

CONSTRUÇÃO DE CASAS EM CONTENTOR PROPOSTA DE SOLUÇÃO

DANIEL FERNANDES PONTES

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

Orientador: Professora Doutora Ana Sofia Moreira dos Santos Guimarães

Coorientador: Professora Doutora Bárbara Rangel Carvalho

JUNHO DE 2017

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2016/2017

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2016/2017 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2017.*

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

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

A meus Pais e Irmão

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”

Arthur Schopenhauer

AGRADECIMENTOS

O trabalho desenvolvido nesta dissertação não seria atingido sem o caminho académico executado, sem a contribuição da família, amigos, colegas e professores. A todos os que contribuíram para a realização do presente trabalho manifesto o meu profundo e sincero agradecimento, em especial:

À professora Ana Sofia Guimarães e à professora Bárbara Rangel Carvalho, agradeço todo o empenho, disponibilidade, críticas, conhecimento e ajuda prestada nas orientações.

À empresa de construção *Urbanpolis*, em especial ao Engenheiro João Pontes e ao projetista Rui Teixeira que sempre se disponibilizaram na ajuda e no desenvolvimento deste projeto.

A todos os meus colegas que fizeram parte do desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos que, ao longo destes anos, me acompanharam agradeço todos os momentos passados e todo o companheirismo.

À Catarina por ter estado sempre presente a meu lado, em todos os momentos, pelo apoio dado ao longo deste período académico.

À minha família por pertencer ativamente na minha caminhada académica, obrigado pelo apoio e pelo carinho.

Ao meu irmão pelo amor e pelas conversas que me fizeram crescer e aprender que a arquitetura e a engenharia civil podem ser companheiras na construção.

Aos meus pais pelo apoio incondicional, pela educação e acima de tudo, pelos valores transmitidos durante toda a minha vida.

RESUMO

As alterações climáticas que se fazem sentir obrigam o setor da construção, um dos setores mais prejudiciais do ambiente, a adotar novas metodologias de construção. Juntamente com a crise económica, nasce a necessidade de propor uma solução de construção de habitações que avance na direção da construção sustentável.

Assim, esta dissertação propõe uma solução de construção de uma moradia em contentores que seja equiparável à metodologia tradicional. A implementação do contentor marítimo na construção é bastante benéfica, tanto para o meio ambiente como para o setor, uma vez que reutiliza os contentores estagnados nos portos e diminui o tempo e preço de construção de uma obra.

Para que se atinga uma construção de qualidade, o trabalho inicia-se com a definição da estrutura de um contentor, dos requisitos mínimos que uma moradia deve satisfazer e investiga a existência de projetos existentes a nível nacional e internacional que implementem contentores marítimos. O facto de existirem no mercado várias construções deste género auxilia na adoção de uma melhor metodologia construtiva, nomeadamente, na disposição dos materiais nos elementos de fachada. A fase seguinte do trabalho apresenta a moradia, nomeadamente, o cálculo estrutural, a escolha dos materiais, e esquemas construtivos. O estudo da qualidade construtiva instiga duas das principais exigências do conforto que uma habitação deve conter, nomeadamente, o desempenho térmico e acústico. O conhecimento destes comportamentos permite definir a moradia como uma construção de qualidade equiparável a outras habitações presentes no mercado.

Os objetivos definidos foram concretizados tendo sido adicionado uma análise experimental de um contentor marítimo. A análise permite conhecer o comportamento da temperatura e da humidade relativa ao longo do tempo, no interior de um contentor marítimo e compará-lo com o clima interior de um edifício modular devidamente isolado. A comparação serve para entender as diferenças entre um elemento sem isolamento térmico e um edifício com isolamento térmico e quais as suas consequências para o clima interior.

Em suma, a construção de uma casa empregando contentores marítimos é uma solução construtiva viável e de qualidade.

PALAVRAS-CHAVE: Construção Sustentável; Contentores Marítimos; Reutilização; Tecnologia Construtiva; Casas em contentores

ABSTRACT

The climate change forces the construction sector, one of the most harmful sectors of the environment, to adopt new construction methodologies. Together with the economic crisis, the need arises to create a home construction solution that advances in the direction of sustainable construction.

Therefore, this thesis proposes a solution of a home construction using shipping containers that is similar to the traditional methodology. The implementation of the shipping containers in the construction is benefit for the environment and the sector, since it reuses the stagnant containers in the ports and reduces the time and price of a house construction.

In order to achieve a quality construction, this work begins with the definition of the container structure, the minimum requirements that a dwelling must satisfy and investigates the existence of projects at national and international level using shipping containers. With several constructions of this kind on the market, it's easily to adopt a better constructive methodology, namely in the arrangement of materials in the façade elements. The next phase of the work presents the dwelling, namely, the structural calculation, the choice of materials, and constructive schemes. The study of the constructive quality instigates two of the main requirements of the comfort that a house must contain, namely, the thermal and acoustic performance. The knowledge of these behaviors allows to define the house as a construction of quality comparable to other homes in the market.

The defined objectives were fulfilled and was added an experimental analysis of a shipping container. The analysis allows to identify the behavior of temperature and relative humidity over time inside the container and compares it with the indoor climate of a properly insulated modular building. The comparison serves to understand the differences between a non-insulated element and a building with thermal insulation and what consequences exists for the indoor climate.

In short, the construction of a house using shipping containers is a viable and quality constructive solution.

KEYWORDS: Sustainable Construction; Shipping Container; Reuse; Construction Technology; Shipping Container homes

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
1. Introdução	1
1.1. ENQUADRAMENTO DO TRABALHO.....	1
1.2. OBJETIVOS.....	2
1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO.....	2
2. Construção em Contentores e Requisitos de Conforto ...	3
2.1. INTRODUÇÃO.....	3
2.2. CONTENTORES MARÍTIMOS	3
2.2.1. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO	3
2.2.2. CARACTERÍSTICAS DOS CONTENTORES	4
2.2.3. MÉTODO CONSTRUTIVO DO CONTENTOR.....	6
2.3. REGULAMENTAÇÃO E REQUISITOS	11
2.3.1. REGULAMENTOS	11
2.3.1.1. Regulamento Geral das Edificações Urbanas	12
2.3.1.2. Regulamento Geral do Ruído	13
2.3.1.3. Regulamento Dos Requisitos Acústicos dos Edifícios.....	13
2.3.1.4. Regulamento dos Edifícios de Habitação	14
2.3.2. REQUISITOS MÍNIMOS	18
2.4. PROJETOS EXECUTADOS	20
2.4.1. CONTENTOR NO MERCADO IMOBILIÁRIO.....	21
2.4.2. OUTROS FINS APLICADOS	27
2.5. SÍNTESE DO CAPÍTULO 2	32
3. Caso de Estudo	35
3.1. INTRODUÇÃO.....	35
3.2. ASPETOS CLIMÁTICOS	36
3.2.1. CIDADE DO PORTO.....	36
3.2.2. CIDADE REGUENGOS DE MONSARAZ	37

3.3. DESCRIÇÃO DA MORADIA	38
3.3.1. DISPOSIÇÃO DOS CONTENTORES/ FORMA ARQUITETÓNICA	39
3.3.2. ESTRUTURA DA HABITAÇÃO.....	41
3.3.3. ESCOLHA DOS MATERIAIS	47
3.4. SÍNTESE DO CAPITULO 3	54
4. Análise do Desempenho Térmico e Acústico do caso de estudo	55
4.1. INTRODUÇÃO	55
4.2. DESEMPENHO TÉRMICO	56
4.2.1. METODOLOGIA DE CÁLCULO.....	56
4.2.2. DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS DA HABITAÇÃO;.....	64
4.2.2.1. Coeficiente global de transferência de calor por transmissão $H_{tr,i}$	65
4.2.2.2. Coeficiente global de transferência de calor por ventilação $H_{ve,i}$	75
4.2.2.3. Parâmetros referentes ao vão envidraçado: F_s e A_s	76
4.2.3. DESEMPENHO TÉRMICO DA HABITAÇÃO NA CIDADE DO PORTO	81
4.2.4. DESEMPENHO TÉRMICO DA HABITAÇÃO NA CIDADE DE REGUENGOS DE MONSARAZ	83
4.3. DESEMPENHO ACÚSTICO	84
4.3.1. METODOLOGIA DE CÁLCULO.....	86
4.3.2. DESEMPENHO ACÚSTICO	89
4.4. ANÁLISE DO CLIMA INTERIOR DE UM CONTENTOR	92
4.5. SÍNTESE DO CAPITULO 4	95
5. Conclusões e Desenvolvimentos Futuros	97
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS	97
5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	98
Bibliografia	99
ANEXOS	A1

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Exemplo de um contentor atual [5]	4
Figura 2.2 – Disposição de contentores num navio de carga [11].....	5
Figura 2.3 – Estrutura de um contentor marítimo típico [13].....	6
Figura 2.4 – Componentes de um contentor marítimo típico [13].....	7
Figura 2.5 – Secção transversal do perfil lateral superior (TSR) [14].....	7
Figura 2.6 – Secção transversal de uma chapa da face lateral do contentor 40’HC [14].....	7
Figura 2.7 – Secção transversal da chapa lateral do contentor 20’HC, com 2mm de espessura [14]...	8
Figura 2.8 – Estruturas de pavimento: a) Contentor [15]; b) Soalho [16]	8
Figura 2.9 – Secções transversais dos perfis longitudinais (BSR): a) 20’HC ; b) 40’HC [14].....	8
Figura 2.10 – Secção transversal do perfil superior (FH). a) 20’HC; b) 40’HC [14].....	9
Figura 2.11 – Secção transversal do perfil inferior (FS) para contentores 20’HC [14]	9
Figura 2.12 – Secção transversal do perfil de canto [14].....	9
Figura 2.13 – Secção transversal do painel de aço frontal [14].....	10
Figura 2.14 – Secção transversal da cobertura [14]	10
Figura 2.15 – Secção transversal do perfil de porta inferior (DS) [14].....	10
Figura 2.16 – Secção transversal perfil vertical de canto (DCP) [14]	11
Figura 2.17 – secção transversal do perfil superior de porta (DH): a) 40’HC b) 20’HC [14]	11
Figura 2.18 – Condições Necessárias Habitação [21]	18
Figura 2.19 – Zonas Climáticas de Inverno no Continente [24].....	20
Figura 2.20 – Empilhamento projetado para os contentores [26]	21
Figura 2.21 – Residência Universitária em Copenhaga, Dinamarca [29].....	22
Figura 2.22 – Flying Box em França [30]	23
Figura 2.23 – Plantas da Habitação: a) Piso térreo; b) 1º Piso e c) 2º Piso [30]	23
Figura 2.24 – Casa Cross Box com 4 contentores [34]	24
Figura 2.25 – Exemplificação da colocação dos contentores [35].....	24
Figura 2.26 – Planta dos pisos [35].....	25
Figura 2.27 – Grillagh Water House [36].....	26
Figura 2.28 – Planta Piso Superior [37]	26
Figura 2.29 – Planta Piso Térreo [37]	27
Figura 2.30 – Vão da loja amovível PUMA [39]	28
Figura 2.31 – Mercado Common Ground, Coreia do Sul [42]	28

Figura 2.32 – Fachada do edifício Common Ground, Coreia do Sul [42]	29
Figura 2.33 – Bar High Cube em Valência.....	29
Figura 2.34 – Projeto de Centro de Empreendedorismo e Juventude no Zimbabué [44]	30
Figura 2.35 – Planta do piso térreo [44].....	30
Figura 2.36 – Escola em contentor com aproveitamento solar [45].....	31
Figura 2.37 – Exemplo de piscina em contentor, nos Estados Unidos [47]	31
Figura 2.38 – Barreira Presente ao longo da avenida, Porto de Leixões	32
Figura 3.1 – Gráficos de humidade relativa e temperatura média na Área metropolitana do Porto [51]	37
Figura 3.2 - Gráficos de humidade relativa e temperatura média na sub-região do Alentejo Central [51]	38
Figura 3.3 – Perspetiva da moradia fachada Sul	39
Figura 3.4 – Disposição dos contentores em vista de planta	40
Figura 3.5 – Planta do Rés do Chão da moradia.....	40
Figura 3.6 – Planta do Piso Superior	41
Figura 3.7 – Proposta Estrutural da habitação em estudo.....	41
Figura 3.8 – Utilização de Perfil HEB como ligação entre contentores, vista em planta	42
Figura 3.9 – Perfil secundário	42
Figura 3.10 – Exemplo das distâncias das fibras mais remotas aos eixos locais [52]	43
Figura 3.11 – Perspetiva da parte posterior da habitação modelada em Robot	44
Figura 3.12 – Perspetiva da parte frontal da habitação modelada em Robot	44
Figura 3.13 - Sapatas de fundação: a) exemplo de sapata; b) pormenor do método [1]	
Figura 3.14 – Sapatas de fundação [1]	46
Figura 3.15 – Aplicação de poliuretano projetado [56]	49
Figura 3.16 – Secção da caixilharia em alumínio, Cortizo Cor-60 [62].....	51
Figura 3.17 - Acabamentos Interiores do piso 0	51
Figura 3.18 – Acabamentos Interiores piso 1	52
Figura 3.19 – Exemplo de painel sandwich	52
Figura 3.20 – Material Equitone Cedral em diferentes tonalidades [63].....	53
Figura 3.21 – Aspeto exterior da moradia.....	53
Figura 4.1 – Secção transversal da parede exterior	67
Figura 4.2 – Zona estrutural da parede exterior.....	68
Figura 4.3 – Secção transversal do elemento de cobertura	69
Figura 4.4 – Composição do Pavimento sobre espaço exterior	71

