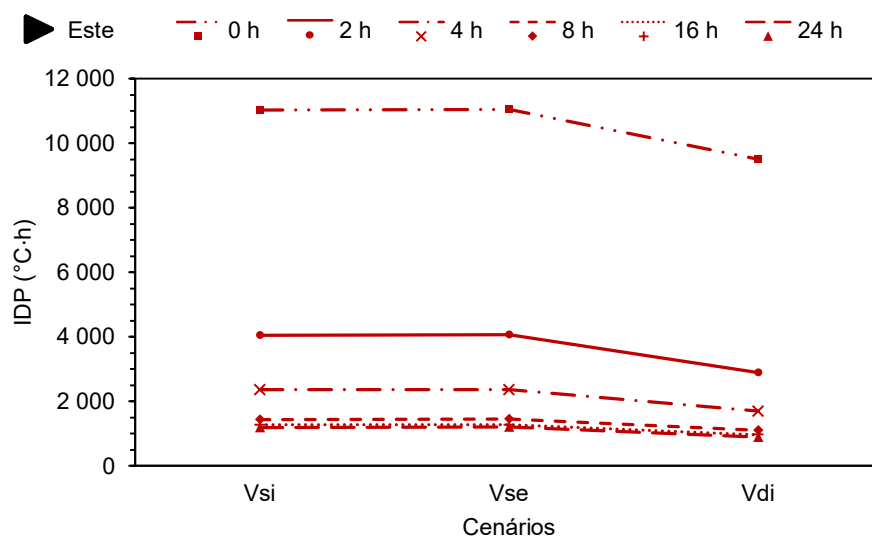


Fig. 5.31 – Comparação do IDP global, nas horas em que a habitação é ocupada, em função das intervenções nos vãos envidraçados (clima do Porto), para a orientação este

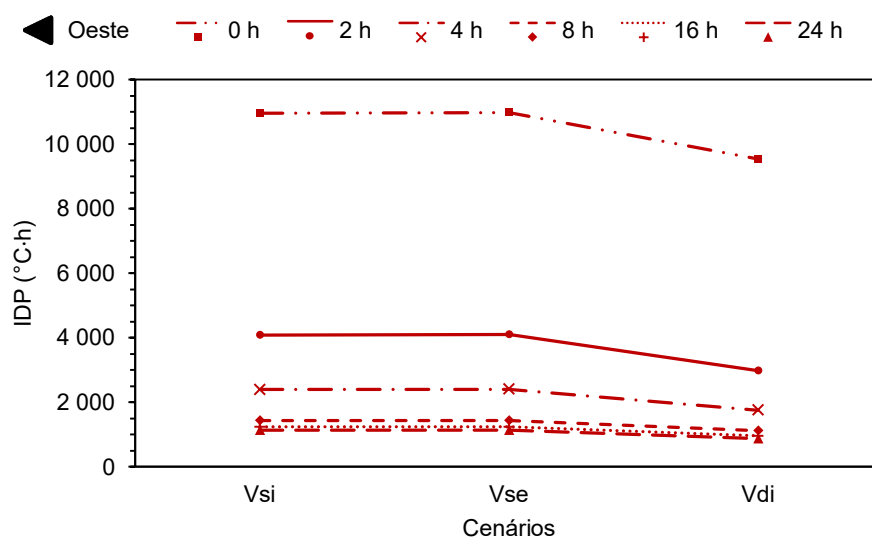


Fig. 5.32 – Comparação do IDP global, nas horas em que a habitação é ocupada, em função das intervenções nos vãos envidraçados (clima do Porto), para a orientação oeste

A substituição da posição da proteção solar do interior para o exterior (Figuras 5.29 a 5.30, cenário Vse) aparenta não trazer benefícios pois a alteração da sua posição, mantendo as características originais, não altera o U_{WDN} do conjunto vão envidraçado e proteção solar. Por sua vez, a substituição do vidro simples por vidro duplo (Figuras 5.29 a 5.30, cenário Vdi), mantendo as características da caixilharia, permite uma redução do U_w , o que resulta numa diminuição das trocas térmicas entre o ambiente interior e exterior, reduzindo dessa forma o desconforto.

Além disso, pode observar-se que na orientação sul, a substituição de vidro simples por vidro duplo tem mais influência (em proporção) na melhoria do conforto térmico, que nas restantes orientações, sendo na orientação norte onde se verifica uma menor influência. Esta diferença deve-se a que, como referido anteriormente, uma caixilharia com vidro duplo apresenta um U_{WDN} menor que a mesma caixilharia com vidro simples. Porém, mesmo que apresente um valor mais reduzido, esse valor continua a ser mais elevado que o resto dos elementos da envolvente. Para serem observadas melhorias mais significativas

na estação de aquecimento, é necessário compensar as perdas com ganhos, neste caso ganhos solares. Ora, como no inverno, a orientação norte não recebe ganhos solares significativos, ao contrário da orientação sul, o balanço entre as perdas e os ganhos de calor são mais significativas (negativamente) na orientação norte do que a sul.

Quanto ao verão, uma forma de reduzir o aquecimento ambiente consiste na utilização das proteções solares nos momentos do dia onde a radiação solar incide sobre os vãos envidraçados. No seguinte gráfico pode observar-se a evolução do IDP de verão em função do tipo de intervenção nos vãos.

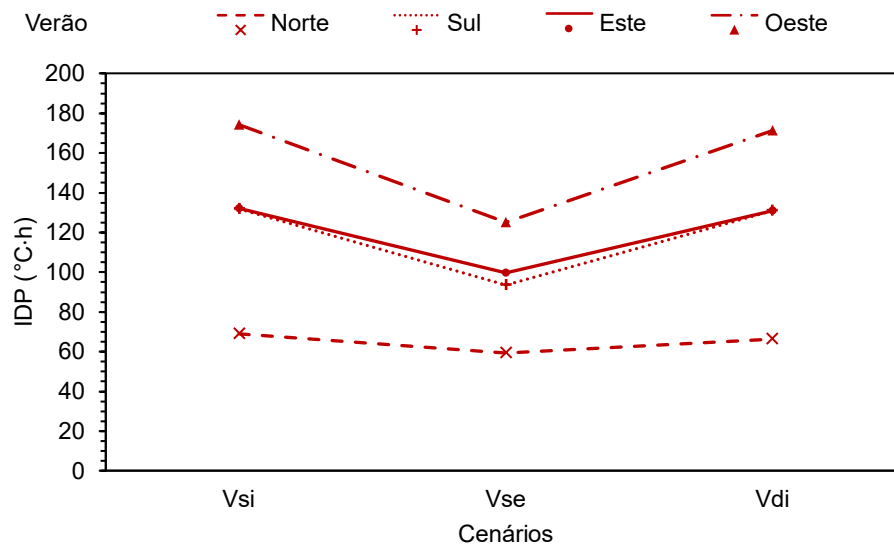


Fig. 5.33 – Comparação do IDP de verão, nas horas em que a habitação é ocupada, em função das intervenções nos vãos envidraçados (clima do Porto), para diferentes orientações

Relativamente à alteração do posicionamento das proteções solares (Figura 5.33, cenário Vse), não se observaram diferenças significativas na estação de aquecimento, porém com esta simples alteração é possível obter resultados melhores que a solução original, para a estação de arrefecimento, em todas as orientações (mesmo que a norte esta alteração não tenha um grande impacto).

No que diz respeito à substituição do vidro simples por vidro duplo (Figura 5.33, cenário Vdi), observa-se uma ligeira melhoria no conforto térmico durante a estação de aquecimento. Essa substituição resulta numa redução nos ganhos solares e nas trocas de calor, devido ao aumento do U_w . No entanto, caso as portadas não fossem utilizadas durante a noite, seria esperado que este cenário apresentasse um desconforto maior em comparação ao vidro simples. Isso ocorre porque a implementação de vidro duplo reduz as trocas de calor durante a noite, tornando mais difícil a diminuição da temperatura em relação ao vidro simples.

5.4. COMPARAÇÃO DOS CUSTOS DE INTERVENÇÃO E PREÇO DA ENERGIA

5.4.1. CUSTOS DAS INTERVENÇÕES

Até agora foi apresentado e analisado a influência das alterações da envolvente dos edifícios na flutuação da temperatura interior e foram constatadas soluções mais eficientes, do ponto de vista da térmica. Porém a implementação destas soluções, assim como a utilização de aquecimento, apesar de melhorarem o conforto térmico dos edifícios, é necessário, não só otimizar termicamente a envolvente, como também otimizar o custo das intervenções e ver se a médio ou longo prazo é mais vantajoso a aplicação de uma destas soluções para o aumento do conforto ou se é mais rentável uma utilização mais importante do aquecimento.

Foi então estimado o custo da intervenção para a implementação de cada cenário, tanto em comparação com o edifício original, como para um edifício sem isolamento térmico nas paredes da habitação (como no cenário P00d). Para as estimativas orçamentais, foi utilizado a ferramenta do gestor de preços da CYPE, e foram tidos em conta os preços da remoção das soluções antigas (caso seja necessário) e o preço da aplicação das novas soluções.

Os custos das intervenções para a fração de estudo encontram-se nas Tabelas 5.1 e 5.2. Os custos apresentados representam o custo da intervenção apenas para as dimensões da fração de estudo, sendo que na prática, para algumas das intervenções, seria necessário aplicar a intervenção em todo o edifício, como por exemplo para o isolamento exterior das fachadas principais ou o isolamento da cobertura.

Tabela 5.1 – Custos das intervenções para o cenário original (PI-P05Vsi e PC-P05eC05eVsi)

Cenário	Descrição	Custo unit. [€]	Área [m²]	Custo da intervenção [€]
P07e	Aumento de 2 cm do isolamento térmico das fachadas principais	58,77	67,24	3 951,79
P11e	Aumento de 6 cm do isolamento térmico das fachadas principais	63,12	67,24	4 244,29
Vse	Substituição da portada interior por uma exterior	161,57	9,45	1 526,38
Vdi	Substituição do vidro simples por vidro duplo	462,01	9,45	4 364,60
C07e	Aumento de 2 cm do isolamento térmico da cobertura	22,02	94,97	2 091,20
C11e	Aumento de 6 cm do isolamento térmico da cobertura	32,73	94,97	3 108,30

Tabela 5.2 – Custo das intervenções para o cenário 6 (PI-P00dVsi)

Cenário	Descrição	Custo unit. [€]	Área [m²]	Custo da intervenção [€]
P05e	Sistema de isolamento térmico exterior, com 5 cm de EPS	61,24	67,24	4 117,88
P07e	Sistema de isolamento térmico exterior, com 7 cm de EPS	63,38	67,24	4 261,77
P11e	Sistema de isolamento térmico exterior, com 11 cm de EPS	69,60	67,24	4 680,02
P05i	Sistema de isolamento térmico interior, com 5 cm de lã mineral	39,09	42,18	1 648,82
P07i	Sistema de isolamento térmico interior, com 7 cm de lã mineral	40,69	42,18	1 716,30
P11i	Sistema de isolamento térmico interior, com 11 cm de lã mineral	44,71	42,18	1 885,87

Estes orçamentos são considerações próprias baseados em custos de intervenções do CYPE e podem não representar a realidade, tendo sido consideradas simplificações tanto na forma de aplicação das soluções como nas espessuras do isolamento térmico. Apesar dessas simplificações e considerações feitas, estes preços ajudam a entender a ordem de grandeza de cada intervenção e permite ajudar a entender as vantagens e desvantagens de cada solução, tanto a nível térmico quanto monetário. Por exemplo, o custo da implementação de um sistema ETICS apresenta custos mais elevados do que a implementação de isolamento pelo interior da habitação, porém a primeira solução apresenta um melhor desempenho térmico, reduzindo o consumo de energia e o desconforto térmico. De seguida estão representados gráficos que relacionam o custo da intervenção com o IDP global associados a essas intervenções, sendo que nesses gráficos não são considerados combinações de intervenções diferentes.

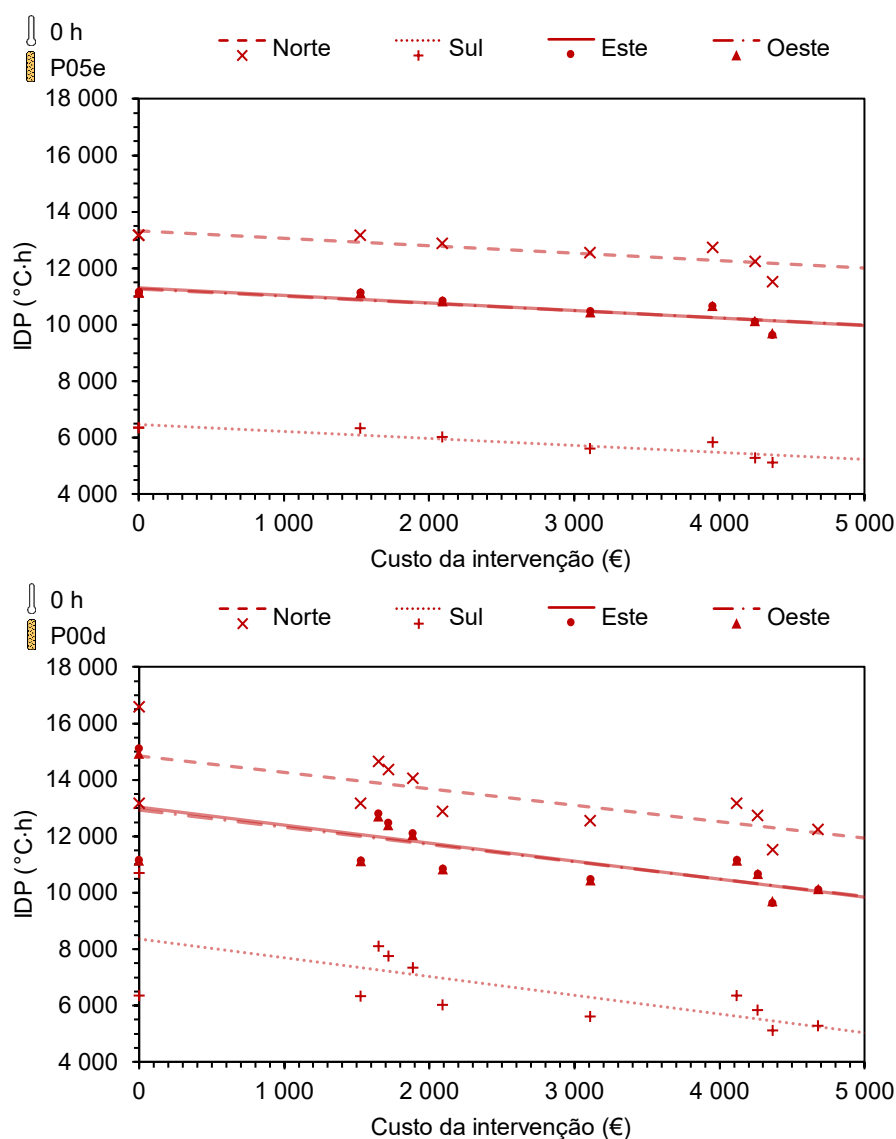


Fig. 5.34 – Relação entre o custo das intervenções e o IDP global associado (clima do Porto), sem aquecimento

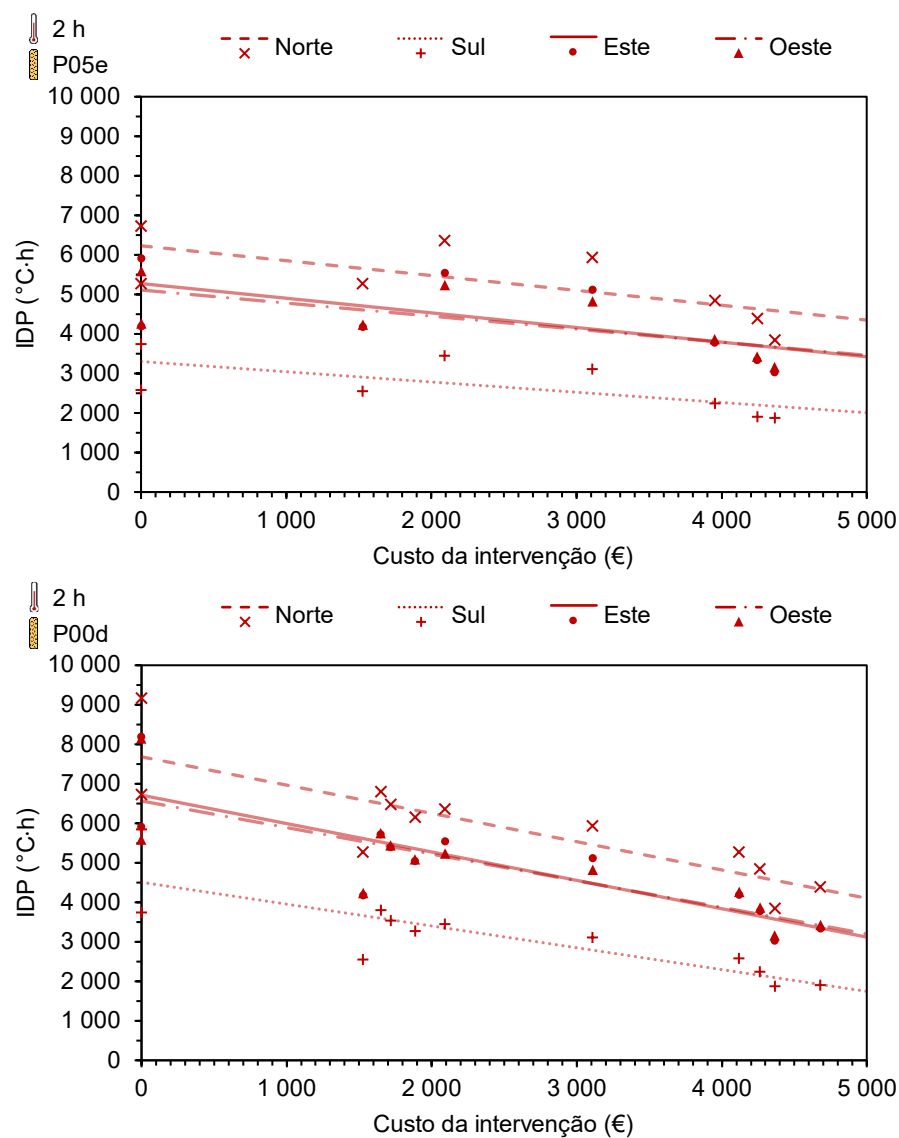


Fig. 5.35 – Relação entre o custo das intervenções e o IDP global associado (clima do Porto), com 2 h de aquecimento

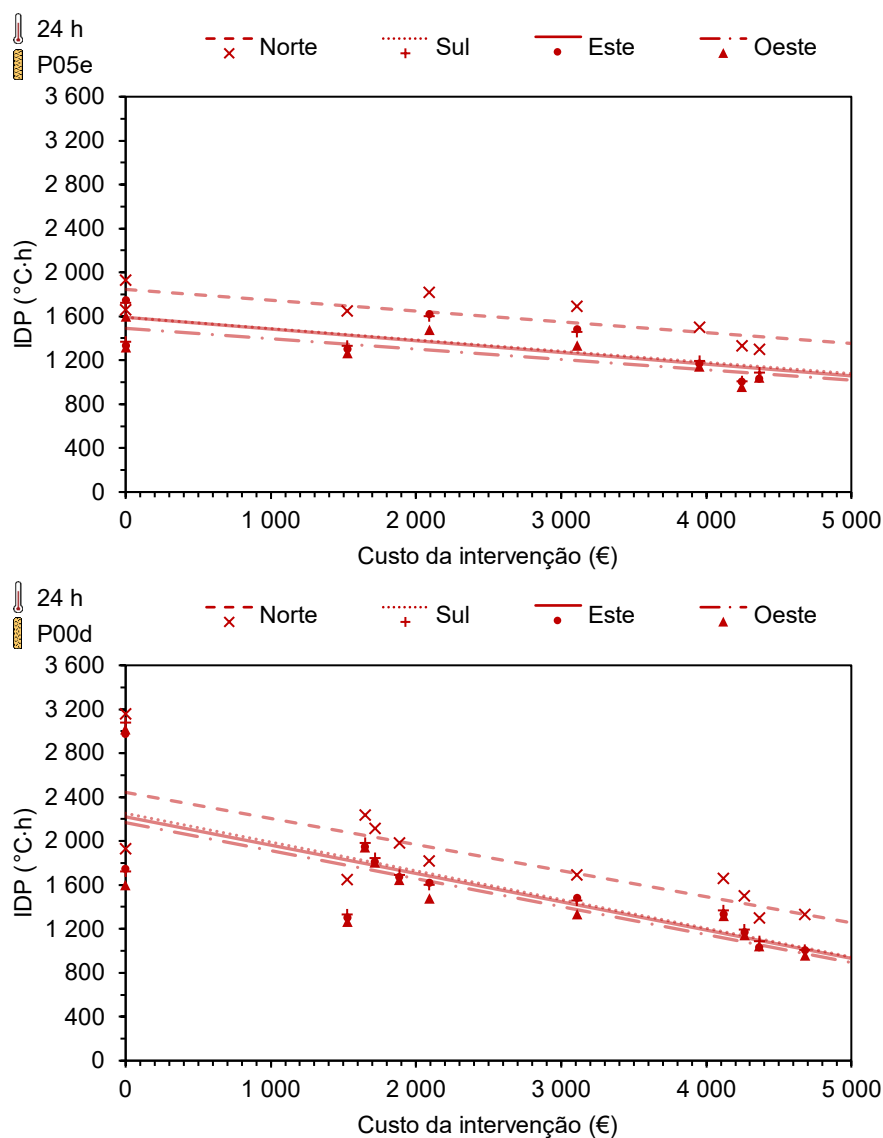


Fig. 5.36 – Relação entre o custo das intervenções e o IDP global associado (clima do Porto), com 24 h de aquecimento

Com estes gráficos (Figuras 5.34 a 5.36) pode concluir-se que, de um modo geral, para um edifício com uma espessura de isolamento térmico considerável, como o caso de estudo onde a envolvente possui 5 cm de isolamento térmico, as melhorias no conforto térmico proporcionadas pelas intervenções são reduzidas quando comparadas com o custo associado, sobretudo quando são utilizados sistemas de aquecimento. Por outro lado, se o edifício antes da intervenção apresentar um mau desempenho térmico, como no cenário P00d onde o edifício não possui isolamento térmico, observa-se uma maior rentabilidade do investimento para a melhoria do conforto térmico, sobretudo quando é utilizada alguma forma de aquecimento da habitação.

5.4.2. CUSTOS ENERGÉTICOS

Quanto aos custos energéticos, foram retirados os consumos de energia de cada cenário da habitação e dos diferentes cenários de aquecimento diretamente do WUFI® Plus. Uma vez que foram utilizados sistemas elétricos (aquecedores a óleo) e biomassa (lareira aberta), foram considerados 0,22 €/kWh e 0,05 €/kWh, para os preços da eletricidade e lenha, respetivamente.

Na Tabela 5.3 são apresentados o custo estimado do consumo de energia para aquecimento, tendo em conta os preços da energia considerados anteriormente e tendo em conta que para os cenários de aquecimento intermitente de 2 h e 4 h foi considerado que a fonte de energia para aquecimento da sala era a lenha e que para nas restantes divisões a fonte de energia era a eletricidade. Para os restantes cenários de aquecimento foi apenas considerada como fonte de energia a eletricidade.

Tabela 5.3 – Custo da energia para aquecimento para a orientação norte

Cenário	Descrição	Custo da energia para aquecimento [€]				
		2 h	4 h	8 h	16 h	24 h
P05e	Fração do piso intermédio do edifício original	314,43	408,22	652,30	741,81	789,40
P07e	Fachadas principais com 7 cm de isolamento térmico exterior	309,20	395,70	629,48	713,63	757,29
P11e	Fachadas principais com 11 cm de isolamento térmico exterior	302,54	383,55	605,52	682,80	723,08
P05i	Fachadas principais com 5 cm de isolamento térmico interior	328,70	442,06	726,90	849,13	902,17
P07i	Fachadas principais com 7 cm de isolamento térmico interior	325,54	434,54	710,32	828,26	878,31
P11i	Fachadas principais com 11 cm de isolamento térmico interior	321,83	425,61	692,68	804,64	852,21
P00d	Fachadas principais em parede dupla sem isolamento térmico	351,12	504,49	861,92	1 034,11	1 107,84

Cenário	Descrição	Custo da energia para aquecimento [€]				
		2 h	4 h	8 h	16 h	24 h
Vse	Portadas exteriores nos vãos envidraçados da fachada poente	314,58	408,56	652,95	742,47	790,08
Vdi	Vidro duplo nos vãos envidraçados da fachada poente	288,66	357,11	552,29	616,91	653,29
C05e	Fração do piso de cobertura do edifício original	340,58	468,54	778,90	913,57	970,90
C07e	Cobertura com 7 cm de isolamento térmico	337,81	458,99	757,37	884,74	938,32
C11e	Cobertura com 11 cm de isolamento térmico	333,57	447,58	731,38	850,54	900,19

A seguir são apresentados gráficos que mostram os custos da energia consumida, ao longo dos anos, para aquecimento nos diversos cenários assim como o custo inicial associado às intervenções, para 2 h, 4 h e 24 h de aquecimento. Foi considerado que a taxa de atualização e de juros eram iguais e desta forma obter custos de energia iguais para todos os anos. Nesses gráficos não foram consideradas as intervenções na cobertura porque os restantes valores são para um apartamento localizado num piso intermédio, o que poderia conduzir a resultados errados. Além disso não se consideraram as intervenções de isolamento térmico pelo interior nas situações em que já existia isolamento térmico pelo exterior.

