



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR

Engenharia

**Concepção Arquitectónica e Estruturas Metálicas
em Habitação
Sistema Modular Espacial Aplicado**

ANEXOS

Inês Daniel de Campos

Tese para obtenção do Grau de Doutor em

Arquitectura

(3º ciclo de estudos)

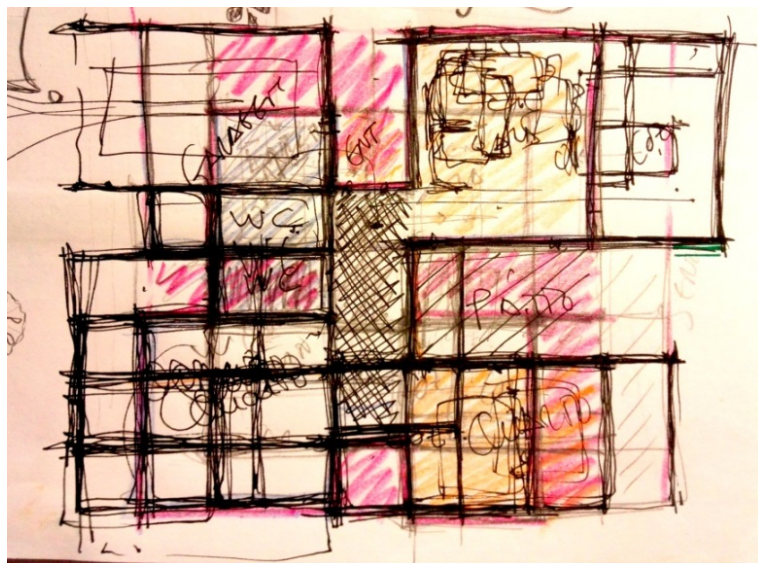
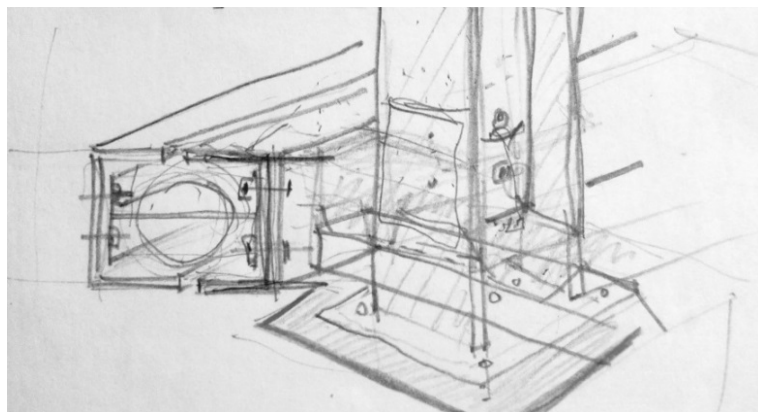
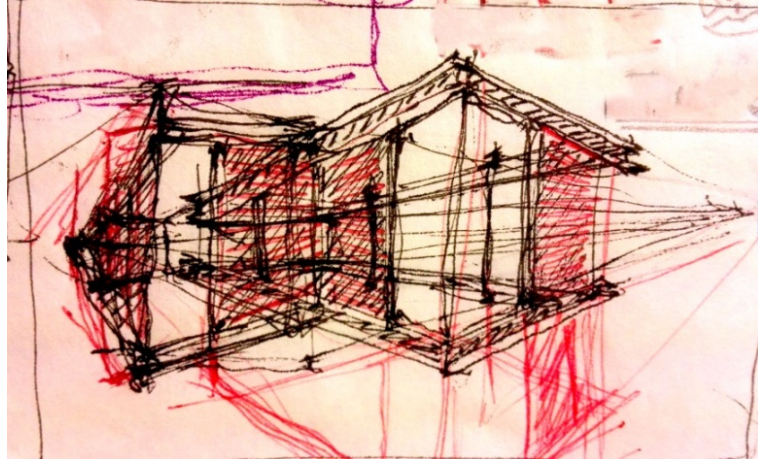
Orientador: Prof. Doutor Amílcar de Gil e Pires, Arquitecto

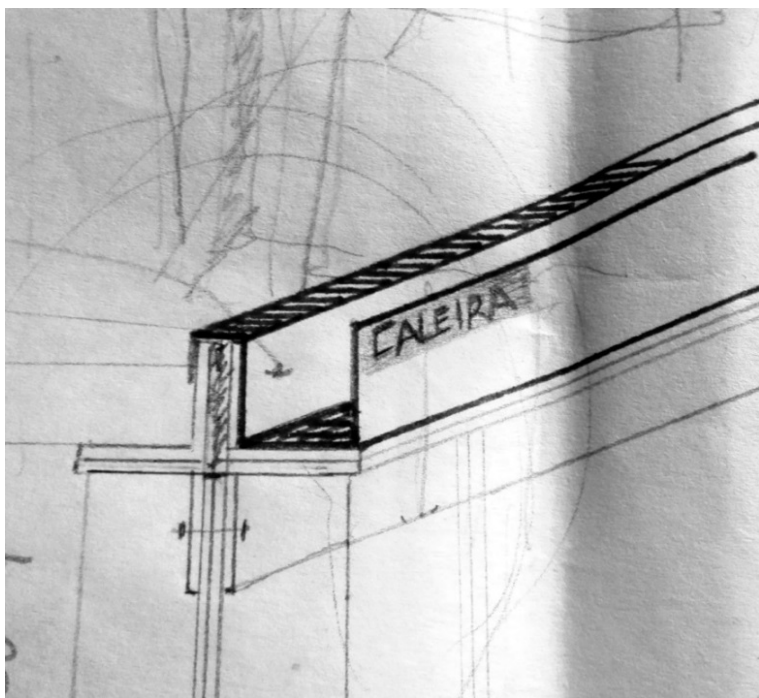
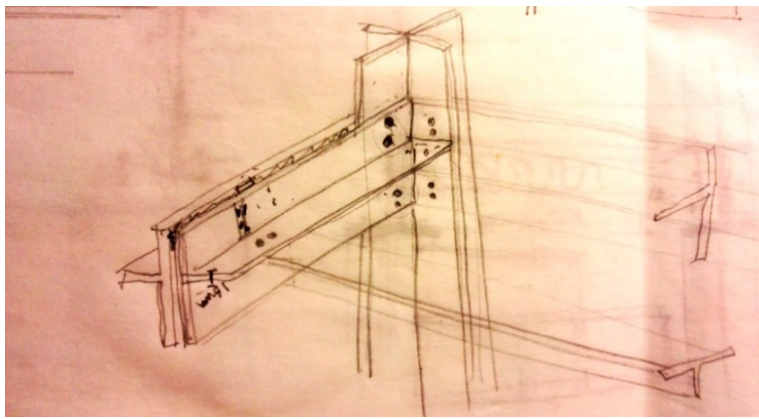
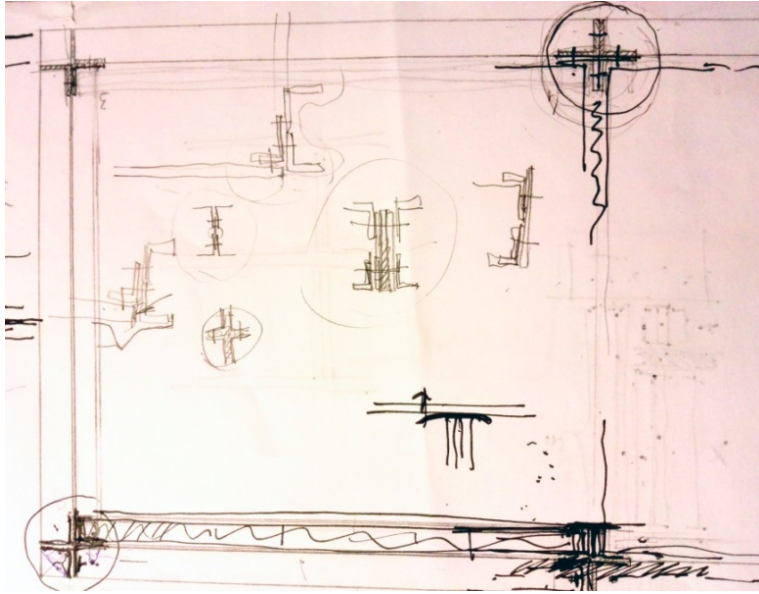
Co-orientador: Prof. Doutor Luís Filipe Almeida Bernardo, Engenheiro

Covilhã, Maio de 2015

ANEXOS (1,2,3,4)

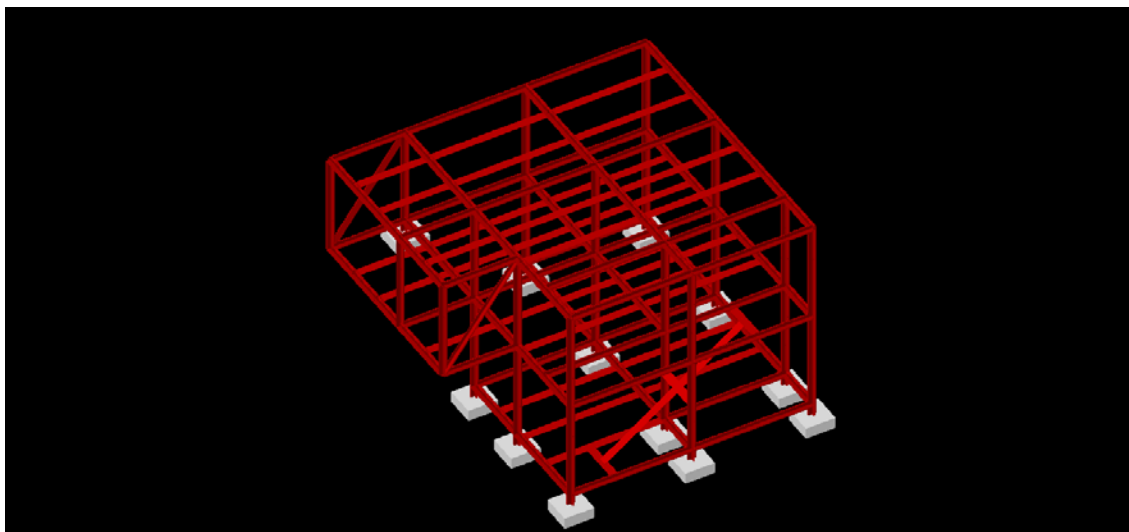
ANEXO 1 | Esboços da Concepção





ANEXO 2 | Cálculo Estrutural

Elementos fornecidos pelo Prof. Doutor Luís Filipe Almeida Bernardo, docente do departamento Engenharia e Arquitectura da Universidade da Beira Interior, e co-orientador desta tese de doutoramento.