Figura 4.5 – Identificação dos vãos envidraçados piso 0	76
Figura 4.6 – Identificação dos vãos envidraçados piso 1	77
Figura 4.7 – Método de obtenção do ângulo α , para cada fator [64]	78
Figura 4.8 – Secção transversal do painel sandwich considerado [68]	86
Figura 4.9 – Curva dos valores de referência para sons de condução aérea para bandas de frequência com a largura de um terço de oitava	88
Figura 4.10 – Curva dos valores de referência para sons de condução aérea para bandas de frequência com a largura de uma oitava	88
Figura 4.11 – Elemento de estudo para determinação de comportamento acústico	89
Figura 4.12 – Elemento em estudo para o desempenho acústico	90
Figura 4.13 – Ajustamento da curva de referência	91
Figura 4.14 – Stand de Vendas analisado	92
Figura 4.15 – Temperatura e humidade relativa no contentor	93
Figura 4.16 – Temperatura e humidade relativa no interior do stand de vendas	94

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Normas ISO relacionadas com o Contentor Marítimo [1]	4
Tabela 2.2 – Dimensões ISO de Contentores High-Cube [7, 8]	5
Tabela 2.3 – Peso Próprio e Capacidades de Contentores High-Cube [7, 8]	5
Tabela 2.4 – Áreas mínimas por compartimento	12
Tabela 2.5 – Coeficiente de transmissão térmica de referência [19].....	15
Tabela 2.6 – Coeficiente de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis para elementos opacos [19].....	16
Tabela 2.8 – Coeficientes de transmissão térmica lineares de referência, ψ_{ref} [19]	16
Tabela 2.9 - Valores por defeito para os coeficientes de transmissão térmica linear ψ	17
Tabela 2.10 – Valores de coeficiente de transmissão térmica superficial máximos admissíveis.....	20
Tabela 3.1 – Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de aquecimento [22].....	36
Tabela 3.2 – Valores corrigidos para a estação de aquecimento no Porto	37
Tabela 3.3 - Valores corrigidos para a estação de aquecimento em Reguengos de Monsaraz	38
Tabela 3.4 – Áreas dos compartimentos da moradia	39
Tabela 3.5 – Propriedades geométricas das secções dos perfis metálicos [13]	43
Tabela 3.6 – Sobrecargas nos Edifícios de Habitação [52]	45
Tabela 3.7 – Vantagens e Desvantagens do Posicionamento do Isolamento Térmico [53] [54]	48
Tabela 3.8 – Vantagens da aplicação de Lã de Rocha [56]	49
Tabela 3.9 – Vantagens dos revestimentos interiores de parede [57, 58]	50
Tabela 4.1 – Fator de orientação para as diferentes exposições, X_j [64]	60
Tabela 4.2 – Valores do fator de sombreamento do horizonte F_h [63].....	62
Tabela 4.3 - Valores do fator de sombreamento de elementos horizontais F_o [63].....	62
Tabela 4.4 - Valores do fator de sombreamento de elementos verticais F_f [63].....	62
Tabela 4.5 – Classes de inércia térmica com respetivo valor de a [63].....	63
Tabela 4.6 – Resumo dos valores de cálculo da inércia térmica.....	64
Tabela 4.7 – Valores das Resistências Térmicas Superficiais, R_{se} e R_{si} [63].....	66
Tabela 4.8 – Características dos materiais implementados nas paredes exteriores	67
Tabela 4.9 – Características dos materiais implementados na zona estrutural da parede exterior	68
Tabela 4.10 – Características dos Materiais implementados na cobertura	69
Tabela 4.11 – Coeficiente de transmissão térmica superficial em vãos envidraçados [60]	70
Tabela 4.12 – Características do pavimento sobre espaço exterior	71

Tabela 4.13 – Coeficiente de transmissão térmica de pavimentos em contacto com o solo U_{bf} [63]... 72	72
Tabela 4.14 – Comparação dos valores calculados de U com U_{ref} e $U_{máx}$ 73	73
Tabela 4.15 – Coeficientes de transmissão térmica superficial de cada elemento e respetiva área ... 74	74
Tabela 4.16 – Coeficiente de transmissão térmica linear e respetivo desenvolvimento linear 75	75
Tabela 4.17 – Área efetiva coletora dos vãos envidraçados do piso 0..... 77	77
Tabela 4.18 - Área efetiva coletora dos vãos envidraçados do piso 1 78	78
Tabela 4.19 – Fator de obstrução dos vãos envidraçados do piso 0 79	79
Tabela 4.20 - Fator de obstrução dos vãos envidraçados do piso 1 79	79
Tabela 4.21 – Resumo dos valores de F_s e A_s 80	80
Tabela 4.22 -Tabela resumo dos Parâmetros relativos à habitação no Porto..... 81	81
Tabela 4.23 – Tabela resumo dos Parâmetros relativos à habitação em Reguengos de Monsaraz ... 83	83
Tabela 4.24 – Valores relativos à transferência de calor e ganhos térmicos da habitação..... 84	84
Tabela 4.25 – Tipo de fonte sonora consoante o termo de adaptação 85	85
Tabela 4.26 – Características das camadas do painel sandwich [67] 86	86
Tabela 4.27 – Índice de Redução Sonora do painel sandwich [67]..... 86	86
Tabela 4.28 – Índice de redução Sonora do envidraçado 8 + 10 + 6 mm [65]..... 90	90
Tabela 4.29 – Homogeneização do elemento em estudo 90	90
Tabela 4.30 – Valores do método de comparação 91	91
Tabela 4.31 – Dados recolhidos no contentor 93	93
Tabela 4.32 – Dados recolhidos no stand de vendas 94	94
Tabela 4.33 – Resumo dos valores finais de desempenho térmico 95	95

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

a – Influência da classe de inércia térmica

A_i – Área do elemento i da envolvente, medida pelo interior [m^2]

A_p – Área de pavimento [m^2]

A_{s,n_j} – Área efetiva coletora de radiação solar do vão envidraçado na superfície n com orientação j [m^2]

A_w – Área total do vão envidraçado, incluindo caixilho [m^2]

B' – Dimensão característica do pavimento [m]

B_j – Desenvolvimento linear da ponte térmica j [m]

b_{tr} – Coeficiente de redução de perdas

C – Ruído Rosa [dB]

C_{tr} – Ruído tráfico Urbano [dB]

$D_{2m,nT}$ – Isolamento a sons de condução aérea, padronizado [dB]

$D_{2m,nT,w}$ – Isolamento sonoro a sons de condução aérea provenientes do exterior [dB]

e_j – Espessura da camada j [m]

F_f – Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado

F_h – Fator de sombreamento do horizonte por obstruções exteriores ao edifício ou por outros elementos do edifício

F_o – Fator de sombreamento por elementos horizontais adjacentes ao envidraçado

F_{s,in_j} – Fator de obstrução do vão envidraçado n com a orientação j

GD – Número de graus-dias [$^{\circ}C$]

g_i – fator solar dos vãos envidraçados horizontais e verticais

G_k – Cargas permanentes

G_{sul} – Energia solar média recebida numa superfície vertical orientada a Sul [$kWh/m^2.mês$]

H_{adj} – Coeficiente global de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com edifícios adjacentes [$W/^{\circ}C$]

H_{ecs} – Coeficiente global de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o solo [$W/^{\circ}C$]

H_{enu} – Coeficiente global de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis [$W/^{\circ}C$]

H_{ext} – Coeficiente global de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior [$W/^{\circ}C$]

$H_{tr,i}$ – Coeficiente global de transferência de calor por transmissão [$W/^{\circ}C$]

I_t – Inércia térmica [kg/m^2]

L'_{nT} – Nível sonoro de percussão padronizado [dB]

$L_{1,2m}$ – Nível médio de pressão sonora exterior, medido a 2 m da fachada do edifício [dB]

- L_2 – Nível médio de pressão sonora medido no local de receção [dB]
- L_{den} – Indicador de ruído diurno-entardecer-noturno [dB]
- L_n – Indicador de ruído noturno [dB]
- M – Duração da estação de aquecimento [meses]
- M_{si} – Massa superficial útil do elemento i [kg/m^2]
- N_i – Valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia útil [$\text{kWh}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$]
- N_{ic} – Valor das necessidades nominais anuais de energia útil [$\text{kWh}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$]
- P – Perímetro exposto [m]
- P_d – Pé direito [m]
- P_j – Desenvolvimento total da parede em contacto com o solo j , medido pelo interior [m]
- $Q_{g,i}$ – Ganhos térmicos brutos [kWh]
- $Q_{gu,i}$ – Ganhos térmicos brutos [kWh]
- $Q_{gu,i,ref}$ – Ganhos térmicos brutos, valor de referência [kWh]
- $Q_{gu,i,ref}$ – Ganhos térmicos úteis [kWh]
- q_{int} – Ganhos térmicos internos médios por unidade de superfície [W/m^2]
- $Q_{int,i}$ – Ganhos térmicos associados a fontes internas [kWh]
- $Q_{int,i,ref}$ – Ganhos térmicos associados a fontes internas, valor de referência [kWh]
- Q_k – Cargas variáveis
- $Q_{sol,i}$ – Ganhos térmicos associados à radiação solar incidente nos vãos envidraçados [kWh]
- $Q_{sol,i,ref}$ – Ganhos térmicos associados à radiação solar incidente nos vãos envidraçados, valor de referência [kWh]
- $Q_{tr,i}$ – Transferência de calor por transmissão da envolvente [kWh]
- $Q_{tr,i,ref}$ – Transferência de calor por transmissão através da envolvente de referência [kWh]
- $Q_{ve,i}$ – Transferência de calor por ventilação [kWh]
- $Q_{ve,i,ref}$ – Transferência de calor por ventilação de referência [kWh]
- r – Fator de redução da massa superficial útil
- R – Índice de redução sonora homogeneizado [dB]
- R – Resistência térmica [$(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})/\text{W}$]
- R_f – Resistência térmica do pavimento excluindo resistências térmicas superficiais [$(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})/\text{W}$]
- R_i – Índice de redução sonora do componente i [dB]
- r_{ph} – Renovações por hora [h^{-1}]
- R_{se} – Resistência térmica superficial exterior [$(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})/\text{W}$]
- R_{si} – Resistência térmica superficial interior [$(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})/\text{W}$]
- R_w – Índice de redução sonora ponderado [dB]

- R_w – índice de redução sonora ponderado aparente [dB]
 S – Área do elemento construtivo, vista pelo interior [m²]
 S_i – Área da superfície interior do elemento i [m²]
 S_i – Área do componente i [m²]
 T – Tempo de reverberação do compartimento recetor [s]
 T_0 – Tempo de reverberação de referência [s]
 T_0 – tempo de reverberação de referência [s]
 U_{bfi} – Coeficiente de transmissão térmica do pavimento enterrado i [W/(m².°C)]
 U_{bwj} – Coeficiente de transmissão térmica da parede em contacto com o solo j [W/(m².°C)]
 U_i – Coeficiente de transmissão térmica do elemento i da envolvente, [W/(m².°C)]
 $U_{máx}$ – Coeficiente de transmissão térmica superficial máximo admissível [W/(m².°C)]
 U_{ref} – Coeficiente de transmissão térmica superficial de referência [W/(m².°C)]
 U_w – Coeficiente de transmissão térmica (de um envidraçado vertical) [W/(m².°C)]
 U_{wdn} – Coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite (de um envidraçado vertical) [W/(m².°C)]
 V – Volume do compartimento recetor [m³]
 X_j – Fator de orientação para as diferentes exposições
 z_j – Profundidade média enterrada da parede em contacto com o solo j [m]
 ΔL_{fs} – fator de correção devido à forma da fachada
 ΔTM – fator de correção relativo à influência da transmissão marginal [dB]
 η_j – Fator de utilização dos ganhos térmicos
 η_{ref} – Fator de utilização dos ganhos térmicos de referência
 $\Theta_{ext,i}$ – Temperatura exterior média do mês mais frio [°C]
 λ_j – Condutibilidade térmica do material presente na camada j , [W/(m.°C)]
 ψ – Coeficiente de transmissão térmica linear [W/(m.°C)]
 ψ_{ref} – Coeficiente de transmissão térmica linear de referência [W/(m.°C)]
- AQS – Águas quentes sanitárias
BSR – Bottom Side Rail
DH – Door Header
DS – Door Sill
FCP – Frontal Corner Post
FH – Frontal Header
FS – Frontal Sill

HC – High Cube

ISBU – Intermodal Steel Building Units

ISO – International Organization for Standardization

MDF – Medium Density Fiberboard

REH – Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RGEU – Regulamento Geral das Edificações Urbanas

RRAE – Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios

TSR – Top Side Rail

Ref - Referência

1 INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO DO TRABALHO

A crise económico-financeira que se fez sentir nos últimos anos, obrigou muitos setores de produtividade do país a estagnar, tendo sido o setor da construção uns dos mais afetados. A instabilidade e insegurança vivida pelo povo português fez com que o investimento imobiliário se tornasse um risco que a grande maioria não estava disposta a correr.