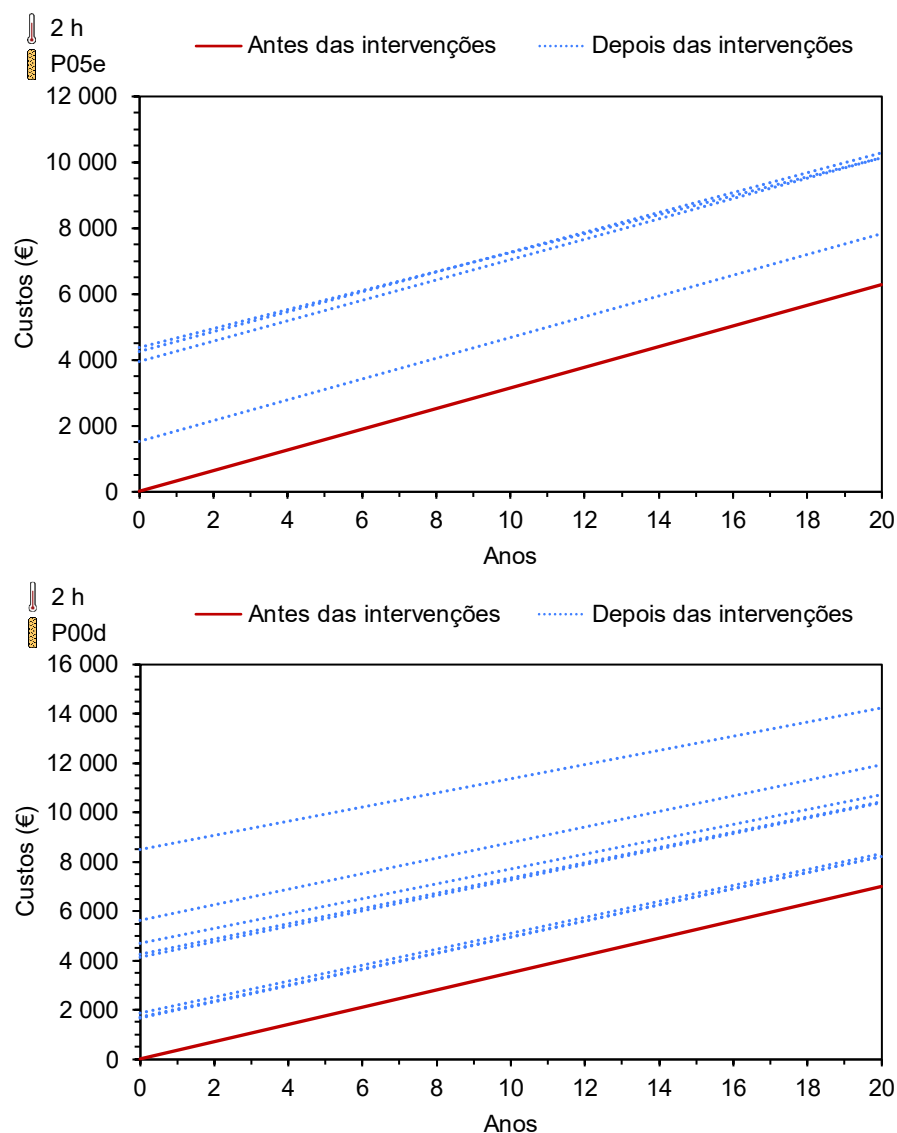


Fig. 5.37 – Evolução dos custos da energia associados a 2 h de aquecimento, ao longo dos anos, para os diferentes cenários e contabilizando o custo inicial das intervenções

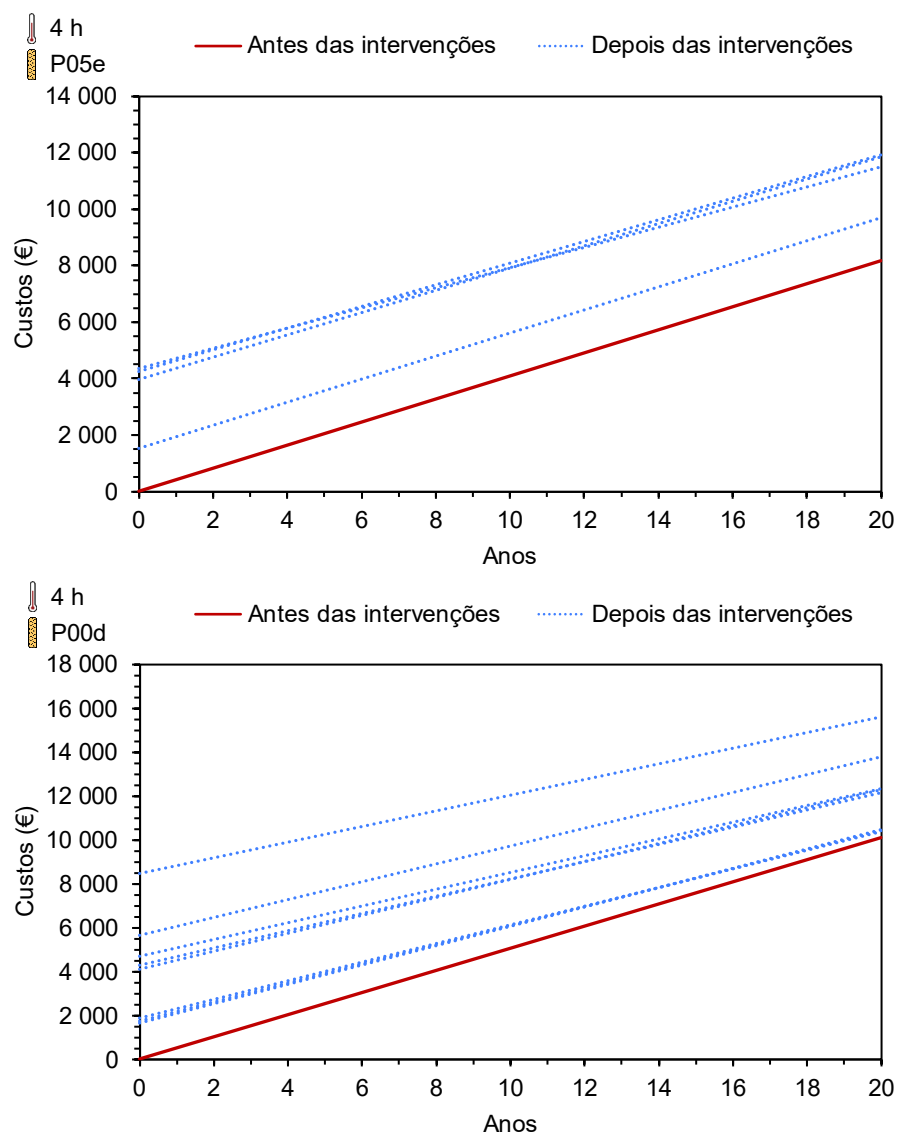


Fig. 5.38 – Evolução dos custos da energia associados a 4 h de aquecimento, ao longo dos anos, para os diferentes cenários e contabilizando o custo inicial das intervenções

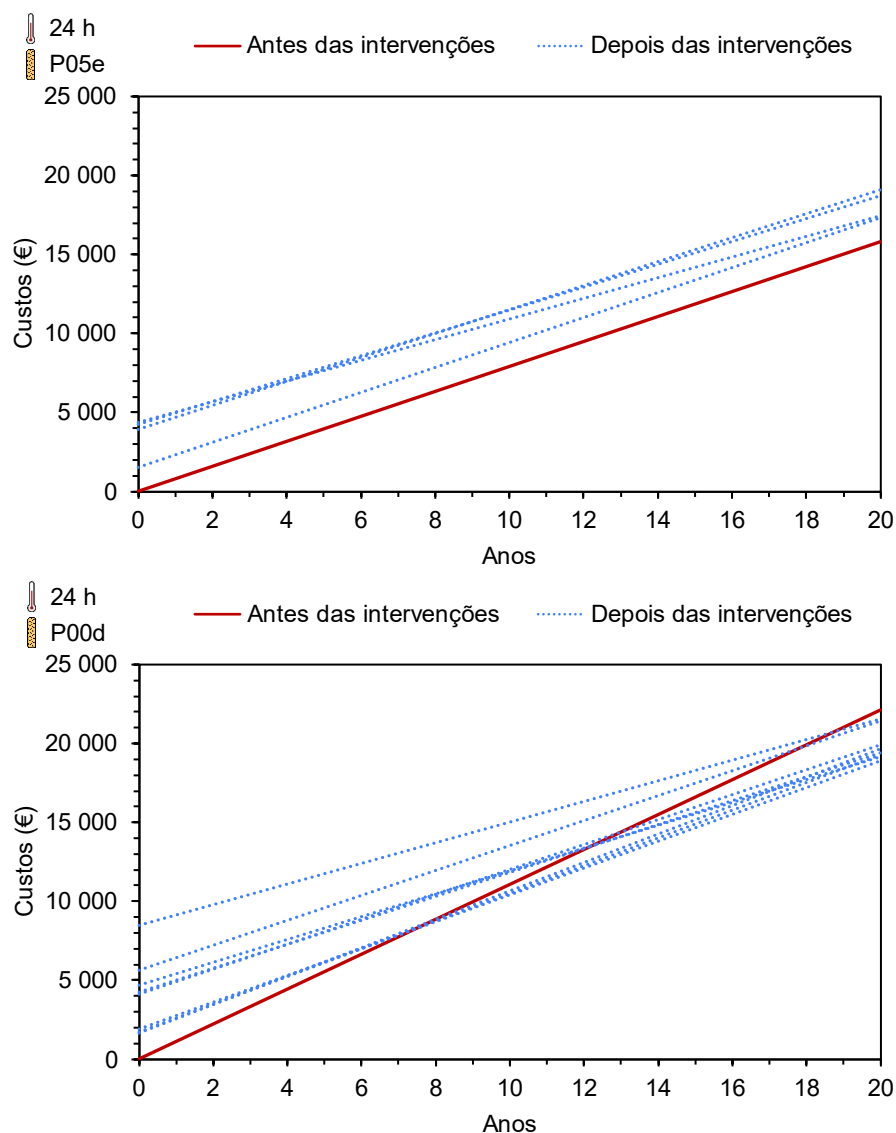


Fig. 5.39 – Evolução dos custos da energia associados a 2 h de aquecimento, ao longo dos anos, para os diferentes cenários e contabilizando o custo inicial das intervenções

Estes gráficos (Figuras 5.37 a 5.29) não foram apresentados com o objetivo de realizar uma análise técnico-económica, até porque o foco está no conforto e as intervenções presentes nesses gráficos não oferecem os mesmos níveis de conforto. O objetivo é perceber que para os hábitos de aquecimento dos portugueses (entre 2 h e 4 h de aquecimento diário) não é esperado um retorno do investimento inicial antes de 20 anos e, mesmo numa situação em que o aquecimento seja de 24 h, se o edifício possuir um certo nível de isolamento térmico, mesmo que inferior às exigências atuais, é possível que não exista um retorno do investimento antes de 20 anos, como se observa no caso do edifício com 5 cm de isolamento térmico (Figura 5.39, primeiro gráfico), onde não se verifica um retorno do investimento.

5.5. SÍNTESE

Ao longo deste capítulo foram discutidos o impacto no conforto térmico em edifícios, para fatores climáticos, orientações e posição do apartamento no edifício. Concluiu-se que o clima exterior tem um impacto enorme no conforto térmico, assim como a orientação dos vãos envidraçados, que se forem bem posicionados permitem reduzir de forma considerável o desconforto térmico. Quanto à posição do apartamento no edifício, concluiu-se que os apartamentos situados no piso de cobertura apresentam mais desconforto ao longo do ano, em comparação com um apartamento situado num piso intermédio.

Relativamente às intervenções na envolvente, concluiu-se que, no que diz respeito à envolvente opaca, a solução que oferece mais conforto é o isolamento térmico pelo exterior, devido à correção de pontes térmicas e ao aumento da inércia térmica. Ainda relativo à envolvente opaca, concluiu-se que o aumento da espessura do isolamento térmico tem um impacto maior, na diminuição do desconforto térmico, nos primeiros centímetros de isolamento térmico sendo que quanto maior a espessura do isolamento, menos se observam os benefícios do isolamento térmico. Concluiu-se também que o isolamento das paredes oferece maior conforto que o isolamento da cobertura, mesmo que seja pela cobertura onde ocorrem mais trocas de calor.

Já nos vãos envidraçados, concluiu-se que a utilização de caixilharias com vidro duplo oferece mais conforto que o vidro simples e, no verão, a utilização de proteção solar exterior permite uma maior redução do desconforto térmico, do que a utilização de proteção solar pelo interiores, porém para se obter essa diferença é necessário utilizá-las de forma correta, ou seja, ativá-las nas horas em que há incidência de radiação solar para reduzir os ganhos solares e as trocas de calor entre o ambiente exterior e interior.

Por último, realizou-se uma análise dos custos destas intervenções e da energia gasta para aquecimento e concluiu-se que as diferentes intervenções não apresentam grandes benefícios nas poupanças de energia devido ao baixo consumo por parte dos portugueses. Em edifícios com uma eficiência térmica consideravelmente boa, mas inferior aos limites regulamentares, verifica-se que os custos associados às intervenções são bastante elevados quando comparado com os benefícios no conforto térmico.

De modo a encerrar este capítulo, apresenta-se a seguir uma tabela com os valores do IDP de inverno e verão obtidos para todos os cenários estudados, representados numa matriz com uma escala de cores que permite uma avaliação do desconforto com base na orientação, horas de aquecimento, tipo de intervenção na envolvente e para os climas do Porto e de Bragança. Nesta escala, a cor vermelha indica um maior desconforto, a cor verde indica um menor desconforto e a cor amarela indica um desconforto intermédio.

Tabela 5.4. – IDP de inverno e verão, nas horas em que a habitação é ocupada, para todos os cenários estudados

Orient.	Aquec.	Cenários													Vse	Vdi	B-P05e	B-P07e	B-P11e	
		P00d	P05e	P07e	P11e	P05i	P07i	P11i	C05e	C07e	C11e									
		IDP de inverno (°C.h)																		
Norte	0 h	16 482	13 103	12 674	12 191	14 541	14 264	13 962	14 282	13 983	13 613	13 121	11 458	34 050	33 426	32 727				
	2 h	9 053	5 198	4 768	4 316	6 686	6 373	6 043	6 659	6 293	5 874	5 213	3 775	22 461	21 599	20 621				
	4 h	5 792	3 008	2 725	2 423	4 081	3 861	3 623	3 880	3 642	3 351	3 014	2 193	14 946	14 068	13 131				
	8 h	3 617	1 871	1 683	1 477	2 531	2 388	2 230	2 273	2 132	1 974	1 873	1 445	8 777	8 225	7 631				
	16 h	3 167	1 675	1 506	1 327	2 232	2 105	1 969	1 960	1 848	1 714	1 677	1 304	7 193	6 793	6 337				
	24 h	3 041	1 587	1 431	1 265	2 132	2 014	1 883	1 863	1 760	1 639	1 589	1 228	6 838	6 442	6 007				
Sul	0 h	10 524	6 230	5 713	5 151	7 939	7 575	7 178	8 294	7 859	7 327	6 246	4 989	26 597	25 764	24 812				
	2 h	5 658	2 442	2 112	1 776	3 616	3 358	3 087	3 624	3 341	3 005	2 449	1 738	16 305	15 322	14 246				
	4 h	4 285	1 830	1 586	1 324	2 722	2 522	2 304	2 575	2 377	2 146	1 835	1 367	10 866	10 078	9 228				
	8 h	3 244	1 412	1 219	1 018	2 054	1 897	1 735	1 867	1 739	1 582	1 413	1 098	7 010	6 465	5 894				
	16 h	2 973	1 284	1 103	917	1 863	1 719	1 569	1 668	1 553	1 413	1 285	992	6 060	5 604	5 106				
	24 h	2 892	1 232	1 062	883	1 803	1 666	1 517	1 606	1 495	1 361	1 233	952	5 818	5 372	4 877				
Este	0 h	14 916	11 028	10 536	9 994	12 626	12 303	11 938	12 851	12 508	12 082	11 052	9 505	33 317	32 635	31 855				
	2 h	7 991	4 053	3 639	3 213	5 533	5 216	4 868	5 791	5 437	5 016	4 065	2 893	21 863	20 945	19 900				
	4 h	5 186	2 356	2 077	1 777	3 406	3 189	2 933	3 405	3 175	2 890	2 360	1 697	14 455	13 555	12 572				
	8 h	3 310	1 442	1 255	1 058	2 114	1 964	1 795	2 014	1 875	1 713	1 445	1 097	8 491	7 916	7 289				
	16 h	2 902	1 273	1 101	927	1 847	1 707	1 564	1 718	1 599	1 461	1 275	964	6 974	6 540	6 067				
	24 h	2 785	1 198	1 041	880	1 765	1 633	1 496	1 632	1 517	1 385	1 200	898	6 627	6 210	5 746				
Oeste	0 h	14 700	10 969	10 501	9 971	12 486	12 173	11 825	12 265	11 920	11 501	10 987	9 536	32 646	31 952	31 168				
	2 h	7 909	4 090	3 685	3 253	5 514	5 205	4 863	5 419	5 084	4 675	4 098	2 977	21 346	20 403	19 356				
	4 h	5 193	2 398	2 110	1 816	3 436	3 208	2 970	3 185	2 962	2 695	2 402	1 756	14 070	13 179	12 197				
	8 h	3 341	1 443	1 247	1 047	2 119	1 959	1 782	1 838	1 702	1 541	1 444	1 115	8 201	7 615	6 984				
	16 h	2 919	1 242	1 058	871	1 826	1 682	1 527	1 547	1 430	1 294	1 243	955	6 687	6 246	5 756				
	24 h	2 779	1 139	969	792	1 712	1 578	1 420	1 438	1 326	1 194	1 140	871	6 350	5 915	5 432				
IDP de verão (°C.h)																				
Norte	-	116	69	65	62	104	101	98	62	56	48	59	66	221	207	194				
Sul	-	185	132	128	123	177	174	171	113	105	95	94	131	300	287	273				
Este	-	191	132	127	122	179	175	173	110	102	92	100	131	301	284	266				
Oeste	-	238	174	169	164	228	225	223	156	147	136	125	171	360	343	327				

6

CONCLUSÕES

6.1. CONCLUSÕES

Em conclusão, o enquadramento do trabalho revelou que a prática de aquecimento em Portugal é intermitente e não garante o conforto térmico. A ausência de regulamentação específica para o aquecimento intermitente dificulta a quantificação precisa do desconforto térmico. Perante essa situação, surgiu a necessidade de identificar formas de reduzir o desconforto térmico quando o aquecimento é intermitente.

Através da realização de um inquérito, foi possível identificar as práticas de aquecimento adotadas em diferentes regiões de Portugal. Observou-se que, no Porto, a duração do aquecimento varia principalmente entre 2 e 4 horas, enquanto em Chaves é mais comum o uso de aquecimento por 4 a 8 horas diárias. Além disso, constatou-se que o período de utilização do aquecimento é inferior ao previsto na regulamentação, começando em novembro e finalizando em março.

Para quantificar o impacto das alterações da envolvente no desconforto térmico, foi utilizado o software WUFI® Plus, onde foi modelado numericamente um edifício para permitir o estudo cenários de alteração de elementos da envolvente e de aquecimento intermitente. Utilizando o Índice de Desconforto Térmico (IDP), foi possível concluir que a prática de aquecimento intermitente, caracterizada no inquérito, não garante um ambiente livre de desconforto térmico.

O clima exterior exerceu o maior impacto no conforto, sendo necessário um aumento nas horas e duração do aquecimento para alcançar o conforto desejado em climas mais severos, como o caso de Bragança.

A orientação e a posição dos vãos envidraçados revelaram-se fatores influentes na redução do desconforto térmico, especialmente quando se aproveitam os ganhos solares. A orientação sul apresentou a maior incidência de radiação solar, tornando-a mais favorável em todas as estações, inclusive no inverno. Por outro lado, a orientação norte não recebe radiação solar direta, sendo esta a que origina mais desconforto. Já as orientações este e oeste apresentaram resultados semelhantes no inverno, mas a orientação oeste mostrou-se menos favorável durante o verão, sendo esta a que apresenta maior desconforto de verão.

Considerando a posição do apartamento no edifício, constatou-se que os apartamentos localizados na cobertura apresentaram maior desconforto térmico em comparação aos mesmos apartamentos em pisos intermediários. No entanto, no verão, o piso de cobertura demonstrou ligeiramente melhor conforto por perder mais calor pela cobertura durante a noite.

No isolamento da envolvente, a intervenção com melhor desempenho na redução do desconforto térmico foi o sistema de isolamento pelo exterior. Por sua vez, a implementação de isolamento do lado interior da envolvente foi a intervenção na envolvente opaca que apresentou a menor redução do desconforto térmico, tanto para o inverno como para o verão. O isolamento da cobertura apresenta um benefício intermediário na melhoria do desconforto térmico.

O estudo de diferentes espessuras de isolamento térmico permitiu concluir que o benefício da implementação de isolamento térmico para espessuras elevadas em edifícios com desempenho térmico correto é bastante reduzido.

A utilização de vidro duplo nos vãos envidraçados foi uma das soluções que apresentou melhor desempenho na redução do IDP global, assim como a utilização de portadas pelo exterior apresentou um dos melhores desempenhos na redução do IDP de verão, sobretudo nas orientações mais desconfortáveis no verão.

Os consumos de energia associados a cada simulação indicam que, para a prática de aquecimento caracterizada no Porto (2 ou 4 horas de aquecimento), as poupanças energéticas devidas à melhoria da envolvente são bastante reduzidas se o edifício base já possui um desempenho térmico e energético correto.

Em suma, este estudo contribui para um melhor entendimento das práticas de aquecimento adotadas em Portugal, demonstrando a importância da utilização de ferramentas de simulação higratérmica para quantificar o desconforto térmico quando a prática de aquecimento é intermitente, o que de outra forma não seria possível.

Para finalizar, com base na leitura da matriz final da quantificação do IDP dos diferentes cenários estudados (Tabela 5.4), propõem-se as seguintes recomendações finais:

- É preferível aplicar isolamento térmico pelo exterior das fachadas em vez de no interior. Para a situação estudada, a implementação de 5 cm de isolamento térmico pelo exterior apresentou melhores resultados na redução do IDP em comparação com a implementação de 11 cm de isolamento térmico no interior, independentemente das horas de aquecimento ou orientação dos vãos envidraçados. Além disso, o isolamento térmico pelo exterior foi uma das soluções testadas que apresentou o menor desconforto térmico, sendo a melhor opção para práticas de aquecimento contínuo ou prolongado (pelo menos 8 horas) em toda a habitação.
- Entre o isolamento térmico pelo exterior das fachadas e da cobertura plana de edifícios existentes, é preferível melhorar o isolamento da fachada. No entanto, devido ao custo elevado das intervenções nos sistemas de isolamento térmico pelo exterior das paredes, pode ser mais vantajoso economicamente implementar uma maior espessura de isolamento térmico na cobertura que garanta o mesmo conforto térmico que o isolamento previsto para paredes. Esta conclusão aplica-se apenas quando a área de cobertura e de paredes a isolar são semelhantes (como em moradias), não devendo ser aplicada em edifícios de habitação multifamiliar.
- Num edifício com uma espessura considerável de isolamento térmico (pelo menos 5 cm para climas semelhantes ao do Porto) sujeito a grandes intervenções, o aumento da espessura do isolamento trará poucos benefícios tanto ao nível de conforto quanto ao nível de poupanças energéticas. Nessa situação, para melhorar o conforto, é preferível atuar em outras zonas com desempenho térmico inadequado, se existirem (paredes ou coberturas sem ou com pouco isolamento térmico ou caixilharias degradadas ou com vidros simples).

- Recomenda-se a escolha de vãos envidraçados com vidro duplo, pois, entre as intervenções estudadas, é a que proporciona a maior redução do desconforto térmico para os hábitos de aquecimento intermitente no Porto (aquecimento durante 2 ou 4 horas). Além disso, num cenário de reabilitação, a substituição de caixilharias com vidros simples por vidros duplos é uma das intervenções menos intrusivas e que permite uma melhoria considerável do conforto térmico.
- É preferível instalar proteções solares pelo exterior para garantir um maior conforto térmico no verão. Para que a proteção solar ajude na redução do desconforto, é essencial utilizá-la durante o dia e desativá-la durante a noite. Para compatibilizar essa prática com uma utilização mais corrente das proteções solares, recomenda-se fechar as proteções solares nas divisões não utilizadas durante o dia e abri-las durante a noite. No inverno, é recomendado fechar as proteções solares quando não houver incidência de radiação solar sobre os vãos envidraçados.
- Embora não tenha sido testado o impacto da ventilação noturna na redução do desconforto térmico, essa prática foi implementada nos cenários estudados. Portanto, recomenda-se o seu uso como meio de reduzir a temperatura da habitação, através da abertura de janelas, desde que seja possível garantir a segurança e o conforto acústico dos utilizadores, ou por meio de ventilação mecânica.

6.2. TRABALHOS FUTUROS

Como trabalho futuro, seria interessante testar a combinação das intervenções estudadas neste trabalho (ou outras) e verificar qual delas oferece o maior conforto térmico. Além disso, seria válido analisar a eficiência dessas intervenções em outras zonas climáticas, como Bragança, a fim de complementar os resultados obtidos para esta localização ou para regiões com diferentes características climáticas daquelas encontradas no Porto.

Seria também interessante realizar um inquérito em maior escala sobre as condições de conforto térmico e os hábitos de aquecimento, a fim de obter uma perceção realista dos hábitos de aquecimento e perceber se existe alguma relação entre a duração de uso dos sistemas de aquecimento e fatores financeiros, culturais ou outros.

Se aplicável, poderia realizar-se uma campanha de monitorização da temperatura das frações apresentadas de forma a comparar os resultados obtidos das simulações higrótérmicas com os resultados reais medidos.

