



UNIVERSIDADE DE ÉVORA
Departamento de Engenharia Rural

Sistema de Construção com Cofragem Perdida em Poliestireno Expandido:
Avaliação da sua Adequação às Condições Climáticas de Portugal.

Dissertação de Mestrado, em Engenharia Civil, realizada por:

Tiago Manuel Rodrigues Galego

(Licenciado)

Sob a orientação de:

Professor Doutor José Júlio Correia da Silva

Évora, Abril de 2010

UNIVERSIDADE DE ÉVORA
Departamento de Engenharia Rural

Sistema de Construção com Cofragem Perdida em Poliestireno Expandido:

Avaliação da sua Adequação às Condições Climáticas de Portugal.

Dissertação de Mestrado, em Engenharia Civil, realizada por:

Tiago Manuel Rodrigues Galego

(Licenciado)

Sob a orientação de:

Professor Doutor José Júlio Correia da Silva

Dissertação apresentada na Universidade de Évora, para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Civil, na especialidade de Construção.

Évora, Abril de 2010

Sistema de Construção com Cofragem Perdida em Poliestireno Expandido:

Avaliação da sua Adequação às Condições Climáticas de Portugal.

Resumo

A presente dissertação de mestrado aborda o tema do sistema de construção com cofragens perdidas em poliestireno expandido e da avaliação da sua adequação às condições climáticas de Portugal.

Pretende averiguar-se o comportamento térmico de um edifício construído com cofragens modulares em EPS, de modo a verificar se a utilização deste sistema é compatível com o clima de Portugal. Para tal, irá proceder-se a uma análise comparativa entre um edifício construído com cofragens modulares em EPS e um edifício construído com paredes de alvenaria dupla com isolamento térmico na caixa-de-ar. Será aplicado o RCCTE em ambos os edifícios, em várias localidades de Portugal e comparar-se-ão os resultados obtidos.

Palavras-chave: cofragem modular, poliestireno expandido (EPS), inércia térmica, coeficiente de transmissão térmica, eficiência energética.

The construction system using expanded polystyrene single-use moulds:

An evaluation of their suitability for Portuguese climatic conditions.

Abstract

This master's degree dissertation examines the construction system using expanded polystyrene single-use moulds and evaluates their suitability for use in Portuguese climatic conditions.

It is intended to verify the thermal behaviour of a building built with modular formwork in EPS, so that we can check if the use of this system is compatible with the climate of Portugal. For such thing, we'll proceed to a comparative analysis between a building built with modular formwork in EPS and a building built with masonry double walls and thermal insulation in air box. It will be applied the RCCTE in both buildings, in several locals from Portugal, and the obtained results will be compared.

Key words: modular moulds, expanded polystyrene (moulded polystyrene foam), thermal inertia, coefficient of thermal transmission, energy efficiency.

Agradecimentos

Ao Professor Doutor José Júlio Correia da Silva, pelo facto de ter aceitado o desafio de ser o meu orientador, pelo imprescindível e valioso apoio em todas as fazes desta dissertação, bem como a disponibilidade total, os conselhos sensatos e as indicações do rumo a seguir, de forma a levar o presente trabalho a bom porto.

Um especial agradecimento aos meus Pais, pelo interesse e a possibilidade que me deram de chegar a este nível de formação, ao meu irmão André, sempre disponível a me ajudar e apoiar no que pode. À Dulce, pela paciência, pelo seu incansável apoio e incentivos constantes, assim como à família Serranito e amigos. Sem o seu apoio a realização deste trabalho não teria sido possível.

Ao José Carlos Moreira e à sua família, pela amizade e por me permitirem acompanhar e estudar a sua nova moradia em Berlim.

À Zucotec – Sociedade de Construção, Unipessoal, Lda., em especial ao director de obra Fernando Gomes, ao Engenheiro Bernd Hoseus e ao Engenheiro César Fernandes, pelo apoio e pela oportunidade de poder realizar o meu estágio em Berlim.

Ao Arquitecto Paulo Sousa e ao Sr. Balona, pela cedência de projecto e disponibilidade em ajudar.

À Argisol[®] Bausysteme BEWA GmbH, em especial à Exma. Sra. Simone Schuster, pela disponibilidade e informação fornecida.

Ao Exmo. Sr. Joaquim Maia, medidor orçamentista da Câmara Municipal de Évora, pela preciosa ajuda no estudo de viabilidade económica das cofragens modulares em EPS.

E a todos os que contribuíram de forma directa ou indirecta para a realização desta dissertação e por lapso não estão mencionados neste texto.

A TODOS, os meus sinceros agradecimentos.

Índice

1. Introdução	1
1.1 Enquadramento geral	1
1.2 Objectivo	1
1.3 Estrutura da dissertação	2
2. Eficiência energética na construção sustentável	5
3. Aplicação de cofragens modulares em EPS	11
3.1 Elementos de Cofragem	12
3.2 Utilização	13
3.3 Resistência mecânica e estabilidade	14
3.3.1 Padrão estrutural resultante	14
3.3.2 Eficiência de enchimento	14
3.3.3 Possibilidade de reforço de aço	14
3.4 Segurança em caso de incêndio	15
3.4.1 Comportamento geral do poliestireno expandido ao fogo	15
3.4.2 Reacção ao fogo	16
3.4.3 Resistência ao fogo	16
3.5 Higiene, saúde e meio ambiente	17
3.5.1 Impacto no meio ambiente	17
3.5.2 Libertação de substâncias perigosas	17
3.5.3 Permeabilidade ao vapor de água	17
3.6 Segurança de utilização	18
3.6.1 Resistência da união das placas de cofragem com núcleo de betão	18
3.6.2 Resistência à pressão de enchimento	18
3.6.3 Segurança contra danos pessoais por contacto	18
3.7 Protecção contra o ruído	18
3.7.1 Isolamento aos sons aéreo	18
3.7.2 Absorção sonora	19
3.8 Economia de energia e retenção de calor	19
3.8.1 Resistência térmica	19
3.8.2 Inércia térmica	19
3.8.2.1 Quantificação da inércia térmica segundo o RCCTE	22
3.9 Aspectos da durabilidade e facilidade de manutenção	24
3.9.1 Resistência à deterioração	24
3.9.1.1 Agentes físicos	24

3.9.1.2 Agentes químicos.....	24
3.9.1.3 Agentes biológicos.....	25
3.9.2 Resistência a danos normais de uso	25
3.9.2.1 Incorporação de condutas	25
3.9.2.2 Fixação de objectos.....	26
4. Metodologia do caso em estudo e aplicação do RCCTE.....	27
4.1 Metodologia	27
4.2 Descrição do edifício em estudo.	32
4.2.1 Acabamentos.....	33
4.2.2 Sistemas de aquecimento e de arrefecimento do edifício de habitação	33
4.3 Aplicação do RCCTE – Decreto-lei n.º80/2006	34
4.3.1 Caracterização geométrica	34
4.3.1.1 Área útil e pé direito	34
4.3.1.2 Envolvente do edifício de habitação.....	34
4.3.2 Coeficientes de transmissão térmica superficial	34
4.3.2.1 Pavimento sobre área não útil	34
4.3.2.2 Paredes exteriores	35
4.3.2.3 Cobertura.....	35
4.3.2.4 Vãos envidraçados	35
4.3.3 Coeficiente de transmissão térmica linear	36
4.3.3.1 Pavimento em contacto com o solo	37
4.3.3.2 Fachada com pavimento	37
4.3.3.3 Fachadas com cobertura, varanda e peitoril / padieira.....	37
4.3.3.4 Ligação entre duas paredes verticais.....	38
4.3.4 Coeficiente de redução das perdas térmicas para locais não-aquecidos (τ).....	38
4.3.5 Factor de Forma – FF.....	39
4.3.6 Taxa de renovação horária nominal.....	39
4.3.7 Ganhos e perdas solares	39
4.3.7.1 Factor solar do vão envidraçado – g_{\perp}	42
4.3.7.1.1 Estação de aquecimento.....	42
4.3.7.1.2 Estação de arrefecimento	42
4.3.7.2 Factor de obstrução – F_s	42
4.3.7.2.1 Estação de aquecimento	43
4.3.7.2.2 Estação de arrefecimento	43
4.3.7.3 Factor de correcção de selectividade angular dos envidraçados – F_w	44
4.3.7.3.1 Estação de aquecimento.....	44

4.3.7.3.2 Estação de arrefecimento	44
4.3.7.4 Fracção envidraçada – Fg	44
5. Análise comparativa entre um edifício construído com cofragens modulares em EPS e um edifício construído com paredes de alvenaria dupla.....	45
5.1 Portugal Continental	45
5.2 Região Autónoma dos Açores	54
5.3 Região Autónoma da Madeira	59
5.4 Factores que influenciam o desempenho de um edifício construído com cofragens modulares em EPS: inércia térmica, coeficiente de transmissão térmica superficial e linear	64
5.5 Análise económica das cofragens modulares em EPS face as paredes de alvenaria dupla.....	67
6. Conclusões	79
7. Bibliografia	83
ANEXOS	87
Anexo I – Instalação das cofragens modulares em EPS	89
I.1 Geral	89
I.2 Instalação dos elementos de cofragem	90
I.2.1 Base e laje fundação	90
I.2.2 Ligações de armadura.....	91
I.2.3 Marcação das Paredes.....	92
I.2.4 Altura do edifício.....	92
I.2.5 Colocação da primeira fiada	95
I.2.6 Corte de elementos	95
I.2.7 Dimensão do módulo.....	96
I.2.8 Fecho de paredes	97
I.2.9 Colocação dos elementos.....	97
I.2.10 Juntas e ligações entre elementos	97
I.2.11 Anexar janelas	98
I.2.12 Lintéis de portas e janelas.....	100
I.2.13 Caixas de estore	104
I.2.14 Escoramento da cofragem	106
I.2.15 Como betonar	108
I.2.16 Compactação do betão.....	110
I.2.17 Trabalhos finais	111
I.2.18 Elemento de fecho de laje.....	112
I.2.19 Remover os apoios de alinhamento	113

I.2.20 Espessura da laje.....	113
I.2.21 Ressaltos na parede.....	115
I.2.22 Camada de separação.....	115
I.2.23 Empena	116
I.2.24 Instalação de tubagens	117
I.2.25 Conexão das paredes interiores	118
I.2.26 Elementos de cantos redondos.....	121
I.2.27 Ângulos de 45°	122
I.2.28 Paredes redondas	123
I.2.29 Abertura de arcos.....	125
I.2.30 Paredes exteriores da cave.....	127
I.2.31 Colocação de armadura nas paredes.....	129
I.2.32 Armadura perimetral.....	131
I.2.33 Obras de Inverno	132
I.2.34 Piscina.....	133
I.2.35 Barreiras de vapor.....	134
I.2.36 Danos	134
I.2.37 Reboco	134
I.3 Cuidados a ter na betonagem.....	135
I.4 Fixação de objectos	136
Anexo II – Acessórios.....	139
II.1 Cunhas para paredes redondas	139
II.2 Elementos de fecho de laje.....	139
II.3 Placas simples; elemento de compensação de altura; fechos de paredes.....	139
Anexo III – Quadros com resultados obtidos da aplicação do RCCTE.....	141
Anexo IV – Quadros retirados do RCCTE	143
Anexo V – Figuras dos elementos de cofragem	145
Anexo VI – Folhas de cálculo do RCCTE.....	151
Anexo VII – Folhas de cálculo de orçamentação	183
Anexo V – Projecto de arquitectura do edifício.....	197

Índice de Figuras

Capítulo 2

Fig. 2.1 – Documentos que enquadram o SCE (VILHENA, 2008)..... 7

Fig. 2.2 – Exemplo de atribuição energética (VILHENA, 2008). 7

Capítulo 3

Fig. 3.1 – Massa da parede em contacto directo com o ambiente interior e protegida do ambiente exterior (adaptado de PIEDADE *et. al.*, 2003) 21

Fig. 3.2 – Massa da parede separada do ambiente interior por revestimento de isolamento térmico (adaptado de PIEDADE *et. al.*, 2003). 21

Capítulo 4

Fig. 4.1 – Execução de cofragem em XPS de laje de fundação (ARGISOL, 2010)..... 28

Fig. 4.2 – Colocação de armadura na laje de fundação (ARGISOL, 2010). 28

Fig. 4.3 – Laje de fundação betonada (ARGISOL, 2010). 28

Fig. 4.4 – Cofragem de laje com cofragem em EPS reforçado interiormente por barras de aço, 1 (ARGISOL, 2010). 29

Fig. 4.5 – Cofragem de laje com cofragem em EPS reforçado interiormente por barras de aço, 2 (ARGISOL, 2010). 30

Fig. 4.6 – Laje com cofragem em EPS parcialmente betonada (ARGISOL, 2010). 30

Capítulo 5

Fig. 5.1 – Planta do módulo em paredes de alvenaria dupla..... 70

Fig. 5.2 – Vista de frente do módulo em paredes de alvenaria dupla. 70

Fig. 5.3 – Vista lateral direita do módulo em paredes de alvenaria dupla. 71

Fig. 5.4 – Corte C do módulo em paredes de alvenaria dupla. 71

Fig. 5.5 – Planta do módulo em cofragens modulares em EPS. 72

Fig. 5.6 – Vista de Frente do módulo em cofragens modulares em EPS..... 73

Fig. 5.7 – Vista lateral direita do módulo em cofragens modulares em EPS. 73

Fig. 5.8 – Corte A do módulo em cofragens modulares em EPS. 74

Anexo I

Fig. I.1 – Construção de um edifício de habitação com cofragens modulares em EPS, Berlim. 90

Fig. I.2 – Impermeabilização na zona de construção de parede (ARGISOL, 2010). 90

Fig. I.3 – Primeiras fiadas de parede sobre laje de fundação (ARGISOL, 2010)..... 91

Fig. I.4 – Ferro de arranque para a ligação entre laje de fundação e parede (ARGISOL, 2010). 91

Fig. I.5 – Marcação do ferro de arranque (ARGISOL, 2010).....	92
Fig. I.6 – Marcação das paredes (ARGISOL, 2010).....	92
Fig. I.7 – Parede com altura que permite a colocação directa dos elementos (adaptado de ARGISOL, 2010).	93
Fig. I.8 – Parede com elementos de compensação de altura nas últimas fiadas (adaptado de ARGISOL, 2010).	94
Fig. I.9 – Colocação da primeira fiada (ARGISOL, 2010).....	95
Fig. I.10 – Impermeabilização na zona das paredes (ARGISOL, 2010).	95
Fig. I.11 – Corte de um elemento com serra de mão (ARGISOL, 2010).	96
Fig. I.12 – Elementos intercalados com visualização das ranhuras (ARGISOL, 2010)...	96
Fig. I.13 – Elementos intercalados com corte no elemento superior (ARGISOL, 2010)..	96
Fig. I.14 – Paredes com fechos nas extremidades e vãos (ARGISOL, 2010).	97
Fig. I.15 – Colocação de elementos (ARGISOL, 2010).	97
Fig. I.16 – Exemplo de má colocação das juntas de corte (ARGISOL, 2010).	98
Fig. I.17 – Corte parcial do fecho de parede para colocação de caixilharia (ARGISOL, 2010).	99
Fig. I.18 – Colocação da caixilharia directamente sobre o fecho de parede (ARGISOL, 2010).	99
Fig. I.19 – Caixilharia instalada directamente sobre o fecho de parede.	100
Fig. I.20 – Elemento de lintel visualização da zona de encaixe (macho) tipo malhete em cauda de andorinha (ARGISOL, 2010).	100
Fig. I.21 – Demonstração de encaixe entre dois elementos de lintéis (ARGISOL, 2010).	101
Fig. I.22 – Escoramento de elemento de lintel com viga de madeira e escoras metálicas extensíveis (ARGISOL, 2010).....	102
Fig. I.23 – Colocação de armadura no elemento de lintel (ARGISOL, 2010).	102
Fig. I.24 – Base de um elemento de lintel já betonado colocado num vão.....	102
Fig. I.25 – Escoramentos com barrotes de madeira e com elementos de cofragens correntes (ARGISOL, 2010).	103
Fig. I.26 – Secção de cálculo estrutural (ARGISOL, 2010).	103
Fig. I.27 – Exemplo de como aumentar um vão (adaptado de ARGISOL, 2010).....	104
Fig. I.28 – Exemplo de caixas de estores (ARGISOL, 2010).....	105
Fig. I.29 – Colocação de caixilharia com caixa de estore integrada (ARGISOL, 2010). ..	105
Fig. I.30 – Caixilharia com caixa de estore integrada colocada em obra.	106
Fig. I.31 – Escoramento de parede semi-levantada (ARGISOL, 2010).	106
Fig. I.32 – Escoramento de parede completa (ARGISOL, 2010).....	107
Fig. I.33 – Espirais de ancoramento (ARGISOL, 2010).....	107
Fig. I.34 – Pormenor do escoramento com a visualização dos parafusos de fixação (ARGISOL, 2010).....	108
Fig. I.35 – Betão no interior da cofragem (ARGISOL, 2010).....	108
Fig. I.36 – Resguardo de protecção dos botões exteriores da cofragem durante a betonagem (ARGISOL, 2010).	109

Fig. I.37 – Betonagem com grua e respectivo balde (ARGISOL, 2010).....	109
Fig. I.38 – Betonagem com bomba (ARGISOL, 2010).....	110
Fig. I.39 – Colocação de betão e a sua tendência de “auto-compactação” (adaptado de ARGISOL, 2010).....	111
Fig. I.40 – Figura exemplificativa de verificação de aprumo (ARGISOL, 2010).....	112
Fig. I.41 – Elementos de fecho de laje (ARGISOL, 2010).....	112
Fig. I.42 – Elemento de fecho de laje em placas de isolamento simples com apoio de fixação em madeira (ARGISOL, 2010).....	113
Fig. I.43 – Parede e laje sem necessidade de camada de compensação (ARGISOL, 2010).....	114
Fig. I.44 – Parede e laje com camada de compensação na face interior da parede (ARGISOL, 2010).....	114
Fig. I.45 – Parede e laje com elemento de compensação no fecho de laje (ARGISOL, 2010).....	114
Fig. I.46 – Ressalto na parede com madeira de suporte (ARGISOL, 2010).....	115
Fig. I.47 – Isolamento acústico na base da parede (ARGISOL, 2010).....	116
Fig. I.48 – Exemplo da colocação de elementos de empena (ARGISOL, 2010).....	116
Fig. I.49 – Exemplos de empenas (ARGISOL, 2010).....	117
Fig. I.50 – Colocação de tubagem de electricidade (ARGISOL, 2010).....	117
Fig. I.51 – Colocação de elemento de fecho, na face interior do elemento, para criar uma ranhura, sem interrupção do núcleo de betão (ARGISOL, 2010).....	118
Fig. I.52 – Poço de tubagem no interior do núcleo de betão do elemento de cofragem (ARGISOL, 2010).....	118
Fig. I.53 – Conexão de parede estrutural exterior com interior (ARGISOL, 2010).....	119
Fig. I.54 – Corte de duas saliências e colocação de chapa perfurada na face interior do elemento de cofragem (ARGISOL, 2010).....	119
Fig. I.55 – Desdobramento da chapa perfurada e integração da parede não estrutural (ARGISOL, 2010).....	120
Fig. I.56 – Vista em planta da ligação com parede não estrutural com remoção de isolamento térmico (ARGISOL, 2010).....	120
Fig. I.57 – Ligação com parede não estrutural, com remoção de isolamento térmico (ARGISOL, 2010).....	121
Fig. I.58 – Parede com canto redondo (ARGISOL, 2010).....	121
Fig. I.59 – Elementos redondos cortados para ângulos diferentes de 90°, pelas marcas de graduação (ARGISOL, 2010).....	122
Fig. I.60 – Canto de parede com elementos de canto redondos cortados (ARGISOL, 2010).....	122
Fig. I.61 – Canto de parede com elementos de canto de 45° (ARGISOL, 2010).....	123
Fig. I.62 – Planta de uma parede redonda com elementos para paredes redondas com dobradiças (adaptado de ARGISOL, 2010).....	123
Fig. I.63 – Colocação de elementos para paredes redondas com dobradiças (ARGISOL, 2010).....	124

Fig. I.64 – Colocação das cunhas nas aberturas interiores entre os elementos para paredes redondas com dobradiças (ARGISOL, 2010).....	124
Fig. I.65 – Exemplo de ligação dos elementos para paredes redondas com dobradiças com os elementos correntes (ARGISOL, 2010).....	125
Fig. I.66 – Colocação de placa em fibra de madeira na ranhura do arco (ARGISOL, 2010).....	126
Fig. I.67 – Placa em fibra de madeira colocada na ranhura e devidamente fixa no sítio (ARGISOL, 2010).....	126
Fig. I.68 – Conjunto de arco, previamente montado, colocado na parede e escorado (ARGISOL, 2010).....	126
Fig. I.69 – Arco concluído (ARGISOL, 2010).....	127
Fig. I.70 – Parede exterior duma cave, com metade da parede abaixo do nível do terreno (ARGISOL, 2010).....	127
Fig. I.71 – Sistema de drenagem de parede de cave (adaptado de ARGISOL, 2010).....	128
Fig. I.72 – Parede exterior de uma cave totalmente abaixo do nível do terreno (ARGISOL, 2010).....	129
Fig. I.73 – Primeiras fiadas duma parede de cave (ARGISOL, 2010).....	129
Fig. I.74 – Armadura longitudinal, colocada na ranhura dos espaçadores em aço (ARGISOL, 2010).....	130
Fig. I.75 – Armadura vertical cruzada, entre a armadura longitudinal previamente colocada nas ranhuras dos espaçadores em aço (ARGISOL, 2010).....	130
Fig. I.76 – Parede com armadura (ARGISOL, 2010).....	131
Fig. I.77 – Armadura perimetral (corte vertical) (ARGISOL, 2010).....	131
Fig. I.78 – Armadura perimetral.....	132
Fig. I.79 – Construção de Inverno com neve (ARGISOL, 2010).....	133
Fig. I.80 – Piscina (ARGISOL, 2010).....	133
Fig. I.81 – Pormenor de acabamento de piscina com tela (ARGISOL, 2010).....	134
Fig. I.82 – Execução de recobrimento exterior com tela/rede de vidro (ARGISOL, 2010).....	135

Anexo V

Fig. V.1 – Elemento corrente (ARGISOL, 2010).....	145
Fig. V.2 – Elemento de canto direito (ARGISOL, 2010).....	145
Fig. V.3 – Elemento de canto esquerdo (ARGISOL, 2010).....	145
Fig. V.4 – Elemento de canto com ângulo de 45° direito (ARGISOL, 2010).....	145
Fig. V.5 – Elemento de canto com ângulo de 45° esquerdo (ARGISOL, 2010).....	145
Fig. V.6 – Elemento de canto redondo direito (ARGISOL, 2010).....	145
Fig. V.7 – Elemento de canto redondo esquerdo (ARGISOL, 2010).....	145
Fig. V.8 – Elemento de lintel (ARGISOL, 2010).....	145
Fig. V.9 – Elemento de fecho de laje (ARGISOL, 2010).....	145
Fig. V.10 – Elemento de fecho de laje com apoio de madeira (ARGISOL, 2010).....	146
Fig. V.11 – Elemento de compensação de diferença de altura (ARGISOL, 2010).....	146

Fig. V.12 – Elemento de fecho de parede (ARGISOL, 2010).....	146
Fig. V.13 – Elemento redondo com dobradiça e cunha (ARGISOL, 2010).....	146
Fig. V.14 – Placa simples exterior (ARGISOL, 2010).....	146
Fig. V.15 – Placa simples interior (ARGISOL, 2010).....	146
Fig. V.16 – Elemento em T curto (ARGISOL, 2010).....	146
Fig. V.17 – Elemento em T comprido (ARGISOL, 2010).....	146
Fig. V.18 – Elemento de empena direito (ARGISOL, 2010).....	146
Fig. V.19 – Elemento de empena esquerdo (ARGISOL, 2010).....	146
Fig. V.20 – Dimensões de elemento de cofragem modular corrente (ARGISOL, 2010).....	147
Fig. V.21 – Elementos de elemento, para paredes redondas com dobradiças e cunhas (ARGISOL, 2010).....	147
Fig. V.22 – Dimensões de elemento de fecho de laje (ARGISOL, 2010).....	148
Fig. V.23 – Dimensões de elemento de fecho de laje, em placas simples de bordadura com fixação de madeira (ARGISOL, 2010).....	148
Fig. V.24 – Dimensões de placa simples exterior (ARGISOL, 2010).....	149
Fig. V.25 – Dimensões de placa simples interior (ARGISOL, 2010).....	149
Fig. V.26 – Dimensões de elemento de fecho de parede (ARGISOL, 2010).....	150
Fig. V.27 – Dimensões de elemento de compensação de altura (ARGISOL, 2010).....	150

Índice de Quadros

Capítulo 3

Quadro 3. 1 – Classes de inércia térmica interior.	22
---	----

Capítulo 4

Quadro 4. 1 – Áreas e valores de coeficiente de transmissão térmica, para cada elemento da envolvente.	36
Quadro 4. 2 – Comprimentos e valores dos coeficientes de transmissão térmica linear. ...	38
Quadro 4. 3 – Dados específicos de cada localidade em estudo.	41
Quadro 4. 4 – Valores para o cálculo do factor de obstrução.	44

Capítulo 5

Quadro 5. 1 – Comparação de graus dias e duração da estação de aquecimento, entre Cascais, Aveiro, Faro e Santa Comba Dão.	47
Quadro 5. 2 – Resultados obtidos pela alteração dos valores de inércia térmica, coeficiente de transmissão térmica superficial e linear nas folhas de cálculo do RCCTE para a localidade de Évora.	65
Quadro 5. 3 – Diferença entre os resultados de referência e os obtidos pela alteração dos valores de inércia térmica, coeficiente de transmissão térmica superficial e linear para a localidade de Évora.	66
Quadro 5. 4 – Conversão das reduções de energia das cofragens modulares em EPS em €/ano.	68
Quadro 5. 5 – Custo de módulo em parede dupla de alvenaria.	75
Quadro 5. 6 – Custo de módulo em cofragens modulares em EPS.	75

Anexo III

Quadro III. 1 – Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (Nic), para arrefecimento (Nvc) e necessidades globais de energia primária (Ntc) para os locais considerados de Portugal Continental.	141
Quadro III. 2 – Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (Nic) e arrefecimento (Nvc), e necessidades globais de energia primária (Ntc), para diversas altitudes da Região Autónoma dos Açores.	142
Quadro III. 3 – Necessidades nominais anuais de energia para aquecimento (Nic) e arrefecimento (Nvc) e necessidades globais de energia primária (Ntc), para cada altitude em estudo da Região Autónoma da Madeira.	142

Anexo IV

Quadro IV. 1 – Valores máximos da massa superficial útil (Msi), em função da localização dos elementos de construção no edifício.	143
Quadro IV. 2 – Influência dos revestimentos superficiais interiores, na massa superficial útil.	144

Índice de Gráficos

Capítulo 5

Gráfico 5.1 – Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento de um edifício construído com cofragens modulares em EPS e de um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, Portugal Continental.....	48
Gráfico 5.2 – Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento de um edifício construído com cofragens modulares em EPS e de um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, Portugal Continental.....	49
Gráfico 5.3 – Diferença das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (ΔN_{ic}) e para arrefecimento (ΔN_{vc}) de um edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente a um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, Portugal Continental.....	51
Gráfico 5.4 – Necessidades nominais anuais de energia útil para climatização ($\Delta N_{ic} + \Delta N_{vc}$) de um edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente a um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, Portugal Continental.....	53
Gráfico 5.5 – Necessidades globais de energia primária de um edifício construído com cofragens modulares em EPS e de um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, Portugal Continental.	53
Gráfico 5.6 – Diferença entre as necessidades globais de energia primária (ΔN_{tc}) de um edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente a um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, Portugal Continental.	54
Gráfico 5.7 - Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento de um edifício construído com cofragens modulares em EPS e de um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, Região Autónoma dos Açores.	55
Gráfico 5.8 – Necessidades nominais anuais de energia para arrefecimento de um edifício construído com cofragens modulares em EPS e de um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, Região Autónoma dos Açores.	56
Gráfico 5.9 – Diferença das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (ΔN_{ic}) e para arrefecimento (ΔN_{vc}) de um edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente a um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, Região Autónoma dos Açores.	57
Gráfico 5.10 – Necessidades nominais anuais de energia útil para climatização ($\Delta N_{ic} + \Delta N_{vc}$) de um edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente a um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, Região Autónoma dos Açores..	57
Gráfico 5.11 – Necessidades globais de energia primária de um edifício construído com cofragens modulares em EPS e de um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, Região Autónoma dos Açores.	58
Gráfico 5.12 – Diferença entre as necessidades globais de energia primária (ΔN_{tc}) de um edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente a um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, Região Autónoma dos Açores.	59

Gráfico 5.13 – Necessidades nominais anuais de energia para aquecimento de um edifício construído com cofragens modulares em EPS e um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, Região Autónoma da Madeira.....	60
Gráfico 5.14 – Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento de um edifício construído com cofragens modulares em EPS e de um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, Região Autónoma da Madeira.....	61
Gráfico 5.15 – Diferença das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (ΔN_{ic}) e para arrefecimento (ΔN_{vc}) de um edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente a um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, Região Autónoma da Madeira.....	62
Gráfico 5.16 – Necessidades nominais anuais de energia útil para climatização ($\Delta N_{ic} + \Delta N_{vc}$) de um edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente a um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, Região Autónoma da Madeira..	63
Gráfico 5.17 – Necessidades globais de energia primária de um edifício construído com cofragens modulares em EPS e de um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, Região Autónoma da Madeira.	63
Gráfico 5.18 – Diferença entre as necessidades globais de energia primária (ΔN_{tc}) de um edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente a um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, Região Autónoma da Madeira.	64

Símbolo	Designação	Unidade
A_i	Área do elemento que separa o espaço útil interior do espaço não útil.	m^2
A_u	Área que separa o espaço não útil do ambiente exterior adjacente.	m^2
A_p	Área útil de pavimento.	m^2
G_{sul}	Energia solar média mensal incidente numa superfície vertical, orientada a sul na estação de aquecimento.	$kWh/m^2.mês$
I_t	Massa superficial útil por unidade de área útil de pavimento (inércia térmica)	kg/m^2
m_i	Massa do elemento situada do lado interior do isolamento térmico.	kg/m^2
M_{si}	Massa superficial útil do elemento.	kg/m^2
m_t	Massa total do elemento.	kg/m^2
Na	Necessidades nominais anuais para produção de águas quentes sanitárias máximas.	$kWh/m^2.ano$
Nac	Necessidades nominais anuais para produção de águas quentes sanitárias.	$kWh/m^2.ano$
Ni	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento máximas.	$kWh/m^2.ano$
Nic	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento.	$kWh/m^2.ano$
Nt	Necessidades globais de energia primária máximas.	$kgep/m^2.ano$
Ntc	Necessidades globais de energia primária.	$kgep/m^2.ano$
Nv	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento máximas.	$kWh/m^2.ano$
Nvc	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento.	$kWh/m^2.ano$
H	Eficiência nominal.	-
η_a	Eficiência de conversão.	-
θ_{atm}	Temperatura média do ar exterior.	$^{\circ}C$
θ_e	Temperatura exterior.	$^{\circ}C$

θ_i	Temperatura interior.	$^{\circ}\text{C}$
R	Resistência térmica.	$\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$
R	Factor de redução.	-
r_i	Factor de correcção	-
R_w	Índice de redução sonora.	dB
S_i	Área da superfície interna do elemento.	m^2
T	Coeficiente de redução das perdas térmicas, para locais não aquecidos.	-
U	Coeficiente de transmissão térmica superficial.	$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$
μ	Difusão de vapor de água.	-
V	Volume interior da fracção autónoma.	m^3
λ_{DI}	Condutibilidade térmica.	$\text{W}/\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}$
Ψ	Coeficiente de transmissão térmica linear.	$\text{W}/\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}$

Abreviatura Denominação

ACEPE	Associação Industrial do Poliestireno Expandido.
ADENE	Agência para a Energia.
ATE / ETA	Aprovação Técnica Europeia / European Technical Approval.
CE	Conformidade Europeia (marcação CE).
CFC	Clorofluorcarboneto - Entre as principais aplicações destacam-se o emprego como solvente orgânico, gás para refrigeração e propelente em extintores de incêndio e em produtos em aerossol.
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik (Instituto Alemão para a Tecnologia da Construção).
EOTA	Organização Europeia de Aprovação Técnica (European Organisation for Technical Approvals).
EPS	Poliestireno Expandido Moldado.
ETAG	Guia de Aprovação Técnica Europeia (European Technology Assessment Group).
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
PUR	Espuma Rígida de Poliuretano.
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios.
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização nos Edifícios.
UE / EU	União Europeia / European Union.
SCE	Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios.
XPS	Poliestireno Expandido Extrudido.

1. Introdução

1.1 Enquadramento geral

Actualmente existem vários sistemas de construção com cofragens perdidas, no entanto, verificou-se que na Europa Central se está a aplicar um sistema inovador com cofragens perdidas em poliestireno expandido, pelo que se optou por averiguar se este sistema se adequa às condições climáticas de Portugal.

1.2 Objectivo

Este trabalho tem o objectivo de estudar a possível aplicação em Portugal deste sistema construtivo. De modo a comprovar a veracidade da possível contribuição das cofragens modulares em EPS para a melhoria da eficiência energética dos edifícios em Portugal, a metodologia aplicada neste trabalho passa por utilizar o SCE com a aplicação do RCCTE a dois edifícios de habitação.

Os edifícios são idênticos mas um é construído com cofragens modulares em EPS e o outro é construído com parede de alvenaria dupla com caixa-de-ar totalmente preenchida com isolamento térmico. O edifício construído com paredes de alvenaria dupla vai ser o objecto de comparação, de modo a permitir uma análise comparativa com o edifício construído com cofragens modulares em EPS e visualizar os aumentos e reduções de consumo de energia por parte deste.

Para se poder abranger a totalidade de Portugal, foram escolhidas várias localidades que permitissem fazer todas as combinações possíveis entre zonas climáticas de Inverno e de Verão definidas no RCCTE para Portugal continental e para os arquipélagos da Madeira e dos Açores. Assim, é possível verificar os consumos de energia para todas as zonas climáticas de Portugal e as reduções ou aumentos destes por parte de um edifício construído com cofragens modulares em EPS em comparação com um edifício construído com paredes de alvenaria dupla.

1.3 Estrutura da dissertação

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos que, para além da Introdução, são:

- **Capítulo 1** - Introdução
- **Capítulo 2 – Eficiência energética na construção sustentável:** Enquadramento da importância da eficiência energética na construção sustentável.
- **Capítulo 3 – Aplicação de cofragens modulares em EPS:** Descrição dos vários elementos que compõem o “kit” de cofragens modulares em EPS, isto é, os elementos correntes e as várias peças acessórias. Assim como, da utilização prevista destas, características e verificação da conformidade das cofragens modulares em EPS segundo a documentação de homologação para atribuição da marcação CE, que se podem dividir em cinco categorias. São estas: *resistência mecânica e estabilidade; segurança em caso de incêndio; higiene, saúde e meio ambiente; segurança de utilização;* e por último, *protecção contra o ruído.*
- **Capítulo 4 – Metodologia do caso em estudo e aplicação do RCCTE:** Aplicação do RCCTE a dois edifícios de habitação idênticos mas um construído com cofragens modular em EPS e outro com paredes de alvenaria dupla, em várias localidades de Portugal Continental e Arquipélagos de modo a abranger todas as combinações possíveis de zonas climáticas definidas no RCCTE.
- **Capítulo 5 – Análise comparativa entre um edifício construído com cofragens modulares e um edifício construído com paredes de alvenaria dupla:** Serão apresentadas neste capítulo, através de quadros e gráficos, as reduções e possíveis aumentos de energia necessária para aquecimento e arrefecimento, assim como, os gastos de energia primárias de um edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente a um edifício construído com paredes de alvenaria dupla. Neste capítulo também é feita uma análise económica entre os dois edifícios e consequente verificação da viabilidade económica do uso das cofragens modulares em EPS em Portugal. Para tal, são criados dois módulos: um construído com cofragens modulares em EPS e outro tradicionalmente com pilares, vigas e panos de alvenaria dupla. No final, será comparado o custo de construção de cada módulo, juntamente com os valores monetários resultantes das reduções das necessidades nominais anuais de energia útil para climatização, por parte do

edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente ao edifício construído com paredes de alvenaria dupla, resultantes da aplicação do RCCTE.

Para complementar esta dissertação também é apresentado em **Anexo**:

- **Anexo I – Instalação das cofragens modulares em EPS:** Instruções de instalação e cuidados a ter durante a instalação das cofragens modulares em EPS segundo documentação da Argisol[®] (2010).

2. Eficiência energética na construção sustentável

A procura da melhoria da eficiência na construção, tem levado ao surgimento, cada vez mais frequente, de novos produtos e técnicas. Nos finais dos anos 70, esta procura de eficiência estava basicamente associada à industrialização da construção, numa tentativa de se encontrar soluções construtivas que permitissem uma maior rapidez de execução e uma redução de custos.

Actualmente, com a sensibilização para os problemas ambientais como, por exemplo, o aquecimento global, que é o grande problema ambiental da actualidade, surge a necessidade de tornar as construções mais sustentáveis (BRUNDTLAND, 1987).

Surge, assim, o conceito de Construção Sustentável. A definição mais aceite foi a apresentada em 1994 por Charles J. Kibert:

“Criação e gestão responsável de um ambiente construído saudável, tendo em consideração os princípios ecológicos (para evitar danos ambientais) e a utilização eficiente dos recursos”.

(KIBERT, 1994)

A construção sustentável tem em conta todo o ciclo de vida da edificação e considera que os recursos da construção são, para além da energia já mencionada, os materiais, o solo e a água. A partir destes recursos, Kibert estabeleceu os sete princípios básicos da construção sustentável:

1. Reduzir o consumo de recursos;
2. Reutilizar os recursos sempre que possível;
3. Reciclar materiais em fim de vida do edifício e usar recursos recicláveis;
4. Proteger os sistemas naturais e a sua função em todas as actividades;
5. Eliminar os materiais tóxicos e os subprodutos em todas as fases do ciclo de vida;
6. Qualidade;
7. Economia.

Um dos aspectos a ter em consideração é a eficiência energética da edificação. Cerca de 40% do consumo final de energia na União Europeia (UE) é relativo aos edifícios, sendo que o consumo de edifícios domésticos representa 63% desse valor (UE, 2004). Segundo PINHEIRO (2006), estes 40% do consumo final de energia representam cerca de 35% de todas as emissões de gases com efeito de estufa na UE. Este consumo de energia tem vindo a aumentar gradualmente nos últimos 20 anos, segundo informação da Agência para a Energia (ADENE, 2010).

A construção sustentável pretende permitir a integração do homem com a natureza, utilizando os recursos naturais de forma sustentável, com o intuito de preservar o ambiente e de procurar soluções plausíveis para esta integração (homem/natureza).

No entanto, a construção sustentável difere de outros conceitos como, por exemplo, a construção “verde”, por ser um produto da moderna sociedade tecnológica recorrendo ou não a materiais naturais e/ou produtos provenientes da reciclagem de resíduos, focando a importância de uma abordagem holística, integrada e prática numa perspectiva interdisciplinar, como forma efectiva de concretizar esses princípios (PINHEIRO, 2006).

A construção sustentável não é mais um rótulo obrigatório inventado numa altura em que o ambiente está em voga, mas sim um exercício prático que alia a necessidade da construção às soluções para o aumento da eficiência energética, entre outros.

Em Portugal, assim como no resto dos países da União Europeia, este conceito já é uma realidade, ou seja, já não é um conceito no papel, mas todo um conjunto de possibilidades já disponíveis no mercado, direccionadas para a questão da poupança de energia. E não é só a energia que está em causa quando falamos de construção sustentável é, também, como já foi mencionado, todo o aproveitamento que fazemos dos recursos naturais ligados directa ou indirectamente ao processo da construção, dos quais a utilização eficiente da água é um bom exemplo.

De modo a contrariar o aumento do consumo de energia no sector da habitação, Portugal implementou uma iniciativa pública: “Eficiência Energética nos Edifícios”, que pretende rever os anteriores regulamentos de construção relacionados com a energia em edifícios e transpor para a legislação nacional a Directiva Comunitária 2002/91/CE¹ relativa ao desempenho energético dos edifícios.

Esta directiva apresenta um novo paradigma na abordagem da questão energética na construção, impondo directrizes e formas de avaliação e de comparação de desempenho, estabelecendo para tal, logo no seu preâmbulo, que os Estados Membros devem criar um sistema de certificação energética quer em edifícios de habitação ou de serviço quer em edifícios públicos ou frequentemente visitados pelo público. A transposição para o direito nacional da directiva deu origem à criação do Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE).

¹ Directiva n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro – Jornal Oficial das Comunidades Europeias (JOCEL), L1, 2003-01-04

O SCE é regulamentado pelo Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril e complementado por dois outros regulamentos: o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) – Decreto-Lei n.º 80/2006 e o Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização nos Edifícios (RSECE) – Decreto-Lei n.º 79/2006 que impõem requisitos e directivas na forma de construir (**Fig. 2.1**).

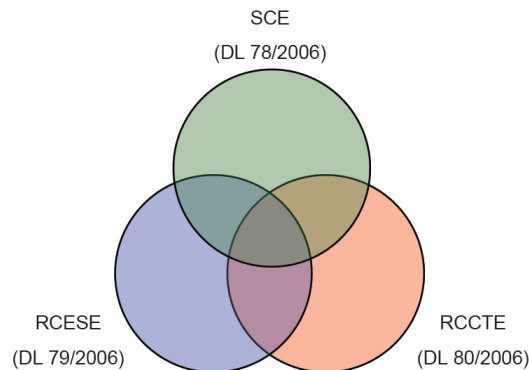


Fig. 2.1 – Documentos que enquadram o SCE (VILHENA, 2008).

O processo de certificação implementado pretende a verificação da conformidade regulamentar de um edifício ou fracções de um edifício, atribuindo um Certificado Energético e de Qualidade do Ar Interior no final deste processo. O Certificado consiste na atribuição de uma determinada classe energética (**Fig. 2.2**) em função do desempenho energético calculado, numa escala de 7+2 classes. Esta classificação pode variar entre A+ (melhor desempenho) a G (pior desempenho), semelhante à classificação energética dos electrodomésticos (Vilhena, 2008).

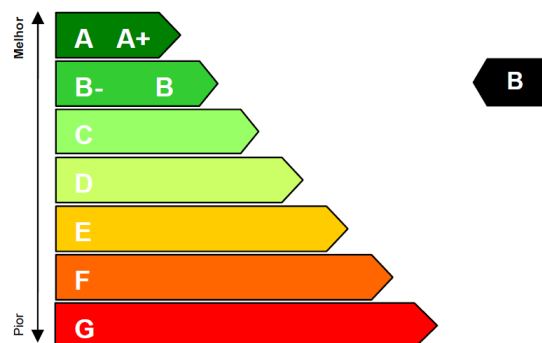


Fig. 2.2 – Exemplo de atribuição energética (VILHENA, 2008).

Actualmente, em Portugal, já são vários os sistemas de apoio à certificação onde o Sistema de Avaliação da Sustentabilidade (LiderA), desenvolvido voluntariamente pelo Professor Manuel Duarte Pinheiro, apresenta já várias certificações de sustentabilidade,

sendo um bom exemplo da preocupação e da realidade da sustentabilidade da construção em Portugal. Os objectivos do sistema LiderA são: o apoio de projectos de carácter sustentável, servindo como ferramenta neste domínio; o suporte à gestão na fase construtiva e operativa; e a atribuição de certificação após avaliação independente na sua fase final. A questão da sustentabilidade na construção passou a ser uma prioridade nos projectos e não uma mais-valia adicional, (LIDERA, 2010).

Neste mesmo contexto de sustentabilidade foi desenvolvido o conceito *Passivhouse* (Casa Passiva) e respectiva norma. Os pioneiros deste conceito foram o Professor Bo Adamson, da Universidade de Lund na Suécia e o Professor Wolfgang Feist, do *Institut für Umwelt und Wohnen* (Instituto para a Habitação e Meio Ambiente) na Alemanha (PASSIVE-ON, 2007). Este conceito baseia-se, essencialmente, na necessidade de um rigoroso padrão de eficiência energética dos edifícios, de modo a permitir uma elevada poupança de energia face aos edifícios construídos até à data, tornando assim as construções mais sustentáveis.

Segundo o *Passivhaus Institut* (2010), fundado pelo Professor Wolfgang Feist na Alemanha, este diz-nos que, de uma forma muito geral, se utilizarmos nas construções um sistema construtivo ou técnica construtiva que permita minimizar o calor perdido através de pontes térmicas e que proporcione um baixo coeficiente de transmissão térmica, este permitirá grandes ganhos energéticos na estação de aquecimento juntamente com envidraçados bem dimensionados relativamente à orientação, com caixilharias de elevado desempenho e um sistema de ventilação eficiente com recuperador de calor.

Numa tentativa de o mercado oferecer uma solução construtiva que satisfaça as exigências anteriores, surgem as cofragens modulares ou blocos cofrantes em poliestireno expandido moldado (EPS). As cofragens modulares em EPS consistem num sistema de cofragem perdida, constituído por duas placas de isolamento térmico unidas entre si por vários espaçadores em aço, formando um bloco oco com cerca de 1m de comprimento, 25cm de altura e 25cm de espessura.

Estes blocos são encaixados uns nos outros através de saliências na parte superior das placas e reentrâncias na parte inferior (macho-fêmea), proporcionando uma montagem tipo “LEGO®”. Esta solução construtiva permite uma execução extremamente rápida e proporciona paredes com isolamento contínuo, tanto na face interior como exterior, e um coeficiente de transmissão térmica muito baixo, em regra, de apenas $0,27 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, (ARGISOL, 2010).

As cofragens modulares em EPS são, em grande parte, fabricadas e aplicadas na Alemanha e nos países de língua alemã, como a Suíça e Áustria (ARGISOL, 2010). No entanto, este sistema também já se expandiu por outros países como, por exemplo, a França, onde os fabricantes Euromac2[®] (2006) e a KEPS[®] (2008) são um bom exemplo disso.

Esta solução construtiva tem vindo a propagar-se e a conquistar vários mercados, sendo que, o mercado português e espanhol é um objectivo a atingir por parte dos vários fabricantes, como se pode verificar no portefólio da Argisol[®] (2010), que apresenta já edifícios de habitações construídos em Portugal e Espanha.

Em Portugal são cada vez mais as pessoas que demonstram interesse e curiosidade acerca desta solução construtiva, tanto pela sua rapidez de execução como pela ausência de pontes térmicas e baixo coeficiente de transmissão térmica, como se pode verificar pelos vários blogues na internet sobre construção civil ou de Engenharia Civil e Arquitectura.

Analisando esta solução do ponto de vista da engenharia, surgem algumas contrapartidas relativamente à sua utilização em Portugal, nomeadamente o facto deste sistema de cofragem surgir segundo a norma *Passivhaus* (PHPP, 2007) e ser utilizado em países de clima frio com temperaturas muito baixas e inverno rigoroso.

Mesmo que a Comissão Europeia (CE) tente adaptar esta norma *Passivhaus* aos países do Sul da Europa e da Europa Central com clima mediterrânico, pelos excelentes resultados obtidos principalmente na Alemanha, algumas medidas poderão não ser plausíveis, pois estes países do Sul da Europa como Portugal, Espanha, Itália e Grécia não têm um Inverno rigoroso mas sim um Verão rigoroso, com maior necessidade de arrefecimento. E é neste sentido que a utilização das cofragens modulares em EPS poderá não ser adequada nestes países, pois pode vir a proporcionar um sobreaquecimento durante a estação de arrefecimento (Verão) (PASSIVE-ON, 2007).

Este sobreaquecimento pode vir a acontecer devido às cofragens modulares em EPS proporcionarem paredes isoladas tanto pelo exterior como pelo interior e, segundo o RCCTE, as paredes isoladas interiormente vão ter uma inércia térmica baixa por se poder contabilizar apenas o recobrimento sobre o isolamento térmico para o cálculo deste factor.

Tendo em consideração que Portugal tem um clima mediterrânico e uma grande variação de temperatura em curto espaço de tempo, muitos autores, como TIRONE

(2007), ASTE, ANGELOTTI e BUZZETTI (2009), defendem que a inércia térmica tem grande importância na estabilização da temperatura interior dos edifícios por absorver o calor em excesso e libertando este quando a temperatura baixa, evitando deste modo os picos de temperatura no interior e baixando com isso o gasto de energia.

No entanto, segundo PINHEIRO (2006), a energia consumida para aquecimento nos edifícios é muito superior à da consumida em arrefecimento. Tendo isto em consideração e sabendo-se à partida que o uso das cofragens modulares em EPS vai aumentar as necessidades de arrefecimento e baixar as necessidades de aquecimento de um edifício, a diferença entre as necessidades de aquecimento e arrefecimento, em certas regiões de Portugal, irá proporcionar uma redução das necessidades nominais anuais de energia útil para climatização de um edifício.

Deste modo, as cofragens modulares em EPS podem contribuir para que Portugal consiga uma eficiência energética tão elevada como a Alemã, que é o país da União Europeia com melhores resultados em termos de eficiência energética (CONSOMMATION, 2005).

Caso se verifique a adequação das cofragens modulares em EPS em Portugal, estas irão alterar e trazer uma nova perspectiva das construções em climas mediterrânicos, podendo mesmo contribuir para o surgimento de novos materiais de construção.

3. Aplicação de cofragens modulares em EPS

As cofragens modulares ou blocos cofrantes em poliestireno expandido moldado (EPS), consistem num sistema de cofragem perdida, não portante, constituído por duas placas de poliestireno expandido moldado (EPS) unidas entre si por vários espaçadores em aço, formando um bloco oco com 1m de comprimento, 25cm de altura e 25cm de espessura.

Estes blocos são encaixados uns nos outros através de saliências na parte superior das placas de isolamento e reentrâncias na parte inferior (macho-fêmea), proporcionando uma montagem tipo “LEGO®”.