Render do modelo de cálculo para verificação da estrutura

- Executado pelo co-orientador Prof. Doutor Luís Filipe Almeida Bernardo, Engenheiro

MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA - Estabilidade

1. Introdução

A presente memória descritiva e justificativa refere-se ao cálculo de estabilidade do projecto tipo apresentado nesta investigação.

2. Condições Geotécnicas

Dado tratar-se um projecto tipo para investigação, os condicionamentos geotécnicos para implantação da estrutura não foram conhecidos com clareza. Desta forma foi necessário assumir um valor para a tensão admissível do terreno de forma a possibilitar o cálculo das fundações. Admitiu-se para efeitos de cálculo que o terreno suporta uma tensão admissível relativamente baixa de 200 [kN/m²] para se estar do lado da segurança. Sendo assim, adopta-se uma fundação directa constituída por sapatas isoladas, fundadas à profundidade especificada na Arquitectura. Dada a leveza da solução estrutural adoptada, não se optou por interligar as sapatas com vigas de fundação.

3. Solução Estrutural

A solução estrutural adoptada foi fortemente condicionada por factores de diversa índole, nomeadamente:

i) imposições de carácter arquitectónico (ditadas pelo Projecto de Arquitectura e que integra os desenhos - plantas e cortes);

ii) - factores de natureza económica.

A conjugação de todos os factores enunciados levou à consideração de uma solução baseada essencialmente numa estrutura tridimensional, composta por um sistema regular de pórticos metálicos, com os pilares e vigas constituídos pela associação de 4 cantoneiras de abas iguais interligadas (4xL-100-8) e ligados rigidamente por ligações aparafusadas. Os pavimentos e cobertura são estruturalmente constituídos por uma solução em grelha com madres, constituídas pela associação de 2 cantoneiras de abas iguais interligadas (2xL-100-8), que apoiam indirectamente nas vigas do pavimento e cobertura mediante ligações rígidas aparafusadas. As diagonais são igualmente constituídas pela associação de 2 cantoneiras de abas iguais interligadas (2xL-100-8).

As cargas provenientes da superestrutura são transmitidas ao terreno de fundação por intermédio de fundações directas constituídas por sapatas isoladas de betão armado para os pilares.

Considerações sobre o comportamento sísmico da estrutura:

Embora o edifício seja de pequeno porte e de solução leve, não se negligenciou completamente os efeitos associados à acção sísmica no âmbito de uma análise estrutural, pelo que esta acção foi tida em conta.

4. Acções

As solicitações consideradas ao longo do presente estudo podem ser classificáveis quanto ao seu grau de permanência face à vida útil da estrutura, originando a sua divisão em acções de carácter permanente e acções variáveis. Tendo em vista a sua quantificação, recorreu-se a informação recolhida em tabelas técnicas, assim como aos processos de cálculo prescritos no RSA.

Acções Permanentes

Peso específico do Betão Armado ($\gamma_{\text{betão}}$) 25 kN/m³

Peso específico do Aço ($\gamma_{\text{aço}}$) 78 kN/m³

Revestimentos (de acordo com as soluções preconizadas na Arquitectura)

- laje da cobertura 1.0 kN/m²
- áreas de utilização + acessos 1.0 kN/m²

Paredes divisórias (de acordo com as soluções preconizadas na Arquitectura)

- áreas de utilização 0.5 kN/m²

Paredes (de acordo com as soluções preconizadas na Arquitectura)

- paredes exteriores (incluindo envidraçados) 2.65kN/m
- paredes interiores 1.3 kN/m

Acções Variáveis

a) Sobrecargas de utilização

- cobertura (terraço não acessível) 1.0 kN/m²
- áreas de utilização + acessos 2.0 kN/m²

b) Acção sísmica

A modelação da acção sísmica foi abordada com base numa análise dinâmica tridimensional. Para tal recorreu-se ao conceito de espectro de resposta, com vista à simulação dos efeitos originados pela acção sísmica. Os espectros de resposta que serviram de base à modelação da acção sísmica são quantificados em termos de acelerações (máximas), encontrando-se representados no anexo III do RSA. Refira-se que os espectros de resposta apresentados dependem de vários factores, nomeadamente da sismicidade da zona em estudo ($\alpha=0,5$), do tipo de terreno em que é fundado o edifício (terreno tipo II), do tipo de sismo considerado (função dos valores da magnitude e da distância focal) e do coeficiente de amortecimento ($\zeta = 2 \%$, no caso do

estrutura metálica). Para o edifício considerou-se uma ductilidade normal ($\eta = 2.5$ - Estruturas em pórtico).

c) Acção do vento

As dimensões, rigidez e o fato de grande parte da estrutura se encontrar protegida por paredes exteriores de pedra não justificam a consideração da acção do vento nos cálculos.

d) Acção da temperatura

As dimensões do edifício não justificam a consideração desta acção nos cálculos.

e) Acção da neve

Atendendo à altitude do local onde será construído o edifício (aproximadamente 650m > 200m) torna-se necessário, segundo o artigo 26 do RSA, considerar a acção da neve.

Segundo o artigo 27 do RSA, o valor da carga característica correspondente à acção da neve, é dado pela seguinte expressão: $s_k = \mu s_{ok}$, em que s_{ok} representa o valor característico da carga da neve ao nível do solo e μ é um coeficiente que depende da forma da superfície sobre a qual se deposita a neve.

Tendo em conta a altitude do local, vem:

$$s_{ok} = 1/400 \times (h - 50) = 1.625\text{kN/m}^2$$

Consultando o anexo II do RSA tiram-se os valores para o parâmetro μ .

5. Combinações de acções

Os critérios de verificação da segurança definidos regulamentarmente, nomeadamente no Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes, baseiam-se na quantificação de valores de cálculo, nos quais se contabilizam simultaneamente os efeitos das diversas acções que solicitam a estrutura. As combinações de acções contempladas no artigo 9 do RSA prevêem a fixação de uma acção variável de base, sendo as restantes afectadas de coeficientes correctivos determinados de acordo com as acções a que se referem; por seu turno, as acções variáveis de base e as acções permanentes são usualmente majoradas com recurso a coeficientes de segurança. As combinações de acções consideradas ao longo deste projecto contabilizam o efeito das

acções de natureza gravítica (carga permanentes, sobrecarga de utilização e neve) e das acções dinâmicas dos sismos, pelo que assumem a seguinte forma:

i) Acção variável de base: sobrecarga de utilização

$$S_d = \gamma_G \times S_G + \gamma_Q \times (S_Q + \psi_{0n} \times S_N)$$

ii) Acção variável de base: sismo

$$S_d = S_G \pm \gamma_E \times S_E + \psi_{2q} \times S_Q$$

Os coeficientes de segurança adoptados, assim como os valores reduzidos das acções variáveis, constam do quadro a seguir apresentado.

	Carga Permanente	Acções variáveis				
		Sobrecarga na cobertura	Sobrecarga na área de utilização	Neve	Vento	Sismo
Coeficientes de Segurança	$\gamma_G = 1.35$	$\gamma_Q = 1.5$	$\gamma_Q = 1.5$	$\gamma_Q = 1.5$	-	$\gamma_E = 1.5$
Valores reduzidos das acções variáveis	-	$\psi_{0q} = 0$	$\psi_{0q} = 0.4$	$\psi_{0q} = 0.6$	-	$\psi_{0q} = 0$
	-	$\psi_{1q} = 0$	$\psi_{1q} = 0.3$	$\psi_{1q} = 0.3$	-	$\psi_{1q} = 0$
	-	$\psi_{2q} = 0$	$\psi_{2q} = 0.2$	$\psi_{2q} = 0$	-	$\psi_{2q} = 0$

6. Materiais

Elementos estruturais

A construção dos elementos estruturais para as fundações é efectuada com recurso à utilização de betão de classe C20/25, 2a (B25) e aço de classe A400NR.

O betão a empregar deverá satisfazer obrigatoriamente os requisitos estabelecidos Norma NP ENV 206, e apresentar características resistentes que respeitem os valores enunciados regularmente. Os valores regulamentares que intervêm no processo de dimensionamento (EC2), e pelos quais se rege a aplicação do betão C20/25, encontram-se em seguida reproduzidos.

Betão C25/30 (B250) (propriedades)

Valor característico mínimo da tensão de rotura por compressão: $f_{ck} = 20\text{MPa}$

Valor de cálculo da tensão de rotura por compressão: $f_{cd} = 13.3\text{MPa}$ ($\gamma_c = 1.5$)

Valor médio da tensão de rotura por tracção simples: $f_{ctm} = 2.2\text{MPa}$

Valor médio do módulo de elasticidade aos 28 dias de idade: $E_{c,28} = 29\text{GPa}$

Valor do módulo de elasticidade (deformações rápidas - acção sísmica): $E = 1.25 \times E_{c,28} = 36.25\text{GPa}$

Valor do coeficiente de Poisson em fase não fendilhada: $\nu = 0.20$

Valor do coeficiente de Poisson em fase fendilhada: $\nu = 0$

O aço a utilizar nas armaduras ordinárias dos elementos estruturais deverá ser laminado a quente, apresentando a superfície rugosa, de molde a melhorar as suas características aderentes. Os parâmetros que servem de base à fase de dimensionamento, quantificáveis de acordo com EC2, encontram-se listados a seguir.

Aço A400NR (propriedades)

Valor característico mínimo da tensão de rotura à tracção simples: $f_{suk} = 460\text{MPa}$

Valor característico da tensão de cedência à tracção simples: $f_{syk} = 400\text{MPa}$

Valor de cálculo da tensão de cedência à tracção simples: $f_{syd} = 348\text{MPa}$ ($\gamma_s = 1.15$)

Valor do módulo de elasticidade: $E_s = 200\text{GPa}$

Os perfis metálicos que compõem a superestrutura do edifício deverão ser laminados a quente. Os parâmetros caracterizadores do aço que compõe tantos os perfis como as chapas de ligação e de reforço, que servem de base à fase de dimensionamento, são quantificáveis de acordo com o EC3 e encontram-se listados a seguir.

Aço S355 (Fe510) (propriedades)

Valor de cálculo da tensão de rotura à tracção simples: $f_u = 510\text{MPa}$

Valor de cálculo da tensão de cedência à tracção simples: $f_y = 355 \text{ MPa}$

Valor do módulo de elasticidade: $E_s = 210 \text{ GPa}$

O coeficiente de amortecimento correspondente à estrutura metálica toma o valor de 2%.

Elementos não estruturais

De entre os materiais empregues na construção de elementos não estruturais (sistemas de impermeabilização, revestimentos, etc..., definidos na Arquitectura), refira-se o betão do tipo C12/15.1, adoptado com a finalidade de regularizar as superfícies, designadamente para o assentamento dos elementos estruturais das fundações.