Por último, poderia ser realizada uma análise técnico económica mais complexa e realista do que a apresentada neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agência para a Energia. (2016). Isolamento de Paredes. *10 Soluções de Eficiência Energética*. <https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2017/11/10see-01-isol-paredes-1.pdf>
- Despacho n.º 6476-E/2021, Diário da República: II série, n.º 126 330(30) (2021). <https://files.dre.pt/2s/2021/07/126000001/0003000032.pdf>
- Portaria n.º 138-I/2021, Diário da República: I série, n.º 126 128(12) (2021). <https://files.dre.pt/1s/2021/07/12602/0001200053.pdf>
- ANSI/ASHRAE. (2010). Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. ANSI/ASHRAE Standard 55-2010. Em *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.* (Vol. 2, Número 1).
- Beck, H. E., Zimmermann, N. E., Mcvicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. (2018). Data Descriptor: Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*, 5(1), 180214. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>
- Blázquez, T., Suárez, R., Ferrari, S., & Sendra, J. J. (2023). Improving winter thermal comfort in Mediterranean buildings upgrading the envelope: An adaptive assessment based on a real survey. *Energy and Buildings*, 278. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112615>
- Boardman, B. (1991). *Fuel poverty: from cold homes to affordable warmth*. Belhaven Press.
- Bouzarovski, S. (2014). Energy poverty in the European Union: Landscapes of vulnerability. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 3(3), 276–289. <https://doi.org/10.1002/WENE.89>
- Bruxelles Environnement. (2019, Janeiro 24). *Assurer une grande inertie thermique*. Guide Bâtiment Durable. Obtido 4 de maio de 2023, de <https://www.guidebatimentdurable.brussels/assurer-grande-inertie-thermique/construction-neuve>
- Censos 2021. (2023). *O que nos dizem os Censos sobre a habitação*. INE. [url:https://www.ine.pt/xurl/pub/66323830](https://www.ine.pt/xurl/pub/66323830)
- CEN/TC 156 - Ventilation for buildings. (2019). EN 16798-1:2019 - Ventilation for buildings - Part 1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. Em *iTeh Inc*.
- Cheung, T., Schiavon, S., Parkinson, T., Li, P., & Brager, G. (2019). Analysis of the accuracy on PMV – PPD model using the ASHRAE Global Thermal Comfort Database II. *Building and Environment*, 153. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.01.055>
- Coelho, G. B. A., Entradas Silva, H., & Henriques, F. M. A. (2019). Development of a three-dimensional hygrothermal model of a historic building in WUFI ® Plus vs EnergyPlus. *MATEC Web of Conferences*, 282. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201928202079>
- Condemi, V., & Gestro, M. (2019). Health impact of fuel poverty. Em *Urban Fuel Poverty*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816952-0.00005-3>
- De Dear, R., & Brager, G. S. (2001). The adaptive model of thermal comfort and energy conservation in the built environment. *International journal of biometeorology*, 45(2), 100–108. <https://doi.org/10.1007/S004840100093>

- Direção Geral de Energia e Geologia, Agência para a Energia, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, & Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana. (2021). *Estratégia de Longo Prazo para a Renovação dos Edifícios: 1º Relatório de Progresso*. https://www.lnec.pt/fotos/editor2/DED/NUT/1.%C2%BA_relatorio_grupo_coordenacao_elpre_nov2021-2.pdf
- Direção-Geral de Energia e Geologia. (2020). *Estratégia de longo prazo para a renovação dos edifícios (ELPRE): Nos termos do artigo 2.º-A da Diretiva (UE) 2018/844, do Parlamento Europeu e do Conselho de 30 de maio de 2018*. <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/download-File/845043405530985/ELPREconsultapublica.pdf>
- Direção-Geral de Energia e Geologia. (2021). *Estratégia de Longo Prazo para a Renovação dos Edifícios de Portugal (ELPRE PT)*. <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-transversais/relacoes-internacionais/politica-energetica/estrategia-de-longo-prazo-para-a-renovacao-dos-edificios-de-portugal-elpre-pt/>
- Énergie+. (2007, Outubro 26). *Conductivité thermique des matériaux (λ)*. Obtido 4 de maio de 2023, de <https://energieplus-lesite.be/donnees/enveloppe44/enveloppe2/conductivite-thermique-des-matériaux/>
- Eurostat. (2023a). *Population, incapable à maintenir une température adéquate dans le logement par statut de pauvreté*. Obtido 11 de fevereiro de 2023, de https://ec.europa.eu/eurostat/data-browser/view/sdg_07_60/default/table?lang=fr
- Eurostat. (2023b). *Population vivant dans un logement ayant soit des fuites dans la toiture, soit des murs, sols ou fondations humides, soit de la pourriture dans l'encadrement des fenêtres ou au sol par statut de pauvreté*. Obtido 11 de fevereiro de 2023, de https://ec.europa.eu/eurostat/data-browser/view/sdg_01_60/default/table?lang=fr
- Eurostat. (2023c). *Prix de l'électricité pour client résidentiel - données semestrielles (à partir de 2007)*. Obtido 11 de fevereiro de 2023, de https://ec.europa.eu/eurostat/data-browser/view/NRG_PC_204/default/table?lang=fr&category=nrg.nrg_price.nrg_pc
- Eurostat. (2023d). *Prix du gaz pour client résidentiel - données semestrielles (à partir de 2007)*. Obtido 11 de fevereiro de 2023, de https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_PC_202/default/table?lang=fr&category=nrg.nrg_price.nrg_pc
- Eurostat. (2023e). *Revenu moyen et médian par âge et sexe - enquêtes EU-SILC et PCM*. Obtido 11 de fevereiro de 2023, de https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ILC_DI03__custom_4918943/default/table?lang=fr
- Eurostat. (2023f, Abril 28). *Consommation finale d'énergie par secteur*. Obtido 18 de junho de 2023, de https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/TEN00124__custom_6586781/default/table?lang=fr
- Eurostat. (2023g, Maio 31). *Consommation désagrégée d'énergie finale dans les ménages - quantités*. Obtido 18 de junho de 2023, de https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_D_HHQ__custom_6586750/default/table?lang=fr
- Fanger, P. O. (1970). Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering. Em *Copenhagen: Danish Technical Press* (Número 1). Danish Technical Press.
- Ferreira, C. (2015). *Inércia higroscópica em museus instalados em edifícios antigos - Utilização de técnicas passivas no controlo da humidade relativa interior* [Tese de Doutoramento, Universidade do Porto]. Repositório Aberto da Universidade do Porto. <https://hdl.handle.net/10216/79162>

- Freitas, V. P. de, & Ferreira, C. (2018). *Controlo da Humidade Relativa em Museus Influência dos Materiais Higroscópicos de Revestimento*. <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/133664>
- Gonçalves, H. J. P. (2022). *O Edificado Residencial em Portugal-Rumo a um Futuro Sustentável*.
- Grupo de Estudos da Patologia da Construção. (2022, Maio 20). *Catálogo de Patologias de Reabilitação de Edifícios*. PATORREB. <http://patorreb.com/>
- Hills, J. (2011). Fuel poverty: the problem and its measurement. *Annals of Physics*.
- INE, & DGEG. (2020). *Inquérito ao Consumo de Energia no Setor Doméstico 2020*. <https://www.dgeg.gov.pt/pt/estatistica/energia/publicacoes/outras-publicacoes/>
- LNEC. (2008). Homologação de novos materiais e processos de construção - Pavimentos aligeirados de vigotas pré-esforçadas. *Leiriviga*. https://www.leiriviga.pt/DH_895.pdf
- Magalhães, S. (2020). *Comparação do índice de desconforto passivo com a classe energética de edifícios de habitação reabilitados do sul da Europa* [Tese de Doutoramento, Universidade do Porto]. Repositório Aberto da Universidade do Porto. <https://hdl.handle.net/10216/128487>
- Matias, L. (2010). *Desenvolvimento de um modelo para definição das condições de conforto térmico em Portugal* [Tese de Doutoramento]. Instituto Superior Técnico.
- Mendonça, P. (2005). *Habitar sob uma segunda pele : estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados* [Tese de Doutoramento, Universidade do Minho]. Repositório Institucional da Universidade do Minho. <https://hdl.handle.net/1822/4250>
- Decreto-Lei n.º 80/2006, Diário da República: I série-A, n.º 67 2468 (2006). <https://files.diariodarepublica.pt/1s/2006/04/067a00/24682513.pdf>
- Portaria n.º 349-B/2013, Diário da República: I série, n.º 232 6624(18) (2013). <https://files.dre.pt/1s/2013/11/23201/0001800029.pdf>
- Portaria n.º 379-A/2015, Diário da República: I série, n.º 207 9196(14) (2015). <https://files.dre.pt/1s/2015/10/20702/0001400017.pdf>
- Odyssee-Mure. (2021, Novembro). *Energy Efficiency Trends & Policies - Households*. Obtido 23 de fevereiro de 2023, de <https://www.odyssee-mure.eu/publications/efficiency-by-sector/households/>
- Palma, P., Gouveia, J. P., & Simoes, S. G. (2019). Mapping the energy performance gap of dwelling stock at high-resolution scale: Implications for thermal comfort in Portuguese households. *Energy and Buildings*, 190. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.03.002>
- Decreto-Lei n.º 101-D/2020, Diário da República: I série, n.º 237 7(21) (2020). <https://files.dre.pt/1s/2020/12/23701/0002100045.pdf>
- Resolução do Conselho de Ministros n.º 8-A/2021, Diário da República: I série, n.º 23 16(2) (2021). <https://files.dre.pt/1s/2021/02/02301/0000200105.pdf>
- Santos, P. dos, & Matias, L. (2006). *ITE 50 - Coeficientes de transmissão Térmica de elementos da envolvente dos Edifícios* (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Ed.; 1.ª ed.).
- Seabra, B., Pereira, P. F., Corvacho, H., Pires, C., & Ramos, N. M. M. (2021). Low energy renovation of social housing: Recommendations on monitoring and renewable energies use. *Sustainability (Switzerland)*, 13(5). <https://doi.org/10.3390/su13052718>

- Teixeira, G. (2021). *Energy Autonomous Buildings - Housing Project* [Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto]. Repositório Aberto da Universidade do Porto. <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/135091>
- Wikimedia Commons. (2018a, Novembro 26). *Koppen-Geiger Map Europe present*. Obtido 12 de fevereiro de 2023, de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Koppen-Geiger_Map_Europe_present.svg
- Wikimedia Commons. (2018b, Novembro 26). *Koppen-Geiger Map PRT present*. Obtido 12 de fevereiro de 2023, de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Koppen-Geiger_Map_PRT_present.svg
- World Bank Group. (sem data). *Climate Change Knowledge Portal*. Obtido 12 de Fevereiro de 2023, de <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/>

ANEXOS

ÍNDICE DE ANEXOS

A1. QUESTIONÁRIO SOBRE HÁBITOS DE AQUECIMENTO DA HABITAÇÃO	a.1
A2. RESULTADOS DO INQUÉRITO SOBRE CONDIÇÕES DE CONFORTO E HÁBITOS DE AQUECIMENTO	a.11
A3. PROJETO DE DESEMPENHO TÉRMICA E PEÇAS DESENHADAS DO CONJUNTO HABITACIONAL DE MOREIRA I.....	a.21
A4. CUSTO DAS INTERVENÇÕES E FICHAS DO GERADOR DE PREÇOS CYPE	a.49
A5. IDP DE INVERNO E VERÃO DURANTE AS HORAS EM QUE A HABITAÇÃO ESTÁ OCUPADA, POR ZONA DE ESTUDO, PARA OS CENÁRIOS ESTUDADOS.....	a.63

A1

QUESTIONÁRIO SOBRE HÁBITOS DE AQUECIMENTO DA HABITAÇÃO

Hábitos de Aquecimento da Habitação

Olá, sou um estudante de mestrado que está a investigar formas de aumentar o conforto térmico nas habitações com aquecimento intermitente. Para isso, preciso de saber como as pessoas usam a sua casa e o seu sistema de aquecimento. Peço-lhe que responda a este inquérito anónimo, que me ajudará a criar um perfil de aquecimento intermitente realista. O inquérito demora cerca de 8 minutos e agradeço a sua colaboração.

***Obrigatório**

Dados Pessoais

1. Quantas pessoas vivem na sua habitação?

Marcar apenas uma oval.

- ☐ 1
- ☐ 2
- ☐ 3
- ☐ 4
- ☐ 5
- ☐ Outra: _____
- ☐ Prefiro não responder

2. Qual é a faixa etária das pessoas que vivem na sua habitação?

Marcar apenas uma oval por linha.

	Número de pessoas					
	1	2	3	4	5	Mais de 5
Menos de 18 anos	☐	☐	☐	☐	☐	☐
18 a 39 anos	☐	☐	☐	☐	☐	☐
40 a 65 anos	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Mais de 65 anos	☐	☐	☐	☐	☐	☐
☐ Prefiro não responder						

3. Qual é a situação profissional das pessoas que vivem na sua habitação?

Marcar apenas uma oval por linha.

	Número de pessoas					
	1	2	3	4	5	Mais de 5
Estudante	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Empregado	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Desempregado	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Reformado	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Outra	☐	☐	☐	☐	☐	☐
☐ Prefiro não responder						

4. Qual é o rendimento mensal líquido do seu agregado familiar?

Soma dos rendimentos de todos os membros da família.

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Menos de 500 €
- ☐ 500 € a 1000 €
- ☐ 1001 € a 1500 €
- ☐ 1501 € a 2000 €
- ☐ Mais de 2000 €
- ☐ Prefiro não responder

Dados da Habitação

5. Em que tipo de habitação vive? *

Marcar apenas uma oval.

☐ Apartamento

☐ Moradia

☐ Outra: _____

6. Qual é o ano de construção da sua habitação? *

Marcar apenas uma oval.

☐ Antes de 1960

☐ 1961 a 1980

☐ 1981 a 1990

☐ 1991 a 2000

☐ Depois de 2000

☐ Não sei

7. A habitação sofreu alguma intervenção depois de ser construída? *

Marcar apenas uma oval.

☐ Sim

☐ Não

☐ Não sei

8. A sua habitação tem isolamento térmico? *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Sim	Não	Não sei
Paredes	☐	☐	☐
Cobertura (telhado)	☐	☐	☐
Pavimento (chão)	☐	☐	☐

9. O que me pode dizer sobre as janelas da sua habitação? *

Marcar tudo o que for aplicável.

Caixilharia (moldura da janela)

	Madeira	Alumínio, ferro ou outro metal	PVC ou plástica	Não sei
Vidro simples	☐	☐	☐	☐
Vidro duplo	☐	☐	☐	☐
Vidro triplo	☐	☐	☐	☐
Não sei	☐	☐	☐	☐

10. As janelas têm algum tipo de proteção solar? *

Marcar tudo o que for aplicável (ou apenas uma oval).

	Estero	Lona	Persiana	Portada	Cortina	Não sei
Interior	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Exterior	☐	☐	☐	☐	☐	☐

☐ Não

11. A sua habitação tem ventilação? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Sim, tem ventilação natural
- ☐ Sim, tem ventilação mecânica
- ☐ Não
- ☐ Não sei

12. Qual é o sistema de aquecimento da sua habitação? *

Marcar tudo o que for aplicável (ou apenas uma oval).

- ☐ Lareira
- ☐ Aparelhos móveis (aquecedores elétricos, a gás, ...)
- ☐ Aparelhos fixos (salamandra, fogão, ...)
- ☐ Aquecimento central
- ☐ Não tenho sistema de aquecimento
- ☐ Não sei

Fim do inquérito

13. Em que divisões possui aquecimento? *

Marcar tudo o que for aplicável (ou apenas uma oval).

- ☐ Quartos
- ☐ Casas de banho
- ☐ Sala
- ☐ Cozinha
- ☐ Em toda a habitação

Hábitos de Aquecimento

14. Em que períodos do dia as divisões da sua habitação estão ocupadas?

Esta pergunta é facultativa. Responda se assim o desejar.

Marcar tudo o que for aplicável (ou apenas uma oval).

	Quartos	Sala	Cozinha	Restantes divisões
0h às 6h	☐	☐	☐	☐
6h às 8h	☐	☐	☐	☐
8h às 10h	☐	☐	☐	☐
10h às 12h	☐	☐	☐	☐
12h às 14h	☐	☐	☐	☐
14h às 16h	☐	☐	☐	☐
16h às 18h	☐	☐	☐	☐
18h às 20h	☐	☐	☐	☐
20h às 22h	☐	☐	☐	☐
22h às 24h	☐	☐	☐	☐

☐ Prefiro não responder

15. Com que frequência costuma aquecer a sua habitação? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Nunca
- ☐ Raramente (uma ou duas vezes por mês)
- ☐ Ocasionalmente (uma ou duas vezes por semana)
- ☐ Regularmente (várias vezes por semana)
- ☐ Frequentemente (todos ou quase todos os dias)

Fim do inquérito

16. Em que meses costuma ter o aquecimento ligado? *

Marcar tudo o que for aplicável (ou apenas uma oval).

- ☐ Setembro
- ☐ Outubro
- ☐ Novembro
- ☐ Dezembro
- ☐ Janeiro
- ☐ Fevereiro
- ☐ Março
- ☐ Abril
- ☐ Maio
- ☐ Não sei

17. Quantas horas por dia costuma ter o aquecimento ligado quando o utiliza? *

Exemplo: 4:00:00 ou 4 horas

- ☐ Não sei

18. Em que períodos do dia costuma ter o aquecimento ligado quando o utiliza? *

Selecione todos os intervalos onde o aquecimento está ligado pelo menos 30 minutos.

Marcar tudo o que for aplicável.

Em toda a habitação (responda apenas se toda a habitação é aquecida em simultâneo).

Fim do inquérito

	0h às 2h	2h às 4h	4h às 6h	6h às 8h	8h às 10h	10h às 12h	12h às 14h	14h às 16h	16h às 18h	18h às 20h	20h às 22h	22h às 24h
Dias úteis	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Fim de semana	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Nos quartos (responda em função do que escolheu na pergunta "13. Em que divisões possui aquecimento?").

	0h às 2h	2h às 4h	4h às 6h	6h às 8h	8h às 10h	10h às 12h	12h às 14h	14h às 16h	16h às 18h	18h às 20h	20h às 22h	22h às 24h
Dias úteis	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Fim de semana	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Na sala (responda em função do que escolheu na pergunta "13. Em que divisões possui aquecimento?").

	0h às 2h	2h às 4h	4h às 6h	6h às 8h	8h às 10h	10h às 12h	12h às 14h	14h às 16h	16h às 18h	18h às 20h	20h às 22h	22h às 24h
Dias úteis	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Fim de semana	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Na cozinha (responda em função do que escolheu na pergunta "13. Em que divisões possui aquecimento?").

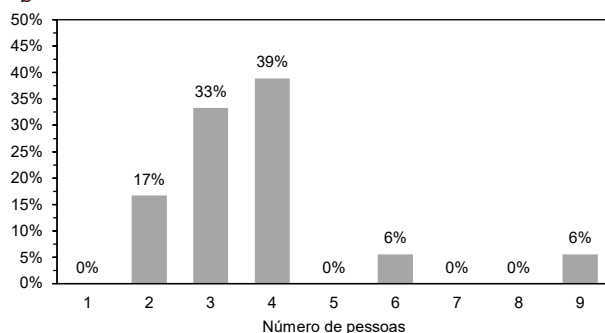
	0h às 2h	2h às 4h	4h às 6h	6h às 8h	8h às 10h	10h às 12h	12h às 14h	14h às 16h	16h às 18h	18h às 20h	20h às 22h	22h às 24h
Dias úteis	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Fim de semana	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