Alguns fabricantes propõem uma solução equivalente mas, em vez dos blocos chegarem previamente montados de fábrica com os espaçadores em aço já embutidos nas placas de isolamento térmico, chegam em peças, tendo que ser montados em obra por encaixes entre os espaçadores e as placas de isolamento (KEPS, 2010).

Após a montagem das paredes, estas são betonadas formando paredes do tipo contínuo, onde as placas de isolamento térmico desempenham duas funções, uma de cofragem durante a betonagem e outra de isolamento térmico após a betonagem, proporcionando assim um isolamento térmico tanto pelo exterior como pelo interior da parede.

Outro ponto importante desta solução, comparando com as construções ditas tradicionais, é que, como é de fácil montagem, torna menos propícia a ocorrência de erros na execução. Por exemplo, na colocação do isolamento térmico em paredes de alvenaria dupla este, muitas vezes, não fica cem por cento contínuo ou não é colocado nas zonas dos pilares, vigas e lajes.

As cofragens modulares em EPS são constituídas por vários elementos e acessórios, podendo ser aplicado como cofragem de paredes de betão simples ou betão armado executado *in-situ*. Os acessórios são, em geral, cunhas para paredes redondas, elementos para fecho de lajes, placas simples individuais, peças para igualar as diferenças de alturas e elementos de fecho de parede (ARGISOL, 2010; ETA-05/0170, 2005). Todos os elementos estão definidos na secção **3.1** e os acessórios no **Anexo II**.

A avaliação da adequação do sistema de cofragem para o uso pretendido foi efectuada em conformidade com o Guia de Aprovação Técnica Europeia 009, "Kits/Sistemas de cofragem perdida não resistente, com base em blocos vazados ou

placas de materiais isolantes e eventualmente betão" (ETAG 009) com base nas informações acordadas depositadas junto do *Deutsches Institut für Bautechnik* (DIBt), equivalente ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) na Alemanha.

Todos os valores apresentados no **capítulo 3** são baseados na Aprovação Técnica Europeia (ATE) emitida por esta entidade, mais precisamente na ETA-05/0170 (2005).

3.1 Elementos de Cofragem

Os elementos de cofragem, como já foi mencionado anteriormente, são pré-fabricados compostos por duas placas de poliestireno expandido moldado (EPS) de alta densidade e vários espaçadores, (ver **Anexo V, Fig. V.1**).

O EPS utilizado pela maioria dos fabricantes deste tipo de cofragem é do tipo NEOPOR[®], que se caracteriza por ter uma espuma de cor cinzenta, cor esta que lhe é conferida pela introdução de micro-partículas de grafite. As micro-partículas de grafite introduzidas neste EPS servem para absorver e reflectir os raios infravermelhos, prevenindo a dissipação do calor causado pela radiação. Desta forma, retarda os processos de condução, convecção e radiação de calor, resultando num melhor isolamento térmico e consequentemente numa maior economia de energia. Este EPS é obtido a partir de uma nova matéria-prima desenvolvida pela empresa de químicos alemã BASF AG. (ARGISOL, 2010; EUROMAC2, 2006; KEPS, 2008; VARIANTHAUSE, 2010).

Os espaçadores são em aço com cerca de 0,63 mm de espessura e servem de ligação entre as placas de cofragem. As duas extremidades dos espaçadores estão embutidas no EPS, sendo que, a distância entre os espaçadores no sentido longitudinal dos elementos é de 125 mm. (**Anexo V, Fig. V.20**).

O acoplamento vertical das superfícies é do tipo macho-fêmea por saliências na parte superior e por reentrâncias na parte inferior, para formar um ajuste apertado quando unidas. As faces exteriores das placas têm ranhuras cónicas na vertical para permitir a aderência do recobrimento ou acabamento. Na face interior também se encontram algumas ranhuras que servem de fixação mecânica das placas com o núcleo de betão criando, aquando da betonagem, o efeito de malhete em cauda de andorinha.

Os elementos de fecho também têm ranhuras no lado interior, que servem de fixação mecânica com o núcleo betão, pelo mesmo princípio de malhete em cauda de andorinha. As dimensões dos elementos correntes são: 1m de comprimento, 25cm de altura e 25cm de espessura. A espessura da placa de cofragem interior é de 5,2cm,

da placa exterior é de 6,5cm e a espessura mínima do núcleo em betão é de 13,3cm (Anexo V, Fig. V.20).

Existem também elementos especiais que fazem parte do “kit” como: elementos de canto (Anexo V, Fig. V.2 e Fig. V.3), elementos de canto com ângulo de 45° (Anexo V, Fig. V.4 e Fig. V.5), elemento de canto redondo (Anexo V, Fig. V.6 e Fig. V.7), elementos em “T” (Anexo V, Fig. V.16 e Fig. V.17), elementos para paredes redondas com dobradiças (Anexo V, Fig. V.13), elementos de empenas (Anexo V, Fig. V.18 e Fig. V.19) e elementos de lintel (Anexo V, Fig. V.8) (ETA-05/0170, 2005).

Todos os elementos são constituídos por poliestireno expandido moldado classificados de EPS-EN 13163-T1-L1-W2-S2-P4-DS (70,-)3-BS250-DS(N)5-TR100 de acordo com a NP EN 13163 (2003), onde:

- ⇒ **EPS** - poliestireno expandido moldado
- ⇒ **EN 13163** - norma europeia: Produtos de isolamento térmico para aplicação em edifícios. “*Produtos manufacturados em poliestireno expandido (EPS). Especificação*”.
- ⇒ **T1** - tolerância da espessura: +/- 2 mm
- ⇒ **L1** - tolerância do comprimento: +/- 0,6 % ou +/- 3 mm (a que for menor)
- ⇒ **W2** - tolerância da largura: +/- 2 mm
- ⇒ **S2** - tolerância da esquadria: +/- 2 mm / 1000 mm
- ⇒ **P4** - tolerância da planeza: +/- 5 mm
- ⇒ **DS(70,-)3**- estabilidade dimensional <= 3%, a 70°C (48h)
- ⇒ **BS250**- resistência à flexão >= 250 kPa
- ⇒ **DS(N)5**- estabilidade dimensional <= 5%, a 23°C/50% HR (condições normais de laboratório)
- ⇒ **TR100** - Resistência à tracção perpendicular às faces: >= 100 kPa

3.2 Utilização

As cofragens modulares em EPS foram concebidas para ser utilizadas na construção de paredes exteriores e interiores estruturais ou não estruturais, incluindo aquelas que são objecto de regulamentação de incêndio e que estejam acima ou abaixo do nível do terreno exterior envolvente.

Ao usar-se este sistema de cofragem em paredes abaixo do nível do terreno deve ter-se sempre em conta uma adequada impermeabilização, respeitando as normas nacionais e tendo o cuidado de verificar se as paredes estão sujeitas à pressão exercida pela água existente no subsolo. A impermeabilização deve ser protegida com uma camada protectora resistente aos danos mecânicos.

A vida útil das cofragens modulares é de pelo menos 50 anos, desde que seja submetida a uma adequada utilização e manutenção, segundo as disposições estabelecidas na Aprovação Técnica Europeia (ATE) (ETA-05/0170, 2005).

No entanto, estas indicações dadas pela ATE sobre a vida útil do material, não podem ser interpretadas como uma garantia dada pelo fabricante. Devem sim ser consideradas como um meio para escolher os produtos economicamente viáveis para a vida útil da obra em questão.

3.3 Resistência mecânica e estabilidade

3.3.1 Padrão estrutural resultante

De acordo com a ETAG 009, parágrafo 2.2, em condições de utilização final as paredes construídas com elementos de cofragem modular em EPS são classificadas de paredes de tipo contínuo.

3.3.2 Eficiência de enchimento

Tendo-se em consideração as instruções dadas presentes no **Anexo I** na secção **I.2** do presente trabalho é possível executar um enchimento eficiente sem rebentamento da cofragem e sem vazios, garantindo o recobrimento total da armadura de reforço do núcleo de betão, preenchendo de forma satisfatória os requisitos, de acordo com ETAG 009, ponto 6.1.2.

3.3.3 Possibilidade de reforço de aço

As cofragens modulares permitem a colocação de reforço em aço caso o projecto estrutural assim o exija. As instruções dadas no **Anexo I** no ponto **I.2.31** são adequadas para instalar reforço de aço nas paredes, de acordo com a EN 1992/1/1² que, por sua vez, preenche de forma satisfatória os requisitos da ETAG 009, ponto 6.1.3.

² EN 1992/1/1:2009 – Eurocódigo 2: Projecto de estruturas de betão. Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios.

3.4 Segurança em caso de incêndio

3.4.1 Comportamento geral do poliestireno expandido ao fogo

Em comum com os outros materiais plásticos o EPS é um material combustível. Os seus componentes químicos são o poliestireno, o agente expensor (principalmente o pentano) e o ar.

O EPS não inflamável (denominado "auto-extinguível") contém ainda um inibidor de combustão. Em contacto com a chama o EPS não inflamável contrai, dificultando a sua ignição. Só após uma exposição prolongada é que pode ocorrer a ignição do material, embora a propagação da chama seja sempre muito limitada.

É de salientar que, para a avaliação da contribuição do EPS em caso de incêndio num edifício, é importante aferir o comportamento do conjunto dos materiais que compõem o edifício e a composição desses mesmos materiais. A forma como é colocado o EPS no edifício determina a sua eventual contribuição para o risco em caso de incêndio.

De um modo geral, o EPS colocado em edifícios deverá ser coberto por materiais não combustíveis. Sempre que o EPS não fique revestido por materiais incombustíveis e resistentes ao fogo, deverá ser do tipo não inflamável. No caso das cofragens modulares em EPS não ocorre este tipo de problema, pois o EPS utilizado é não inflamável.

O produto da combustão do EPS é um fumo negro. Em muitas aplicações, como as cofragens modulares em EPS, o isolamento não se encontra directamente exposto às chamas e geralmente não entra em combustão enquanto não se der a inflamação generalizada (*flashover*). A libertação de gases depende da possibilidade de contacto com o ar.

Relativamente à exposição do EPS a temperaturas extremas, este não tem limite de exposição a baixas temperaturas. A temperatura mínima de utilização corresponde à da liquefacção dos gases componentes do ar contido nas células (ACEPE, 2010).

No entanto, como todos os plásticos o EPS tem um limite superior de exposição à temperatura. Este limite varia em função do tempo de exposição e das cargas a que estiver sujeito. Com a aplicação de cargas elevadas e em períodos de exposição curtos o EPS poderá ultrapassar os 100° C, no entanto, em situações de exposição prolongada não deve ultrapassar os 80-85°C. Se sujeito a temperaturas mais elevadas do que as referidas, a estrutura celular do EPS começa a fundir, permitindo a saída do ar e conseqüentemente, causando a perda de espessura e das propriedades isolantes (ACEPE, 2010).

3.4.2 Reacção ao fogo

De acordo com a EN 13501-1³ este sistema de cofragem está classificado como sendo de Euroclasse D-s3-d0.

Numa escala de A1, A2, B à F, onde as classes A1 e A2 são produtos pouco ou muito pouco combustíveis e as classes E e F são produtos combustíveis que contribuem de maneira importante para a conflagração generalizada, a classificação de D do sistema de cofragem significa que está classificado como produto combustível cuja contribuição à conflagração generalizada é significativa.

O s3 é uma classificação complementar de produção de fumo que, neste caso, indica que este material produz muito fumo durante a sua combustão, numa escala de 1 a 3. E, por último, o d0 é outra classificação complementar que está relacionada com a queda de gotas ou partículas inflamadas que, neste caso, é nula ou muito pouca numa escala de 0 a 2.

No entanto, não foi estabelecida uma referência europeia relativa a um cenário de incêndio de fachadas. Em alguns Estados-Membros a classificação de Euroclasse D-s3-d0 do sistema de cofragem, de acordo com a EN 13501-1³, poderá não ser suficiente para o uso em fachadas. Uma avaliação adicional de sistemas de cofragem perdida de acordo com as disposições nacionais em vigor (por exemplo à base de um teste em grande escala) poderá ser necessária para cumprir as regulamentações desses Estados-Membros.

3.4.3 Resistência ao fogo

Com a espessura mínima de 13,3cm de betão e utilizando betão C16/20 (resistência mínima considerada) a classe de resistência ao fogo das paredes é REI 90, de acordo com a Tabela 1 do Anexo C do ETAG 009.

O “R” representa a capacidade de suporte de cargas, “E” a estanquidade à chama e aos gases, “I” o isolamento térmico e 90 são os minutos em que qualquer uma das três características se mantém numa situação praticamente inalterada. Em regra, será o isolamento térmico o primeiro a ceder ao fogo após os 90 minutos.

³ EN 13501-1:2007 – Classificação do desempenho face ao fogo de produtos e de elementos de construção – “Parte 1: Classificação utilizando resultados de ensaios de reacção ao fogo”.

3.5 Higiene, saúde e meio ambiente

3.5.1 Impacto no meio ambiente

Quimicamente o EPS é composto por dois elementos o carbono e o hidrogénio. O gás contido nas células do EPS é o ar. Não contem qualquer produto tóxico ou perigoso para o ambiente e camada de ozono (está isento de CFC's) (ACEPA, 2010).

Por se tratar de um plástico e por ser muito leve, o processo de fabrico consome pouca energia e provoca pouquíssimos resíduos sólidos ou líquidos. O gás expensor incorporado na matéria-prima (o poliestireno expansível) é o pentano.

A utilização do EPS como isolamento térmico permite poupar energia que, durante a vida útil de um edifício, pode chegar a ser centenas de vezes superior à energia consumida durante o seu fabrico. Esta poupança de energia significa que, para além de preservar os recursos energéticos, o uso de EPS reduz a emissão dos gases poluentes e dos gases que contribuem para o efeito estufa na atmosfera. Após a conclusão da vida útil do EPS este é totalmente reciclável.

3.5.2 Libertação de substâncias perigosas

O EPS não apodrece nem ganha bolor. Não é solúvel em água nem liberta substâncias para o ambiente. Até à data não foi observado qualquer efeito prejudicial para a saúde, aliás, o EPS é correntemente utilizado como acondicionador de alimentos.

Analisando o banco de dados da UE (2000), pode constatar-se que as cofragens modulares em EPS não contém substâncias perigosas.

3.5.3 Permeabilidade ao vapor de água

O EPS é permeável ao vapor de água. Esta propriedade é importante, pois permite a difusão do vapor de água pela envolvente dos edifícios. No entanto, o posicionamento da camada do isolamento na envolvente e a composição das restantes camadas devem ser projectadas de modo a evitar uma eventual condensação do vapor. A permeabilidade ao vapor de água diminui, com o aumento da massa volúmica.

O valor tabelado do coeficiente de resistência à difusão de vapor de água⁴ (μ) do poliestireno expandido (EPS), de acordo com EN 12524⁵, é de 60.

⁴ Valor adimensional que indica quantas vezes a resistência à difusão do vapor de água de um dado material, com uma certa espessura, é superior relativamente à oferecida por uma camada de ar com igual espessura.

Os valores para resistência à difusão de vapor de água do betão dependem do tipo de betão e da sua massa volúmica. Estes valores estão tabelados na norma EN 12524⁵.

3.6 Segurança de utilização

3.6.1 Resistência da união das placas de cofragem com núcleo de betão

O poliestireno expandido moldado (EPS) é ligado ao betão por fixação mecânica através das várias ranhuras que percorrem verticalmente toda a superfície interna das placas de cofragem, com uma distância entre elas na horizontal de 2,4 cm (ou seja, 41 pontos de fixação por metro da placa de cofragem).

Desde que a largura mínima das ranhuras seja de 10 mm, a área efectiva para a transmissão de forças de tracção é $0,01 * 1 * 41 = 0,41 \text{ m}^2$, ou seja, é mais de 20% da área total da placa de cofragem e leva a uma resistência adesiva de 0.041 MPa, que é suficiente para atender às exigências da ETAG 004, ponto 6.1.4.1.3.

Os requisitos de acordo com ETAG 009, ponto 6.4.1.3, são cumpridos de forma satisfatória.

3.6.2 Resistência à pressão de enchimento

Para resistir à pressão de enchimento, a resistência à flexão/tracção das placas de cofragem em EPS deve ser superior a 280 kPa e a força para arrancar os espaçadores das placas de EPS deve ser superior a 900 N. Assim, satisfaz os requisitos de acordo com ETAG 009, ponto 6.4.2.

3.6.3 Segurança contra danos pessoais por contacto

Os elementos de cofragem não têm arestas pontiagudas ou cortantes. Devido à superfície macia das placas de cofragem não há risco de abrasão ou de cortes, preenchendo de forma satisfatória os requisitos de acordo com ETAG 009, ponto 6.4.3.

3.7 Protecção contra o ruído

3.7.1 Isolamento aos sons aéreo

O *Deutsches Institut für Bautechnik* (DIBt) durante a elaboração da documentação de homologação da ATE não ensaiou ou estudou o desempenho acústico das cofragens

⁵ EN 12524:2000 – *Building materials and products. Hygrothermal properties. Tabulated design values.*

modulares. Assim sendo, a opção "Desempenho não Determinado" é usada na tabela 3 da ETAG 009 e deve aparecer no rótulo do material.

3.7.2 Absorção sonora

Os fabricantes das cofragens modulares garantem um bom desempenho relativamente à absorção acústica mas, como já foi referido anteriormente, o DIBt não elaborou qualquer estudo relativo ao desempenho acústico destas cofragens em EPS. Logo, a opção "Desempenho não determinado" é usada na tabela 3 da ETAG 009.

No entanto, através de um estudo da Argisol[®] foi determinado, para as cofragens modulares, um $R_w = 48$ dB, considerando um revestimento em estuque (BIOISOTHERM, 2009).

3.8 Economia de energia e retenção de calor

3.8.1 Resistência térmica

O valor nominal da resistência térmica (R) dos elementos em condições de utilização final (sem fissuras no betão) é calculado de acordo com EN ISO 6946⁶ a partir do valor nominal da condutibilidade térmica das placas em EPS da cofragem: $\lambda_{DI} = 0,031$ W/(m.°C).

De acordo com o ponto 4.2.1 da NP EN 13163⁷, a resistência térmica do núcleo de betão R_{DC} (que pode ser calculada usando os valores de condutibilidade térmica, em função da massa volúmica tabelados na norma EN 12524⁸), tendo em conta a influência dos espaçadores em aço, é igual a $R_D = 3,3$ (m².°C)/W.

3.8.2 Inércia térmica

A inércia térmica de um edifício é a sua capacidade para atenuar as variações da temperatura do ar no seu interior. Um edifício com inércia térmica elevada terá uma temperatura interna naturalmente estável apesar da ampla variação dos ganhos de calor que podem resultar da insolação pelos envidraçados ou pela própria ocupação (ROULET, 2004). A inércia térmica depende de várias características:

⁶ EN ISO 6946:2007 (Ed. 2) – *Building components and building elements Thermal resistance and thermal transmittance Calculation method*.

⁷ NP EN 13163:2003 – Produtos de isolamento térmico para aplicação em edifícios. “Produtos manufacturados em poliestireno expandido (EPS). Especificação”.

⁸ EN 12524:2000 – *Building materials and products. Hygrothermal properties. Tabulated design values*.

- ⇒ A capacidade de armazenamento de calor, dos materiais em contacto com o ambiente interior;
- ⇒ As possibilidades de troca de calor destes materiais, com o ambiente interior;
- ⇒ O isolamento térmico do edifício.

Ao longo de muitos séculos que a optimização da inércia térmica em regiões de clima mediterrânico tem sido uma técnica utilizada para assegurar o conforto térmico no interior dos edifícios. É certo que no passado não existiam os mesmos materiais de construção nem o estilo de vida sedentário que temos hoje, no entanto, a inércia térmica continua a ter um papel fundamental na criação de um clima interior estável e confortável nas habitações (TIRONE, 2007).

A inércia térmica é especialmente relevante em climas sujeitos a grandes amplitudes térmicas em curtos espaços de tempo como é o caso do clima em Portugal.

São, principalmente, os materiais pesados e maciços que contribuem para uma forte inércia térmica dos edifícios e quando convenientemente aplicados conferem aos espaços interiores uma maior estabilidade térmica.

Em Portugal a temperatura média durante a maior parte do ano varia entre os 18 e os 26°C (TIRONE, 2007), contribuindo a inércia térmica para a estabilidade do micro clima gerado no interior e consequentemente para o conforto.

A interacção do elemento de construção maciço com o ambiente interior é muito positiva, uma vez que absorve o calor em excesso e irradia esse calor continuamente para os espaços interiores quando a temperatura baixa contribuindo, dessa forma, para manter a temperatura do ambiente interior constante.

É essencial que se minimizem as perdas e ganhos térmicos pelo exterior, para tal, é importante conjugar a inércia térmica com isolamento térmico idealmente aplicado de forma contínua pelo exterior (TIRONE, 2007).

Um isolamento térmico contínuo pelo exterior permite que a massa da parede esteja em contacto directo com o ambiente interior e protegida do ambiente exterior, uma vez que no exterior, durante o período diurno, se observa uma grande elevação da temperatura do ar e forte radiação solar no Verão.

Durante o período diurno há injeção de calor no edifício (radiação solar através dos vãos envidraçados e fluxo de calor por condução, convecção e radiação através da envolvente opaca). Parte significativa deste calor é transmitido para os elementos da

construção em contacto com o espaço interior (paredes e lajes) os quais necessitam de tanto maior quantidade de calor, para uma determinada subida de temperatura, quanto maior for a sua massa. Assim, a temperatura do ar no compartimento sobe muito lentamente, se a inércia térmica do edifício for forte (PIEDADE *et. al.*, 2003).

Durante o período nocturno, em que no exterior se verifica uma acentuada e rápida queda de temperatura, ocorrem perdas de calor do interior para o exterior. Em edifícios cujas paredes e lajes apresentam uma elevada massa interna verifica-se uma queda de temperatura no interior bastante lenta, uma vez que são as paredes que vão libertando o calor acumulado durante o dia (PIEDADE *et. al.*, 2003).

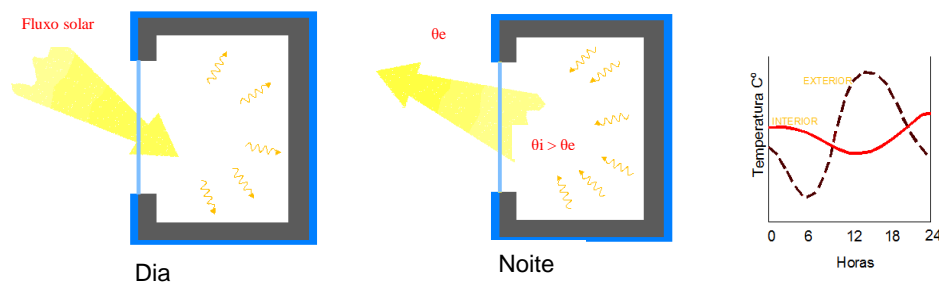


Fig. 3.1 – Massa da parede em contacto directo com o ambiente interior e protegida do ambiente exterior (adaptado de PIEDADE *et. al.*, 2003)

Com a aplicação de um isolamento contínuo pelo interior em que a massa da parede está separada do ambiente, a “injecção” de calor no compartimento é quase totalmente repercutida na elevação da temperatura do ar, dada a dificuldade originada pelo isolante térmico à transferência de calor para os elementos de construção em contacto com o espaço interior.

Durante o período nocturno, quando ocorre a diminuição da temperatura no exterior, devido ao facto de não ter havido ao longo do dia a acumulação de calor pela parede o ambiente interno acompanha a queda da temperatura (PIEDADE *et. al.*, 2003).

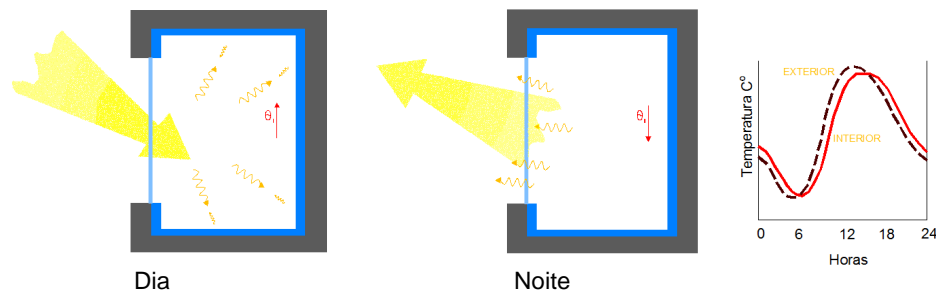


Fig. 3.2 – Massa da parede separada do ambiente interior por revestimento de isolamento térmico (adaptado de PIEDADE *et. al.*, 2003).

3.8.2.1 Quantificação da inércia térmica segundo o RCCTE

Segundo o RCCTE (2006) a inércia térmica interior de uma fracção autónoma é função da capacidade térmica (ou capacidade de armazenamento e de restituição de calor) que os locais apresentam e depende da massa superficial útil por unidade de área útil de pavimento (I_t) que é obtida através do somatório das massas superficiais úteis de todos os elementos de construção (paredes, pavimentos e cobertura), quer os interiores à fracção quer os que pertencem a sua envolvente.

Em função do valor de I_t o RCCTE define as três classes de inércia térmica apresentadas seguidamente no **Quadro 3.1**:

Quadro 3.1 – Classes de inércia térmica interior.

Classe de inércia	Massa superficial útil por metro quadrado da área de pavimento, I_t [kg/m ²]
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte	$I_t > 400$

A massa superficial útil por unidade de área útil de pavimento (I_t) é calculada a partir da seguinte expressão:

$$I_t = \frac{\sum M_{si} * r_i * S_i}{A_p}$$

Em que:

- ⇒ M_{si} - massa superficial útil do elemento i [kg/m²]
- ⇒ S_i - área da superfície interna do elemento i [m²]
- ⇒ A_p - área útil de pavimento [m²]
- ⇒ r_i - Factor de correcção

A massa superficial útil (massa por unidade de área do próprio elemento) (M_{si}) de cada elemento de construção da envolvente exterior ou interior à fracção autónoma, depende da massa total por unidade de área do elemento (m_t) e dos seguintes aspectos:

- ⇒ Da localização no edifício (em contacto com o ambiente exterior, com espaços não-úteis, com outras fracções autónomas, ou com o terreno; ou no interior da fracção autónoma);

- ⇒ Da própria massa superficial e da sua constituição, nomeadamente do posicionamento de uma eventual **solução de isolamento térmico** (interior, exterior ou intermédia);
- ⇒ Das características térmicas do respectivo **revestimento superficial interior**. Em função destes aspectos o regulamento apresenta (vd. RCCTE, Anexo VII, capítulo 2) a forma de cálculo (ou os valores máximos a considerar) da massa superficial útil, M_{si} , de um grande número de elementos construtivos correntes.

Para a qualificação das massas superficiais úteis de cada elemento, consideram-se três casos genéricos de localização dos elementos de construção no edifício ou fracção autónoma:

1. Elementos da envolvente exterior ou em contacto com outra fracção autónoma ou com espaços não úteis (EL1): Se estes elementos não possuem isolamento térmico contabiliza-se metade da sua massa total. No entanto, se existir um isolamento térmico (material de condutibilidade térmica inferior a $0,065 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ com uma espessura que conduza a uma resistência térmica (R) superior a $0,30 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$) contabiliza-se somente a massa situada do lado interior do isolamento térmico. Em qualquer dos casos o valor a considerar será sempre limitado a 150 kg/m^2 .

2. Elementos em contacto com o solo (EL2): A massa M_{si} é limitada a 150 kg/m^2 como no ponto anterior. No caso de o pavimento possuir uma camada de isolamento térmico só é considerada a massa interior ao isolamento sem obviamente ultrapassar o limite de 150 kg/m^2 .

3. Elementos interiores da fracção autónoma em estudo (paredes e pavimentos interiores) (EL3): Considera-se a massa total do elemento com um limite de 300 kg/m^2 . (Ver **Quadro IV.1** no **Anexo IV**).

Para os elementos de construção da envolvente da fracção autónoma em estudo, se o revestimento superficial interior apresenta uma resistência térmica (R) compreendida entre $0,14 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ e $0,3 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$, a massa superficial útil (M_{si}) deve ser reduzida (r) para 50% do valor calculado. Caso o revestimento superficial tenha uma resistência térmica superior a $0,3 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$, considera-se a massa superficial útil do elemento de construção (M_{si}) igual a zero.

Para os elementos de compartimentação interior da fracção autónoma em estudo, a massa M_{si} é multiplicada por $r = 0,75$ ou $0,50$ conforme o elemento tenha revestimento

superficial com resistência térmica compreendida entre 0,14 e 0,3 m².°C/W numa ou em duas faces respectivamente (Ver **Quadro IV.2** no **Anexo IV**).

Em termos gerais pode dizer-se que o aumento da inércia térmica é benéfico em termos do desempenho térmico e energético do edifício (ou da fracção autónoma) ao permitir, por um lado, o aumento da percentagem útil dos ganhos solares na estação de aquecimento (Inverno) e por outro lado contribui para diminuir o risco de sobreaquecimento indesejado durante a meia estação e a estação de arrefecimento (Verão) (CAMELO *et. al.*, 2006).

3.9 Aspectos da durabilidade e facilidade de manutenção

3.9.1 Resistência à deterioração

Não é conhecido o tempo limite em que o EPS mantém todas as suas características. Os estudos realizados sobre as soluções construtivas com EPS confirmam esta afirmação. No entanto, as propriedades do isolamento impõem a sua correcta aplicação para que seja garantido um desempenho adequado ao longo do tempo (ACEPE, 2010).

3.9.1.1 Agentes físicos

Dever-se-á ter em conta a radiação solar directa, rica em energia, que deteriora o EPS por alterar a sua estrutura química. Porém, este processo é lento e dependente da intensidade de radiação e do tempo de exposição. É pois importante evitar que o EPS fique exposto à radiação solar directa, não se verificando contudo deterioração no caso da radiação solar ser difusa. (ACEPE, 2010)

Verificou-se que as dimensões das placas em EPS que constituem as cofragens modulares em EPS não diferem mais de 3% depois de expostas durante 48 horas a 70°C (DS (70 -) 3) (ETA-05/0170, 2005).

Os requisitos de acordo com ETAG 009, ponto 6.7.1.1 são cumpridos, de forma satisfatória.

3.9.1.2 Agentes químicos

O EPS é compatível com a maioria dos materiais correntemente utilizados na construção de edifícios. No entanto, é sensível a alguns materiais que contenham solventes. Terá pois, de se evitar o contacto ou exposição a vapores destes materiais. A

estrutura celular é danificada pelos solventes, sendo este processo acelerado quando sujeito a temperaturas elevadas (ACEPE, 2010).

Para além do EPS as cofragens também são constituídas, como já foi mencionado anteriormente, por espaçadores em aço que por sua vez também vão estar sujeitos à acção de agentes químicos.

No entanto, mesmo que ocorra, ao longo da vida útil das cofragens, corrosão dos espaçadores em aço, estes são apenas necessários para as cofragens modulares em EPS resistirem à pressão provocada pelo betão aquando da betonagem. Depois do endurecimento do betão a aderência entre o betão e as placas de cofragem é conferida pelas ranhuras que percorrem verticalmente as faces interiores dos elementos de cofragem (ver ponto 3.6.1).

Portanto, a exigência de “protecção contra a corrosão” de acordo com ETAG 009, ponto 6.7.1.2 é cumprida, de forma satisfatória.

3.9.1.3 Agentes biológicos

O EPS não constitui substrato, ou alimento para o desenvolvimento de animais ou microrganismos. Em caso de grande acumulação de humidades poderão surgir bolores que não afectarão o material. Nas cofragens modulares, o EPS fica completamente embutido entre o betão e o recobrimento, logo não haverá problemas deste tipo. Ocasionalmente, o EPS pode ser atacado por roedores ou outros animais, logo é necessário prever revestimentos que impeçam o acesso desses animais às suas placas (ETA-05/0170, 2005).

Os requisitos de acordo com a ETAG 009, ponto 6.7.1.3 são cumpridos, de forma satisfatória.

3.9.2 Resistência a danos normais de uso

3.9.2.1 Incorporação de condutas

A incorporação de condutas não traz grandes problemas para as cofragens modulares em EPS, pois o isolamento em EPS pode ser cortado com um cortador de fio quente mesmo depois da betonagem, sendo que o isolamento térmico pode ser garantido com a colocação de espuma rígida de poliuretano (PUR) após a instalação das condutas (ETA-05/0170, 2005).

As instruções de instalação do ponto **I.2.24** do **Anexo I** são adequadas para instalação de tubagens.

3.9.2.2 Fixação de objectos

Não é possível a fixação de objectos nas placas de cofragem de EPS. A fixação de objectos tem significativa importância para a resistência mecânica das placas, logo qualquer fixação terá de atingir o núcleo de betão (ETA-05/0170, 2005).

4. Metodologia do caso em estudo e aplicação do RCCTE

4.1 Metodologia

Neste trabalho vai ser feita uma análise comparativa entre um edifício construído com cofragens modulares em EPS e um edifício construído com paredes de alvenaria dupla. Será aplicado o RCCTE em ambos os edifícios, em várias localidades de Portugal e comparar-se-ão os resultados obtidos.

De modo a conseguir-se fazer uma análise a nível nacional, foram escolhidas várias cidades de Portugal continental, de norte a sul, de forma a abranger todas as combinações de zonas climáticas possíveis, foram estas: Cascais (I1V1 sul), Aveiro (I1V1 norte), Faro (I1V2 sul), Santa Comba Dão (I1V2 norte), Évora (I1V3 sul), Leiria (I2V1 norte), Guimarães (I2V2 norte), Sertã (I2V3 norte), Portalegre (I2V3 sul), Guarda (I3V1 norte), Góis (I3V2 norte) e Alijó (I3V3 norte). Relativamente à Região Autónoma da Madeira e dos Açores, como as zonas climáticas variam consoante a altitude, foi aplicado o RCCTE para as altitudes de 50m, 100m, 250m, 500m e 1000m.

Para esta comparação ser a mais exacta possível é essencial diminuir ao máximo os factores variáveis. Numa tentativa de anular estes factores, foi considerado que os edifícios têm as mesmas dimensões e acabamentos. Tanto os envidraçados como as lajes, a cobertura e o pavimento térreo são idênticos nos dois edifícios, isto para que a comparação incida somente no desempenho térmico das paredes e assim se consiga fazer uma comparação directa das cofragens modulares em EPS com as paredes de alvenaria dupla.

Há que ter em consideração que, na solução construtiva em cofragens modulares em EPS, algumas paredes interiores não estruturais poderiam ser consideradas no cálculo da inércia térmica caso estas fossem, por exemplo em alvenaria (ver secção 3.8.2), no entanto não irão ser consideradas de modo a não favorecer esta solução.

Uma solução construtiva que é vulgarmente aplicada juntamente com as cofragens modulares em EPS, para diminuir o calor transferido através do pavimento térreo ou laje em contacto com o terreno e aconselhada pelos vários fabricantes, são as placas cofrantes em poliestireno extrudido (XPS) que, como mostram as Figuras; **Fig. 4.1, 4.2 e 4.3**, isolam toda a base e lateral da laje de fundação e servem também de cofragem, ou seja, têm funções similares às cofragens modulares em EPS.

Esta solução não foi considerada por não ser uma prática comum na construção em Portugal e para a comparação entre os edifícios incidir apenas nas cofragens modulares em EPS e nas paredes de alvenaria dupla. Considerou-se assim a utilização de pavimento térreo convencional em ambos os edifícios.



Fig. 4.1 – Execução de cofragem em XPS de laje de fundação (ARGISOL, 2010).



Fig. 4.2 – Colocação de armadura na laje de fundação (ARGISOL, 2010).



Fig. 4.3 – Laje de fundação betonada (ARGISOL, 2010).

Por fim, relativamente às soluções construtivas que normalmente se aplicam com as cofragens modulares em EPS e que são aconselhadas pelos vários fabricantes deste tipo de cofragens, também se omitiu o uso das cofragens de laje em EPS que consiste

basicamente numa cofragem em EPS equivalente às cofragens modulares, ou seja, constituídas em EPS de alta densidade resistente ao fogo e reforçada interiormente com duas vigas de aço em “T”, ver **Fig. 4.4, 4.5 e 4.6**.

As cofragens de laje em EPS são de rápida colocação, principalmente quando usadas juntamente com as cofragens modulares em EPS, e proporcionam um isolamento térmico contínuo em toda a base da laje.

Esta solução não foi considerada por duas razões, uma devido ao cálculo da inércia térmica, uma vez que o uso desta solução diminui este factor do edifício e se tivermos em conta que já se omitiu o possível uso de paredes interiores com boa inércia térmica no edifício construído com cofragens modulares em EPS (ver secção **3.8.2**) estaríamos a prejudicar em demasia o edifício. A segunda razão é que o sistema de cofragens modulares permite adoptar vários tipos de lajes, como por exemplo, pré-laje, lajes aligeiradas de vigotas ou ainda lajes maciças em betão armado, entre outras.

Assim, para não existirem factores que favoreçam qualquer uma das soluções em estudo considerou-se que as lajes dos dois edifícios são ambas maciças em betão armado.



Fig. 4.4 – Cofragem de laje com cofragem em EPS reforçado interiormente por barras de aço, 1 (ARGISOL, 2010).



Fig. 4.5 – Cofragem de laje com cofragem em EPS reforçado interiormente por barras de aço, 2 (ARGISOL, 2010).



Fig. 4.6 – Laje com cofragem em EPS parcialmente betonada (ARGISOL, 2010).

A inércia térmica vai ser o “calcanhar de Aquiles” da solução construtiva em cofragens modulares em EPS, pois estas cofragens proporcionam um isolamento contínuo tanto pelo exterior como pelo interior das paredes, fazendo com que estas não tenham praticamente nenhuma inércia térmica.

Este problema da inércia térmica por parte das cofragens modulares em EPS tende a ser compensado pelos baixos coeficientes de transmissão térmica superficial e linear que proporciona comparativamente a uma parede de alvenaria tradicional.

As soluções construtivas com baixa inércia térmica, como as cofragens modulares em EPS, têm a vantagem de proporcionarem um ganho de energia (calor) quase imediato ao invés duma solução construtiva com inércia térmica forte (ROULET, 2004).

No caso das cofragens modulares em EPS, pelo facto de proporcionarem valores de coeficientes de transmissão térmica muito baixos, os ganhos de energia dão-se sobretudo pelos vãos envidraçados. Do mesmo modo, é pelos vãos envidraçados que a energia acumulada no interior do edifício se vai dissipar, daí ser importante sempre que se

utilizem cofragens modulares em EPS optar-se por caixilharias e envidraçados de alto desempenho.

De um modo geral, as cofragens modulares em EPS durante a estação de aquecimento (Inverno) conseguem ganhos energéticos muito significativos, comparativamente a uma construção tradicional com uma inércia térmica forte, pois todo o calor resultante de insolação e mesmo da própria ocupação fica acumulado no interior do edifício, contribuindo dessa forma para diminuir o gasto de energia em aquecimento.

Em contrapartida, na estação de arrefecimento (verão) esta capacidade de acumular todo o calor no ambiente interior do edifício e a baixa capacidade em dissipá-lo fará com que possa surgir um sobreaquecimento, principalmente ao meio dia quando a insolação é mais intensa. O sobreaquecimento faz com que os gastos de energia para arrefecimento aumentem consideravelmente, comparativamente a uma construção com inércia térmica forte, que consegue absorver grande parte do calor interior em excesso (PIEADADE *et. al.*, 2003).

À primeira vista dá a entender que para determinar e classificar a inércia térmica de um edifício construído em cofragens modulares em EPS, segundo o RCCTE (2006), este vai ser sempre classificados com inércia térmica fraca, mas não é bem assim, pois a inércia térmica de um edifício não é só quantificada pelas paredes mas sim pelo seu todo.

Normalmente, no cálculo da inércia térmica de um edifício construído com cofragens modulares em EPS, nunca se considera a inércia térmica da envolvente do edifício, por ser construída com cofragens modulares em EPS, nem as paredes interiores, pois, normalmente, estas ou são construídas com cofragens modulares ou em gesso cartonado. No entanto, as lajes e pavimentos, podem considerar-se no cálculo da inércia térmica, desde que estas não tenham nenhum recobrimento que se possa considerar isolante térmico.

Por exemplo, se utilizarmos as cofragens de lajes normalmente fornecidos pelos fabricantes para os pisos intermédios, que são cofragens perdidas em EPS reforçadas interiormente em aço, estas proporcionam um isolamento térmico contínuo na face inferior da laje e como tal, não se pode contabilizar a inércia térmica na sua face interior, no entanto, pode contabilizar-se para os cálculos a parte superior desta.

Considerando a utilização dessas cofragens consegue-se obter através do pavimento, dependendo do revestimento escolhido, uma massa superficial útil (M_{si}) de 150 kg/m^2 segundo o RCCTE (2006). Como a área da superfície interna do elemento (S_i)

é igual à área útil de pavimento (A_p), obtém-se uma inércia térmica de 150 kg/m^2 . Logo, pelas três classificações do RCCTE, obtém-se uma inércia térmica média ($150 \leq I_t \leq 400 \text{ [kg/m}^2\text{]}$) (ver **Quadro 3.1**). Para se obter um valor sem estar no limite mínimo pode optar-se por utilizar lajes tradicionais sem o isolamento térmico na face inferior conseguindo-se assim atingir valores até aos 300 kg/m^2 nos pisos intermédios.

A classificação máxima que este tipo de solução construtiva irá atingir, em todos os casos, será de inércia térmica média.

É importante tentar atingir o valor máximo de inércia térmica de modo a minimizar os efeitos negativos desta solução construtiva durante a estação de arrefecimento (Verão).

De salientar que, relativamente às cofragens modulares em EPS, não foi possível fazer um estudo para todos os fabricantes existentes no mercado e, uma vez que estes não apresentam grandes diferenças entre eles, optei por escolher como referência o sistema de cofragem da Argisol[®]. Esta escolha deve-se ao facto de a Argisol[®] ser uma empresa alemã especializada na produção deste tipo de cofragens e de eu ter tido a oportunidade de observar e analisar pessoalmente a aplicação desta cofragem durante o meu estágio em Berlim.

A Argisol[®] oferece duas dimensões para a espessura de parede: uma com 35cm de espessura e outra com 25cm de espessura. A parede com 35cm de espessura proporciona um coeficiente de transmissão térmica superficial (U) de $0,15 \text{ W/m}^2\text{.}^\circ\text{C}$ e a parede com 25cm de espessura proporciona um coeficiente de transmissão térmica superficial (U) de $0,27 \text{ W/m}^2\text{.}^\circ\text{C}$. Entre as duas espessuras disponíveis optei pela espessura de 25cm por não variar muito comparativamente aos outros fabricantes que, por norma, também oferecem esta espessura e com um valor de U equivalente.

4.2 Descrição do edifício em estudo.

Para a verificação do comportamento térmico foi escolhido para objecto de estudo um edifício de habitação de tipologia T5, composta por dois pisos:

- Piso 0: sala, cozinha, três quartos, uma instalação sanitária completa e uma de apoio e logradouro.
- Piso1: entrada e escada de acesso ao piso 1, hall, dois quartos, sala, cozinha e terraço.

O edifício é constituído por uma cobertura invertida com laje maciça em betão armado com 20cm de espessura e com isolamento térmico de 4cm em XPS na zona do terraço. A cobertura inclinada tem uma laje de esteira maciça em betão armado com 20cm de espessura e com 4cm de isolamento térmico em XPS, sendo que o sótão é não habitável. As restantes lajes são maciças em betão armado também com 20cm de espessura.

Os envidraçados exteriores são constituídos por vidro duplo (5+6+5mm) e caixilharia em PVC.

Para uma melhor visão e compreensão sobre o edifício de habitação em estudo, ver o **Anexo VIII** que contém o projecto de arquitectura do edifício.

4.2.1 Acabamentos

Ao nível de acabamentos exteriores prevê-se, para as paredes, o reboco pintado a cor branca, com socos e molduras dos vãos em reboco pintado de cor ocre. O telhado será de duas águas, revestidas a telha cerâmica, do tipo Lusa à cor natural, com beirado em telha de remate em meia cana, conforme o pormenor que se apresenta no **Anexo VIII**. As caixilharias são em PVC, de cor verde escura para os aros e branco para os batentes. As portas de entrada das habitações são completamente verdes. Os vãos serão protegidos interiormente, com portadas em PVC de cor branca.

No interior, as paredes e os tectos serão rebocados e pintados a tinta plástica, com excepção da cozinha e das instalações sanitárias, cujas paredes serão revestidas com azulejo e barras decorativas, sendo os tectos pintados a tinta plástica, com aditivo antifungo. Os pavimentos são revestidos com mosaico cerâmico.

4.2.2 Sistemas de aquecimento e de arrefecimento do edifício de habitação

Como sistema de aquecimento de águas sanitárias, foi considerado o uso de termoacumulador eléctrico com pelo menos 100mm de isolamento térmico e com eficiência de conversão (η_a) igual a 0,95. Relativamente ao sistema de aquecimento e de arrefecimento da habitação, foi considerado o uso de um sistema com resistência eléctrica, com eficiência nominal (η) de 1,00 e um sistema de máquina frigorífica com $\eta = 3,00$. Estes sistemas foram escolhidos, porque sempre que um edifício não tem previstos os sistemas de aquecimento e de arrefecimento do ambiente, considera-se, que o

aquecimento é obtido recorrendo a uma resistência eléctrica e o arrefecimento a uma máquina frigorífica com eficiência (COP) igual a 3.

4.3 Aplicação do RCCTE – Decreto-lei n.º80/2006

4.3.1 Caracterização geométrica

A caracterização geométrica resulta do levantamento dimensional do projecto de arquitectura, que se encontra discriminado no **Anexo VIII**.

Os valores que se apresentam de seguida são os necessários para a verificação dos requisitos mínimos de qualidade térmica e o cálculo dos índices térmicos fundamentais: necessidades nominais anuais, de energia útil de aquecimento, de arrefecimento, para a produção de águas quentes sanitárias e necessidades globais de energia primária.

4.3.1.1 Área útil e pé direito

De acordo com o projecto de arquitectura, a área útil do pavimento é de 171,05 m² e o pé direito é de 2,60m.

4.3.1.2 Envolvente do edifício de habitação

Para a determinação geométrica da envolvente do edifício de habitação, como já foi mencionado anteriormente, foi utilizado o projecto de arquitectura, sendo que todas as plantas são apresentadas no **Anexo VIII**. Os valores obtidos e necessários para a aplicação do RCCTE relativos à influência das transmissões térmicas e das pontes térmicas lineares são apresentados, na secção 6.3.2 no quadro 1 e na secção 6.3.3 no quadro 2 do RCCTE.

4.3.2 Coeficientes de transmissão térmica superficial

Os coeficientes de transmissão térmica superficial (U), da envolvente do edifício foram retirados da publicação do LNEC, a ITE 50 (SANTOS; MATIAS, 2008). Com excepção do coeficiente de transmissão térmica superficial das paredes em cofragem modular em EPS, que foi retirado dos dados relativos aos sistemas de cofragem da Argisol[®] (2010).

4.3.2.1 Pavimento sobre área não útil

Relativamente aos pavimentos sobre áreas não úteis, em ambos os edifícios, considera-se apenas as escadas, sendo estas maciças em betão armado e isoladas

inferiormente com 4cm de XPS. O coeficiente de transmissão térmica superficial toma o valor de $U = 0,7 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ (Quadro II.8 – ITE 50).

4.3.2.2 Paredes exteriores

Para as paredes exteriores, no caso das paredes com cofragens modulares em EPS, utilizou-se um coeficiente de transmissão térmica superficial, igual a $0,27 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ segundo os dados da Argisol[®] (2010).

Quanto às paredes de alvenaria dupla, foi considerado que estas são constituídas por dois panos em alvenaria de tijolo, ambas com 11cm de espessura e caixa-de-ar completamente preenchida, com 4cm de isolamento térmico em XPS. O coeficiente de transmissão térmica superficial vai ser de $0,55 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ (Quadro II.5 – ITE 50).

4.3.2.3 Cobertura

As coberturas serão iguais nos dois edifícios. Ter-se-á uma cobertura inclinada com desvão ventilado e uma cobertura invertida na zona do terraço.

A cobertura invertida na zona do terraço é constituída por laje maciça em betão armado com 20cm de espessura e isolamento térmico em XPS com 4cm. O coeficiente de transmissão térmica superficial é de $0,68 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ (Quadro II.14 – ITE 50).

A cobertura inclinada tem desvão fortemente ventilado e, sobre a laje de esteira, existe uma camada de isolante térmico com 4cm de espessura. A laje de esteira é uma laje maciça em betão armado com 20cm de espessura. O seu coeficiente de transmissão térmica superficial é igual a $0,73 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ (Quadro II.19 – ITE 50).

4.3.2.4 Vãos envidraçados

Os vãos envidraçados adoptados, em ambos os edifícios, têm caixilharia em PVC, caixilho com quadrícula, possuem vidros duplos com 5mm de espessura cada e a espessura da lâmina de ar é de 6mm. Também se considerou, que os vãos estão munidos de dispositivos de oclusão nocturna constituídas por cortinas interiores opacas. Assim, o coeficiente de transmissão térmica superficial é igual a $2,9 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ (Quadro III.3 – ITE 50).

Quadro 4. 1 – Áreas e valores de coeficiente de transmissão térmica, para cada elemento da envolvente.

ELEMENTOS CORRENTES DA ENVOLVENTE		A (m ²)	U (W/m ² .°C)	
			Cof. Modular	Parede Dupla
PAVIMENTOS	Sobre área não útil	6,15	0,7	0,7
PAREDES	Exterior (total)	69,86	0,27	0,55
COBERTURA	Terraço	15,32	0,68	0,68
	Desvão ventilado	77,9	0,73	0,73
VÃOS ENVIDRAÇADOS		19,92	2,9	2,9

4.3.3 Coeficiente de transmissão térmica linear

Os coeficientes de transmissão térmica linear (Ψ) foram todos retirados do RCCTE, da tabela IV.2.1, para os pavimentos em contacto com o solo, e da tabela IV.3 para as pontes térmicas lineares.