Surge então a necessidade de repensar o setor e, inclusive, o método construtivo adotado até então. Seguindo o exemplo de países como França, Reino Unido e Brasil, a possibilidade de implementação de contentores marítimos na construção traria inúmeras vantagens.

Os contentores marítimos são fabricados segundo normas rigorosas ISO (International Standart Organization) garantindo que os contentores apresentam resistência mecânica e geometria semelhantes. Ao fim de algum tempo de vida, os contentores são deixados ao abandono nos portos originando um desperdício de grandes proporções. A sua utilização na construção permite que o setor cresça no sentido do desenvolvimento sustentável. As particulares vantagens desta ação são a diminuição dos custos das obras, menor desperdício de água, minimização da produção de resíduos, diminuição do peso do edifício e pré-fabricação. O impacto ambiental criado ao empregar o contentor na estrutura de um edifício é bastante inferior quando comparado ao método tradicional em betão armado.

A aplicação deste equipamento no mercado imobiliário iria aumentar o uso da pré-fabricação que, por sua vez, provocaria um setor mais rentável ao diminuir o consumo de recursos, o tempo de construção e o respetivo custo.

O maior desafio num projeto deste tipo é a transmissão de uma imagem de qualidade à sociedade, dado que a mentalidade desta não se encontra aberta a novas metodologias construtivas. Para isso, o presente trabalho procura demonstrar que uma casa em contentor também pode responder de forma positiva às exigências funcionais duma habitação nomeadamente no conforto (térmico e acústico) que o interveniente pretende.

Assim, a presente dissertação apresenta uma proposta de solução para a construção de uma casa em contentor. A moradia apresentada ao longo desta dissertação é baseada num projeto de arquitetura executado pela empresa de construção *Urbanpolis- Construções e Empreendimentos Lda*.

1.2. OBJETIVOS

Para que se consiga demonstrar a qualidade de uma casa em contentor é necessário existir estudos e resultados que o possam realmente comprovar. Como tal, o objetivo principal deste trabalho é criar uma proposta de solução de uma moradia concebida em contentores marítimos que seja capaz de responder a um conjunto de requisitos fundamentados em regulamentos, que permitem obter uma denominação de construção de qualidade e conforto.

Assim sendo, foram considerados os seguintes objetivos:

- Conceber a estrutura de uma moradia para garantir a segurança;
- Avaliação do desempenho térmico da habitação em dois climas;
- Avaliação do desempenho acústico da habitação;
- Adoção de soluções construtivas que permitam uma maior produção executada em fábrica.

1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

A presente dissertação encontra-se dividida em mais quatro capítulos onde, cada capítulo, contém uma breve introdução inicial e uma síntese final. Além do presente capítulo introdutório, a dissertação encontra-se estruturada da seguinte forma:

- O capítulo 2 corresponde à primeira fase desenvolvida servindo como base na introdução de conceitos e dados que vão ser utilizados nos capítulos seguintes. É apresentado o contexto histórico do contentor marítimo bem como a definição da sua metodologia construtiva e da sua estrutura. Relativamente à habitação, são definidos os requisitos mínimos a cumprir e apresentados projetos existentes de construções que incluem contentores.
- O capítulo 3 apresenta o caso de estudo. Nele são introduzidos os dados climáticos das duas cidades que serão necessários no cálculo da obtenção do desempenho térmico da habitação. Após o conhecimento destes valores, descreve-se, de forma detalhada, a moradia, a sua forma arquitetónica, os materiais escolhidos e o seu cálculo estrutural.
- No capítulo 4 está descrito o desempenho térmico (em duas cidades) e acústico do caso de estudo. Primeiramente é definido a forma como se executa a análise do desempenho térmico e acústico da habitação e, de seguida, é efetuado o cálculo propriamente dito, para cada um dos locais de implantação. O capítulo termina com uma análise climática ao ambiente interior de um contentor. A análise consistiu na recolha de dados relativos à temperatura e humidade relativa de três posições: no interior do contentor, no interior de um edifício habitável e no exterior. No final os dados são comparados para perceber como se comporta termicamente o contentor.
- Por fim, o último capítulo expõe as conclusões da dissertação bem como desenvolvimentos futuros para este tema.

2

CONSTRUÇÃO EM CONTENTORES E REQUISITOS DE CONFORTO

2.1. INTRODUÇÃO

Este trabalho introduz um novo conceito construtivo para a conceção de uma alternativa viável à construção tradicional, tanto a nível económico como a nível de conforto habitacional.

Devido ao elevado custo financeiro associado ao transporte de um contentor ao lugar de origem, os portos marítimos são obrigados a abandoná-los no local de destino, permitindo que estes se acumulem em elevado número. Assim, esta nova visão construtiva tem por base reutilizar estes equipamentos para redução do número existente de contentores estagnados.

Por essa razão, este trabalho avalia os contentores com especial incidência para a sua origem, processo construtivo, características e outros usos que o contentor faculta demonstrando alguns exemplos nacionais e internacionais da sua utilização enquanto edifício.

Ao fim de cerca de 15 anos, os contentores deixam de ser utilizados na indústria naval, pelo que, é neste momento que a sua reutilização na construção pode oferecer interesse. Nesta altura, o seu preço é bastante inferior comparativamente à aquisição de um novo e certamente muito reduzido quando comparado com a construção de um edifício [1].

2.2. CONTENTORES MARÍTIMOS

2.2.1. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO

Um contentor, por definição, é uma estrutura metálica utilizada para transporte e acondicionamento de objetos com elevado peso ou volume, geralmente relacionado ao comércio internacional [2].

Durante séculos, o comércio internacional era uma das principais fontes de rendimento para certas nações. Nessa altura, o custo das operações de carga e descarga era bastante elevado e as operações morosas, tal como a existência substancial de provas relativas a perdas de mercadoria durante o transporte, fosse por quebras, deteriorações ou desvios.

Só mais tarde, em 1955, um jovem americano visionário, Malcom McLean, motorista e dono de uma pequena empresa de entregas de média e longa distância, teve a ideia de armazenar e transportar a mercadoria em grandes caixas de aço que pudessem ser transportadas tanto por meio terrestre como por meio marítimo. Com esta inovação, reduziram-se os custos e duração relativos a cargas e descargas em cerca de 90%, para além de ter diminuído o número de relatos relativos a perdas ou extravios de mercadorias uma vez que essas caixas de aço incluem um sistema de segurança.

Com o passar do tempo, esta pequena empresa tornou-se uma das pioneiras do sistema de transporte intermodal dando origem à contentorização [2, 3]. A Figura 2.1 apresenta o aspeto final de um contentor atualmente.



Figura 2.1 - Exemplo de um contentor atual [4]

2.2.2. CARACTERÍSTICAS DOS CONTENTORES

Qualquer objeto existente é fabricado consoante o uso a que irá ser aplicado. Os contentores marítimos não diferem e são fabricados desde 1955 com a intenção de armazenamento e transporte, tal como referido anteriormente. Assim, percebe-se facilmente que estes foram esculpados para proteção de os demais ataques presentes no meio marítimo.

Existem diversos modelos no mercado, no entanto apenas serão estudados os modelos que se consideram viáveis na construção de uma moradia unifamiliar.

Segundo o RGEU (Regulamento Geral das Edificações Urbanas [5]), a altura mínima livre a ser considerada numa habitação é de 2,40 metros. Assim, neste trabalho serão abordados os modelos *High-Cube* (HC) visto serem os únicos a apresentar uma altura viável e de acordo com o regulamento acima citado [1].

Os contentores são produzidos segundo as dimensões propostas nas normas ISO, de acordo com a Tabela 2.1. Ao serem dimensões normalizadas, está garantida a mesma resistência mecânica para que, independentemente do local de produção, sejam todos idênticos. Com esta uniformização, assegura-se que todos os equipamentos, materiais e navios de carga relacionados com os contentores estão aptos para os acomodar ou manusear [6].

Tabela 2.1 – Normas ISO relacionadas com o Contentor Marítimo [1]

Norma	Descrição
ISO 8323:1985	Contentores Marítimos: Ar/Superfície (intermodal) – contentores de uso geral – Especificações e testes
ISO 1496-1:1990 – Série 1	Especificação e testes – Parte 1: Contentores Marítimos para aplicações correntes
ISO 668:1995 – Série 1	Classificação, dimensões e cálculos de Contentores Marítimos
ISO 3874:1997 – Série 1	Manuseamento e Segurança de Contentores Marítimos
ISO 9897:1997	Troca de dados – Comunicação geral dos códigos
ISO 830:1999	Vocabulário de Contentores Marítimos

A Tabela 2.2 e a Tabela 2.3 caracterizam as dimensões, peso e capacidade dos contentores a ser estudados. A designação dos contentores marítimos representa o comprimento (em pés) e o modelo do contentor.

Tabela 2.2 – Dimensões ISO de Contentores High-Cube [7, 8]

Designação	Comprimento (m)		Largura (m)		Altura	
	Interno	Externo	Interna	Externa	Interna	Externa
20'HC	5,898	6,058	2,344	2,438	2,695	2,896
40'HC	12,032	12,192	2,344	2,438	2,695	2,896
45'HC	13,563	13,716	2,344	2,438	2,695	2,896

Tabela 2.3 – Peso Próprio e Capacidades de Contentores High-Cube [7, 8]

Designação	Peso Próprio		Capacidade de Carga		Capacidade em Volume
	Total	Distribuído	Total	Distribuído	
	[Kg]	[KN/m ²]	[Kg]	[KN/m ²]	[m ³]
20'HC	2320	1,54	28160	19,06	37,30
40'HC	3950	1,30	26530	8,92	76,20
45'HC	4450	1,31	28570	8,54	86,17

Nos portos marítimos e nos cargueiros, os contentores são ordeiramente empilhados de forma a poupar espaço e aumentar a rentabilidade e produtividade do serviço. Tal como demonstra a Figura 2.2, estes podem receber carga até 9 filas de altura sem comprometer a sua integridade estrutural [9].



Figura 2.2 – Disposição de contentores num navio de carga [10]

Determinados contentores marítimos têm como principal matéria-prima o Aço Corten A. Esta gama iniciou-se na década de 1930 quando uma companhia norte americana (United States Steel Corporation) estimulou o uso de aços enriquecidos com pequenas quantidades de cobre e fósforo dando origem aos denominados aços de baixa liga ou *Corten*.

Este tipo de aço ostenta características melhoradas relativamente ao aço comum presente no mercado. O principal fator de diferenciação reside na capacidade de proteção anticorrosiva no qual apresenta, em média, uma resistência três vezes superior ao aço comum. Quando o aço está sujeito a agentes corrosivos, desenvolve-se uma película de óxido de cor avermelhada aderente e protetora, designada de pátina, que reduz a velocidade do ataque dos agentes presentes no meio ambiente [11].

2.2.3. MÉTODO CONSTRUTIVO DO CONTENTOR

Para uma melhor compreensão das características intrínsecas de um contentor é necessário considerar o método construtivo e constituição empregue na montagem standard destes elementos.

Os contentores marítimos presentes no mercado apresentam 6 faces formadas por pórticos metálicos soldados a chapas metálicas. As dimensões a ser estudadas neste trabalho apresentam-se no subcapítulo anterior.

A estrutura, tal como ilustra a Figura 2.3, é constituída por:

- 4 perfis longitudinais, unidos aos encaixes de canto das armações de extremidade;
- 4 perfis de canto verticais com a função de interligar a estrutura inferior e superior;
- 4 perfis de canto horizontais servindo de interligação entre os painéis laterais metálicos;
- 8 encaixes de canto com dimensões standard para fornecer condições de manuseio;
- Aberturas para manuseio de equipamento de empilhadeira situadas transversalmente e em posições especificadas;
- Estrutura transversal de piso composta por perfis metálicos.