A2

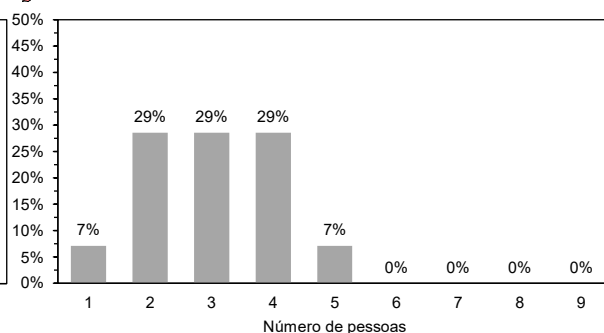
RESULTADOS DO INQUÉRITO SOBRE CONDIÇÕES DE CONFORTO E HÁBITOS DE AQUECIMENTO

NÚMERO DE RESIDENTES POR HABITAÇÃO

Porto

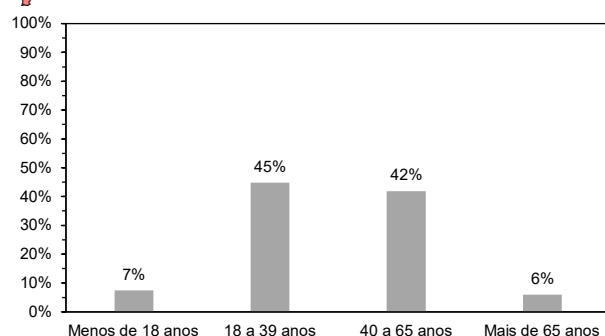


Chaves

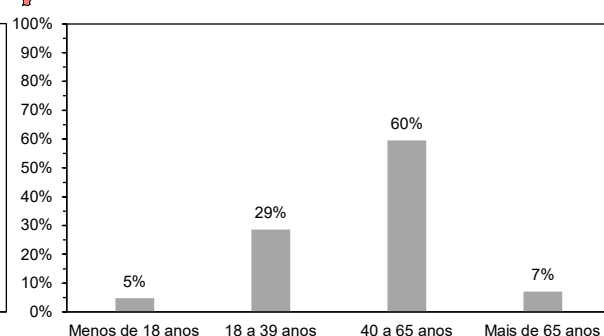


DISTRIBUIÇÃO DOS RESIDENTES POR FAIXAS ETÁRIAS

Porto

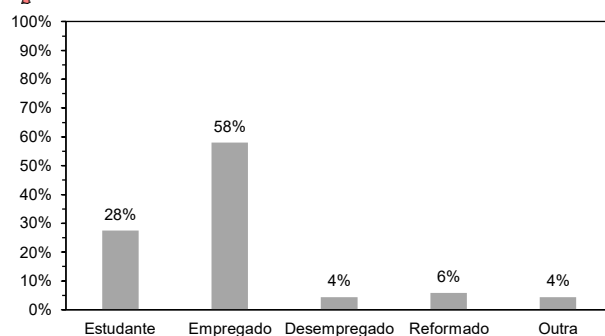


Chaves

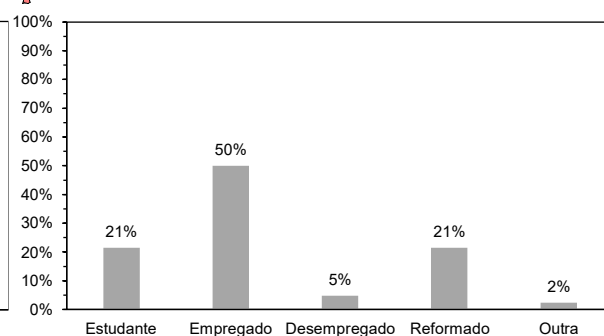


DISTRIBUIÇÃO DOS RESIDENTES POR SITUAÇÃO PROFISSIONAL

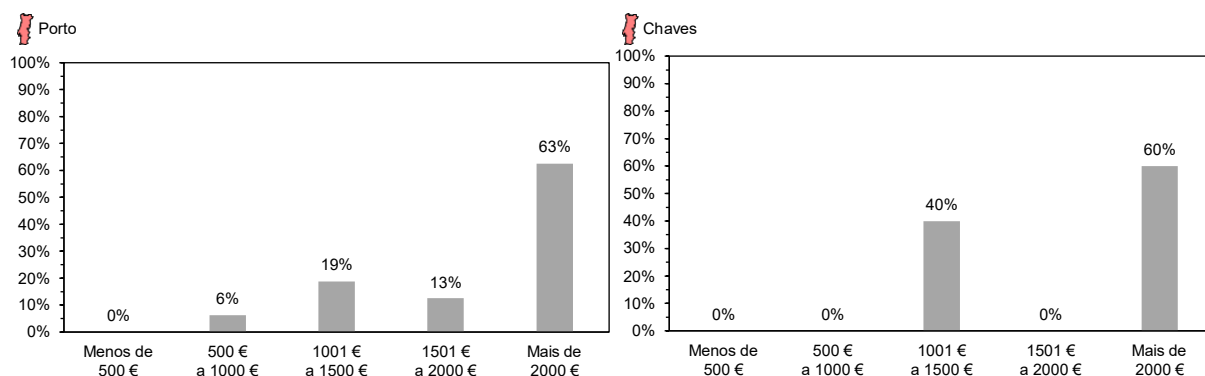
Porto



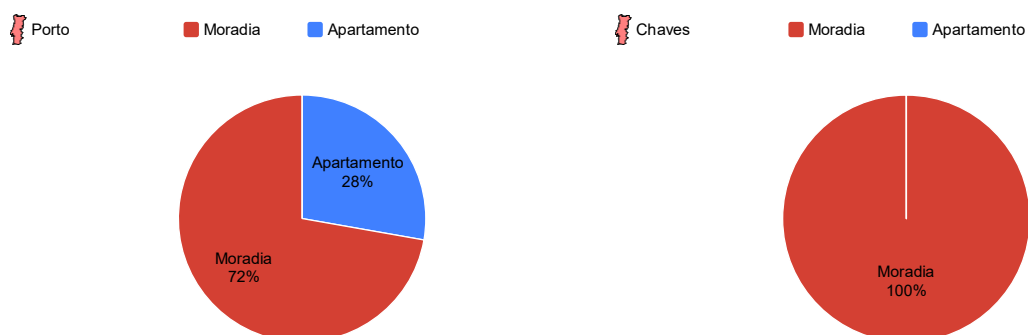
Chaves



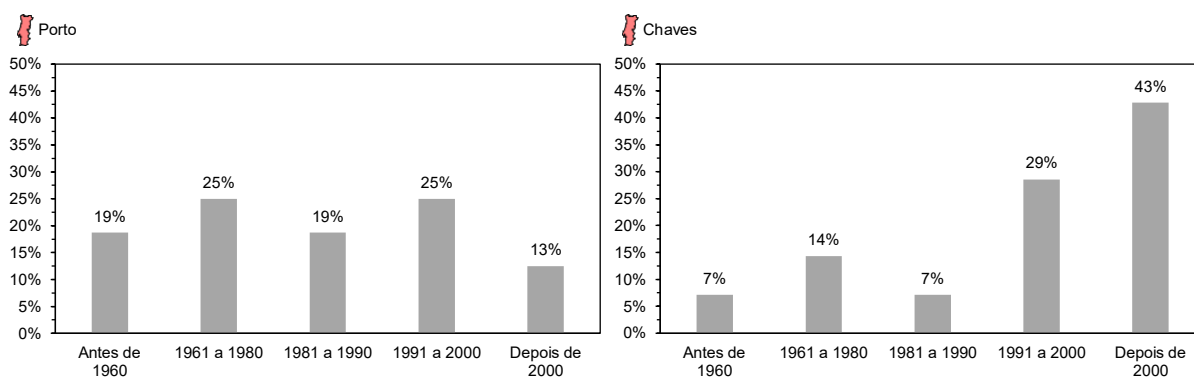
DISTRIBUIÇÃO DOS RENDIMENTOS DO AGREGADO FAMILIAR



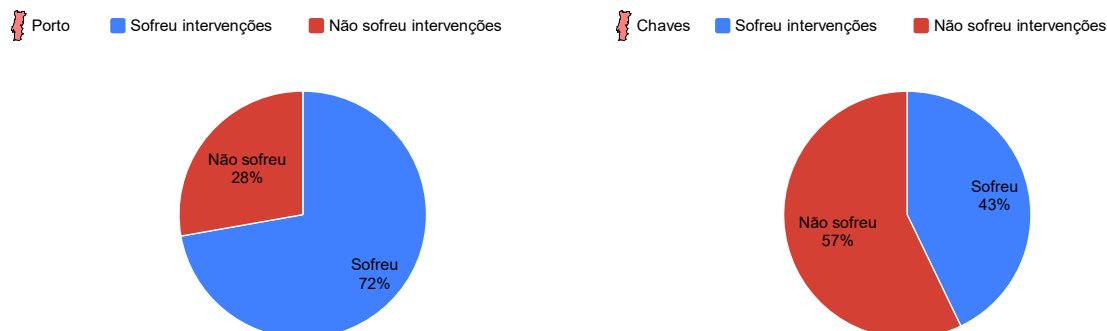
DISTRIBUIÇÃO DAS HABITAÇÕES POR TIPOLOGIA



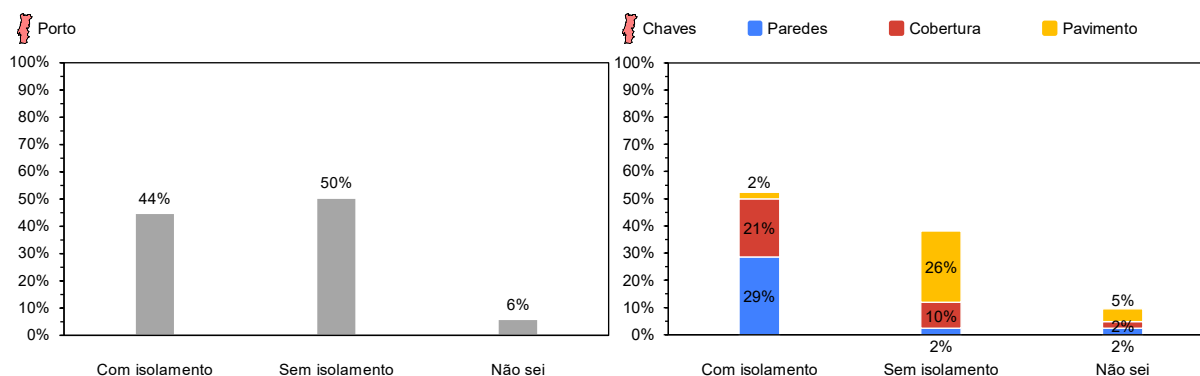
DISTRIBUIÇÃO DAS HABITAÇÕES POR ANO CONSTRUTIVO



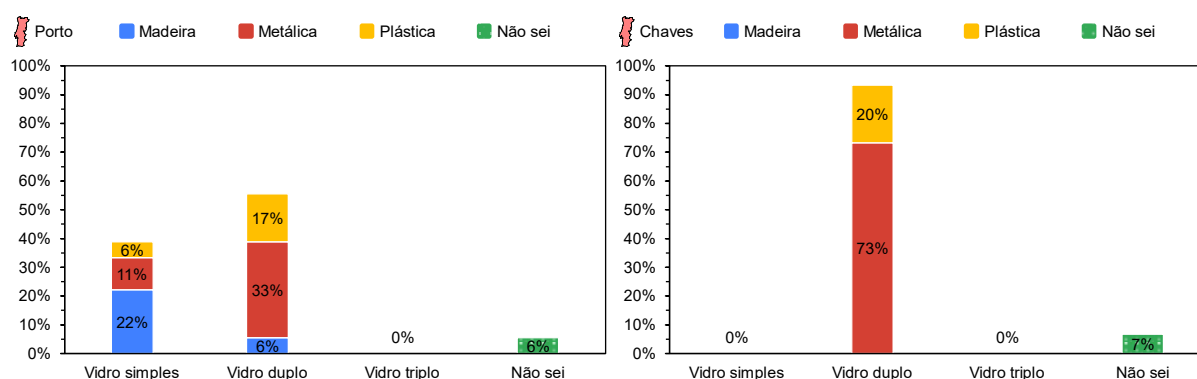
DISTRIBUIÇÃO DAS HABITAÇÕES QUE SOFRERAM ALGUM TIPO DE INTERVENÇÃO



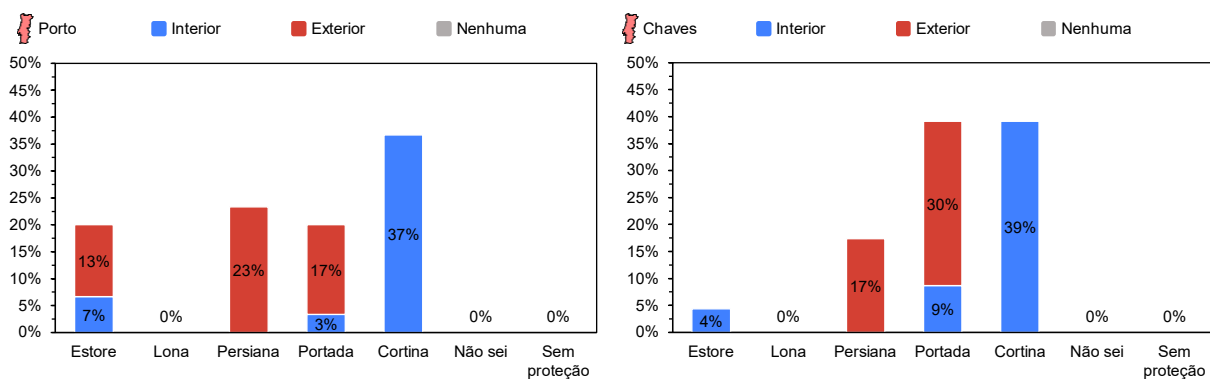
DISTRIBUIÇÃO DAS HABITAÇÕES COM ISOLAMENTO TÉRMICO: EXISTÊNCIA DE ISOLAMENTO TÉRMICO, PARA O PORTO; DISTRIBUIÇÃO DO ISOLAMENTO TÉRMICO POR ELEMENTO, PARA CHAVES



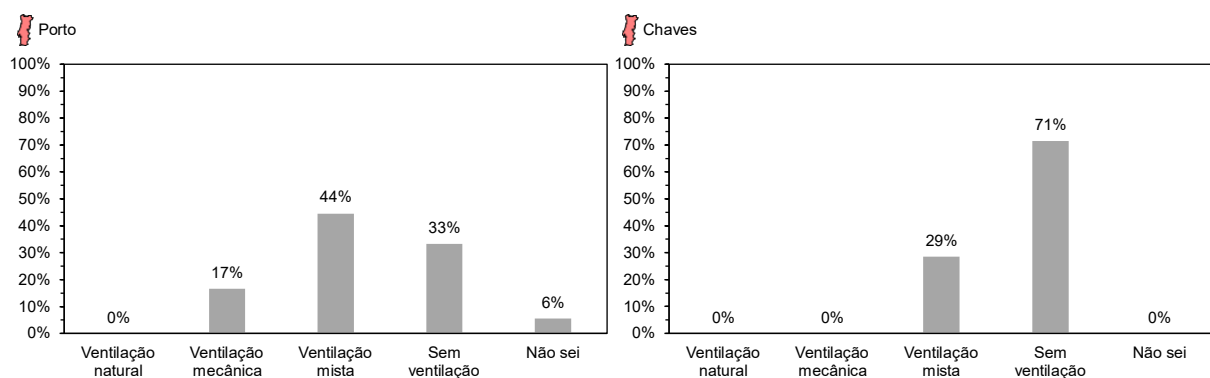
DISTRIBUIÇÃO DOS VÃOS DAS HABITAÇÕES POR TIPO DE VIDRO E CAIXILHARIA



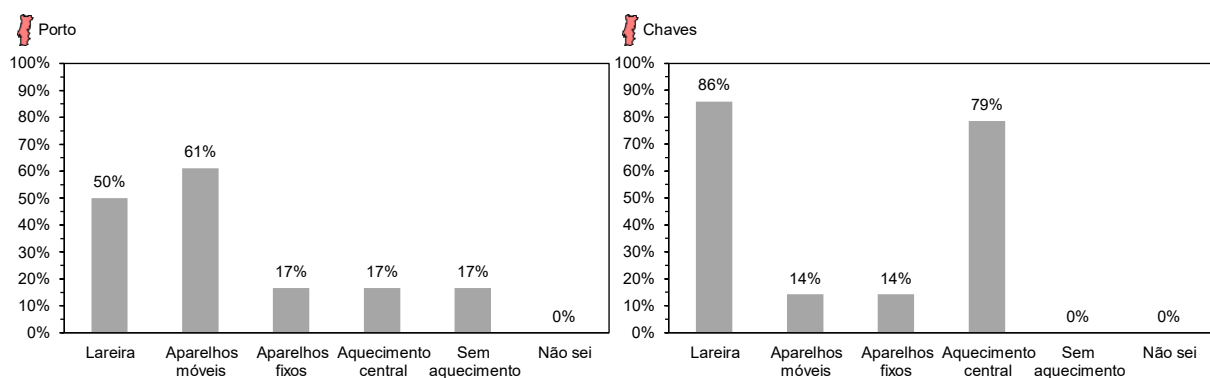
POSIÇÃO DAS PROTEÇÕES SOLARES POR TIPO DE PROTEÇÃO



DISTRIBUIÇÃO DAS HABITAÇÕES POR TIPO DE VENTILAÇÃO

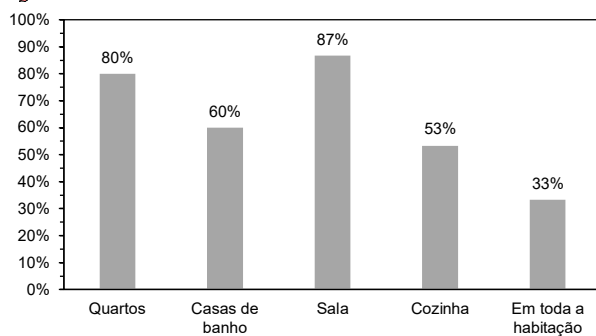


DISTRIBUIÇÃO DAS HABITAÇÕES POR SISTEMA AQUECIMENTO

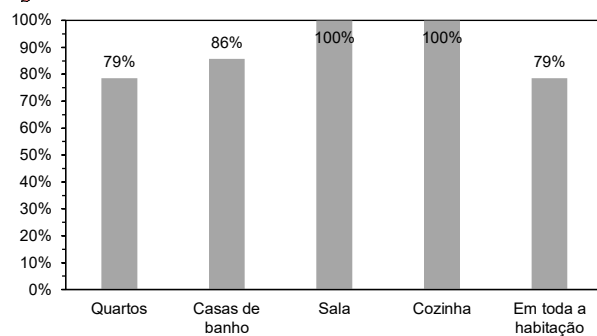


DISTRIBUIÇÃO DAS DIVISÕES POR EXISTÊNCIA DE AQUECIMENTO

Porto

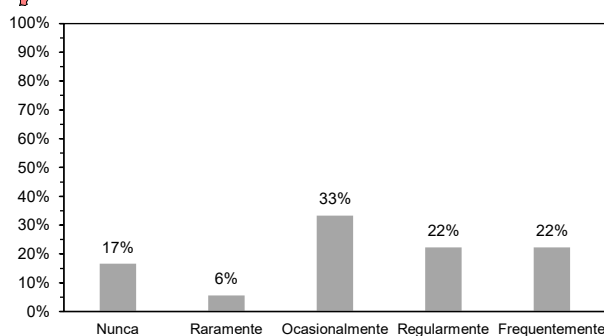


Chaves

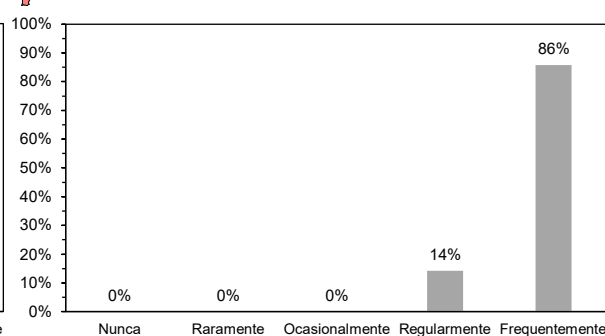


DISTRIBUIÇÃO POR FREQUÊNCIA DE AQUECIMENTO

Porto

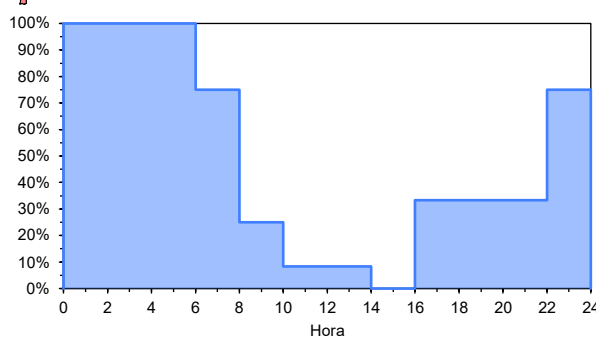


Chaves

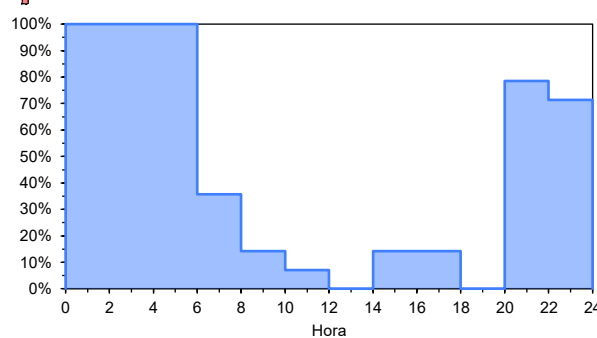


PERFIL DE OCUPAÇÃO DAS DIVISÕES: QUARTOS

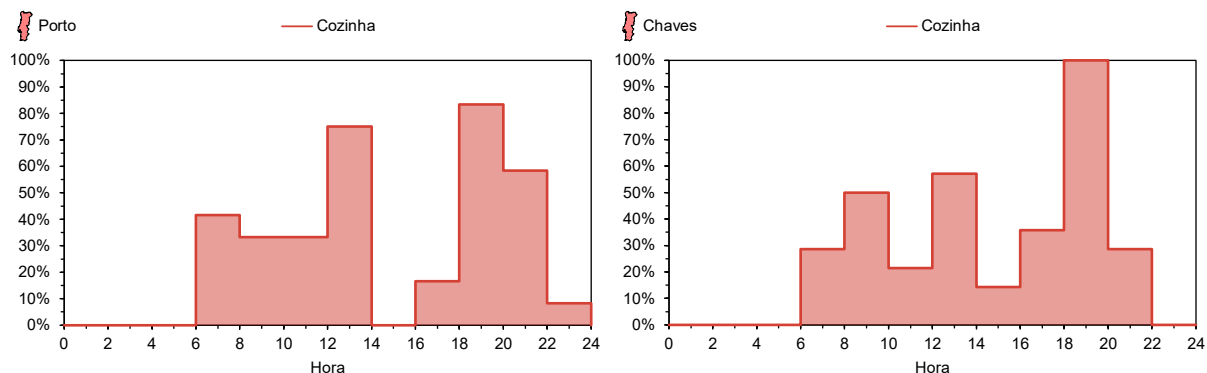
Porto



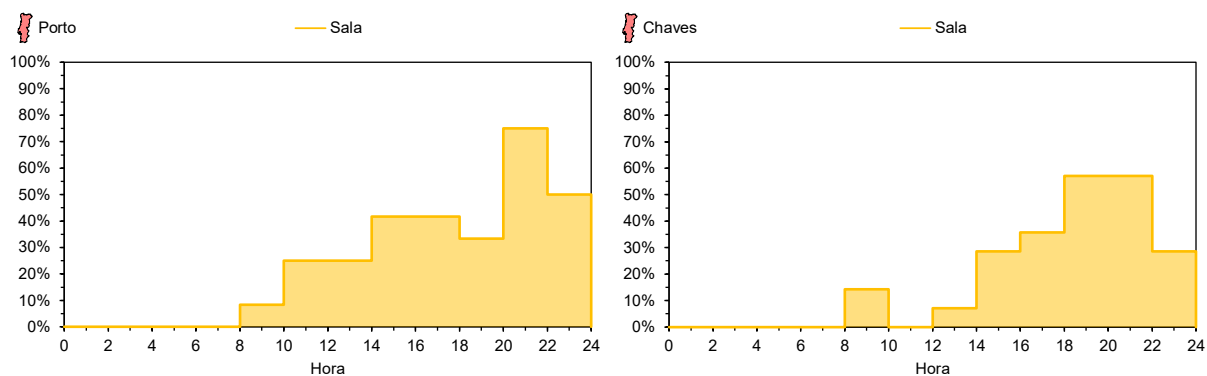
Chaves



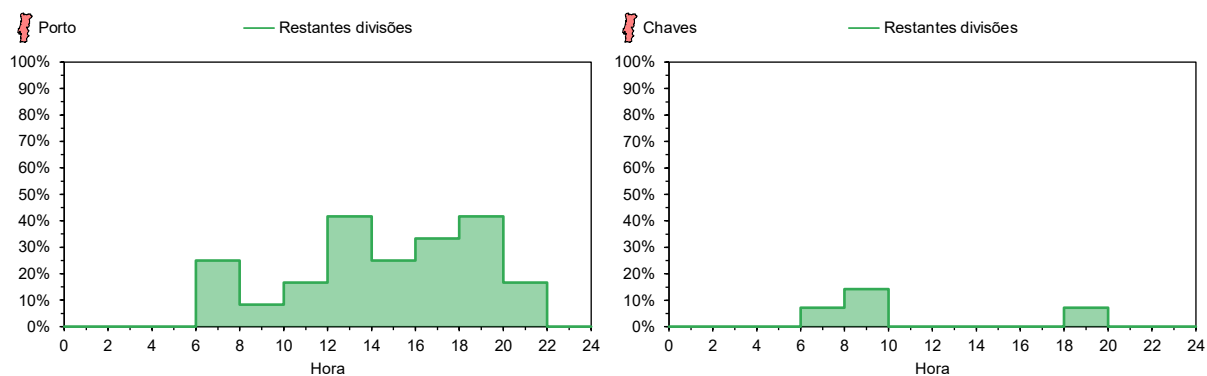
PERFIL DE OCUPAÇÃO DAS DIVISÕES: COZINHA



PERFIL DE OCUPAÇÃO DAS DIVISÕES: SALA

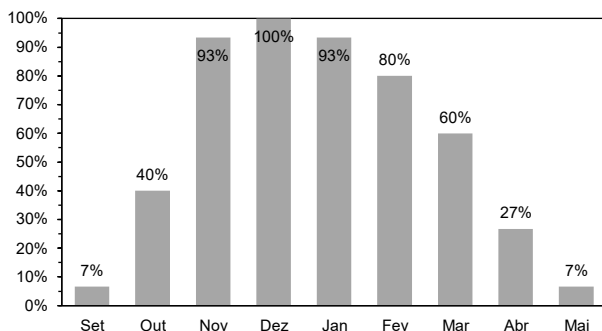


PERFIL DE OCUPAÇÃO DAS DIVISÕES: RESTANTES DIVISÕES

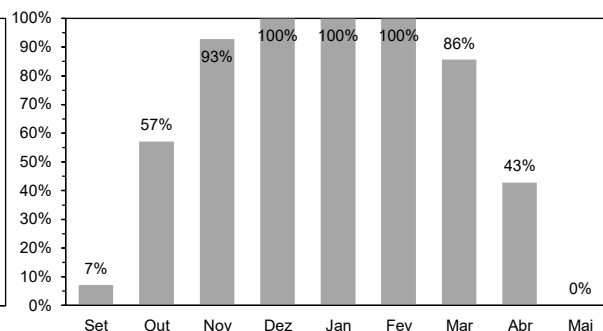


DISTRIBUIÇÃO POR MESES EM QUE O AQUECIMENTO É UTILIZADO

Porto

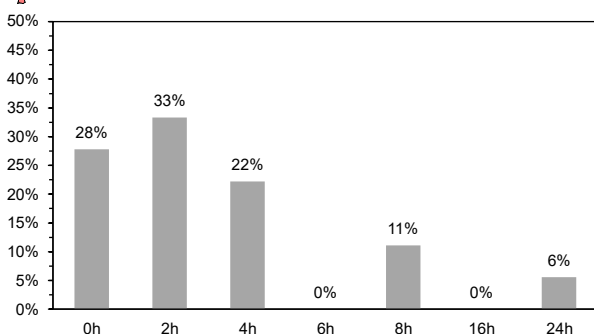


Chaves

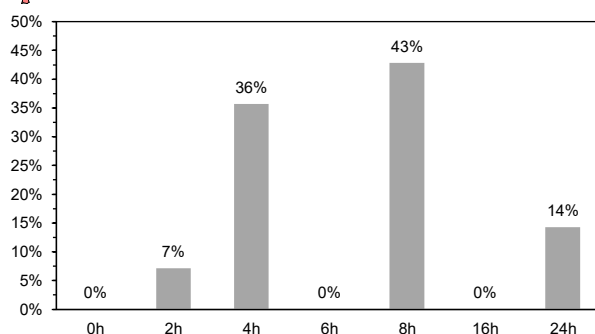


DISTRIBUIÇÃO POR NÚMERO DE HORAS DIÁRIAS DE UTILIZAÇÃO DO AQUECIMENTO

Porto

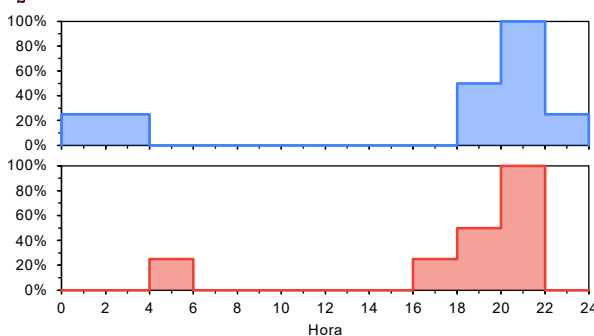


Chaves

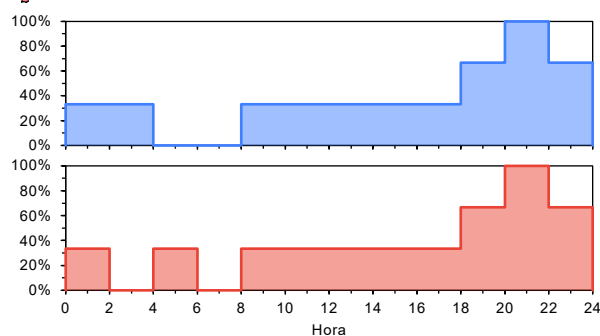


PERFIL DE UTILIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE AQUECIMENTO POR DIVISÃO: QUARTOS

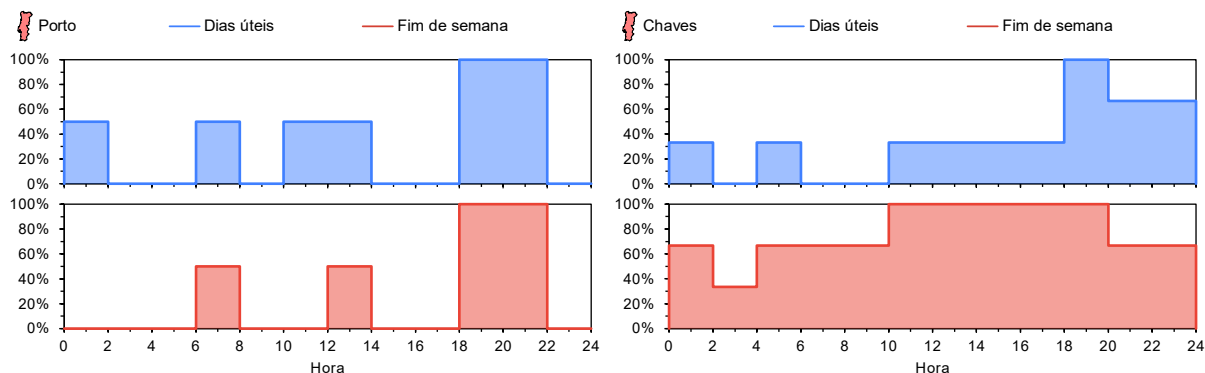
Porto



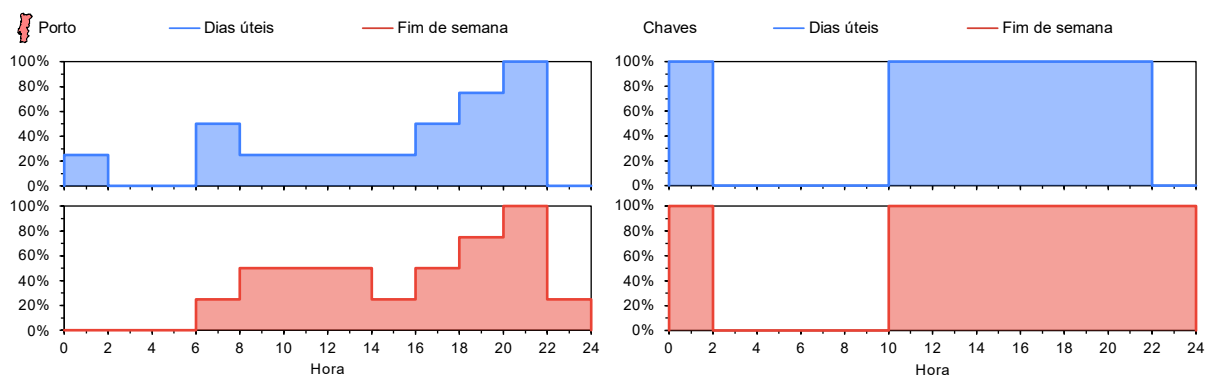
Chaves



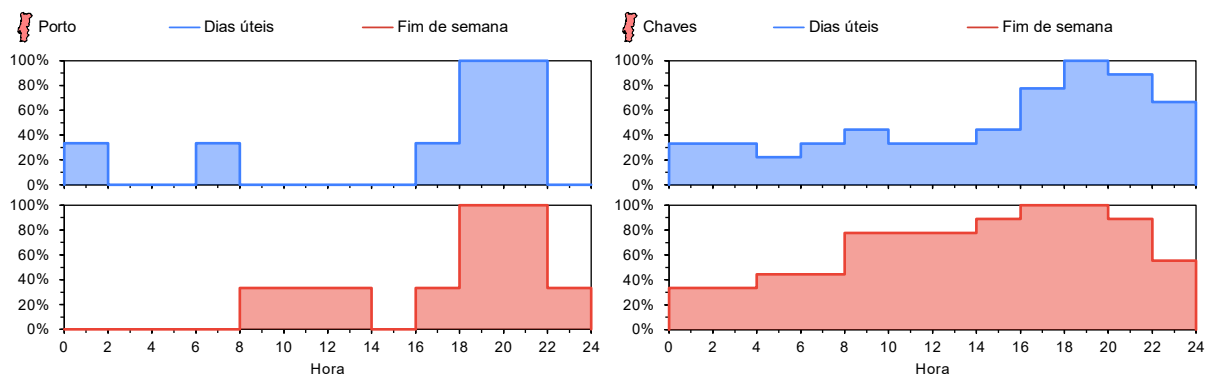
PERFIL DE UTILIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE AQUECIMENTO POR DIVISÃO: COZINHA



PERFIL DE UTILIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE AQUECIMENTO POR DIVISÃO: SALA



PERFIL DE UTILIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE AQUECIMENTO POR DIVISÃO: TODA A HABITAÇÃO (AQUECIMENTO CENTRAL)



A3

PROJETO DE DESEMPENHO TÉRMICA E PEÇAS DESENHADAS DO CONJUNTO HABITACIONAL DE MOREIRA I

CONJUNTO HABITACIONAL DE MOREIRA I

CÂMARA MUNICIPAL DA MAIA

Lúcio da Silva Azevedo & Filhos, Lda.