De referir que, o RCCTE não possui valores de coeficientes de transmissão térmica linear (Ψ) para soluções construtivas como as cofragens modulares em EPS, ou seja, para paredes com isolamento térmico em ambas as faces (exterior e interior). Nestes casos, onde os valores de Ψ não estão considerados no regulamento, pode utilizar-se um valor convencional de $\Psi = 0,5 \text{ W/m} \cdot \text{°C}$ segundo o RCCTE ou utilizar a norma EN ISO 10211-1⁹.

A norma EN ISO 10211-1¹⁶ indica a forma de modelar pontes térmicas em programas numéricos de diferenças ou elementos finitos, e a correspondente forma de cálculo do coeficiente Ψ a partir da utilização de programas desse tipo.

No entanto, não foi possível ter acesso a programas que permitissem modelar as pontes térmicas e se utilizarmos o valor de $\Psi = 0,5 \text{ W/m} \cdot \text{°C}$, para todas as pontes térmicas lineares referentes às cofragens modulares em EPS, estamos a penalizar em demasia o desempenho térmico desta solução construtiva. Então a solução encontrada passa por utilizar os valores de Ψ referentes as paredes isoladas apenas pelo exterior, pois, não estando correcto, é a que apresenta valores de Ψ mais baixos e desse modo mais próximos dos valores de Ψ reais das cofragens modulares.

Optando por esta solução, de se utilizarem os valores de Ψ referentes às paredes isoladas pelo exterior, não se está a inventar valores nem a favorecer a solução construtiva com cofragens modulares em EPS, antes pelo contrário, pois os valores de Ψ

⁹ European Standard EN ISO 10211-1:1995 – *Thermal bridges in building construction: Heat flows and surface temperatures – Part 1: General calculation methods*. s.l.: CEN, 1995.

de uma parede construída com este sistema deveriam ser mais baixos por proporcionarem paredes isoladas tanto pelo exterior como pelo interior.

De salientar ainda que, quando se utilizaram os quadros referentes às paredes isoladas pelo exterior, estes consideram 15cm como espessura mínima para as paredes isoladas pelo exterior, sem contar com a espessura do isolamento térmico. Como já foi referido anteriormente, o núcleo de betão das cofragens modulares em EPS tem espessura de apenas 13,3cm, novamente para não se está a inventar um valor, utilizou-se o valor referente à menor espessura existente no regulamento de 15cm.

4.3.3.1 Pavimento em contacto com o solo

Considerou-se que o pavimento em contacto com o solo, não possui isolamento térmico e tem altura (Z) entre 0,05m e 1,5m. Assim, segundo o RCCTE tem-se que $\Psi = 2,5 \text{ W/m}^\circ\text{C}$.

4.3.3.2 Fachada com pavimento

Nas ligações das fachadas com os pavimentos, considerou-se dois tipos de ligações: ligação de fachada com o pavimento térreo e ligação de fachada com o pavimento intermédio.

Para a ligação da fachada com o pavimento térreo considerou-se que a altura (Z) está entre 0m a +0,40m e a espessura da laje de fundação tem 20cm de espessura assim, segundo o RCCTE, no caso das paredes de alvenaria dupla, obtém-se um valor de $\Psi = 0,5 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ e nas cofragens modulares em EPS um valor de $\Psi = 0,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$.

Para a ligação da fachada com pavimento intermédio considerou-se uma espessura de 20cm para o pavimento intermédio. Segundo o RCCTE, no caso das paredes de alvenaria dupla, obtém-se um valor de $\Psi = 0,2 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ e no caso das cofragens modulares em EPS obtemos um valor de $\Psi = 0,1 \text{ W/m}^\circ\text{C}$.

4.3.3.3 Fachadas com cobertura, varanda e peitoril / padieira

Na ligação da fachada com cobertura ou terraço obtém-se, segundo o RCCTE, um valor de $\Psi = 0,6 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ para as paredes de alvenaria dupla e um valor de $\Psi = 0,45 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ para as cofragens modulares em EPS, considerando-se as lajes com 20cm de espessura

Quanto à ligação da fachada com varanda, considerando a espessura de laje de 20cm, obtém-se um valor de $\Psi = 0,4 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ para as paredes de alvenaria dupla, com as

espessuras das paredes compreendidas entre 22cm e 30cm e um valor de $\Psi = 0,45$ para as cofragens modulares em EPS, para espessuras de paredes compreendidas entre 15cm e 22cm.

Por fim, na ligação da fachada com os peitoris/padieiras considerou-se um valor de $\Psi = 0 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$, para ambas as soluções construtivas, isto porque, no caso das cofragens modulares, os vãos estão completamente isolados termicamente com EPS e nas paredes de alvenaria dupla o isolamento térmico está a complanar com a caixilharia.

4.3.3.4 Ligação entre duas paredes verticais

Nas ligações entre duas paredes verticais, as paredes de alvenaria dupla vão ter um valor de $\Psi = 0,2 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$ e as cofragens modulares em EPS vão ter um valor de $\Psi = 0,1 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$.

Quadro 4. 2 – Comprimentos e valores dos coeficientes de transmissão térmica linear.

PONTES TÉRMICAS		comp. (m)	$\Psi \text{ (W/m.}^\circ\text{C)}$	
			cof. Modular	Parede dupla
PAVIMENTOS EM CONTACTO COM O SOLO		22,92	2,5	2,5
FACHADA COM PAVIMENTO	Térreo	22,92	0,3	0,5
	Intermédio	16,16	0,1	0,2
FACHADA COM	Cobertura	25,96	0,45	0,6
	Varanda	2,8	0,45	0,4
	Peitoril / padieira	67,6	0	0
LIGAÇÃO ENTRE DUAS PAREDES VERTICAIS		5,2	0,1	0,2

4.3.4 Coeficiente de redução das perdas térmicas para locais não-aquecidos (τ)

Para fins regulamentares, os valores de coeficientes de redução das perdas térmicas para locais não-aquecidos (τ), encontram-se definidos em função do tipo de espaço não útil e da razão entre a área do elemento que separa o espaço útil interior do espaço não útil (A_i) e em função da área que separa o espaço não útil do ambiente exterior (A_u) (Tabela IV.1 – RCCTE).

Nestes edifícios, existem dois espaços não útil, são estes as escadas e a cobertura em desvão, não-habitado e fortemente ventilado. onde se considera o valor de $\tau = 1$.

4.3.5 Factor de Forma – FF

O factor de forma (FF) de uma fracção autónoma, define-se como o quociente entre o somatório das superfícies da envolvente exterior (A_{ext}) e da envolvente interior (A_{int}), através das quais se verificam as trocas de calor e o volume útil interior (V) e traduz a compacidade dessa fracção. Cada elemento da envolvente interior deverá ser afectado do coeficiente τ , correspondente ao espaço não-útil adjacente (Anexo IV, Tabela IV.1 – RCCTE) (CAMELO *et. al.*, 2006).

A determinação do Factor de Forma (FF) inclui todos os elementos da envolvente, tanto exterior como interior, de acordo com a expressão seguinte.

$$FF = [(\sum A_{ext}) + \sum_i (\tau * A_{int})_i] / V$$

Para o mesmo volume interior, valores de FF elevados implicam necessariamente maiores áreas de perda de calor exigindo portanto, para um mesmo clima, mais dispêndio de energia para aquecimento (CAMELO *et. al.*, 2006).

O cálculo do FF, para o edifício considerado, é apresentado nas Folhas de cálculo IV.1f, no **Anexo III**, sendo o seu valor igual a 0,43. Este valor é igual tanto para o edifício construído com cofragens modulares em EPS como para o edifício construído com paredes de alvenaria dupla, pois ambos os edifícios são idênticos geometricamente.

4.3.6 Taxa de renovação horária nominal

Para a taxa de renovação horária nominal, considerou-se que o edifício está em conformidade com a NP 1037-1:2002¹⁰, logo, determinou-se que a taxa nominal de renovação horária do ar interior (RPH) é igual a 0,6.

4.3.7 Ganhos e perdas solares

Neste ponto procura-se apresentar os valores considerados de factor solar para cada vão envidraçado, tanto para as estações de aquecimento como para a estação de arrefecimento, assim como, a zona climática, os valores de graus dias, duração da estação de aquecimento, energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a sul na estação de aquecimento (G_{sul}) e os valores médios da temperatura do ar exterior e

¹⁰ NP 1037-1:2002 – Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás. “Parte 1: Edifícios de habitação. Ventilação natural”.

da intensidade da radiação solar, para a estação convencional de arrefecimento (Junho a Setembro), tanto para os vãos envidraçados exteriores, como para a envolvente opaca.

Os factores solares foram considerados iguais para todas as localidades escolhidas, sendo que as alterações de localidade para localidade incidem nas diferentes zonas climáticas, no número de graus dias e na duração da estação de aquecimento estabelecidas no Quadro III.1 do RCCTE para Portugal continental.

No caso dos arquipélagos utiliza-se, em vez do Quadro III.1, o ponto 1.3 juntamente com o Quadro III.4 para a Região Autónoma dos Açores e o ponto 1.4 com o Quadro III.6 para a Região Autónoma da Madeira estando ambos no Anexo III do RCCTE.

Também há alterações na energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a sul na estação de aquecimento (G_{sul}) através do quadro III.8 do RCCTE e dos valores médios da temperatura do ar exterior e da intensidade da radiação solar para a estação convencional de arrefecimento (Junho a Setembro) segundo o Quadro III.9 do RCCTE.

Importante mencionar que o RCCTE prevê acertos consoante a altitude do local em estudo. Assim sendo, foi necessário fazer um acerto para a cidade da Guarda, pelo facto desta se situar a cerca de 1056m de altitude e segundo o Quadro III.2 do RCCTE, aumentou-se os graus dias, de 2500°C.dias do concelho para 2956°C.dias, por se situar acima dos 1000m de altitude.

São apresentados, de seguida, no **Quadro 5.3**, os valores adoptados para as localidades consideradas.

Quadro 4. 3 – Dados específicos de cada localidade em estudo.

Localidade	Zona Climática	Graus Dias	Duração da estação de aquecimento (Meses)	G_{sol} (kWh/m ² .mês)	θ_{atm} (°C)	Intensidade média da radiação solar durante a estação convencional de arrefecimento (kWh/m ²)				
						NW	SE	NE	Horiz.	
Cascais	I1V1 Sul	1230	6	108	21	320	430	310	760	
Aveiro	I1V1 Norte	1390	6	108	19	300	430	300	730	
Faro	I1V2 Sul	1060	4,3	108	23	340	460	340	820	
Santa Comba Dão	I1V2 Norte	1420	7,3	108	19	320	470	320	790	
Évora	I1V3 Sul	1390	5,7	108	23	330	460	330	820	
Leiria	I2V1 Norte	1610	6	93	19	300	430	300	730	
Guimarães	I2V2 Norte	1770	7	93	19	320	470	320	790	
Sertã	I2V3 Norte	1980	6,3	93	22	320	460	320	800	
Portalegre	I2V3 Sul	1740	6,7	93	23	330	460	330	820	
Guarda	I3V1 Norte	2956	8	90	19	300	430	300	730	
Góis	I3V2 Norte	2190	6,7	90	19	320	470	320	790	
Alijó	I3V3 Norte	2500	7	90	22	320	460	320	800	
Açores	50m	I1V1	725	4	70	21	270	370	270	640
	100m	I1V1	800	4	70	21	270	370	270	640
	250m	I1V1	1025	5,5	70	21	270	370	270	640
	500m	I1V1	1400	8	70	21	270	370	270	640
	1000m	I2V1	2150	8	50	21	270	370	270	640
Madeira	50m	I1V1	170	0,3	100	21	300	380	300	700
	100m	I1V1	290	0,3	100	21	300	380	300	700
	250m	I1V1	650	2,23	100	21	300	380	300	700
	500m	I1V1	1180	5,43	100	21	300	380	300	700
	1000m	I2V1	1980	8	80	21	300	380	300	700

4.3.7.1 Factor solar do vão envidraçado – g_{\perp}

4.3.7.1.1 Estação de aquecimento

Para o factor solar dos vãos envidraçados, na estação de aquecimento, admite-se que as cortinas opacas, que protegem estes vãos interiormente, encontram-se geralmente abertas durante o dia para otimizar a captação dos ganhos solares. Segundo o RCCTE, para o sector residencial, determina-se o factor solar (g_{\perp}) dos vãos envidraçados, admitindo que todos os vãos envidraçados estão protegidos pelo menos com cortinas interiores, muito transparentes de cor clara, durante toda a estação de aquecimento. Para estes vãos é adoptado o valor de g_{\perp} igual a 0,63 (vidro duplo incolor – RCCTE, Anexo IV, secção 4.3.2).

4.3.7.1.2 Estação de arrefecimento

Na estação de arrefecimento o regulamento prevê que o factor solar dos vãos envidraçados seja obtido através da seguinte expressão: $g_{\perp} = 0,70 * g_{\perp}' + 0,30 * g_{\perp v}$; g_{\perp}' é o factor solar do vão envidraçado com protecção solar activa a 100% (Quadro V.4 do RCCTE, para soluções correntes de dispositivos de protecção solar) e $g_{\perp v}$ é o factor solar do vão envidraçado sem qualquer dispositivo de protecção solar (Tabela IV.4.1 do RCCTE para soluções correntes de vidro). Assim, para os vãos envidraçados deste edifício $g_{\perp} = 0,70 * 0,35 + 0,30 * 0,75$, ou seja, g_{\perp} é igual a 0,47.

4.3.7.2 Factor de obstrução – F_s

O factor de obstrução (F_s) representa a redução da radiação solar, incidente no vão envidraçado, devido ao sombreamento permanente causado por diferentes obstruções exteriores ao edifício ou com origem em elementos do próprio edifício. O factor de obstrução (F_s) é igual ao produto dos factores de sombreamento do horizonte por obstrução exteriores ao edifício ou por outros elementos do edifício (F_h), por elementos horizontais (F_o) e por elementos verticais (F_f), ou seja, traduz na seguinte expressão: $F_s = F_h * F_o * F_f$.

O efeito de sombreamento, de obstruções longínquas exteriores ao edifício ou por outros elementos do edifício, depende do ângulo do horizonte (α), sendo definido, de acordo com o texto regulamentar (RCCTE), como o ângulo entre o plano horizontal e a recta que passa pelo centro do envidraçado e pelo ponto mais alto da maior obstrução

existente, entre dois planos verticais que fazem 60° para cada um dos lados da normal, ao envidraçado.

4.3.7.2.1 Estação de aquecimento

Tal como foi referido e de acordo com o texto regulamentar, F_h é obtido a partir do maior ângulo horizontal mas, pelo facto de não existirem dados, por defeito, adoptou-se o ângulo de 45°, valor imposto pelo RCCTE para zonas urbanas quando houver falta de informação disponível, para os envidraçados nos octantes NW e NE (1-NW, 2-NW, 6-NE e 7-NE). Para os envidraçados do octante SE (3-SE, 4-SE e 5-SE) considerámos o ângulo de Horizonte de 0° por não existir obstrução.

Na ausência de qualquer tipo de pala (vertical/horizontal), de acordo com o RCCTE – Anexo IV, secção 4.3.3, alínea b), contabiliza-se o efeito de sombreamento de contorno desses vãos, pelo que o produto dos factores $F_o * F_f$ deverá ser igual a 0,90, nomeadamente nos envidraçados 1-NW, 2-NW e 3-SE.

Quanto aos envidraçados 4-SE devido à presença de uma pala horizontal (Varanda), após medições usou-se o ângulo para a pala de 30° e nos restantes optou-se pelo ângulo de 0°, por não estarem afectados por palas horizontais (5-SE, 6-NE e 7-NE). Quanto ao F_f destes últimos envidraçados, por estarem afectados por duas palas verticais (muro), adoptou-se o ângulo de 30° para os envidraçados 4-SE e 5-SE e um ângulo de 45° para os envidraçados 6-NE e 7-NE. A numeração dos envidraçados está no **Anexo IV** nos projectos de arquitectura.

4.3.7.2.2 Estação de arrefecimento

O factor de sombreamento do horizonte F_h é igual a 1, de acordo com a metodologia adoptada no RCCTE (Anexo V, secção 2.3). Tal como na estação de aquecimento para a inexistência de palas (verticais/horizontais) considera-se $F_o * F_f$ igual a 0,90, como no caso dos envidraçados 1-NW, 2-NW e 3-SE. Para os restantes consideraram-se os mesmos ângulos mencionados, na estação de aquecimento.

Quadro 4. 4 – Valores para o cálculo do factor de obstrução.

Orientação	Ângulos	Inverno	Verão
1-NW	$\alpha_h=45^\circ$;	$F_h=0,8; F_0 * F_f=0,9$	$F_h=1; F_0 * F_f=0,9$
2-NW	$\alpha_h=45^\circ$;	$F_h=0,8; F_0 * F_f=0,9$	$F_h=1; F_0 * F_f=0,9$
3-SE	$\alpha_h=0^\circ$;	$F_h=1; F_0 * F_f=0,9$	$F_h=1; F_0 * F_f=0,9$
4-SE	$\alpha_h=0^\circ; \alpha_0=30^\circ; \alpha_f=30^\circ$	$F_h=1; F_0=0,76; F_f=0,88$	$F_h=1; F_0=0,68; F_f=0,91$
5-SE	$\alpha_h=0^\circ; \alpha_0=0^\circ; \alpha_f=30^\circ$	$F_h=1; F_0=1; F_f=0,88$	$F_h=1; F_0 * F_f=0,9$
6-NE	$\alpha_h=45^\circ; \alpha_0=0^\circ; \alpha_f=45^\circ$	$F_h=0,8; F_0=1; F_f=0,84$	$F_h=1; F_0=1; F_f=0,78$
7-NE	$\alpha_h=45^\circ; \alpha_0=0^\circ; \alpha_f=45^\circ$	$F_h=0,8; F_0=1; F_f=0,84$	$F_h=1; F_0=1; F_f=0,78$

4.3.7.3 Factor de correcção de selectividade angular dos envidraçados – Fw

4.3.7.3.1 Estação de aquecimento

O factor de correcção de selectividade angular Fw, na estação de aquecimento, toma o valor de 0,90, para os vidros correntes duplos (Anexo IV do RCCTE, secção 4.3.5).

4.3.7.3.2 Estação de arrefecimento

De acordo com o quadro V.3 do anexo V do RCCTE, em função da orientação e do tipo de vidro (simples ou duplo), fica definido este factor na situação de Verão. Para envidraçados, constituídos por vidro duplo, com as orientações NW, NE e SE, o valor de Fw é igual a 0,85.

4.3.7.4 Fracção envidraçada – Fg

Para os vãos envidraçados, com caixilharias em PVC e caixilhos com quadrículas, Fg toma o valor igual a 0,57, tanto para a estação de aquecimento, como para a estação de arrefecimento (RCCTE, Anexo IV, Quadro IV.5).

5. Análise comparativa entre um edifício construído com cofragens modulares em EPS e um edifício construído com paredes de alvenaria dupla.

A aplicação do RCCTE no edifício construído com cofragens modulares em EPS e no edifício construído com paredes de alvenaria dupla, através das folhas de cálculo disponíveis no **Anexo VI**, resulta na determinação das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (Nic), necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (Nvc), necessidades globais de energia primária (Ntc) e necessidades nominais anuais para produção de águas quentes sanitárias (Nac), para ambos os edifícios e para qualquer localidade considerada.

Os valores de Nic, Nvc, Ntc e Nac irão ser os objectos de comparação entre o edifício construído com cofragens modulares em EPS e o edifício construído com paredes de alvenaria dupla. Contudo, não se fará a comparação dos valores de Nac entre os edifícios, pois todos os valores de Nac obtidos, independentemente do edifício e do local escolhido, terão valor constante de 28,21 kWh/m².ano por se considerar sempre o uso de termoacumulador eléctrico, com pelo menos 100mm de espessura de isolamento térmico. Assim a análise de resultados, remete apenas para os valores de Nic, Nvc e Ntc.

Antes de se poder começar a análise dos resultados obtidos, é importante ter em atenção que quando se aplicou o RCCTE nos dois edifícios, um construído com cofragem modular em EPS e outro com paredes de alvenaria dupla, ambos cumpriram as verificações existente nas folhas de cálculo de aplicação do RCCTE (**Anexo VI**) em qualquer das localidades consideradas, ou seja, $Nic \leq Ni$, $Nvc \leq Nv$, $Nac \leq Na$ e $Ntc \leq Nt$, onde Ni é as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento máximas, Nv é as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento máximas, Nt é as necessidades globais de energia primária máximas e Na é as necessidades nominais anuais para produção de águas quentes sanitárias máximas.

5.1 Portugal Continental

Foram escolhidas, para Portugal Continental, cidades que abrangem todas as combinações possíveis de zonas climáticas de Inverno e de Verão, tanto no Norte como no Sul de Portugal. Os resultados obtidos para as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (Nic) e para arrefecimento (Nvc), assim como das necessidades globais de energia primária (Ntc), de um edifício construído com cofragens modulares em

EPS e de um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, são apresentadas no **Anexo III no Quadro III.1.**

Para uma melhor compreensão e visualização dos resultados obtidos, estes serão representados graficamente de seguida.

Analisando o **Gráfico 5.1**, verifica-se que as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (Nic) aumenta de zona climática de Inverno mais baixa I1, para a maior I3, ou seja, os valores de Nic das zonas I3, são maiores do que as zonas I2 e os valores da zona I2 são maiores do que os da zona I1.

Um factor que salta logo à vista quando se analisa o **Gráfico 5.1** é que para a mesma zona climática de Inverno existem grandes diferenças de Nic, independentemente da zona de Verão. São, por exemplo, Aveiro e Évora comparativamente com os outros locais pertencentes a zona I1, Sertã comparativamente aos restantes locais pertencentes a zona I2 e entre todas as localidades da zona I3 que têm todas grandes diferenças de valor de Nic.

Estas diferenças acontecem, sobretudo devido aos números de graus dias e à duração da estação de aquecimento de cada local. Segundo o RCCTE os números de graus dias estão relacionados com a determinação das perdas pela envolvente e renovação de ar. E a duração da estação de aquecimento esta relacionada com a determinação dos ganhos solares.

As perdas pela envolvente são tanto maiores quanto maior for o número de grau dias e os ganhos solares são tanto maiores quanto maior for a duração da estação de aquecimento.

Isto é, se compararmos o número de graus dias e a duração da estação de aquecimento das localidades classificadas na zona I1, por exemplo, temos no **Quadro 5.1.**

Quadro 5. 1 – Comparação de graus dias e duração da estação de aquecimento, entre Cascais, Aveiro, Faro e Santa Comba Dão.

Localidade	Graus Dias (°C.dias)	Duração da estação de aquecimento (Meses)
Aveiro	1390	6
Cascais	1230	6
Évora	1390	5,7
Faro	1060	4,3
Santa Comba Dão	1420	7,3

Tomando Aveiro como objecto de comparação, por ser a melhor localidade para justificar a influência do número de graus dias e a duração da estação de aquecimento, pois esta tem o número de graus dias igual a Évora e a duração da estação de aquecimento igual a Cascais. Verificamos que Aveiro face a Cascais ambas têm ganhos solares equivalentes, por terem a duração da estação de aquecimento igual, sendo a diferença relacionada com o número de graus dias, onde se constata que, no **Quadro 5.1**, Aveiro tem maiores perdas térmicas (+160°C.dias), logo tem maiores necessidades nominais anuais de energia útil de aquecimento (Nic).

Face a Évora, Aveiro tem o mesmo número de graus dias mas a duração da estação de aquecimento é ligeiramente maior (+0,3meses), ou seja, tem mais ganhos solares e como tal tem valor de Nic um pouco menor.

Quanto a Faro, pela duração da estação de aquecimento, Aveiro tem maiores ganhos solares (+1,7meses) mas em contrapartida vai ter perdas térmicas muito mais elevadas, pela grande diferença do número de graus dias (+370°C.dias), fazendo com que o valor de Nic seja maior do que em Faro, mesmo tendo maiores ganhos solares.

Por último, a comparação de Aveiro com Santa Comba Dão é o inverso da comparação com Faro, ou seja, Aveiro tem menores perdas térmicas pela pequena diferença do número de graus dias (-30°C.dias), mas em contrapartida, pela duração de aquecimento, tem ganhos solares muito inferiores (1,3meses) daí o valor de Nic ser maior.

Para as restantes zonas I2 e I3 a razão da diferença de Nic, entre a mesma zona climática de Inverno, é idêntica. De salientar apenas que, a Guarda apresenta perdas pela envolvente elevadas, face às restantes localidades, devido ao facto de se situar a uma

altitude de 1056m aproximadamente e, cumprindo o RCCTE, teve de se aumentar o número de graus dias passando dos 2500°C.dias do Quadro III.1 do RCCTE para 2956°C.dias, pelo facto de se localizar a uma altitude superior a 1000m.

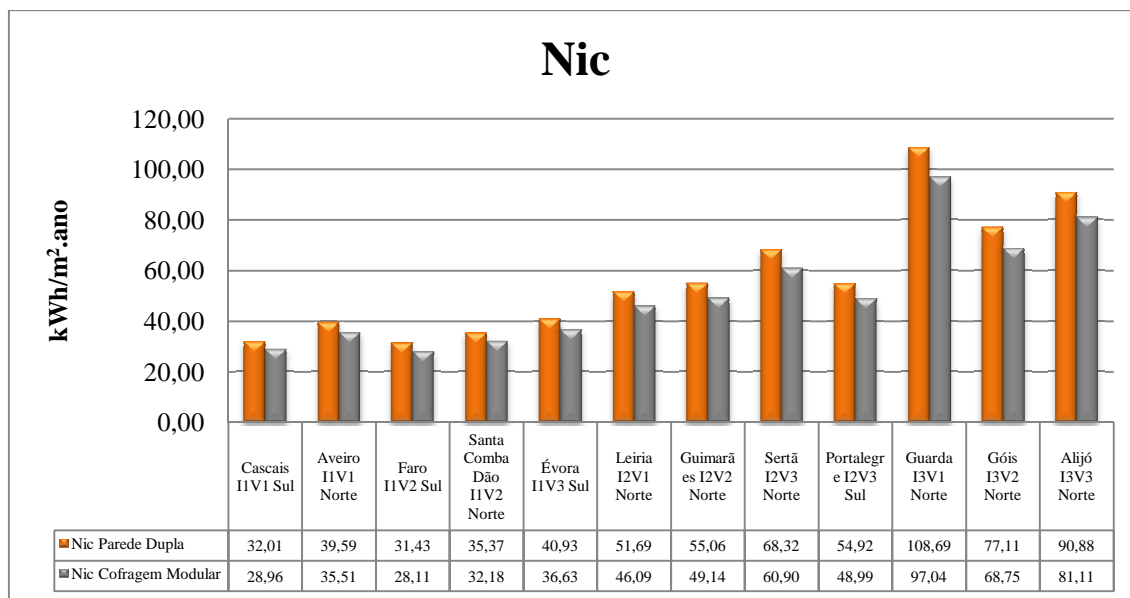


Gráfico 0.1 – Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento de um edifício construído com cofragens modulares em EPS e de um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, Portugal Continental.

Relativamente às necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N_{vc}), comparando os **Gráficos 5.1** e **5.2**, os valores de N_{vc} são muito inferiores aos valores de N_{ic} . Ao contrário do que acontece com N_{ic} , os valores de N_{vc} são semelhantes para a mesma zona climática de Verão.

Por exemplo, os locais classificadas como zonas climáticas de Verão V2 Norte, (Santa Comba Dão I1V2Norte, Guimarães I2V2Norte e Góis I3V2Norte), têm valores idênticos entre si, independentemente da zona climática de Inverno, isto porque os valores de N_{vc} dependem unicamente, desde que o edifício seja obviamente igual, dos valores médios da temperatura do ar exterior (θ_{atm}) e da intensidade média da radiação solar durante a estação convencional de arrefecimento (Junho a Setembro), estando estes dados no Quadro III.9 do RCCTE.

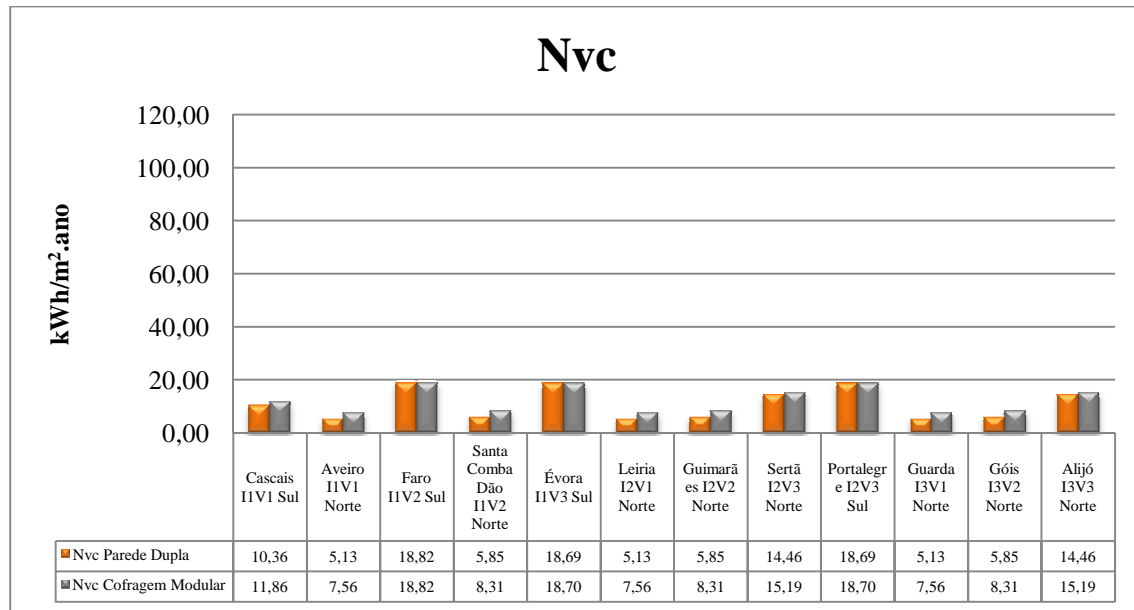


Gráfico 0.2 – Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento de um edifício construído com cofragens modulares em EPS e de um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, Portugal Continental.

No **Gráfico 5.3** apresentam-se as diferenças entre valores das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (ΔNic) e para arrefecimento (ΔNvc) relativa a um edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente a um edifício construído com paredes de alvenaria dupla.

Para tal, determinou-se a diferença entre Nic relativo ao edifício construído com cofragens modulares e o Nic relativo ao edifício construído com paredes de alvenaria dupla e a diferença entre o Nvc relativo ao edifício construído com cofragens modulares e o Nvc relativo ao edifício construído com paredes de alvenaria dupla, resultando assim ΔNic e ΔNvc , ou seja;

$$\Delta Nic = Nic_{\text{cofragem modular}} - Nic_{\text{parede dupla}}$$

$$\Delta Nvc = Nvc_{\text{cofragem modular}} - Nvc_{\text{parede dupla}}$$

Relativamente ao Nic , verifica-se que há sempre uma diminuição das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento por parte do edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente ao edifício construído com paredes de alvenaria dupla, qualquer que seja o local considerado.

Esta redução, pela diferença das necessidades de energia útil para aquecimento por parte do edifício construído com cofragens modulares em EPS (ΔNic), é tanto maior quanto maior for o Nic . Se compararmos o **Gráfico 5.1**, com o **Gráfico 5.3**, verifica-se

que a redução de N_{vc} , a vermelho no **Gráfico 5.3**, acompanha inversamente a tendência do **Gráfico 5.1**.

Quanto ao N_{vc} , este tem sempre um aumento das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento por parte do edifício construído com cofragens modulares em EPS. Como já foi mencionado anteriormente, o N_{vc} depende unicamente dos valores de temperatura do ar exterior (θ_{atm}) e da intensidade da radiação solar, para a estação convencional de arrefecimento (Junho a Setembro), estes dados encontram-se no Quadro III.9 do RCCTE.

Seria então de esperar que o aumento de consumo de energia por parte do edifício construído com cofragens modulares em EPS fosse maior nas localidades supostamente mais quentes, classificadas com zona climática de Verão V3 Sul ou V2 Sul como Évora, Faro ou Portalegre. Mas acontece o oposto, ou seja, são as zonas com Verão menos rigoroso, zona V1 Norte ou V2 Norte como Guarda ou Góis, que apresentam os maiores aumentos de N_{vc} por parte do edifício construído com cofragem modular comparativamente ao edifício construído com paredes de alvenaria dupla.

A razão para tal acontecer deve-se ao facto de a diferença de N_{vc} , entre o edifício construído com cofragens modulares em EPS e o edifício construído com paredes de alvenaria dupla, depender da diferença de temperatura entre a temperatura exterior (θ_{atm}) e interior do edifício em estudo. O RCCTE define para a estação de arrefecimento, uma temperatura média interior de 25°C para todas as regiões e define para cada zona climática de Verão, através do Quadro III.9 do RCCTE, a temperatura média exterior (θ_{atm}) variável de acordo com a localidade.

Se analisarmos Évora, sabendo que Évora está classificada como pertencendo a zona climática de Verão de V3 Sul e que segundo o Quadro III.9 do RCCTE, tem uma temperatura média exterior de 23°C. Logo, comparativamente com a temperatura média interior definida pelo RCCTE de 25°C, Évora tem uma diferença de temperatura muito baixa, de apenas 2°C e como tal a diferença de N_{vc} , entre o edifício construído com cofragens modulares em EPS e o edifício construído com paredes de alvenaria dupla é praticamente nula, o mesmo acontece com Faro e Portalegre.

Inversamente, se analisarmos por exemplo Aveiro, Leiria e Guarda, ambas classificadas como estando na zona V1 Norte, o RCCTE define para esta zona climática de Verão uma temperatura média exterior de 19°C, logo vamos ter uma diferença de

temperatura de 6°C e nestas condições verifica-se um aumento das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N_{vc}), por parte do edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente ao edifício construído com paredes de alvenaria dupla.

Assim sendo, as localidades mais penalizadoras para um edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente com um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, relativamente às necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N_{vc}), são as zonas V1Norte, V2 Norte e um pouco menos penalizadora a zona V1Sul.

Esta tendência deve-se, em grande parte, à inércia térmica das duas soluções em estudo, pois um edifício com baixa inércia térmica, como o proporcionado pelo uso de cofragens modulares em EPS, é mais sensível à diferenças de temperatura num curto espaço de tempo. Como já foi referido no secção 3.8.2, um edifício com baixa inércia térmica, a temperatura interior, tem tendência a acompanhar a temperatura exterior e, como tal, é necessário maior de energia para se conseguir manter uma temperatura estável no interior do edifício.

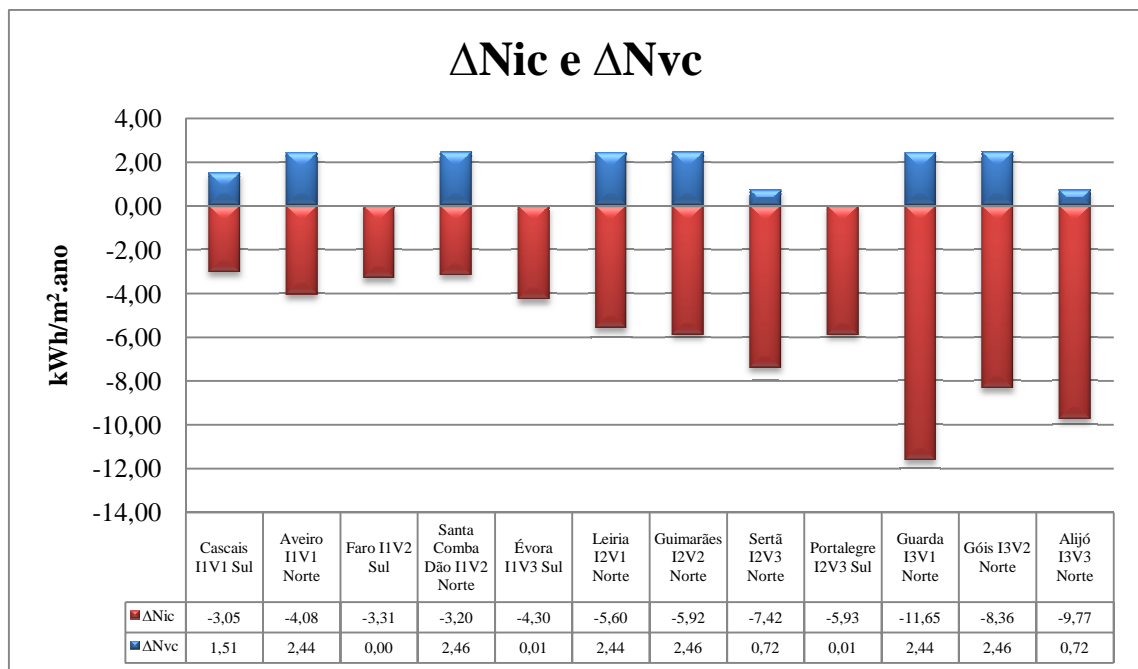


Gráfico 0.3 – Diferença das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (ΔN_{ic}) e para arrefecimento (ΔN_{vc}) de um edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente a um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, Portugal Continental.

O **Gráfico 5.4** apresenta as necessidades nominais anuais de energia útil para climatização de um edifício construído com cofragens modulares comparativamente a um edifício construído com paredes de alvenaria dupla.

Este gráfico resulta do somatório de ΔN_{ic} e ΔN_{vc} . Como se pode verificar o edifício construído com cofragens modulares em EPS têm uma redução efectiva das necessidades nominais anuais de energia útil para climatização comparativamente ao edifício construído com paredes de alvenaria dupla.

Os locais em que se verifica uma maior redução de energia são, a Guarda e Alijó. A menor redução energética é em Santa Comba Dão. A razão para tal acontecer deve-se sobretudo ao valor de ΔN_{vc} ser muito elevado, como já foi referido anteriormente, devido à grande diferença de temperatura entre a temperatura exterior (θ_{atm}) e interior e como o valor de ΔN_{ic} é dos mais baixos, por se situar numa zona I1, esta localidade apresenta uma redução das necessidades nominais anuais de energia para climatização menos acentuada.

As outras localidades, que também demonstraram uma redução de energia significativa, são: Cascais e Aveiro, pela mesma razão descrita acima para Santa Comba Dão. Assim sendo, as localidades que irão ter sempre uma redução energética mais baixa por parte de um edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente a um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, serão sempre as localidades classificadas como I1V1 Sul, I1V1 Norte e I1V2 Norte.

As localidades que apresentam maior redução das necessidades nominais anuais de energia útil para climatização, por parte de um edifício construído com cofragens modulares, são as localidades classificadas como I2V3Norte, I2V3Sul, I3V1Norte, I3V2Norte e I3V3Norte.

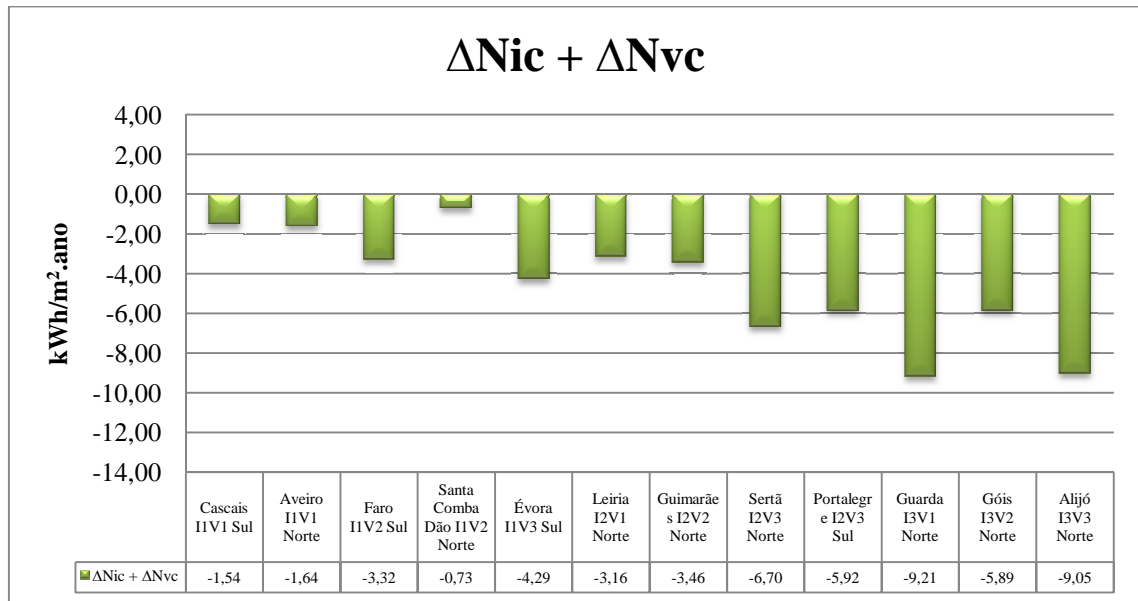


Gráfico 0.4 – Necessidades nominais anuais de energia útil para climatização ($\Delta N_{ic} + \Delta N_{vc}$) de um edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente a um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, Portugal Continental.

No **Gráfico 5.5** verifica-se que as necessidades globais de energia primária (N_{tc}) são tanto maiores quanto maior for o N_{ic} . Se compararmos o **Gráfico 5.1** com o **Gráfico 5.5**, consegue-se visualizar que a tendência dos gráficos é a mesma em todas as localidades consideradas.

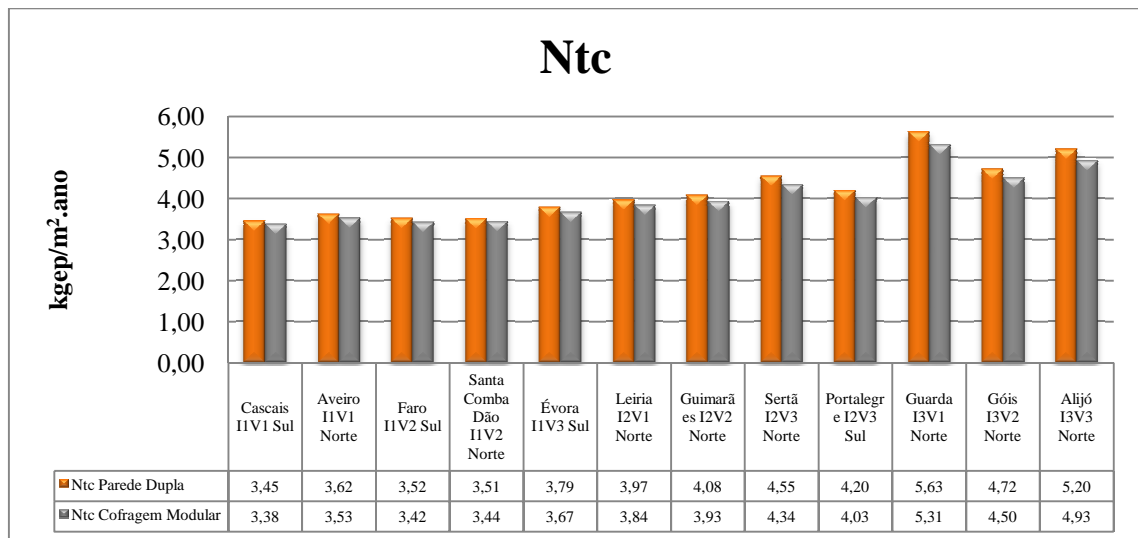


Gráfico 0.5 – Necessidades globais de energia primária de um edifício construído com cofragens modulares em EPS e de um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, Portugal Continental.

O **Gráfico 5.6** ilustra a diferença das necessidades globais de energia primária (ΔN_{tc}) de um edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente a

Capítulo 5

Análise comparativa entre um edifício construído com cofragens modulares e um edifício construído com paredes de alvenaria dupla

um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, e nele se verifica que para qualquer que seja a localidade em estudo, há sempre uma redução das necessidades globais de energia primária (Ntc) por parte de um edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente a um edifício construído com paredes de alvenaria dupla. Sendo que, esta redução por parte do edifício construído com cofragens modulares é tanto maior quanto maior for o valor Ntc, como se pode verificar se compararmos o **Gráfico 5.6** com o **Gráfico 5.5**.

Para determinar estas reduções ΔN_{tc} , fez-se a diferença entre Ntc do edifício construído com cofragens modulares em EPS e Ntc do edifício construído com paredes de alvenaria dupla.

$$\Delta N_{tc} = N_{tc_{\text{cofragem modular}}} - N_{tc_{\text{parede dupla}}}$$

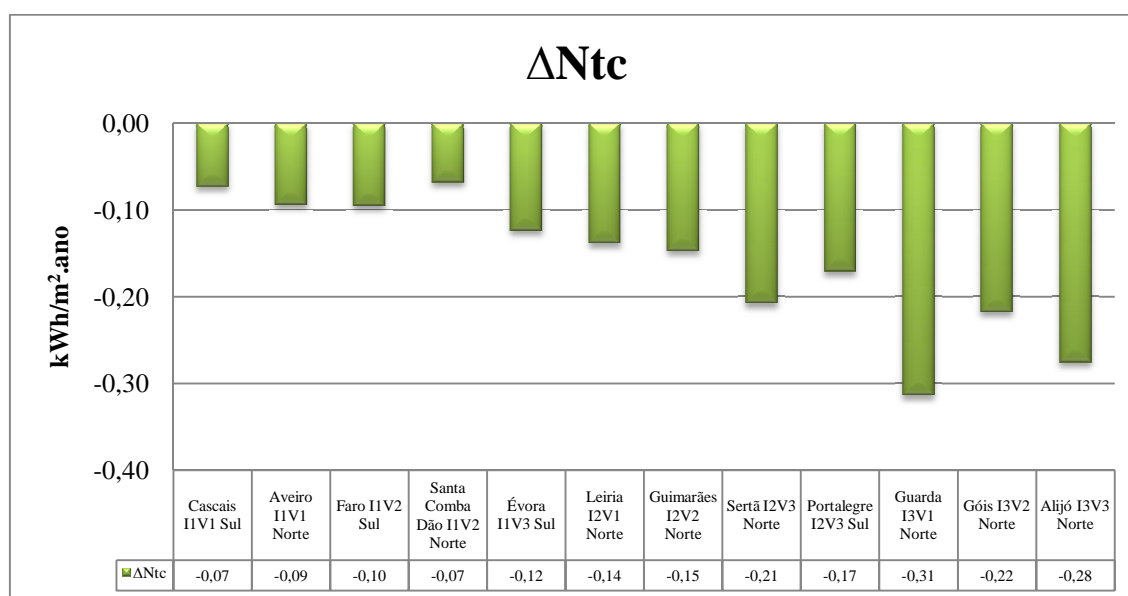


Gráfico 0.6 – Diferença entre as necessidades globais de energia primária (ΔN_{tc}) de um edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente a um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, Portugal Continental.

5.2 Região Autónoma dos Açores

Para a Região Autónoma dos Açores o RCCTE, ao contrário de Portugal Continental, não define as zonas climáticas, nem os graus dias ou duração da estação de aquecimento, entre outros factores, por regiões, localidades ou ilhas, mas sim pela altitude, que o edifício em estudo se encontre.

Para se conseguir uma visão e análise mais abrangente da Região Autónoma dos Açores, aplicou-se o RCCTE a cinco altitudes diferentes, são estas de 50m, 100m, 250m, 500m e 1000m. Os resultados obtidos são apresentados no **AnexoIII** no **Quadro III.2**.

Para uma melhor compreensão e visualização dos resultados obtidos, estes serão representados graficamente de seguida.

Analisando o **Gráfico 5.7**, como seria de esperar, o Nic aumenta com a altitude. Isto acontece porque, segundo o RCCTE, tanto o número de graus dias como a duração da estação de aquecimento aumentam com o aumento deste parâmetro.

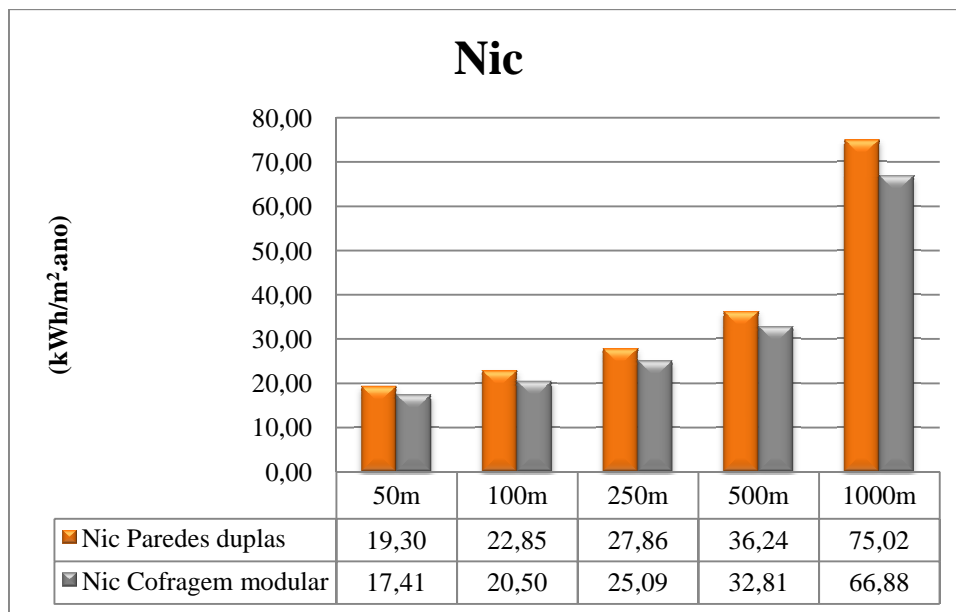


Gráfico 0.7 - Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento de um edifício construído com cofragens modulares em EPS e de um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, Região Autónoma dos Açores.

Relativamente ao Nvc, este vai ser igual para todas as altitudes, isto porque o RCCTE define para a estação de arrefecimento valores iguais para todas as altitudes. As únicas coisas que alteram com a altitude são apenas o número de graus dias, a duração da estação de arrefecimento e a zona climática de Inverno (até aos 600m zona I1, entre os 600m e os 1000m zona I2 e acima dos 1000m zona I3) que, por sua vez, influenciam apenas o Nic.