7. Análise estrutural

A análise estrutural, com recurso à qual foi possível a determinação dos esforços envolvidos no processo de dimensionamento, alicerçou-se basicamente no estudo de um modelo reticular tridimensional, supondo nele aplicadas as acções dinâmicas e gravíticas. Refira-se que, como ponto de partida, se consideraram as características elásticas das barras associadas à definição geométrica resultante da fase de pré-dimensionamento. A análise do pórtico tridimensional e o dimensionamento dos seus elementos estruturais foi efectuada com o auxílio de meios computacionais (Programa TRICALC), recorrendo-se ao programa de cálculo automático.

8. Verificação da segurança

No presente estudo, a verificação da segurança obedeceu às imposições gerais (independentes dos materiais empregues na construção) enunciadas no RSA, respeitando paralelamente as condições particulares consagradas no EC2 (fundações) e EC3 (estrutura metálica e ligações). Deste modo, a verificação da segurança foi garantida genericamente por comparação dos esforços de cálculo resistentes com os esforços de cálculo actuantes ($S_d \leq R_d$), e com base no conceito de estado limite. Adicionalmente, o RSA classifica os estados limites em estados limites últimos e de utilização (deformação no caso de estrutura metálica). No presente estudo, a verificação dos estados limites de utilização é efectuada automaticamente pelo programa de cálculo utilizado, limitando-se a flecha a longa prazo a 1/500 do vão.

9. Fundações

O terreno de fundação assumido permitiu a concepção de uma solução de fundações directas através de sapatas isoladas. A tensão de segurança adoptada para o solo de fundação foi de 200 kgf/cm².

Tanto o pré-dimensionamento como o dimensionamento das fundações foi efectuado com o auxílio do programa de cálculo automático.

10. Regulamentos e normas

O processo de dimensionamento dos elementos estruturais regeu-se pelas condições especificadas nos seguintes regulamentos e documentos:

- i) Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA);
- ii) Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado (REBAP);
- iii) Norma NP ENV 206;
- iv) Tabelas Técnicas;
- v) Eurocódigo 2;
- vi) Eurocódigo 3.

11. Pormenores não especificados

Em tudo o que não foi objecto de especificação acatar-se-á legislação em vigor, todos os regulamentos impostos e as indicações das entidades que normalmente têm interferência em obras de construção.

ANEXO 3 | Estudo térmico e acústico

Elementos fornecidos pelo Prof. Doutor Miguel Costa Santos Nepomuceno, docente do departamento Engenharia e Arquitectura da Universidade da Beira Interior.

1 Notas sobre o desempenho energético

1.1 Enquadramento

Em 2010 a União Europeia aprovou a Directiva 2010/31/UE (Recast EPBD- Energy Performance of Buildings Directive) do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010 [4], relativa ao desempenho energético dos edifícios. Esta nova Directiva clarifica o quadro geral comum para a metodologia de cálculo do desempenho energético dos edifícios e reforça as medidas da Directiva 2002/91/CE no que respeita à melhoria do desempenho energético dos edifícios, visando as metas e os desafios acordados pelos Estados-Membros para 2020. Os objectivos 20-20-20 da EU para 2020 são os seguintes: 20% aumento em eficiência energética; 20% redução da emissão de CO₂ e 20% energia proveniente de fontes renováveis.

Em 2013 a Directiva 2010/31/UE é transposta para a ordem jurídica nacional. São revogados o Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril (SCE), o Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril (RSECE) e o Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril (RCCTE) e é aprovado o Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto [5]. O Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto aglutina num só diploma um assunto antes regulado em três diplomas. Assim, o novo regulamento inclui: o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS). A legislação complementar que suporta a aplicação deste Decreto-Lei só foi publicada entre Novembro de 2013 e Fevereiro de 2014, dispersa por cinco Portarias, dez Despachos e sete Declarações de Rectificação [6-28].

No caso concreto do edifício tipo sob análise, o enquadramento no REH ou no RECS dependerá do uso que lhe for atribuído. Se o edifício se destinar a habitação própria (permanente ou não) ele deverá ser enquadrado no REH. De outro modo, se o edifício se destinar a turismo de habitação ele deverá ser analisado no âmbito do RECS, por se tratar de um edifício de serviços. Ainda no âmbito do RECS, se o edifício possuir uma área inferior a 1000 m² e uma potência de climatização (aquecimento ou arrefecimento) inferior a 25 kW, ele será agrupado nos pequenos edifícios de comércio e serviços sem climatização.

O desempenho energético do edifício é determinado com base na energia anual calculada ou efectivamente consumida para satisfazer as diferentes necessidades associadas à sua utilização típica, nomeadamente a necessidade de energia para aquecimento no inverno e arrefecimento no verão (a energia necessária para evitar o sobreaquecimento) para manter as condições de temperatura interior previstas para o edifício, bem como as necessidades de energia para preparação de água quente sanitária (AQS) [1].

A utilização de metodologias simplificadas ou de valores de referência de qualidade térmica na fase do estudo prévio tem sido proposta por vários autores [2,3]. No caso concreto da habitação em análise, uma vez que a solução arquitectónica preconizada é apenas genérica e será adaptada a cada caso, optou-se por não apresentar a análise detalhada do desempenho energético. Em vez disso, são apresentadas soluções genéricas que visam cumprir os parâmetros de referência relativos aos coeficientes de transmissão térmica da envolvente, os requisitos mínimos de protecção solar dos vãos envidraçados e os requisitos relativos aos sistemas técnicos. A adopção destes valores, definidos pelo próprio Decreto-Lei nº 118/2013 de 20 de agosto, não garante, por si só, que o edifício venha a cumprir satisfatoriamente a legislação em vigor em termos de balanço energético global, mas permitirá minimizar a magnitude dos ajustes eventualmente necessários para que tal ocorra. Para se estabelecerem esses requisitos será necessário definir os dados climáticos de referência (que dependem da localização e altitude do local de implantação), caracterizar eventuais espaços não úteis (espaços não climatizados contíguos aos espaços climatizados) em termos do coeficiente de redução de perdas, definir a envolvente térmica (envolvente dos espaços que requerem as condições de referência de conforto térmico) e, por último, avaliar a classe de inércia térmica do edifício (que depende das soluções construtivas).

1.2 Dados climáticos

Os parâmetros climáticos no território nacional e as zonas climáticas para efeitos de aplicação dos requisitos de qualidade térmica em edifícios são definidos pelo Despacho n.º 15793-F/2013, publicado no DR nº 234, Série II, de 3 de Dezembro de 2013, com as rectificações introduzidas pela Declaração de Rectificação nº 130-2014, publicada no DR nº 29, Série II, de 11 de Fevereiro de 2014. Para cada região no território Nacional, o regulamento define valores de referência para os parâmetros climáticos, estabelecidos para uma altitude de referência desses locais. Esses valores e altitudes de referência são estabelecidos para cada uma das regiões definidas nas NUTS (Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos) de nível III. Conhecida a região do território Nacional onde se localiza o edifício e a altitude do local de

implantação do mesmo, o regulamento estabelece os procedimentos para ajustar os parâmetros climáticos da região (excepto a radiação solar) em função da altitude de referência e da altitude do local de implantação, assumindo que a variação é linear [1]. O edifício em estudo localiza-se na região da Cova da Beira, que inclui os concelhos de Belmonte, Covilhã e Fundão. A altitude do local de implantação do edifício (usando como referência o piso 0) é de 636 metros. Assim, obtiveram-se os seguintes dados climáticos.

ANEXO H

FICHA DE DADOS CLIMÁTICOS <small>(Ficha demonstrativa de cálculo)</small>										
LOCALIZAÇÃO NO TERRITÓRIO NACIONAL:					Continente	<input checked="" type="checkbox"/>	RAM	<input type="checkbox"/>	RAA	<input type="checkbox"/>
CONCELHO:					Fundão					
LOCALIDADE:					Fundão					
ENQUADRAMENTO NUT III:					Cova da Beira			$Z_{REF} =$	507	[m]
ALTITUDE DO LOCAL DE IMPLANTAÇÃO:					$Z =$	636	[m]			
PARÂMETROS CLIMÁTICOS NA ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO ⁽¹⁾ :										
Duração da estação de aquecimento, M:					M_{REF}	7,1	a	0	$M =$	7,1 [meses]
N.º de Graus-dias de aquecimento (base de 18 °C), GD:					GD_{REF}	1687	a	1400	$GD =$	1868 [°C.dia]
Temperatura exterior média do mês mais frio, $\theta_{ext,i}$:					$\theta_{ext,i,REF}$	7,5	a	-5	$\theta_{ext,i} =$	6,9 [°C]
Energia solar média incidente numa superf. vertical orientada a Sul, G_{sul} :									$G_{sul} =$	140 [kWh/(m ² .mês)]
PARÂMETROS CLIMÁTICOS NA ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO ⁽¹⁾ :										
Duração da estação de arrefecimento, Lv:									$Lv =$	2928 [horas]
Temperatura exterior média na estação de arrefecimento, $\theta_{ext,v}$:					$\theta_{ext,v,REF}$	22,5	a	-6	$\theta_{ext,v} =$	21,7 [°C]
Intensidade média da radiação solar durante a estação convencional de arrefecimento, I_{sol} , em [kWh/m ²]										
Orient.	Hor.	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
I_{sol}	825	225	360	495	495	425	495	495	360	
ZONAMENTO CLIMÁTICO ⁽¹⁾ :										
Zona climática de Inverno:					I3					
Zona climática de Verão:					V2					
Notas:										
<small>(1) – Os parâmetros climáticos no território nacional e as zonas climáticas para efeitos de aplicação dos requisitos de qualidade térmica em edifícios no âmbito do REH são definidos pelo Despacho n.º 15793-F/2013, publicado no DR n.º 234, Série II, de 3 de dezembro de 2013, com as retificações introduzidas pela Declaração de Retificação n.º 130-2014, publicada no DR n.º 29, Série II, de 11 de fevereiro de 2014.</small>										

1.3 Caracterização dos espaços não úteis

Um espaço não útil (ENU) pode ser descrito como um espaço contíguo ao edifício ou nele integrado, não climatizado, ventilado ou não, e com uma ou mais envolventes (paredes, pavimentos ou coberturas) em contacto com o espaço útil (EU) [1]. Os valores convencionais do coeficiente de redução de perdas (b_{tr}) são quantificados em função de

três parâmetros [1]: volume do ENU, ventilação do ENU e razão entre as áreas da envolvente do ENU em contacto com o EU e com o exterior. No edifício em estudo apenas se identificou um espaço não útil correspondente ao desvão sanitário existente sob o piso -1 que, neste caso concreto, por ser fortemente ventilado, assume automaticamente um valor de $b_{tr} = 1$. Os valores de b_{tr} variam entre 0 e 1, sendo que quanto mais próximo do valor unitário mais a temperatura desse espaço se aproxima da temperatura exterior. Isto significa que o pavimento do edifício em estudo, localizado sobre o desvão sanitário fortemente ventilado, terá os mesmos requisitos de um pavimento exterior, sendo classificado como um elemento da “envolvente interior com requisitos de exterior”.