COMPORTAMENTO TÉRMICO

PROJECTO DE LICENCIAMENTO / EXECUÇÃO

Porto, Novembro de 1997

CONJUNTO HABITACIONAL DE MOREIRA I
CÂMARA MUNICIPAL DA MAIA
Lúcio da Silva Azevedo & Filhos, Lda.
•
COMPORTAMENTO TÉRMICO
PROJECTO DE LICENCIAMENTO/EXECUÇÃO

MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

Página

1. INTRODUÇÃO	1
2. PROTECÇÃO SOLAR DOS ENVIDRAÇADOS	1
3. QUANTIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS TÉRMICOS	2
3.1 COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA - K.....	2
3.1.1 Cobertura	2
3.1.2 Paredes.....	3
3.1.3 Pavimentos.....	4
3.2 FACTOR DE CONCENTRAÇÃO DE PERDAS TÉRMICAS - FC	4
3.3 INÉRCIA TÉRMICA - IT	4
3.4 FACTOR SOLAR - S	5
4. VERIFICAÇÃO DO RCCTE.....	5

CONJUNTO HABITACIONAL DE MOREIRA I
CÂMARA MUNICIPAL DA MAIA
Lúcio da Silva Azevedo & Filhos, Lda.

•
COMPORTAMENTO TÉRMICO
PROJECTO DE LICENCIAMENTO/EXECUÇÃO

ÍNDICE DE DESENHOS

No Projecto Geral de Arquitectura devem ser consultados os seguintes desenhos:

Planta de Implantação	(Desenho nº 2).....	1/200
Bloco A1 - Plantas	(Desenho nº 6).....	1/100
Bloco A1 - Alçados e Cortes	(Desenho nº 7).....	1/100
Bloco A2 - Plantas	(Desenho nº 8).....	1/100
Bloco A2 - Alçados e Cortes	(Desenho nº 9).....	1/100
Tipologia T1	(Desenho nº 10).....	1/20
Tipologia T3	(Desenho nº 11).....	1/20
Tipologia T3	(Desenho nº 12).....	1/20
Corte Transversal 1 (escada)	(Desenho nº 13).....	1/20
Corte Transversal 2 (fogo)	(Desenho nº 14).....	1/20

CONJUNTO HABITACIONAL DE MOREIRA I
CÂMARA MUNICIPAL DA MAIA
Lúcio da Silva Azevedo & Filhos, Lda.

•
COMPORTAMENTO TÉRMICO
PROJECTO DE LICENCIAMENTO/EXECUÇÃO

MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

1. INTRODUÇÃO

Refere-se o presente estudo à análise do comportamento térmico do Conjunto Habitacional de Moreira I que se localiza na Rua de Sendal, na Maia. O estudo inclui uma descrição das características térmicas dos elementos da envolvente e a quantificação dos diferentes parâmetros térmicos. Refira-se que se trata de um projecto análogo ao outros apresentados no âmbito do programa P.E.R., pela Lúcio da Silva Azevedo & Filhos, Lda.

A entrada em vigor, em 1 de Janeiro de 1991, do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios - RCCTE, decreto-lei nº 40/90, de 6 de Fevereiro, obriga a que todos os novos edifícios sujeitos a licenciamento ou promovidos pelo Estado satisfaçam requisitos mínimos de qualidade térmica.

No projecto dos edifícios do Conjunto Habitacional de Moreira I, pretende-se assegurar as exigências de conforto térmico, no interior dos edifícios, sem um dispêndio excessivo de energia e simultaneamente garantir a inexistência de condensações que possam diminuir a durabilidade e o desempenho térmico dos elementos da envolvente do edifício (*paredes, coberturas e pavimentos*).

O conjunto habitacional é constituído por 2 blocos (A1 e A2) com 4 pisos, sendo as caves destinadas a zonas técnicas, arrumos e garagens. No 1º, 2º e 3º andar localizam-se as habitações. A zona da cave, as caixas de escada e as lavandarias são consideradas como zonas não úteis nos termos do RCCTE, isto é, não aquecidas.

Existem duas Tipologias diferentes (T1 e T3 com várias orientações).

Os edifícios desenvolvem-se na direcção N-S, estando as fachadas principais voltadas a Nascente ou Poente. As plantas, alçados e cortes do edifício devem ser consultados no Projecto Geral de Arquitectura (ver índice de desenhos).

Deve notar-se que a tipologia e elementos construtivos do conjunto habitacional em estudo é igual ao conjunto habitacional da Ponte das Cabras, anteriormente entregue na C. M. da Maia. Por isso, apresentamos apenas uma análise somária deste conjunto habitacional.

2. PROTECÇÃO SOLAR DOS ENVIDRAÇADOS

Embora Maia se localize na zona climática de Verão - V1, houve a preocupação de dotar os envidraçados de uma adequada protecção solar.

Os vãos verticais das fachadas dos quartos e das salas (envidraçados de maiores dimensões) dispõem de portadas interiores o que permite garantir o sombreamento total dos vãos. Estes vãos são em vidro simples incolor cujo factor solar de Verão do conjunto é de 0,30.

Os vãos verticais das outras fachadas são em vidro simples incolor, sem estore, cujo factor solar - S, é de 0,85. Refira-se que estes vãos são de muita pequena dimensão (0,36 x 0,36 m²). Embora não se satisfaça o requisito mínimo regulamentar (S < 0,56), considerou-se satisfatória esta solução do ponto de vista do comportamento térmico global.

3. QUANTIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS TÉRMICOS

3.1 Coeficientes de transmissão térmica - K

O RCCTE preconiza valores máximos e de referência para os coeficientes de transmissão térmica - K, de paredes, coberturas e pavimentos. Os valores definidos para o coeficiente K dos elementos da envolvente são a seguir calculados, sendo muito inferiores aos valores máximos admissíveis e aos próprios valores de referência.

3.1.1 Cobertura

K_{C1}: (Cobertura invertida)

- Godo: e = 0,040 m; $\lambda = 0,70 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$.
- Isolamento térmico - Poliestireno extrudido: e = 0,050 m; $\lambda = 0,035 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$.
- Sistema de impermeabilização.
- Camada de forma em betão leve (espessura média): e = 0,180 m; $\lambda = 0,33 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$.
- Laje aligeirada: e = 0,330 m; $R_{as} = 0,26 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$; $R_{des} = 0,30 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$
- Acabamento à base de gesso: e = 0,020 m; $\lambda = 0,35 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

Inverno;

$$R_{C1} = 0,04 + \frac{0,040}{0,70} + \frac{0,050}{0,035} + \frac{0,18}{0,33} + 0,26 + \frac{0,020}{0,35} + 0,10 = 2,45 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{W}$$

$$K_{C1} = 0,41 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Verão;

$$R_{C1} = 0,04 + \frac{0,040}{0,70} + \frac{0,050}{0,035} + \frac{0,18}{0,33} + 0,30 + \frac{0,020}{0,35} + 0,17 = 2,52 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{W}$$

$$K_{C1} = 0,40 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

3.1.2 Paredes

K_{P1} : (Parede exterior)

- Revestimento à base de resinas acrílicas: $e = 0,005 \text{ m}$; $\lambda = 1,15 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$.
- Isolamento térmico - poliestireno expandido: $e = 0,050 \text{ m}$; $\lambda = 0,040 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$.
- Tijolo furado: $e = 0,200 \text{ m}$; $R = 0,42 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$.
- Reboco interior: $e = 0,015 \text{ m}$; $\lambda = 1,15 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$.

$$R_{P1} = 0,04 + \frac{0,005}{1,15} + \frac{0,050}{0,040} + 0,42 + \frac{0,015}{1,15} + 0,12 = 1,85 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{W}$$

$$K_{P1} = 0,54 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}.$$

K_{P2} : (Parede exterior por cima dos envidraçados)

- Revestimento à base de resinas acrílicas: $e = 0,030 \text{ m}$; $\lambda = 1,15 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$.
- Isolamento térmico - poliestireno expandido: $e = 0,050 \text{ m}$; $\lambda = 0,040 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$.
- Betão normal: $e = 0,200 \text{ m}$; $\lambda = 1,75 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$.
- Reboco interior: $e = 0,015 \text{ m}$; $\lambda = 1,15 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$.

$$R_{P2} = 0,04 + \frac{0,030}{1,15} + \frac{0,050}{0,040} + \frac{0,200}{1,75} + \frac{0,015}{1,15} + 0,12 = 1,56 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{W}$$

$$K_{P2} = 0,64 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}.$$

K_{P3} : (Parede das escadas - espaço interior não aquecido)

- Acabamento à base de ligantes hidráulicos: $e = 0,010 \text{ m}$; $\lambda = 1,15 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$.
- Betão normal: $e = 0,200 \text{ m}$; $\lambda = 1,75 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$.
- Isolamento térmico - poliestireno expandido: $e = 0,020 \text{ m}$; $\lambda = 0,040 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$.
- Madeira: $e = 0,010 \text{ m}$; $\lambda = 0,15 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$.

$$R_{P3} = 0,04 + \frac{0,010}{1,15} + \frac{0,200}{1,75} + \frac{0,020}{0,04} + \frac{0,010}{0,15} + 0,12 = 0,85 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{W}$$

$$K_{P3} = 1,18 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}.$$

K_{P4} : (Parede da lavandaria)

- Acabamento à base de ligantes hidráulicos: $e = 0,020 \text{ m}$; $\lambda = 1,15 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$.
- Alvenaria de betão Leca: $e = 0,15 \text{ m}$; $\lambda = 0,24 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$.
- Acabamento à base de ligantes hidráulicos: $e = 0,020 \text{ m}$; $\lambda = 1,15 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$.

$$R_{P4} = 0,04 + \frac{0,02}{1,15} + \frac{0,15}{0,24} + \frac{0,02}{1,15} + 0,12 = 0,82 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{W}$$

$$K_{P4} = 1,23 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}.$$

3.1.3 Pavimentos

K_{PAV} : (Pavimento sobre espaço não aquecido)

- Regularização (argamassa): $e = 0,050$ m; $\lambda = 1,15$ W/m · °C.
- Isolamento térmico - poliestireno extrudido: $e = 0,030$ m; $\lambda = 0,035$ W/m · °C.
- Laje aligeirada: $e = 0,30$ m; $R_{as} = 0,24$ m²·°C/W; $R_{des} = 0,27$ m²·°C/W.

Inverno:

$$R_{PAV} = 0,04 + \frac{0,050}{1,15} + \frac{0,030}{0,035} + 0,27 + 0,17 = 1,38 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{W}$$

$$K_{PAV} = 0,72 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}.$$

Verão:

$$R_{PAV} = 0,04 + \frac{0,050}{1,15} + \frac{0,030}{0,035} + 0,24 + 0,10 = 1,28 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{W}$$

$$K_{PAV} = 0,78 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}.$$

3.1.3.1 Vãos envidraçados

Nos edifícios vão ser utilizados dois tipos de vidros:

$K_V = 3,7$ W/m² · °C (Vidro simples incolor com portada interior e caixilharia em madeira).

$K_V = 5,8$ W/m² · °C (Vidro simples incolor sem estore exterior e caixilharia em ferro).

3.2 Factor de concentração de perdas térmicas - f_c

O factor de concentração das perdas térmicas - f_c define a heterogeneidade da envolvente e deve ser tão próximo quanto possível da unidade. No caso das coberturas foi considerado que o factor de concentração das perdas é aproximadamente igual a 1, uma vez que o isolamento é contínuo. Nos pavimentos, como o isolamento foi efectuado pelo interior, isto é, interrompido no apoio das divisórias, admitiu-se para f_c o valor de 1,47 de acordo com o quadro VI.5 do RCCTE. O factor de concentração das perdas térmicas - f_c , das fachadas é menor do que 1,10. Considerou-se que as paredes K_{P3} (paredes das escadas) e K_{P4} (paredes da lavandaria) tem $f_c = 1$.

3.3 Inércia Térmica - I_t

Os fogos apresentam uma inércia térmica interior forte ($I_t > 400$ kg / m²), uma vez que a massa superficial útil dos tectos é maior do que 150 kg / m², a dos pavimentos também é maior do que 150 kg / m², excepto no R/C em que a massa superficial útil é da ordem de 100 kg/m². A massa superficial útil por metro quadrado da área de pavimento das divisórias e fachadas é superior a 150 kg / m².

Refira-se que os pavimentos são revestidos a materiais cuja resistência térmica é inferior a 0,14 m² · °C/W.

3.4 Factor Solar - S

O valor do factor solar dos vãos envidraçados, no período de Verão, deve ser inferior ao factor solar máximo admissível que é de 0,56 para a zona climática V1 - Maia, excepto para as fachadas voltadas a Norte.

No Quadro 1 apresenta-se os valores do factor solar dos vãos envidraçados.

QUADRO 1 - Factor solar (S) dos envidraçados dos fogos.

Tipo de vidro	Tipo de protecção	Factor solar - S	
		S _v Inverno	S' Verão
Simples incolor (vão grande)	Portada interior de cor clara	0,85	0,30
Simples incolor (vão pequeno)	Sem protecção	0,85	0,85 ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Tendo em atenção a reduzidíssima área deste vão 0,36 x 0,36 m² considerou-se que seria aceitável que o factor solar seja maior que o máximo admissível (S = 0,56).

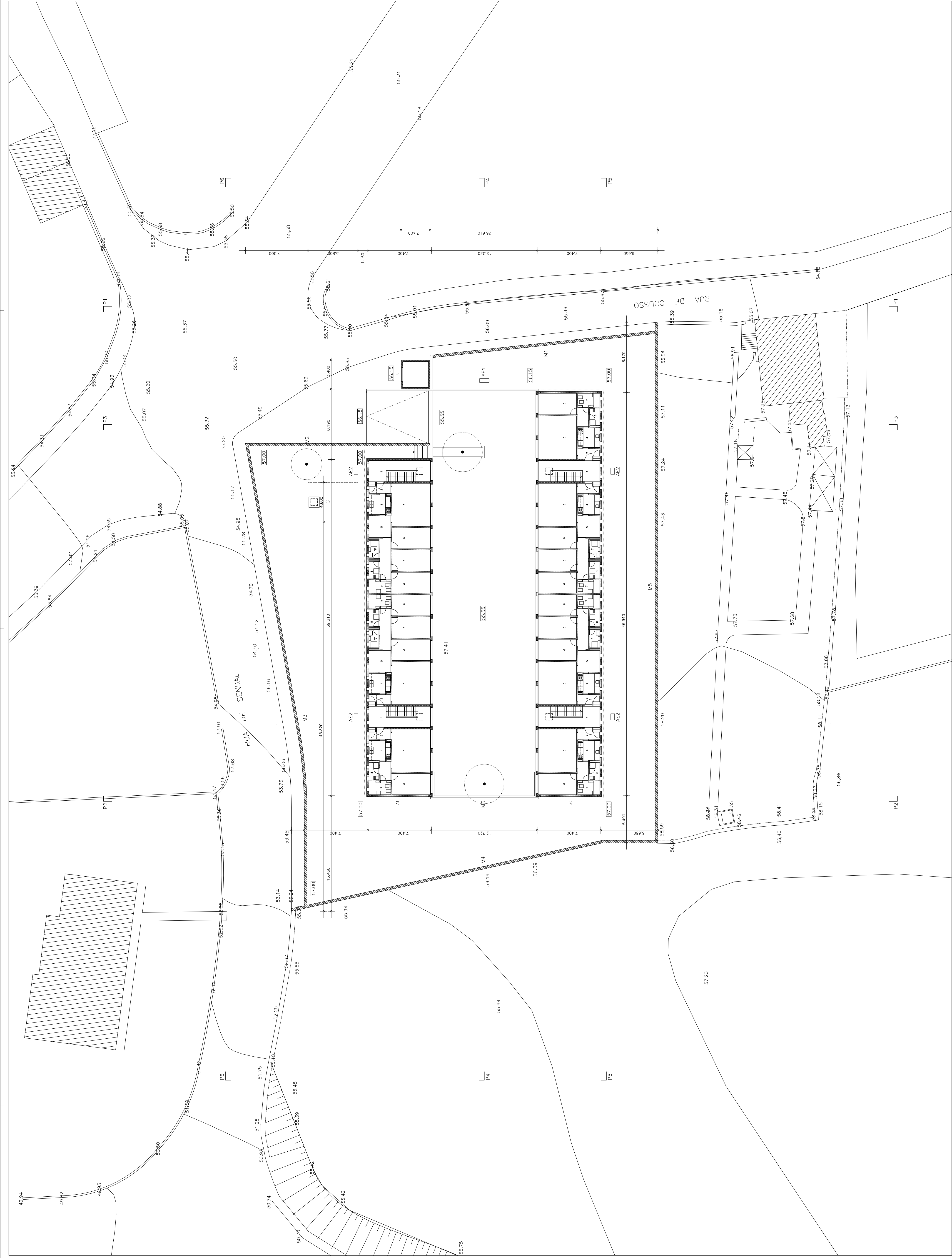
4. Verificação do RCCTE

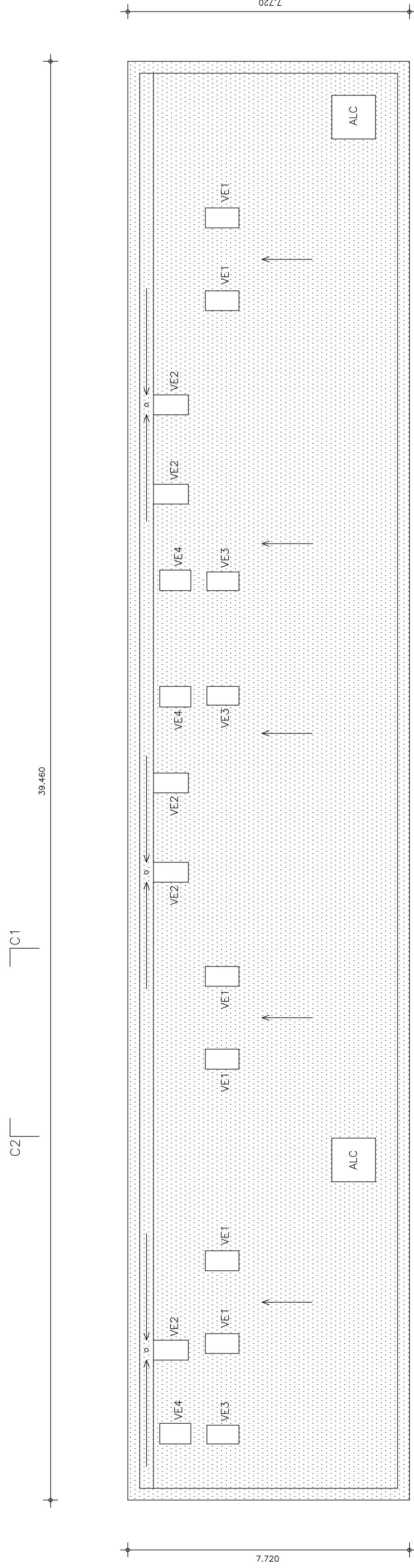
De acordo com o artigo 5º e 6º a verificação do RCCTE pressupõe:

$$\begin{aligned} N_{ic} &< N_i \text{ (kWh/m}^2 \cdot \text{ano)} \\ N_{vc} &< N_v \text{ (kWh/m}^2 \cdot \text{ano)} \end{aligned}$$

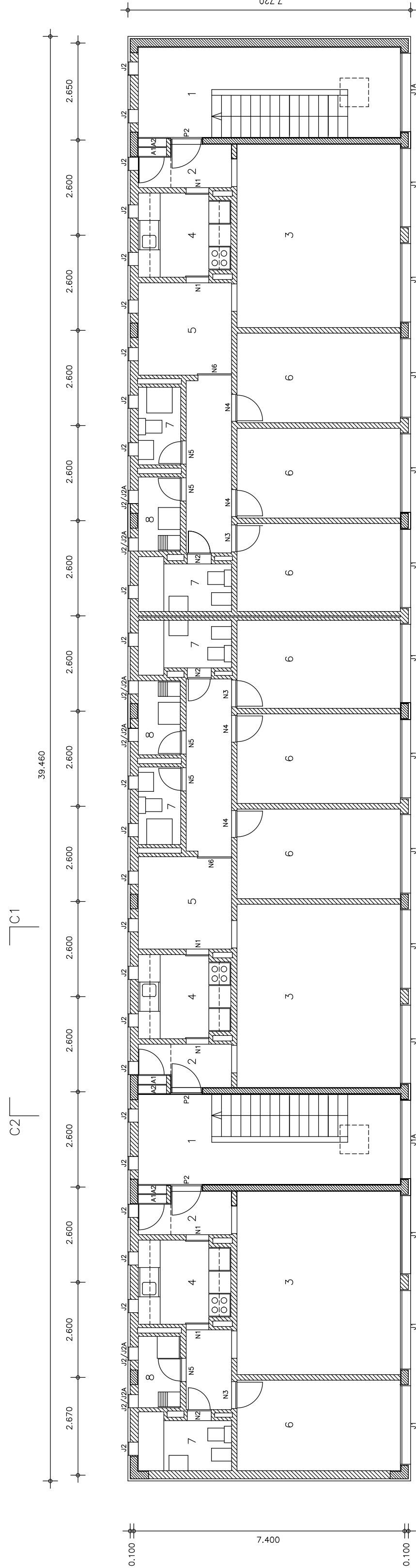
Os valores calculados do N_{ic} , N_i , N_{vc} e N_v para os fogos Conjunto Habitacional da Ponte das Cabras, cuja características são iguais ao do projecto em análise, mostram que estamos em presença de um edifício de excelente qualidade térmico: $N_{ic}/N_i < 0,73$ e $N_{vc}/N_v < 0,46$. Neste circunstâncias pode afirmar-se que o RCCTE é satisfeito.