O **Gráfico 5.8** é somente apresentado, para se poder ter uma visualização da diferença de grandeza do Nvc face ao Nic do **Gráfico 5.7**, onde se pode verificar que Nvc é muito menor comparativamente a Nic.

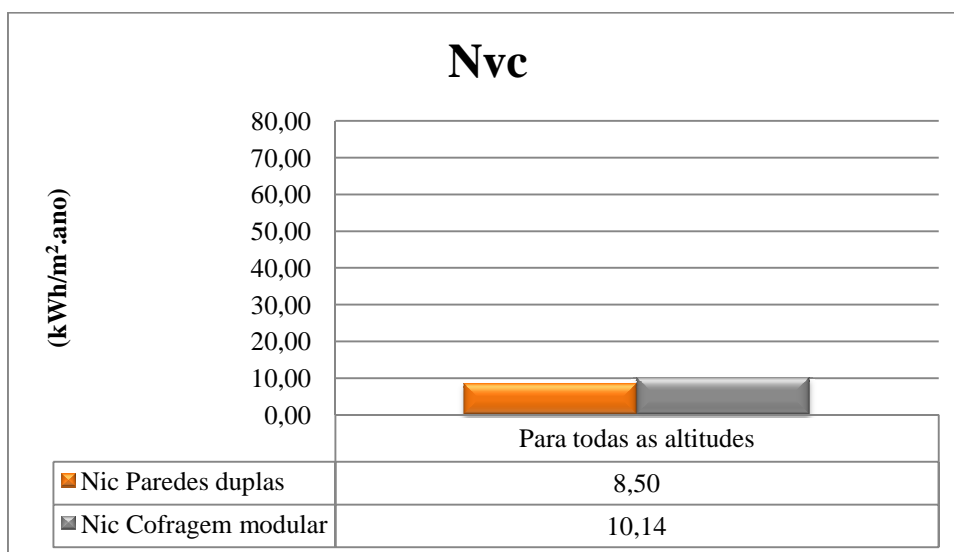


Gráfico 0.8 – Necessidades nominais anuais de energia para arrefecimento de um edifício construído com cofragens modulares em EPS e de um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, Região Autónoma dos Açores.

No **Gráfico 5.9** comparam-se a diferença entre as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (ΔNic) e a diferença entre as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (ΔNvc) de um edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente a um edifício construído com paredes de alvenaria dupla. Calculou-se os ΔNic e ΔNvc , para todas as altitudes consideradas da Região Autónoma dos Açores, através das fórmulas descritas anteriormente, ou seja;

$$\Delta Nic = Nic_{\text{cofragem modular}} - Nic_{\text{parede dupla}}$$

$$\Delta Nvc = Nvc_{\text{cofragem modular}} - Nvc_{\text{parede dupla}}$$

O ΔNvc mantém-se constante porque o Nvc não se altera com a altitude. Verifica-se que na estação de arrefecimento, há sempre um aumento das necessidades nominais anuais de energia útil por parte do edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente ao edifício construído com paredes de alvenaria dupla de 1,64 kWh/m².ano.

Por outro lado, a redução de Nic , por parte do edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente ao edifício construído com paredes de alvenaria dupla, aumenta com a altitude. Isto porque, como já foi demonstrado para Portugal Continental, a redução das necessidades nominais anuais de energia útil para

aquecimento, por parte das cofragens modulares em EPS, são tanto maiores quanto maiores forem os valores de Nic.

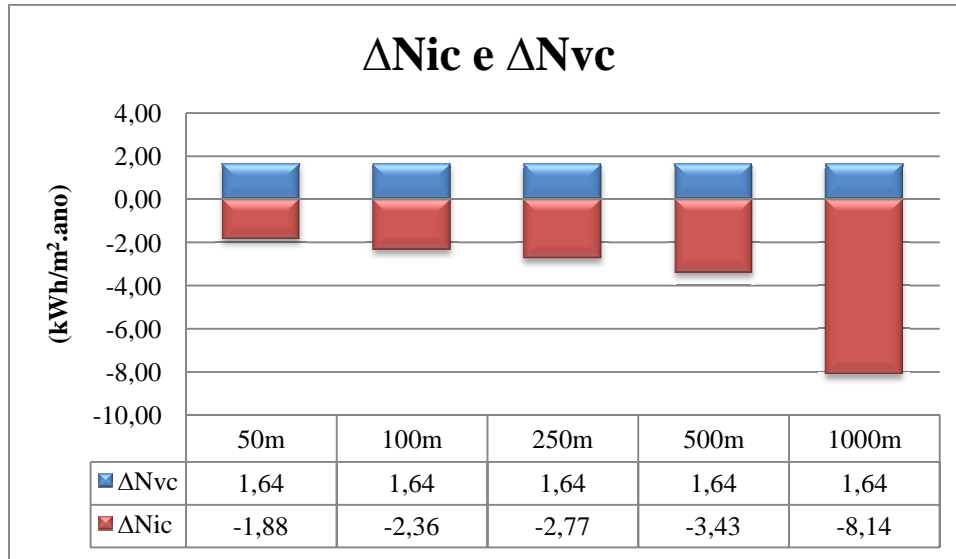


Gráfico 0.9 – Diferença das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (ΔN_{ic}) e para arrefecimento (ΔN_{vc}) de um edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente a um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, Região Autónoma dos Açores.

No **Gráfico 5.10**, como seria de prever, verifica-se que há uma redução das necessidades nominais anuais de energia útil para climatização em todas as altitudes e é tanto maior quanto maior for a altitude. Isto porque N_{vc} , não se altera para qualquer altitude e, como foi descrito anteriormente, N_{ic} aumenta com a altitude.

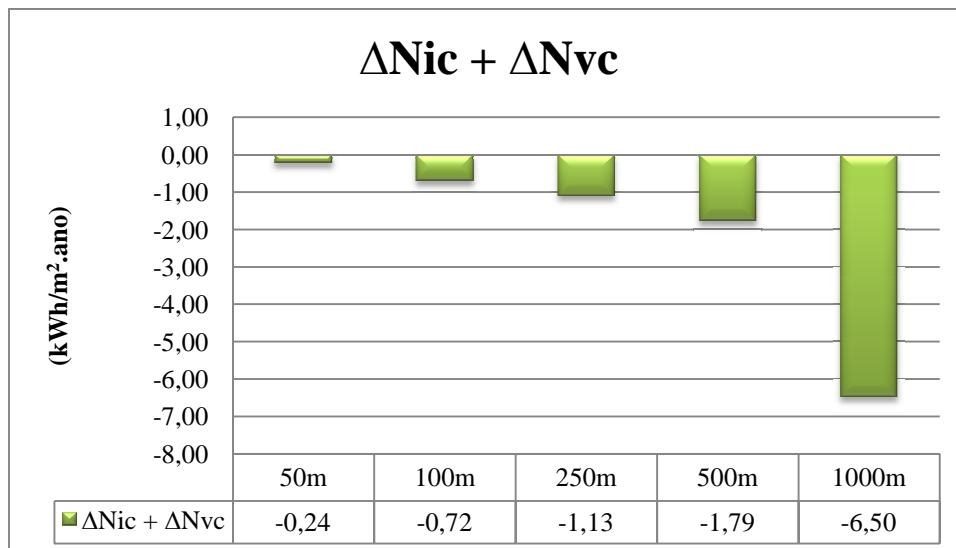


Gráfico 0.10 – Necessidades nominais anuais de energia útil para climatização ($\Delta N_{ic} + \Delta N_{vc}$) de um edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente a um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, Região Autónoma dos Açores.

Pelo **Gráfico 5.11**, Ntc também aumenta com a altitude, pois como já foi descrito para Portugal Continental, o gráfico relativo ao Ntc tem a mesma tendência dos gráficos relativos ao Nic, que neste caso se podem verificar, comparando o **Gráfico 5.11** (Ntc) e o **Gráfico 5.7** (Nic).

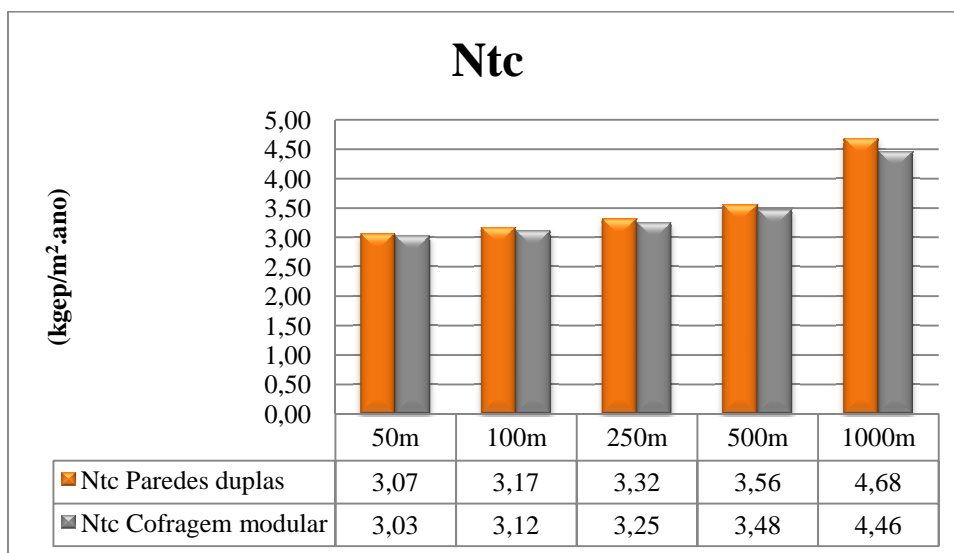


Gráfico 0.11 – Necessidades globais de energia primária de um edifício construído com cofragens modulares em EPS e de um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, Região Autónoma dos Açores.

No **Gráfico 5.12** verifica-se que há uma redução das necessidades globais de energia primária (Ntc) em todas as altitudes e que esta aumenta com a altitude. Tal acontece, como já foi referido para Portugal Continental, porque Ntc é tanto maior quanto maior for o Nic.

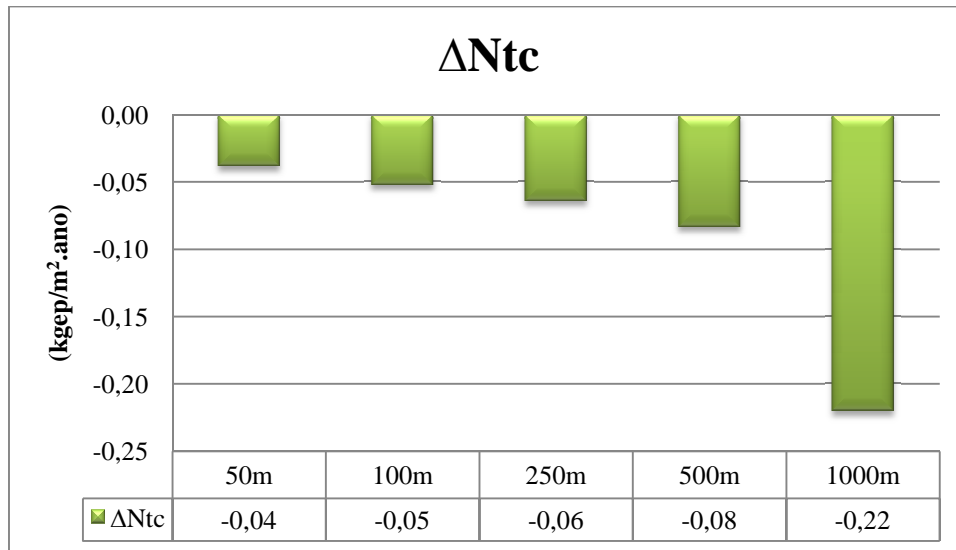


Gráfico 0.12 – Diferença entre as necessidades globais de energia primária (ΔN_{tc}) de um edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente a um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, Região Autónoma dos Açores.

5.3 Região Autónoma da Madeira

Para a Região Autónoma da Madeira, o método utilizado no RCCTE é similar ao da Região Autónoma dos Açores. As zonas climáticas alteram-se consoante a altitude. Assim sendo, aplicou-se o RCCTE para diferentes altitudes, as mesmas utilizadas para a Região Autónoma dos Açores, ou seja, 50m, 100m, 250m, 500m e 1000m. Os resultados obtidos apresentam-se no **AnexoIII** no **Quadro III.3**.

Para uma melhor compreensão e visualização dos resultados obtidos, estes serão representados graficamente de seguida.

No **Gráfico 5.13**, verifica-se que, como na Região Autónoma dos Açores, N_{ic} aumenta com a altitude. Pois, apenas o número de graus dias, a duração da estação de aquecimento e a zona climática de Inverno se alteram com a altitude.

Se compararmos o **Gráfico 5.13** com o **Gráfico 5.7**, verifica-se que na Região Autónoma da Madeira os valores de N_{ic} são menores do que na Região Autónoma dos Açores (para igual altitude).

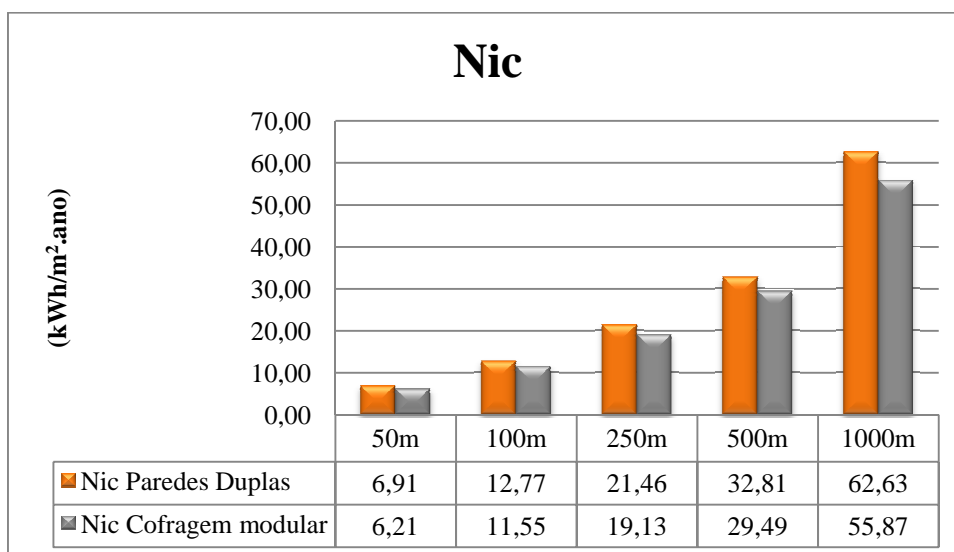


Gráfico 0.13 – Necessidades nominais anuais de energia para aquecimento de um edifício construído com cofragens modulares em EPS e um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, Região Autónoma da Madeira.

Relativamente aos valores de N_{vc} , estes vão ser constantes para as altitudes consideradas, isto porque o RCCTE define, para a estação de arrefecimento, valores iguais para todas as altitudes, como acontece na Região Autónoma dos Açores.

O **Gráfico 5.14** é somente apresentado para se poder ter uma visualização da diferença de grandeza do N_{vc} , face ao N_{ic} no **Gráfico 5.13**. Se compararmos o **Gráfico 5.14**, com o **Gráfico 5.8**, ao contrário do que acontece com o N_{ic} , o N_{vc} da Madeira, é ligeiramente superior, ao dos Açores.

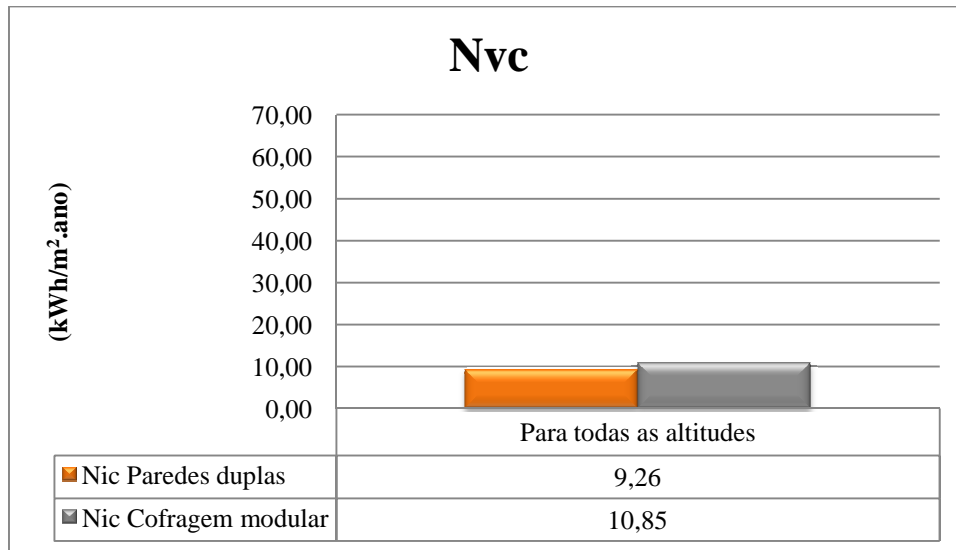


Gráfico 0.14 – Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento de um edifício construído com cofragens modulares em EPS e de um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, Região Autónoma da Madeira.

No **Gráfico 5.15** comparam-se a diferença de Nic e a diferença entre de Nvc de um edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente a um edifício construído com paredes de alvenaria dupla. Calcularam-se os ΔNic e ΔNvc , para todas as altitudes consideradas da Região Autónoma da Madeira, através das fórmulas descritas anteriormente, ou seja;

$$\Delta Nic = Nic_{\text{parede dupla}} - Nic_{\text{cofragem modular}}.$$

$$\Delta Nvc = Nvc_{\text{parede dupla}} - Nvc_{\text{cofragem modular}}.$$

Novamente, como acontece na Região Autónoma dos Açores, o ΔNvc mantém-se constante, porque do Nvc não se altera com a altitude. Verifica-se que na estação de arrefecimento, há sempre um aumento de Nic, por parte do edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente a um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, de $1,58 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$, um pouco menor do que na Região Autónoma dos Açores que apresenta um valor de $1,64 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$ (**Gráfico 5.9**).

Quanto ao ΔNic , verifica-se sempre uma redução de Nic, por parte de um edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente a um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, e esta redução aumenta com a altitude. Os valores da redução de Nic para a Região Autónoma da Madeira são menores do que os valores de redução de Nic para a Região Autónoma dos Açores.

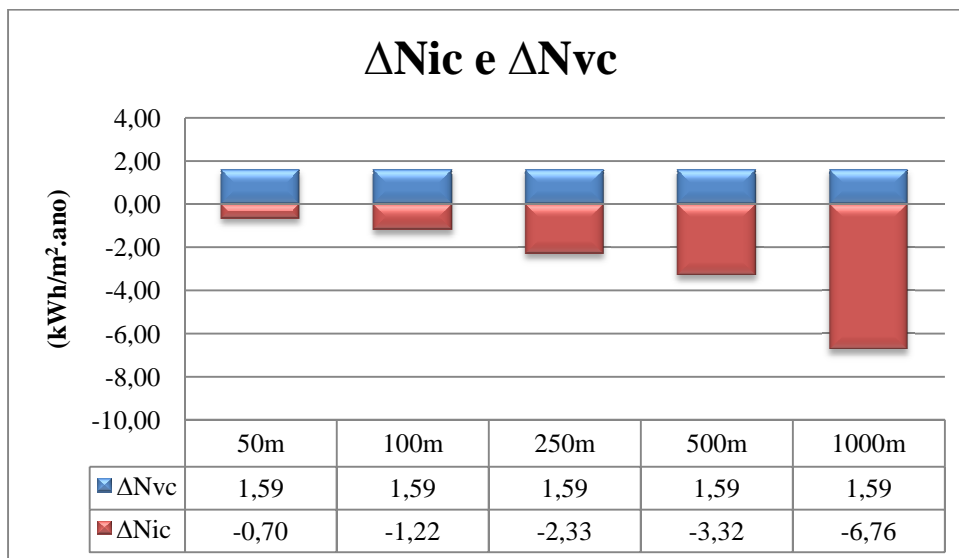


Gráfico 0.15 – Diferença das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (ΔN_{ic}) e para arrefecimento (ΔN_{vc}) de um edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente a um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, Região Autónoma da Madeira.

No **Gráfico 5.16** conseguimos visualizar que, a Região Autónoma da Madeira é o única local de Portugal em que a utilização das cofragens modulares em EPS não representa sempre uma redução efectiva das necessidades nominais anuais de energia útil para climatização, comparativamente à utilização da solução com paredes de alvenaria dupla, isto porque até aos 100m de altitude o RCCTE define para a Madeira, uma duração da estação de aquecimento de apenas 0,3 meses e o número de graus dias muito baixo.

Como o número de graus dias é muito baixo, ou seja, as perdas térmicas são muito baixas, a vantagem que o uso de cofragens modulares em EPS apresenta na redução de N_{ic} é menos acentuada comparativamente a um edifício construído com paredes de alvenaria dupla. De tal forma que, a redução de N_{vc} por parte do uso da solução construtiva com paredes de alvenaria dupla é superior á redução de N_{ic} proporcionado pelo uso das cofragens modulares nos primeiros metros de altitude da Região Autónoma da Madeira.

Só a partir dos 150m de altitude, aproximadamente, é que se consegue uma redução das necessidades nominais anuais de energia útil para climatização de apenas 0,06 kWh/m².ano, por parte do edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente ao edifício construído com paredes de alvenaria dupla. Sendo que, a partir da altitude de 150m, esta redução aumenta com a altitude.

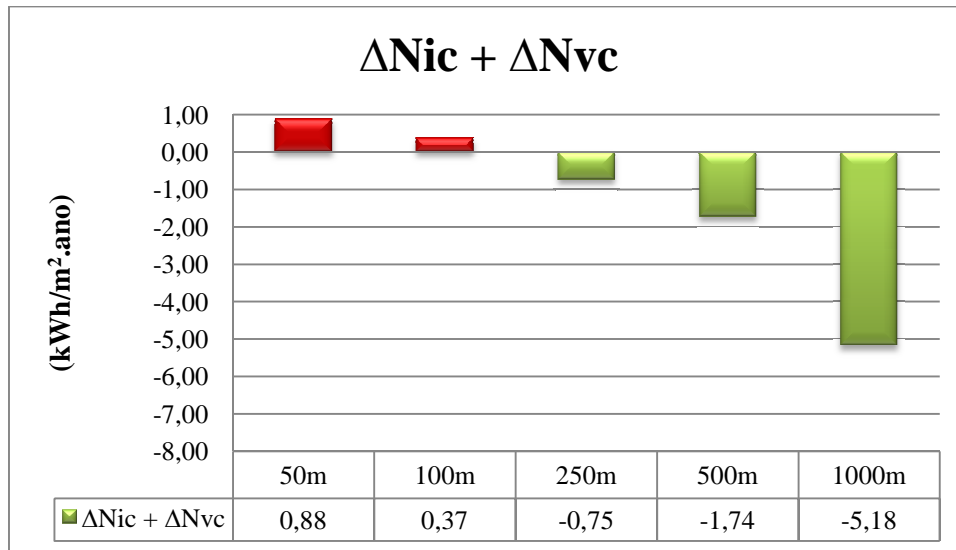


Gráfico 0.16 – Necessidades nominais anuais de energia útil para climatização ($\Delta N_{ic} + \Delta N_{vc}$) de um edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente a um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, Região Autónoma da Madeira.

Relativamente às necessidades globais de energia primária (N_{tc}) estas aumentam, como seria de esperar, com a altitude. Se compararmos o **Gráfico 5.17** com o **Gráfico 5.11**, verifica-se que o N_{tc} da Região Autónoma da Madeira é inferior ao N_{tc} da Região Autónoma dos Açores para as mesmas altitudes.

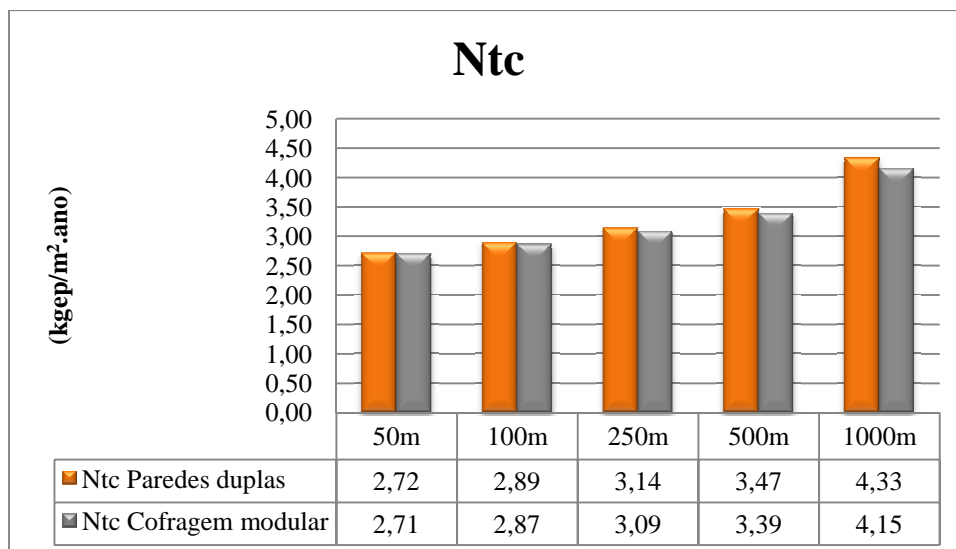


Gráfico 0.17 – Necessidades globais de energia primária de um edifício construído com cofragens modulares em EPS e de um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, Região Autónoma da Madeira.

Relativamente ao **Gráfico 5.18**, verifica-se que há sempre uma redução de N_{tc} por parte do edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente ao

edifício construído com paredes de alvenaria dupla e vai aumentar com a altitude, como acontece na Região Autónoma dos Açores mas com valores de reduções de Ntc inferiores.

Tal acontece porque, como já foi referido anteriormente, a redução de Ntc, por parte de um edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente a um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, é tanto maior quanto maior for a redução de Nic e o uso de cofragens modulares em EPS proporciona sempre uma redução de Nic para qualquer altitude da Região Autónoma da Madeira (**Gráfico 5.15**), independentemente dos resultados obtidos no **Gráfico 5.16** em que se verifica um aumento das necessidades nominais anuais de energia útil para climatização nas altitudes de 50m e 100m.

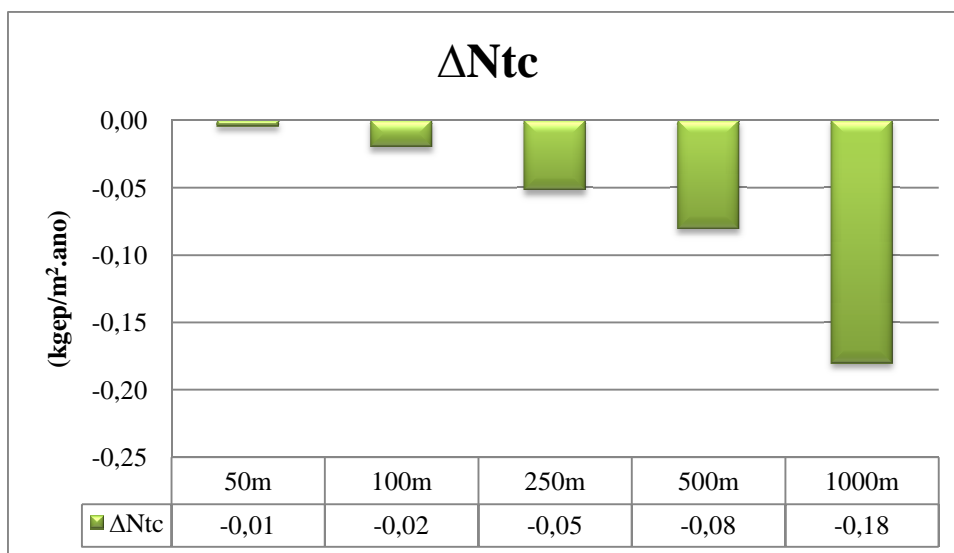


Gráfico 0.18 – Diferença entre as necessidades globais de energia primária (ΔN_{tc}) de um edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente a um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, Região Autónoma da Madeira.

5.4 Factores que influenciam o desempenho de um edifício construído com cofragens modulares em EPS: inércia térmica, coeficiente de transmissão térmica superficial e linear

Neste ponto pretende-se verificar quais são os factores que apresentam maior influência no desempenho de um edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente a um edifício construído com paredes de alvenaria dupla.

Ao se analisar as folhas de cálculo da aplicação do RCCTE aos edifícios construídos com estas duas soluções construtivas, disponíveis no **Anexo VI**, verifica-se que as únicas diferenças entre as folhas de cálculo de cada edifício, desde que na mesma localidade, são a inércia térmica (I_t), os coeficientes de transmissão térmica superficial (U) e linear (Ψ).

Sabendo isto, podem fazer-se várias alterações nas folhas de cálculo, como igualar os valores de um único factor em cada folha de cálculo de cada edifício e analisar os resultados obtidos, de modo a tentar averiguar qual destes factores tem maior influência no desempenho de um edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente a um edifício construído com paredes de alvenaria dupla.

Para se fazer esta análise, a localidade escolhida é Évora e os resultados obtidos apresentam-se de seguida no **Quadro 5.2**.

Quadro 5.2 – Resultados obtidos pela alteração dos valores de inércia térmica, coeficiente de transmissão térmica superficial e linear nas folhas de cálculo do RCCTE para a localidade de Évora.

Edifício construído em:	Nic	Ni	Nvc	Nv	Ntc	Nt
	(kWh/m ² .ano)	(kWh/m ² .ano)	(kWh/m ² .ano)	(kWh/m ² .ano)	(kgep/m ² .ano)	(kgep/m ² .ano)
Cof. Modular (Referência)	36,63	59,41	18,70	32	3,67	6,42
Parede Dupla (Referência)	40,93	59,41	18,69	32	3,79	6,42
Cof. Modular U = 0,55	40,23	59,41	18,10	32	3,77	6,42
Parede Dupla U = 0,27	37,20	59,41	19,34	32	3,69	6,42
Cof. Modular ψ = Parede Dupla	38,55	59,41	18,70	32	3,73	6,42
Parede dupla ψ = Cof. Modular	38,93	59,41	18,69	32	3,74	6,42
Cof. Modular I_t = Forte	35,21	59,41	18,50	32	3,63	6,42
Parede Dupla I_t = Média	42,17	59,41	18,93	32	3,83	6,42

Ao se observar os resultados obtidos no **Quadro 5.2** podemos, obviamente, dizer que qualquer dos três factores influencia o resultado final. No entanto, numa análise mais

Capítulo 5

Análise comparativa entre um edifício construído com cofragens modulares e um edifício construído com paredes de alvenaria dupla

minuciosa, verificam-se diferentes influências, por parte de cada um dos factores, nos resultados. Para melhor visualização, no **Quadro 5.3**, é apresentado os resultados referentes à diferença entre os valores obtidos com a alteração destes factores e os valores de referência.

Quadro 5.3 – Diferença entre os resultados de referência e os obtidos pela alteração dos valores de inércia térmica, coeficiente de transmissão térmica superficial e linear para a localidade de Évora.

Edifício construído em:	Nic	Ni	Nvc	Nv	Ntc	Nt
	(kWh/m ² .ano)	(kWh/m ² .ano)	(kWh/m ² .ano)	(kWh/m ² .ano)	(kgep/m ² .ano)	(kgep/m ² .ano)
Cof. Modular U = 0,55	3,60	0,00	-0,60	0,00	0,10	0,00
Parede Dupla U = 0,27	-3,73	0,00	0,66	0,00	-0,10	0,00
Cof. Modular ψ = Parede Dupla	1,92	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00
Parede dupla ψ = Cof. Modular	-2,00	0,00	0,00	0,00	-0,06	0,00
Cof. Modular I _t = Forte	-1,42	0,00	-0,20	0,00	-0,04	0,00
Parede Dupla I _t = Média	1,23	0,00	0,24	0,00	0,04	0,00

Um resultado que salta de imediato à vista é o coeficiente de transmissão térmica linear (ψ), que influência e altera unicamente os valores de Nic e de Ntc, sendo que os valores de Nvc ficam inalterados em relação aos valores de referência. Pode-se afirmar que os valores baixos de ψ reduzem de forma significativa os valores de Nic.

Por seu lado, a inércia térmica (I_t) influencia tanto o Nic como o Nvc e Ntc. E pode afirmar-se que uma inércia térmica forte beneficia a redução de Nic, Nvc e Ntc.

Por fim, o coeficiente de transmissão térmica superficial (U), tal como a inércia térmica, influencia tanto o Nic como o Nvc e Ntc. Mas de modo diferente, ou seja, verifica-se que um U baixo reduz significativamente os valores de Nic e de Ntc e, por outro lado, vai aumentar o valor de Nvc.

Se tivermos em conta os resultados obtidos anteriormente nos pontos **5.1**, **5.2** e **5.3**, quando se fez a análise para todas as zonas climáticas de Portugal Continental e Regiões Autónomas da Madeira e dos Açores, verifica-se que a tendência de um edifício construída com cofragens modulares em EPS comparativamente a um edifício construído com paredes de alvenaria dupla é, com excepção da Região Autónoma da Madeira até aos

150m de altitude, a redução de N_{ic} e N_{tc} e um aumento menos significativo do N_{vc} . Esta tendência corresponde exactamente à influência imposta pelo U ao N_{ic} , N_{vc} e N_{tc} .

Pode-se assim afirmar que, o factor que influencia o comportamento térmico de um edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente a um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, é o baixo valor de coeficiente de transmissão térmica superficial (U) proporcionado pelas cofragens modulares em EPS.

No entanto, é importante referir que tanto o Ψ como I_t vão acentuar o efeito do U sobre o N_{ic} , N_{vc} e N_{tc} , pois, como já foi referido nos parágrafos anteriores, valores de Ψ baixos, como o proporcionado pela cofragem modular em EPS, reduz unicamente e de forma significativa o N_{ic} e o N_{tc} . E, por seu lado, uma inércia térmica (I_t) baixa, como a proporcionada pelas cofragens modulares em EPS, vai aumentar tanto o N_{vc} , como o N_{ic} e o N_{tc} . Mas os aumentos de N_{ic} e de N_{tc} , por parte de I_t , são menos significativas que as reduções proporcionadas por Ψ .

Deste modo, pode-se afirmar que Ψ e I_t vão acentuar a tendência de N_{ic} , N_{vc} e N_{tc} por parte de um edifício construído com cofragens modulares em EPS, comparativamente a um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, imposta pelo U .

5.5 Análise económica das cofragens modulares em EPS face as paredes de alvenaria dupla

A análise e a verificação da adequação da utilização de cofragens modulares em EPS em Portugal, não poderiam ficar completas, sem se fazer um estudo económico, de custos.

Verificou-se, neste **capítulo 5**, que um edifício construído com cofragens modulares em EPS, em termos de desempenho térmico, é uma hipótese viável em Portugal, pois apresenta sempre uma redução das necessidades nominais anuais de energia útil para climatização, comparativamente a um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, com excepção da Região Autónoma da Madeira até, aproximadamente, 150m de altitude.

Para transformar esta redução de energia, em valor monetário, ir-se-á escolher apenas três localidades: Évora I1V3 Sul, como tendo a combinação da zona climática de Verão mais extrema e com a zona climática de Inverno mais amena, Guarda I3V1 Norte, como tendo a combinação da zona climática de Inverno mais extrema e com a zona

climática de Verão mais amena, e Aveiro IIV1 Norte, como tendo a combinação das zonas climáticas mais amenas, tanto de Verão como de Inverno.

Do **Gráfico 5.4** da secção **5.1**, podem retirar-se as reduções das necessidades nominais anuais de energia útil para climatização ($\Delta N_{ic} + \Delta N_{vc}$), por parte de um edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente a um edifício construído com paredes de alvenaria dupla.

Para traduzir as reduções do **Gráfico 5.4** em valor monetário, têm de se multiplicar os valores das reduções, que aparecem em kWh/m².ano, pela área útil do edifício, que é de 171,05m², deste modo, fica-se com o valor das reduções em kWh/ano. Considerando o valor de 0,1285 €/kWh, cobrado pelaEDP no primeiro trimestre de 2010, basta multiplica-lo com as reduções em kWh/ano para se obter o valor monetário em euros por ano.

O **Quadro 5.4** apresenta, de seguida, os valores obtidos para Évora, Aveiro e Guarda.

Quadro 5.4 – Conversão das reduções de energia das cofragens modulares em EPS em €/ano.

Localidade	Reduções das cofragens modulares face às paredes duplas		
	kWh/m ² .ano (Unidade utilizada no RCCTE)	kWh/ano (Considerando a área útil do edifício de 171,5 m ²)	€/ano (Considerando o valor de 0,1285 €/kWh)
Évora IIV3 Sul	-4,29	-733,76	-94,29
Aveiro IIV1 Norte	-1,64	-280,99	-36,11
Guarda I3V1 Norte	-9,21	-1575,47	-202,45

No **Quadro 5.4**, pode verificar-se que um edifício construído com cofragens modulares em EPS apresenta uma redução de, 94,29 €/ano em Évora, 36,11 €/ano em Aveiro e 202,45 €/ano na Guarda, em comparação com um edifício construído com paredes de alvenaria dupla.

No entanto, há que ter em atenção que as reduções das necessidades nominais anuais de energia útil para climatização obtidas pela aplicação do RCCTE, assim como os

valores de custos anuais calculados, consideram que o edifício está sempre habitado e totalmente climatizado. Assim, estas reduções, na realidade, irão ser menores do que as apresentadas, já que um edifício de habitação não está, normalmente, ocupada permanentemente nem climatizada na sua totalidade.

Depois de se verificar, os ganhos monetários anuais, por parte de um edifício construído com cofragens modulares em EPS comparativamente a um edifício construído com as paredes de alvenaria dupla, é necessário analisar tanto os custos dos materiais como os de execução. Para tal, de modo a facilitar o cálculo e proporcionar uma visão geral dos custos da aplicação de cada solução construtiva, escolheram-se dois módulos. Um representa a solução construtiva em cofragens modulares em EPS e outro representa a solução construtiva em paredes de alvenaria dupla. Ambos os módulos têm dimensões equivalentes, considerando um pé direito de 2,60m e representam a construção em tosco.

Nos dois módulos apenas estão considerados os elementos verticais. Os restantes elementos de construção (lajes, fundações, entre outros) serão idênticos pelo que também os seus custos de execução serão idênticos.

Para o módulo que representa as paredes de alvenaria dupla, foram considerados três troços: dois com 1,5m de comprimento e outro com 3m de comprimento, todos de panos de alvenaria dupla, com caixa-de-ar totalmente preenchida, com 4cm de isolamento térmico, em XPS, e altura de 2,55m. Além desses, foi ainda, considerado um troço de 1,5m de pano simples, em alvenaria de tijolo de 11 e altura de 2,60m.

Como as paredes em alvenaria dupla, não são paredes estruturais, contrariamente às paredes com cofragens modulares em EPS, foi necessário considerar pilares e vigas. No que se refere aos pilares, estes são dois, ambos com secção de 25cm por 25cm, e altura de 2,55m, com armadura vertical constituída por quatro varões de aço, de 12mm e estribos de 8mm espaçados de 15cm.

Quanto às vigas, estas têm um comprimento de 5m e 1,5m em “L” com secção de 25cm por 25cm e armadura longitudinal, com cinco barras de aço de 12mm e estribos de 8mm, espaçados de 20 cm. Os desenhos do módulo representante das paredes de alvenaria dupla são apresentados nas figuras: **Fig. 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4.**

Capítulo 5

Análise comparativa entre um edifício construído com cofragens modulares e um edifício construído com paredes de alvenaria dupla

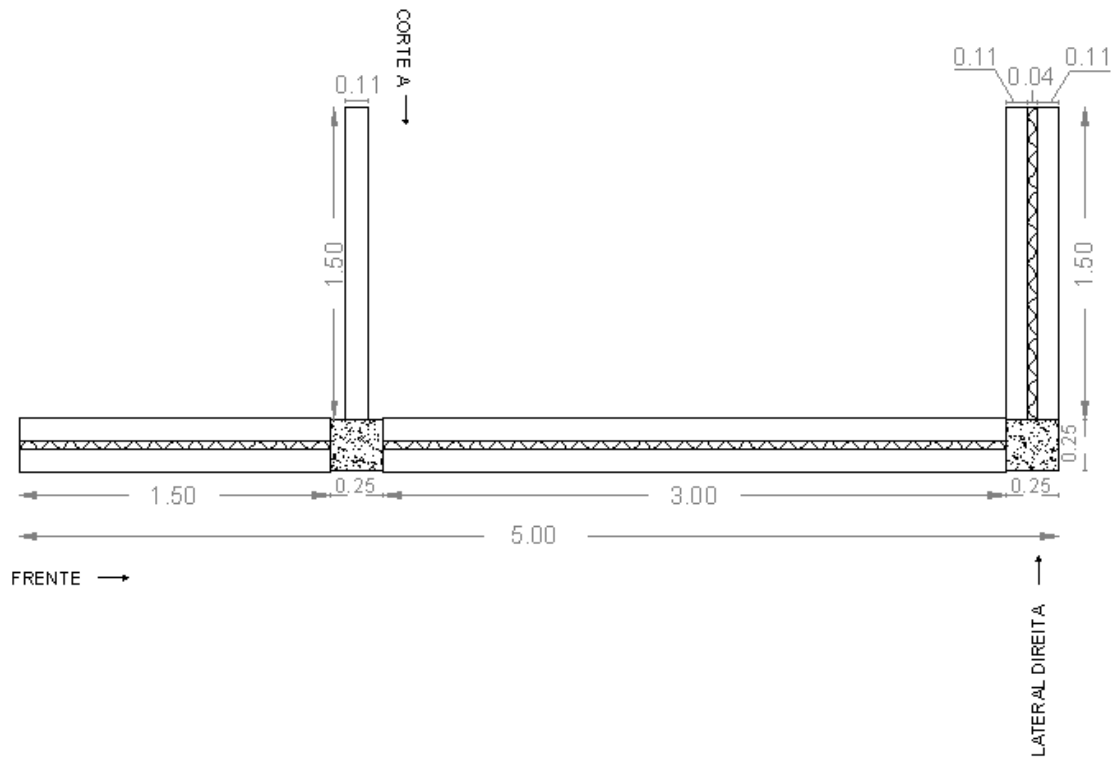


Fig. 5.1 – Planta do módulo em paredes de alvenaria dupla.

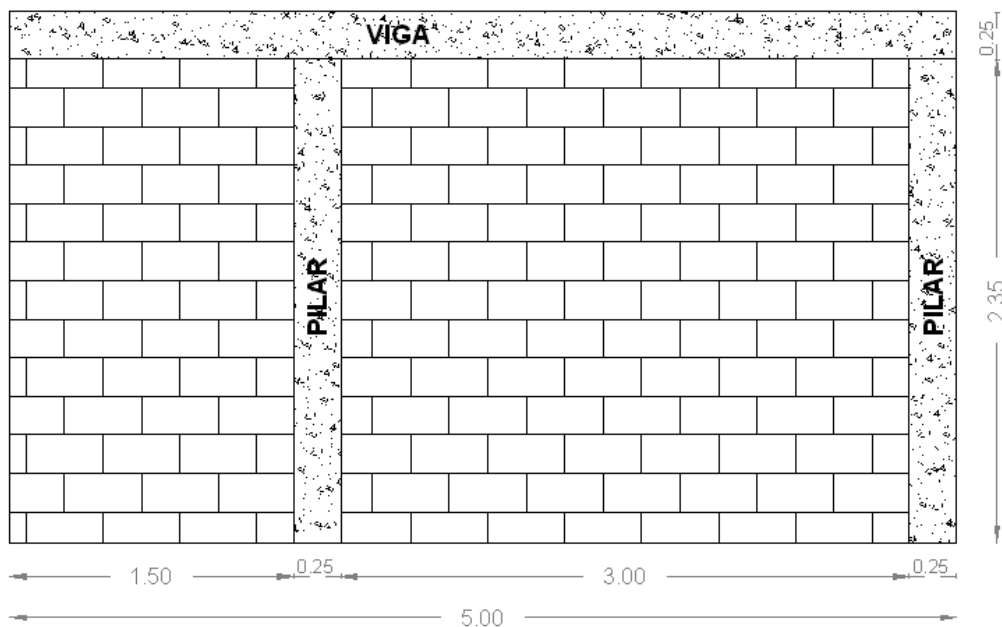


Fig. 5.2 – Vista de frente do módulo em paredes de alvenaria dupla.

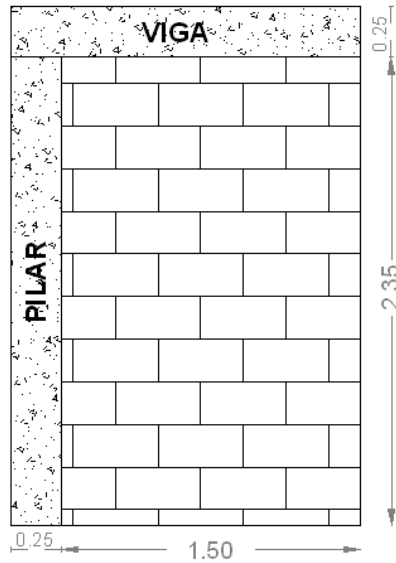


Fig. 5.3 – Vista lateral direita do módulo em paredes de alvenaria dupla.

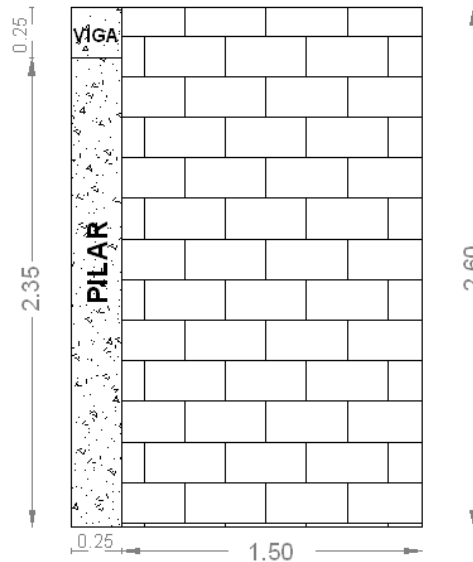


Fig. 5.4 – Corte C do módulo em paredes de alvenaria dupla.

O módulo que representa a construção com cofragens modulares em EPS tem as mesmas dimensões do módulo construído com paredes de alvenaria dupla.

Considerou-se para a armadura inserida no núcleo de betão das cofragens modulares em EPS que é inserida uma armadura longitudinal, em cada duas fiadas, constituída por dois varões de aço de 8mm com comprimento igual ao das paredes e uma armadura vertical constituída por quatro varões de 10mm no canto e na ligação com a parede interior.

Capítulo 5

Análise comparativa entre um edifício construído com cofragens modulares e um edifício construído com paredes de alvenaria dupla

Quanto aos elementos de cofragem, foram utilizados: 66 elementos correntes, no valor de 55 euros para cada elemento; 10 elementos de canto, com 5 elementos de canto esquerdo e 5 elementos de canto direito, no valor de 60 euros cada; 10 elementos em T, com 5 elementos de T pequeno e 5 elemento em T grande, no valor de 60 euros cada; e 36 elementos de compensação de altura, no valor de 1 euro cada. Estes valores monetários são os tabelados pela Argisol[®]. Os desenhos do módulo, representante das cofragens modulares em EPS, são apresentados de seguida nas figuras: **Fig. 5.5, 5.6, 5.7 e 5.8.**

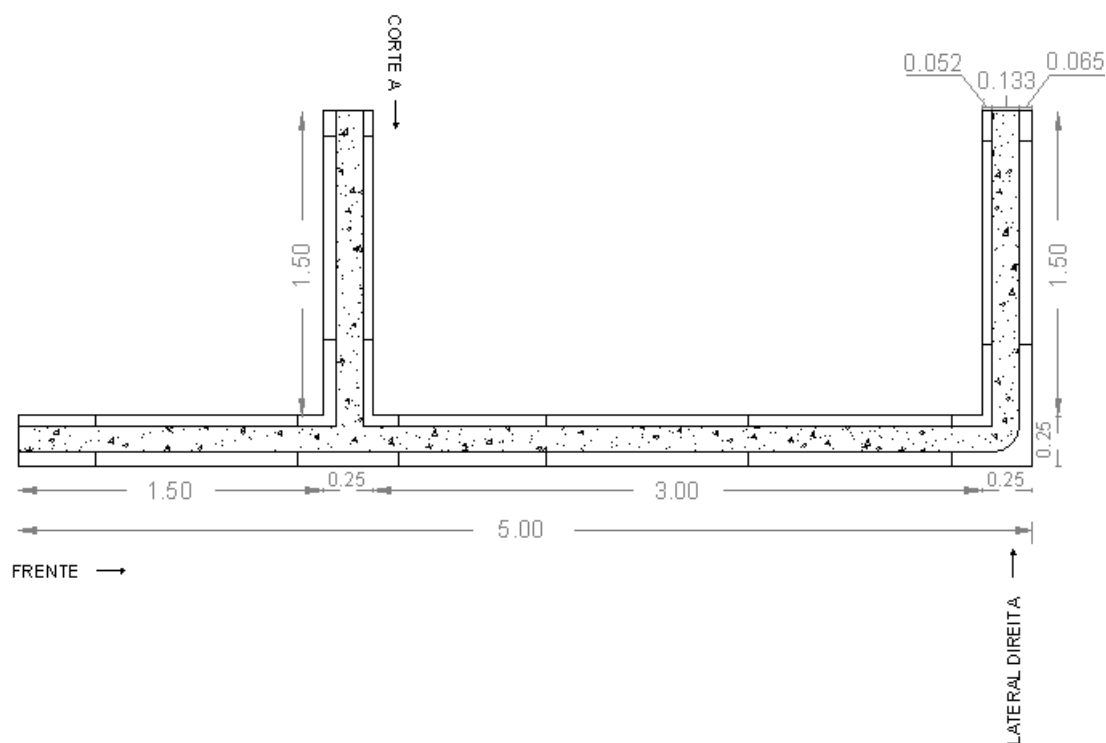


Fig. 5.5 – Planta do módulo em cofragens modulares em EPS.