1.4 Definição da envolvente







A envolvente da fracção autónoma (ou corpo) de um edifício em estudo corresponde à barreira física que delimita verticalmente, superiormente e inferiormente o volume útil e o separa do ambiente exterior, de espaços não úteis adjacentes, de outras fracções autónomas adjacentes do mesmo edifício ou de outros edifícios contíguos já construídos ou previstos [1]. Num edifício, constituído por várias fracções autónomas, poderão existir elementos da envolvente da fracção autónoma em estudo sem requisitos térmicos. Estas situações ocorrem em elementos de separação com outra fracção autónoma do mesmo edifício para a qual se requerem as mesmas condições de conforto, portanto, à mesma temperatura [1]. A envolvente térmica de um edifício (fracção autónoma) divide-se em [1]:

- a) Envolvente exterior, constituída pelos elementos da envolvente que delimitam o volume útil e confinam com o ambiente exterior.
- b) Envolvente interior com requisitos de exterior, formada por todos os elementos da envolvente que delimitam o volume útil e que confinam com uma zona não útil adjacente (garagem, arrumos, desvão, corredores comuns, etc.). Considera-se com requisitos de exterior quando o espaço não útil em causa apresenta um valor de b_{tr} superior a 0,70.
- c) Envolvente interior com requisitos de interior, formada por todos os elementos da envolvente que delimitam o volume útil e que confinam com outro edifício contíguo (já construído) ou com uma zona não útil adjacente (garagem, arrumos, desvão, corredores comuns, etc.). Considera-se com requisitos de interior quando o espaço não útil em causa apresenta um valor de b_{tr} inferior ou igual a 0,70.

d) Envolvente sem requisitos térmicos, que inclui os elementos que delimitam o volume útil e confinam com outra fracção autónoma do mesmo edifício com os mesmos requisitos de conforto térmico interior. Incluem-se ainda os pavimentos térreos e paredes em contacto directo com o terreno.

A Tabela 6.2 exemplifica a simbologia recomendada pela Agência para a Energia (ADENE) para se delimitarem as envolventes. A Figura XX ilustra a definição da envolvente do edifício em estudo utilizando a referida simbologia....

Tabela 6.2. Simbologia proposta pela ADENE
(Delimitação da envolvente, julho de 2008)

Envolvente exterior	
Envolvente interior com requisitos de exterior	
Envolvente interior com requisitos de interior	
Envolvente sem requisitos	
Em planta identificar pavimento (com a respectiva cor)	
Em planta identificar cobertura (com a respectiva cor)	

1.5 Classe de inércia térmica

A inércia térmica assume particular relevância no comportamento global do edifício, uma vez que a energia armazenada no volume delimitado pela envolvente pode ser “gerida” de forma a proporcionar uma menor amplitude de variação da temperatura interior e, deste modo, uma melhoria significativa das condições de conforto térmico [1]. A própria Directiva 2010/31/EU do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio (EPBD) refere que deverá ser dada prioridade a estratégias que contribuam para a melhoria do desempenho térmico dos edifícios no verão. Para tal, deverão privilegiar-se as medidas que evitem o sobreaquecimento, tais como a protecção solar e uma inércia térmica suficiente na construção do edifício, e o desenvolvimento e aplicação de técnicas de arrefecimento passivo, principalmente as que melhoram a qualidade do clima interior e o microclima em torno dos edifícios.

Teoricamente, a inércia térmica depende da espessura dos elementos de construção e da difusibilidade térmica desses elementos (razão entre a condutibilidade térmica e o

produto da massa específica pelo calor específico) [1]. Contudo, em termos práticos, da massa dos elementos de construção é, em regra, considerado um bom índice de inércia térmica [1]. A massa superficial útil (M_{si}) dos elementos de construção depende da sua localização e constituição. Em elementos de construção com várias camadas e possuindo isolante térmico, para além da massa dos próprios elementos, tem importância fundamental para a inércia térmica da construção, a camada em contacto com o ambiente interior do edifício [1].

No caso concreto do edifício sob análise a área e a massa superficial útil (M_{si}) dos elementos construtivos não foi quantificada. No entanto, por constituírem elementos de massa útil relativamente reduzida, quer ao nível da envolvente, quer ao nível do piso intermédio e das paredes de compartimentação interior, com excepção para uma parede divisória interior em alvenaria de pedra que se prolonga pelos dois pisos, o mais provável é que a classe de inércia térmica se situe entre Fraca e Média.

A situação mais favorável seria a de uma inércia térmica forte. Contudo, atendendo ao tipo de elementos construtivos, essa qualificação é difícil de obter. Isto não significa que não se possam construir edifícios com inércia fraca; significa apenas que o edifício deverá ser dotado de condições que permitam compensar uma menor inércia, nomeadamente em termos de protecção solar dos vãos envidraçados na estação de arrefecimento (verão) para evitar o sobreaquecimento. Essa necessidade será tanto maior quanto menor for a inércia. No caso da estação de aquecimento (inverno) uma inércia mais fraca será penalizadora em termos do aproveitamento dos ganhos solares e dos ganhos internos, comparativamente a uma classe de inércia forte. Contudo, nos edifícios, em termos de balanço energético, será sempre possível compensar essa menor parcela dos ganhos úteis através de uma maior redução das perdas noutros elementos.

1.6 Requisitos mínimos de concepção para a protecção solar dos vãos envidraçados

Os requisitos mínimos de concepção exigidos regulamentarmente para os elementos da envolvente envidraçada são definidos pela Portaria 349-B/2013 de 29 de Novembro. Os envidraçados cujo somatório das suas áreas A_{env} seja superior a 5% da área de pavimento do compartimento servido por estes A_{pav} e desde que não orientados no quadrante Norte inclusive, devem apresentar um factor solar global do vão envidraçado com os dispositivos de protecção 100% activados (g_T), que obedeça às seguintes condições:

a) Se $A_{env} \leq 0,15 \times A_{pav}$

$$g_T \times F_o \times F_f \leq g_{Tm\acute{a}x} \quad (10.3)$$

b) Se $A_{env} > 0,15 \times A_{pav}$

$$g_T \times F_o \times F_f \leq g_{Tm\acute{a}x} \times \frac{0,15}{\left(\frac{A_{env}}{A_{pav}}\right)} \quad (10.4)$$

Onde:

g_T Factor solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de protecção solar, permanentes, ou móveis totalmente activados

F_o Factor de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado, compreendendo palas e varandas

F_f Factor de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado, compreendendo palas verticais, outros corpos ou partes de um edifício

$g_{Tm\acute{a}x}$ Factor solar global máximo admissível dos vãos envidraçados, obtido da Tabela 1

A_{env} Soma das áreas dos vãos envidraçados que servem o compartimento [m²]

A_{pav} Área de pavimento do compartimento servido pelo(s) vão(s) envidraçado(s) [m²]

Tabela 1. Fatores solares máximos admissíveis de vãos envidraçados, $g_{Tm\acute{a}x}$
(Extraído da Tabela I.06 da Portaria 349-B/2013 de 29 de novembro)

Classe de Inércia Térmica	$g_{Tm\acute{a}x}$		
	Zona climática		
	V1	V2	V3
Fraca	0,15	0,10	0,10
Média	0,56	0,56	0,50
Forte	0,56	0,56	0,50

O edifício em estudo localiza-se na zona climática de verão V2, conforme se indicou nos dados climáticos. Admita-se, por hipótese, que o edifício apresenta a classe de inércia

mais desfavorável (inércia fraca) e que não dispõe de sistemas de sombreamento por palas ou outros obstáculos nos vãos orientados no quadrante sul. Nessa situação, tal edifício teria de apresentar um factor solar com o sistema 100% activo igual ou inferior a 0,10. Soluções que conduzam a valores desta magnitude só são possíveis se o sistema de protecção do vão for colocado pelo exterior. Existem no mercado várias soluções para a protecção exterior dos vãos, como sejam: persianas, portadas, estores de lâminas, estores de lonas, venezianas, entre outros. A Tabela 2 mostra os valores do factor solar de vãos envidraçados com vidro incolor corrente (simples ou duplo) e com o sistema de protecção 100% activo (g_{Tvc}). Como se observa na Tabela 2, existem muitas soluções para protecção exterior que permitem a obtenção de valores iguais ou inferiores a 0,10.

ANEXO I

Tabela 2. Fator solar do vão com protecção totalmente ativada
(Adaptado da Tabela 13 do Despacho 15793-K-2013 de 3 de dezembro)

Tipo de protecção		g_{Tvc}						
		Vidro simples			Vidro duplo			
		Cor da protecção			Cor da protecção			
		Clara	Média	Escura	Clara	Média	Escura	
Protecções exteriores	Portada de madeira (considera-se opaca)		0,04	0,07	0,09	0,03	0,05	0,06
	Persiana (ou estore corrente)	Réguas de madeira (opaca)	0,05	0,08	0,10	0,04	0,05	0,07
		Réguas metálicas ou plásticas (opaca)	0,07	0,10	0,13	0,04	0,07	0,09
	Estore veneziano (ou portada de lâminas fixas)	Lâminas de madeira (não opaca)	---	0,11	---	---	0,08	---
		Lâminas metálicas (não opaca)	---	0,14	---	---	0,09	---
	Estore	Lona opaca (não opaca)	0,07	0,09	0,12	0,04	0,06	0,08
		Lona pouco transparente (não opaca)	0,14	0,17	0,19	0,10	0,12	0,14
		Lona muito transparente (não opaca)	0,21	0,23	0,25	0,16	0,18	0,20
	Protecções interiores	Estores de lâminas (não opaca)		0,45	0,56	0,65	0,47	0,59
Cortinas		Opacas (opaca)	0,33	0,44	0,54	0,37	0,46	0,55
		Ligeiramente transparentes (não opaca)	0,36	0,46	0,56	0,38	0,47	0,56
		Transparentes (não opaca)	0,38	0,48	0,58	0,39	0,48	0,58
		Muito transparentes (não opaca)	0,70	---	---	0,63	---	---
Portadas opacas (opaca)		0,30	0,40	0,50	0,35	0,46	0,58	
Persianas (não opaca)		0,35	0,45	0,57	0,40	0,55	0,65	
Protecção entre dois vidros (estore veneziano, lâminas delgadas) (não opaca)		---	---	---	0,28	0,34	0,40	

Notas:

- Protecções ligeiramente transparentes: transmitância solar entre 0,05 e 0,15;
- Protecções transparentes: transmitância solar entre 0,15 e 0,25;
- Protecções muito transparentes: transmitância solar superior a 0,25.

Note-se ainda que a cor da protecção é definida, a título ilustrativo, na Tabela 8 do Despacho 15793-K-2013 de 3 de Dezembro.