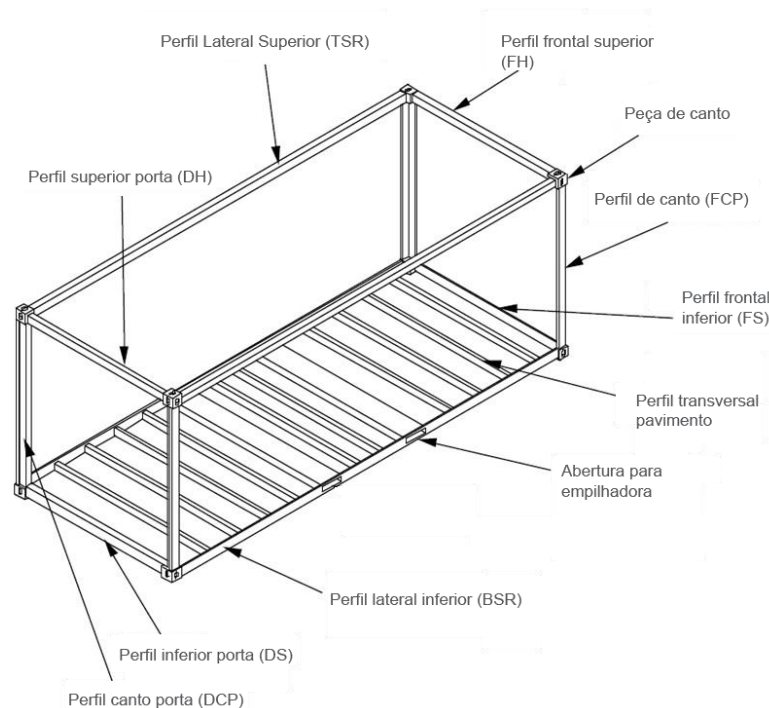


Figura 2.3 – Estrutura de um contentor marítimo típico [12]

As abreviaturas dos perfis indicados na Figura 2.3 são as iniciais dos perfis em inglês.

De seguida, analisa-se cada face do contentor, pormenorizando-se as secções transversais tanto dos perfis como do preenchimento. A Figura 2.4 apresenta os componentes de um contentor marítimo.

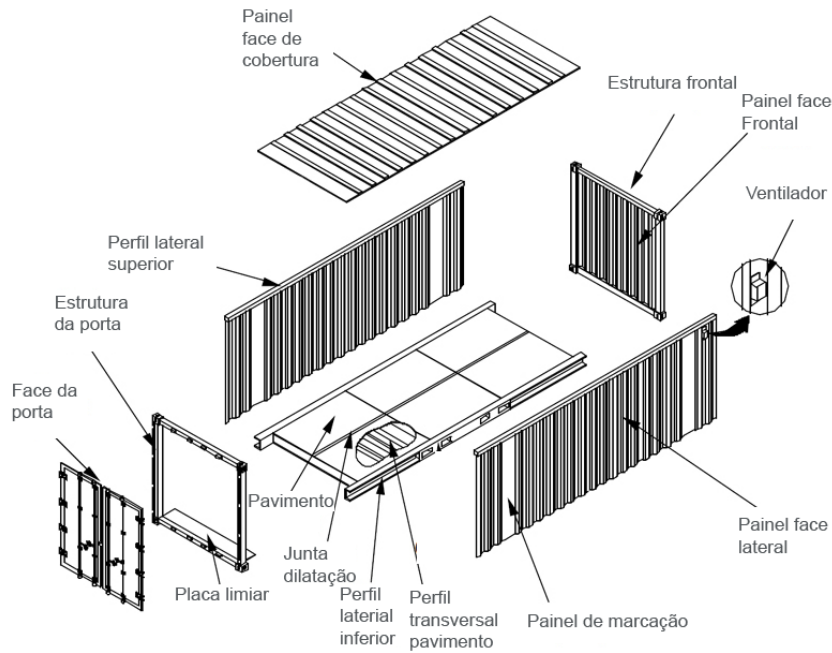


Figura 2.4 – Componentes de um contentor marítimo típico [12]

▪ Faces Laterais

As paredes laterais do contentor são formadas por painéis de aço corrugado, na qual a sua alteração de forma resulta num incremento de resistência. Estes são acompanhados por um perfil lateral superior (TSR), presente na Figura 2.5, com secção tubular retangular de 60 mm de lado e 3mm de espessura.

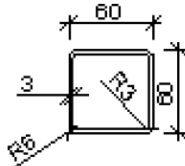


Figura 2.5 – Secção transversal do perfil lateral superior (TSR) [13]

As chapas, soldadas mecanicamente umas às outras, apresentam uma espessura desigual, em que nos extremos é mais corpulenta com 2mm e na parte central mais fina com 1,6 mm.

A secção transversal da face lateral é apresentada na Figura 2.6.

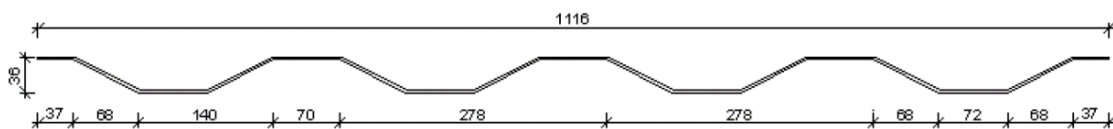


Figura 2.6 – Secção transversal de uma chapa da face lateral do contentor 40'HC [13]

Relativamente ao contentor 20'HC, a fachada lateral central é composta por três chapas de 1,6 mm de espessura e duas chapas com 2mm de espessura nas extremidades, como apresenta a Figura 2.7.

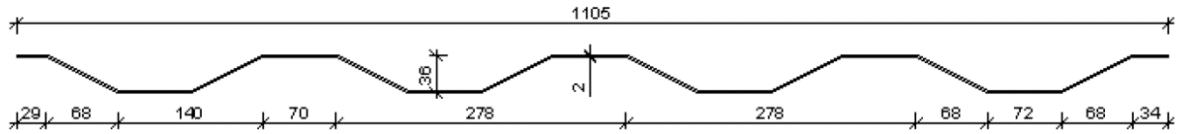


Figura 2.7 – Secção transversal da chapa lateral do contentor 20'HC, com 2mm de espessura [13]

▪ Composição do Pavimento

A base do elemento é, tal como as faces laterais, composta por perfis metálicos e, superiormente, revestido em madeira. A estrutura metálica organiza-se com o mesmo princípio utilizado na construção de soalho, no qual são dispostos dois perfis longitudinais e, perpendicularmente, apoiam-se vários perfis de menor dimensão. A Figura 2.8 pretende demonstrar o mesmo princípio construtivo.



a)

b)

Figura 2.8 – Estruturas de pavimento: a) Contentor [14]; b) Soalho [15]

Os perfis longitudinais (*BSR*) apresentam uma secção como demonstra a Figura 2.9, permitindo uma maior facilidade de reparação e resistência, juntamente com as placas de reforço soldadas nas extremidades.

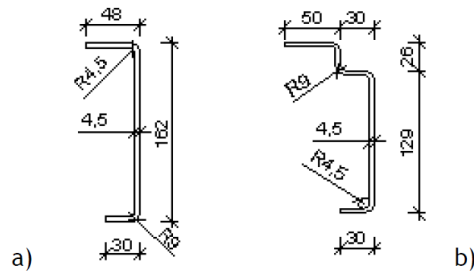


Figura 2.9 – Secções transversais dos perfis longitudinais (*BSR*): a) 20'HC ; b) 40'HC [13]

A meio vão, destacam-se diversos tipos de perfil, de acordo com a função que desempenham. Neste trabalho, não serão dispostos tais perfis uma vez que não possuem uma função primordial na estrutura resistente do contentor.

▪ **Face Frontal**

A porta é composta por quatro perfis metálicos que circundam uma chapa de porta não estrutural. Os perfis que compõem o pórtico são:

- Um perfil inferior de soleira (*FS*);
- Dois perfis verticais de canto (*FCP*);
- Um perfil superior (*FH*).

A ligação entre estes é executada através de quatro peças de canto retangulares.

As secções transversais dos perfis superiores apresentam-se na Figura 2.10 e dependem da dimensão do contentor. No caso do contentor de maior dimensão, 40'HC, o perfil terá de ser mais reforçado logo terá maior área de aço e espessura, cerca de 4mm, comparativamente ao contentor 20'HC cujo perfil é tubular de aço quadrado com 3 mm de espessura [13].

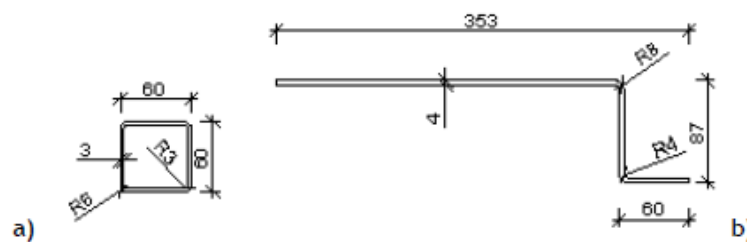


Figura 2.10 – Secção transversal do perfil superior (*FH*). a) 20'HC; b) 40'HC [13]

Tal como o caso anterior, o perfil inferior também difere segundo o tipo de contentor. No contentor 40'HC aplica-se o exemplo presente na Figura 2.10 a), no 20'HC aplica-se o perfil com a secção transversal da Figura 2.11.

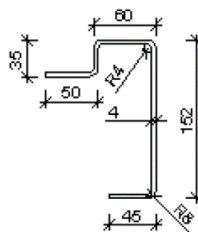


Figura 2.11 – Secção transversal do perfil inferior (*FS*) para contentores 20'HC [13]

Os perfis de canto descritos anteriormente permitem a interligação de duas faces e também a sua protecção. Por este motivo, o perfil deverá apresentar um ângulo de 90° graus, conforme demonstra a Figura 2.12.

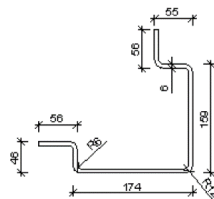


Figura 2.12 – Secção transversal do perfil de canto [13]

O painel de aço corrugado é composto por duas chapas soldadas e com a secção transversal descrita na Figura 2.13.



Figura 2.13 – Secção transversal do painel de aço frontal [13]

Após a colocação, os painéis são polidos, de forma a evitar erros de junta e soldados aos perfis que os envolvem [3].

▪ **Composição da cobertura**

A cobertura, também esta executada em aço corrugado, é composta por chapas de igual secção e espessura, tanto para o 20'HC como para o 40'HC, diferindo apenas no número, sendo 5 e 11 respetivamente. A Figura 2.14 demonstra a sua secção transversal.

Os perfis que a sustentam foram descritos anteriormente.

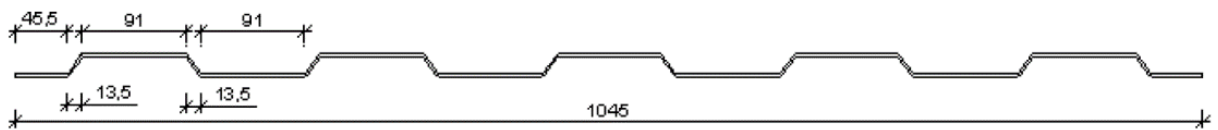


Figura 2.14 – Secção transversal da cobertura [13]

▪ **Porta de acesso**

O elemento de conexão entre o exterior e o interior é constituído por um pórtico metálico interligado que sustenta tanto a chapa da porta como a placa limitadora do pavimento.

O pórtico metálico consiste na interligação de quatro perfis através das peças de canto, são esses o perfil de soleira, os perfis verticais de canto, e o perfil superior.

O perfil de soleira apresenta uma secção reforçada internamente que visa suportar os dispositivos de segurança presentes, conforme representa a Figura 2.15. Como o perfil assume também uma função de soleira, a parte superior deste é ligeiramente inclinada, para drenagem, e termina no rebordo do revestimento interior de piso.

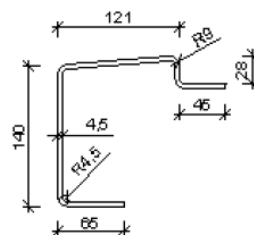


Figura 2.15 – Secção transversal do perfil de porta inferior (DS) [13]

Os perfis de canto dispostos verticalmente apresentam duas partes metálicas soldadas, formando uma secção oca, consagrando uma resistência ao empilhamento e o movimento de abertura da porta. A peça interior, em “U” é constituído por aço laminado a quente, enquanto que a restante peça é de aço enformado a frio. A sua secção transversal está apresentada na Figura 2.16.