Porto, Novembro de 1997

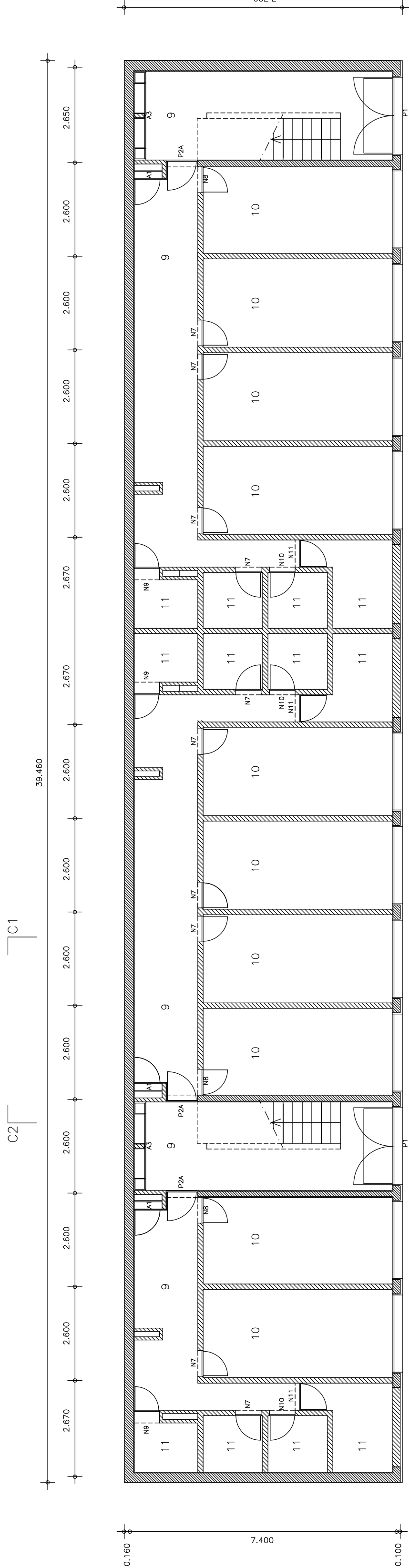




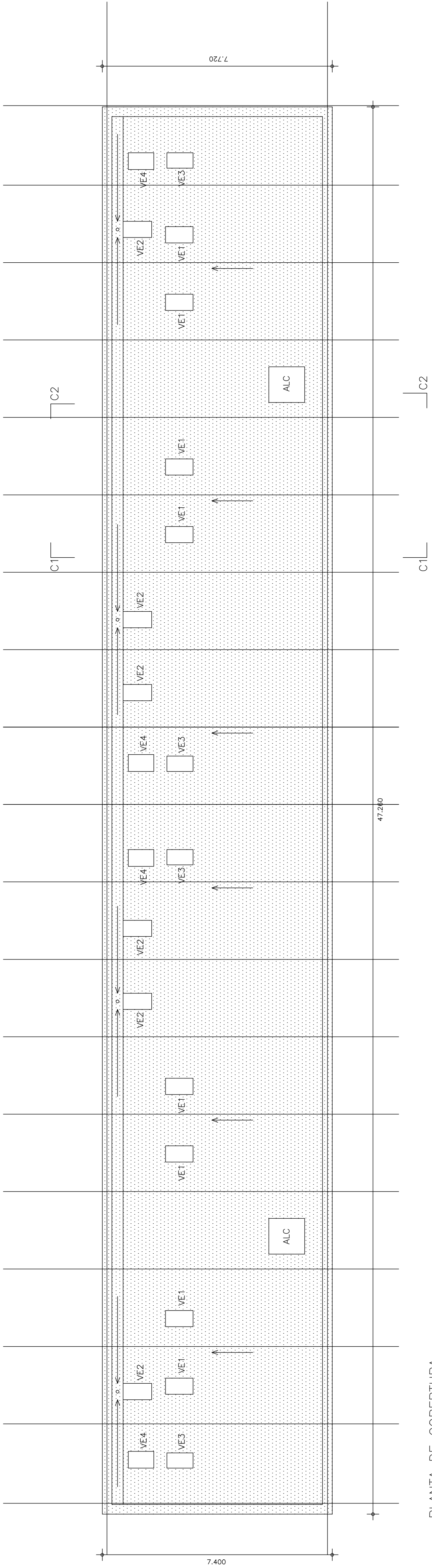
PLANTA DE COBERTURA



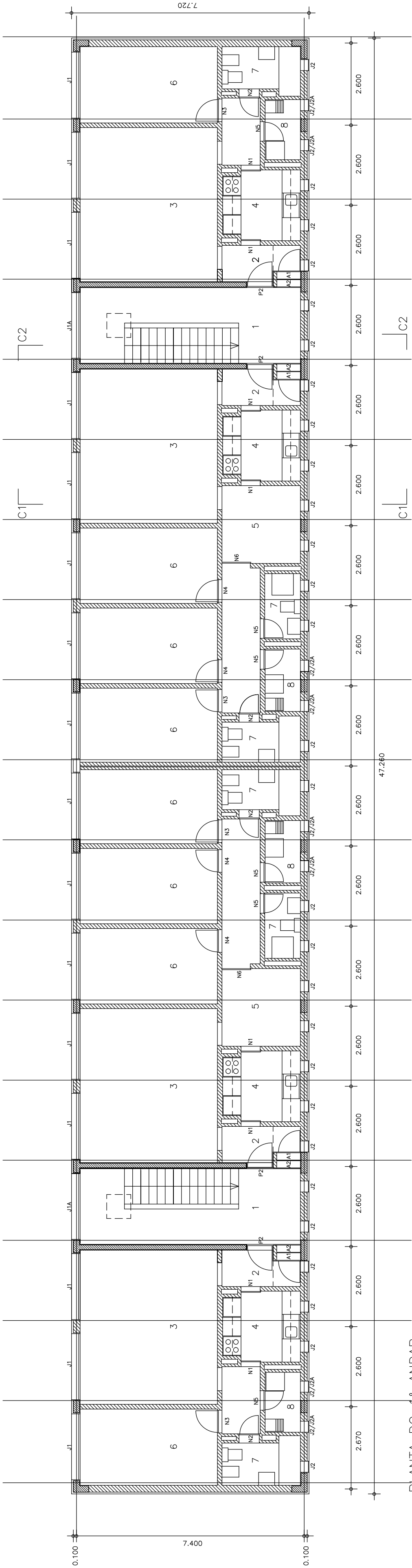
PLANTA DO 3º ANDAR



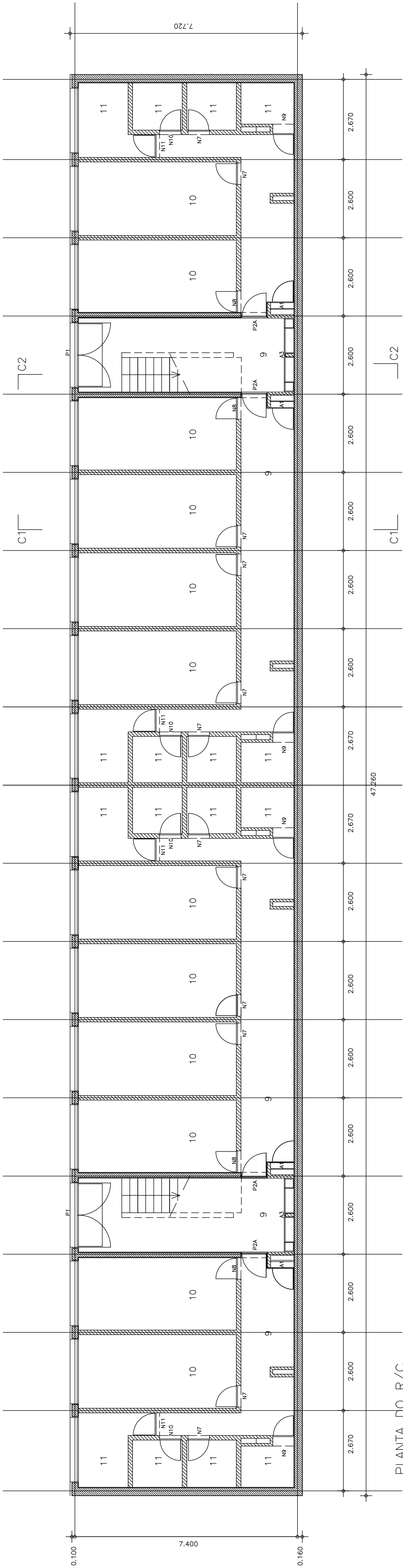
PLANTA DO R/C



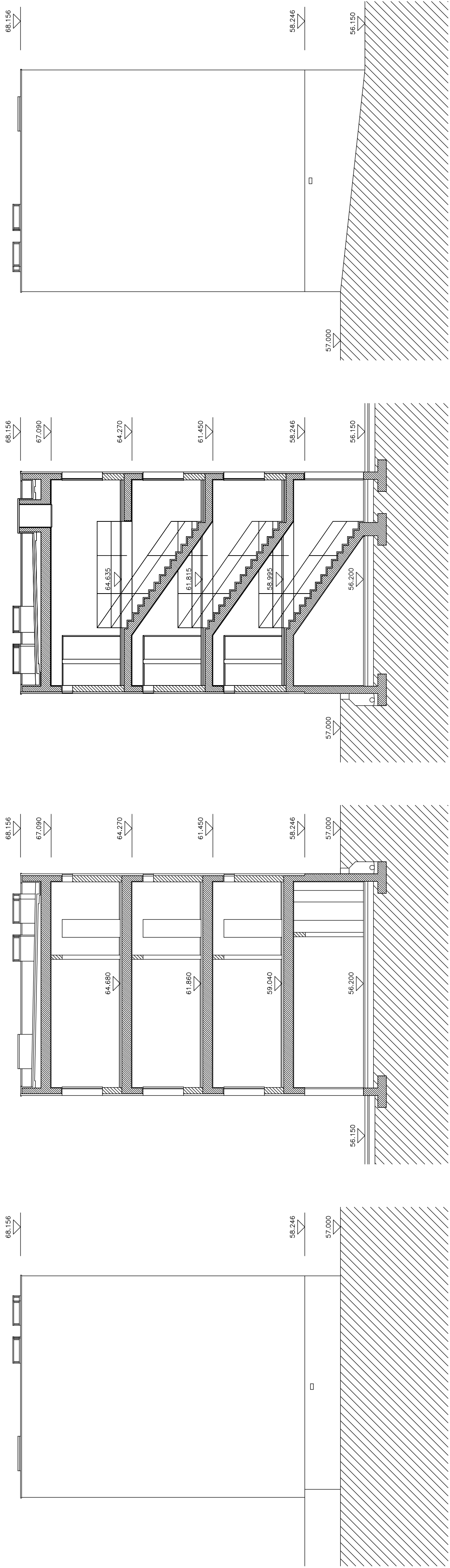
PLANTA DE COBERTURA



PLANTA DO 1º ANDAR



PLANTA DO R/C

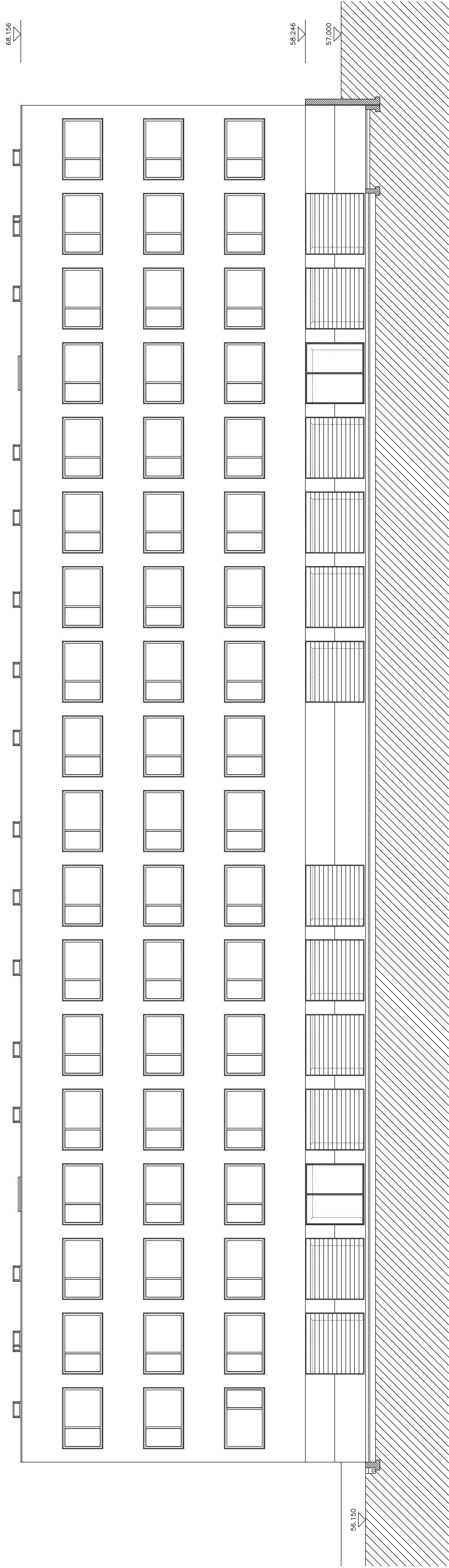


ALÇADO NORTE

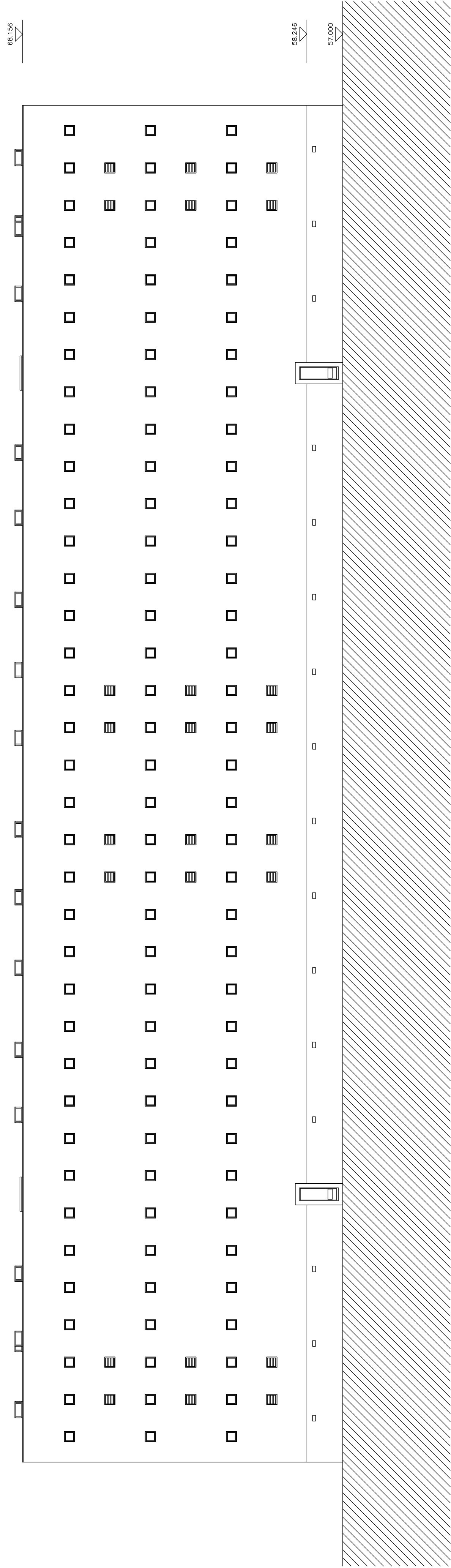
CORTE C1

CORTE C2

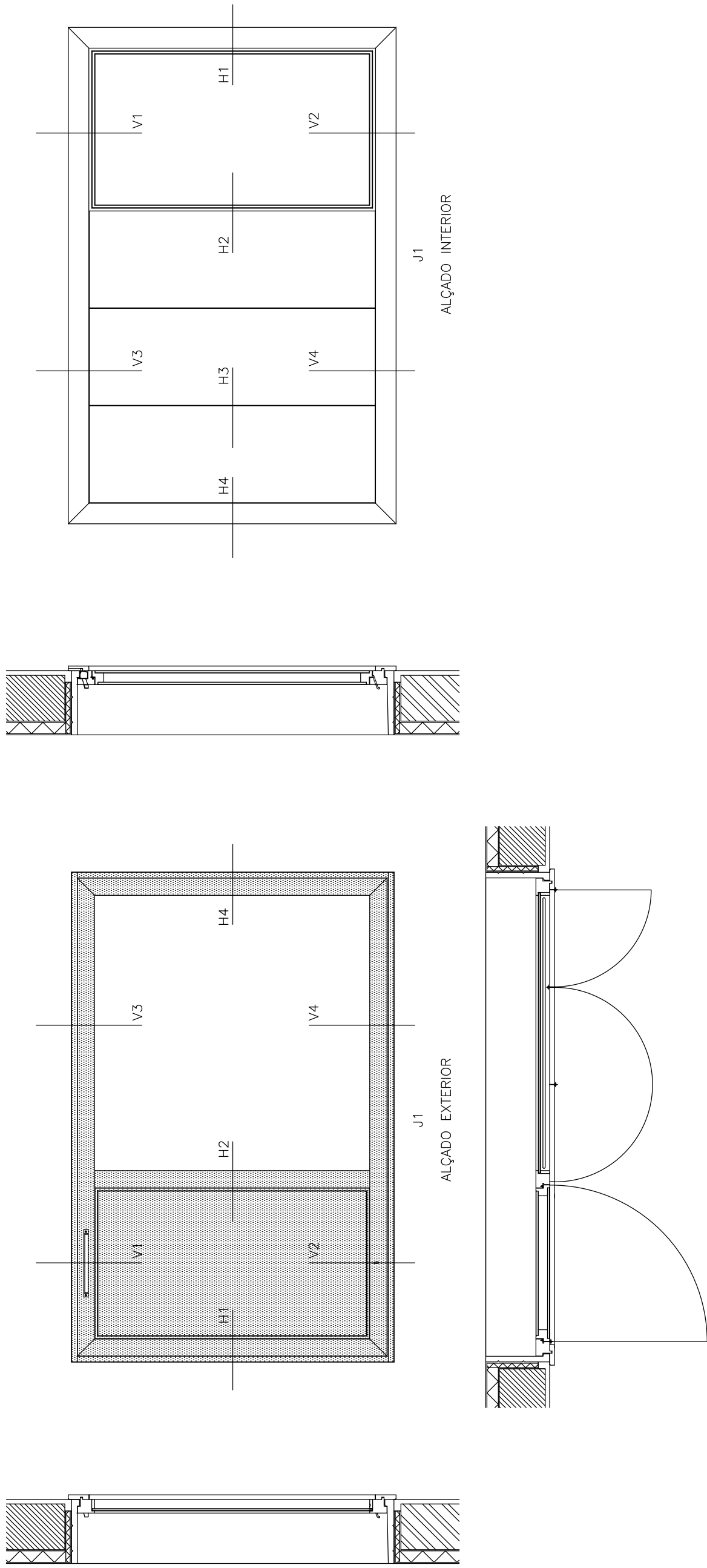
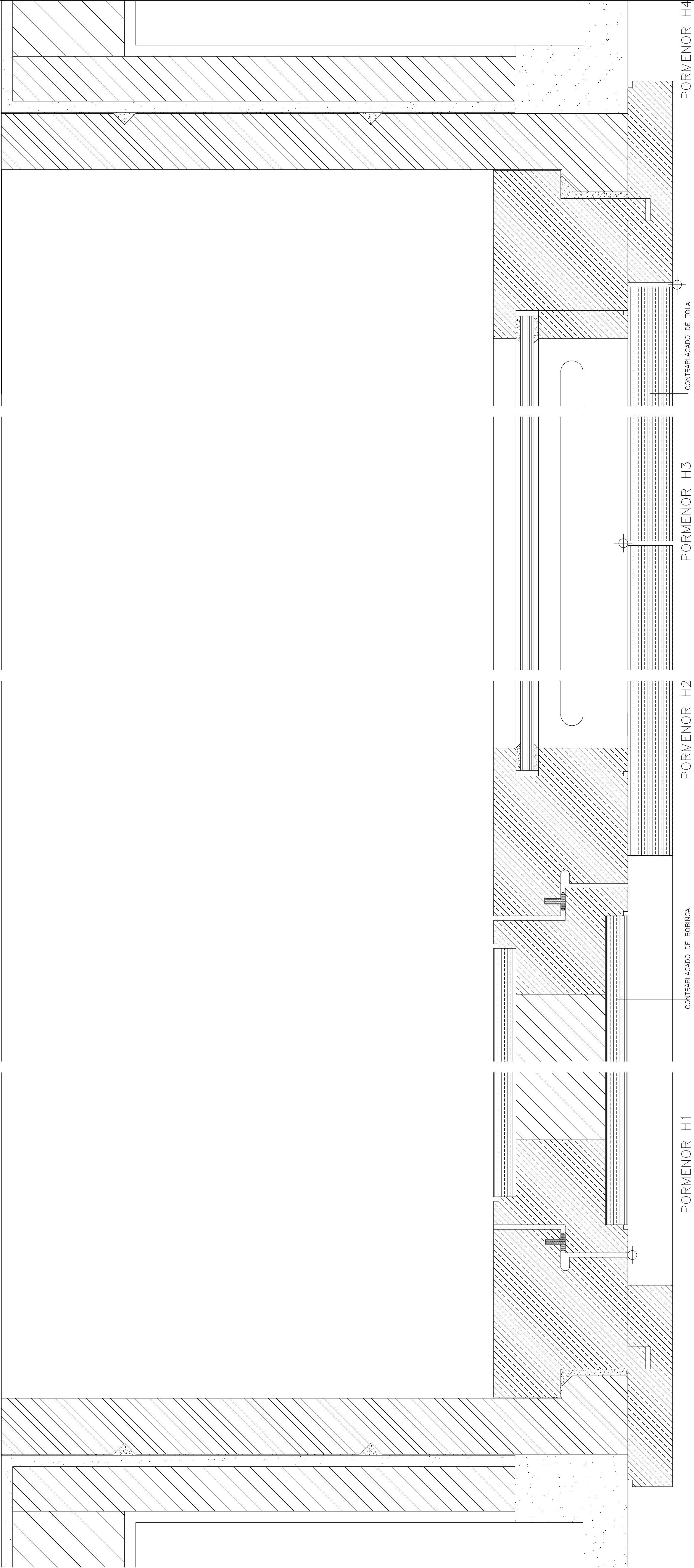
ALÇADO SUL



ALÇADO NASCENTE



ALÇADO POENTE



- BETÃO
- TUOLO
- BLOCO BETÃO
- ISOLAMENTO TÉRMICO
- REGULARIZAÇÃO
- BETÃO CELULAR
- ENROCAMENTO
- BETUMINOSO
- TOUVERNAT