Nota adicional 1: Esta tabela pressupõe a utilização de uma única protecção solar (interior ou exterior) e vidro incolor corrente (simples ou duplo), caracterizado pelos seguintes factores solares: $g_{\perp,vi} = 0,85$ para vidro simples e $g_{\perp,vi} = 0,75$ para vidro duplo. Se existir mais do que uma protecção solar ou vidros com diferentes daqueles considerados incolores correntes (ou seja, vidros especiais), deverá ser efectuada a correcção do factor solar do vão com protecção activa a 100%.

Nota adicional 2: A definição de *opaca* ou *não opaca* resultou da consulta do documento da ADENE (*Perguntas & Respostas sobre o RCCTE, versão 1.3a de Abril de 2008, página 37*).

1.7 Coeficientes de transmissão térmica superficial de referência

Os valores dos coeficientes de transmissão térmica superficial de referência (U_{ref}) para elementos opacos e envidraçados são apresentados na Tabela 3, em função da zona climática e do tipo de elemento da envolvente.

ANEXO G

Tabela 3. Elementos opacos e vãos envidraçados
(Extraído da Tabela I.01 da Portaria 349-B/2013 de 29 de novembro)
Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos e de vãos envidraçados, U_{ref} [W/(m²·°C)]

U_{ref} [W/(m ² ·°C)]		Zona Climática					
		Portugal Continental			Regiões Autónomas		
Zona corrente da envolvente:		Com a entrada em vigor do presente regulamento			31 de dezembro de 2015		
		I1	I2	I3	I1	I2	I3
em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} > 0.7$	Elementos opacos verticais	0,50	0,40	0,35	0,40	0,35	0,30
	Elementos opacos horizontais	0,40	0,35	0,30	0,35	0,30	0,25
em contacto com outros edifícios ou espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} \leq 0.7$	Elementos opacos verticais	1,00	0,80	0,70	0,80	0,70	0,60
	Elementos opacos horizontais	0,80	0,70	0,60	0,70	0,60	0,50
Vãos envidraçados (portas e janelas) (U_w)		2,90	2,60	2,40	2,80	2,40	2,20
Elementos em contacto com o solo		0,50			0,50		
Zona corrente da envolvente:		Com a entrada em vigor do presente regulamento			31 de dezembro de 2015		
		I1	I2	I3	I1	I2	I3
em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} > 0.7$	Elementos opacos verticais	0,80	0,65	0,50	0,80	0,60	0,45
	Elementos opacos horizontais	0,55	0,50	0,45	0,45	0,40	0,35
em contacto com outros edifícios ou espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} \leq 0.7$	Elementos opacos verticais	1,60	1,50	1,40	1,50	1,40	1,30
	Elementos opacos horizontais	1,00	0,90	0,80	0,85	0,75	0,65
Vãos envidraçados (portas e janelas) (U_w)		2,90	2,60	2,40	2,80	2,40	2,20
Elementos em contacto com o solo		0,50			0,50		

Nota: Os requisitos de referência indicados na presente tabela, poderão ser progressivamente atualizados até 2020, por forma a incorporar estudos referentes ao custo-benefício dos mesmos, bem como aos níveis definidos para os edifícios de necessidade de energia quase-nulas.

O edifício em estudo localiza-se na zona climática de inverno I3, conforme se indicou nos dados climáticos. Da leitura da Tabela 3, pode-se inferir que para a zona climática I3 são estabelecidos actualmente os seguintes valores de referência.

Envolvente exterior e envolvente interior com requisitos de exterior:

Paredes: $U_{ref} = 0,35 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

Pavimentos e Coberturas: $U_{ref} = 0,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

Envolvente interior com requisitos de interior:

Paredes: $U_{ref} = 0,70 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

Pavimentos e Coberturas: $U_{ref} = 0,60 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

Vãos envidraçados:

Portas e janelas: $U_{ref} = 2,40 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

Elementos em contacto com o solo:

Paredes e pavimentos em contacto com o solo: $U_{ref} = 0,50 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

As soluções adoptadas no edifício tipo conduzem aos seguintes valores do coeficiente de transmissão térmica:

Envolvente exterior (identificada a vermelho na envolvente):

Paredes: $U = 0,42 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

Pavimentos: $U = 0,57 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

Coberturas: $U = 0,52 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

Envolvente interior com requisitos de exterior (identificada a amarelo na envolvente):

Pavimentos: $U = 0,55 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

Vãos envidraçados (identificados a vermelho na envolvente exterior):

Portas e janelas: $U_{wdn} = 2,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

Elementos em contacto com o solo (identificados a verde na envolvente):

Paredes em contacto com o solo: $U_{bw} = 0,29 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{OC})$

1.8 Outros requisitos a ter em consideração

1.8.1 Taxa mínima de renovação do ar

O cálculo da taxa de renovação horária nominal do ar interior nos edifícios (R_{ph}) para efeitos do balanço térmico é regulado pelo Despacho 15793-K/2013 de 3 de Dezembro com as alterações introduzidas pela Declaração de rectificação nº 127/2014 de 11 de Fevereiro. O requisito mínimo para a taxa de renovação horária nominal do ar nos edifícios de habitação, para garantia da qualidade do ar interior, é fixado pela Portaria 349-B/2013 de 29 de Novembro, devendo ser igual ou superior a 0,4 renovações por hora. No cálculo da taxa de renovação do ar são considerados o efeito da permeabilidade ao ar da envolvente, a existência de dispositivos de admissão de ar situados nas fachadas, as condutas de ventilação (admissão ou exaustão), os sistemas mecânicos ou híbridos, o efeito da impulsão térmica (efeito de chaminé) e o efeito da acção do vento.

Preconiza-se que o edifício em estudo seja ventilado de forma natural, sem qualquer recurso a meios mecânicos. Para garantir a taxa mínima de renovação do ar, o edifício deve ser dotado de condutas de ventilação (admissão e exaustão) nas instalações sanitárias que se localizam nos pisos 0 e -1, uma vez que estas não possuem vãos em contacto com o exterior. O mesmo se aplica à cozinha, que deverá ser dotada de abertura permanente de admissão de ar na fachada e condutas de exaustão do extractor do fogão e da eventual caldeira a instalar.

1.8.2 Eficiência dos sistemas técnicos

Os sistemas técnicos de climatização destinam-se a garantir a obtenção das condições de conforto térmico de referência estabelecidas para o ambiente interior nos edifícios, quer no inverno fornecendo calor, quer no verão retirando calor. Os sistemas convencionais de produção de AQS destinam-se a aquecer a água potável até uma temperatura superior a 45°C , destinada a banhos, limpezas, cozinha ou fins análogos. A correta especificação e dimensionamento dos sistemas de climatização e de AQS são determinantes para o desempenho energético global do edifício. Para reduzir os consumos associados à produção de AQS e promover o recurso a energias renováveis, o REH torna obrigatória a utilização de colectores solares térmicos em todos os edifícios novos e grandes remodelações, desde que exista exposição solar adequada. Os sistemas

solares térmicos permitem pré-aquecer a água quente sanitária, reduzindo assim a energia consumida pelo sistema convencional.

Existem muitos tipos de sistemas técnicos, sendo por vezes difícil agrupá-los apenas por um dos fins a que se destinam. Alguns equipamentos servem simultaneamente para aquecimento e AQS, enquanto outros servem exclusivamente para aquecimento ou para arrefecimento, podendo ainda existir equipamentos que fazem aquecimento e arrefecimento. Para cada função (aquecimento, arrefecimento ou AQS) deve ser conhecida a potência do equipamento e a respectiva eficiência de conversão tendo por base os dados fornecidos pelo fabricante, em conformidade com as normas aplicáveis. Outro aspecto a considerar é tipo de energia associada, como seja, energia eléctrica, combustível sólido líquido ou gasoso.

O Decreto-lei 118/2013 de 20 de agosto estabelece os requisitos gerais a cumprir relativamente aos sistemas técnicos em edifícios de habitação no âmbito do REH, quer para os edifícios novos, quer para os edifícios sujeitos a grandes intervenções.

Tratando-se de um edifício de tipologia T1, o Decreto-lei 118/2013 de 20 de agosto admite a existência de um número convencional de dois habitantes. Nessa medida, o Regulamento estabelece que a energia a fornecer pelos colectores solares a instalar deverá ser igual ou superior àquela que seria obtida considerando uma área de 2 m² de colector solar padrão (1 m² por habitante convencional) orientado a Sul e com inclinação de 35°. Assim, a área mínima a prever de colectores solares deverá ser de dois metros quadrados, admitindo que os colectores solares a instalar seriam melhores que o colector padrão definido regulamentarmente.

O sistema de colectores solares a instalar poderá ser do tipo circulação forçada (Figura x) ou do tipo termossifão (Figura F). O sistema de circulação forçada evita a colocação do depósito na cobertura, mas será necessário prever um espaço, de preferência protegido do clima exterior, para alojar o depósito de acumulação do sistema solar. Para o edifício em questão o depósito seria de reduzidas dimensões, com uma capacidade de cerca de 200 litros. Em alternativa, com o sistema de termossifão, esse depósito de acumulação é colocado na cobertura e não é necessário qualquer espaço adicional na habitação. Esta solução tem sido preferida quando o espaço existente na habitação é exíguo.

O sistema de apoio para preparação de AQS poderá ser constituído por um esquentador termostático a gás ou, alternativamente, poderia colocar-se uma resistência eléctrica de apoio no próprio depósito de acumulação (situação menos eficiente e pouco

recomendada). O esquentador a gás seria instalado na cozinha e dissimulado nos armários.