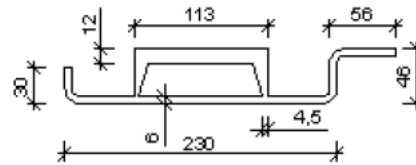


Figura 2.16 – Secção transversal perfil vertical de canto (DCP) [13]

O perfil superior difere de acordo com a tipologia do contentor apresentando, em ambos os casos, uma secção oca. Essa é formada através de uma peça de aço enformado a frio em forma de “U” e, pelo exterior, por uma chapa metálica também enformada a frio. As secções transversais apresentam-se na Figura 2.17.

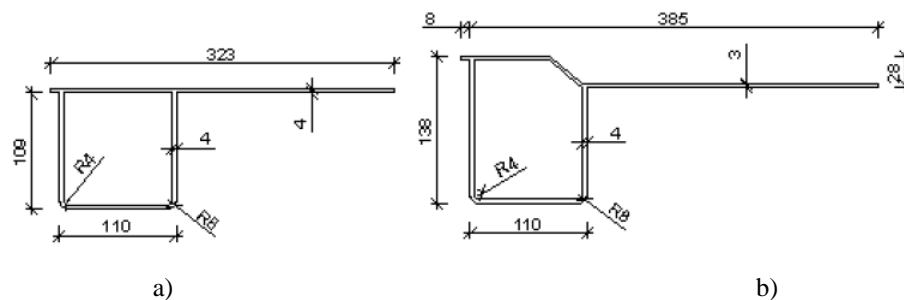


Figura 2.17 – secção transversal do perfil superior de porta (DH): a) 40'HC b) 20'HC [13]

O revestimento final a aplicar ao contentor é composto por duas camadas de tinta fornecendo a proteção necessária contra os elementos de corrosão presentes em meios aquáticos, tais como o sal e a água. Este revestimento é constituído, primeiramente, por uma camada de primário fornecendo duas principais características ao elemento: consistência e coesão entre os estratos de tinta com função protetora.

Os testes finalizam e verificam o estado e a qualidade do método construtivo. Como tal, na parte inferior do contentor é pulverizado um verniz à prova de água e, em seguida, o contentor é colocado submerso em água para verificação de presença de fugas ou defeitos [3].

2.3. REGULAMENTAÇÃO E REQUISITOS

2.3.1. REGULAMENTOS

A construção de uma habitação em Portugal somente se concretiza quando esta obedece a um conjunto de requisitos estipulados em regulamentos. Como o presente trabalho implementa contentores marítimos numa moradia, esta também deve estar de acordo e obedecer aos mesmos.

Uma vez que não é possível recorrer a regulamentação relacionada a esta forma construtiva, irá ser aplicado ao caso de estudo a regulamentação portuguesa. A utilização desta deveu-se ao facto de o projeto decorrer no país e, igualmente, por a indústria da construção portuguesa ser conceituada a nível mundial no que diz respeito à qualidade da arte da construção.

Assim, será considerado o *Regulamento Geral das Edificações Urbanas* [5] com especial ênfase ao *Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação* (REH) [16] e *Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios* (RRAE) [17]. Como coadjuvante será abordado também o *Regulamento Geral do Ruído* [18].

2.3.1.1. Regulamento Geral das Edificações Urbanas

O RGEU [5] estabelece um conjunto de regras a ser cumpridas na conceção de um edifício, seja em obra nova ou reabilitação. Estes terão de cumprir todos os requisitos de modo a obter licenciamento junto da entidade responsável. Os argumentos que terão de ser obedecidos são:

Numa habitação, a largura dos corredores não deve ser inferior a 1,10 m e, em lanços de escadas a largura deve ser, no mínimo, de 0,80 m. No caso das varandas, a largura máxima é de 1,80 m.

Tal como referido anteriormente, a altura piso a piso de uma habitação deve ser superior a 2,70 m e o pé direito livre superior a 2,40 m.

Quanto às áreas mínimas, o artigo 66.º alínea 1, estabelece os valores a ser cumpridos por compartimentos, de acordo com a tipologia. O caso de estudo refere-se a uma moradia T3, portanto, deverá acolher cinco pessoas. Os respetivos valores estão presentes na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Áreas mínimas por compartimento

Fogos	Áreas(m ²)
Quarto de Casal	10,5
Quarto duplo	9
Quarto duplo	9
Sala	12
Cozinha	6

Para uma habitação T3 é obrigatório também acrescentar um suplemento de 8 m² a distribuir pela cozinha e pela sala, tendo uma parcela destinada à lavandaria que, no caso de ser um espaço delimitado, não deve ser inferior a 2 m².

No total da habitação, a área bruta de construção tem de ser superior à área bruta mínima, 91 m².

Relativamente às instalações sanitárias, a área mínima é de 4,5 m² sendo subdividida em dois espaços com acesso independente. Num espaço deve haver, no mínimo, uma banheira e um lavatório e, no outro espaço, uma bacia de retrete, um bidé e um lavatório.

Os compartimentos presentes na Tabela 2.4 devem ser iluminados e ventilados por um ou mais vãos praticados nas paredes com área total superior a 10% da área do compartimento e a 1,08 m².

2.3.1.2. Regulamento Geral do Ruído

Como base de apoio ao RRAE [17], este regulamento define a denominação das zonas, bem como os valores limites referentes a ruído.

Existem dois tipos de zona:

- Zona sensível - *a área definida em plano municipal de ordenamento do território como vocacionada para uso habitacional, ou para escolas, hospitais ou similares, ou espaços de lazer, existentes ou previstos, podendo conter pequenas unidades de comércio e de serviços destinadas a servir a população local, tais como cafés e outros estabelecimentos de restauração, papelarias e outros estabelecimentos de comércio tradicional, sem funcionamento no período noturno;*
- Zona mista - *a área definida em plano municipal de ordenamento do território, cuja ocupação seja afeta a outros usos, existentes ou previstos, para além dos referidos na definição de zona sensível.*

As zonas sensíveis, sendo zonas mais calmas, apresentam maiores restrições nos valores de ruído quando comparado com as zonas mistas. Os valores dos indicadores de ruído, L_{den} e L_n , para as zonas sensíveis, devem ser inferiores a 55 dB e a 45 dB, respetivamente. Para as zonas mistas, L_{den} deve ser inferior a 65 dB e L_n inferior a 55 dB.

2.3.1.3. Regulamento Dos Requisitos Acústicos dos Edifícios

Um correto dimensionamento de uma habitação aumenta o seu nível de qualidade. Para que tal suceda, é importante conhecer quais os parâmetros, neste contexto, definidores de qualidade acústica.

Considerando a construção de uma moradia unifamiliar isolada, será necessário respeitar as seguintes exigências:

- Isolamento a sons de condução aérea, padronizado ($D_{2m, nT}$);
- Nível sonoro de percussão padronizado (L'_{nT});

De seguida, apresenta-se cada uma das exigências.

• **Isolamento a sons de condução aérea, padronizado ($D_{2m, nT}$)**

Este parâmetro é definido pela expressão (2.1).

$$D_{2m, nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \text{Log}(T/T_0) \quad [\text{dB}] \quad (2.1)$$

Em que:

$L_{1,2m}$ – Nível médio de pressão sonora exterior, medido a 2 m da fachada do edifício, [dB];

L_2 – Nível médio de pressão sonora medido no local de receção, [dB];

T – Tempo de reverberação do compartimento recetor, [s];

T_0 – Tempo de reverberação de referência, com o valor de 0,5 para compartimentos de habitação ou com dimensões comparáveis, [s].

O parâmetro traduz a diferença entre o nível de pressão sonora exterior, a 2 m da fachada, e o nível de pressão sonora medido no local de receção corrigido da influencia das condições de reverberação do compartimento recetor.

Relativamente ao isolamento sonoro a sons de condução aérea entre o exterior e quartos ou zonas de estar dos fogos, o índice $D_{2m, nT,w}$ deve ser superior a **28 dB** para as zonas sensíveis e a **33 dB** para as zonas mistas. Caso a área translúcida seja superior a 60% do elemento de fachada, ao cálculo deste parâmetro deve ser adicionado o termo de adaptação apropriado C (ruído rosa) ou C_{tr} (ruído tráfico urbano) mantendo-se os mesmos limites anteriores.

- **Nível sonoro de percussão padronizado (L'_{nT})**

O nível sonoro de percussão padronizado é traduzido pela expressão (2.2).

$$L'_{nT} = L_i - 10 \text{Log}(T/T_0) \quad [\text{dB}] \quad (2.2)$$

Em que:

L_i – Nível sonoro médio medido no compartimento recetor.

A equação anterior traduz o nível sonoro médio, medido num compartimento recetor, proveniente de uma excitação de percussão normalizada executada sobre um pavimento, corrigido pela influência das condições de reverberação do compartimento recetor. O seu valor deve ser inferior ou igual a **60 dB**.

2.3.1.4. Regulamento dos Edifícios de Habitação

O REH [16] vem substituir o anterior regulamento definidor do comportamento térmico dos edifícios sofrendo várias alterações.

Os níveis de qualidade térmica são obtidos por intermédio da Portaria n.º 349-B/2013 [19] que define os coeficientes de transmissão térmica superficial e linear, bem como o número mínimo de renovações horárias.

O coeficiente de transmissão térmica de referência (U_{ref}) e o respetivo valor máximo admissível, necessários para o cálculo do desempenho térmico, estão apresentados na Tabela 2.5 e Tabela 2.6.

Tabela 2.5 – Coeficiente de transmissão térmica de referência [19]

U_{ref} [W/(m ² .°C)]		Zona Climática		
Portugal Continental				
Zona Corrente da envolvente:		A partir de 1 de Janeiro de 2016		
		I1	I2	I3
Em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com coeficientes de redução de perdas $b_{tr} > 0,7$	Elementos Opacos Verticais	0,50	0,40	0,35
	Elementos Opacos Horizontais	0,40	0,35	0,30
Em contacto com outros edifícios ou espaços não úteis com coeficientes de redução de perdas $b_{tr} \leq 0,7$	Elementos Opacos Verticais	0,80	0,70	0,60
	Elementos Opacos Horizontais	0,60	0,60	0,50
Vãos envidraçados (portas e janelas) (U_w)		2,80	2,40	2,20
Elementos em contacto com o solo			0,50	
Regiões Autónomas				
Em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} > 0,7$	Elementos Opacos Verticais	0,70	0,60	0,45
	Elementos Opacos Horizontais	0,45	0,40	0,35
Em contacto com outros edifícios ou espaços não úteis com coeficientes de redução de perdas $b_{tr} \leq 0,7$	Elementos Opacos Verticais	0,90	0,80	0,70
	Elementos Opacos Horizontais	0,70	0,70	0,60
Vãos envidraçados (portas e janelas) (U_w)		2,80	2,40	2,20
Elementos em contacto com o solo			0,50	

Tabela 2.6 – Coeficiente de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis para elementos opacos [19]

$U_{máx}$ [W/(m ² .°C)]		Zona Climática		
Portugal Continental e Regiões Autónomas				
Zona Corrente da envolvente:		A partir de 1 de Dezembro de 2013		
		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	1,75	1,60	1,45
	Verticais			
	Elementos Opacos	1,25	1,00	0,90
	Horizontais			
Em contacto com outros edifícios ou espaços não úteis com coeficientes de redução de perdas $b_{tr} \leq 0,7$	Elementos Opacos	2,00	2,00	1,90
	Verticais			
	Elementos Opacos	1,65	1,30	1,20
	Horizontais			

Os coeficientes de transmissão térmica lineares de referência são também essenciais ao cálculo do desempenho térmico do caso de estudo, estando os seus valores apresentados na Tabela 2.7.

Tabela 2.7 – Coeficientes de transmissão térmica lineares de referência, ψ_{ref} [19]

Tipo de Ligação	ψ_{ref}
Fachada com pavimentos térreos	0,50
Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido	
Fachada com pavimento de nível intermédio	
Fachada com varanda	0,40
Duas paredes verticais de ângulo saliente	
Fachada com caixilharia	0,20
Zona da caixa de estore	

Para quantificar as perdas térmicas lineares de uma habitação emprega-se os respetivos valores por defeito, presentes na Tabela 2.8.

Tabela 2.8 - Valores por defeito para os coeficientes de transmissão térmica linear ψ

Tipo de ligação	Sistema de isolamento das paredes			
	Isolamento interior	Isolamento exterior	Isolamento repartido ou na caixa de ar de parede dupla	
Fachada com pavimentos térreos	0,80	0,70	0,80	
Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido	Isolamento sob o pavimento	0,75	0,55	0,75
	Isolamento sobre o pavimento	0,10	0,50	0,35
Fachada com pavimento de nível intermédio ²	0,60	0,15 ³	0,50 ⁴	
Fachada com varanda ²	0,60	0,60	0,55	
Fachada com cobertura	Isolamento sob a laje de cobertura	0,10 ⁵	0,70	0,60
	Isolamento sobre a laje de cobertura	1,0	0,80	1,0
Duas paredes verticais de ângulo saliente	0,10	0,40	0,50	
Fachada com caixilharia	Isolante térmico da parede contacta com a caixilharia		0,10	
	Isolante térmico não contacta com a caixilharia		0,25	
Zona da caixa de estores		0,30		

(1) Os valores apresentados dizem respeito a metade da perda originada na ligação

(3) (4) (5) Majorar na existência de teto falso em: (3) 25%; (4) 50%; (5) 70%

2.3.2. REQUISITOS MÍNIMOS

Os requisitos mínimos aplicados a este projeto têm como base os regulamentos presentes no subcapítulo anterior. Uma vez que a regulamentação nacional não é específica deste modelo construtivo, ao contrário do que se sucede noutros países, como por exemplo na Austrália, serão tidas em conta as mesmas exigências aplicadas na construção tradicional de uma moradia, betão armado e alvenaria.