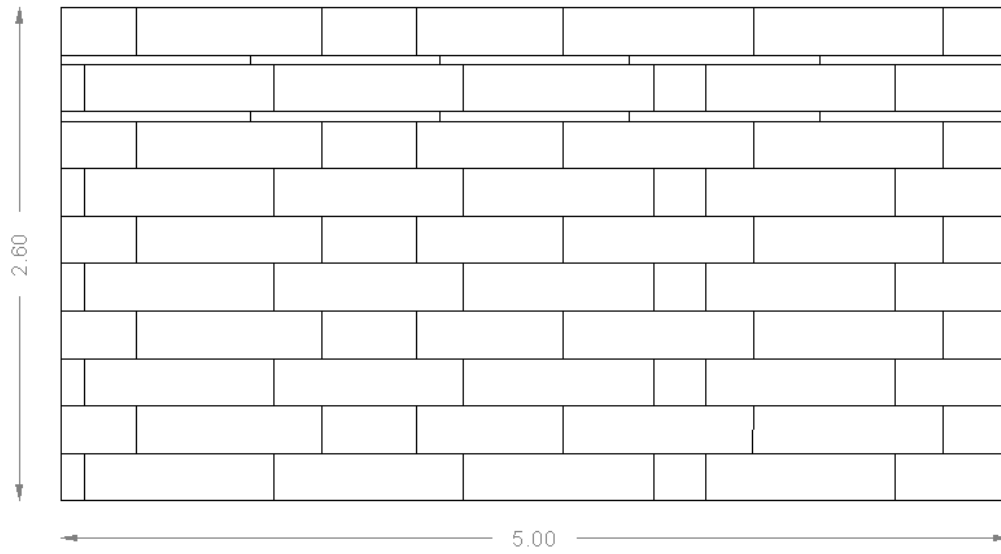


Fig. 5.6 – Vista de Frente do módulo em cofragens modulares em EPS.

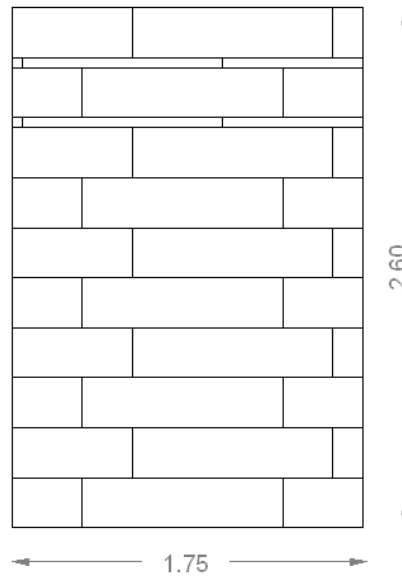


Fig. 5.7 – Vista lateral direita do módulo em cofragens modulares em EPS.

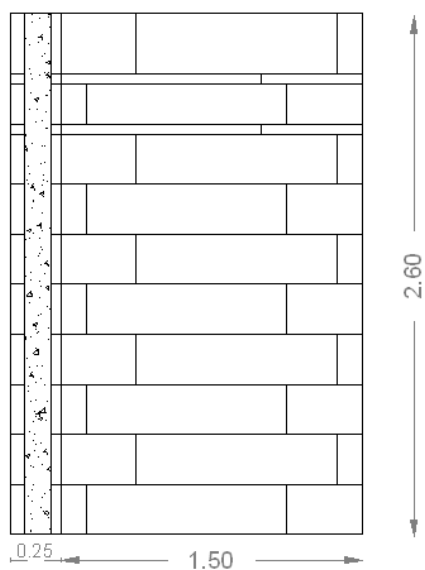


Fig. 5.8 – Corte A do módulo em cofragens modulares em EPS.

Depois de terem sido definidos os módulos, que se pretendiam estudar, fez-se a análise do custo de construção de cada um com os valores de mão-de-obra e material praticados actualmente (2010) em Portugal.

O resultado do custo, para o módulo em parede dupla de alvenaria, está discriminado abaixo, no **Quadro 5.5**.

Quadro 5. 5 – Custo de módulo em parede dupla de alvenaria.

Módulo em parede dupla de alvenaria					
Elementos		Quantidade	Unidade	Custo unitário	Custos Parciais
Pilar 1	Cofragem	2,35	m ²	€14,32	€33,65
25x25	Betão C20/25	0,15	m ³	€97,91	€14,69
2,35m	Aço Vertical 4Ø12	9,06	kg	€1,22	€11,05
	Estribos Ø8//15	5,37	kg	€1,35	€7,25
Pilar 2	Cofragem	2,35	m ²	€14,32	€33,65
25x25	Betão C20/25	0,15	m ³	€97,91	€14,69
2,35m	Aço Vertical 4Ø12	9,06	kg	€1,22	€11,05
	Estribos Ø8//20	5,37	kg	€1,35	€7,25
Viga	Cofragem	3,72	m ²	€16,76	€62,35
25x25	Betão C20/25	0,41	m ³	€96,36	€39,51
6,5m (em L)	Aço Longitudinal 5Ø12	28,85	kg	€1,22	€35,20
	Estribos Ø8//20	10,42	kg	€1,35	€14,07
Alvenaria	Dupla de tijolo 11cm e caixa-de-ar com iso. térmico, 4cm XPS	14,10	m ²	€38,80	€547,08
	Simples tijolo 11cm	3,90	m ²	€16,24	€14,69
TOTAL					€894,82

No **Quadro 5.6**, abaixo indicado, são apresentados os custos de construção, relativos ao módulo em cofragem modular.

Quadro 5. 6 – Custo de módulo em cofragens modulares em EPS.

Módulo em cofragens modulares em EPS					
Elementos		Quantidade	Unidade	Custo unitário	Custos Parciais
Cofragem Modular		20,80	m ²	€252,64	€5.254,91
Betão	C20/25	2,73	m ³	€94,82	€258,86
Aço	Aço Longitudinal 2Ø8 de 2 em 2 fiadas	31,17	kg	€1,35	€42,08
	Aço Vertical 4Ø10 nas zonas dos pilares 2x	12,84	kg	€1,24	€15,92
TOTAL					€5.571,77

Da análise comparativa do **Quadros 5.5** e com o **Quadro 5.6**, em termos de custos, pode-se concluir, que a construção do módulo em paredes de alvenaria dupla apresenta um valor total de €894,82e a construção do módulo em cofragens modulares em EPS um valor de €5.571,77.

Para se ter uma noção global, aproximada, do custo da aplicação destas duas soluções, num edifício de habitação, pode-se voltar a utilizar o mesmo edifício modelo, utilizado anteriormente neste **capítulo 5**, de forma a verificar quantos módulos seriam necessários para este edifício.

Sabendo que o edifício tem um perímetro de envolvente no rés-do-chão de 54,59m e um perímetro no primeiro andar igual a 41,14 m, obtemos um perímetro total de 95,73m. Considerando, que ambos os módulos têm um perímetro de envolvente de 6,75m, seriam necessários 14,18 módulos para representar os 95,73m de envolvente do edifício. Assim, obtemos que o custo para a construção dos elementos verticais de um edifício de habitação de dois pisos construído com paredes de alvenaria dupla é cerca de €12.688,55 e com cofragens modulares em EPS é cerca de €79.007,70.

Considerando que o custo dos elementos verticais representa cerca de 20% do custo total de um edifício e que o custo dos elementos verticais do edifício construído com paredes de alvenaria dupla é cerca de €12.688,55 determina-se que o custo total deste edifício é de aproximadamente de €63.442,75.

Se fizermos a diferença entre o custo dos elementos verticais do edifício construído com cofragens modulares em EPS e dos elementos verticais do edifício construído com paredes duplas (€79.007,70 - €12.688,55) temos um acréscimo no custo total do edifício de €66.319,15 por parte do uso das cofragens modulares em EPS, ou seja, temos um aumento de cerca de 100% a 105% do custo final do edifício. Podemos concluir que o uso das cofragens modulares duplica o custo final de um edifício comparativamente ao uso da solução construtiva com paredes de alvenaria dupla.

A longo prazo, as reduções de energia para climatização proporcionadas pelo uso de cofragens modulares não são suficientes para compensar o investimento inicial. Por exemplo, na Guarda, onde se obteve maiores reduções, temos uma redução anual de 202,45€/ano, se considerarmos a vida útil de 50 anos para o edifício, consegue-se uma poupança de €10.122,50 durante a vida útil do edifício. Sabendo que a diferença de custo inicial dos elementos verticais entre um edifício construído com cofragens modulares em

EPS e um edifício construído com paredes de alvenaria dupla é de €66.319,15 €, pelos cálculos anteriores, o uso de cofragens modulares em EPS não vai compensar o investimento inicial durante a sua vida útil.

De referir que, este estudo económico é um estudo aproximado, pois não são tidos em conta, por exemplo, os vãos ou os custos de estaleiro, entre outros factores. Também não se considerou os juros de investimento inicial mas, por outro lado, também não se considerou os possíveis aumentos de custo de energia ao longo dos anos.

Esta diferença de custos, entre um edifício construído com cofragens modulares em EPS e um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, deve-se, em grande parte, ao preço dos elementos de cofragens modulares em EPS serem demasiado elevados, para a realidade portuguesa. Por exemplo, para um metro quadrado de parede são necessários quatro elementos correntes de cofragens modulares em EPS e cada elemento corrente custa 55 euros, o que dá um preço de 220€/m² só em material de cofragem.

Outro factor importante é o preço de mão-de-obra em Portugal, que é de apenas 8 euros por hora para um carpinteiro, pedreiro ou arrumador de ferro. Se compararmos com o preço de mão-de-obra de um país da União Europeia onde o uso de cofragens modulares em EPS é mais vulgarizado, por exemplo a Alemanha, o preço de mão-de-obra é de pelo menos 25 euros por hora. Sabendo que o uso de cofragens modulares em EPS necessita de menos mão-de-obra do que o uso da solução construtiva em paredes de alvenaria dupla, se alterarmos o preço da mão-de-obra nas folhas de cálculo de orçamentação no **Anexo VII** sem alterar o preço do material de construção e maquinaria, obtém-se um custo de 1.951,41€ para o módulo em paredes de alvenaria dupla e 5.916,07€ para o módulo em cofragens modulares em EPS. Desta forma, o custo de construção do módulo em paredes de alvenaria dupla aumenta mais do dobro e diminuindo assim, a diferença de custo entre os dois módulos.

Se continuarmos com a comparação de Portugal e Alemanha, também existem outros factores que influenciam esta diferença de custo, entre o uso de cofragens modulares em EPS e paredes de alvenaria dupla, como, por exemplo, os preços dos materiais de construção e maquinarias serem mais elevados na Alemanha, assim como o preço da energia, ou ainda o facto de os climas serem diferente entre os dois países. Todos estes factores agravam o custo de utilização das cofragens modulares em EPS em Portugal.

Capítulo 5

Análise comparativa entre um edifício construído com cofragens modulares e um edifício construído com paredes de alvenaria dupla

6. Conclusões

A presente dissertação teve como objectivo verificar a adequação da utilização das cofragens modulares em EPS em Portugal. A análise foi efectuada comparando o comportamento térmico de dois edifícios, um construído com cofragens modulares em EPS e outro com paredes de alvenaria dupla e as mesmas soluções do ponto de vista económico.

Começando por avaliar o desempenho térmico, foi utilizado a metodologia presente no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Verificou-se que a diferença de desempenho entre um edifício construído com cofragens modulares em EPS e um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, considerando que ambos estão implantados na mesma zona climática e têm dimensões e orientações iguais, depende unicamente de três factores; coeficiente de transmissão térmica superficial (U), coeficientes de transmissão térmica linear (Ψ) e inércia térmica (I). Estes três factores fazem com que o desempenho dum edifício construído com cofragens modulares em EPS apresenta sempre, qualquer que seja a zona climática considerada, uma diminuição das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_{ic}), uma diminuição das necessidades globais de energia primária (N_{tc}) e um aumento das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N_{vc}), comparativamente a um edifício construído com paredes de alvenaria dupla.

Este desempenho, por parte de um edifício construído com cofragens modulares em EPS, é, como mencionado no ponto 5.3.8.4, causado, em grande parte, pelo baixo valor do coeficiente de transmissão térmica superficial: $U = 0,27 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

Verificou-se assim, na comparação entre um edifício construído com cofragens modulares em EPS e um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, que:

Para Portugal Continental:

- A redução de N_{ic} , de um edifício construído com cofragem modular, é maior na zona climática de Inverno I3 e vai diminuindo para a zona I2 e para a zona I1.
- Quanto maior for o valor de N_{ic} maior será a redução de N_{ic} de um edifício construído com cofragens modulares em EPS.

- Para a mesma zona climática de inverno, a redução de N_{ic} , de um edifício construído com cofragem modulares em EPS, é tanto maior quanto maior for o número de graus dias e menor for a duração da estação de aquecimento. Maior o número de graus dias significa maiores perdas térmicas e menor a duração da estação de aquecimento significa menores ganhos solares durante a estação de aquecimento e, como tal, aumentam o valor de N_{ic} .
- As zonas climáticas de Verão onde se verifica maior aumento de N_{vc} , por parte do edifício construído com cofragens modulares em EPS, são as zonas V1 Norte, V2 Norte e, com valores um pouco mais baixos, V1 Sul. Tal deve-se à diferença entre a temperatura exterior (θ_{atm}), de cada zona climática, e da temperatura interior de 25°C, considerada pelo regulamento, ser elevada nestas três zonas climáticas. Como um edifício construído com cofragens modulares em EPS tem inércia térmica baixa, a temperatura interior tem tendência em acompanhar a temperatura exterior (θ_{atm}), logo, é necessária maior energia para se conseguir manter uma temperatura interior estável na estação de arrefecimento.
- O N_{vc} tem sempre valores inferiores ao N_{ic} .
- Para qualquer zona climática, há sempre uma diminuição das necessidades nominais anuais de energia útil para climatização por parte de edifício construído com cofragens modulares em EPS.
- O N_{tc} segue a tendência do N_{ic} , ou seja, a redução de N_{tc} é tanto maior quanto maior for a redução de N_{ic} de um edifício construído com cofragens modulares em EPS.
- As duas zonas climáticas onde se obteve melhores resultados para um edifício construído com cofragens modulares em EPS, relativamente a um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, foram as zonas I3V1Norte e I3V3Norte. Com resultados menos significativos, também as zonas climáticas I2V3Norte, I2V3Sul e I3V2Norte demonstraram um desempenho favorável por parte do edifício construído com cofragens modulares.

Para a Região Autónoma da Madeira e dos Açores:

- O Nic aumenta com a altitude e como tal, a redução de Nic por parte de um edifício construído com cofragens modulares em EPS também aumenta com a altitude.
- O Nvc mantém-se constante para qualquer altitude, pois, segundo o regulamento, apenas o número de graus dias, a duração da estação de aquecimento e a zona climática de Inverno se altera com a altitude e estes apenas influenciam o Nic e consequentemente o Ntc.
- O Ntc, como já referido anteriormente, segue a tendência do Nic, ou seja, a redução de Ntc por parte de um edifício construído com cofragens modulares aumenta com a altitude.
- Para qualquer altitude da Região Autónoma da Madeira e dos Açores, a utilização de cofragens modulares em EPS implica sempre uma redução das necessidades nominais anuais de energia útil para climatização, com a única excepção da Região Autónoma da Madeira que apresenta aumento até aos 150m de altitude aproximadamente.

A utilização de cofragens modulares em EPS demonstrou ser favorável, a nível de desempenho térmico, para a totalidade de Portugal Continental, para todas as altitudes da Região Autónoma dos Açores e para todos os locais com altitude superior a 150m, aproximadamente, da Região Autónoma da Madeira.

De referir ainda que, os coeficientes de transmissão térmica linear (Ψ) utilizados, para a determinação do desempenho térmico do edifício construído com cofragens modulares em EPS, foram os referentes a paredes isoladas unicamente pelo exterior. Na realidade, os valores de Ψ deveriam ser mais baixos, o que iria melhorar ainda mais o desempenho do uso de cofragens modulares.

Também se poderia obter melhores resultados caso não se tivesse optado por utilizar um edifício de construção em banda, que é muito comum em Portugal, e sim, optado por um edifício de construção isolada, tipo vivenda. Pois, numa construção isolada, a área da envolvente em contacto com o exterior é maior e, dessa forma, a vantagem das cofragens modulares em EPS possuem valores de U e Ψ muito baixos seria ainda mais evidente.

Relativamente, à viabilidade económica, verificou-se que a utilização de cofragens modulares em EPS em Portugal não é viável. Economicamente, o uso de cofragens modulares em EPS representa um acréscimo de 100% a 105% do custo total de um edifício, ou seja, um edifício construído com cofragens modulares em EPS custa cerca do dobro comparativamente a um edifício construído com paredes de alvenaria dupla. Mesmo que o uso das cofragens modulares em EPS apresente menores quantidades de mão-de-obra e redução das necessidades nominais anuais de energia útil para climatização, comparativamente à utilização de paredes de alvenaria dupla, não vai compensar o custo inicial, tal facto deve-se às seguintes razões:

- Ao preço demasiado elevado de cada elemento de cofragem modular em EPS;
- Ao baixo custo de mão-de-obra em Portugal comparativamente aos países da União Europeia onde está mais vulgarizado o uso de cofragens modulares em EPS nas suas construções;
- Ao custo mais baixo dos materiais de construção e maquinarias comparativamente aos países da União Europeia que utilizam as cofragens modulares em EPS;
- Às reduções das necessidades nominais anuais de energia útil para climatização por parte de um edifício construído com cofragens modulares em EPS não serem suficientes em Portugal para compensar o custo inicial.

Independentemente das cofragens modulares em EPS não serem economicamente viáveis, não quer dizer que não possa vir a sê-lo no futuro.

Basta, por exemplo, que as cofragens modulares em EPS continuem a se expandir e a aumentar a sua produção, fazendo com que o custo de produção diminua e, com isso, o preço dos elementos de cofragens também diminua.

Se pensarmos que um edifício construído com cofragens modulares em EPS proporciona sempre, com a excepção da Região Autónoma da Madeira até aos 150m de altitude, uma redução das necessidades nominais anuais de energia útil para climatização e baixa mão-de-obra durante a execução comparativamente a um edifício construído com paredes de alvenaria dupla, basta que haja um aumento significativo do preço da energia ou da mão-de-obra para que o uso das cofragens modulares em EPS possa tornar-se economicamente viável.

7. Bibliografia

ACEPE – *Associação Industrial do Poliestireno Expandido*. [Em linha]. [consult. Fev. 2010]. Disponível em WWW: <URL: <http://www.acepe.pt/>>.

ADENE. Agência para a Energia – SCE, Certificação Energética e Ar Interior Edifício: *Enquadramento e Objectivos*. [Em linha]. actual. 13 Mar. 2010. [consult. Fev. 2010]. Disponível em WWW: <URL: <http://www.adene.pt/ADENE/Canais/SubPortais/SCE/Apresentacao/Enquadramentoobjectivos/Enquadramento+e+objectivos.htm>>.

ARGISOL - *Argisol® Bausystem*. [Em linha]. actual. 2010. [consult. Jan. 2010]. Disponível em WWW: <URL: <http://www.argisol-bewa.de/index.php>>.

ASTE, Niccolò; ANGELOTTI, Adriana; BUZZETTI, Michela – *The Influence of the external walls thermal inertia on the energy performance of well insulated buildings*. Energy and Buildings. [Em linha]. Vol. 41, Issue 11 (2009), pág. 1181-1187. actual. 10 Jun. 2009. [Consult. 15 Dez. 2009]. Disponível em WWW: <URL: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V2V-4WKK1KY-1&_user=10&_coverDate=11/30/2009&_alid=1335014681&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_cdi=5712&_sort=r&_docanchor=&view=c&_ct=44&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=70feb4dce75ae2d0e69b39c29305e40c>

BIOISOTHERM - *Argisol® costruire e isolare: Principali caratteristiche tecniche delle pareti realizzate con il sistema Argisol®*. [Em linha]. actual. 2009. [Consult. Fev. 2010]. Disponível em WWW: <URL: [http://www.bioisotherm.it/attached/tabella_tecnica_ARGISOL\(2\).pdf](http://www.bioisotherm.it/attached/tabella_tecnica_ARGISOL(2).pdf)>.

BRUNTLAND, G. – *Our Common Future: The World Commission on Environment and Development*. Oxford: Oxford University Press, 1987.

CAMELO, Susana [et. al.] – *Manual de Apoio à Aplicação do RCCTE*. ed. INETI. Lisboa: Hélder Gonçalves e Eduardo Maldonado, 2006.

CONSOMMATION d'énergie: *Le palmarès européen*. Magazine Que Choisir [Em linha]. n.º 426, p. 57 (2005). actual. Maio de 2005. [consult. Jan. 2010]. Disponível em: <URL: http://www.euromac2.com/uploads/media/quechoisir_1.pdf>.

EN 13501-1:2007, Classificação do desempenho face ao fogo de produtos e de elementos de construção – “*Parte 1: Classificação utilizando resultados de ensaios de reacção ao fogo*”.

ETA-05/0170:2005 – *European Technical Approval: Nicht lasttragender verlorener Schalungsbausatz "ARGISOL" aus EPS Schalungselementen*. DIBt.

ETAG 009:2005 – Guia de Aprovação Técnica Europeia: *Kits/Sistemas de cofragem perdida não resistente, com base em blocos vazados ou placas de materiais isolantes e eventualmente betão*.

ETAG 004:2003 – Guia de Aprovação Técnica Europeia: *Sistemas compósitos de isolamento térmico exterior com revestimento aplicado sobre isolante*.

EU – Energy and Transport in Figures: *Statistical pocketbook 2004*. Directorate General for Energy and Transport, European Commission, 2004.

EUROMAC2 – *Euromac2*[®]. [Em linha]. actual. 2006. [consult. Jan. 2010]. Disponível em WWW: <URL: <http://www.euromac2.com/>>.

KEPS – *KEPS*[®]. [Em linha]. actual. 2008. [consult. Jan. 2010]. Disponível em WWW: <URL: <http://www.keps-france.com/> >.

KIBERT, Charles J. – *Establishing Principles and a Model for Sustainable Construction*. in Kibert, C.J., ed. *Proceedings of the First International Conference on Sustainable Construction*. Tampa, FL, November 6-9. Roterdão: CIB Publications TG 16, 1994.

LIDERA – Sistema de Avaliação da Sustentabilidade. [Em linha]. actual. 2010. [consult. Fev. 2010]. Disponível em WWW: <URL: <http://www.lidera.info/>>.

NP EN 13163:2003, Produtos de isolamento térmico para aplicação em edifícios. “*Produtos manufacturados em poliestireno expandido (EPS). Especificação*”. IPQ.

PASSIVE-ON – *A Norma Passivehaus em Climas Quentes da Europa: Directrizes de Projecto para casas confortáveis de Baixo Consumo Energético*. Parte 1: Revisão de casas de baixo consumo energético. Versão Portuguesa. Lisboa: INETI, 2007.

PASSIVHOUSE INSTITUT – *Das Institut für Forschung und Entwicklung hocheffizienter Energieanwendung*. [Em linha]. actual. 2010. [consult. Fev. 2010]. Disponível em WWW: <URL: <http://www.passiv.de/>>.

PHPP – *Passive House Planning Package 2007/1-E*. Darmstadt: Passivhaus Institut, 2007.

PIEIDADE, António Canha da; RODRIGUES, António Moret; RORIZ, Luís Filipe – *Climatização em Edifícios: Envolvente e Comportamento Térmico*. 2.^a ed. Lisboa: Edições Orion, 2003.

PINHEIRO, Manuel Duarte – *Ambiente e Construção Sustentável*. Amadora: Instituto do Ambiente, 2006.

RCCTE: *Regulamento das Características de Comportamento Térmico*, Decreto-Lei n.º 80/2006. Porto Editora, 2006

ROULET, Claude Alain – *Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments*. Lausanne: PPUR, 2004.

SANTOS, Carlos A. Pina dos; MATIAS, Luís – *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*. 7.^a ed., col.«Informações Científicas e Técnicas», série ITE-50. Lisboa: LNEC, 2008.

TIRONE, Livia – *Construção Sustentável: Soluções Eficientes Hoje, a nossa Riqueza de Amanhã*. 1.^a ed. Lisboa: Tirone Nunes, 2007.

UE – Documento de Orientação H: "Uma abordagem harmonizada relativa a substâncias perigosas no âmbito do Produtos de Construção ", Bruxelas, 18 de Fevereiro de 2000.

VARIANTHOUSE - Varianhouse[®]. [Em linha]. actual. 2010. [consult. Jan. 2010]. Disponível em WWW: <URL: <http://www.varianthouse.com/>>.

VILHENA, António – *Análise das Poupanças Monetárias Associadas às Diversas Classes de Desempenho Térmico*. In Seminário sobre “Futuras condicionantes de natureza energética no valor de mercado dos imóveis habitacionais e seu impacto nas avaliações”. Lisboa: ISEL, 2008.

ANEXOS

Anexo I – Instalação das cofragens modulares em EPS

I.1 Geral

Em regra, os fabricantes deste tipo de cofragem devem garantir que os requisitos descritos anteriormente no **Capítulo 3** e neste **Anexo I** sejam dados a conhecer aos envolvidos no planeamento e execução da obra. O guia técnico de instalação deve estar acessível às entidades fiscalizadoras e no local de construção.

A execução das paredes com cofragens modulares em EPS, na sua essência, é semelhante à das paredes em betão armado com cofragens tradicionais, ou seja, após a instalação dos elementos de cofragem no local (ver secção **3.3**) é trazido o betão passando-se à betonagem e compactação do mesmo.

Em condições de utilização final, as placas das cofragens modulares em EPS são a parte principal do isolamento térmico das paredes, após a betonagem.

As paredes resultantes da aplicação das cofragens modulares em EPS são do tipo contínuo¹¹ de betão simples ou de betão armado e devem ser projectadas de acordo com a norma EN 1992/1/1¹² ou de acordo com as normas nacionais correspondentes.

No projecto estrutural a espessura da parede a considerar é de 13,3cm e o peso por unidade de área sem acções é de 2,87 kN/m² (assumido o peso volúmico do betão de 25 kN/m³).

De referir ainda, que parte das figuras apresentadas neste **Anexo I**, são provenientes dos guias de instalação da Argisol[®] (2010), assim como as técnicas e métodos de execução descritos nessa secção.

¹¹ Segundo a ETAG 009, secção 2.2 *cit in* ETA-05/0170:2005

¹² EN 1992/1/1:2009 – Eurocódigo 2: Projecto de estruturas de betão. Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios.



Fig. I.1 – Construção de um edifício de habitação com cofragens modulares em EPS, Berlim.

I.2 Instalação dos elementos de cofragem

I.2.1 Base e laje fundação

É imprescindível ter uma base plana e lisa, isto é, fundações prontas para colocar os primeiros elementos. Por norma, coloca-se uma tela impermeabilizante na zona de construção da parede de modo a evitar as infiltrações de água por capilaridade.



Fig. I.2 – Impermeabilização na zona de construção de parede (ARGISOL, 2010).

Alguns desníveis na base (1 a 4 cm de altura) podem ser compensados mediante a colocação de cunhas em madeira debaixo do elemento. Para tal, há que colocar 3 ou 4 fiadas de elemento (75 a 100cm de altura) e determinar os pontos mais altos com a ajuda de um dispositivo de nivelamento.

Os pontos mais baixos serão corrigidos mediante a introdução de cunhas de madeira até se conseguir chegar à mesma altura dos pontos mais altos. As cunhas de madeira devem ser colocadas por baixo dos elementos de cofragem com uma distância

entre elas de aproximadamente 1m, tapando-se o resto das aberturas com espuma de poliuretano (PUR) por exemplo.

Desníveis maiores (4 a 10 cm de altura) resultantes de má execução da laje de fundação não podem ser corrigidos com elementos de compensação de altura ou cortando elementos obliquamente. Neste caso é recomendável contactar o fabricante dos elementos de cofragem.



Fig. I.3 – Primeiras fiadas de parede sobre laje de fundação (ARGISOL, 2010).

I.2.2 Ligações de armadura

Se existirem possíveis movimentos ou forças (por exemplo, devido à pressão do solo) estes terão de ser assumidos nos pontos de ligação. As ligações das armaduras, indicadas pelo projectista, devem ser colocadas antes da betonagem da base. O ferro de arranque deve ser betonado juntamente com a laje e estar disposto entre as duas placas da cofragem do elemento. Há que ter sempre cuidado para que o ferro de arranque não fique encostado às placas para permitir o recobrimento da armadura.



Fig. I.4 – Ferro de arranque para a ligação entre laje de fundação e parede (ARGISOL, 2010).

Deve marcar-se previamente o ferro de arranque medindo a partir do rebordo externo da parede 9cm e 17cm para delimitar a área de introdução do ferro de arranque.



Fig. I.5 – Marcação do ferro de arranque (ARGISOL, 2010).

I.2.3 Marcação das Paredes

Deve marcar-se com um fio de bater ou com outro utensílio similar a posição exacta da base das paredes. É conveniente marcar também o interior da parede para uma colocação exacta.

Também deve marcar-se, todas as aberturas (portas, janelas, etc.) da parede indicando-as de modo bem visível.



Fig. I.6 – Marcação das paredes (ARGISOL, 2010).

I.2.4 Altura do edifício

Antes da colocação da primeira fiada de parede deve ser analisada detalhadamente a altura que esta deve ter em bruto. Se necessário, podem reduzir-se os elementos da primeira fiada, até 5cm da altura com um corte na base destes.

Exemplo: Altura da parede (medições da obra em bruto) = 2,46 m.

Execução: 10 fiadas de elementos, dos quais a primeira camada será reduzida em 4 cm.

Total: $9 \times 25 \text{ cm} + 21 \text{ cm} = 246$ centímetros.

Deve utilizar-se uma serra circular para cortar os elementos tendo o cuidado de assegurar que os espaçadores em metal não fiquem em contacto com a lâmina da serra, pois esta pode ficar danificada ou provocar um acidente. Opcionalmente, os elementos também podem ser cortados à mão com uma serra de mão ou serrote.

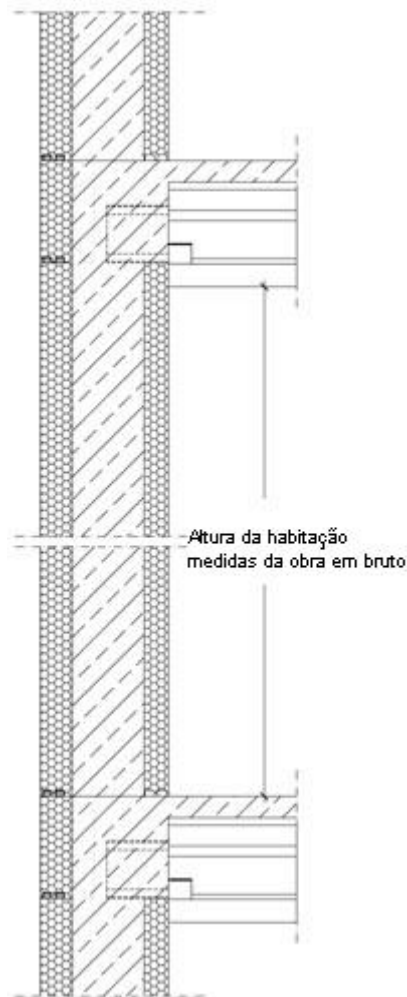


Fig. I.7 – Parede com altura que permite a colocação directa dos elementos (adaptado de ARGISOL, 2010).

Se não se conseguir obter a medida pretendida cortando apenas a primeira fiada, recomenda-se a utilização de elementos de compensação de altura que permitem ajustar a altura em segmentos de 5 cm.

Deve ter-se o cuidado de não colocar os elementos de compensação de altura uns sobre os outros. A pressão do betão pode fazer com que estes rebentem durante a betonagem por não possuírem espaçadores em aço como os elementos correntes. É

aconselhável colocar os elementos de compensação entre as fiadas dos elementos superiores da parede.

Exemplo: Altura do edifício (medidas da obra em bruto) =2,60 m

Execução: 10 fiadas de elementos, colocando um elemento de compensação por cima da oitava fiada e um por cima da nona fiada.

Total: $10 \times 25 \text{ cm} + 2 \times 5 \text{ cm} = 260 \text{ cm}$

Exemplo: Altura do edifício (medidas da obra em bruto) =2,625 m

Execução: 10 fiadas de elementos, no qual a primeira fiada será reduzida em 2,5 cm, colocando um elemento de compensação por cima da sétima, oitava e nona fiada.

Total: $9 \times 25 \text{ cm} + 22,5 \text{ cm} + 3 \times 5 \text{ cm} = 262,5 \text{ cm}$

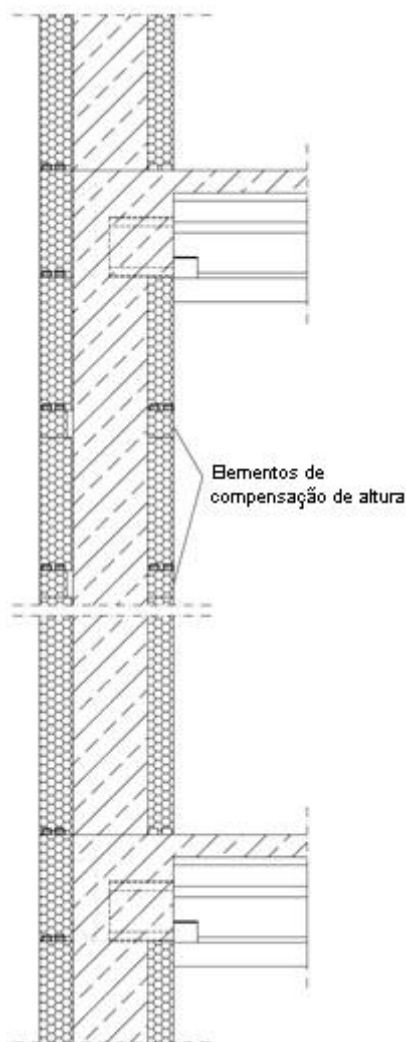


Fig. I.8 – Parede com elementos de compensação de altura nas últimas fiadas (adaptado de ARGISOL, 2010).

I.2.5 Colocação da primeira fiada

Para a colocação da primeira fiada deve começar-se sempre pelos cantos. A parte mais espessa dos elementos correntes deve ficar sempre do lado exterior. Só nos casos dos cantos ficarem voltados para o interior do edifício é que as partes mais finas do isolamento térmico, que constitui a cofragem, ficam voltadas para o lado exterior.



Fig. I.9 – Colocação da primeira fiada (ARGISOL, 2010).

No caso de estar prevista a colocação de uma impermeabilização contra humidades ascendentes, esta deve ser colocada antes da primeira fiada. As massas impermeabilizantes à base de cimento e as telas de asfalto ou emborrachadas são apropriadas para esta função.



Fig. I.10 – Impermeabilização na zona das paredes (ARGISOL, 2010).

I.2.6 Corte de elementos

Se for necessário cortar os elementos deve utilizar-se uma serra de mão, um serrote de lâmina fina ou uma serra eléctrica. O material de desperdício pode reutilizar-se sem problemas. No entanto, a utilização de restos de elementos que tenham menos de três espaçadores em aço, só poderá ser feita nas fiadas superiores das paredes devido a razões estáticas. Deve ter-se o cuidado de nunca se utilizar elementos sem espaçadores metálicos.



Fig. I.11 – Corte de um elemento com serra de mão (ARGISOL, 2010).

I.2.7 Dimensão do módulo

Para diminuir o seu comprimento devem-se cortar os elementos sempre pelas ranhuras previstas, as quais definem módulos de 2,5 cm.



Fig. I.12 – Elementos intercalados com visualização das ranhuras (ARGISOL, 2010).



Fig. I.13 – Elementos intercalados com corte no elemento superior (ARGISOL, 2010).

I.2.8 Fecho de paredes

O fecho das paredes deve ser feito através dos elementos de fecho. Para tal, devem medir-se as dimensões do módulo até ao intradorso, ou seja, até ao final da parede e cortar o excesso do elemento corrente usando uma serra de mão, de modo a que o elemento fique ao mesmo nível do fecho.



Fig. I.14 – Paredes com fechos nas extremidades e vãos (ARGISOL, 2010).

I.2.9 Colocação dos elementos

A colocação dos elementos é feita de forma muito simples, para isso basta bater com a palma da mão, ou utilizar um utensílio, por exemplo o cabo de um martelo, até que estes fiquem encaixados nos elementos inferiores, sem qualquer abertura entre eles.



Fig. I.15 – Colocação de elementos (ARGISOL, 2010).

I.2.10 Juntas e ligações entre elementos

Para as juntas entre elementos deve fazer-se como tradicionalmente com a alvenaria de tijolo, ou seja, as juntas verticais devem estar desencontradas de fiada para fiada de modo a haver travamento entre elas.

Para tal deve começar-se pelos cantos da parede, como indicado na secção **I.2.5**, colocando de seguida o resto da fiada. Nas fiadas seguintes deve alterar-se o uso de elementos de canto esquerdo e direito, no mesmo canto, de modo a resultar uma ligação de canto com 25 cm e proporcionar juntas verticais desencontradas.

Ao colocar os elementos, há que prestar a máxima atenção, para que nenhuma junta de corte se encontre directamente, ou demasiado perto das juntas, das duas fiadas vizinhas (fiada inferior e superior).

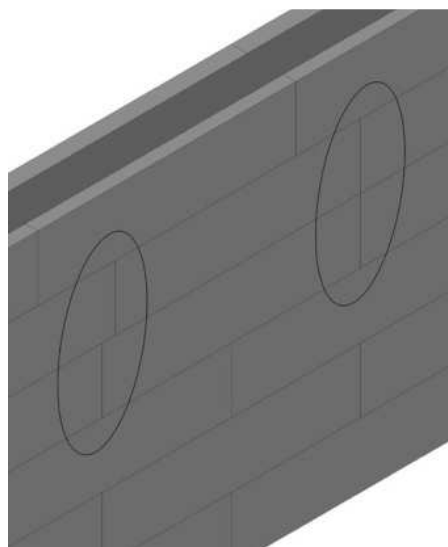


Fig. I.16 – Exemplo de má colocação das juntas de corte (ARGISOL, 2010).

I.2.11 Anexar janelas

No caso de se ter previsto fixar as janelas ao núcleo de betão, dois métodos de execução são possíveis:

- Pode cortar-se totalmente o elemento de fecho,
- Ou cortar-se uma parte do elemento de fecho, de modo a criar um topo, ou seja, estreitar o elemento de fecho na zona de apoio da janela, como demonstrado na **Fig. I.17**. Neste último método, tem-se a vantagem de evitar pontes térmicas.

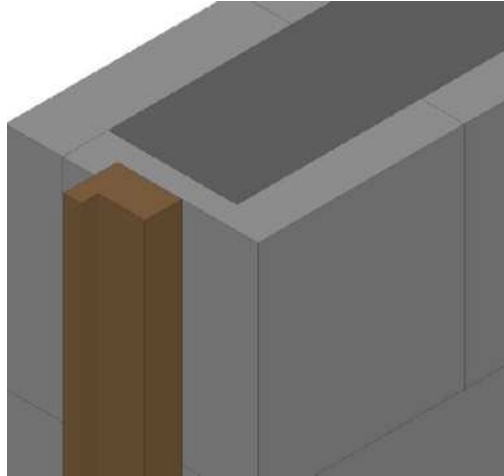


Fig. I.17 – Corte parcial do fecho de parede para colocação de caixilharia (ARGISOL, 2010).

Em ambos os métodos aparafusam-se as janelas ao núcleo de betão, isola-se e coloca-se espuma PUR nas juntas, entre a caixilharia e o isolamento térmico.

De referir que, também é possível fixar a janela directamente através do elemento de fecho até ao núcleo de betão sem nenhum corte como mostra a **Fig. I.18**.

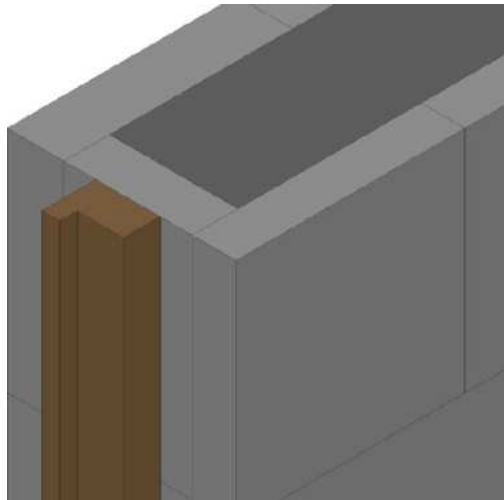


Fig. I.18 – Colocação da caixilharia directamente sobre o fecho de parede (ARGISOL, 2010).



Fig. I.19 – Caixilharia instalada directamente sobre o fecho de parede.

I.2.12 Lintéis de portas e janelas

Os lintéis para as portas e janelas são fornecidos completos. Há que determinar o comprimento dos lintéis, isto é, fazer a soma da largura de abertura interior mais duas vezes a largura do apoio. Para o apoio bastam 7,5 cm a 12,5 cm (3 a 5 pares de saliências do topo do elemento).



Fig. I.20 – Elemento de lintel visualização da zona de encaixe (macho) tipo malhete em cauda de andorinha (ARGISOL, 2010).

Para obter o comprimento desejado, por vezes, é necessário juntar elementos de lintel mediante união do tipo malhete em cauda de andorinha (macho-fêmea). Para obter medidas parciais, deve separar-se sempre o lado da fibra do malhete em cauda de andorinha (macho). A peça de desperdício é reutilizável e pode ser unida a outro elemento de lintel.

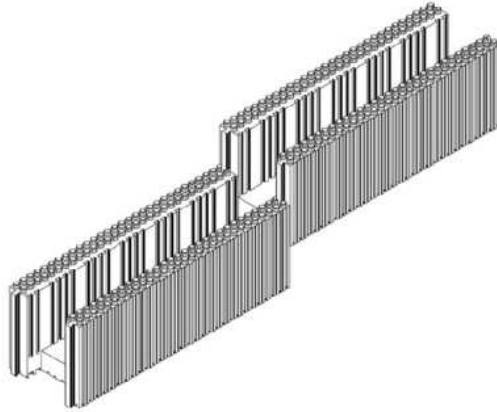


Fig. I.21 – Demonstração de encaixe entre dois elementos de lintéis (ARGISOL, 2010).

Quando o comprimento do elemento de lintel coincide justamente com o pretendido, há que cortar a fibra do malhete em cauda de andorinha.

Deve cortar-se a base dos elementos de lintel nas áreas que apoiam na parede para evitar que o elemento de lintel não fique apoiado sobre a espuma rígida de EPS e permitir melhor ligação entre o lintel e a parede.

Coloca-se, de seguida, o elemento de lintel sobre as áreas de suporte da parede.

Deve cofrar-se o elemento de lintel na base e lateralmente para que este não abra durante a betonagem, uma vez que o elemento não traz espaçadores em aço no seu interior para facilitar a colocação e montagem da armadura.

Para facilitar a cofragem do elemento de lintel, podem utilizar-se perfis de aço em “U”, para isso, basta colocar os perfis de aço em “U” por baixo do elemento de lintel de modo a desempenhar a mesma função dos espaçadores em aço que se encontra nos elementos correntes reforçando, assim, o elemento durante a betonagem. A medida de abertura do perfil em “U” tem que ser de 25 cm.



Fig. I.22 – Escoramento de elemento de lintel com viga de madeira e escoras metálicas extensíveis (ARGISOL, 2010).



Fig. I.23 – Colocação de armadura no elemento de lintel (ARGISOL, 2010).



Fig. I.24 – Base de um elemento de lintel já betonado colocado num vão.

É importante compensar o peso do betão através de escoramento. Opcionalmente, pode utilizar-se escoramento de madeira comum ou utilizando

elementos de cofragem corrente (**Fig. I.25**). A armadura dos lintéis varia em função da carga e do tamanho do vão a vencer.



Fig. I.25 – Escoramentos com barrotes de madeira e com elementos de cofragens correntes (ARGISOL, 2010).

Para o cálculo estrutural do lintel, deve tomar-se a secção transversal com 13,3cm de largura e 19cm de altura. Há que ter em conta a acção da laje superior e a altura útil.

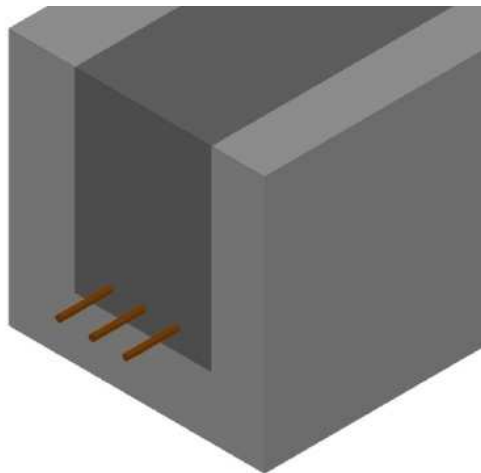


Fig. I.26 – Secção de cálculo estrutural (ARGISOL, 2010).

Se do ponto de vista estático não é necessário uma altura útil de 19cm da secção, podem colocar-se placas de poliestireno na base interior do lintel. As placas de poliestireno têm de estar coladas entre si. Depois do processo de betonagem e cura do betão pode cortar-se a base do elemento de lintel e deixar a placa de poliestireno colocada na base, para desempenhar a função de isolamento térmico na base do elemento.

Esta técnica tem a vantagem de aumentar a altura do vão sem alterar as dimensões do módulo de 25 cm.

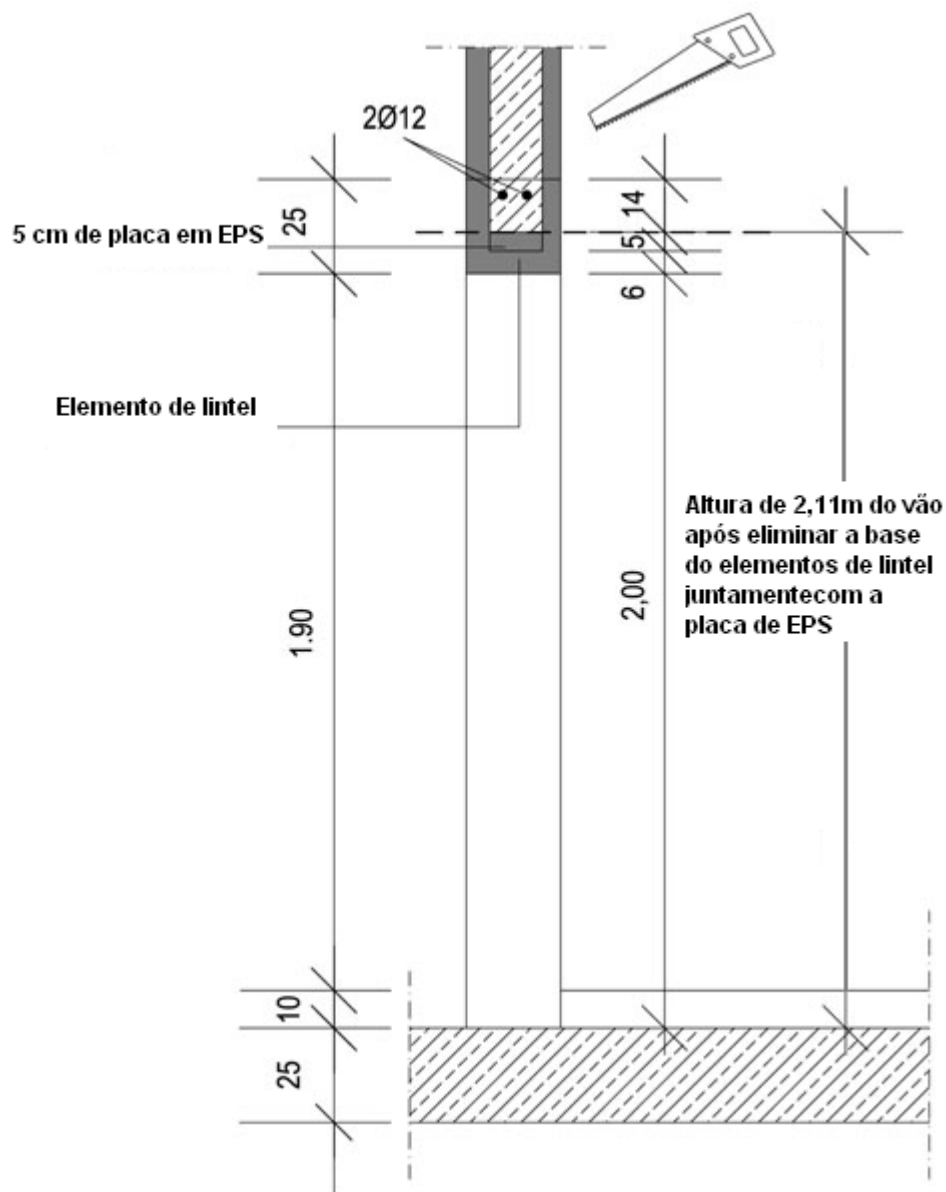


Fig. I.27 – Exemplo de como aumentar um vão (adaptado de ARGISOL, 2010).

I.2.13 Caixas de estore

As caixas de estore pré-fabricadas com largura de 25 cm, medida esta oferecida por vários fabricantes de estores, podem ser integradas no sistema de cofragem sem problemas e sem a aplicação de lintel. Neste caso a laje tem de ser projectada de modo a compensar a ausência de lintel nas áreas dos vãos e para isso tem que ser armada. Para evitar esta situação é mais apropriado a aplicação de caixilharia com caixa de estore integrada.



Fig. I.28 – Exemplo de caixas de estores (ARGISOL, 2010).

Se utilizar caixilharia com caixa de estore integrada, há que ter em conta que a caixa de estore será montada a 6 cm de distância do bordo exterior da parede. Nas frentes das caixas de estore podem inserir-se placas individuais ou elementos de compensação de altura encaixadas na base do lintel, se mais tarde se pretender rebocar as paredes exteriores juntamente com a caixa de estore **Fig. I.29**.