BETÃO

TUOLO

BLOCO BETÃO

ISOLAMENTO TÉRMICO

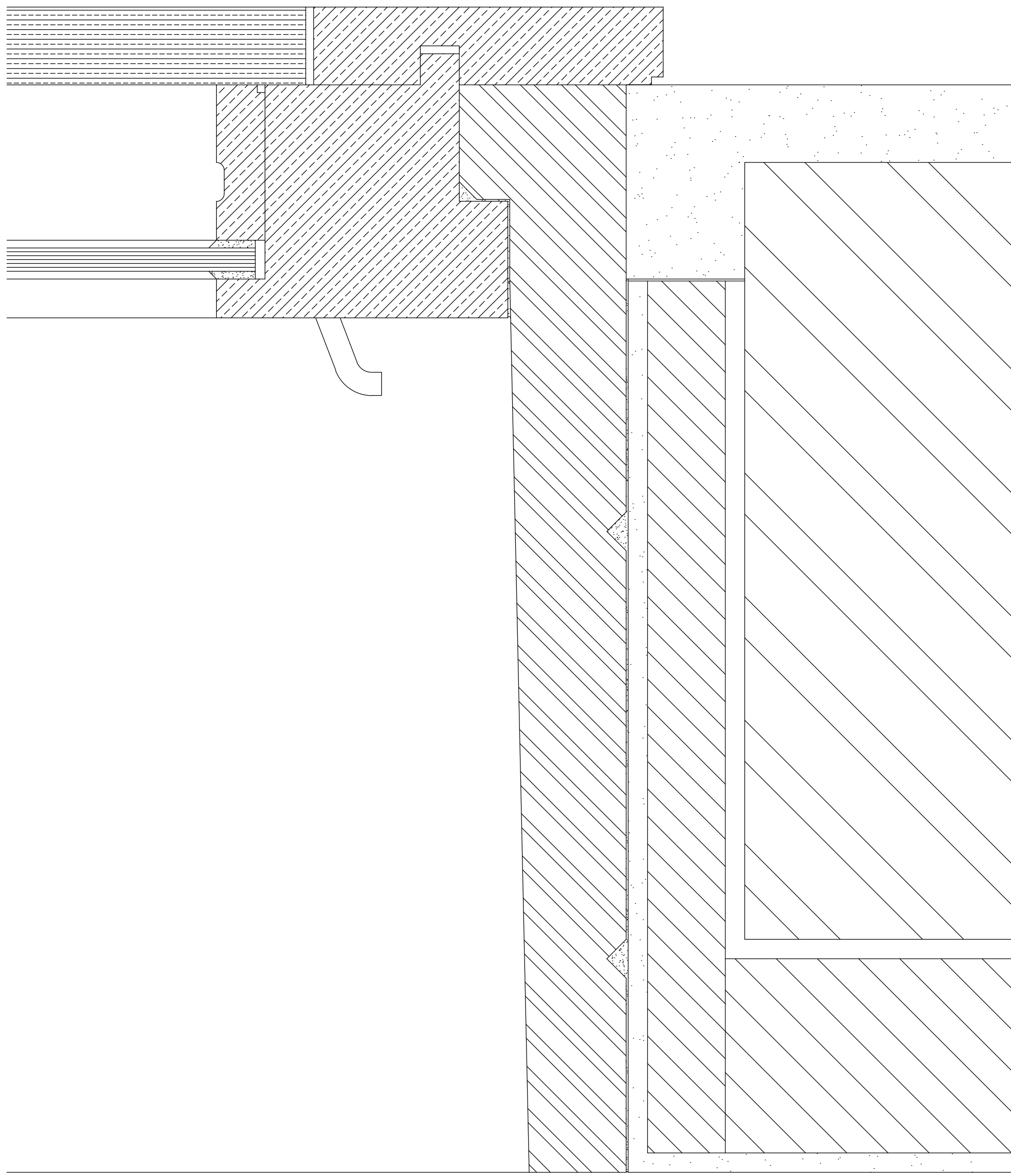
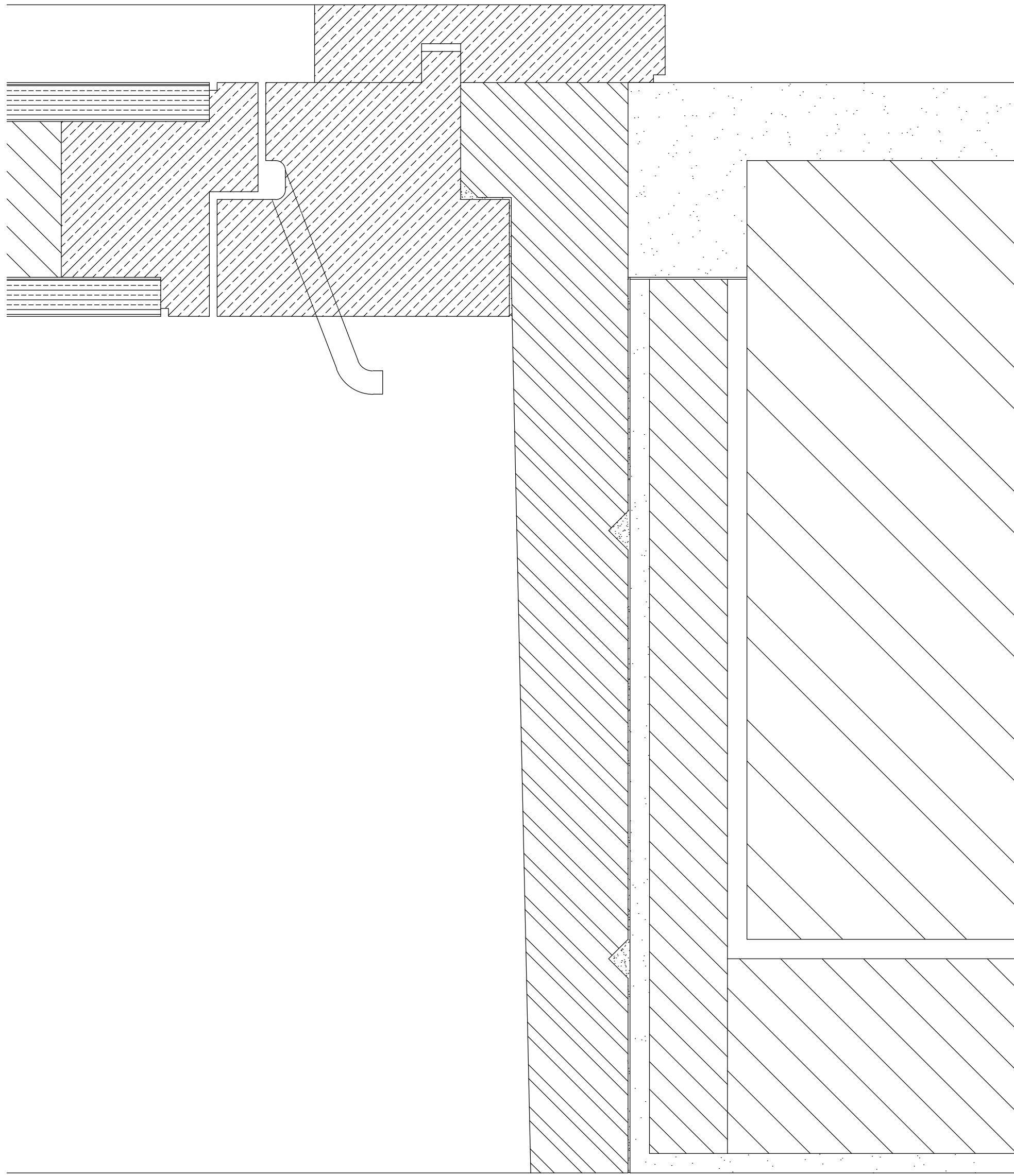
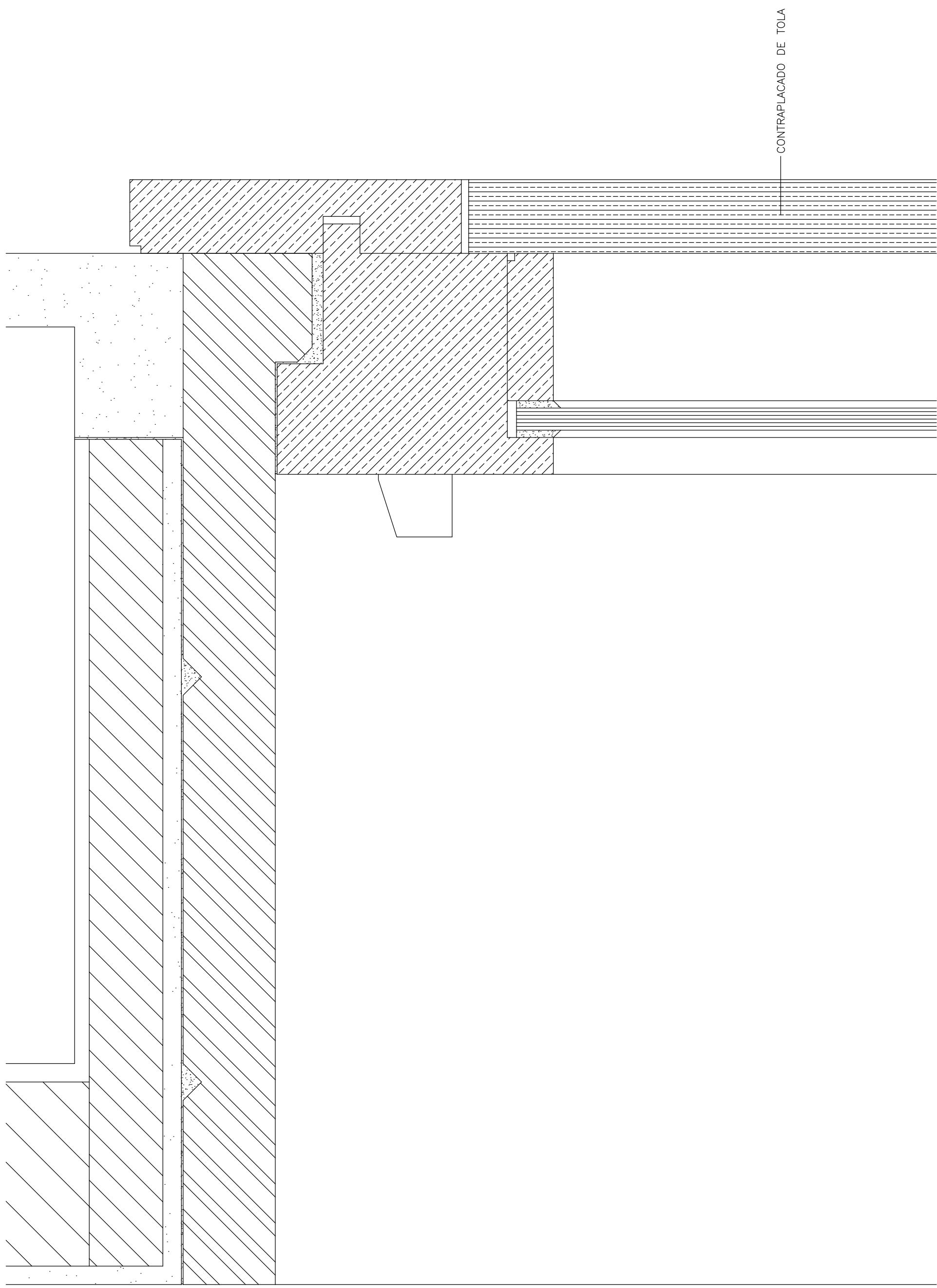
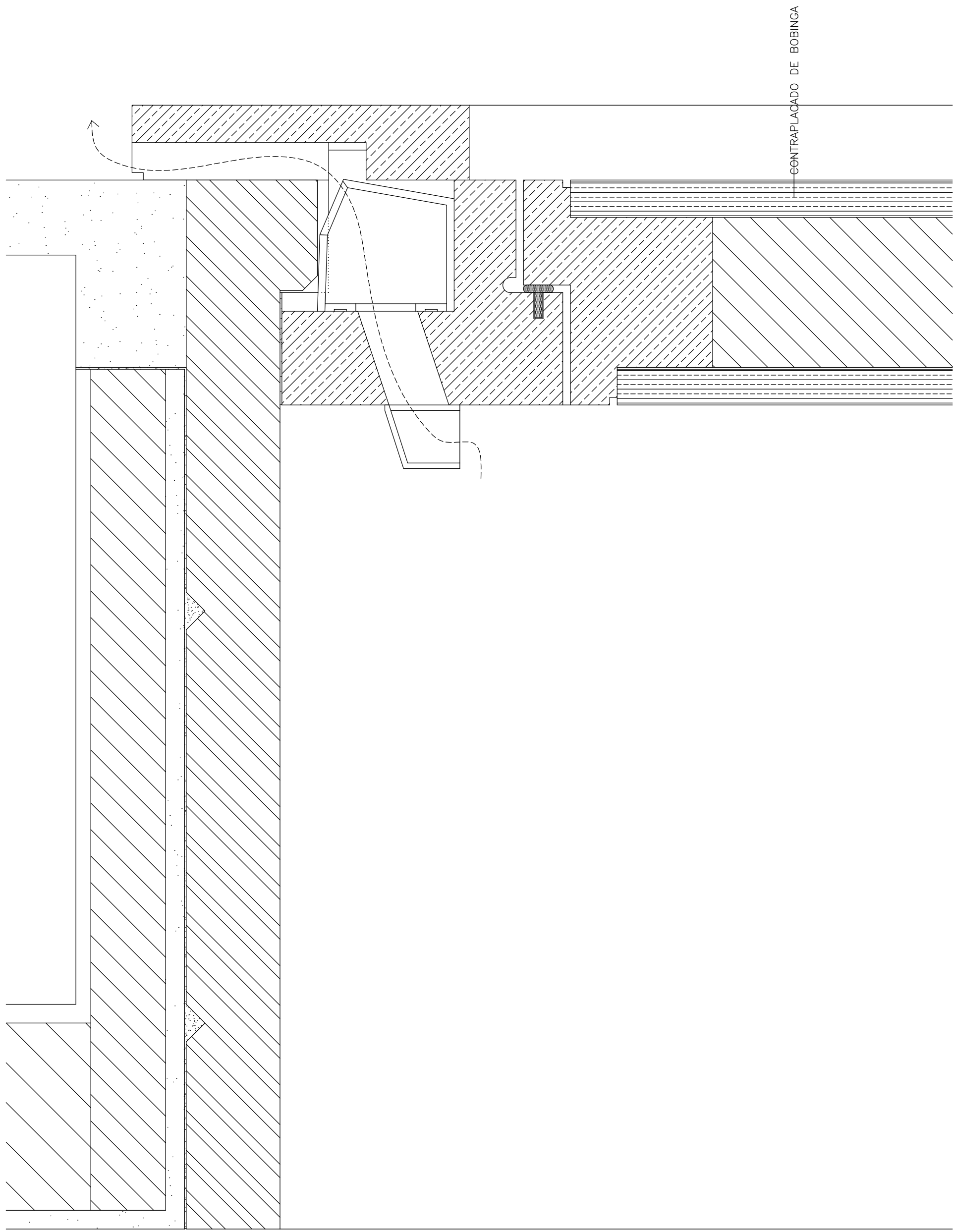
REGULARIZAÇÃO

BETÃO CELULAR

ENROCAMENTO

BETUMINOSO

TOUVERNAT



20A	cm 0 1 3	BLOCO A1/A2 VAOS J1 PORMENORES VERTICAIS	ESCALA 1/1 MAIO 1999	BETÃO TRILHO BETÃO LEVE POLISTIRENO EXPANDIDO MADERA MDF FERRO ACO INOX ALUMÍNIO HIDROFUGO VÍDRIO TELA MÁRMORE POLISTIRENO EXTRUDIDO CONTRAPLACADO MÁSTIQUE REBOCO MÁRMORITE BORRACHA	LÚCIO DA SILVA AZEVEDO & FILHOS, LDA CONJUNTO HABITACIONAL DE MOREIRA I – PROJECTO DE EXECUÇÃO JOÃO ÁLVARO ROCHA – ARQUITECTOS, LDA.
-----	---	---	---	--	---

A4

**CUSTO DAS INTERVENÇÕES E
FICHAS DO GERADOR DE PREÇOS
CYPE**

CUSTO DAS INTERVENÇÕES PARA O CENÁRIO ORIGINAL (P05eC05eVsi)

Descrição	Código CYPE	Custo Unit. [€]	Quant.	Uni.	Total [€]
P07e					
Sistema ETICS de isolamento térmico pelo exterior de fachada existente.	ZFF002	58,77	67,24	m²	3 951,79
Total					3 951,79
P11e					
Sistema ETICS de isolamento térmico pelo exterior de fachada existente.	ZFF002	63,12	67,24	m²	4 244,29
Total					4 244,29
C07e					
Remoção de camada de protecção de godo em cobertura plana.	DQP020	2,47	94,97	m²	234,57
Reabilitação energética de cobertura plana não acessível. Sistema "URSA IBÉRICA AISLANTES".	ZHA013	19,55	94,97	m²	1 856,62
Total					2 091,20
C11e					
Remoção de camada de protecção de godo em cobertura plana.	DQP020	2,47	94,97	m²	234,57
Reabilitação energética de cobertura plana não acessível. Sistema "URSA IBÉRICA AISLANTES".	ZHA013	30,26	94,97	m²	2 873,73
Total					3 108,30
Vse					
Desmontagem de portada.	DLS030	6,54	9,45	m²	61,78 €
Portada exterior de madeira.	LSV030	292,92	5	Ud	1 464,60
Total					1 526,38
Vdi					
Remoção de caixilharia exterior.	DLC020	5,88	9,45	m²	55,55
Caixilharia exterior de madeira	LCM015	861,81	5	Ud	4 309,05
Total					4 364,60

CUSTO DAS INTERVENÇÕES PARA O CENÁRIO 3 (P00dVsi)

Descrição	Código CYPE	Custo Unit. [€]	Quant.	Uni.	Total [€]
P05e					
Preparação do paramento suporte, para isolamento térmico pelo exterior de fachada.	ZFF001	28,06	67,24	m²	1 886,80
Sistema ETICS de isolamento térmico pelo exterior de fachada existente.	ZFF002	61,24	67,24	m²	4 117,88
Total					6 004,67
P07e					
Preparação do paramento suporte, para isolamento térmico pelo exterior de fachada.	ZFF001	28,06	67,24	m²	1 886,80
Sistema ETICS de isolamento térmico pelo exterior de fachada existente.	ZFF002	63,38	67,24	m²	4 261,77
Total					6 148,57
P11e					
Preparação do paramento suporte, para isolamento térmico pelo exterior de fachada.	ZFF001	28,06	67,24	m²	1 886,80
Sistema ETICS de isolamento térmico pelo exterior de fachada existente.	ZFF002	69,60	67,24	m²	4 680,02
Total					6 566,81
P05i					
Sistema "URSA IBÉRICA AISLANTES" de isolamento termo-acústico e revestimento interior autoportante.	ZFT031	39,09	42,18	m²	1 648,82
Total					1 648,82
P07i					
Sistema "URSA IBÉRICA AISLANTES" de isolamento termo-acústico e revestimento interior autoportante.	ZFT031	40,69	42,18	m²	1 716,30
Total					1 716,30
P11i					
Sistema "URSA IBÉRICA AISLANTES" de isolamento termo-acústico e revestimento interior autoportante.	ZFT031	44,71	42,18	m²	1 885,87
Total					1 885,87

DLC020 m² Remoção de caixilharia exterior.

Remoção de caixilharia envidraçada de madeira de qualquer tipo situada em fachada, com meios manuais, sem deteriorar os elementos construtivos aos quais está fixada, e carga manual para camião ou contentor. O preço inclui a remoção das folhas, dos aros, das guarnições e das ferragens.

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mo113	h	Operário não qualificado construção.	0,293	19,65	5,76
	%	Custos directos complementares	2,000	5,76	0,12
				Total:	5,88

DLS030 m² Desmontagem de portada.

Desmontagem de portada, com meios manuais, sem deteriorar os elementos construtivos sobre os quais está fixada, e carga manual para caminhão ou contentor. O preço inclui o desmontagem dos acessórios e dos elementos de fixação.

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mo018	h	Oficial de 1ª serralheiro.	0,155	21,06	3,26
mo059	h	Ajudante de serralheiro.	0,155	20,34	3,15
	%	Custos directos complementares	2,000	6,41	0,13
				Total:	6,54

DQP020 m² Remoção de camada de protecção de godo em cobertura plana.

Remoção de camada de protecção constituída por 10 cm de espessura de godo em cobertura plana, com meios manuais, e carga manual para camião ou contentor.

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mo113	h	Operário não qualificado construção.	0,123	19,65	2,42
	%	Custos directos complementares	2,000	2,42	0,05
				Total:	2,47

DRR010 m² Demolição de revestimento de placas de gesso laminado.

Demolição de revestimento interior autoportante de uma placa de gesso laminado (15 mm), livre, com canais e montantes, de 63 mm de espessura total, com meios manuais, sem afectar a estabilidade dos elementos constructivos contíguos, e carga manual para camião ou contentor. O preço inclui a demolição dos revestimentos, das instalações encastradas e da caixilharia.

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mo113	h	Operário não qualificado construção.	0,291	19,65	5,72
	%	Custos directos complementares	2,000	5,72	0,11
				Total:	5,83

LCM015 Ud Caixilharia exterior de madeira.

Caixilharia exterior de madeira de pinho, para janela com dobradiças, formada por uma folha oscilo-batente, de abertura para o interior de 1400x1400 mm, folha de 68x78 mm de secção e aro de 68x78 mm, moldura clássica, bites, guarnição de madeira maciça de 70x15 mm e remate no perfil inferior, com suporte de alumínio anodizado e revestimento exterior de madeira; com capacidade para assentar um vidro com uma espessura mínima de 21 mm e máxima de 32 mm; coeficiente de transmissão térmica do aro da secção tipo Uh,m = 1,43 W/(m²°C), com classificação à permeabilidade ao ar classe 4, segundo EN 12207, classificação à estanquidade à água classe E1200, segundo EN 12208 e classificação à resistência à carga do vento classe 5, segundo EN 12210; acabamento através do sistema de Envernizamento translúcido, composto de uma primeira demão de impregnação para a protecção preventiva da madeira contra fungos e ataques de insectos xilófagos, e aplicação posterior de uma camada final de 220 microns, acabamento mate acetinado, de alta resistência frente à acção dos raios UV e da intempérie; inclusive aplicação de pasta vedante para juntas; ferragem perimetral de fecho e segurança com WK1, segundo EN 1627, abertura através de cremona de alavanca, puxador em cores standard e abertura de microventilação; com pré-aro e sem persiana. O preço não inclui o assentamento do pré-aro. O preço não inclui o sistema de barreira tripla.

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt22aap010c	m	Pré-aro, pinho silvestre, 70x35 mm, com elementos de fixação.	5,600	3,00	16,80
mt22gen010afu	Ud	Janela de madeira de pinho, uma folha oscilo-batente, dimensões 1400x1400 mm, acabamento através do sistema de Envernizamento translúcido, composta de folha de 68x78 mm e aro de 68x78 mm, moldura clássica, bites, guarnição de madeira maciça de 70x15 mm e remate no perfil inferior, com suporte de alumínio anodizado e revestimento exterior de madeira, junta perimetral dupla de estanquidade de borracha termoplástica, com capacidade para assentar um vidro com uma espessura mínima de 21 mm e máxima de 32 mm; coeficiente de transmissão térmica do aro da secção tipo Uh,m = 1,43 W/(m²°C), com classificação à permeabilidade ao ar classe 4, segundo EN 12207, classificação à estanquidade à água classe E1200, segundo EN 12208 e classificação à resistência à carga do vento classe 5, segundo EN 12210; ferragem perimetral de fecho e segurança com WK1, segundo EN 1627, abertura através de cremona de alavanca, puxador em cores standard e abertura de microventilação, Segundo NP EN 14351-1.	1,000	753,02	753,02
mo017	h	Oficial de 1ª carpinteiro.	1,809	21,11	38,19
mo058	h	Ajudante de carpinteiro.	1,809	20,40	36,90
	%	Custos directos complementares	2,000	844,91	16,90
Custo de manutenção decenal: 215,45€ nos primeiros 10 anos.				Total:	861,81

Referência e título da norma	Aplicabilidade(a)	Obrigatoriedade(b)	Sistema(c)
EN 14351-1:2006+A2:2016			
Janelas e portas — Norma de produto, características de desempenho — Parte 1: Janelas e portas pedonais exteriores	1112020	1112020	1/3/4

(a) Data de entrada em aplicação da norma harmonizada

(b) Data final do período de coexistência

(c) Sistema de avaliação e verificação da regularidade do desempenho

LSV030 Ud Portada exterior de madeira.

Portada provençal, exterior, de madeira de pinho de Flandres para pintar, de três folhas dobráveis de painel cego com almofadas, de 130x125 cm, colocada em janela. Inclusive silicone neutro para a vedação das juntas perimetrais, ferragens de pendurar e abertura, parafusos de aço inoxidável, elementos de estanquidade e acessórios.

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt22xcv030B	m²	Portada provençal formada por painel cego com almofadas, de madeira de pinho de Flandres para pintar.	1,625	150,00	243,75
mt22xcv031i	Ud	Acessórios, ferragens de manobra e abertura, parafusos de aço inoxidável e elementos de estanquidade, para portadas de três folhas dobráveis de madeira.	1,000	24,00	24,00
mo017	h	Oficial de 1ª carpinteiro.	0,468	21,11	9,88
mo058	h	Ajudante de carpinteiro.	0,468	20,40	9,55
	%	Custos directos complementares	2,000	287,18	5,74
Custo de manutenção decenal: 73,23€ nos primeiros 10 anos.				Total:	292,92

ZFF001 m² Preparação do paramento suporte, para isolamento térmico pelo exterior de fachada.

Preparação do paramento suporte para isolamento térmico pelo exterior de fachada, através de picagem de reboco ou estuque de cal e do seu emboço base, com martelo eléctrico, carga manual para camião ou contentor e posterior revestimento com argamassa de cimento, tipo GP CSIII W2, segundo EN 998-1, cor cinzento, de 10 mm de espessura, directa, com acabamento rugoso, aplicada mecanicamente, armada com malha de fibra de vidro, anti-álcalis, de 10x10 mm de vão de malha, de 750 a 900 microns de espessura e de 200 a 250 g/m² de massa superficial, com 25 kp/cm² de resistência à tracção, nas mudanças de material e nas testas da laje. O preço inclui a execução dos remates nos encontros com paramentos, revestimentos ou outros elementos assentes na sua superfície.

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt28mop190b	kg	Argamassa de cimento, tipo GP CSIII W2, segundo EN 998-1, para utilização em exteriores, cor cinzento, composta por cimento de alta resistência, inertes seleccionados e outros aditivos, fornecida em sacos.	16,000	0,15	2,40
mt28mon040a	m²	Malha de fibra de vidro, anti-álcalis, de 10x10 mm de vão de malha, de 750 a 900 microns de espessura e de 200 a 250 g/m² de massa superficial, com 25 kp/cm² de resistência à tracção, para armar argamassas.	0,200	2,41	0,48
mq05mai040	h	Martelo eléctrico.	0,522	3,14	1,64
mq06pym010	h	Misturadora-bombeadora para argamassas e gessos projectados, de 3 m³/h.	0,255	8,52	2,17
mo113	h	Operário não qualificado construção.	0,547	19,65	10,75
mo039	h	Oficial de 1ª rebocador.	0,244	20,78	5,07
mo111	h	Operário especializado rebocador.	0,244	20,49	5,00
	%	Custos directos complementares	2,000	27,51	0,55
				Total:	28,06

Referência e título da norma	Aplicabilidade(a)	Obrigatoriedade(b)	Sistema(c)
EN 998-1:2016 Especificação de argamassas para alvenaria — Parte 1: Argamassas para rebocos interiores e exteriores	1182020	1182020	4

(a) Data de entrada em aplicação da norma harmonizada e início do período de coexistência

(b) Data final do período de coexistência / entrada em vigor da marcação CE

(c) Sistema de avaliação e verificação da regularidade do desempenho

ZFF002 m² Sistema ETICS de isolamento térmico pelo exterior de fachada existente.

Reabilitação energética de fachada, através de isolamento térmico pelo exterior, com sistema ETICS, composto por: painel rígido de poliestireno expandido, segundo NP EN 13163, de superfície lisa e bordo lateral recto, de cor branca, de 50 mm de espessura, fixado ao suporte com argamassa, aplicada manualmente e fixações mecânicas com bucha de expansão de polipropileno; camada de regularização de argamassa, aplicada manualmente, armada com malha de fibra de vidro, anti-álcalis, de 5x4 mm de vão de malha, de 0,6 mm de espessura e de 160 g/m² de massa superficial; camada de acabamento de argamassa acrílica, cor branco, sobre primário acrílico. Inclusive perfis de arranque de alumínio, perfis de fecho superior de alumínio, perfis de canto de PVC com malha, pasta vedante monocomponente e cordão de espuma de polietileno expandido de células fechadas para vedação de juntas. O preço inclui a execução dos remates nos encontros com paramentos, revestimentos ou outros elementos assentes na sua superfície, mas não inclui a preparação da superfície suporte.

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt28mop080e	m	Perfil de arranque de alumínio, de 50 mm de largura, com pingadeira, para nivelção e suporte dos painéis isolantes dos sistemas de isolamento térmico pelo exterior sobre a linha de soco.	0,170	4,21	0,72
mt28mop085e	m	Perfil de fecho superior, de alumínio, de 50 mm de largura, para coroamento dos painéis isolantes dos sistemas de isolamento térmico pelo exterior.	0,170	18,04	3,07
mt28mop030ta	kg	Argamassa tipo GP W2, segundo EN 998-1, composta de cimento branco, cal aérea, inertes leves, inertes calcários seleccionados, fibras naturais, aditivos e resinas em pó, impermeável à água da chuva, permeável ao vapor de água e com resistência ao envelhecimento, para aplicar com palustra, para aderir os painéis isolantes e como camada base, prévia amassadura com água.	10,400	0,84	8,74
mt16pep010ac	m²	Painel rígido de poliestireno expandido, segundo NP EN 13163, de superfície lisa e bordo lateral recto, de cor branca, de 50 mm de espessura, com resistência ao envelhecimento e permeável ao vapor de água, resistência térmica 1,32 m²C/W, condutibilidade térmica 0,038 W/(m°C), Euroclasse E de reacção ao fogo segundo NP EN 13501-1.	1,050	3,84	4,03
mt16pep100b	Ud	Bucha de expansão de polipropileno, de 110 mm de comprimento, para fixação de placas isolantes.	8,000	0,20	1,60
mt28mop050a	m²	Malha de fibra de vidro, anti-álcalis, de 5x4 mm de vão de malha, de 0,6 mm de espessura, de 160 g/m² de massa superficial e de 1,1x50 m, para armar argamassas.	1,100	1,61	1,77
mt28mop070b	m	Perfil de canto de PVC com malha, para reforço de cantos.	0,300	0,50	0,15
mt28mop320a	kg	Primário acrílico, composto por resinas acrílicas, pigmentos minerais e aditivos orgânicos e inorgânicos, impermeável à água da chuva e permeável ao vapor de água, para aplicar com trincha, rolo ou pistola.	0,220	3,61	0,79
mt28mop310ma	kg	Argamassa acrílica, cor branco, composta por resinas acrílicas, pigmentos minerais e aditivos orgânicos e inorgânicos, anti-caruncho e anti-verdete, permeável ao vapor de água e com resistência ao envelhecimento, à contaminação urbana e aos raios UV, para revestimento de paramentos exteriores.	2,500	3,01	7,53
mt15bas010a	m	Cordão de polietileno expandido de células fechadas, de secção circular de 6 mm de diâmetro, para o enchimento de fundo de junta.	0,170	0,06	0,01
mt15bas035a	Ud	Cartucho de massa elastomérica tixotrópica, monocomponente, à base de polímeros híbridos (MS), de cor cinzento, de 600 ml, de alta aderência, com elevadas propriedades elásticas, resistência ao envelhecimento e aos raios UV, dureza Shore A aproximada de 25 e alongamento em ruptura > 600%, segundo EN ISO 11600.	0,020	8,24	0,16
mo054	h	Oficial de 1ª montador de isolamentos.	0,109	21,36	2,33
mo101	h	Ajudante de montador de isolamentos.	0,109	20,28	2,21
mo039	h	Oficial de 1ª rebocador.	0,656	20,78	13,63
mo079	h	Ajudante de rebocador.	0,656	20,28	13,30
	%	Custos directos complementares	2,000	60,04	1,20
Custo de manutenção decenal: 4,78€ nos primeiros 10 anos.				Total:	61,24

Referência e título da norma	Aplicabilidade(a)	Obrigatoriedade(b)	Sistema(c)
EN 998-1:2016 Especificação de argamassas para alvenaria — Parte 1: Argamassas para rebocos interiores e exteriores	1182020	1182020	4
EN 13163:2012+A1:2015 Produtos de isolamento térmico para aplicação em edifícios — Produtos manufaturados em poliestireno expandido (EPS) — Especificação	1072020	1072020	1/3/4

(a) Data de entrada em aplicação da norma harmonizada e início do período de coexistência

(b) Data final do período de coexistência / entrada em vigor da marcação CE

(c) Sistema de avaliação e verificação da regularidade do desempenho

ZFT031 m² Sistema "URSA IBÉRICA AISLANTES" de isolamento termo-acústico e revestimento interior autoportante.