A uma habitação nova, é exigida um determinado nível de conforto interior onde, entre demais fatores, os mais influentes são a temperatura interior e o ruído. Neste sentido, serão analisados o desempenho térmico e acústico mínimos que o caso de estudo terá de satisfazer.

A situação em estudo será a estação de aquecimento dado ser a mais crítica no ponto de vista patológico. É nesta época que as temperaturas atingem limites mínimos e as condições meteorológicas são adversas propiciando a criação de problemas nos edifícios, tanto no interior como na sua fachada. Assim, o cumprimento de exigências de desempenho térmico, acústico e ventilação devem ser referentes a este período.

Na estação de arrefecimento, uma vez que as temperaturas se apresentam mais elevadas, a probabilidade de surgirem patologias diminui consideravelmente sendo apenas fundamental garantir um caudal de ventilação capaz de assegurar um conforto térmico interior aos utentes. Este será, juntamente com o desempenho térmico e acústico, um fator preponderante.

O principal obstáculo será em projetar uma habitação em contentor com os mesmos requisitos presentes numa habitação tradicional, pelo que é necessário obedecer a um conjunto de regras e, adicionalmente, condições que irão assegurar um melhor conforto e qualidade, como pretende representar a Figura 2.18.

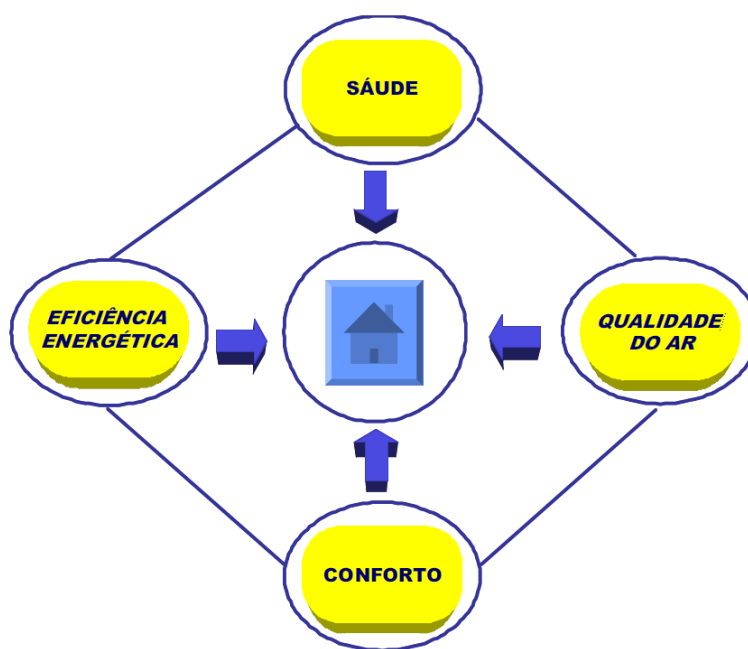


Figura 2.18 – Condições Necessárias Habitação [20]

Relativamente às áreas e distâncias dos diferentes compartimentos, terão de ser garantidos os valores anteriormente apresentados na Tabela 2.2. Por outro lado, as soluções construtivas terão que ter em conta as exigências assinaladas no subcapítulo anterior.

• Ventilação

O Regulamento de Edifícios de Habitação [16] estipula o valor de $0,4 \text{ h}^{-1}$ para o valor mínimo de renovações do ar interior. No entanto, para assegurar a qualidade do ambiente interior, a segurança dos utilizadores e o controlo dos riscos de condensações, o valor das renovações horárias, *rph*, deve-se situar entre $0,7$ e $0,8 \text{ h}^{-1}$ [20, 21].

A ventilação, ou a falta dela, é uma das principais causas do aparecimento de patologias nas habitações, seja por ter um peso significativo nas perdas térmicas na estação de aquecimento, seja por a sua falta originar condensações.

Existem diversos métodos capazes de a garantir, contudo, no caso de estudo será implementado o sistema misto recomendado por profissionais da área para habitação.

Os sistemas mistos baseiam-se na ventilação permanente da habitação e consiste na implementação de grelhas de admissão nas envolventes dos compartimentos principais, nomeadamente, quartos e salas. O mercado proporciona, no mínimo, duas alternativas de localização para o equipamento: na zona corrente da envolvente ou nos sistemas de caixilharia dos vãos envidraçados. O nível de qualidade do produto fica ao critério do construtor e do utilizador.

A extração do ar efetua-se de duas formas: mecânica na cozinha e natural nas instalações sanitárias. As portas interiores das divisórias permitirão a passagem do ar através de aberturas estreitas situadas entre a porta e o pavimento, acompanhando a largura total da porta. Os valores dos caudais a assegurar estão estabelecidos na norma NP 1037-1:2015 (ventilação natural) [20].

• Desempenho Acústico

Os requisitos acústicos a ser cumpridos na construção de uma habitação são:

- Produção de ruído L_{den} e L_n ;
- Isolamento a sons de condução aérea $D_{2m, nT,w}$;
- Sons de percussão entre os pisos L'_{nT} .

Tanto a produção de ruído como os sons de percussão apresentam maior relevância numa habitação multifamiliar em que o conforto dos demais utentes do edifício é também relevante, o que não sucede neste trabalho onde se irá estudar uma habitação unifamiliar. Por esse motivo, apenas se avalia o isolamento a sons de condução aérea entre o exterior e o interior do edifício.

O isolamento a sons de condução aérea é definido para prevenir que o ruído presente no ambiente exterior se propague para o interior perturbando o conforto dos utilizadores como, por exemplo, o som produzido pelos aviões. Este parâmetro é definido de acordo com a zona onde está implementada a habitação, zona sensível ou mista e, como não é sabida a localização exata desta, será estabelecido o estudo para a situação mais desfavorável (zonas mistas) sendo o valor mínimo obrigatório de **33 dB**.

• Desempenho Térmico

O desempenho térmico da habitação está diretamente relacionado com o local onde se situa a habitação.

As zonas climáticas de Inverno, I1, I2 e I3, são definidas a partir do número de graus-dias, na base de 18°C , correspondente à estação crítica de aquecimento. O Despacho nº 15793-F/2013 [22] estabelece a correspondência entre as zonas e as cidades portuguesas. A Figura 2.19, presente no documento, demonstra a divisão das zonas.

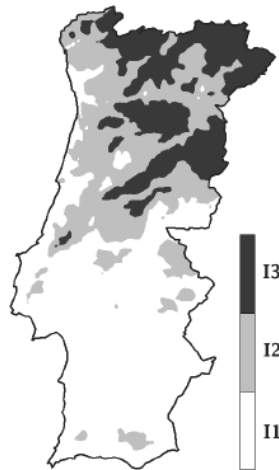


Figura 2.19 – Zonas Climáticas de Inverno no Continente [23]

O caso de estudo irá ter em conta diferentes climas com valores de temperatura distintos, pelo que os valores de $U_{máx}$ e ψ terão de fazer referência. No entanto, ambas pertencem à mesma zona de estudo I1, situando a moradia no Porto e em Reguengos de Monsaraz.

O caso de estudo refere-se a uma moradia T3 de dois pisos, térreo e primeiro andar, com garagem à parte do resto da moradia. Com esta estruturação, a zona corrente da envolvente apresentará um coeficiente de perdas, b_{tr} , superior a 0,7 uma vez que estará apenas em contacto com o exterior.

Os valores de $U_{máx}$ que terão de ser satisfeitos estão presentes na Tabela 2.9.

Tabela 2.9 – Valores de coeficiente de transmissão térmica superficial máximos admissíveis

Zona Corrente da Envolvente	Zona Climática
	I1
Elementos opacos verticais	1,75
Elementos opacos horizontais	1,25
Vãos envidraçados	2,80

Como a habitação terá piso térreo, portanto estará permanentemente em contacto com o solo, o coeficiente de transmissão térmica superficial deste pavimento deverá apresentar o valor próximo de 0,50.

O coeficiente de transmissão térmica linear, dependendo do tipo de ligação, deverá estar de acordo com os descritos na Tabela 2.8.

2.4. PROJETOS EXECUTADOS

A inovação tecnológica potencializa a imaginação dos consumidores relativamente ao produto a consumir. Deste modo, irão ser apresentados alguns exemplos de aplicações empregues aos contentores, subdivididos em dois grupos: contentores aplicados no mercado imobiliário e restantes aplicações.

Nos últimos anos têm surgido inúmeros projetos com base em contentores, dando origem ao movimento *container architecture* com especial ênfase em locais como Grã-Bretanha, Estados Unidos ou França. Nestas culturas, como a aplicação de construção modular é mais frequente, a integração de contentores na indústria da construção torna-se mais acessível. Por esse motivo, a existência de empresas de transformação de contentores e projeção desta arquitetura subsistem em maior número nesses países.

2.4.1. CONTENTOR NO MERCADO IMOBILIÁRIO

Os contentores utilizados para este fim são denominados de *ISBU*, Intermodal Steel Building Units, e resultam de combinações e assemblagens entre vários contentores. O número de equipamentos a unir deve estar de acordo com o conforto e a área que o utente idealiza para a sua moradia [24].

É vital considerar alguns pormenores construtivos na conceção e acoplagem de contentores dado que a sua estrutura apenas se encontra projetada para resistir a cargas verticais e o seu empilhamento deve ser na mesma direção, conforme a figura e, conseqüentemente, a carga de cada contentor é transmitida verticalmente, pelos quatro cantos.



Figura 2.20 – Empilhamento projetado para os contentores [25]

Como o contentor apresenta uma configuração retangular rígida, existe uma maior simplicidade em gerar consolas. Não obstante, esta depende da conjugação entre contentores e, não estando empilhados na mesma direção, é essencial o emprego de reforço metálico.

Por outro lado, a transformação do contentor num espaço habitável efetua-se pela introdução de aberturas nas paredes com o recurso a uma serra elétrica. No entanto, o corte irá enfraquecer a matéria-prima sendo imperativo a sua compensação.

Em ambos os casos, o uso de perfis metálicos é imprescindível, tanto para a vitalidade da estrutura como para evitar o contacto entre perfis de baixa resistência, pelo que o seu dimensionamento deve estar a cargo de uma empresa especialista [26].

- **Residências Universitárias**

Na Dinamarca, o projeto *Urban Rigger* é definido pela construção de uma residência universitária de baixo custo construtivo, apresentada na Figura 2.21. Além do seu método ser inovador, o facto de a residência estar implementada numa plataforma flutuante é um dos pontos mais extravagantes da obra [27, 28].



Figura 2.21 – Residência Universitária em Copenhaga, Dinamarca [28]

Os contentores são montados e colocados para criar um espaço interior envidraçado concebido para dar origem a um efeito de estufa que manterá a temperatura interior estável diminuindo custos energéticos. Na sua fachada, a empresa BIG arquitetos aplicou como revestimento final o acabamento do contentor pintado com tinta aquamarine brilhante para um melhor enquadramento ambiental. Como consequência, o custo final da obra diminui e dá ênfase a um aproveitamento sustentável e arquitetonicamente atraente.

No total, a residência é composta por nove contentores, formando um conjunto de quinze estúdios produzindo a sua própria energia por intermédio de painéis fotovoltaicos. Ao ser colocado sobre uma plataforma flutuante, utiliza-se, de forma eficiente, a massa térmica da água para aquecer ou arrefecer o ambiente interior. Para este projeto, a NASA contribuiu com a aplicação de um aerogel específico para isolar o interior [28].

A imaginação dos arquitetos, juntamente com a forma retangular do contentor, providenciou um conjunto de soluções fascinantes que levaram à construção de obras exímias. Assim serão apresentados três exemplos de habitações unifamiliares. De salientar que existem indeterminados exemplos deste género de arquitetura, mais concretamente no continente americano.

- **Flying Box**

A casa, situada em Orgères (França), foi construída no ano de 2015 sendo projetada pela empresa de arquitetura 2A Design e construída, maioritariamente em fábrica, pela empresa especialista em casas modulares B3 Ecodesign. A obra finalizou-se em apenas três meses devido ao sistema *Lean Construction* adotado pela empresa. A Figura 2.22 ilustra a fachada principal da moradia.