Assim, cria-se uma moldura ampla com a mesma largura lateral e superior da janela, ficando a caixa de estore coberta pela construção e isolada termicamente.

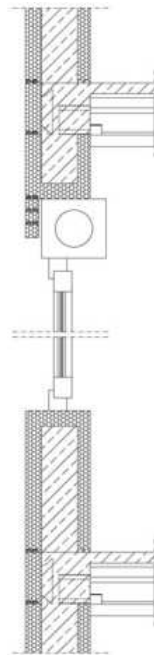


Fig. I.29 – Colocação de caixilharia com caixa de estore integrada (ARGISOL, 2010).



Fig. I.30 – Caixilharia com caixa de estore integrada colocada em obra.

I.2.14 Escoramento da cofragem

Para alinhar, apurar e sustentar os elementos de cofragem com precisão é recomendado reforçar as paredes com escoramentos. Estes escoramentos têm de ser apropriados e especialmente desenvolvidos para este sistema de cofragem. Por norma, são fornecidos ou alugados pelos vários fabricantes das cofragens.

Para que as paredes estejam suficientemente estáveis, mesmo com ventos fortes, os apoios de alinhamento devem ser fixados previamente.

Devem distribuir-se os apoios de alinhamento nas laterais dos vãos e nas zonas dos pilares, de modo a posicionarem-se a uma distância entre eles de 1,2 m, até 1,5 m.



Fig. I.31 – Escoramento de parede semi-levantada (ARGISOL, 2010).



Fig. I.32 – Escoramento de parede completa (ARGISOL, 2010).

Para betonar a parede toda até à altura do tecto são necessárias 4 espirais de ancoramento por apoio, entre as quais uma tem de estar aproximadamente a meio do apoio, uma na parte inferior e duas na metade superior do apoio de alinhamento. (por exemplo meter uma espiral na 2^a, 5^a, 8^a e 10^a fiada).



Fig. I.33 – Espirais de ancoramento (ARGISOL, 2010).

Ligam-se os apoios de alinhamento sobre a altura completa da parede através de parafusos nas espirais previamente inseridas nos elementos de cofragem e fixam-se directamente na laje.

No fim da colocação dos apoios de alinhamento, deve apurar-se com um nível ou prumo. Estes podem ser fixados directamente nos apoios de alinhamento através de um dispositivo de fixação (por exemplo utilizar prumos com hímen integrado).



Fig. I.34 – Pormenor do escoramento com a visualização dos parafusos de fixação (ARGISOL, 2010).

I.2.15 Como betonar

Na betonagem o betão deve ter uma consistência plástica e suave. Para se obter um bom factor água/cimento recomenda-se ajustar a consistência com aditivos na mistura de betão (BV) e não adicionar mais água. Segundo requerimentos estáticos a qualidade do betão deve ser previamente definida pelo projectista, ver secção **I.3**.



Fig. I.35 – Betão no interior da cofragem (ARGISOL, 2010).

Durante a betonagem, sempre que esteja prevista a construção de uma laje sobre as paredes, deve proteger-se a parte superior do isolamento térmico do lado exterior, de modo a que as saliências na parte superior do isolamento permitam o encaixe dos elementos de fecho de laje.

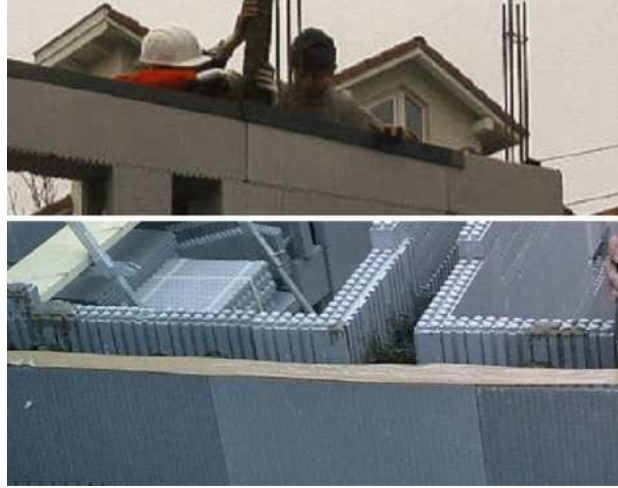


Fig. I.36 – Resguardo de protecção dos botões exteriores da cofragem durante a betonagem (ARGISOL, 2010).

Ao betonar com grua é muito útil um balde com funil para despejar o betão. Este colocar-se-á entre as placas de isolamento térmico, de modo a que o betão saia controlado e sem perda pelas paredes.



Fig. I.37 – Betonagem com grua e respectivo balde (ARGISOL, 2010).

É muito eficaz nas betonagens utilizar-se uma bomba de betão de progressão regular e com mangueira de 60mm de diâmetro. Deve começar-se a betonagem pelos parapeitos da parede e betonar toda a parede, até ao tecto, em três vezes (1m/1m/resto).



Fig. I.38 – Betonagem com bomba (ARGISOL, 2010).

I.2.16 Compactação do betão.

Pela velocidade de queda, peso e a boa capacidade de deslizamento do betão no plástico, este vai compactar-se em grande parte por si só. Normalmente compacta-se o betão respeitando a norma NP ENV 13670-1:2007¹³ e utilizando utensílios apropriados para esse efeito (por exemplo um vibrador).

Nas secções fortemente armadas pode ocorrer que o betão não consiga passar, logo as zonas de secções fortemente armadas são zonas a compactar. Para compactar pode bater-se na parede com uma tábua ou aplicar um vibrador com diâmetro pequeno.

¹³ NP ENV 13670-1:2007 – Execução de estruturas em betão. Parte 1:Regras gerais.

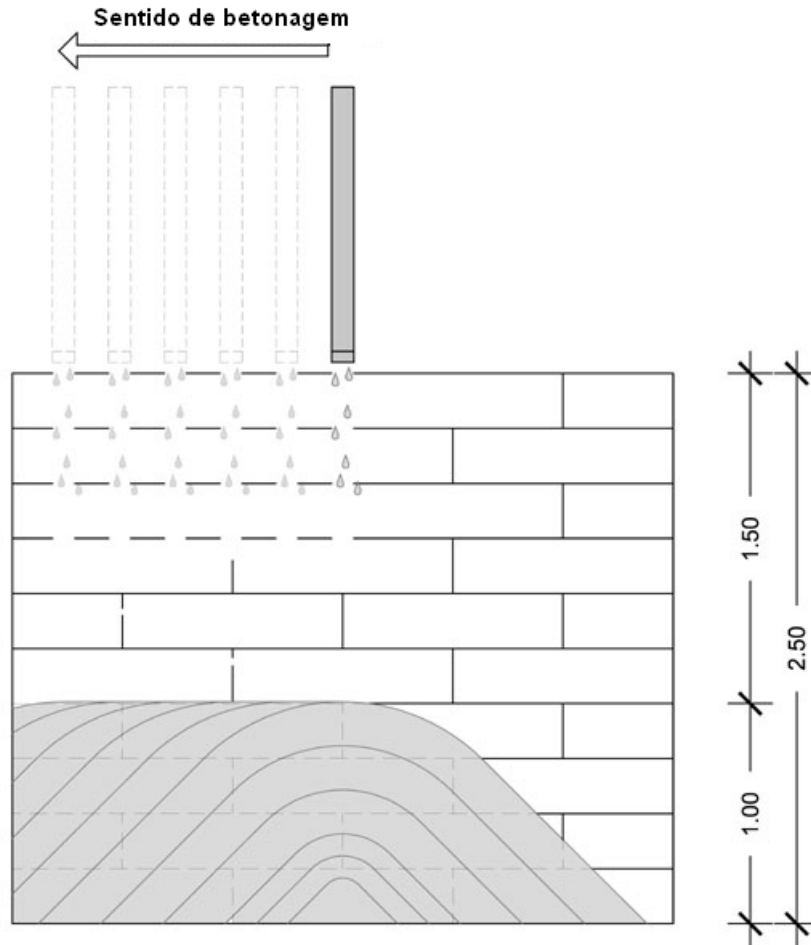


Fig. I.39 – Colocação de betão e a sua tendência de “auto-compactação” (adaptado de ARGISOL, 2010).

I.2.17 Trabalhos finais

É de grande importância controlar as paredes, ou seja, verificar se estão aprumadas e alinhadas, logo após a betonagem e se necessário corrigi-las. Também se deve verificar se as caixas ocas (estores, etc.) estão na posição certa.

As correcções são possíveis até à secagem e endurecimento do betão.

Devem molhar-se com um jacto de água os apoios de alinhamento, as espirais de ancoramento e as superfícies da parede.



Fig. I.40 – Figura exemplificativa de verificação de aprumo (ARGISOL, 2010).

I.2.18 Elemento de fecho de laje

Imediatamente após a betonagem e verificação de aprumo das paredes, colocam-se os elementos de fecho de laje sobre as placas de isolamento exterior da parede e a cada 35 cm coloca-se um varão de aço, aproximadamente com 30 cm (restos de armadura), ao longo da parede embutido no betão recém-chegado, de modo a ajudar a fixação dos elementos de fecho de laje.



Fig. I.41 – Elementos de fecho de laje (ARGISOL, 2010).

Devem cortar-se os elementos de fecho de laje nos cantos com um corte a meia-esquadria e betonar-se as câmaras do sistema de fixação dos elementos de laje com betão líquido, controlando sempre os aprumos resultantes.

Em alternativa, podem utilizar-se placas de isolamento simples com apoio de fixação em madeira, as quais se podem colocar antes de betonar as paredes. Por cada placa de bordadura, que tem 1m de comprimento, deve usar-se 3 tábuas para estabilizar.

Mesmo que as placas tenham menos de 60 cm de comprimento utiliza-se sempre duas tábuas para as fixar.



Fig. I.42 – Elemento de fecho de laje em placas de isolamento simples com apoio de fixação em madeira (ARGISOL, 2010).

I.2.19 Remover os apoios de alinhamento

Depois do betão das paredes ganhar presa suficiente (mínimo 12 horas depois da betonagem) podem retirar-se os apoios de alinhamento. Para tal, desapertam-se primeiro os parafusos das espirais, seguindo-se os parafusos de fixação à laje e, por fim, rodar as espirais de ancoramento até estas saírem.

Após se removerem os apoios de alinhamento, deve examinar-se sempre o seu estado, lubrificá-los e arrumá-los convenientemente nos suportes apropriados de armazenamento.

I.2.20 Espessura da laje

Para se poder construir uma parede sobre uma laje de piso intermédio a espessura da laje é muito importante. A diferença da altura do elemento de fecho de laje e a espessura da mesma podem obrigar à colocação de uma camada de compensação de argamassa ou enchimento das lacunas da superfície da laje, de modo a se conseguir colocar as primeiras fiadas dos elementos de cofragens de forma nivelada.

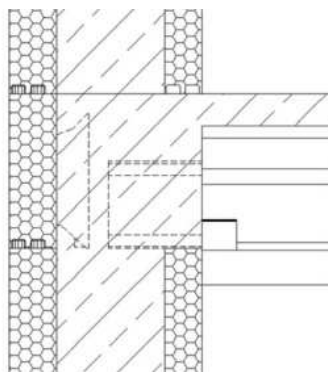


Fig. I.43 – Parede e laje sem necessidade de camada de compensação (ARGISOL, 2010).

A diferença de 20 cm entre a altura do elemento de fecho de laje e a espessura da laje, representa a altura da camada de compensação (**Fig. I.44**).

Existe também a possibilidade de cortar a parte em excesso do elemento de fecho de laje. Os trabalhos seguintes são executados como descrito anteriormente.

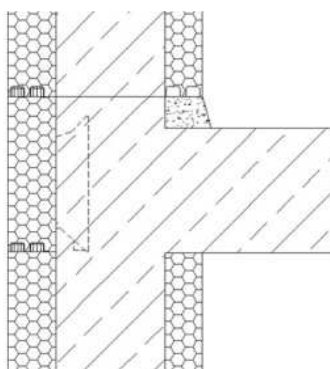


Fig. I.44 – Parede e laje com camada de compensação na face interior da parede (ARGISOL, 2010).

Com espessura de laje superior a 20 cm, o elemento de compensação de altura será colocado directamente por baixo do elemento de fecho de laje.

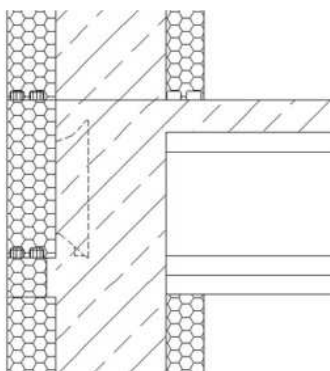


Fig. I.45 – Parede e laje com elemento de compensação no fecho de laje (ARGISOL, 2010).

I.2.21 Ressaltos na parede

Se a parede, por razões arquitectónicas, tiver de ser colocada mais para fora relativamente à laje inferior (ressalto na parede), deve prever-se um suporte (por exemplo utilizar um barroto) para a placa de isolamento térmico do elemento de cofragem que fica desalinhada relativamente à estrutura inferior (como mostra a **Fig. I.46**). A largura de enchimento tem que ser controlada antes da execução por um projectista ou técnico competente.

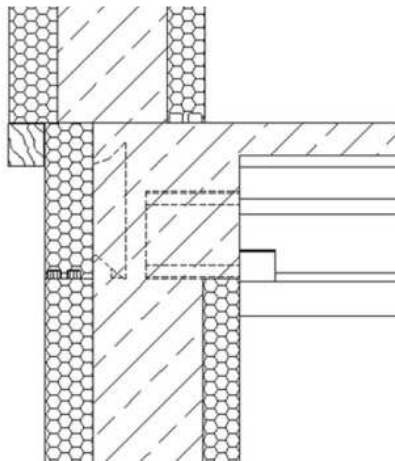


Fig. I.46 – Ressalto na parede com madeira de suporte (ARGISOL, 2010).

I.2.22 Camada de separação

Em todos os sítios onde haja exigências elevadas referentes ao isolamento acústico, é recomendável uma camada de separação de borracha ou cortiça prensada entre a laje e a parede, de modo a criar uma separação e evitar zonas de contacto. Isto para que a transmissão de som a outras habitações vizinhas seja reduzida consideravelmente.

Colocam-se as camadas de separação de borracha ou cortiça debaixo de todas as paredes em contacto com a laje, tanto nas exteriores como nas interiores. Há que prestar atenção para que não exista nenhum resto de argamassa que crie uma ponte acústica entre a laje e a parede que poderá diminuir a eficiência do isolamento.

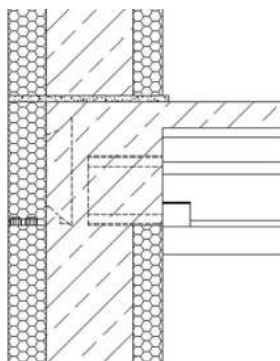


Fig. I.47 – Isolamento acústico na base da parede (ARGISOL, 2010).

I.2.23 Empena

Para uma cobertura inclinada devem colocar-se os elementos correntes até uma altura mais baixa da altura total da parede de empena. A altura total da parede de empena é feita com a colocação de elementos de empena na última fiada (inclinação da empena).

Nestes elementos existem dois fechos numa extremidade do elemento, sendo estes totalmente constituídos em EPS que permite o corte, de modo a criar a inclinação de empena desejada. Os elementos de empena permitem uma inclinação de 26° a 75°.

Os fechos destes elementos não devem ser totalmente cortados para evitar, durante a betonagem, que haja fuga do betão nas laterais. Em geral, o betão para a parte superior das paredes da empena não deve ser muito líquido.

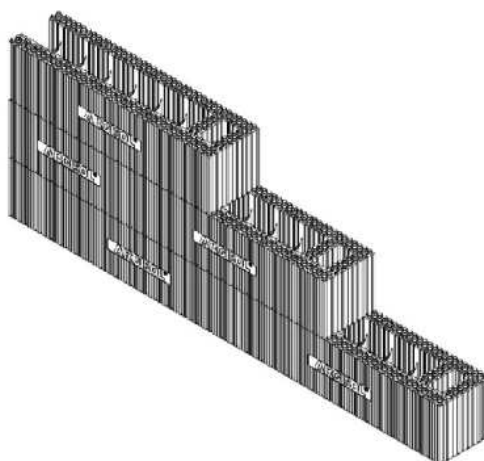


Fig. I.48 – Exemplo da colocação de elementos de empena (ARGISOL, 2010).



Fig. I.49 – Exemplos de empenas (ARGISOL, 2010).

I.2.24 Instalação de tubagens

Quando é necessário abrir roços para a passagem de tubagens, é utilizado de preferência um cortador de fio quente. Deste modo é possível colocar a tubagem no isolamento térmico interior depois da betonagem de forma muito fácil, sem esforço e sem resíduos.

Quando finalizada a colocação das tubagens, devem embutir-se com espuma de montagem PUR e cortar os excessos de espuma, quando secar e ganhar presa, até ficar complanar com a face da parede.

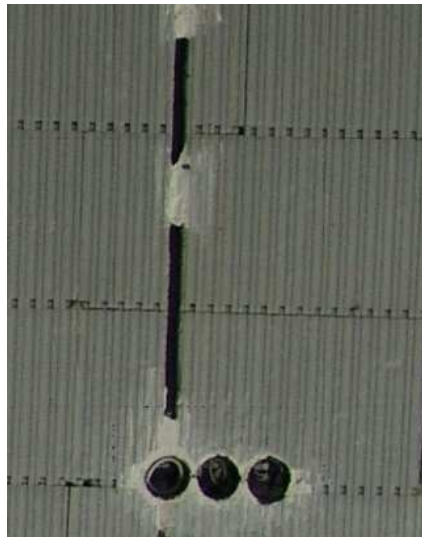


Fig. I.50 – Colocação de tubagem de electricidade (ARGISOL, 2010).

Para melhorar o isolamento acústico, hoje em dia, utilizam-se tubos de esgoto com instalação pré-fabricada. As tubagens verticais colocam-se no lado interior das paredes e revestem-se com placas de gesso cartonado. Também existe a possibilidade de instalar os tubos de esgoto posteriormente.

Nesta situação, antes de betonar, insere-se um elemento de fecho por detrás da placa de isolamento térmico, formando uma ranhura que permite colocar as tubagens sem que o núcleo de betão seja interrompido (**Fig. I.51**). Depois de betonar e do betão ganhar presa corta-se o isolamento térmico nessa zona e o elemento de fecho. Nesta cavidade pode colocar-se a tubagem.

Deve evitar-se a instalação de tubagem, no núcleo de betão das paredes exteriores, por razões de protecção acústica e de protecção contra incêndios.

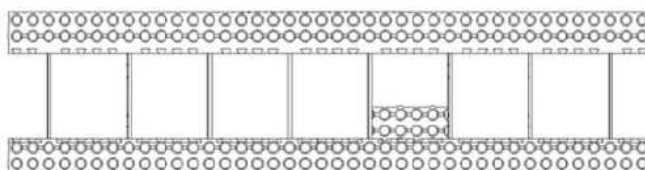


Fig. I.51 – Colocação de elemento de fecho, na face interior do elemento, para criar uma ranhura, sem interrupção do núcleo de betão (ARGISOL, 2010).

Cavidades maiores como, por exemplo, poços de tubagem ou interrupções programadas no núcleo de betão são possíveis de forma muito simples com a introdução de elementos de fecho no interior das paredes (**Fig. I.52**). Antes de instalar esta solução no núcleo de betão é necessário analisar e pedir aprovação junto do projectista ou técnico competente.

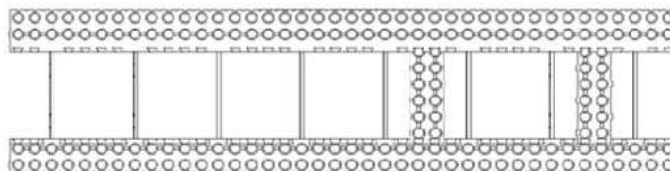


Fig. I.52 – Poço de tubagem no interior do núcleo de betão do elemento de cofragem (ARGISOL, 2010).

No entanto, devem ser evitadas condutas horizontais situadas no interior do núcleo de betão. Se for absolutamente necessário, estas devem ter sido tidas em conta na concepção da parede e ter aprovação do projectista ou técnico competente.

Também as condutas verticais no núcleo de betão devem ser consideradas caso o seu diâmetro for superior a 1/6 da espessura do núcleo de betão e desde que a distância entre tubos seja inferior a 2 m.

I.2.25 Conexão das paredes interiores

A conexão das paredes estruturais interiores às paredes exteriores é feita com elementos de cofragem em “T”.



Fig. I.53 – Conexão de parede estrutural exterior com interior (ARGISOL, 2010).

No caso de paredes interiores não estruturais, como por exemplo panos de alvenaria em tijolo, existem duas alternativas para as integrar com as paredes exteriores:

1ª. Alternativa: integração com fita de chapa perfurada;

Tiram-se duas saliências na área de integração da parede não estrutural. Adicionalmente, dependendo da espessura da chapa perfurada, pode corta-se o topo da placa de isolamento térmico interior. Dobra-se depois a cinta de chapa perfurada para formar um perfil em “U” e coloca-se a chapa na ranhura formada sobre a placa de isolamento interior. Prende-se a chapa perfurada com um fio para a proteger contra movimentos durante a betonagem.

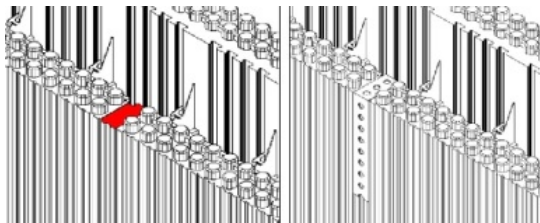


Fig. I.54 – Corte de duas saliências e colocação de chapa perfurada na face interior do elemento de cofragem (ARGISOL, 2010).

Depois de terminar a parede desdobram-se as pontas das chapas perfuradas e a parede não estrutural pode ser integrada com a ajuda destas.

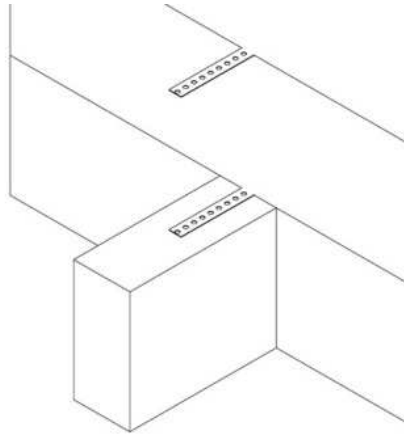


Fig. I.55 – Desdobramento da chapa perfurada e integração da parede não estrutural (ARGISOL, 2010).

2ª. Alternativa: integração cortando o isolamento térmico.

Quando a parede exterior construída com cofragens modulares estiver concluída, remove-se o isolamento térmico na área de conexão até atingir o núcleo de betão. Liga-se a parede interior com argamassa em toda a superfície em contacto com o núcleo de betão.

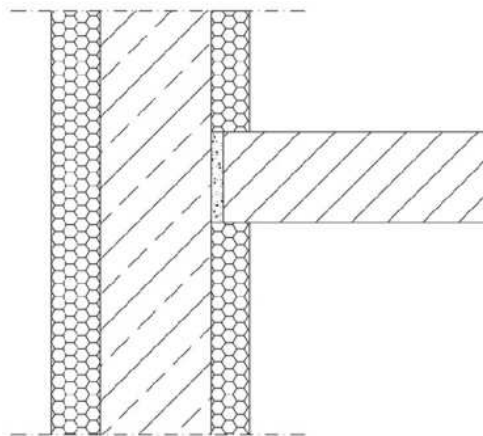


Fig. I.56 – Vista em planta da ligação com parede não estrutural com remoção de isolamento térmico (ARGISOL, 2010).

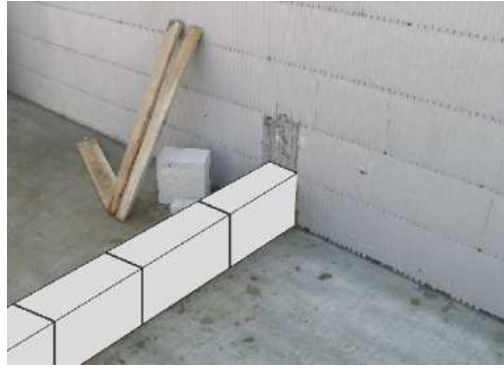


Fig. I.57 – Ligação com parede não estrutural, com remoção de isolamento térmico (ARGISOL, 2010).

I.2.26 Elementos de cantos redondos

A aplicação de elementos de cantos redondos é igual à aplicação de cantos normais de 90°.

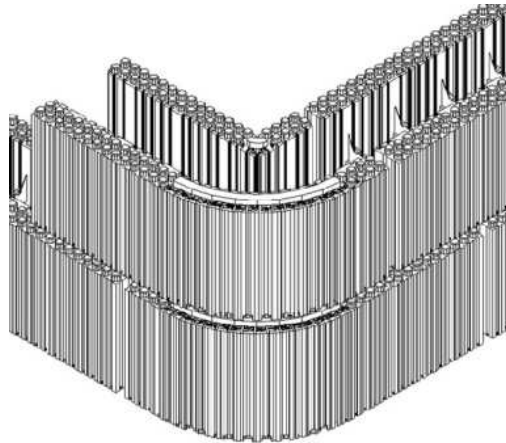


Fig. I.58 – Parede com canto redondo (ARGISOL, 2010).

Para os cantos com ângulos diferentes de 90°, há que ter em conta a distribuição de graduação marcada no lado superior dos elementos de canto redondo. Cortar e separar os elementos, no sítio desejado e utilizar a parte mais larga para formar o ângulo.

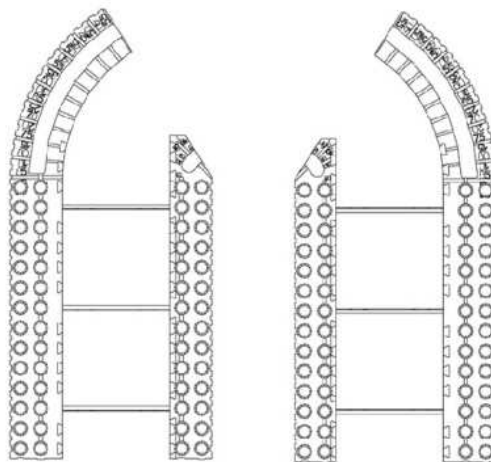


Fig. I.59 – Elementos redondos cortados para ângulos diferentes de 90°, pelas marcas de graduação (ARGISOL, 2010).

Depois, de colocar os elementos de canto redondos cortados na direita e na esquerda alternadamente como se faria com elementos de canto normais, há que ter em conta que os cantos devem estar especialmente bem apoiados.

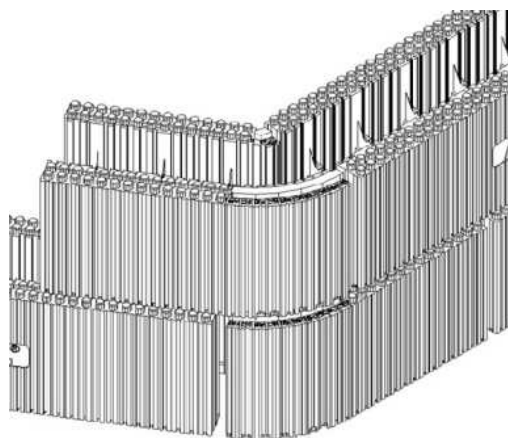


Fig. I.60 – Canto de parede com elementos de canto redondos cortados (ARGISOL, 2010).

I.2.27 Ângulos de 45°

Estes elementos especiais de construção para cantos exteriores ou interiores com ângulos de 45° colocam-se como os cantos convencionais de 90°, ou seja, através do uso alternado de elementos de canto direito e esquerdo, de modo a criar travamento entre eles.



Fig. I.61 – Canto de parede com elementos de canto de 45° (ARGISOL, 2010).

I.2.28 Paredes redondas

Nas paredes redondas utiliza-se elementos de paredes redondas com dobradiças. Estes elementos permitem formar paredes redondas com um raio mínimo de 70cm segundo a linha que se deseja com a ajuda das dobradiças incorporadas neste elemento.

Para começar, marca-se na base da parede o raio desejado e colocam-se os elementos de modo a que as aberturas entre cada elemento se situem sempre no lado interior da parede.

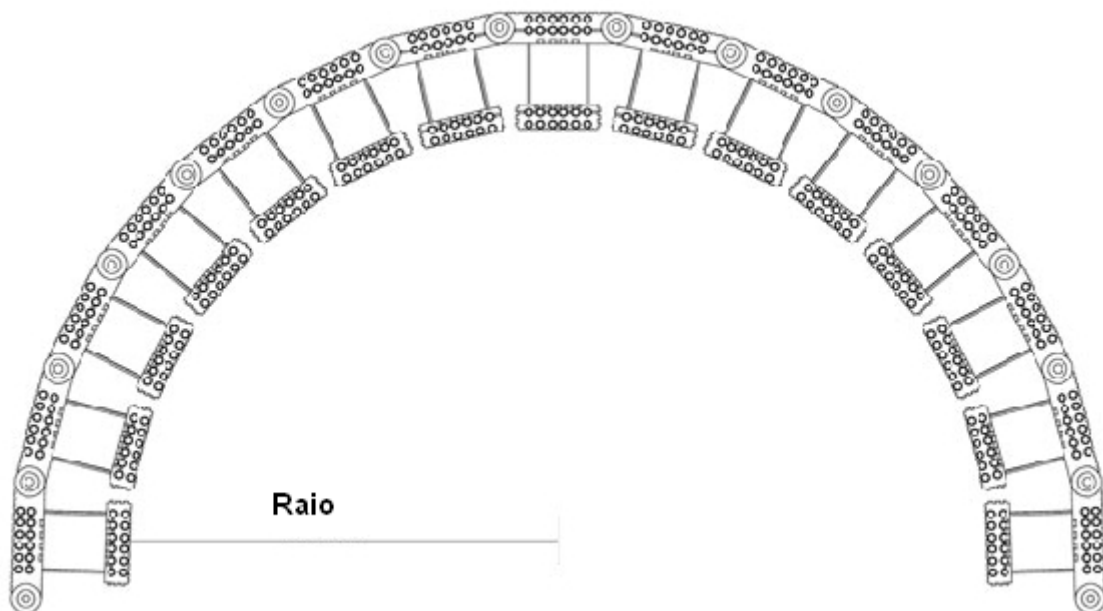


Fig. I.62 – Planta de uma parede redonda com elementos para paredes redondas com dobradiças (adaptado de ARGISOL, 2010).

Após se ter a parede definida e com os elementos colocados no sítio, colocam-se as cunhas nas aberturas deixadas na parte interior da parede. As cunhas são inseridas nas aberturas pelo interior do espaço que forma o núcleo de betão, para que quando o betão exercer pressão nas cunhas durante a betonagem, estas não saiam do sítio. No fim, cortam-se as pontas das cunhas que ficam saídas no lado interior da parede com uma serra.

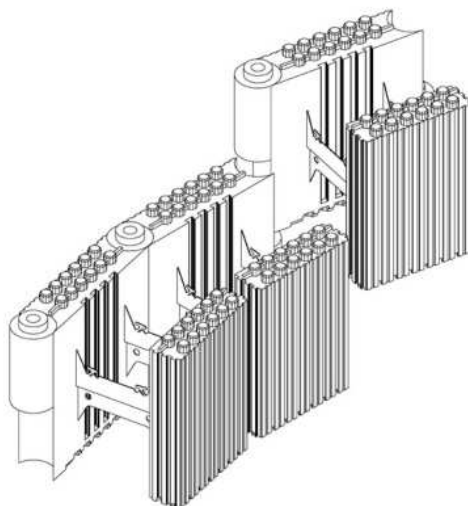


Fig. I.63 – Colocação de elementos para paredes redondas com dobradiças (ARGISOL, 2010).

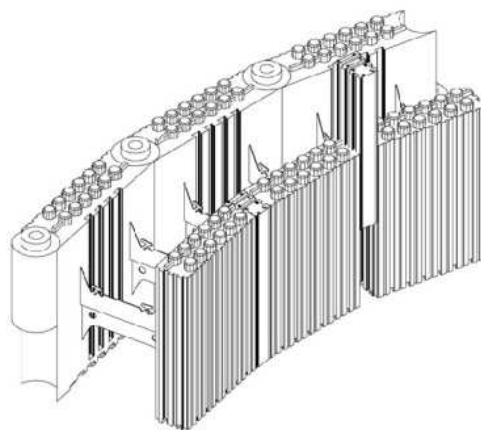


Fig. I.64 – Colocação das cunhas nas aberturas interiores entre os elementos para paredes redondas com dobradiças (ARGISOL, 2010).

Para se conseguir obter uma ligação ente os elementos de parede redonda com dobradiças e os elementos correntes na transição da parede com a parede redonda, devem cortar-se os elementos de parede redonda pela segunda e sétima ranhuras existentes na face exterior da placa de isolamento térmico mais grosso e na primeira e

sexta ranhuras existentes na face exterior da placa de isolamento térmico mais fina. Este resulta numa ligação de 12,5 cm (ver **Fig. I.65**).

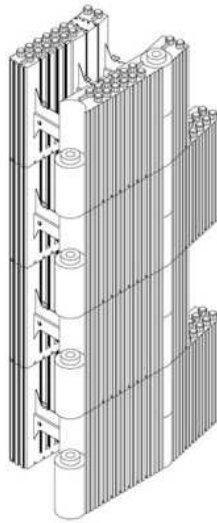


Fig. I.65 – Exemplo de ligação dos elementos para paredes redondas com dobradiças com os elementos correntes (ARGISOL, 2010).

I.2.29 Abertura de arcos

Para se realizar uma abertura em arco deve começar-se por desenhar o arco na laje, numa mesa de madeira ou algo similar. De seguida, une-se um par de placas individuais de isolamento térmico através de 6 pares de elementos de fecho, de modo a criar um elemento de cofragem semelhante ao elemento corrente, mas todo em EPS para permitir posteriormente o seu corte. Colocam-se elementos correntes sobre a área do arco previamente desenhado e fora dessa área, de forma a unificar o conjunto. Unem-se todos estes elementos e desenham-se, em ambos os lados, as linhas de separação do arco.

Depois de desenhada a linha de separação corta-se cada face exactamente ao longo da linha de corte com uma serra fina ou serrote. Na ranhura resultante, coloca-se uma placa de fibra de madeira, (aproximadamente com 3 a 5 mm de espessura) ao longo da ranhura e ata-se com um fio (colocar sempre o lado liso da placa de madeira voltada para cima, pois é o lado que irá estar em contacto com o betão).



Fig. I.66 – Colocação de placa em fibra de madeira na ranhura do arco (ARGISOL, 2010).

Para manter a placa de madeira e as placas de isolamento no sítio, unem-se ambas as partes com tiras/pedaços de madeira e fio. Depois deste passo concluído, coloca-se todo o conjunto na abertura no sítio previsto para o arco na parede.



Fig. I.67 – Placa em fibra de madeira colocada na ranhura e devidamente fixa no sítio (ARGISOL, 2010).

Por fim, depois do conjunto ser colocado no sítio previsto, escora-se todo o conjunto (**Fig. I.68**).



Fig. I.68 – Conjunto de arco, previamente montado, colocado na parede e escorado (ARGISOL, 2010).

Após a betonagem e endurecimento do betão remove-se o escoramento e a parte lateral do interior do arco. Nesta construção deve ter-se sempre cuidado com o tempo de cura do betão.



Fig. I.69 – Arco concluído (ARGISOL, 2010).

I.2.30 Paredes exteriores da cave

As paredes exteriores da cave têm o mesmo método de construção que as paredes acima do nível do terreno, com a diferença de ser necessária a colocação de protecção contra humidades (impermeabilizante) e da colocação de sistemas de drenagens no perímetro exterior da parede.



Fig. I.70 – Parede exterior duma cave, com metade da parede abaixo do nível do terreno (ARGISOL, 2010).

Telas coladas ao isolamento térmico exterior, assim como, massas impermeabilizantes colocadas com espátulas inofensivas para o EPS prestam protecção suficiente.

A impermeabilização deve formar uma calha na base da parede até ao sistema de drenagem.

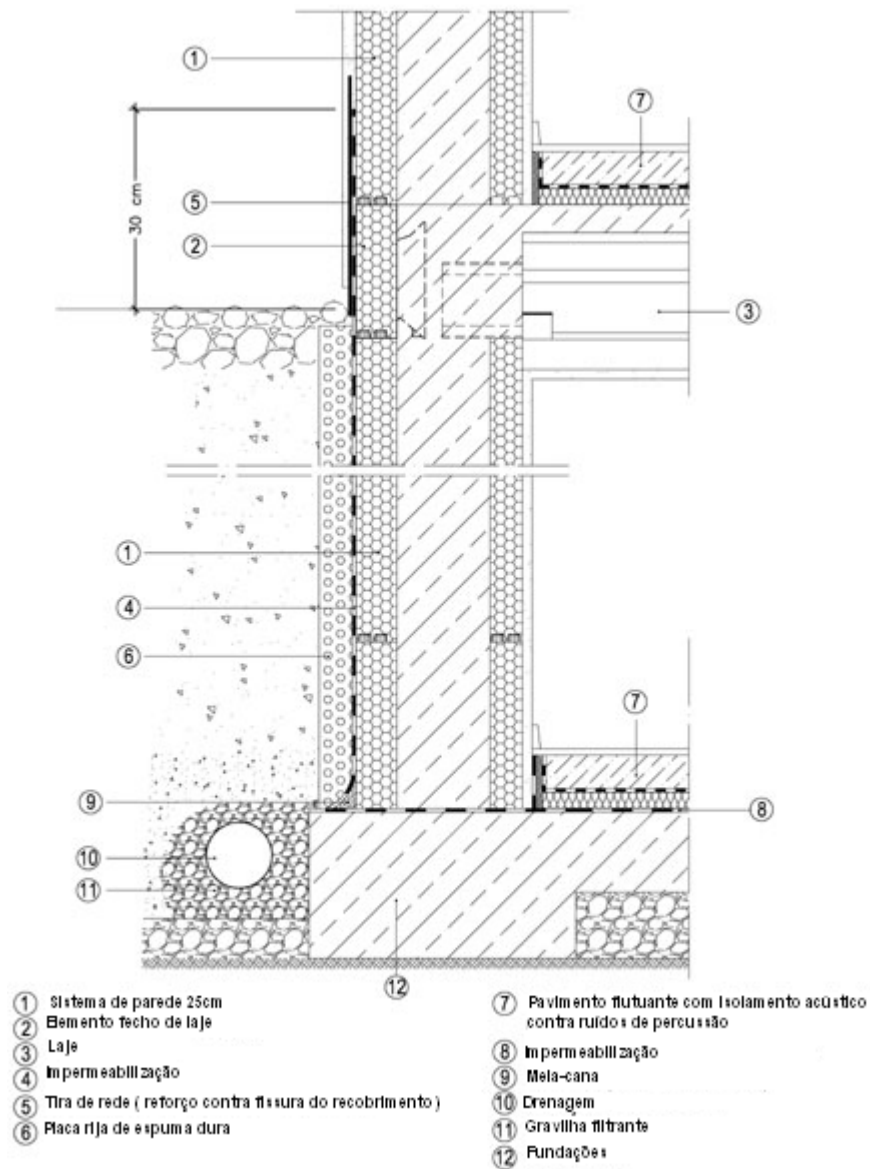


Fig. I.71 – Sistema de drenagem de parede de cave (adaptado de ARGISOL, 2010).

É aconselhado seguir as instruções de instalação da impermeabilização consoante a impermeabilização escolhida, assim como, o recobrimento aconselhado para uma execução perfeita e para evitar problemas posteriores de infiltrações de água.

Os momentos flectores provocados pela pressão do solo e pela própria água existente nele têm de ser compensados com armadura de reforço no núcleo de betão das paredes exteriores da cave.



Fig. I.72 – Parede exterior de uma cave totalmente abaixo do nível do terreno (ARGISOL, 2010).



Fig. I.73 – Primeiras fiadas numa parede de cave (ARGISOL, 2010).

I.2.31 Colocação de armadura nas paredes

No cálculo estrutural deste método construtivo, utiliza-se a metodologia das normas de construção para betão armado e só é considerado o núcleo de betão. Pela variação da qualidade do betão e da armadura cumprem-se todos os requisitos para a construção de edifícios, com excepção dos edifícios de grandes dimensões que necessitam de grandes espessuras de paredes, quando as espessuras oferecidas pelas cofragens modulares em EPS não sejam suficientes.

Uma armadura é somente necessária se existirem momentos flectores na parede. Neste caso a armadura calculada pelo projectista, pode ser colocada de forma muito simples nos elementos de cofragens graças aos espaçadores metálicos dos elementos que permitem a montagem e fixação de armadura.

Ao mesmo tempo que se instalam os elementos de cofragem insere-se em cada fiada a armadura horizontal, colocando os varões de aço nas ranhuras guias com fixação em “T” dos espaçadores metálicos (**Fig. I.74**). De fiada em fiada devem colocar-se os varões de aço alternadamente em cada lado da fixação em “T” dos espaçadores metálicos.

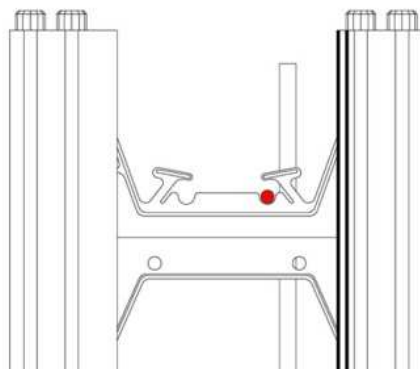


Fig. I.74 – Armadura longitudinal, colocada na ranhura dos espaçadores em aço (ARGISOL, 2010).

Ao colocar alternadamente os varões de aço da armadura longitudinal nas ranhuras de guia situadas nos espaçadores metálicos, por exemplo na 2^a, 4^a, 6^a, 8^a e 10^a fiada, quando erguida a parede, permite que sejam introduzidas pela parte superior da mesma os varões de aço da armadura vertical por entre os varões de aço da armadura longitudinal, ficando assim fixas na sua posição (**Fig. I.75**).

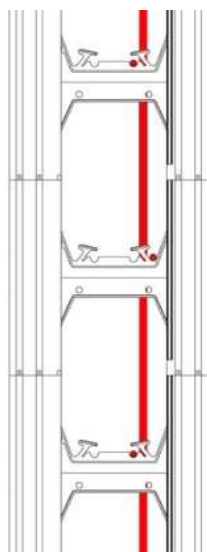


Fig. I.75 – Armadura vertical cruzada, entre a armadura longitudinal previamente colocada nas ranhuras dos espaçadores em aço (ARGISOL, 2010).

Durante a betonagem os varões da armadura vertical são pressionadas pelo fluxo de betão contra as armaduras longitudinais e portanto, ficam posicionadas no lugar mais favorável estaticamente. O movimento lateral dos varões de aço das armaduras longitudinais é evitado pelos tirantes em “T” existentes nos espaçadores metálicos dos elementos de cofragem.

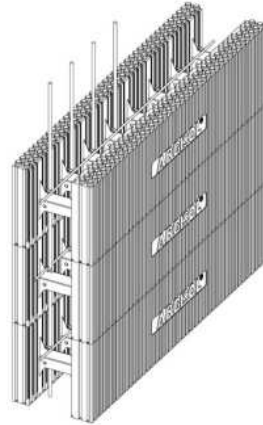


Fig. I.76 – Parede com armadura (ARGISOL, 2010).

I.2.32 Armadura perimetral

Em alguns casos são colocados dois varões de aço com pelo menos 12 mm de diâmetro no perímetro da parte superior das paredes exteriores e de separação (armadura perimetral), coincidente com a altura da laje intermédia ou cobertura.

Em alguns casos, em que as cargas sejam mais elevadas, pode ser necessário a construção de um lintel.

Fundamentalmente, há que considerar as indicações do projectista referentes às quantidades e dimensões da armadura.

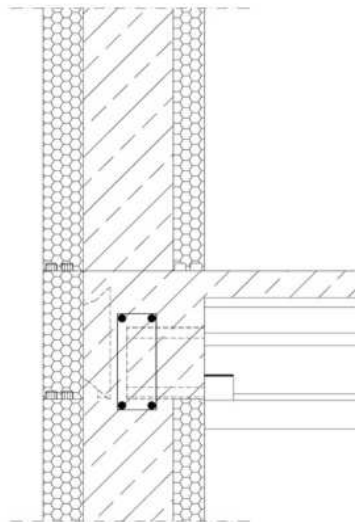


Fig. I.77 – Armadura perimetral (corte vertical) (ARGISOL, 2010).



Fig. I.78 – Armadura perimetral.

I.2.33 Obras de Inverno

O betão durante a cura produz calor. Este calor será mantido pelo isolamento térmico dos elementos e irá permitir a execução de betonagens durante o Inverno.

Se a temperatura baixar para temperaturas negativas, é necessário assegurar que o betão não congele. O gelo pode afectar a solidez do betão e como tal, é preciso ter em atenção as seguintes condições:

- Manter o factor água/cimento baixo;
- Escolher betão de elevado teor de cimento na mistura;
- Não utilizar aditivos congelados;
- Aquecer água na mistura e nos aditivos;
- Cobrir o betão;
- Adicionar possíveis aditivos de betão.



Fig. I.79 – Construção de Inverno com neve (ARGISOL, 2010).

I.2.34 Piscina

A energia solar armazenada na água não é transmitida ao solo graças aos baixos valores de coeficientes de transmissão térmica proporcionados pelas cofragens modulares em EPS. Por isso, este sistema de cofragem é apropriado para a construção de piscinas.

Na construção de piscinas, quer estejam abaixo ou acima do nível do terreno, é necessário prestar atenção ao seu tamanho e às fundações. Na laje de fundação tem de se prever as armaduras de ligação para os elementos de cofragem. Depois é muito simples, basta seguir os passos descritos anteriormente para a execução de paredes com cofragens modulares em EPS, com a única diferença da escolha do recobrimento interior da piscina.



Fig. I.80 – Piscina (ARGISOL, 2010).

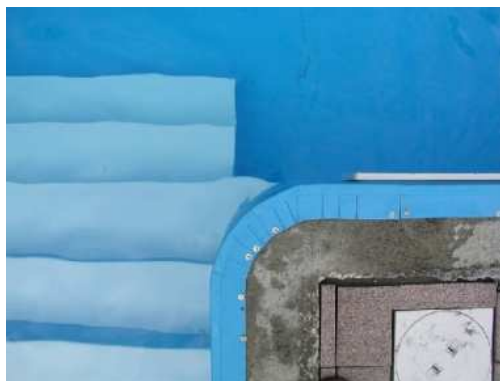


Fig. I.81 – Pormenor de acabamento de piscina com tela (ARGISOL, 2010).

I.2.35 Barreiras de vapor

No caso de uma carga de humidade contínua como, por exemplo, a existente nas piscinas, celeiros, edifícios comerciais, industriais, etc., é necessária uma barreira de vapor na face mais quente da parede (interior da construção). Tal medida também pode ser necessária no lado frio da parede, quando são colocados revestimento e acabamento densos, como no caso de hospitais ou quando se utiliza revestimento cerâmico, estes podem limitar a difusão do vapor de água através da parede. Um cálculo da difusão de vapor para a construção pretendida pode definir se uma barreira de vapor é necessária.

I.2.36 Danos

Caso se verifiquem danos no isolamento térmico em EPS das cofragens, na face interior da parede, deve coloca-se espuma de montagem PUR no sítio a reparar e depois do endurecimento da mesma cortar os excessos.

Quando os danos no isolamento térmico são pela face exterior da parede, recorta-se um rectângulo e coloca-se com precisão um bocado de chapa simples de isolamento térmico com cola própria para o EPS.

I.2.37 Reboco

No lado interior da parede deve aplicar-se pelo menos 10mm de reboco ou estuque sobre uma camada de cola ou directamente na superfície das cofragens modulares em EPS livre de poeiras.

No lado exterior deve ser aplicado um sistema de reboco que proporcione protecção térmica completa contra o calor e a radiação solar. O reboco deve ser armado com tela/rede de fibra de vidro. São recomendados sistemas de reboco que atendam aos

requisitos especificados no ETAG 004¹⁴. A realização do trabalho de reboco deve ser feita em conformidade com as normas nacionais em vigor.



Fig. I.82 – Execução de recobrimento exterior com tela/rede de vidro (ARGISOL, 2010).

I.3 Cuidados a ter na betonagem

Para a produção de betão normal é aplicável a norma NP EN 206-1¹⁵. A consistência do betão, tanto para a compactação por vibração como para a compactação por agitação, deve estar dentro do maior intervalo de consistência F3. A classificação F3 significa que quando se proceder ao ensaio da mesa de espalhamento do betão, segundo a norma NP EN 12350-5¹⁶, deve obter-se um diâmetro de espalhamento entre os 420mm e os 480mm.

O tamanho dos agregados não deve exceder os 16 mm. O betão deve apresentar um desenvolvimento de resistência rápido ou médio de acordo com NP EN 206-1¹⁵ segundo o quadro 12 desta mesma norma.

A betonagem deve ser realizada apenas por pessoas que foram instruídas na obra e sobre o manejo adequado do sistema de cofragem.

A altura máxima de enchimento é de 1m a uma taxa de betonagem de 3m/h para as paredes constituídas com elementos correntes, elementos de canto e elementos em “T”. Para paredes redondas construídas com elementos de cofragens de paredes redondas com dobradiças a taxa de betonagem não deve exceder 1 m/h.

Se não existirem ou não estiverem disponíveis normas nacionais, as seguintes instruções devem ser consideradas.

As juntas horizontais devem estar dispostas de preferência à altura da laje de tecto. No caso destas não poderem ser evitadas e encontrarem-se a meio da parede deve

¹⁴ ETAG 004:2003 – Guia de Aprovação Técnica Europeia: *Sistemas compósitos de isolamento térmico exterior com revestimento aplicado sobre isolante*.

¹⁵ NP EN 206-1:2007 – Betão. “*Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade*”.