Reabilitação energética de fachadas e divisões através do sistema "URSA IBÉRICA AISLANTES" de isolamento termo-acústico e revestimento interior autoportante, colocado em divisões interiores e pelo interior de fachadas, formado por revestimento interior, com placa de gesso laminado A / EN 520 - 1200 / comprimento / 15 / com os bordos longitudinais afinados, aparafusada directamente a uma estrutura autoportante contraventada; isolamento com painel de lã mineral, Ursa Terra T18R "URSA IBÉRICA AISLANTES", colocado no espaço entre o paramento e as mestras; e duas demãos de tinta plástica, cor branca, acabamento mate, textura lisa, (rendimento: 0,1 l/m² cada demão); aplicação prévia de uma demão de primário à base de copolímeros acrílicos em suspensão aquosa. O preço inclui a resolução de encontros e pontos singulares e os trabalhos auxiliares de pedreiro para instalações.

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt12psg041a	m	Banda autocolante dessolidarizante de espuma de poliuretano de células fechadas, de 3,2 mm de espessura e 30 mm de largura, resistência térmica 0,10 m²°C/W, condutibilidade térmica 0,032 W/(m°C).	0,800	0,17	0,14
mt12pek020fa	Ud	Ancoragem directa de 125 mm, para mestra 60/27.	0,700	0,53	0,37
mt12psg220	Ud	Fixação composta por bucha e parafuso 5x27.	1,600	0,06	0,10
mt16lvp050ca	m²	Painel de lã mineral, Ursa Terra T18R "URSA IBÉRICA AISLANTES", não revestido, fornecido em rolos de 13,5 m de comprimento, de 45 mm de espessura, resistência térmica 1,3 m²°C/W, condutibilidade térmica 0,035 W/(m°C), segundo EN 13162, Euroclasse A1 de reacção ao fogo segundo NP EN 13501-1 e factor de resistência à difusão do vapor de água 1, com código de designação MW-EN 13162-T3-MU1-WS-AFr5-AW0,80.	1,050	4,34	4,56
mt16aaa030	m	Fita autocolante para vedação de juntas.	0,440	0,30	0,13
mt12psg050c	m	Mestra 60/27 de chapa de aço galvanizado, de largura 60 mm, segundo EN 14195.	1,750	1,41	2,47
mt12psg160a	m	Perfil em U, de aço galvanizado, de 30 mm.	1,220	1,02	1,24
mt12psg081a	Ud	Parafuso autoperfurante 3,5x9,5 mm.	1,400	0,01	0,01
mt12psg010b	m²	Placa de gesso laminado A / EN 520 - 1200 / comprimento / 15 / com os bordos longitudinais afinados.	1,050	7,02	7,37
mt12psg081c	Ud	Parafuso autoperfurante 3,5x25 mm.	14,000	0,01	0,14
mt12psg030a	kg	Massa de juntas, segundo EN 13963.	0,300	1,28	0,38
mt12psg040a	m	Fita microperfurada de papel, segundo EN 13963.	1,600	0,05	0,08
mt27pfp010b	l	Primário, à base de copolímeros acrílicos em suspensão aquosa, para favorecer a coesão de suportes pouco consistentes e a aderência de pinturas.	0,125	4,46	0,56
mt27pir010a	l	Tinta plástica ecológica para interior, à base de copolímeros acrílicos em dispersão aquosa, dióxido de titânio e pigmentos extensores seleccionados, cor branco, acabamento mate, textura lisa, de grande resistência à humidade, permeável ao vapor de água, transpirável e resistente aos raios UV, para aplicar com trincha, rolo ou pistola.	0,200	4,44	0,89
mo054	h	Oficial de 1ª montador de isolamentos.	0,117	21,36	2,50
mo101	h	Ajudante de montador de isolamentos.	0,068	20,28	1,38
mo053	h	Oficial de 1ª montador de pré-fabricados interiores.	0,352	21,36	7,52
mo100	h	Ajudante de montador de pré-fabricados interiores.	0,205	20,28	4,16
mo038	h	Oficial de 1ª pintor.	0,169	20,78	3,51
mo076	h	Ajudante de pintor.	0,020	20,28	0,41
	%	Custos directos complementares	2,000	37,92	0,76
Custo de manutenção decenal: 12,22€ nos primeiros 10 anos.				Total:	38,68

Referência e título da norma	Aplicabilidade(a)	Obrigatoriedade(b)	Sistema(c)
EN 13162:2012+A1:2015 Produtos de isolamento térmico para aplicação em edifícios — Produtos manufacturados de lã mineral (MW) — Especificação	1072020	1072020	1/3/4
EN 14195:2005 Elementos de armação metálica para sistemas em placas de gesso — Definições, requisitos e métodos de ensaio	112006	112007	3/4
EN 14195:2005/AC:2006	112007	112007	
EN 520:2004+A1:2009 Placas de gesso — Definições, requisitos e métodos de ensaio	162010	1122010	3/4
EN 13963:2005 Materiais de vedação para placas de gesso — Definições, requisitos e métodos de ensaio	132006	132007	3/4
EN 13963:2005/AC:2006	112007	112007	

(a) Data de entrada em aplicação da norma harmonizada e início do período de coexistência

(b) Data final do período de coexistência / entrada em vigor da marcação CE

(c) Sistema de avaliação e verificação da regularidade do desempenho

ZHA013 m² Reabilitação energética de cobertura plana não acessível. Sistema "URSA IBÉRICA AISLANTES".

Reabilitação energética de cobertura plana não acessível, com a membrana impermeabilizante em bom estado de conservação. Sistema "URSA IBÉRICA AISLANTES". ISOLAMENTO TÉRMICO: painel rígido de poliestireno extrudido Ursa XPS F N-V L "URSA IBÉRICA AISLANTES", de superfície lisa e bordo lateral a meia madeira, de 40 mm de espessura, resistência à compressão ≥ 500 kPa; CAMADA SEPARADORA SOB PROTECÇÃO: geotêxtil não tecido composto por fibras de poliéster entrelaçadas, (200 g/m²); CAMADA DE PROTECÇÃO: Camada de seixos rolados lavados, com uma espessura média de 10 cm.

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt16pxp010bcb	m²	Painel rígido de poliestireno extrudido Ursa XPS F N-V L "URSA IBÉRICA AISLANTES", segundo EN 13164, de superfície lisa e bordo lateral a meia madeira, de 40 mm de espessura, resistência à compressão ≥ 500 kPa, resistência térmica $1,2 \text{ m}^2\text{C/W}$, condutibilidade térmica $0,034 \text{ W/(m}^2\text{C)}$, Euroclasse E de reacção ao fogo segundo NP EN 13501-1, com código de designação XPS-EN 13164-T1-CS(10/Y)500-DLT(2)5-DS(TH)-WL(T)0,7-WD(V)3-FTCD1.	1,050	12,00	12,60
mt14gsa020ce	m²	Geotêxtil não tecido composto por fibras de poliéster entrelaçadas, com uma resistência à tracção longitudinal de 1,63 kN/m, uma resistência à tracção transversal de 2,08 kN/m, uma abertura de cone ao ensaio de perfuração dinâmica segundo NP EN ISO 13433 inferior a 27 mm, resistência CBR ao punçoamento 0,4 kN e uma massa superficial de 200 g/m², segundo EN 13252.	1,050	0,81	0,85
mt01arc010	t	Seixos rolados lavados, de granulometria compreendida entre 16 e 32 mm.	0,180	21,65	3,90
mo020	h	Oficial de 1ª construção.	0,131	20,78	2,72
mo077	h	Ajudante de construção.	0,131	20,28	2,66
mo054	h	Oficial de 1ª montador de isolamentos.	0,109	21,36	2,33
mo101	h	Ajudante de montador de isolamentos.	0,109	20,28	2,21
	%	Custos directos complementares	2,000	27,27	0,55
Custo de manutenção decenal: 1,84€ nos primeiros 10 anos.				Total:	27,82

Referência e título da norma	Aplicabilidade(a)	Obrigatoriedade(b)	Sistema(c)
EN 13164:2012+A1:2015 Produtos de isolamento térmico para aplicação em edifícios — Produtos manufaturados de espuma de poliestireno extrudido (XPS) — Especificação	1072020	1072020	1/3/4
EN 13252:2016 Geotêxteis e produtos relacionados — Características requeridas para a utilização em sistemas de drenagem	1032020	1032020	2+/4

(a) Data de entrada em aplicação da norma harmonizada e início do período de coexistência

(b) Data final do período de coexistência / entrada em vigor da marcação CE

(c) Sistema de avaliação e verificação da regularidade do desempenho

A5

**IDP DE INVERNO E VERÃO
DURANTE AS HORAS EM QUE A
HABITAÇÃO ESTÁ OCUPADA, POR
ZONA DE ESTUDO, PARA OS
CENÁRIOS ESTUDADOS**

Orient.	Aquec.	P00d			P05e			P07e			P11e						
		i	ii	iii	Tot.	i	ii	iii	Tot.	i	ii	iii	Tot.				
Inverno																	
Norte	0 h	8 171	4 143	4 168	16 482	6 600	3 210	3 293	13 103	6 401	3 099	3 174	12 674	6 176	2 977	3 038	12 191
	2 h	4 010	2 254	2 790	9 053	2 301	1 265	1 632	5 198	2 120	1 158	1 490	4 768	1 929	1 051	1 337	4 316
	4 h	2 142	1 327	2 323	5 792	1 131	657	1 219	3 008	1 030	598	1 097	2 725	926	536	961	2 423
	8 h	1 300	528	1 789	3 617	756	281	834	1 871	698	256	729	1 683	635	226	617	1 477
	16 h	1 186	516	1 464	3 167	740	280	655	1 675	686	254	566	1 506	626	225	476	1 327
	24 h	1 186	516	1 339	3 041	739	280	568	1 587	685	254	492	1 431	626	225	414	1 265
Sul	0 h	4 609	2 158	3 758	10 524	2 724	1 198	2 307	6 230	2 503	1 093	2 117	5 713	2 264	980	1 908	5 151
	2 h	2 028	1 023	2 608	5 658	853	396	1 193	2 442	741	340	1 030	2 112	625	286	865	1 776
	4 h	1 253	692	2 340	4 285	549	276	1 005	1 830	485	238	864	1 586	416	200	708	1 324
	8 h	901	364	1 978	3 244	478	160	774	1 412	430	137	651	1 219	378	114	525	1 018
	16 h	875	364	1 734	2 973	476	160	648	1 284	430	137	536	1 103	377	114	425	917
	24 h	874	364	1 653	2 892	476	159	596	1 232	430	137	495	1 062	377	114	391	883
Este	0 h	7 212	3 590	4 115	14 916	5 445	2 607	2 976	11 028	5 223	2 489	2 823	10 536	4 978	2 362	2 653	9 994
	2 h	3 358	1 855	2 778	7 991	1 706	904	1 442	4 053	1 540	814	1 285	3 639	1 370	722	1 121	3 213
	4 h	1 772	1 061	2 353	5 186	803	458	1 095	2 356	715	404	957	2 077	618	350	809	1 777
	8 h	1 059	402	1 849	3 310	524	173	745	1 442	472	150	632	1 255	416	127	514	1 058
	16 h	968	395	1 539	2 902	516	173	584	1 273	467	150	484	1 101	414	127	386	927
	24 h	968	395	1 422	2 785	516	173	509	1 198	466	150	425	1 041	414	127	340	880
Oeste	0 h	6 920	3 409	4 371	14 700	5 244	2 498	3 227	10 969	5 036	2 391	3 074	10 501	4 802	2 270	2 899	9 971
	2 h	3 149	1 729	3 031	7 909	1 585	852	1 652	4 090	1 426	769	1 490	3 685	1 262	678	1 313	3 253
	4 h	1 618	968	2 608	5 193	693	410	1 294	2 398	606	363	1 142	2 110	514	316	985	1 816
	8 h	918	325	2 097	3 341	405	121	917	1 443	355	103	790	1 247	301	83	662	1 047
	16 h	826	318	1 775	2 919	396	121	724	1 242	350	103	606	1 058	297	83	491	871
	24 h	826	318	1 635	2 779	396	121	622	1 139	349	103	517	969	297	83	412	792
Verão																	
Norte	-	13	55	48	116	4	41	24	69	4	39	22	65	3	38	21	62
Sul	-	39	103	43	185	22	82	27	132	21	81	26	128	19	79	25	123
Este	-	33	94	63	191	19	77	36	132	17	76	34	127	16	74	32	122
Oeste	-	51	131	57	238	30	111	33	174	28	109	31	169	27	107	30	164

Orient.	Aquec.	P00d			Tot.	P05i			Tot.	P07i			Tot.	P11i			Tot.
		i	ii	iii		i	ii	iii		i	ii	iii					
Inverno																	
Norte	0 h	8 171	4 143	4 168	16 482	7 292	3 591	3 658	14 541	7 164	3 519	3 581	14 264	7 025	3 441	3 495	13 962
	2 h	4 010	2 254	2 790	9 053	2 974	1 640	2 071	6 686	2 839	1 565	1 969	6 373	2 697	1 485	1 861	6 043
	4 h	2 142	1 327	2 323	5 792	1 538	913	1 630	4 081	1 462	865	1 534	3 861	1 378	815	1 431	3 623
	8 h	1 300	528	1 789	3 617	986	377	1 168	2 531	943	359	1 086	2 388	897	339	994	2 230
	16 h	1 186	516	1 464	3 167	939	375	918	2 232	904	358	844	2 105	864	339	766	1 969
Sul	24 h	1 186	516	1 339	3 041	938	375	819	2 132	903	357	754	2 014	862	338	682	1 883
	0 h	4 609	2 158	3 758	10 524	3 503	1 580	2 856	7 939	3 349	1 502	2 724	7 575	3 179	1 421	2 578	7 178
	2 h	2 028	1 023	2 608	5 658	1 304	633	1 679	3 616	1 213	587	1 558	3 358	1 119	541	1 426	3 087
	4 h	1 253	692	2 340	4 285	821	438	1 463	2 722	767	407	1 348	2 522	709	376	1 219	2 304
	8 h	901	364	1 978	3 244	648	239	1 166	2 054	614	222	1 061	1 897	577	206	952	1 735
Este	16 h	875	364	1 734	2 973	643	239	980	1 863	610	222	887	1 719	574	206	789	1 569
	24 h	874	364	1 653	2 892	643	239	921	1 803	610	222	834	1 666	574	206	737	1 517
	0 h	7 212	3 590	4 115	14 916	6 204	3 002	3 419	12 626	6 061	2 925	3 317	12 303	5 899	2 837	3 202	11 938
	2 h	3 358	1 855	2 778	7 991	2 341	1 268	1 923	5 533	2 213	1 196	1 806	5 216	2 074	1 115	1 679	4 868
	4 h	1 772	1 061	2 353	5 186	1 180	689	1 537	3 406	1 107	649	1 433	3 189	1 025	599	1 309	2 933
Oeste	8 h	1 059	402	1 849	3 310	738	263	1 113	2 114	697	244	1 023	1 964	652	225	917	1 795
	16 h	968	395	1 539	2 902	707	262	878	1 847	670	244	793	1 707	632	225	707	1 564
	24 h	968	395	1 422	2 785	707	262	796	1 765	670	244	719	1 633	632	225	639	1 496
	0 h	6 920	3 409	4 371	14 700	5 949	2 858	3 679	12 486	5 812	2 787	3 575	12 173	5 656	2 707	3 462	11 825
	2 h	3 149	1 729	3 031	7 909	2 179	1 176	2 159	5 514	2 060	1 108	2 037	5 205	1 924	1 038	1 901	4 863
Verão	4 h	1 618	968	2 608	5 193	1 048	626	1 762	3 436	977	585	1 647	3 208	901	545	1 525	2 970
	8 h	918	325	2 097	3 341	602	198	1 319	2 119	562	182	1 215	1 959	517	165	1 100	1 782
	16 h	826	318	1 775	2 919	569	197	1 060	1 826	535	182	965	1 682	496	165	867	1 527
	24 h	826	318	1 635	2 779	569	197	945	1 712	535	182	862	1 578	495	165	760	1 420
	Verão																
Norte	-	13	55	48	116	10	55	39	104	9	54	37	101	9	54	36	98
Sul	-	39	103	43	185	34	103	40	177	33	102	39	174	32	101	38	171
Este	-	33	94	63	191	28	94	56	179	27	94	54	175	27	93	52	173
Oeste	-	51	131	57	238	44	134	50	228	43	133	49	225	42	133	47	223

Orient.	Aquec.	C05e			Tot.	C07e			Tot.	C11e			Tot.
		i	ii	iii		i	ii	iii		i	ii	iii	
Inverno													
Norte	0 h	7 124	3 571	3 586	14 282	6 988	3 491	3 504	13 983	6 821	3 388	3 404	13 613
	2 h	2 960	1 690	2 009	6 659	2 799	1 590	1 904	6 293	2 609	1 483	1 782	5 874
	4 h	1 448	906	1 526	3 880	1 361	846	1 435	3 642	1 258	771	1 321	3 351
	8 h	886	351	1 035	2 273	842	330	960	2 132	792	308	874	1 974
	16 h	841	346	773	1 960	806	328	714	1 848	763	304	647	1 714
	24 h	840	346	676	1 863	806	327	627	1 760	762	304	573	1 639
Sul	0 h	3 735	1 747	2 812	8 294	3 525	1 636	2 697	7 859	3 268	1 504	2 555	7 327
	2 h	1 358	683	1 583	3 624	1 240	618	1 483	3 341	1 098	544	1 363	3 005
	4 h	801	442	1 332	2 575	733	403	1 241	2 377	657	355	1 134	2 146
	8 h	613	235	1 019	1 867	575	217	946	1 739	532	195	856	1 582
	16 h	607	234	826	1 668	572	216	765	1 553	529	194	691	1 413
	24 h	607	234	765	1 606	571	215	708	1 495	528	193	640	1 361
Este	0 h	6 246	3 090	3 514	12 851	6 084	2 997	3 426	12 508	5 882	2 884	3 317	12 082
	2 h	2 432	1 363	1 996	5 791	2 274	1 277	1 886	5 437	2 090	1 169	1 758	5 016
	4 h	1 156	703	1 546	3 405	1 071	649	1 455	3 175	967	585	1 338	2 890
	8 h	685	251	1 078	2 014	639	232	1 004	1 875	587	210	916	1 713
	16 h	654	250	814	1 718	615	231	753	1 599	570	209	682	1 461
	24 h	654	250	728	1 632	615	231	672	1 517	570	209	607	1 385
Oeste	0 h	5 876	2 904	3 484	12 265	5 714	2 812	3 395	11 920	5 517	2 700	3 285	11 501
	2 h	2 204	1 235	1 979	5 419	2 056	1 152	1 876	5 084	1 880	1 046	1 749	4 675
	4 h	1 007	628	1 550	3 185	925	578	1 458	2 962	827	518	1 350	2 695
	8 h	554	190	1 094	1 838	511	172	1 019	1 702	462	151	928	1 541
	16 h	525	189	833	1 547	489	172	769	1 430	445	150	698	1 294
	24 h	524	189	725	1 438	488	171	667	1 326	444	150	599	1 194
Verão													
Norte	-	4	39	18	62	3	36	16	56	2	32	14	48
Sul	-	18	75	20	113	15	72	18	105	12	67	15	95
Este	-	15	70	26	110	12	66	23	102	10	61	21	92
Oeste	-	26	103	27	156	23	99	25	147	19	94	23	136

Orient.	Aquec.	Vsi			Tot.	Vse			Tot.	Vdi			Tot.	
		i	ii	iii		i	ii	iii		i	ii	iii		
Inverno														
Norte	0 h	6 600	3 210	3 293	13 103	6 610	3 215	3 295	13 121	5 718	2 705	3 034	11 458	
	2 h	2 301	1 265	1 632	5 198	2 307	1 271	1 634	5 213	1 561	830	1 384	3 775	
	4 h	1 131	657	1 219	3 008	1 134	659	1 221	3 014	737	412	1 044	2 193	
	8 h	756	281	834	1 871	758	282	834	1 873	543	180	723	1 445	
	16 h	740	280	655	1 675	741	281	656	1 677	540	179	584	1 304	
Sul	24 h	739	280	568	1 587	740	281	568	1 589	540	179	509	1 228	
	0 h	2 724	1 198	2 307	6 230	2 733	1 203	2 311	6 246	2 053	860	2 075	4 989	
	2 h	853	396	1 193	2 442	857	398	1 193	2 449	493	217	1 029	1 738	
	4 h	549	276	1 005	1 830	550	276	1 008	1 835	339	148	880	1 367	
	8 h	478	160	774	1 412	478	160	775	1 413	321	86	691	1 098	
Este	16 h	476	160	648	1 284	477	160	649	1 285	320	86	586	992	
	24 h	476	159	596	1 232	477	160	597	1 233	320	86	546	952	
	0 h	5 445	2 607	2 976	11 028	5 459	2 614	2 980	11 052	4 621	2 154	2 730	9 505	
	2 h	1 706	904	1 442	4 053	1 711	910	1 445	4 065	1 102	566	1 225	2 893	
	4 h	803	458	1 095	2 356	805	460	1 095	2 360	481	267	949	1 697	
Oeste	8 h	524	173	745	1 442	525	174	746	1 445	349	94	654	1 097	
	16 h	516	173	584	1 273	517	174	584	1 275	347	94	522	964	
	24 h	516	173	509	1 198	517	174	509	1 200	347	94	457	898	
	0 h	5 244	2 498	3 227	10 969	5 254	2 504	3 230	10 987	4 473	2 080	2 983	9 536	
	2 h	1 585	852	1 652	4 090	1 589	855	1 654	4 098	1 010	535	1 432	2 977	
Verão														
Norte	-	4	41	24	69	2	35	22	59	3	40	23	66	
	Sul	-	22	82	27	132	10	61	22	94	20	84	27	131
	Este	-	19	77	36	132	10	59	31	100	17	78	36	131
	Oeste	-	30	111	33	174	17	81	27	125	28	112	32	171

Orient.	Aquec.	B-P05e			Tot.	B-P07e			Tot.	B-P11e			Tot.
		i	ii	iii		i	ii	iii		i	ii	iii	
Inverno													
Norte	0 h	15 928	9 076	9 046	34 050	15 648	8 911	8 867	33 426	15 336	8 728	8 663	32 727
	2 h	9 565	6 136	6 760	22 461	9 181	5 919	6 499	21 599	8 751	5 670	6 199	20 621
	4 h	5 237	4 082	5 627	14 946	4 890	3 851	5 327	14 068	4 531	3 607	4 994	13 131
	8 h	2 788	1 692	4 297	8 777	2 646	1 558	4 022	8 225	2 491	1 423	3 717	7 631
	16 h	2 380	1 243	3 571	7 193	2 283	1 188	3 321	6 793	2 177	1 128	3 033	6 337
	24 h	2 378	1 240	3 220	6 838	2 282	1 185	2 975	6 442	2 175	1 125	2 706	6 007
Sul	0 h	11 856	6 756	7 985	26 597	11 493	6 553	7 718	25 764	11 076	6 326	7 411	24 812
	2 h	6 287	4 153	5 865	16 305	5 874	3 917	5 532	15 322	5 425	3 665	5 156	14 246
	4 h	3 338	2 553	4 975	10 866	3 076	2 360	4 643	10 078	2 800	2 158	4 271	9 228
	8 h	1 942	1 048	4 021	7 010	1 803	949	3 713	6 465	1 654	865	3 375	5 894
	16 h	1 717	884	3 459	6 060	1 611	830	3 164	5 604	1 493	770	2 844	5 106
	24 h	1 715	883	3 219	5 818	1 610	829	2 933	5 372	1 491	769	2 617	4 877
Este	0 h	15 513	8 848	8 956	33 317	15 214	8 673	8 748	32 635	14 874	8 475	8 506	31 855
	2 h	9 232	5 941	6 690	21 863	8 834	5 713	6 398	20 945	8 379	5 456	6 064	19 900
	4 h	4 973	3 912	5 570	14 455	4 628	3 678	5 248	13 555	4 263	3 427	4 881	12 572
	8 h	2 637	1 581	4 272	8 491	2 490	1 453	3 973	7 916	2 332	1 316	3 641	7 289
	16 h	2 247	1 171	3 556	6 974	2 146	1 115	3 279	6 540	2 034	1 052	2 980	6 067
	24 h	2 244	1 168	3 215	6 627	2 143	1 112	2 955	6 210	2 034	1 049	2 663	5 746
Oeste	0 h	14 984	8 525	9 137	32 646	14 680	8 351	8 921	31 952	14 341	8 154	8 672	31 168
	2 h	8 801	5 668	6 878	21 346	8 395	5 431	6 577	20 403	7 949	5 172	6 235	19 356
	4 h	4 628	3 674	5 767	14 070	4 286	3 452	5 440	13 179	3 919	3 206	5 072	12 197
	8 h	2 324	1 394	4 483	8 201	2 176	1 263	4 177	7 615	2 019	1 129	3 836	6 984
	16 h	1 939	990	3 758	6 687	1 837	932	3 476	6 246	1 724	869	3 163	5 756
	24 h	1 938	987	3 425	6 350	1 836	930	3 149	5 915	1 722	866	2 844	5 432
Verão													
Norte	-	16	153	52	221	14	148	45	207	12	143	39	194
Sul	-	33	211	55	300	31	206	50	287	27	201	45	273
Este	-	28	197	76	301	26	191	67	284	23	186	58	266
Oeste	-	45	253	62	360	41	246	56	343	38	240	50	327