Figura 2.22 – Flying Box em França [29]

O conceito de *Lean Construction* transmite a mensagem de inexistência de desperdício, seja de material ou tempo. Por outras palavras, este procedimento tem como propósito a redução de fases que gerem desperdício aumentando a produtividade de quem o implementa [30].

Com uma área de implantação de 100 m², a moradia apresenta três níveis distintos de contentores. No rés-do-chão, o único contentor presente dá origem a um hall de entrada, estúdio de costura, lavandaria e a uma escadaria de acesso ao piso superior. O restante espaço presente serve de estacionamento aberto para os veículos dos proprietários.

O primeiro andar da habitação é executado com recurso a três contentores assemblados na longitudinal, originando um espaço amplo ocupado por uma sala de estar e jantar separados da cozinha através duma unidade em ilha, como é habitual nos dias de hoje. Neste nível, subsiste ainda espaço para dois quartos.

A habitação, demonstrada na Figura 2.23, é completa em um segundo piso com uma suíte e um espaço exterior amplo [29, 31].

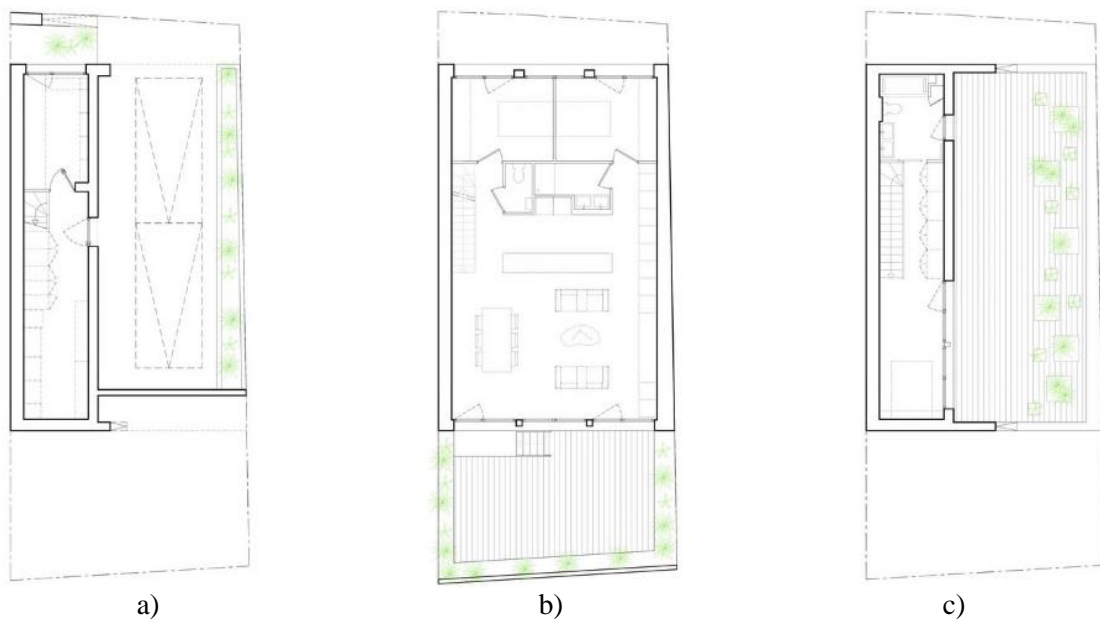


Figura 2.23 – Plantas da Habitação: a) Piso térreo; b) 1º Piso e c) 2º Piso [29]

Ao nível do isolamento, a sua colocação é feita em fábrica e apresenta-se pelo interior da habitação devido à facilidade de manuseio e rapidez. Tanto o revestimento interior, como as divisórias são executadas em madeira, como é habitual na construção modular.

Assim, dependendo do nível de acabamentos e de qualidade dos produtos, o preço base de venda da casa situou-se nos 93 000 € [32].

- **Cross Box**

Concebida em 2009, a moradia é composta por dois pisos, em cruz, cada um com dois contentores assemblados. A casa, presente na Figura 2.24, está localizada em Pont-Péan (França).



Figura 2.24 – Casa Cross Box com 4 contentores [33]

Para obtenção de áreas mais amplas foi necessário retirar-se uma face lateral de cada contentor e colocar reforço estrutural com perfis metálicos. Como a transferência das cargas se deve dar de forma vertical, os perfis metálicos de reforço, tanto horizontal como vertical, encontram-se nos pontos de contacto entre os 2 níveis. A Figura 2.25 pretende ilustrar a organização dos contentores que formam a estrutura principal.

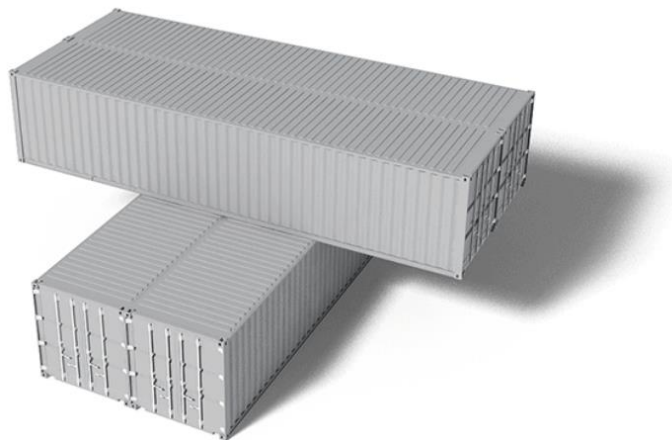


Figura 2.25 – Exemplificação da colocação dos contentores [34]

A sua disposição é bastante aliciante, onde a beleza do edifício é incentivada pela criação das duas consolas.

O andar inferior da casa, Figura 2.26, é composto por uma sala de estar ampla, uma cozinha com mesa de jantar e uma casa de banho de serviço. A porta de acesso ao jardim leva a um pavimento de madeira dirigido para um anexo de apoio à jardinagem.

O piso superior é composto por três quartos, um deles com área mais restrita, e uma casa de banho.

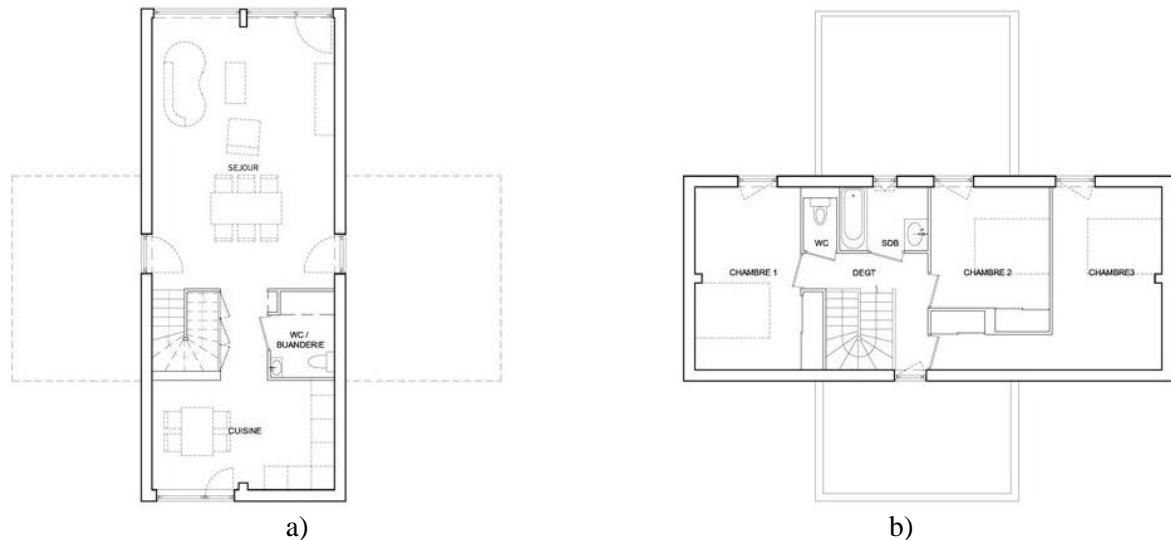


Figura 2.26 – Planta dos pisos [34]

Este tipo de habitações apresenta áreas relativamente inferiores a casas tradicionais, como medida de aproveitamento de espaço, conduzindo a um orçamento mais controlado, no entanto, mantendo-se igual nível de conforto [33].

- **Grillagh Water House**

A habitação construída em 2014 na Irlanda do Norte, foi projetada pelo próprio dono, o arquiteto Pratick Bradley. Com um terreno sobre um vale e uma vista fabulosa para uma cascata, o seu sonho era projetar uma casa diferente e ecologicamente sustentável para haver reintegração entre o edifício e o meio ambiente.

A casa, demonstrada na Figura 2.27, foi construção pioneira naquele país onde representou um elevado risco para todas as partes envolvidas no projeto por nunca antes terem desenvolvido algo desta natureza.



Figura 2.27 – Grillagh Water House [35]

O posicionamento dos contentores, bem como a assemblagem, é similar ao exemplo anterior diferindo no comprimento dos contentores utilizados (tipo 45'HC). A sua estrutura foi trabalhada e executada em fábrica, verificando-se previamente dimensões e montagem.

Como grande parte de uma face de cada contentor vai ser retirada, e para que nunca se coloque em causa a estrutura, é indispensável a sua compensação através de reforços metálicos, tal como referido anteriormente. O acesso principal da habitação situa-se no piso superior onde também se encontram a cozinha, sala de estar, sala de jantar e um dos três quartos da moradia. As aberturas executadas nos contentores delimitam as entradas de luz natural que aperfeiçoam a comodidade da habitação. Existem ainda duas varandas amplas a Sul e a Oeste. A Figura 2.28 ilustra a planta do piso superior.

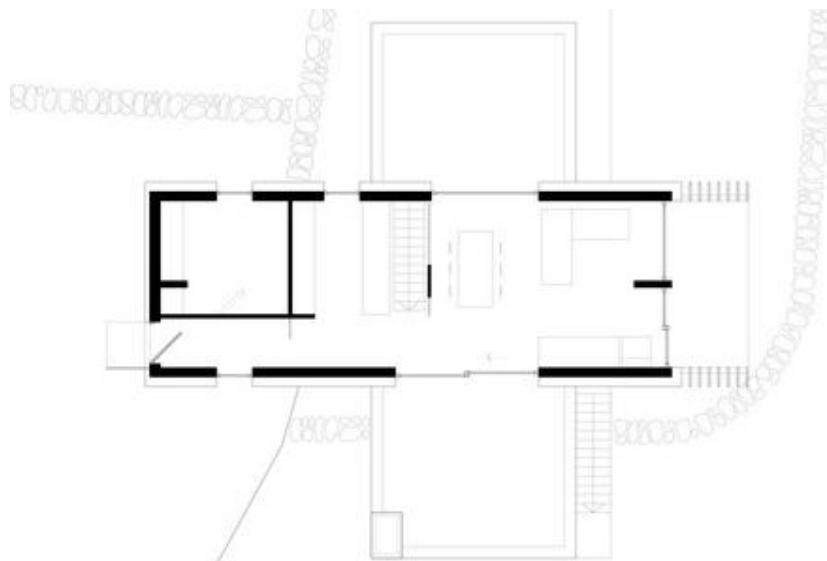


Figura 2.28 – Planta Piso Superior [36]

Para aceder ao piso inferior existem duas escadas, uma no exterior e outra no interior, ambas de aço.

O andar inferior, presente na Figura 2.29, serve de local para um quarto simples, uma suite e ainda para uma casa de banho com uma banheira que custou ao proprietário 14 000€.

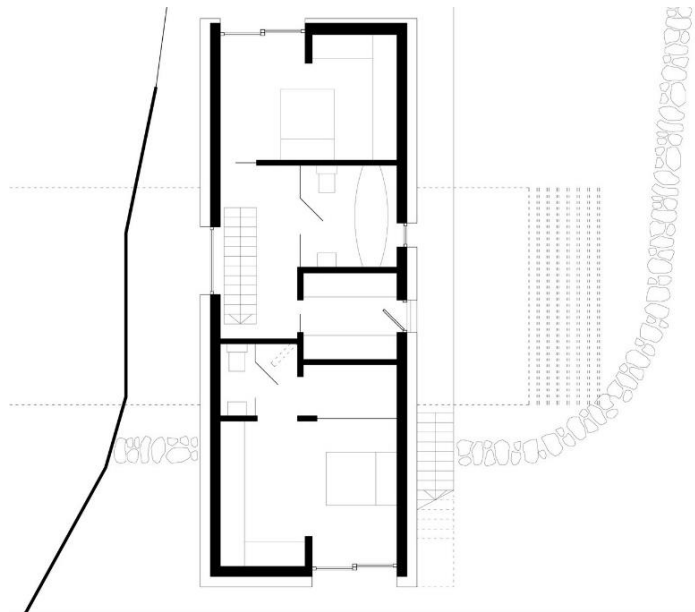


Figura 2.29 – Planta Piso Térreo [36]

O isolamento da habitação foi executado pelo interior através da projeção de poliuretano diretamente sobre a chapa de metal sendo revestido no final em madeira para melhorar a resistência térmica. Após a finalização dos acabamentos interiores, os contentores foram pintados exteriormente a cinzento e revestidos com painéis de fachada de aço *Corten*, o mesmo material que o contentor. A parte inferior apresenta uma cor de ferrugem que, ao ser conjugado com os painéis superiores cinzentos, origina uma fachada sublime.