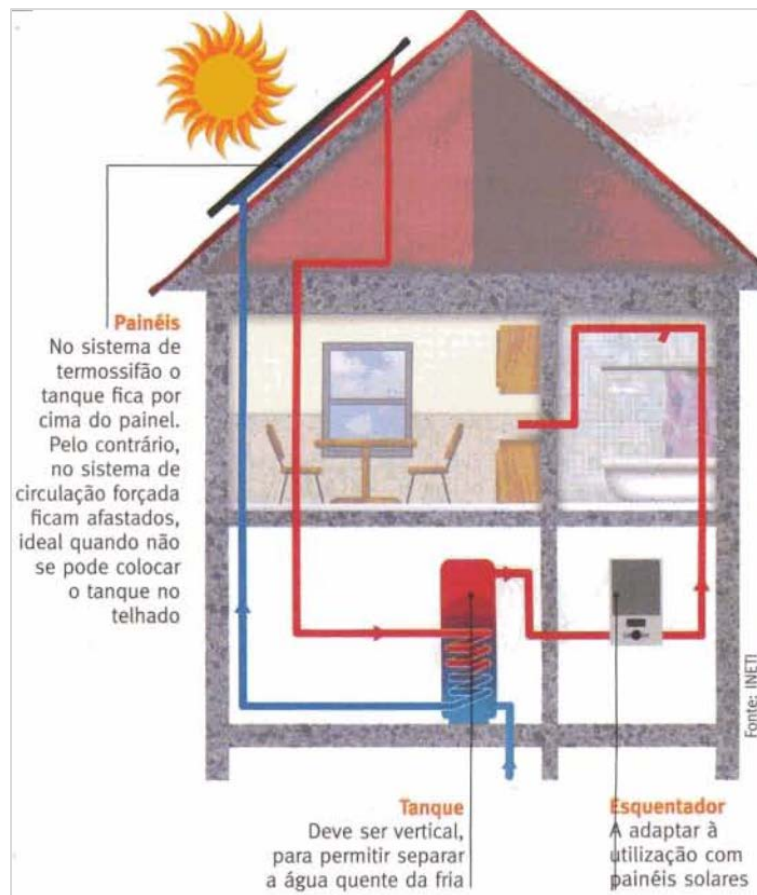


Figura 1. Exemplo de um sistema de produção de AQS com circulação forçada

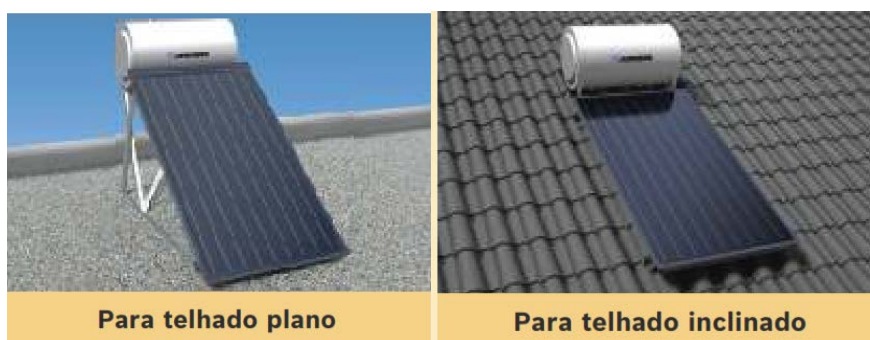


Figura 12.11. Colectores solares do tipo termossifão

Relativamente ao sistema de climatização, são muitas as soluções no mercado. No entanto, importa referir que o Decreto-lei 118/2013 de 20 de agosto estabelece requisitos cada vez mais exigentes para esses sistemas, pelo que a opção deverá ser bem fundamentada. Para se garantir uma classe de eficiência energética elevada para

a habitação (A⁺, A) torna-se quase obrigatório o recurso a sistemas de energias renováveis. Uma das soluções possíveis poderá passar pela instalação de recuperador de calor ou uma caldeira a biomassa (lenha ou granulados), uma vez que a biomassa é considerada uma energia renovável. Um recuperador de calor a biomassa com depósito de acumulação incorporado para fornecimento de água quente ao sistema de radiadores distribuídos pela habitação seria facilmente enquadrado na parede de alvenaria de pedra situada na sala de estar do piso 0, sem necessidade de quaisquer instalações adicionais, a não ser a própria rede de água quente e a chaminé de exaustão da caldeira. O armazenamento da biomassa poderá fazer-se em qualquer instalação no exterior do edifício.

Referências:

1. Nepomuceno, M.C.S. - Física das Construções: Desempenho Energético de Edifícios. «Documento de apoio às aulas teóricas e práticas da unidade curricular de Física das Construções», UBI, 2014 (270 pág.)
2. Carlos, J.M.S.; Nepomuceno, M.C.S. - A simple methodology to predict heating load at an early design stage of dwellings, in «Energy and Buildings», 55, 2012, p. 198-207.
3. Lanzinha, J.C.G.- Reabilitação de Edifícios - Metodologia de Diagnóstico e Intervenção, Livro, Fundação Nova Europa, Série Estudos de Engenharia, Volume 5, Portugal, 2009, ISBN 978-989-654-014-2.

ANEXO A

FICHA DE ELEMENTO <small>(Ficha demonstrativa do cálculo)</small>						ELEMENTO TPO:			
ENVOLVENTE:	EXTERIOR					PRE1			
ELEMENTO:	PAREDE EXTERIOR								
DESCRIÇÃO:									
REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO ELEMENTO:									
DESENHO N.º ???									
RESISTÊNCIA TÉRMICA DAS CAMADAS ⁽¹⁾ :									
Camada	Descrição da camada	Massa vol. aparente seca [kg/m³]	Espessura d, [m]	Condução térmica λ, [W/(m.°C)]	Resistência Térmica R, [m².°C/W]	Fluxo horizontal Resistência Térmica R, [m².°C/W]			
1	Gesso cartonado	750-1000	0,015	0,180		0,083			
2	Barreira pára-vapor (contribuição desprezável para a resistência térmica)		0,001			0,000			
3	Painel sandwiche	35-50	0,060	0,020		3,000			
4	Argamassa especial reforçada com rede de fibra de vidro	1600-1800	0,010	1,000		0,010			
						0,000			
						0,000			
						0,000			
						0,000			
						0,000			
						0,000			
						0,000			
						0,000			
						0,000			
						0,000			
			<i>Espessura total, em metros:</i>	0,086	Σ Rj =	3,093			
RESISTÊNCIA TÉRMICAS SUPERFICIAIS ⁽²⁾ :									
Resistência térmica superficial interior, Rsi , em [m².°C/W]					Fluxo horizontal Rsi = 0,13				
Resistência térmica superficial exterior, Rse , em [m².°C/W]					Rse = 0,04				
COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA SUPERFICIAL ⁽³⁾ :									
					Fluxo horizontal Coeficiente de transmissão térmica superficial, U , em [W/(m².°C)]: 0,306				
QUADRO DE ÁREAS:									
Orientação:	N	S	E	W	SE	SW	NE	NW	TOTAL
Área, em [m²]:									0,00
Notas:									
(1) – As resistências térmicas de camadas homogéneas foram calculadas pela expressão (R=d/λ), recorrendo a valores de cálculo do coeficiente de condutibilidade térmica (λ), obtidos da publicação do LNEC ITE50, conforme previsto no Despacho 15793-K-2013 de 3 de dezembro. Nos termos do mesmo Despacho, para camadas heterogéneas os valores da resistência térmica (R) foram obtidas directamente na publicação do LNEC: ITE50. A resistência térmica dos espaços de ar foi contabilizada de acordo com o procedimento definido no Despacho 15793-K-2013 de 3 de dezembro.									
(2) – Os valores das resistências térmicas superficiais (Rsi e Rse) foram obtidos a partir do Despacho 15793-K-2013 de 3 de dezembro.									
(3) – O coeficiente de transmissão térmica superficial foi calculado a partir da expressão: U = 1 / (Rsi + ΣRj + Rse), de acordo com o Despacho 15793-K-2013 de 3 de dezembro.									

Anexo B

FICHA DE ELEMENTO (Ficha demonstrativa do cálculo)				ELEMENTO TIPO:
ENVOLVENTE:	EXTERIOR SEM REQUISITOS TÉRMICOS			PRT1
ELEMENTO:	PAREDE EM CONTACTO COM O TERRENO			
DESCRIÇÃO:				
PORMENOR DO ELEMENTO:	DESENHO N.º ??			
R_w [m ² °C/W]	Z [m]	P [m]	Tabela consultada	U_{bw} , em W/(m ² ·°C):
2,22	2,20	6,00	Tab. 06 do Despacho 15793-K/2013 de 3 de dezembro	0,29
				Z, em m:
				2,20
				P, em m:
				6,00
Notas:				

Anexo C

FICHA DE ELEMENTO (Ficha demonstrativa do cálculo)								ELEMENTO TIPO:		
ENVOLVENTE:	ENVOLVENTE EXTERIOR							CBE1		
ELEMENTO:	COBERTURA EXTERIOR									
DESCRIÇÃO:										
REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO ELEMENTO:										
DESENHO N.º										
RESISTÊNCIA TÉRMICA DAS CAMADAS ⁽¹⁾ :										
Camada	Descrição da camada	Massa vol. aparente seca [kg/m ³]	Espessura d, [m]	Condução térmica λ , [W/(m·°C)]	Resistência Térmica R, [m ² ·°C/W]		Fluxo asc.	Fluxo desc.	Resistência Térmica R, [m ² ·°C/W]	
					Fluxo asc.	desc.	asc.	desc.		
1	Painel sandwich	35-50	0,600	0,020			30,000	30,000		
2	Barreira pára-vapor (contribuição desprezável para a resistência térmica)		0,001				0,000	0,000		
3	Manta geotextil	120	0,003	0,050			0,060	0,060		
4	Contraplacado marítimo	700	0,015	0,170			0,088	0,088		
5	Tela PVC impermeabilizante	1200	0,003	0,140			0,021	0,021		
							0,000	0,000		
							0,000	0,000		
							0,000	0,000		
							0,000	0,000		
							0,000	0,000		
Espessura total, em metros:			0,622				$\Sigma R_j =$	30,170	30,170	
RESISTÊNCIA TÉRMICAS SUPERFICIAIS ⁽²⁾ :										
Resistência térmica superficial interior, R_{si} , em [m ² ·°C/W]							Fluxo asc.	Fluxo desc.		
							$R_{si} =$	0,10	0,17	
Resistência térmica superficial exterior, R_{se} , em [m ² ·°C/W]							$R_{se} =$	0,04	0,04	
COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA SUPERFICIAL ⁽³⁾ :										
Coeficiente de transmissão térmica superficial, U, em [W/(m ² ·°C)]:							Fluxo asc.	Fluxo desc.		
							0,033	0,033		
QUADRO DE ÁREAS:										
Orientação:	Horizontal						Área, em [m ²]:			
Notas:										
(1) – As resistências térmicas de camadas homogêneas foram calculadas pela expressão ($R=d/\lambda$), recorrendo a valores de cálculo do coeficiente de condutibilidade térmica (λ), obtidos da publicação do LNEC ITE50, conforme previsto no Despacho 15793-K-2013 de 3 de dezembro. Nos termos do mesmo Despacho, para camadas heterogêneas os valores da resistência térmica (R) foram obtidas directamente na publicação do LNEC: ITE50. A resistência térmica dos espaços de ar foi contabilizada de acordo com o procedimento definido no Despacho 15793-K-2013 de 3 de dezembro.										
(2) – Os valores das resistências térmicas superficiais (R_{si} e R_{se}) foram obtidos a partir do Despacho 15793-K-2013 de 3 de dezembro.										
(3) – O coeficiente de transmissão térmica superficial foi calculado a partir da expressão: $U = 1 / (R_{si} + \Sigma R_j + R_{se})$, de acordo com o Despacho 15793-K-2013 de 3 de dezembro.										