¹⁶ NP EN 12350-5:2009 – Ensaio do betão fresco. “*Parte 5: Ensaio da mesa de espalhamento*”.

ser instalada uma armadura de reforço vertical. O reforço de compósitos deve cumprir os seguintes requisitos:

- Não se devem colocar dois varões em aço adjacentes no mesmo plano paralelo à superfície da parede;
- A distância entre dois varões de aço de reforço, no sentido longitudinal da parede, deve ser de pelo menos 10cm e não pode ser superior a 50cm;
- A secção total da armadura de ligação não deve ser inferior a 1/2000 da secção transversal total do núcleo de betão;
- O comprimento de ligação dos varões de aço deverá ter pelo menos 20 cm.

Quando as paredes se betonam por fazes, antes da colocação do betão seguinte, deve ser removida a goma de cimento e os resíduos de betão solto, assim como pré-molhar toda a junta horizontal para que a pasta de cimento do betão mais recente possa criar uma boa aderência com o betão já endurecido.

Para betonar a parede de uma vez só por camadas (1m/1m/resto), o betão das primeiras camadas não pode ter solidificado completamente e ganho presa. Só assim se garante uma boa aderência e consistência entre as camadas de betão. Ao utilizar vibradores internos há que ter cuidado para que o cilindro do vibrador penetre nas camadas inferiores de betão já compactado.

O betão pode cair livremente até uma altura de 2m, sendo que, deve ser colocado através de tubos de descarga ou de tubos de betonagem com diâmetro não superior a 100mm.

Ao projectar-se a armadura de reforço deve prever-se espaço suficiente para os tubos de betonagem e vibrador.

Após a betonagem das paredes estas não se podem afastar da prumada mais do que 5mm por metro de altura da parede.

A laje só poderá ser colocada/realizada sobre as paredes quando o núcleo de betão da parede tiver resistência suficiente. (ETA-05/0170, 2005).

I.4 Fixação de objectos

Não é possível a fixação de objectos nas placas de cofragem de EPS. A fixação de objectos tem significativa importância para a resistência mecânica das placas, logo

qualquer fixação terá de atingir o núcleo de betão. A influência da fixação na redução da resistência térmica será considerada de acordo com a EN ISO 6946¹⁷.

¹⁷ EN ISO 6946:2007 (Ed. 2), Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance: Calculation method.

Anexo I

Instalação das cofragens modulares em EPS

Anexo II – Acessórios

II.1 Cunhas para paredes redondas

São tão altas quanto as placas de cofragem corrente (250 mm) e são usadas para preencher as lacunas entre as juntas verticais no interior das paredes redondas feitas, normalmente, com elementos redondos com dobradiças próprias para executar este tipo de paredes (**Anexo V, Fig. V.13 e Fig. V.21**) (ETA-05/0170, 2005).

II.2 Elementos de fecho de laje

São usadas para a cofragem vertical das lajes e para lhes diminuir pontes térmicas em condições de utilização final. As superfícies superiores e inferiores são encaixadas da mesma forma como para as placas de cofragem dos elementos correntes, ou seja, o encaixe das superfícies na vertical é feito por saliências e reentrâncias (macho-fêmea) (**Anexo V, Fig. V.9**).

Estas placas têm 75cm de comprimento, 10cm de espessura e 20cm de altura. No interior das placas, existe um sistema de fixação que é betonado juntamente com as paredes. Após o endurecimento do betão das paredes, as placas de fecho de laje ficam suficientemente fixas para resistir à pressão da betonagem da laje. (**Anexo V, Fig. V.22**)

Em alternativa existe também a possibilidade de utilizar um elemento de fecho de laje em placas simples com fixação de madeira (**Anexo V, Fig. V.10 e Fig. V.23**) (ETA-05/0170, 2005).

II.3 Placas simples; elemento de compensação de altura; fechos de paredes

As superfícies superiores e inferiores de todas estas peças têm o mesmo sistema de encaixe dos elementos convencionais por saliências e reentrâncias e a textura das faces internas e externas têm as mesmas ranhuras (**Anexo V, Fig. V.11, Fig. V.12, Fig. V.14 e Fig. V.15**).

As placas simples e os elementos de compensação de altura são utilizados para preencher as lacunas que não são possíveis de preencher com os elementos de cofragens correntes (como por exemplo, as articulações para o telhado ou o acerto do pé direito da parede).

As placas simples, têm as mesmas dimensões das placas de cofragem dos elementos correntes, ou seja, existem dois tipos de placas onde uma é igual à placa

exterior que compõe o elemento de cofragem corrente e outra igual à interior (**Anexo V, Fig. V.24 e Fig. V.25**).

As peças para igualar as diferenças de altura têm 5cm de espessura, 5cm de altura e 50cm de comprimento (**Anexo V, Fig. V.27**)

Os fechos de paredes têm 25cm de altura, 5cm de espessura e 13,3cm de largura e são inseridos nas aberturas entre as placas de cofragem dos elementos correntes, de modo a fechar as paredes nas zonas dos vãos (**Anexo V, Fig. V.26**) (ETA-05/0170, 2005).

Anexo III – Quadros com resultados obtidos da aplicação do RCCTE**Quadro III. 1** – Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (Nic), para arrefecimento (Nvc) e necessidades globais de energia primária (Ntc) para os locais considerados de Portugal Continental.

Localidade	Solução Construtiva	Nic	Nvc	Ntc
		(kWh/m ² .ano)	(kWh/m ² .ano)	(kgep/m ² .ano)
Cascais I1V1 Sul	Cof. Modular	28,96	11,86	3,38
	Parede Dupla	32,01	10,36	3,45
Aveiro I1V1 Norte	Cof. Modular	35,51	7,56	3,53
	Parede Dupla	39,59	5,13	3,62
Faro I1V2 Sul	Cof. Modular	28,11	18,82	3,42
	Parede Dupla	31,43	18,82	3,52
Santa Comba Dão I1V2 Norte	Cof. Modular	32,18	8,31	3,44
	Parede Dupla	35,37	5,85	3,51
Évora I1V3 Sul	Cof. Modular	36,63	18,70	3,67
	Parede Dupla	40,93	18,69	3,79
Leiria I2V1 Norte	Cof. Modular	46,09	7,56	3,84
	Parede Dupla	51,69	5,13	3,97
Guimarães I2V2 Norte	Cof. Modular	49,14	8,31	3,93
	Parede Dupla	55,06	5,85	4,08
Sertã I2V3 Norte	Cof. Modular	60,90	15,19	4,34
	Parede Dupla	68,32	14,46	4,55
Portalegre I2V3 Sul	Cof. Modular	48,99	18,70	4,03
	Parede Dupla	54,92	18,69	4,20
Guarda I3V1 Norte	Cof. Modular	97,04	7,56	5,31
	Parede Dupla	108,69	5,13	5,63
Góis I3V2 Norte	Cof. Modular	68,75	8,31	4,50
	Parede Dupla	77,11	5,85	4,72
Alijó I3V3 Norte	Cof. Modular	81,11	15,19	4,93
	Parede Dupla	90,88	14,46	5,20

Quadro III. 2 – Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (Nic) e arrefecimento (Nvc), e necessidades globais de energia primária (Ntc), para diversas altitudes da Região Autónoma dos Açores.

Região Autónoma dos Açores				
Altitude	Solução Construtiva	Nic	Nvc	Ntc
		(kWh/m ² .ano)	(kWh/m ² .ano)	(kgep/m ² .ano)
50m	Cof. Modular	17,41	10,14	3,03
	Parede Dupla	19,30	8,50	3,07
100m	Cof. Modular	20,50	10,14	3,12
	Parede Dupla	22,85	8,50	3,17
250m	Cof. Modular	25,09	10,14	3,25
	Parede Dupla	27,86	8,50	3,32
500m	Cof. Modular	32,81	10,14	3,48
	Parede Dupla	36,24	8,50	3,56
1000m	Cof. Modular	66,88	10,14	4,46
	Parede Dupla	75,02	8,50	4,68

Quadro III. 3 – Necessidades nominais anuais de energia para aquecimento (Nic) e arrefecimento (Nvc) e necessidades globais de energia primária (Ntc), para cada altitude em estudo da Região Autónoma da Madeira

Região Autónoma da Madeira				
Altitude	Solução Construtiva	Nic	Nvc	Ntc
		(kWh/m ² .ano)	(kWh/m ² .ano)	(kgep/m ² .ano)
50m	Cof. Modular	6,21	10,85	2,71
	Parede Dupla	6,91	9,26	2,72
100m	Cof. Modular	11,55	10,85	2,87
	Parede Dupla	12,77	9,26	2,89
250m	Cof. Modular	19,13	10,85	3,09
	Parede Dupla	21,46	9,26	3,14
500m	Cof. Modular	29,49	10,85	3,39
	Parede Dupla	32,81	9,26	3,47
1000m	Cof. Modular	55,87	10,85	4,15
	Parede Dupla	62,63	9,26	4,33

Anexo IV – Quadros retirados do RCCTE**Quadro IV. 1** – Valores máximos da massa superficial útil (M_{si}), em função da localização dos elementos de construção no edifício.

Localização dos elementos de construção no edifício.	Valores máximos de M_{si} (kg/m^2) a considerar no cálculo de I_t	
	Com Isolamento(*)	Sem Isolamento
EL1 - Elemento da envolvente exterior, em contacto com outra fracção autónoma, ou com espaços não úteis.	$M_{si} = m_i$ e $M_{si} \leq 150$	$M_{si} = m_t/2$ e $M_{si} \leq 150$
EL2 – Elementos em contacto com o solo.	$M_{si} = m_i$ e $M_{si} \leq 150$	$M_{si} = 150$
EL3 – Elementos de compartimentação interior da fracção autónoma, em estudo (paredes e pavimentos interiores).	$M_{si} = m_t$ e $M_{si} \leq 300$	

m_i – massa do elemento situada do lado interior do isolamento térmico;

m_t – massa total do elemento;

(*) material de condutibilidade térmica, inferior a $0,065 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$, com espessura tal, que conduza a uma resistência térmica, superior a $0,30 \text{ m}^2\cdot\text{°C/W}$, de acordo com o Anexo VII do RCCTE, Capítulo 2.1.

NOTA: os valores indicados, não têm em consideração a existência e influência das características, dos revestimentos superficiais, ver **Quadro IV.2**.

Quadro IV. 2 – Influência dos revestimentos superficiais interiores, na massa superficial útil.

Elemento construtivo	Resistência térmica, R, do revestimento superficial [m ² .°C/W]	Valor efectivo a adoptar para a massa superficial útil (M_{si})
Elementos de construção da envolvente da fracção autónoma	R ≤ 0,14	M _{si}
	0,14 < R ≤ 0,30	0,50 * M _{si}
	R > 0,30	0
Elemento de compartimentação interior da fracção autónoma (parede ou pavimento interior)	R ≤ 0,14	M _{si}
	R > 0,14 uma das faces do elemento	0,75 * M _{si}
	R > 0,14 ambas as faces do elemento	0,50 * M _{si}

Anexo V – Figuras dos elementos de cofragem



Fig. V.1: Elemento corrente (ARGISOL, 2010).

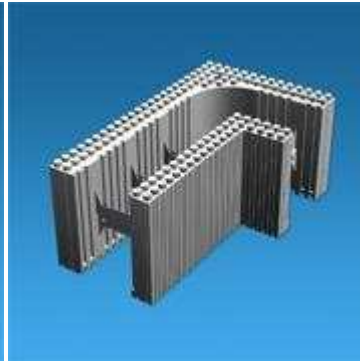


Fig. V.2: Elemento de canto direito (ARGISOL, 2010).

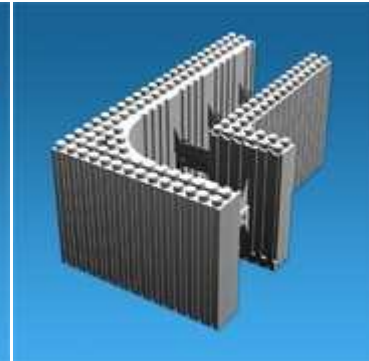


Fig. V.3: Elemento de canto esquerdo (ARGISOL, 2010).

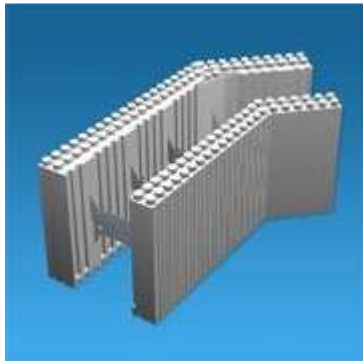


Fig. V.4: Elemento de canto com ângulo de 45° direito (ARGISOL, 2010).

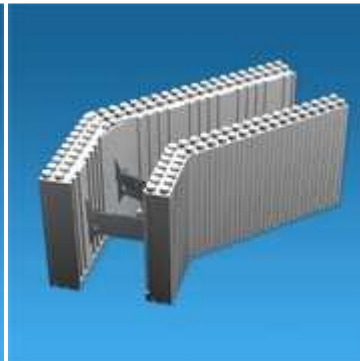


Fig. V.5: Elemento de canto com ângulo de 45° esquerdo (ARGISOL, 2010).

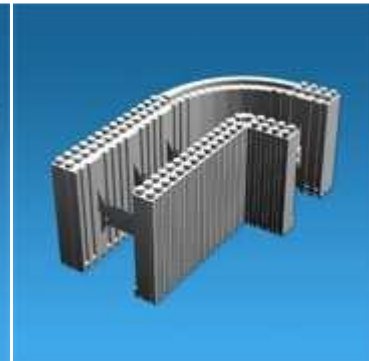


Fig. V.6: Elemento de canto redondo direito (ARGISOL, 2010).

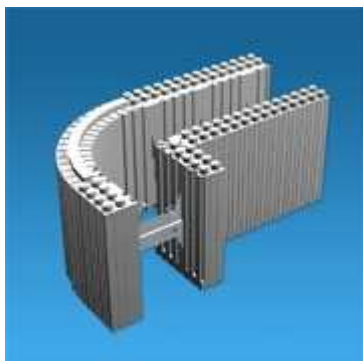


Fig. V.7: Elemento de canto redondo esquerdo (ARGISOL, 2010).

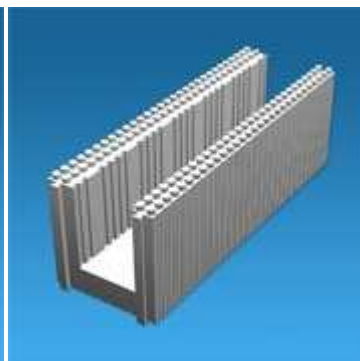


Fig. V.8: Elemento de lintel (ARGISOL, 2010).

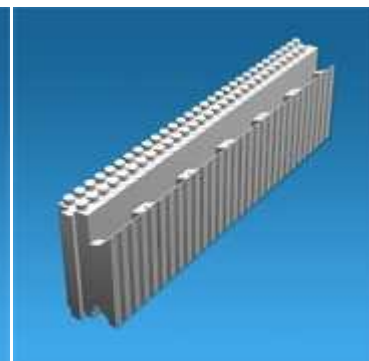


Fig. V.9: Elemento de fecho de laje (ARGISOL, 2010).



Fig. V.10: Elemento de fecho de laje com apoio de madeira (ARGISOL, 2010).

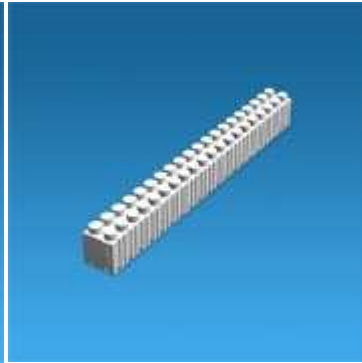


Fig. V.11: Elemento de compensação de diferença de altura (ARGISOL, 2010).

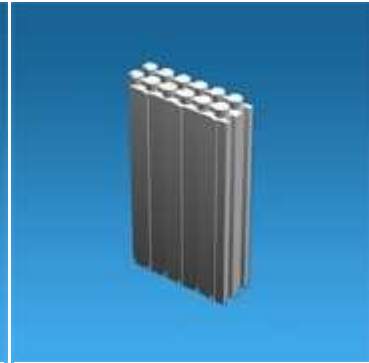


Fig. V.12: Elemento de fecho de parede (ARGISOL, 2010).



Fig. V.13: Elemento redondo com dobradiça e cunha (ARGISOL, 2010).

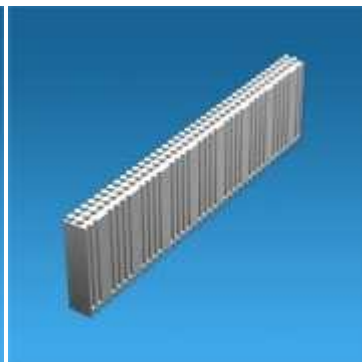


Fig. V.14: Placa simples exterior (ARGISOL, 2010).

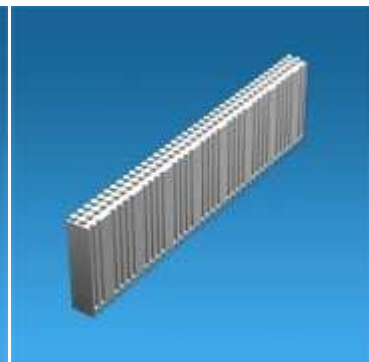


Fig. V.15: Placa simples interior (ARGISOL, 2010).

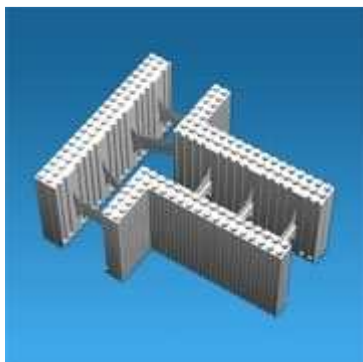


Fig. V.16: Elemento em T curto (ARGISOL, 2010)

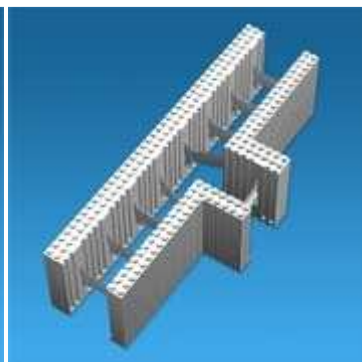


Fig. V.17: Elemento em T comprido (ARGISOL, 2010)

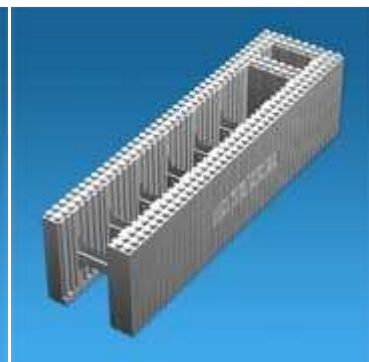


Fig. V.18: Elemento de empena direito (ARGISOL, 2010).

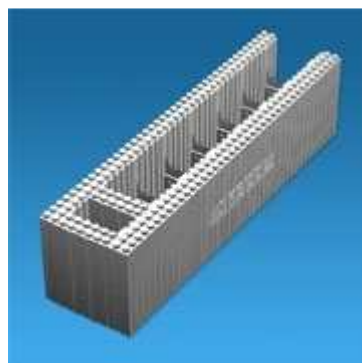


Fig. V.19: Elemento de empena esquerdo (ARGISOL, 2010).

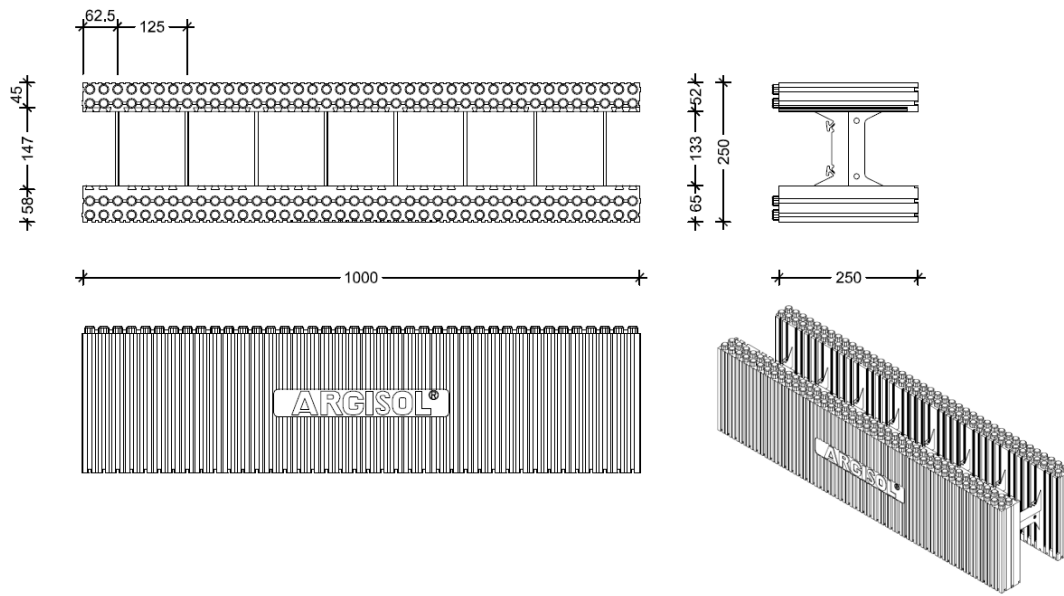


Fig. V.20 – Dimensões de elemento de cofragem modular corrente (ARGISOL, 2010).

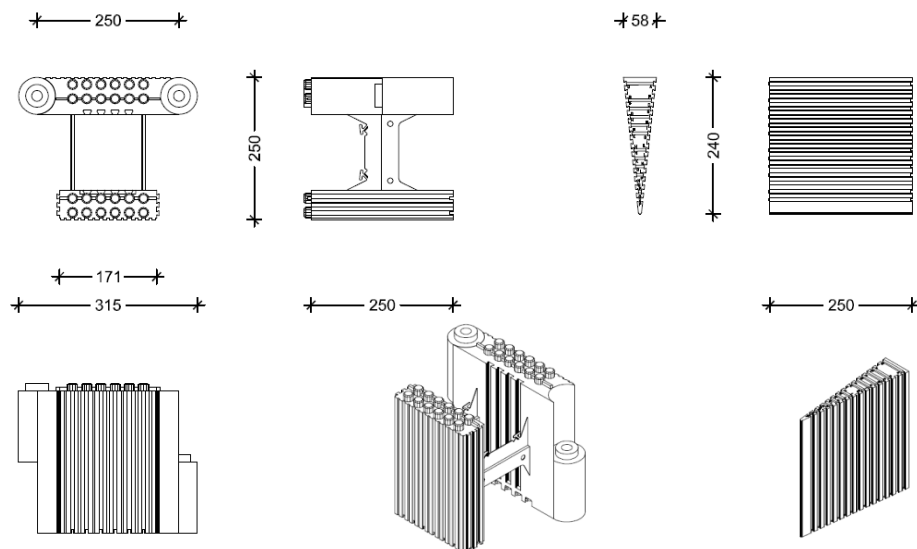


Fig. V.21 – Elementos de elemento, para paredes redondas com dobradiças e cunhas (ARGISOL, 2010).

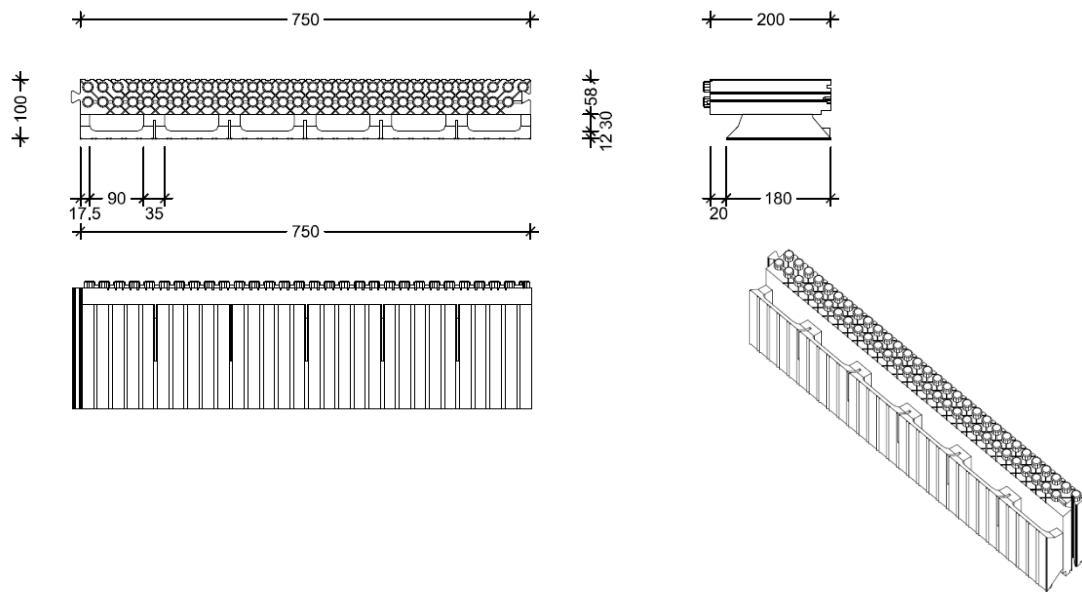


Fig. V.22- Dimensões de elemento de fecho de laje (ARGISOL, 2010).

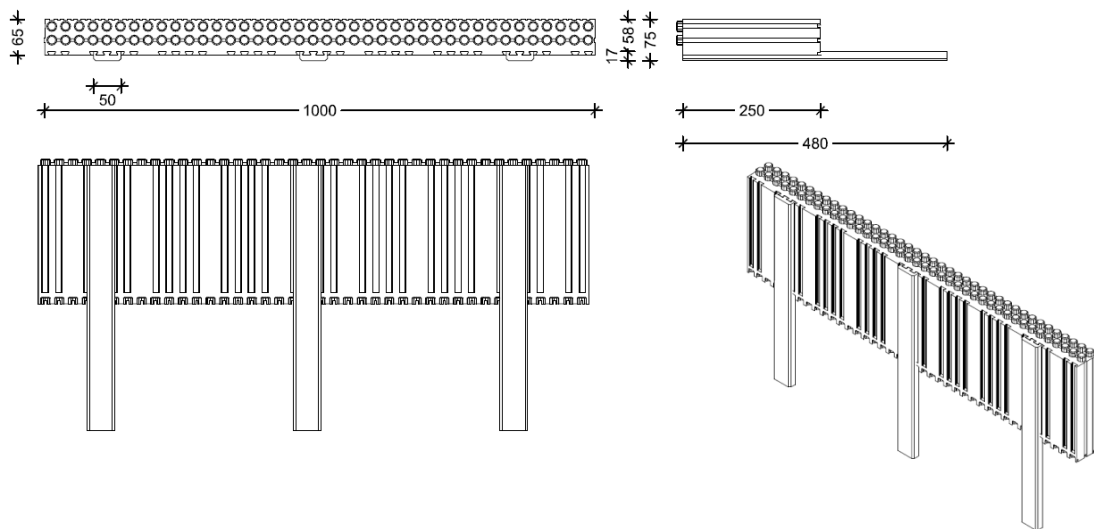


Fig. V.23 – Dimensões de elemento de fecho de laje, em placas simples de bordadura com fixação de madeira (ARGISOL, 2010).

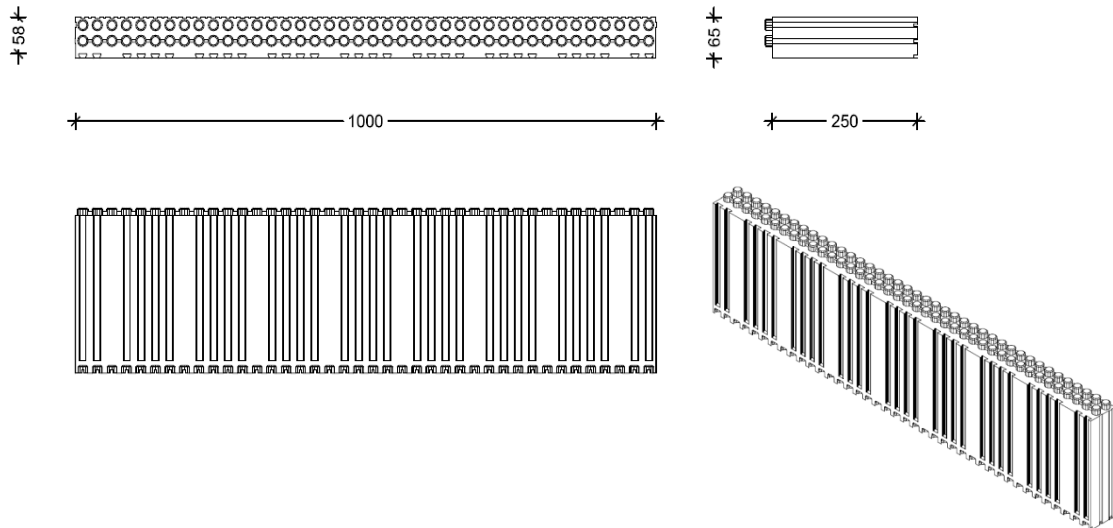


Fig. V.24 – Dimensões de placa simples exterior (ARGISOL, 2010).

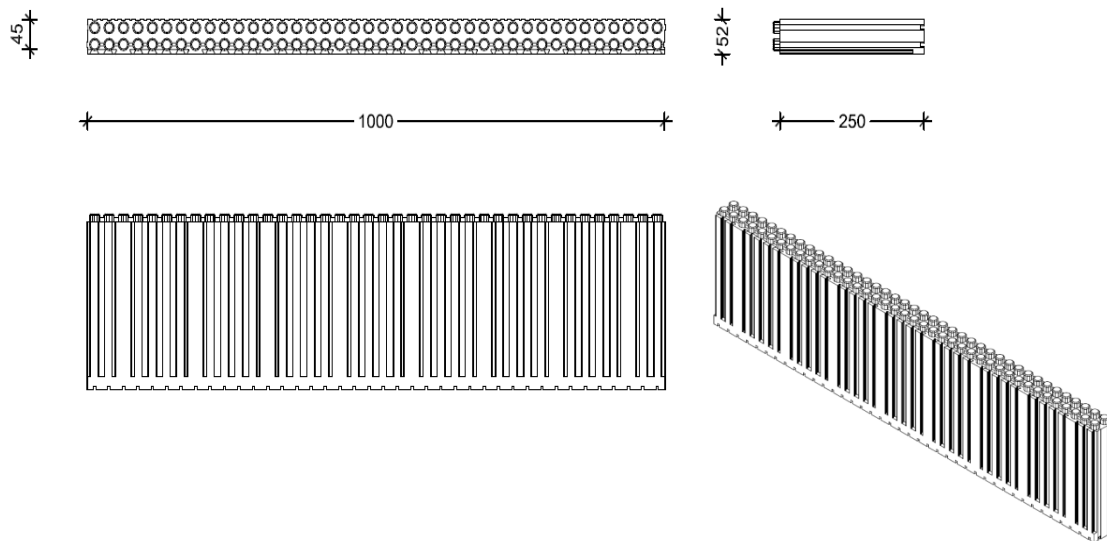


Fig. V.25 – Dimensões de placa simples interior (ARGISOL, 2010).

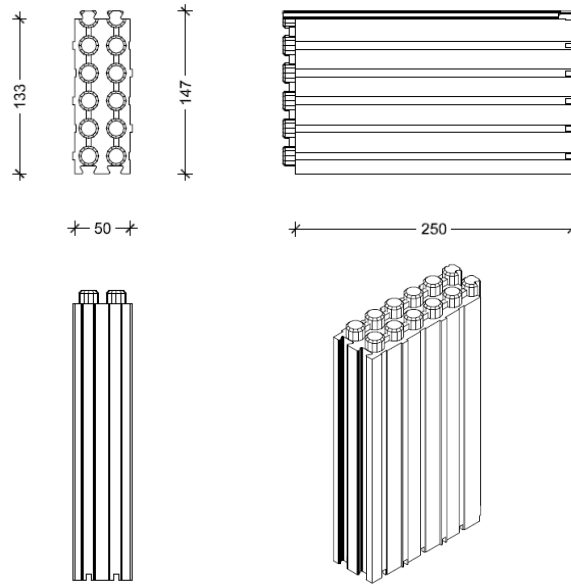


Fig. V.26 – Dimensões de elemento, de fecho de parede (ARGISOL, 2010).

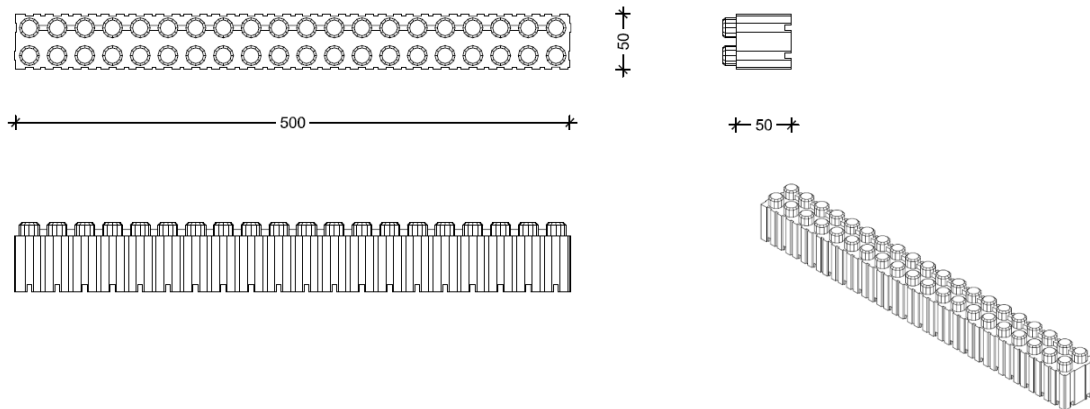


Fig. V.27 – Dimensões de elemento, de compensação de altura (ARGISOL, 2010).

Anexo VI – Folhas de cálculo do RCCTE**Edifício construído com cofragens modulares para a localidade de Évora****Folha de Cálculo FCIV.1a
Perdas associadas à Envolvente Exterior**

Paredes Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Maciças Bet. 13,3cm; iso. Int. 5,2cm e Ext. 6,5cm NW	27,338	0,27	7,38
Maciças Bet. 13,3cm; iso. Int. 5,2cm e Ext. 6,5cm SE	27,594	0,27	7,45
Maciças Bet. 13,3cm; iso. Int. 5,2cm e Ext. 6,5cm NE	14,928	0,27	4,03
			0,00
		TOTAL	18,86

Pavimentos Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
			0,00
			0,00
		TOTAL	0,00

Coberturas Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Cob. Invertida, laje maciça 20cm, 4cm XPS	15,32	0,68	10,42
Cob. Com Esteira maciça 20cm, 4cm XPS	77,9	0,73	56,87
			0,00
		TOTAL	67,28

Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Perímetro B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ.B (W/°C)
Pavimento em contacto com solo	22,92	2,5	57,30
			0,00
		TOTAL	57,30

Pontes térmicas lineares	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ.B (W/°C)
Ligações entre:			
Fachada com os pavimentos térreos	22,92	0,3	6,88
Fachada com os pavimentos			0,00
Fachada com pavimentos intermédios	16,16	0,1	1,62
Fachada com cobertura inclinada ou terraço	25,96	0,45	11,68
Fachada com varanda	2,8	0,45	1,26
Duas paredes verticais	5,2	0,1	0,52
Fachada com caixa de estore			0,00
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril	67,6	0	0,00
Outras			0,00
		TOTAL	21,29

**Perdas pela envolvente exterior
da Fracção Autónoma**

(W/°C) **TOTAL** 164,74

Folha de Cálculo FCIV.1b
Perdas associadas à Envoltente Interior

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
				0,00
				0,00
				0,00
TOTAL				0,00

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
Escadas piso 1/sótão	6,153	0,7	1	4,31
				0,00
				0,00
TOTAL				4,31

Coberturas Interiores (tectos sob espaços não-úteis)	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
				0,00
				0,00
				0,00
TOTAL				0,00

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
				0,00
				0,00
				0,00
TOTAL				0,00

Pontes térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com τ>0,7)	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	τ (-)	τ.ψ.B (W/°C)
				0,00
				0,00
				0,00
TOTAL				0,00

Perdas pela envoltente interior da Fracção Autónoma

(W/°C)

TOTAL	4,31
--------------	------

Folha de Cálculo FC IV.1d
Perdas associadas à Renovação de Ar

Área Útil de Pavimento		<input type="text" value="171,05"/>	(m ²)	
		x		
Pé-direito médio		<input type="text" value="2,6"/>	(m)	
		=		
Volume interior (V)		<input type="text" value="444,73"/>	(m ³)	
VENTILAÇÃO NATURAL				
<i>(Quadro a considerar sempre que o único dispositivo de ventilação mecânica existente seja o exaustor da cozinha)</i>				
Cumpre a NP 1037-1?	(S ou N)	<input type="text" value="S"/>	se SIM:	RPH = <input type="text" value="0,6"/>
Se NÃO:				
Classe da Caixilharia	(s/c, 1, 2 ou 3)	<input type="text" value="s/c"/>		Taxa de Renovação Nominal: Ver Quadro IV.1 RPH= <input type="text" value="0,6"/>
Caixas de Estore	(S ou N)	<input type="text" value="N"/>		
Classe de Exposição	(1, 2, 3 ou 4)	<input type="text" value="1"/>		
<i>(Ver Quadro IV.2)</i>				
Aberturas Auto-reguladas?	(S ou N)	<input type="text" value="N"/>		
Área de envidraçados > 15% Ap?	(S ou N)	<input type="text" value="N"/>		
Portas Exteriores bem vedadas?	(S ou N)	<input type="text" value="S"/>		
VENTILAÇÃO MECÂNICA <i>(excluir exaustor da cozinha)</i>				
Caudal de Insuflação	Vins - (m ³ /h)	<input type="text"/>		Vf = <input type="text" value="0,00"/>
Caudal Extraído	Vev - (m ³ /h)	<input type="text"/>		
Diferença entre Vins e Vev	(m ³ /h)	<input type="text" value="0,00"/>	/	<input type="text" value="0"/> RPH (**)
Infiltrações <i>(Vent. Natural)</i>	Vx - (h ⁻¹)	<input type="text"/>		
Recuperador de calor	(S ou N)	<input type="text"/>		se SIM, η = <input type="text"/>
				se NÃO, η = <input type="text" value="0"/>
Taxa de Renovação Nominal	(mínimo: 0,6)	<input type="text" value="0"/>		(Vf / V + Vx) · (1 - η)
Consumo de Electricidade para os ventiladores		<input type="text"/>		(Ev = Pvx24x0,03xM(kWh))
Volume		<input type="text" value="444,73"/>		
		x		
Taxa de Renovação Nominal		<input type="text" value="0,6"/>		
		x		
		<input type="text" value="0,34"/>		
		=		
TOTAL		<input type="text" value="90,72"/>		(W/°C)

Folha de Cálculo FC IV.1e
Ganhos Úteis na Estação de Aquecimento (Inverno)

Ganhos Solares:

Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	Área A (m ²)	Factor de orientação X (-)	Factor Solar do vidro g (-)	Factor de Obstrução Fs (-) Fh.Fo.Ff	Fracção Envidraçada Fg (-)	Factor de Sel. Angular Fw (-)	Área Efectiva Ae (m ²)
1 - NW	duplo	6,24	0,33	0,63	0,72	0,57	0,9	0,48
2 - NW	duplo	1,68	0,33	0,63	0,72	0,57	0,9	0,13
3 - SE	duplo	5,04	0,84	0,63	0,9	0,57	0,9	1,23
4 - SE	duplo Vara	2,52	0,84	0,63	0,67	0,57	0,9	0,46
5 - SE	duplo	2,52	0,84	0,63	0,88	0,57	0,9	0,60
6 - NE	duplo	0,48	0,33	0,63	0,672	0,57	0,9	0,03
7 - NE	duplo	1,44	0,33	0,63	0,672	0,57	0,9	0,10

Área efectiva total equivalente na orientação Sul (m ²)	3,04
	x
Radiação incidente num envidraçado a Sul (G _{sul}) na zona II do Quadro III. 8 (Anexo III) - (kWh/m ² .mês)	108
	x
Duração da estação de aquecimento - do Quadro III.1 (meses)	5,7
	=
Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)	1869,45

Ganhos Internos

Ganhos internos médios (Quadro IV.3)	4	(W/m ²)
	x	
Duração da Estação de Aquecimento	5,70	(meses)
	x	
Área Útil de pavimento	171,05	(m ²)
	x	
	0,72	
	=	
Ganhos Internos Brutos	2807,96	(kWh/ano)

Ganhos Úteis Totais:

$\gamma = \frac{\text{Ganhos Solares Brutos} + \text{Ganhos Internos Brutos}}{\text{Necessidades Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)}}$	4677,41
	10615,18
Inércia do edifício: 2 a = 2,6 $\gamma =$ 0,44063382 (In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3)	
Factor de Utilização dos Ganhos Térmicos (η)	0,92991299
	x
Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos	4677,41
	=
Ganhos Úteis Totais (kWh/ano)	4349,58157

Folha de Cálculo FC IV.1f
Valor Máximo das Necessidades de Aquecimento (Ni)

Factor de forma		
De FCIV.1a e FCIV.1c:	(Áreas)	m ²
Paredes exteriores		69,86
Coberturas exteriores		93,22
Pavimentos exteriores		0
Envidraçados exteriores		19,92
De FCIV.1b:	(Áreas equivalentes, A .τ)	
Paredes interiores		0
Coberturas interiores		0
Pavimentos interiores		6,153
Envidraçados interiores		0
Área total:		189,15
		/
Volume (de FCIV.1d):		444,73
		=
FF		0,425321

Graus-dias no local (°C.dia) (do Quadro III.1) 1390

Ni = 4,5 + 0,0395 GD	Para FF < 0,5	59,405
Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD	Para 0,5 < FF < 1	55,564258
Ni = [4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD] (1,2 - 0,2FF)	Para 1 < FF < 1,5	61,950581
Ni = 4,05 + 0,06885 GD	Para FF > 1,5	99,7515

Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m².ano) 59,405

Folha de Cálculo FC IV.2
Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas à:	(W/°C)
Envolvente Exterior (de FCIV.1a)	165,40
Envolvente Interior (de FCIV.1b)	4,31
Vãos Envidraçados (de FCIV.1c)	57,77
Renovação de Ar (de FCIV.1d)	90,72

	=
Coeficiente Global de Perdas (W/°C)	318,20
	X
Graus-dias no Local (°C.dia)	1390,00
	X
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	10615,18
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (de FCIV.1e)	4349,58
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	6265,60
	/
Área Útil de Pavimento (m ²)	171,05
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m ² .ano)	36,63021214
	≤
Nec. Nominais de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m ² .ano)	59,41

Verifica

O.K.