Anexo D

FICHA DE ELEMENTO <small>(Ficha demonstrativa do cálculo)</small>							ELEMENTO TIPO:		
ENVOLVENTE:	ENVOLVENTE EXTERIOR						PVE1		
ELEMENTO:	PAVIMENTO EXTERIOR								
DESCRIÇÃO:									
REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO ELEMENTO:									
DESENHO N.º									
RESISTÊNCIA TÉRMICA DAS CAMADAS ⁽¹⁾ :									
Camada	Descrição da camada	Massa vol. aparente seca [kg/m ³]	Espessura d, [m]	Condução térmica λ, [W/(m.°C)]	Resistência Térmica R, [m ² .°C/W]		Fluxo asc.	Fluxo desc.	
					Fluxo asc.	desc.	Resistência Térmica R, [m ² .°C/W]		
							0,000	0,000	
2	Painel Sandwich	35-50	0,050	0,020			2,500	2,500	
3	Manta geotextil	120	0,003	0,050			0,060	0,060	
4	Contraplacado marítimo	700	0,015	0,170			0,088	0,088	
5	Tela de poliestireno (subcamada de feltro)	120	0,003	0,050			0,060	0,060	
6	Acabamento de piso em madeira maciça semi-densa	565-750	0,012	0,180			0,067	0,067	
							0,000	0,000	
							0,000	0,000	
							0,000	0,000	
							0,000	0,000	
<i>Espessura total, em metros:</i>			0,083			Σ Rj =	2,775	2,775	
RESISTÊNCIA TÉRMICAS SUPERFICIAIS ⁽²⁾ :									
Resistência térmica superficial interior, Rsi , em [m ² .°C/W]							Rsi =	0,10	0,17
Resistência térmica superficial exterior, Rse , em [m ² .°C/W]							Rse =	0,04	0,04
COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA SUPERFICIAL ⁽³⁾ :									
Coeficiente de transmissão térmica superficial, U , em [W/(m ² .°C)]:							U =	0,343	0,335
QUADRO DE ÁREAS:									
Orientação:	Horizontal						Área, em [m ²]:		
Notas:									
(1) – As resistências térmicas de camadas homogêneas foram calculadas pela expressão (R=d/λ), recorrendo a valores de cálculo do coeficiente de condutibilidade térmica (λ), obtidos da publicação do LNEC ITE50, conforme previsto no Despacho 15793-K-2013 de 3 de dezembro. Nos termos do mesmo Despacho, para camadas heterogêneas os valores da resistência térmica (R) foram obtidas directamente na publicação do LNEC: ITE50. A resistência térmica dos espaços de ar foi contabilizada de acordo com o procedimento definido no Despacho 15793-K-2013 de 3 de dezembro.									
(2) – Os valores das resistências térmicas superficiais (Rsi e Rse) foram obtidos a partir do Despacho 15793-K-2013 de 3 de dezembro.									
(3) – O coeficiente de transmissão térmica superficial foi calculado a partir da expressão: U = 1 / (Rsi + ΣRj + Rse), de acordo com o Despacho 15793-K-2013 de 3 de dezembro.									

Anexo E

FICHA DE ELEMENTO <small>(Ficha demonstrativa de cálculo)</small>							ELEMENTO TIPO:		
ENVOLVENTE:	ENVOLVENTE INTERIOR						PVI1		
ELEMENTO:	PAVIMENTO SOBRE ESPAÇO NÃO ÚTIL (DESVÃO SANITÁRIO)								
DESCRIÇÃO:	Edifício elevado do solo 30cm no mínimo								
REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO ELEMENTO:									
DESENHO N.º									
RESISTÊNCIA TÉRMICA DAS CAMADAS ⁽¹⁾ :									
Camada	Descrição da camada	Massa vol. aparente seca [kg/m³]	Espessura d, [m]	Conduct. térmica λ, [W/(m.°C)]	Resistência Térmica R, [m².°C/W]		Fluxo asc..	Fluxo desc.	
					Fluxo asc.	desc.	Resistência Térmica R, [m².°C/W]		
1	Tela PVC impermeabilizante	1200	0,002	0,140			0,014	0,014	
2	Painel Sandwich	35-50	0,050	0,020			2,500	2,500	
3	Manta geotextil	120	0,003	0,050			0,060	0,060	
4	Contraplacado marítimo	700	0,015	0,170			0,088	0,088	
5	Tela de poliestireno (subcamada de feltro)	120	0,003	0,050			0,060	0,060	
6	Acabamento de piso em madeira maciça semi-densa	665-750	0,012	0,180			0,067	0,067	
							0,000	0,000	
							0,000	0,000	
							0,000	0,000	
							0,000	0,000	
<i>Espessura total, em metros:</i>			0,085			Σ Rj =	2,789	2,789	
RESISTÊNCIA TÉRMICAS SUPERFICIAIS ⁽²⁾ :									
Resistência térmica superficial interior, Rsi , em [m².°C/W]							Rsi =	0,10	0,17
Resistência térmica superficial exterior, Rse , em [m².°C/W]							Rse =	0,10	0,17
COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA SUPERFICIAL ⁽³⁾ :									
Coeficiente de transmissão térmica superficial, U , em [W/(m².°C)]:							U =	0,335	0,320
QUADRO DE ÁREAS:									
Orientação:	Horizontal						Área, em [m²]:		
CARACTERIZAÇÃO DO ESPAÇO NÃO ÚTIL ADJACENTE - Quantificação do coeficiente de redução de perdas(4) (bt):									
Coeficiente de redução de perdas, bt :							1,00		
Notas:									
(1) – As resistências térmicas de camadas homogêneas foram calculadas pela expressão (R=d/λ), recorrendo a valores de cálculo do coeficiente de condutibilidade térmica (λ), obtidos da publicação do LNEC ITE50, conforme previsto no Despacho 15793-K-2013 de 3 de dezembro. Nos termos do mesmo Despacho, para camadas heterogêneas os valores da resistência térmica (R) foram obtidas directamente na publicação do LNEC: ITE50. A resistência térmica dos espaços de ar foi contabilizada de acordo com o procedimento definido no Despacho 15793-K-2013 de 3 de dezembro.									
(2) – Os valores das resistências térmicas superficiais (Rsi e Rse) foram obtidos a partir do Despacho 15793-K-2013 de 3 de dezembro.									
(3) – O coeficiente de transmissão térmica superficial foi calculado a partir da expressão: U = 1 / (Rsi + ΣRj + Rse), de acordo com o Despacho 15793-K-2013 de 3 de dezembro.									
(4) - O coeficiente de redução de perdas (bt) foi quantificado de acordo com o Despacho 15793-K-2013 de 3 de dezembro.									

FICHA DE ELEMENTO <i>(Ficha demonstrativa de cálculo)</i>	
ENVOLVENTE:	EXTERIOR
ELEMENTO:	VÃO ENVIDRAÇADO SIMPLES
DESCRIÇÃO:	Vãos envidraçados simples, com caixilharia metálica oscilo-batente com corte térmico, da classe 3 quanto à permeabilidade ao ar, sem quadricula, com vidro duplo incolor corrente de baixa emissividade 6+16+5 mm, e proteção exterior com estore de lona opaca de cor clara.
ELEMENTOS:	
EEV1	
REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO ELEMENTO:	
DESENHO N.º ??	
CARATERIZAÇÃO DO VÃO ENVIDRAÇADO, DA CAIXILHARIA E DO VIDRO:	
Tipo de caixilharia:	
Madeira <input type="checkbox"/>	Metálica com corte térmico <input checked="" type="checkbox"/>
Metálica sem corte térmico <input type="checkbox"/>	Plástico <input type="checkbox"/>
Tipo de janela:	
Fixa <input type="checkbox"/>	Giratória <input checked="" type="checkbox"/>
	de correr <input type="checkbox"/>
Tipo de vão envidraçado:	
Simple (1 janela) <input checked="" type="checkbox"/>	Duplo (2 janelas) <input type="checkbox"/>
	Distância entre as duas janelas <input type="text"/> mm
Número de vidros:	
Simple (1 vidro) <input type="checkbox"/>	Duplo (2 vidros) <input checked="" type="checkbox"/>
Espessura dos vidros:	
Simple (1 vidro) <input type="text"/> mm	
Duplo (2 vidros):	Vidro interior <input type="text"/> 5 mm Vidro exterior <input type="text"/> 6 mm Lâmina de ar <input type="text"/> 16 mm
Existe dispositivo de oclusão noturna:	
Sim <input checked="" type="checkbox"/>	Não <input type="checkbox"/>
Caraterísticas do dispositivo de oclusão noturna:	
Cortina interior opaca <input type="checkbox"/>	Cor da cortina: Clara <input type="checkbox"/> Média <input type="checkbox"/> Escura <input type="checkbox"/>
Outros dispositivos de oclusão com:	permeabilidade ao ar elevada <input type="checkbox"/> permeabilidade ao ar baixa <input checked="" type="checkbox"/>
	Cor do dispositivo: Clara <input checked="" type="checkbox"/> Média <input type="checkbox"/> Escura <input type="checkbox"/>
O edifício tem ocupação noturna importante:	
Sim <input checked="" type="checkbox"/>	Não <input type="checkbox"/>
COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA SUPERFICIAL MÉDIO DIA-NOITE ⁽¹⁾:	
Coef. de transmissão térmica sup. médio dia-noite, U _{wdn} , em [W/(m ² .°C)]	Fluxo horizontal 2,30
QUADRO DE ÁREAS:	
Área total dos envidraçados do tipo indicado, expressa em [m ²] <input type="text"/>	
Notas:	
(1) – O coeficiente de transmissão térmica superficial foi obtido por consulta da publicação do LNEC: ITE 50.	

ANEXO 4 | Desenvolvimento do Projecto e Materialização do Protótipo

O desenvolvimento deste protótipo foi o culminar de toda a investigação, tentando da melhor forma incorporar todas as ideias conceptuais abordadas ao longo do trabalho, salientando que toda a construção apenas utiliza um tipo de perfil 'L' de abas iguais, para todas as soluções construtivas.

Este subcapítulo é composto dos desenhos arquitectónicos e técnicos que demonstram todo o processo construtivo, pela seguinte ordem:

Imagens 3D do protótipo.

Desenho 0.01 | Planta de Localização e Implantação.

Desenho 1.01, 1.02, 1.03 | Planta de Estruturas (cobertura, piso térreo e piso -1) - onde se representa todo o sistema construtivo, em estrutura metálica modular em aço, com os perfis em cantoneiras de abas iguais.

Desenho 1.04, 1.05, 1.06 | Planta de Arquitectura (cobertura, piso térreo e piso -1) - onde se representam a organização dos espaços de habitar, e onde se colocam os planos opacos e translúcidos para se compreender a relação interior/exterior.

Desenho 2.01, 2.02, 2.03, 2.04 | Alçados da proposta e do existente - onde se entende o projecto no seu todo e a relação entre a proposta e a intervenção na ruína.

Desenho 3.01, 3.02, 3.03, 3.04 | Cortes transversais e longitudinais - onde se representa a estrutura e a arquitectura, e os materiais utilizados para melhor compreensão do projecto.

Desenho 4.01 | Pormenores Construtivos - para melhor se entender todo o sistema modelar, os tipos de ligação das peças, e do material escolhido para a concepção.

MEMÓRIA DESCRITIVA

OBJECTIVO

Refere-se a presente Memória à descrição e justificação da solução arquitectónica, da aplicação do protótipo, em sistema modular em aço, nomeadamente da concepção e desenvolvimento da recuperação de uma ruína para habitação unifamiliar, fazendo parte de um aglomerado de pequenas habitações abandonadas, localizadas em Porto dos Asnos, Souto da Casa, Fundão.

ENQUADRAMENTO URBANO E PAISAGÍSTICO

Este aglomerado de pequenas casas em ruína, construídas em xisto, fazem parte da arquitectura popular portuguesa, e estão situadas numa zona natural, rodeadas de pinheiros e eucaliptos, com uma exposição solar a sul e uma linha de água no sopé da encosta onde a presença da relação da paisagem envolvente e as construções é muito marcante.

É objectivo da proposta o respeito pela morfologia do terreno, enquadrando-a numa solução de compromisso entre o existente e o proposto, criando uma proposta contemporânea evidenciando as ruínas com as suas vivências, respeitando as condicionantes e tirando partido do conjunto do aglomerado, não deixando, contudo, de criar cada habitação com identidade própria dependente da análise de cada pré-existência.

A SOLUÇÃO DA ARQUITECTURA

A ideia conceptual que se apresenta é constituída pela composição dos vários módulos definidos para cada área do habitar, desenvolvida ao longo da investigação, escolhendo um módulo de quarto, dois módulos de I.S. porque a casa se organiza em dois pisos, um módulo de cozinha, um módulo de sala e um módulo de escadas.

A solução arquitectónica passou pela análise da ruína e das suas potencialidades para a criação de espaços de interligação das duas construções como se a nova construção fosse um organismo vivo que fosse aproveitando as paredes existentes como cenários diferenciados do interior e do exterior.

Conseguiu-se, deste modo criar dois pátios no interior das ruínas, oferecendo um deles ao piso térreo, onde se encontra a cozinha, a sala e a I.S. zona social, como um

prolongamento do espaço de convívio e refeições e um outro pátio mais intimista ao nível do piso -1, onde se situa o quarto e a I.S. privada e uma zona de estar.

O terreno tem um declive acentuado que permite que os dois pisos tenham acessos ao exterior, pois só uma parte das paredes, é que se encontra enterrada. Conseguindo assim uma relação visual de interior/exterior com características e escalas diferenciadas.

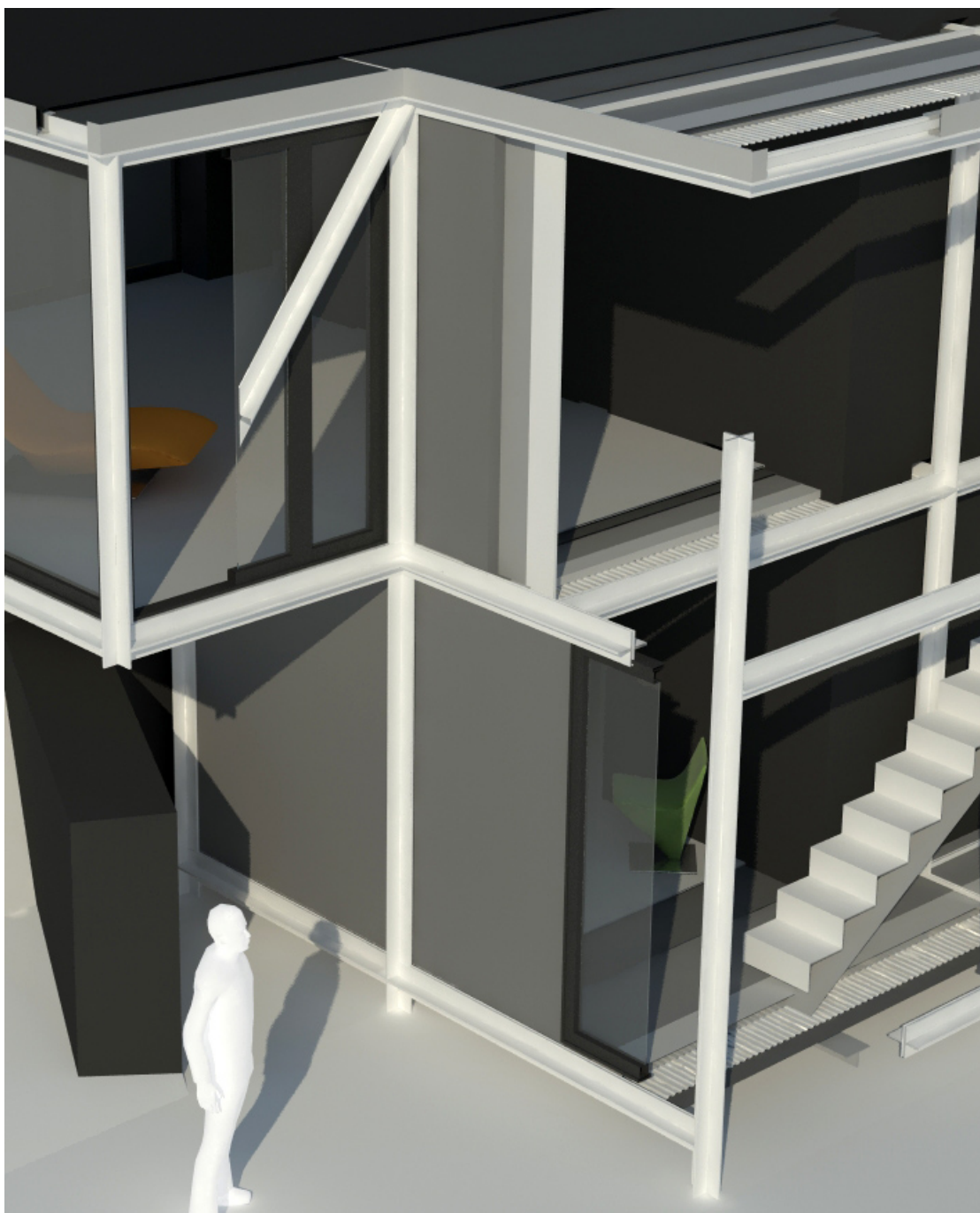


Imagem do protótipo mostrando sistema construtivo com cantoneira 'L' abas iguais.

SOLUÇÃO CONSTRUTIVA - ESTRUTURA

A estrutura a incorporar ao conjunto habitacional em ruínas, será construída em sistema modular de perfilados metálicos em que todo o sistema estrutural de perfilados metálicos, é executado com perfil em "L" cantoneira de abas iguais. As vigas estruturais dos pisos e cobertura, assim como, os pilares são compostos por quatro cantoneiras juntas que formam uma "cruz grega", e em que as madres de suporte aos pavimentos e às coberturas, são compostas apenas com duas cantoneiras (gémeas) que ligadas entre si, formam um "T", sendo estas, fixadas/aparafusadas por baixo da alma da viga estrutural dos pisos e cobertura, construída em sistema "cruz grega".

Todas estas peças, já vêm da Oficina de fabrico, com as furações executadas para a montagem em obra.

COBERTURA

A cobertura do edifício será composta por painéis sandwich, de espessura 60mm, de fixação oculta, barreira de vapor espessura 2mm, Contraplacado marítimo espessura 15mm, manta geotêxtil espessura 3mm e tela PVC impermeabilizante 3mm, com 2% de inclinação, para escoamento das águas, para a caleira envolvente, que percorre todo o contorno exterior da habitação.

PAREDES EXTERIORES

As paredes exteriores são organizadas do interior para o exterior com as seguintes camadas: placas de gesso cartonado, tipo pladur, uma camada de 15mm, com acabamento final com pintura, barreira pára-vapor, para evitar humidades, painel sandwich, de espessura 60mm, e o acabamento final exterior, neste protótipo, são aplicadas réguas de madeira na horizontal, de carvalho claro, para melhor enquadramento com a envolvente.

PAREDES INTERIORES

Gesso cartonado de cada lado, tipo pladur, uma camada de 15mm, com acabamento final com pintura (hidrófugo nas instalações sanitárias e cozinha) o acabamento com pintura na cor branca RAL 9010, e como isolamento painel sandwich 40mm.

ESCADA

A escada interior será executada em estrutura metálica com um eixo estrutural, executado com duas cantoneiras em forma de T, onde os degraus serão moldados em chapa quinada lacada a branco e com acabamento em vidro tratado para proteger a pintura da circulação.

PAVIMENTO INTERIOR

Os pavimentos são constituídos por painel sandwich, de espessura 50mm, manta geotêxtil 3mm, contraplacado marítimo 15mm, tela poliestireno 3mm e acabamento final pavimento com madeira maciça nas zonas de sala e quarto e microcimento RAL 1013 nas I.S. e cozinha.

TECTOS

Os tectos serão deixados com as madres em perfilados 'L' e a parte de baixo dos painéis sandwich à vista e possivelmente em algumas zonas para esconder canalizações de águas e esgotos em gesso cartonado pintado a tinta de água branca.

VÃOS EXTERIORES

A caixilharia exterior será executada em alumínio cinza, estando previsto "blackout" interiores como elementos de oclusão lumínica.

PORTAS INTERIORES

As portas interiores serão executadas em madeira lacada a branco de correr.

DADOS GERAIS

Área total de implantação (ruína e proposta) _ 106.70m²

Área bruta de construção _ 105,90m²

Área permeável verde (pátios) _30,40m²

Nº de pisos acima da cota de soleira _ 0

Nº de pisos abaixo da cota de soleira _ 1

Cércea _ 3.20m

ESTIMATIVA ORÇAMENTAL

Para efeitos de estimativa de custos serão consideradas as seguintes áreas brutas e respectivos custos unitários:

Peso da estrutura metálica em perfilado em aço _ 15 toneladas

Preço da cantoneira de abas iguais _ €0,66+ IVA = €0,81

Preço da estrutura _ 15000kgs x (3x€0,81) = €36.531,00 (com fabricação em estaleiro, transporte e montagem em obra)

Paredes, pavimentos e cobertura aproximadamente _ € 120,00/m²

Área de pavimentos e cobertura _ 168,75m²

Área de paredes _ 44,45m²

Preço dos acabamentos paredes e pavimentos _ 213,20m² x €120,00/m² = €25.584,00

Preço total (aproximadamente) _ €62.115,00

DESENHOS TÉCNICOS DO PROTÓTIPO

IMAGENS 3D DO PROTÓTIPO