Nic/Ni = 61,66%

Folha de cálculo FCV.1ª
Perdas

Perdas associadas às paredes exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	18,86	(W/°C)
		+	
Perdas associadas aos pavimentos exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	0,00	(W/°C)
		+	
Perdas associadas às coberturas exteriores (U.A)	(FCV.1b)	59,38	(W/°C)
		+	
Perdas associadas aos envidraçados exteriores (U.A)	(FCV.1b)	57,77	(W/°C)
		+	
Perdas associadas à renovação do ar	(FCIV.1d)	90,72	(W/°C)
		=	
Perdas específicas totais	(Q1a)	226,74	(W/°C)

Temperatura interior de referência		25	(°C)
		-	
Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento (Quadro III.9)		23	(°C)
		=	
Diferença de temperatura interior-exterior		2	
		x	
Perdas específicas totais	(Q1a)	226,74	(W/°C)
		x	
		2,928	
		=	
Perdas térmicas totais	(Q1b)	1327,76	(kWh)

Folha de Cálculo FC V.1b
Perdas associadas a Coberturas e Envidraçados Exteriores (Verão)

Perdas associadas às coberturas exteriores

Coberturas exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	U.A (W/°C)
Cob. Invertida, laje maciça 20cm, 4cm XPS	15,32	0,52	7,97
Cob. Com Esteira maciça 20cm, 4cm XPS	77,9	0,66	51,41
			0,00
		TOTAL	59,38

Perdas associadas aos envidraçados exteriores

Envidraçados Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	U.A (W/°C)
Verticais:			0,00
vidro dupl. Inc.+Inc. (5+5mm) cor escura	19,92	2,9	57,77
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
Horizontais:			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
		TOTAL	57,77

Folha de Cálculo FC V.1c
Ganhos Solares pela Envolvente Opaca

POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL (inclui paredes e cobertura)

Orientação	NW	SE	NE	Cob.Ter.	Cob.Inc.	
Área, A (m ²)	27,338	27,594	14,928	15,32	77,9	
	x	x	x	x	x	
U (W/m ² °C)	0,27	0,27	0,27	0,68	0,73	
	x	x	x	x	x	
Coefficiente de absorção, α (Quadro V.5)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
	=	=	=	=	=	
α.U.A (W/°C)	2,95	2,98	1,61	4,17	22,75	
	x	x	x	x	x	
Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m ²) (Quadro III.9)	330	460	330	820	820	
	x	x	x	x	x	
	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	
	=	=	=	=	=	
Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior	38,97	54,83	21,28	136,68	746,10	TOTAL 997,86 (kWh)

Folha de Cálculo FC V.1d
Ganhos Solares pelos Envidraçados Exteriores

POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL

Orientação	1 - NW	2 - NW	3 - SE	4 - SE	5 - SE	6 e 7 - NE
Área, A (m ²)	6,24	1,68	5,04	2,52	2,52	1,26
	X	x	x	x	x	x
Factor solar do vão envidraçado (<i>protecção solar activada a 70%</i>)	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47
	X	x	x	x	x	x
Fracção envidraçada, Fg (Quadro IV.5)	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57
	X	x	x	x	x	x
Factor de obstrução, Fs	0,90	0,90	0,90	0,62	0,90	0,78
	X	x	x	x	x	x
Factor de selectividade do vidro, Fw (Quadro V.3)	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
	=	=	=	=	=	=
Área Efectiva, Ae	1,28	0,34	1,03	0,36	0,52	0,22
	X	x	x	x	x	x
Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m ²) (Quadro III.9)	330	330	460	460	460	330
	=	=	=	=	=	=
Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores	422,02	113,62	475,14	163,34	237,57	73,85
	TOTAL					
	1485,55					
	(kWh)					

Folha de cálculo FC V.1e
Ganhos Internos

Ganhos Internos médios (W/m ²) (Quadro IV.3)	4	
	x	
Área Útil de Pavimento (m ²)	171,05	
	x	
	2,928	
	=	
Ganhos internos Totais	2003,338	(kWh)

Folha de cálculo FC V.1f
Ganhos Totais na estação de arrefecimento (verão)

Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores (FCV.1d)	1485,55	(kWh)
	+	
Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior (FCV.1c)	997,86	(kWh)
	+	
Ganhos internos (FCV.1e)	2003,34	(kWh)
	=	
Ganhos Térmicos Totais	4486,75	(kWh)

Folha de cálculo FCV.1g

Valor das Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil para Arrefecimento (Nvc)

Ganhos Térmicos Totais	(FCV.1f)	4486,75	(kWh)
		/	
Perdas Térmicas Totais	(FCV.1a)	1327,76	(kWh)
		=	
Relação Ganhos-Perdas	γ	3,379178568	
Inércia do edifício	(In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3)	2	

		1	
		-	
Factor de utilização dos ganhos, η (Gráfico IV.1)		0,287030712	
		=	
		0,712969288	
		X	
Ganhos Térmicos Totais (FCV.1f)		4486,75	(kWh)
		=	
Necessidades Brutas de Arrefecimento		3198,91	(kWh/ano)
		+	
Consumo dos ventiladores (se houver, exaustor da cozinha excluído)			(Ev=Pvx24x0,122(kWh))
		=	
	TOTAL	3198,91	(kWh/ano)
		/	
Área Útil de Pavimento (m ²)		171,05	
		=	
Necessidades Nominais de Arrefecimento - Nvc		18,72	(kWh/m².ano)
		≤	
Necessidades Nominais de Arref. Máximas - Nv (Nº2 do Artigo 15º)		32	(kWh/m².ano)

Verifica
Nvc/Nv (%) =

O.K.
58,4426011

Cálculo das necessidades de energia para preparação de água quente sanitária

Nº de ocupantes (Quadro VI.1)	6,00	
Consumo médio diário de referência de AQS (M_{AQS}) (edifícios residenciais - 40 litros/ocupante)	240,00	
Aumento de temperatura necessário (ΔT) (considerar igual a 45°C)	45,00	
Número anual de dias de consumo (n_d) (Quadro VI.2)	365,00	
Energia despendida com sistemas convencionais (Q_a)	4584,77	(kWh/ano)
Eficiência de conversão do sistema de preparação de AQS (η_a) (Ponto 3 do Anexo VI)	0,95	
E_{solar}		<i>Programa SOLTERM do INETI / sistemas ou equipamentos certificados pela DGGE</i>
E_{ren}		<i>Calculado com base num método devidamente justificado e reconhecido e aceite pela entidade licenciadora</i>
Necessidades de energia para preparação de AQS, N_{ac}	28,21	(kWh/m ² .ano)
Valor máximo para as nec. de energia para preparação de AQS, N_a	41,48260742	(kWh/m ² .ano)

$N_{ac} \leq N_a$? Verifica

Necessidades Globais de Energia Primária

N_i (kWh/m ² .ano)	59,41	
N_{ic} (kWh/m ² .ano)	36,51	
N_v (kWh/m ² .ano)	32,00	
N_{vc} (kWh/m ² .ano)	18,72	
N_a (kWh/m ² .ano)	41,48	
N_{ac} (kWh/m ² .ano)	28,21	
η_i	1,00	Art. 18.º - ponto 2
η_v	3,00	Art. 18.º - ponto 2
F_{puí} (kgep/kWh)	0,290	Art. 18º - ponto 1
F_{puv} (kgep/kWh)	0,290	Art. 18º - ponto 1
F_{puá} (kgep/kWh)	0,086	Art. 18º - ponto 1

Necessidades nominais globais de energia primária, N_{tc}

3,669495 (kgep/m².ano)

Valor máximo das nec. nominais globais de energia primária, N_t

6,422797 (kgep/m².ano)

N_{tc} ≤ N_t? Verifica

Edifício construído com paredes de alvenaria dupla para a localidade de Évora**Folha de Cálculo FCIV.1ª**
Perdas associadas à Envoltente Exterior

Paredes Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Tijolo Furado - 11+11 s/cx.ar+4cm isol. NW	27,338	0,55	15,04
Tijolo Furado - 11+11 s/cx.ar+4cm isol. SE	27,594	0,55	15,18
Tijolo Furado - 11+11 s/cx.ar+4cm isol. NE	14,928	0,55	8,21
			0,00
		TOTAL	38,42

Pavimentos Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
			0,00
			0,00
			0,00
		TOTAL	0,00

Coberturas Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Cob. Invertida, laje maciça 20cm, 4cm XPS	15,32	0,68	10,42
Cob. Com Esteira maciça 20cm, 4cm XPS	77,9	0,73	56,87
			0,00
		TOTAL	67,28

Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Perímetro B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ.B (W/°C)
Pavimento em contacto com solo	22,92	2,5	57,30
			0,00
			0,00
		TOTAL	57,30

Pontes térmicas lineares	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ.B (W/°C)
Ligações entre:			
Fachada com os pavimentos térreos	22,92	0,5	11,46
Fachada com os pavimentos			0,00
Fachada com pavimentos intermédios	16,16	0,2	3,23
Fachada com cobertura inclinada ou terraço	25,96	0,6	15,58
Fachada com varanda	2,8	0,4	1,12
Duas paredes verticais	5,2	0,2	1,04
Fachada com caixa de estore			0,00
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril	67,6	0	0,00
Outras			0,00
		TOTAL	32,43

Perdas pela envoltente exterior
da Fração Autónoma

(W/°C) **TOTAL** 195,44

Folha de Cálculo FCIV.1b
Perdas associadas à Envoltente Interior

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
				0,00
				0,00
				0,00
TOTAL				0,00

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
Escadas piso 1/sótão	6,153	0,7	1	4,31
				0,00
				0,00
TOTAL				4,31

Coberturas Interiores (tectos sob espaços não-úteis)	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
				0,00
				0,00
				0,00
TOTAL				0,00

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
				0,00
				0,00
				0,00
TOTAL				0,00

Pontes térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com τ>0,7)	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	τ (-)	τ.ψ.B (W/°C)
				0,00
				0,00
TOTAL				0,00

Perdas pela envoltente interior da Fracção Autónoma

(W/°C)

TOTAL	4,31
--------------	-------------

Folha de Cálculo FC IV.1d
Perdas associadas à Renovação de Ar

Área Útil de Pavimento		<input type="text" value="171,05"/>	(m ²)
		x	
Pé-direito médio		<input type="text" value="2,6"/>	(m)
		=	
Volume interior (V)		<input type="text" value="444,73"/>	(m ³)

VENTILAÇÃO NATURAL		<i>(Quadro a considerar sempre que o único dispositivo de ventilação mecânica existente seja o exaustor da cozinha)</i>				
Cumprir a NP 1037-1?	(S ou N)	<input type="text" value="S"/>	se SIM: RPH = <input type="text" value="0,6"/>			
Se NÃO:						
Classe da Caixilharia	(s/c, 1, 2 ou 3)	<input type="text" value="s/c"/>	<table border="1"> <tr> <td>Taxa de Renovação Nominal:</td> </tr> <tr> <td>Ver Quadro IV.1</td> </tr> <tr> <td>RPH = <input type="text" value="0,6"/></td> </tr> </table>	Taxa de Renovação Nominal:	Ver Quadro IV.1	RPH = <input type="text" value="0,6"/>
Taxa de Renovação Nominal:						
Ver Quadro IV.1						
RPH = <input type="text" value="0,6"/>						
Caixas de Estore	(S ou N)	<input type="text" value="N"/>				
Classe de Exposição	(1, 2, 3 ou 4)	<input type="text" value="1"/>				
<i>(Ver Quadro IV.2)</i>						
Aberturas Auto-reguladas?	(S ou N)	<input type="text" value="N"/>				
Área de envidraçados > 15% Ap?	(S ou N)	<input type="text" value="N"/>				
Portas Exteriores bem vedadas?	(S ou N)	<input type="text" value="S"/>				

VENTILAÇÃO MECÂNICA		<i>(excluir exaustor da cozinha)</i>			
Caudal de Insuflação	Vins - (m ³ /h)	<input type="text"/>	Vf = <input type="text" value="0,00"/>		
Caudal Extraído	Vev - (m ³ /h)	<input type="text"/>			
Diferença entre Vins e Vev	(m ³ /h)	<input type="text" value="0,00"/>	/ <table border="1"> <tr> <td>V = <input type="text" value="0"/></td> </tr> <tr> <td>(volume int) RPH (**)</td> </tr> </table>	V = <input type="text" value="0"/>	(volume int) RPH (**)
V = <input type="text" value="0"/>					
(volume int) RPH (**)					
Infiltrações <i>(Vent. Natural)</i>	Vx - (h ⁻¹)	<input type="text"/>			
Recuperador de calor	(S ou N)	<input type="text"/>	se SIM, η = <input type="text"/>		
			se NÃO, η = <input type="text" value="0"/>		
Taxa de Renovação Nominal (mínimo: 0,6)		<input type="text" value="0"/>	(Vf / V + Vx).(1-η)		
Consumo de Electricidade para os ventiladores		<input type="text"/>	(Ev=Pvx24x0,03xM(kWh))		

Volume		<input type="text" value="444,73"/>	
		x	
Taxa de Renovação Nominal		<input type="text" value="0,6"/>	
		x	
		<input type="text" value="0,34"/>	
		=	
TOTAL		<input type="text" value="90,72"/>	(W/°C)

Folha de Cálculo FC IV.1e
Ganhos Úteis na Estação de Aquecimento (Inverno)

Ganhos Solares:

Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	Área A (m ²)	Factor de orientação X (-)	Factor Solar do vidro g (-)	Factor de Obstrução Fs (-) Fh.Fo.Ff	Fracção Envidraçada Fg (-)	Factor de Sel. Angular Fw (-)	Área Efectiva Ae (m ²)
1 - NW	duplo	6,24	0,33	0,63	0,72	0,57	0,9	0,48
2 - NW	duplo	1,68	0,33	0,63	0,72	0,57	0,9	0,13
3 - SE	duplo	5,04	0,84	0,63	0,9	0,57	0,9	1,23
4 - SE	duplo Vara	2,52	0,84	0,63	0,67	0,57	0,9	0,46
5 - SE	duplo	2,52	0,84	0,63	0,88	0,57	0,9	0,60
6 - NE	duplo	0,48	0,33	0,63	0,672	0,57	0,9	0,03
7 - NE	duplo	1,44	0,33	0,63	0,672	0,57	0,9	0,10

Área efectiva total equivalente na orientação Sul (m ²)	3,04
	x
Radiação incidente num envidraçado a Sul (G _{sol}) na zona II do Quadro III. 8 (Anexo III) - (kWh/m ² .mês)	108
	x
Duração da estação de aquecimento - do Quadro III.1 (meses)	5,7
	=
Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)	1869,45

Ganhos Internos

Ganhos internos médios (Quadro IV.3)	4	(W/m ²)
	x	
Duração da Estação de Aquecimento	5,70	(meses)
	x	
Área Útil de pavimento	171,05	(m ²)
	x	
	0,72	
	=	
Ganhos Internos Brutos	2807,96	(kWh/ano)

Ganhos Úteis Totais:

$$\gamma = \frac{\text{Ganhos Solares Brutos} + \text{Ganhos Internos Brutos}}{\text{Necessidades Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)}} = \frac{4677,41}{11617,14}$$

Inércia do edifício: **3** a = **4,2** $\gamma = 0,40262981$
(In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3)

Factor de Utilização dos Ganhos Térmicos (η)	0,98679628
	x
Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos	4677,41
	=
Ganhos Úteis Totais (kWh/ano)	4615,64787

Folha de Cálculo FC IV.1f
Valor Máximo das Necessidades de Aquecimento (Ni)

Factor de forma		
De FCIV.1a e FCIV.1c:	(Áreas)	m ²
Paredes exteriores		69,86
Coberturas exteriores		93,22
Pavimentos exteriores		0
Envidraçados exteriores		19,92
De FCIV.1b:	(Áreas equivalentes, A . τ)	
Paredes interiores		0
Coberturas interiores		0
Pavimentos interiores		6,153
Envidraçados interiores		0
Área total:		189,15
		/
Volume (de FCIV.1d):		444,73
		=
FF		0,425321

Graus-dias no local (°C.dia) (do Quadro III.1) 1390

$N_i = 4,5 + 0,0395 \text{ GD}$	Para $FF < 0,5$	Auxiliar	59,405
$N_i = 4,5 + (0,021 + 0,037FF) \text{ GD}$	Para $0,5 < FF < 1$		55,56426
$N_i = [4,5 + (0,021 + 0,037FF) \text{ GD}] (1,2 - 0,2FF)$	Para $1 < FF < 1,5$		61,95058
$N_i = 4,05 + 0,06885 \text{ GD}$	Para $FF > 1,5$		99,7515

Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m².ano) 59,405

Folha de Cálculo FC IV.2
Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas à:	(W/°C)
Envolvente Exterior (de FCIV.1a)	195,44
Envolvente Interior (de FCIV.1b)	4,31
Vãos Envidraçados (de FCIV.1c)	57,77
Renovação de Ar (de FCIV.1d)	90,72

	=
Coefficiente Global de Perdas (W/°C)	348,24
	x
Graus-dias no Local (°C.dia)	1390,00
	x
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	11617,14
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (de FCIV.1e)	4615,65
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	7001,49
	/
Área Útil de Pavimento (m ²)	171,05
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m ² .ano)	40,93243153
	≤
Nec. Nominais de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m ² .ano)	59,41

Verifica

O.K.

Nic/Ni = 68,90%

Folha de cálculo FCV.1a

Perdas

Perdas associadas às paredes exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	38,42	(W/°C)
		+	
Perdas associadas aos pavimentos exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	0,00	(W/°C)
		+	
Perdas associadas às coberturas exteriores (U.A)	(FCV.1b)	59,38	(W/°C)
		+	
Perdas associadas aos envidraçados exteriores (U.A)	(FCV.1b)	57,77	(W/°C)
		+	
Perdas associadas à renovação do ar	(FCIV.1d)	90,72	(W/°C)
		=	
Perdas específicas totais	(Q1a)	246,30	(W/°C)

Temperatura interior de referência		25	(°C)
		-	
Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento (Quadro III.9)		23	(°C)
		=	
Diferença de temperatura interior-exterior		2	
		x	
Perdas específicas totais	(Q1a)	246,30	(W/°C)
		x	
		2,928	
		=	
Perdas térmicas totais	(Q1b)	1442,31	(kWh)

Folha de Cálculo FC V.1b
Perdas associadas a Coberturas e Envidraçados Exteriores (Verão)

Perdas associadas às coberturas exteriores

Coberturas exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	U.A (W/°C)
Cob. Invertida, laje maciça 20cm, 4cm XPS	15,32	0,52	7,97
Cob. Com Esteira maciça 20cm, 4cm XPS	77,9	0,66	51,41
			0,00
		TOTAL	59,38

Perdas associadas aos envidraçados exteriores

Envidraçados Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	U.A (W/°C)
Verticais:			0,00
vidro dupl. Inc.+Inc. (5+5mm) cor escura	19,92	2,9	57,77
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
Horizontais:			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
		TOTAL	57,77

Folha de Cálculo FC V.1c
Ganhos Solares pela Envolvente Opaca

POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL (inclui paredes e cobertura)

Orientação	NW	SE	NE	Cob.Ter.	Cob.Inc.	
Área, A (m ²)	27,338	27,594	14,928	15,32	77,9	
	x	x	x	x	x	
U (W/m ² °C)	0,61	0,61	0,61	0,68	0,73	
	x	x	x	x	x	
Coefficiente de absorção, α (Quadro V.5)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
	=	=	=	=	=	
$\alpha \cdot U \cdot A$ (W/°C)	6,67	6,73	3,64	4,17	22,75	
	x	x	x	x	x	
Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m ²) (Quadro III.9)	330	460	330	820	820	
	x	x	x	x	x	
	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	
	=	=	=	=	=	
Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior	88,05	123,89	48,08	136,68	746,10	TOTAL 1142,79

(kWh)

Folha de Cálculo FC V.1d
Ganhos Solares pelos Envidraçados Exteriores

POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL

Orientação	1 - NW	2 - NW	3 - SE	4 - SE	5 - SE	6 e 7 - NE
Área, A (m ²)	6,24	1,68	5,04	2,52	2,52	1,26
	x	x	x	x	x	x
Factor solar do vão envidraçado (protecção solar activada a 70%)	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47
	x	x	x	x	x	x
Fracção envidraçada, Fg (Quadro IV.5)	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57
	x	x	x	x	x	x
Factor de obstrução, Fs	0,90	0,90	0,90	0,62	0,90	0,78
	x	x	x	x	x	x
Factor de selectividade do vidro, Fw (Quadro V.3)	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
	=	=	=	=	=	=
Área Efectiva, Ae	1,28	0,34	1,03	0,36	0,52	0,22
	x	x	x	x	x	x
Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m ²) (Quadro III.9)	330	330	460	460	460	330
	=	=	=	=	=	=
Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores	422,02	113,62	475,14	163,34	237,57	73,85
						TOTAL
						1485,55
						(kWh)

Folha de cálculo FC V.1e
Ganhos Internos

Ganhos Internos médios (W/m ²) (Quadro IV.3)	4	
	x	
Área Útil de Pavimento (m ²)	171,05	
	x	
	2,928	
	=	
Ganhos internos Totais	2003,338	(kWh)

Folha de cálculo FC V.1f
Ganhos Totais na estação de arrefecimento (verão)

Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores (FCV.1d)	1485,55	(kWh)
	+	
Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior (FCV.1c)	1142,79	(kWh)
	+	
Ganhos internos (FCV.1e)	2003,34	(kWh)
	=	
Ganhos Térmicos Totais	4631,68	(kWh)

Folha de cálculo FCV.1g
Valor das Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil para Arrefecimento (Nvc)

Ganhos Térmicos Totais	(FCV.1f)	4631,68	(kWh)
		/	
Perdas Térmicas Totais	(FCV.1a)	1442,31	(kWh)
		=	
Relação Ganhos-Perdas	γ	3,211287519	
Inércia do edifício	(In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3)	3	

		1	
		-	
Factor de utilização dos ganhos, η (Gráfico IV.1)		0,309801127	
		=	
		0,690198873	
		x	
Ganhos Térmicos Totais (FCV.1f)		4631,68	(kWh)
		=	
Necessidades Brutas de Arrefecimento		3196,78	(kWh/ano)
		+	
Consumo dos ventiladores (se houver, exaustor da cozinha excluído)			(Ev=Pvx24x0,122(kWh))
		=	
	TOTAL	3196,78	(kWh/ano)
		/	
Área Útil de Pavimento (m ²)		171,05	
		=	
Necessidades Nominais de Arrefecimento - Nvc		18,69	(kWh/m².ano)
		≤	
Necessidades Nominais de Arref. Máximas - Nv (N ^o 2 do Artigo 15 ^o)		32	(kWh/m².ano)

Verifica

Nvc/Nv (%) =

O.K.

58,40356688

Cálculo das necessidades de energia para preparação de água quente sanitária

Nº de ocupantes (Quadro VI.1)	6,00	
Consumo médio diário de referência de AQS (M_{AQS}) (edifícios residenciais - 40 litros/ocupante)	240,00	
Aumento de temperatura necessário (ΔT) (considerar igual a 45°C)	45,00	
Número anual de dias de consumo (n_d) (Quadro VI.2)	365,00	
Energia despendida com sistemas convencionais (Q_a)	4584,77	(kWh/ano)
Eficiência de conversão do sistema de preparação de AQS (η_a) (Ponto 3 do Anexo VI)	0,95	
E_{solar}		<i>Programa SOLTERM do INETI / sistemas ou equipamentos certificados pela DGGE</i>
E_{ren}		<i>Calculado com base num método devidamente justificado e reconhecido e aceite pela entidade licenciadora</i>
Necessidades de energia para preparação de AQS , N_{ac}	28,21	(kWh/m ² .ano)
Valor máximo para as nec. de energia para preparação de AQS , N_a	41,48260742	(kWh/m ² .ano)

$N_{ac} \leq N_a$? Verifica

Necessidades Globais de Energia Primária

Ni (kWh/m ² .ano)	59,41	
Nic (kWh/m ² .ano)	40,93	
Nv (kWh/m ² .ano)	32,00	
Nvc (kWh/m ² .ano)	18,70	
Na (kWh/m ² .ano)	41,48	
Nac (kWh/m ² .ano)	28,21	
ηi	1,00	Art. 18.º - ponto 2
ηv	3,00	Art. 18.º - ponto 2
F_{pui} (kgep/kWh)	0,290	Art. 18º - ponto 1
F_{puv} (kgep/kWh)	0,290	Art. 18º - ponto 1
F_{pua} (kgep/kWh)	0,086	Art. 18º - ponto 1

Necessidades nominais globais de energia primária, N_{tc} 3,794287 (kgep/m².ano)Valor máximo das nec. nominais globais de energia primária, N_t 6,422797 (kgep/m².ano) $N_{tc} \leq N_t$? Verifica

Pela impossibilidade de colocar em anexo todas as folhas de cálculo referentes a cada localidade, para ambos os edifícios, apresenta-se de seguida, no **Quadro III.1**, os valores que se alteram de localidade em localidade nas folhas de cálculo.

Isto é, se colocarmos os valores, de uma localidade à escolha, do **Quadro III.1**, nas folhas de cálculos em anexo, referente à localidade de Évora, obtém-se os resultados para a localidade escolhida.

Quadro III.1 – Valores que diferem de localidade em localidade nas folhas de cálculo do RCCTE

Localidade	FC IV.1e			FC IV.1f	FCV.1a	FC V.1c e FC V.1d				FC V.1g	
	Zona Inverno	Radiação incidente num envidraçado a Sul (G _{sul}) (kWh/m ² .mês)	Duração da estação de aquecimento (meses)	Graus-dias no local (°C.dia)	Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento (°C)	Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m ²)				Necessidades Nominais de Arref. Máximas - N _v (kWh/m ² .ano)	
						NW	SE	SW	Horiz.		
Alijó	I3	90	7	2500	22	320	460	320	800	26	
Aveiro	I1	108	6	1390	19	300	430	300	730	16	
Cascais	I1	108	6	1230	21	320	430	310	760	22	
Évora	I1	108	5,7	1390	23	330	460	330	820	32	
Faro	I1	108	4,3	1060	23	340	460	340	820	32	
Góis	I3	90	6,7	2190	19	320	470	320	790	18	
Guarda	I3	90	8	2956	19	300	430	300	730	16	
Guimarães	I2	93	7	1770	19	320	470	320	790	18	
Leiria	I2	93	6	1610	19	300	430	300	730	16	
Portalegre	I2	93	6,7	1740	23	330	460	330	820	32	
Santa Comba Dão	I1	108	7,3	1420	19	320	470	320	790	18	
Sertã	I2	93	6,3	1980	22	320	460	320	800	26	
Açores	50m	I1	70	4	725	21	270	370	270	640	21
	100m	I1	70	4	800	21	270	370	270	640	21
	250m	I1	70	5,5	1025	21	270	370	270	640	21
	500m	I1	70	8	1400	21	270	370	270	640	21
	1000m	I2	50	8	2150	21	270	370	270	640	21
Madeira	50m	I1	100	0,3	170	21	300	380	300	700	23
	100m	I1	100	0,3	290	21	300	380	300	700	23
	250m	I1	100	2,225	650	21	300	380	300	700	23
	500m	I1	100	5,433	1180	21	300	380	300	700	23
	1000m	I2	80	8	1980	21	300	380	300	700	23

Anexo VI

Folhas de cálculo do RCCTE

Anexo VII – Folhas de cálculo de orçamentação

Descrição	Un	Preço custo	Custos indirectos e lucro	PREÇO FINAL	QUANTIDADE A EXECUTAR	
Fornecimento e assentamento de alvenaria em tijolo cerâmico furado 30x20x11cm + 30x20x11 formando caixa-de-ar, Wallmate de 40mm, assentes com argamassa de cimento e areia ao traço 1:5	m ²	33,74 €	15%	38,80 €	m ²	1,00

Distribuição dos custos secos	Mão-de-obra	Materiais	Equip.	Total	Custos Totais para 1m ²	
Valores	19,10 €	14,47 €	0,17 €	33,74 €	Custo Seco	Custo Final
Percentagem	57,00%	43,00%	1,00%	101,00%	33,74 €	38,80 €
Matriz de eficiência da mão-de-obra					Valor total dos custos indirectos e lucro	
Tipo obra	Pequena	Apartamento	Vivenda	Edifício	Grande	5,06 €
Quantidade	< 25m ²	25m ² a 125m ²	125m ² a 500m ²	500m ² a 2000m ²	> 2000m ²	
Correcção de Mão-de-obra	1,43	1,18	1,00	0,87	0,77	
Custo	27,31 €/m ²	22,54 €/m ²	19,10 €/m ²	16,62 €/m ²	14,71 €/m ²	

Mão-de-obra						Mão-de-obra para 1m ²	
Mão-de-obra	Un	Preço	Equipa (Ped/Sev)	Rendimento	Valor	Qte	Valor
Pedreiro	hr	8,00 €	100,00%	1,68 hr/m ²	13,44 €	1,68 hr	13,44 €
Servente	hr	7,00 €	35,00%	1,68 hr/m ²	4,12 €	0,59 hr	4,12 €
Servente de fabrico de argamassa	hr	7,00 €	100,00%	0,22 hr/m ²	1,54 €	0,22 hr	1,54 €
Total custo seco					19,10 €/m²		19,10 €

Materiais						Materiais para 1m ²	
Materiais	Un	Preço	Qte	Desperdício	Valor	Qte	Valor
Tijolo cerâmico furado-30x20x11	un	0,21 €	33,34	5%	7,35 €	35,01 un	7,35 €
Placas de Wallmate de 40mm	m ²	5,50 €	1,00	2%	5,61 €	1,02 m ²	5,61 €
Argamassa ao traço 1:5	m³						
Areia do rio	m ³	15,00 €	0,04	10%	0,59 €	0,04 m ³	0,60 €
Cimento Portland Cinzento II	kg	0,10 €	8,70	5%	0,91 €	9,14 kg	0,91 €
Valor por m²					14,47 €		14,47 €

Anexo VII

Folhas de cálculo de orçamentação

Equipamento						Equipamentos para 1m ²	
Equipamentos	Un	Preço	Rendimento	Desperdício	Valor	Qte	Valor
Betoneira	hr	1,50 €	0,11		0,17 €	0,11 hr	0,17 €
Total custo seco					0,17 €/m ²		0,17 €

Sistema de Construção em Cofragem Perdida em Poliestireno Expandido:

Avaliação da sua Adequação às condições Climáticas em Portugal

Descrição	Un	Preço custo	Custos indirectos e lucro	PREÇO FINAL	QUANTIDADE A EXECUTAR	
Fornecimento e assentamento de alvenaria em tijolo cerâmico furado 30x20x11cm, assentes com argamassa de cimento e areia ao traço 1:5	m ²	14,12 €	15%	16,24 €	m ²	1,00

Distribuição dos custos secos	Mão obra	Materiais	Equip.	Total	Custos Totais para 1m ²	
Valores	9,55 €	4,46 €	0,11 €	14,12 €	Custo Seco	Custo Final
Percentagem	68,00%	32,00%	1,00%	101,00%	14,12 €	16,24 €
Matriz de eficiência da mão-de-obra					Valor total dos custos indirectos e lucro	2,12 €
Tipo obra	Pequena	Apartamento	Vivenda	Edifício	Grande	
Quantidade	< 25m ²	25m ² a 125m ²	125m ² a 500m ²	500m ² a 2000m ²	> 2000m ²	
Correcção de Mão-de-obra	1,43	1,18	1,00	0,87	0,77	
Custo	13,66 €/m ²	11,27 €/m ²	9,55 €/m ²	8,31 €/m ²	7,35 €/m ²	

Mão-de-obra						Mão-de-obra para 1m ²	
Mão-de-obra	Un	Preço	Equipa (Ped/Sev)	Rendimento	Valor	Qte	Valor
Pedreiro	hr	8,00 €	100,00%	0,84 hr/m ²	6,72 €	0,84 hr	6,72 €
Servente	hr	7,00 €	35,00%	0,84 hr/m ²	2,06 €	0,29 hr	2,06 €
Servente de fabrico de argamassa	hr	7,00 €	100,00%	0,11 hr/m ²	0,77 €	0,11 hr	0,77 €
Total custo seco					9,55 €/m²		9,55 €

Materiais						Materiais para 1m ²	
Materiais	Un	Preço	Qte	Desperdício	Valor	Qte	Valor
Tijolo cerâmico furado-30x20x11	un	0,21 €	16,67	5%	3,68 €	17,50 un	3,68 €
Argamassa ao traço 1:5	m ³						
Areia do rio	m ³	15,00 €	0,02	10%	0,33 €	0,02 m ³	0,30 €
Cimento Portland Cinzento II	kg	0,10 €	4,35	5%	0,46 €	4,57 kg	0,46 €
Valor por m²					4,46 €		4,44 €

Equipamento						Equipamentos para 1m ²	
Equipamentos	Un	Preço	Rendimento	Desperdício	Valor	Qte	Valor
Betoneira	hr	1,50 €	0,07		0,11 €	0,07 hr	0,11 €
Total custo seco					0,11 €/m²		0,11 €

Anexo VII

Folhas de cálculo de orçamentação

Descrição	Un	Preço custo	Custos indirectos e lucro	PREÇO FINAL	QUANTIDADE A EXECUTAR	
Fornecimento e aplicação de betão da classe c20/25 (B25) S3 D=25mm, incluindo bombagem e vibração em PILARES	m ³	85,14 €	15%	97,91 €	m ³	1,00

Distribuição dos custos secos		Mão obra	Materiais	Equip.	Total	Custos Totais para 1m ³	
Valores		7,32 €	65,63 €	12,19 €	85,14 €	Custo Seco	Custo Final
Percentagem		9,00%	77,00%	14,00%	100,00%	85,14 €	97,91 €
Matriz de eficiência da mão-de-obra							
Tipo obra	Pequena	Apartamento	Vivenda	Edifício	Grande	Valor total dos custos indirectos e lucro 12,77 €	
Quantidade	< 25m ²	25m ² a 125m ²	125m ² a 500m ²	500m ² a 2000m ²	> 2000m ²		
Correcção de Mão-de-obra	1,43	1,18	1,00	0,87	0,77		
Custo	10,47 €/m ³	8,64 €/m ³	7,32 €/m ³	6,37 €/m ³	5,64 €/m ³		

Mão-de-obra						Mão-de-obra para 1m ³	
Mão-de-obra	Un	Preço	Equipa (Ped/Sev)	Rendimento	Valor	Qte	Valor
Oficial	hr	8,00 €	70,00%	0,95 hr/m ³	5,32 €	0,67 hr	5,36 €
Servente	hr	7,00 €	30,00%	0,95 hr/m ³	2,00 €	0,29 hr	2,03 €
Total custo seco					7,32 €/m³		7,39 €

Materiais						Materiais para 1m ³	
Materiais	Un	Preço	Qte	Desperdício	Valor	Qte	Valor
Betão de classe C20/25	m ³	62,50	1,000	5%	65,63 €	1,05 m ³	65,63 €
Valor por m³					65,63 €		65,63 €

Equipamento						Equipamentos para 1m ³	
Equipamentos	Un	Preço	Qte	Desperdício	Valor	Qte	Valor
Bomba	m ³	11,00 €	1,00		11,00 €	1,00 m ³	11,00 €
Vibrador de agulha	hr	1,25 €	0,95		1,19 €	0,95 hr	1,19 €
Total custo seco					12,19 €/m³		12,19 €

Sistema de Construção em Cofragem Perdida em Poliestireno Expandido:

Avaliação da sua Adequação às condições Climáticas em Portugal

Descrição	Un	Preço custo	Custos indirectos e lucro	PREÇO FINAL	QUANTIDADE A EXECUTAR	
Fornecimento e aplicação de betão da classe c20/25 (B25) S3 D=25mm, incluindo bombagem e vibração em VIGAS	m ³	83,79 €	15%	96,36 €	m ³	1,00

Distribuição dos custos secos	Mão obra	Materiais	Equip.	Total	
Valores	6,16 €	65,63 €	12,00 €	83,79 €	
Percentagem	7,00%	78,00%	14,00%	99,00%	
Matriz de eficiência da mão-de-obra					
Tipo obra	Pequena	Apartamento	Vivenda	Edifício	Grande
Quantidade	< 25m ²	25m ² a 125m ²	125m ² a 500m ²	500m ² a 2000m ²	> 2000m ²
Correcção de Mão-de-obra	1,43	1,18	1,00	0,87	0,77
Custo	8,81 €/m ³	7,27 €/m ³	6,16 €/m ³	5,36 €/m ³	4,74 €/m ³

Custos Totais para 1m ³	
Custo Seco	Custo Final
83,79 €	96,36 €
Valor total dos custos indirectos e lucro	12,57 €

Mão-de-obra					
Mão-de-obra	Un	Preço	Equipa (Ped/Sev)	Rendimento	Valor
Oficial	hr	8,00 €	70,00%	0,80 hr/m ³	4,48 €
Servente	hr	7,00 €	30,00%	0,80 hr/m ³	1,68 €
Total custo seco					6,16 €/m³

Mão-de-obra para 1m ³	
Qte	Valor
0,56 hr	4,48 €
0,24 hr	1,68 €
6,16 €	

Materiais					
Materiais	Un	Preço	Qte	Desperdício	Valor
Betão de classe C20/25	m ³	62,50	1,000	5%	65,63 €
Valor por m³					65,63 €

Materiais para 1m ³	
Qte	Valor
1,05 m ³	65,63 €
65,63 €	

Equipamento					
Equipamentos	Un	Preço	Qte	Desperdício	Valor
Bomba	m ³	11,00 €	1,00		11,00 €
Vibrador de agulha	hr	1,25 €	0,80		1,00 €
Total custo seco					12,00 €/m³

Equipamentos para 1m ³	
Qte	Valor
1,00 m ³	11,00 €
0,80 hr	1,00 €
12,00 €	

Anexo VII

Folhas de cálculo de orçamentação

Descrição	Un	Preço custo	Custos indirectos e lucro	PREÇO FINAL	QUANTIDADE A EXECUTAR	
Fornecimento e aplicação de betão da classe c20/25 (B25) S3 D=25mm, incluindo bombagem e vibração em PAREDES	m ³	82,45 €	15%	94,82 €	m ³	1,00

Distribuição dos custos secos					Custos Totais para 1m ³	
	Mão obra	Materiais	Equip.	Total	Custo Seco	Custo Final
Valores	5,01 €	65,63 €	11,81 €	82,45 €	82,45 €	94,82 €
Percentagem	6,00%	80,00%	14,00%	100,00%		
Matriz de eficiência da mão-de-obra						
Tipo obra	Pequena	Apartamento	Vivenda	Edifício	Grande	
Quantidade	< 25m ²	25m ² a 125m ²	125m ² a 500m ²	500m ² a 2000m ²	> 2000m ²	
Correcção de Mão-de-obra	1,43	1,18	1,00	0,87	0,77	
Custo	7,16 €/m ³	5,91 €/m ³	5,01 €/m ³	4,36 €/m ³	3,86 €/m ³	
					Valor total dos custos indirectos e lucro	12,37 €

Mão-de-obra						Mão-de-obra para 1m ³	
Mão-de-obra	Un	Preço	Equipa (Ped/Sev)	Rendimento	Valor	Qte	Valor
Oficial	hr	8,00 €	70,00%	0,65 hr/m ³	3,64 €	0,46 hr	3,68 €
Servente	hr	7,00 €	30,00%	0,65 hr/m ³	1,37 €	0,20 hr	1,40 €
Total custo seco					5,01 €/m³		5,08 €

Materiais						Materiais para 1m ³	
Materiais	Un	Preço	Qte	Desperdício	Valor	Qte	Valor
Betão de classe C20/25	m ³	62,50	1,000	5%	65,63 €	1,05 m ³	65,63 €
Valor por m³					65,63 €		65,63 €

Equipamento						Equipamentos para 1m ³	
Equipamentos	Un	Preço	Qte	Desperdício	Valor	Qte	Valor
Bomba	m ³	11,00 €	1,00		11,00 €	1,00 m ³	11,00 €
Vibrador de agulha	hr	1,25 €	0,65		0,81 €	0,65 hr	0,81 €
Total custo seco					11,81 €/m³		11,81 €

Sistema de Construção em Cofragem Perdida em Poliestireno Expandido:

Avaliação da sua Adequação às condições Climáticas em Portugal

Descrição	Un	Preço custo	Custos indirectos e lucro	PREÇO FINAL	QUANTIDADE A EXECUTAR	
Fornecimento e aplicação de armaduras de aço A400 NR , incluindo corte, dobragem e montagem de Varão de aço de 8mm	kg	1,17 €	15%	1,35 €	kg	1,00

Distribuição dos custos secos	Mão obra	Materiais	Equip.	Total	Custos Totais para 1kg	
Valores	0,46 €	0,67 €	0,04 €	1,17 €	Custo Seco	Custo Final
Percentagem	39,00%	57,00%	3,00%	99,00%	1,17 €	1,35 €
Matriz de eficiência da mão-de-obra					Valor total dos custos indirectos e lucro	0,18 €

Tipo obra	Pequena	Apartamento	Vivenda	Edifício	Grande
Quantidade	< 25m ²	25m ² a 125m ²	125m ² a 500m ²	500m ² a 2000m ²	> 2000m ²
Correcção de Mão-de-obra	1,43	1,18	1,00	0,87	0,77
Custo	0,66 €/kg	0,54 €/kg	0,46 €/kg	0,40 €/kg	0,35 €/kg

Mão-de-obra						Mão-de-obra para 1kg	
Mão-de-obra	Un	Preço	Equipa (Ped/Sev)	Rendimento	Valor	Qte	Valor
Armador de ferro	hr	8,00 €	100,00%	0,040 hr/kg	0,32 €	0,04 hr	0,32 €
Servente	hr	7,00 €	50,00%	0,040 hr/kg	0,14 €	0,02 hr	0,14 €
Total custo seco					0,46 €/kg		0,46 €

Materiais						Materiais para 1kg	
Materiais	Un	Preço	Qte	Desperdício e empalmes	Valor	Qte	Valor
Varão de aço de 8mm	kg	0,59	1,000	11%	0,65 €	1,11 kg	0,65 €
Arame recozido de atar	kg	1,25	0,010	10%	0,01 €	0,01 kg	0,01 €
Valor por kg					0,67 €		0,66 €

Equipamento						Equipamentos para 1kg	
Equipamentos	Un	Preço	Qte	Rendimento	Valor	Qte	Valor
Máquina corte de varão	hr	1,00 €	0,02		0,02 €	0,02 hr	0,02 €
Máquina de dobrar ferro	hr	1,00 €	0,02		0,02 €	0,02 hr	0,02 €
Total custo seco					0,04 €/kg		0,04 €

Anexo VII

Folhas de cálculo de orçamentação

Descrição	Un	Preço custo	Custos indirectos e lucro	PREÇO FINAL	QUANTIDADE A EXECUTAR	
Fornecimento e aplicação de armaduras de aço A400 NR , incluindo corte, dobragem e montagem de Varão de aço de 10mm	kg	1,08 €	15%	1,24 €	kg	1,00

Distribuição dos custos secos	Mão obra	Materiais	Equip.	Total	Custos Totais para 56kg	
Valores	0,40 €	0,64 €	0,04 €	1,08 €	Custo Seco	Custo Final
Porcentagem	37,00%	59,00%	4,00%	100,00%	1,08 €	1,24 €
Matriz de eficiência da mão-de-obra					Valor total dos custos indirectos e lucro	0,16 €

Tipo obra	Pequena	Apartamento	Vivenda	Edifício	Grande
Quantidade	< 25m ²	25m ² a 125m ²	125m ² a 500m ²	500m ² a 2000m ²	> 2000m ²
Correcção de Mão-de-obra	1,43	1,18	1,00	0,87	0,77
Custo	0,57 €/kg	0,47 €/kg	0,40 €/kg	0,35 €/kg	0,31 €/kg

Mão-de-obra						Mão-de-obra para 56kg	
Mão-de-obra	Un	Preço	Equipa (Ped/Sev)	Rendimento	Valor	Qte	Valor
Armador de ferro	hr	8,00 €	100,00%	0,035 hr/kg	0,28 €	1,960 hr	15,68 €
Servente	hr	7,00 €	50,00%	0,035 hr/kg	0,12 €	0,980 hr	6,86 €
Total custo seco					0,40 €/kg		22,54 €

Materiais						Materiais para 56kg	
Materiais	Un	Preço	Qte	Desperdício e empalmes	Valor	Qte	Valor
Varão de aço de 10mm	kg	0,55	1,000	13%	0,62 €	63,28 kg	34,80 €
Arame recozido de atar	kg	1,25	0,010	10%	0,01 €	0,62 kg	0,78 €
Valor por kg					0,64 €		35,58 €

Equipamento						Equipamentos para 56kg	
Equipamentos	Un	Preço	Qte	Rendimento	Valor	Qte	Valor
Máquina corte de varão	hr	1,00 €	0,02		0,02 €	1,12 hr	1,12 €
Máquina de dobrar ferro	hr	1,00 €	0,02		0,02 €	1,12 hr	1,12 €
Total custo seco					0,04 €/kg		2,24 €

Sistema de Construção em Cofragem Perdida em Poliestireno Expandido:

Avaliação da sua Adequação às condições Climáticas em Portugal

Descrição	Un	Preço custo	Custos indirectos e lucro	PREÇO FINAL	QUANTIDADE A EXECUTAR	
Fornecimento e aplicação de armaduras de aço A400 NR , incluindo corte, dobragem e montagem de Varão de aço de 12mm	kg	1,06 €	15%	1,22 €	kg	1,00

Distribuição dos custos secos	Mão obra	Materiais	Equip.	Total	Custos Totais para 1kg	
Valores	0,40 €	0,62 €	0,04 €	1,06 €	Custo Seco	Custo Final
Percentagem	38,00%	58,00%	4,00%	100,00%	1,06 €	1,22 €
Matriz de eficiência da mão-de-obra					Valor total dos custos indirectos e lucro	0,16 €

Tipo obra	Pequena	Apartamento	Vivenda	Edifício	Grande
Quantidade	< 25m ²	25m ² a 125m ²	125m ² a 500m ²	500m ² a 2000m ²	> 2000m ²
Correcção de Mão-de-obra	1,43	1,18	1,00	0,87	0,77
Custo	0,57 €/kg	0,47 €/kg	0,40 €/kg	0,35 €/kg	0,31 €/kg

Mão-de-obra						Mão-de-obra para 1kg	
Mão-de-obra	Un	Preço	Equipa (Ped/Sev)	Rendimento	Valor	Qte	Valor
Armador de ferro	hr	8,00 €	100,00%	0,035 hr/kg	0,28 €	0,035 hr	0,28 €
Servente	hr	7,00 €	50,00%	0,035 hr/kg	0,12 €	0,020 hr	0,14 €
Total custo seco					0,40 €/kg		0,42 €

Materiais						Materiais para 1kg	
Materiais	Un	Preço	Qte	Desperdício e empalmes	Valor	Qte	Valor
Varão de aço de 12mm	kg	0,53	1,000	15%	0,61 €	1,15 kg	0,61 €
Arame recozido de atar	kg	1,25	0,010	10%	0,01 €	0,01 kg	0,01 €
Valor por kg					0,62 €		0,62 €

Equipamento						Equipamentos para 1kg	
Equipamentos	Un	Preço	Qte	Rendimento	Valor	Qte	Valor
Máquina corte de varão	hr	1,00 €	0,02		0,02 €	0,02 hr	0,02 €
Máquina de dobrar ferro	hr	1,00 €	0,02		0,02 €	0,02 hr	0,02 €
Total custo seco					0,04 €/kg		0,04 €

Anexo VII

Folhas de cálculo de orçamentação

Descrição	Un	Preço custo	Custos indirectos e lucro	PREÇO FINAL	QUANTIDADE A EXECUTAR	
Fornecimento e aplicação de cofragem em PILARES com acabamento tosco (C1), incluindo descofragem.	m ²	12,45 €	15%	14,32 €	m ²	1,00

Distribuição dos custos secos	Mão-de-obra	Materiais	Equip.	Total	Custos Totais para 1m ²	
Valores	8,32 €	3,88 €	0,25 €	12,45 €	Custo Seco	Custo Final
Percentagem	67,00%	31,00%	2,00%	100,00%	12,45 €	14,32 €
Matriz de eficiência da mão-de-obra						
Tipo obra	Pequena	Apartamento	Vivenda	Edifício	Grande	
Quantidade	< 25m ²	25m ² a 125m ²	125m ² a 500m ²	500m ² a 2000m ²	> 2000m ²	
Correcção de Mão-de-obra	1,43	1,18	1,00	0,87	0,77	
Custo	11,90 €/m ²	9,82 €/m ²	8,32 €/m ²	7,24 €/m ²	6,41 €/m ²	
					Valor total dos custos indirectos e lucro	1,87 €

Mão-de-obra						Mão-de-obra para 1m ²	
Mão-de-obra	Un	Preço	Equipa (Ped/Sev)	Rendimento	Valor	Qte	Valor
Montagem de cofragem							
Carpinteiro de toscos	hr	8,00 €	70,00%	0,81 hr/m ²	4,54 €	0,57 hr	4,56 €
Servente	hr	7,00 €	30,00%	0,81 hr/m ²	1,70 €	0,24 hr	1,68 €
Descofragem							
Carpinteiro de toscos	hr	8,00 €	70,00%	0,27 hr/m ²	1,51 €	0,19 hr	1,52 €
Servente	hr	7,00 €	30,00%	0,27 hr/m ²	0,57 €	0,08 hr	0,56 €
Total custo seco					8,32 €/m²		8,32 €

Materiais						Materiais para 1m ²	
Materiais	Un	Preço	Qte	Reaplicações	Valor	Qte	Valor
Painel tricapa 2,00x0,50x0,027	m ²	12,00 €	1,100	10	1,32 €	0,110 m ²	1,32 €
Grampos /gravatas	un	3,50	4,000	10	1,40 €	0,400 un	1,40 €
Prumos extensíveis	un	15,00	1,100	50	0,33 €	0,020 un	0,30 €
Acessórios de ligação/pregos	kg	1,50	0,550		0,83 €	0,550 kg	0,83 €
Óleo descofrante	l	0,35	0,025		0,01 €	0,030 l	0,01 €
Valor por m²					3,88 €		3,86 €
Equipamento						Equipamentos para 1m ²	
Equipamentos	Un	Preço	Qte	Rendimento	Valor	Qte	Valor
Serra de corte circular	hr	0,40 €	0,27		0,11 €	0,27 hr	0,11 €
Mesa de corte	hr	0,50 €	0,27		0,14 €	0,27 hr	0,14 €
Total custo seco					0,25€/m²		0,25 €

Sistema de Construção em Cofragem Perdida em Poliestireno Expandido:

Avaliação da sua Adequação às condições Climáticas em Portugal

Descrição	Un	Preço custo	Custos indirectos e lucro	PREÇO FINAL	QUANTIDADE A EXECUTAR	
Fornecimento e aplicação de cofragem em VIGAS com acabamento tosco (C1), incluindo descofragem.	m ²	14,57 €	15%	16,76 €	m ²	1,00

Distribuição dos custos secos		Mão-de-obra	Materiais	Equip.	Total	Custos Totais para 1m ²	
Valores		9,69 €	4,59 €	0,29 €	14,57 €	Custo Seco	Custo Final
Percentagem		67,00%	32,00%	2,00%	101,00%	14,57 €	16,76 €
Matriz de eficiência da mão-de-obra						Valor total dos custos indirectos e lucro	2,19 €
Tipo obra	Pequena	Apartamento	Vivenda	Edifício	Grande		
Quantidade	< 25m ²	25m ² a 125m ²	125m ² a 500m ²	500m ² a 2000m ²	> 2000m ²		
Correcção de Mão-de-obra	1,43	1,18	1,00	0,87	0,77		
Custo	13,86 €/m²	11,43 €/m²	9,69 €/m²	8,43 €/m²	7,46 €/m²		

Mão-de-obra						Mão-de-obra para 1m ²	
Mão-de-obra	Un	Preço	Equipa (Ped/Sev)	Rendimento	Valor	Qte	Valor
Montagem de cofragem							
Carpinteiro de toscos	hr	8,00 €	70,00%	0,94 hr/m ²	5,26 €	0,66 hr	5,28 €
Servente	hr	7,00 €	30,00%	0,94 hr/m ²	1,97 €	0,28 hr	1,96 €
Descofragem							
Carpinteiro de toscos	hr	8,00 €	70,00%	0,32 hr/m ²	1,79 €	0,22 hr	1,76 €
Servente	hr	7,00 €	30,00%	0,32 hr/m ²	0,67 €	0,10 hr	0,70 €
Total custo seco					9,69 €/m²		9,70 €

Materiais						Materiais para 1m ²	
Materiais	Un	Preço	Qte	Reaplicações	Valor	Qte	Valor
Painel tricapa 2,00x0,50x0,027	m ²	12,00 €	1,090	10	1,31 €	0,110 m ²	1,32 €
Pinho sarrafos de 4x4	ml	0,35	2,100	3	0,25 €	0,700 ml	0,25 €
Pinho barrotes de 10x7	ml	1,52	1,400	3	0,71 €	0,470 ml	0,71 €
Viga H20	ml	8,00	2,100	15	1,12 €	0,140 ml	1,12 €
Prumos extensíveis	un	15,00	1,500	50	0,45 €	0,030 un	0,45 €
Acessórios de ligação/pregos	kg	1,50	0,500		0,75 €	0,500 kg	0,75 €
Óleo descofrante	l	0,35	0,030		0,01 €	0,030 l	0,01 €
Valor por m²					4,59 €		4,61 €

Anexo VII

Folhas de cálculo de orçamentação

Equipamento						Equipamentos para 1m ²	
Equipamentos	Un	Preço	Qte	Rendimento	Valor	Qte	Valor
Serra de corte circular	hr	0,40 €	0,32		0,13 €	0,32 hr	0,13 €
Mesa de corte	hr	0,50 €	0,32		0,16 €	0,32 hr	0,16 €
Total custo seco					0,29 €/m²		0,29 €

Sistema de Construção em Cofragem Perdida em Poliestireno Expandido:

Avaliação da sua Adequação às condições Climáticas em Portugal

Descrição	Un	Preço custo	Custos indirectos e lucro	PRECO FINAL	QUANTIDADE A EXECUTAR	
Fornecimento e aplicação de cofragem modular em EPS em PAREDES sistema tipo ARGISOL®.	m ²	240,61 €	5%	252,64 €	m ²	20,80

Distribuição dos custos secos		Mão obra	Materiais	Equip.	Total	Custos Totais para 20,8m ²	
Valores		5,25 €	235,22 €	0,14 €	240,61 €	Custo Seco	Custo Final
Percentagem		2,00%	98,00%		100,00%	5.004,69 €	5.254,92 €
Matriz de eficiência da mão-de-obra						Valor total dos custos indirectos e lucro	250,23 €
Tipo obra	Pequena	Apartamento	Vivenda	Edifício	Grande		
Quantidade	< 25m ²	25m ² a 125m ²	125m ² a 500m ²	500m ² a 2000m ²	> 2000m ²		
Correcção de Mão-de-obra	1,43	1,18	1,00	0,87	0,77		
Custo	7,51 €/m ²	6,20 €/m ²	5,25 €/m ²	4,57 €/m ²	4,04 €/m ²		

Mão-de-obra						Mão-de-obra para 20,8m ²	
Mão-de-obra	Un	Preço	Equipa (Ped/Sev)	Rendimento	Valor	Qte	Valor
Montagem de elementos Argisol e escoramentos							
Carpinteiro de toscos	hr	8,00 €	100,00%	0,25 hr/m ²	2,00 €	5,20 hr	41,60 €
Servente	hr	7,00 €	100,00%	0,25 hr/m ²	1,75 €	5,20 hr	36,40 €
Retirar escoramentos							
Carpinteiro de toscos	hr	8,00 €	100,00%	0,10 hr/m ²	0,80 €	2,08 hr	16,64 €
Servente	hr	7,00 €	100,00%	0,10 hr/m ²	0,70 €	2,08 hr	14,56 €
Total custo seco					5,25 €/m²		109,20 €

Materiais						Materiais para 20,8m ²	
Materiais	Un	Preço	Qte	Reaplicações	Valor	Qte	Valor
Elemento recto c/ 1,00x0,25x0,25m	un	55,00	3,170		174,35 €	65,94 un	3.626,70 €
Elemento curvo c/ 0,60x0,35m	un	60,00	0,480		28,80 €	9,98 un	598,80 €
Elemento T c/ 0,625x0,50m	un	60,00	0,480		28,80 €	9,98 un	598,80 €
Elemento de compensação de altura c/0,50x0,05m	un	1,00	1,730		1,73 €	35,98 un	35,98 €
Pinho barrotes de 10x7	ml	1,52	3,000	5	0,91 €	12,48 ml	18,97 €
Prumos extensíveis	un	15,00	1,100	50	0,33 €	0,46 un	6,90 €
Pregos	kg	1,50	0,200		0,30 €	4,16 kg	6,24 €
Valor por m²					235,22 €		4.892,39 €

Anexo VII

Folhas de cálculo de orçamentação

Equipamento						Equipamentos para 20,8m ²	
Equipamentos	Un	Preço	Qte	Rendimento	Valor	Qte	Valor
Serra de corte circular	hr	0,40 €	0,15		0,06 €	3,12 hr	1,25 €
Mesa de corte	hr	0,50 €	0,15		0,08 €	3,12 hr	1,56 €
Total custo seco					0,14 €/m²		2,81 €

Anexo V – Projecto de arquitectura do edifício