O orçamento inicial previsto pelo arquiteto rondou os 117 000 €, para uma execução em 10 meses. No entanto, o custo final da obra fixou-se nos 152 000 €. Esta diferença foi originada por dois fatores: falta de conhecimento do terreno que aumentou consideravelmente o seu valor e o custo de equipamentos sanitários e mecânicos, como é o caso da banheira anteriormente referida. Assim, uma obra deste género poder-se-ia ter situado nos 125 000 €. Como o valor de cada contentor novo foi de 5800 € e, com o acréscimo dos perfis metálicos, o valor da estrutura foi cerca de 34 000 €. É importante referir ainda que, caso se reutilizasse contentores, este valor decairia para, aproximadamente, 19 000 € [26].

Esta construção, apesar de ser com recurso a contentores marítimos, não se trata de um exemplo de construção económica devido, entre outros fatores, à configuração geométrica do edifício.

2.4.2. OUTROS FINS APLICADOS

- **Loja Amovível “PUMA CITY”**

A Puma, juntamente com a empresa de arquitetura LOT-EK, projetou uma loja que fosse capaz de acompanhar a corrida Volvo Ocean Race no ano 2008 e 2009 com simplicidade de transporte, montagem e colocação. Para isso foram utilizados 24 contentores 40'HC dispostos em três níveis de altura, com recurso a conectores próprios para segurar a estrutura tanto horizontalmente como verticalmente. Ao adicionar-se perfis metálicos corretamente posicionados, é possível desafiar a engenharia ao criar consolas que, apenas são monetariamente exequíveis com este tipo de material, caso contrário o custo da obra seria bastante elevado. Em cada módulo de contentor decidiu-se manter as mesmas peças estruturais para que assim fosse possível serem transportadas como um contentor marítimo normal.

O edifício, representado na Figura 2.30 é o primeiro, com aproximadamente 1020 m², a ser móvel e com recurso a contentores [10, 37-39].



Figura 2.30 – Vão da loja amovível PUMA [38]

- **Mercado/ Centro Comercial**

A empresa de arquitetura Urbantainer desenvolveu um centro denominado de *Common Ground*, na Coreia do Sul, em que consistiu na aplicação de métodos de prefabricação, através de contentores produzidos e alterados em fábrica e apenas depois colocados no local, de modo a ser possível reduzir o tempo de construção dos cerca de 5300 m² para 5 meses [40].

Foram colocados até um conjunto de quatro contentores em altura, tal como demonstra a Figura 2.31.



Figura 2.31 – Mercado Common Ground, Coreia do Sul [41]

Este centro, construído em 2016, é formado por dois edifícios conectados através de uma praça central na qual se manteve a fachada do contentor de forma a criar um elevado impacto visual no local para atrair a população. Grande parte dos contentores são do tipo estudado anteriormente, *High Cube*, de comprimento modular de 6 e 12 metros mantendo-se praticamente grande parte da estrutura, como se verifica na Figura 2.32.



Figura 2.32 – Fachada do edifício Common Ground, Coreia do Sul [41]

- **Bar/Discooteca**

Um destes exemplos encontra-se na cidade de Valência, mais propriamente, na sua marina. O High Cube Marina Real (Figura 2.33) encontra-se num clima mediterrânico onde o sol está presente em 300 dias do ano [42].



Figura 2.33 – Bar High Cube em Valência

A fachada do edifício é revestida pela estrutura do elemento conferindo ao local uma atmosfera recreativa, aplicando somente uma pintura protetora sem isolamento.

Composto por quatro contentores de diferentes comprimentos, o bar é finalizado por uma cobertura de estrutura metálica, não apresentando isolamento visto estar aberto ao público apenas durante o Verão. O espaço é totalmente ventilado por ser aberto nas quatro frentes.

- **Centro de Empreendedorismo e Juventude – Zimbabué**

Na escola de Arquitetura da Universidade do Minho, o jovem estudante do 5º ano Alexandre Pontes, como resposta a uma unidade curricular que adaptou um concurso criado pela empresa EMERGE, elaborou um projeto com a finalidade da construção de um centro de empreendedorismo e juventude localizado no Zimbabué, África. Com as imensas dificuldades socioeconómicas que assombram o país, o projeto pretende combater esta problemática, respeitando e invocando a qualidade funcional, construtiva e arquitetónica requisitada. A Figura 2.34 demonstra um protótipo da fachada.

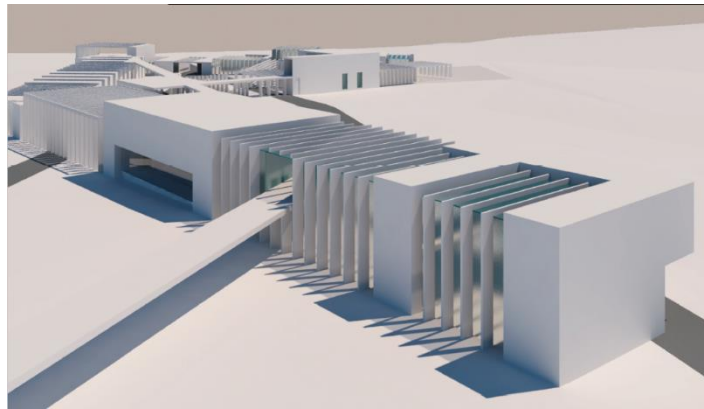


Figura 2.34 – Projeto de Centro de Empreendedorismo e Juventude no Zimbabué [43]

O centro, composto por dois pisos, situar-se-ia em Harare, localizado num ponto estratégico, para integrar toda a sociedade, desde os mais jovens, aos mais encanecidos. Baseado no conceito de pré-existências, o empreendimento inclui um parque de estacionamento do tribunal, percursos pré-concebidos e mercados que definiriam os volumes e a utilização de contentores marítimos como estrutura.

O centro divide-se assim em quatro volumes, todos com propósitos dispares, funcionando no seu pleno em simbiose. Dedicar-se-ia à formação, direção, biblioteca e espaço público, incluindo ainda um auditório e uma galeria de exposição. A disposição dos mesmos volumes está representada na Figura 2.35.

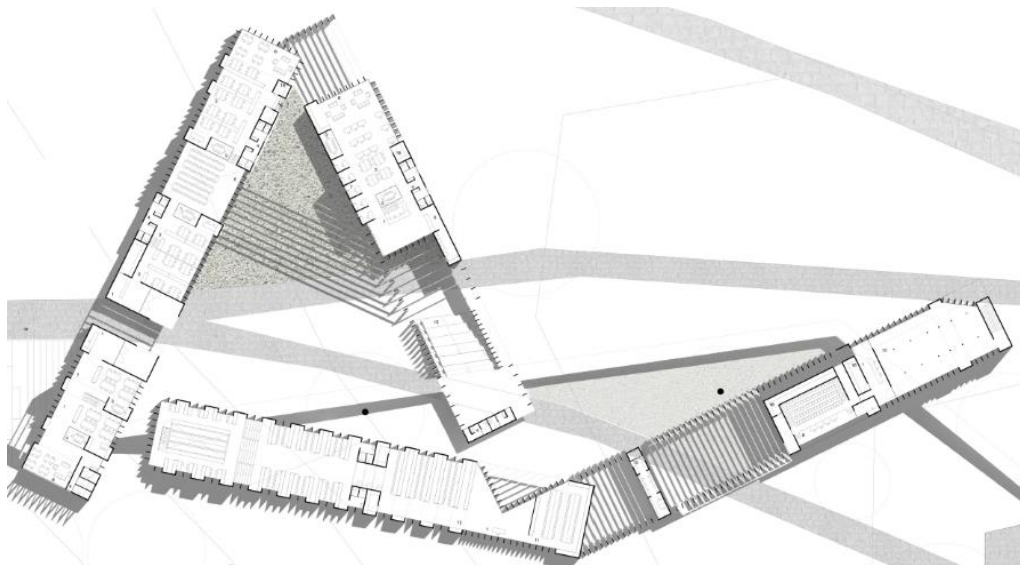


Figura 2.35 – Planta do piso térreo [43]

Com o avanço no mercado do trabalho, este novo projeto pretende manter-se atual com a inclusão de conceitos como “co-working”, permitindo o aluguer de espaços a empresas, beneficiando desta forma a interação entre empreendedores e aprendizes.

Ao nível da materialidade e aspeto exterior, o projeto demonstra a realidade do país, com estrutura à vista, tanto dos contentores como do policarbonato. O trabalho do estudante transpõe a mensagem de que a arquitetura não necessita de encobrir a realidade de um país para ser considerada uma arquitetura de qualidade, mas sim que a arquitetura se deve adaptar ao local [43].

- **Escolas**

Nos países subdesenvolvidos, em que o preço da construção tradicional é muito elevado, opta-se por construir as salas de aula neste sistema. Em alguns locais, combina-se este método com a utilização de energia renovável, como indica a Figura 2.36.



Figura 2.36 – Escola em contentor com aproveitamento solar [44]

A prática desta metodologia construtiva de baixo custo em países subdesenvolvidos apresenta consequências positivas para os seus habitantes, aumentando o nível de qualidade das infraestruturas [45].

- **Piscinas**

Nos EUA, existe uma empresa fabricante de piscinas com estrutura de contentor utilizando fibra de vidro e fornecendo uma garantia de 25 anos. Cada piscina, do género da representada na Figura 2.37, é composta por sistema de filtros, porta de proteção para crianças e acabamento exterior, caso se pretenda. O preço de venda deste tipo de estrutura, já com tudo incluído, é de 18 000 € mais o custo de transporte. Uma ideia original capaz de obter procura no mercado [46].



Figura 2.37 – Exemplo de piscina em contentor, nos Estados Unidos [46]

- **Barreira Protetora/Design**

Em Portugal, mais concretamente, no porto de Leixões existe uma barreira de contentores marítimos que protege a rua dos ventos que se fazem sentir naquela cidade anualmente. Os contentores, dispostos em quatro colunas de altura conforme a Figura 2.38, foram posicionados aquando das obras de inauguração do novo porto de Leixões, em 2016, e estão presentes ao longo de, praticamente, todo o lado sul do porto. Para garantir a sua estabilidade e segurança dos utilizadores da avenida, o interior foi preenchido com entulho e pedras de grande dimensão.



Figura 2.38 – Barreira Presente ao longo da avenida, Porto de Leixões

Assim, foi possível reutilizar os contentores e dar seguimento a resíduos de construção e demolição convertendo esta aplicação numa ação sustentável.

2.5. SÍNTESE DO CAPÍTULO 2

Subsiste nos portos marítimos mundiais um elevado número de contentores imobilizados à espera de serem reutilizados. Este número tende a amplificar devido ao custo associado ao transporte para o local de envio.

A reutilização destes na construção, ao fim de 15 anos de atuação como transporte, é vantajoso tanto para a construção como para o meio ambiente uma vez que diminui o resíduo gerado nas lixeiras e promove o desenvolvimento de uma construção sustentável.

O contentor foi projetado em 1937 por Malcom Mclean com o intuito de transporte, armazenagem e segurança do material transportado e assim se mantém até aos dias de hoje. Ao serem fabricados segundo as normas ISO, garante-se a mesma resistência mecânica independentemente do local de fabrico bem como a possibilidade do manuseamento universal do equipamento e da intermodalidade.

A estrutura dos contentores é composta por perfis metálicos resistentes a cargas verticais e preenchido por chapas metálicas de aço corrugado. Este aço, *Corten*, apresenta características com melhor performance face ao aço comum dado que a sua resistência à corrosão é três vezes superior.

Face à inexistência de regulamentação nacional relativamente à introdução deste material como estrutura construtiva, adaptou-se as leis portuguesas em vigor para determinação de requisitos mínimos.

Estes requisitos, juntamente com os pormenores de projetos já existentes, irão designar o nível de qualidade que se pretende lograr na conceção de uma habitação unifamiliar. Assim sendo, será abordado o desempenho térmico e acústico bem como a ventilação da habitação.

A estação de aquecimento será a estudada a nível térmico uma vez que corresponde à época de ocorrências patológicas nos edifícios. Cumprindo todos os requisitos definidos para esta estação, garante-se de igual forma para a estação de arrefecimento com o auxílio de uma ventilação adequada para melhoria de conforto interior.

A conceção da moradia será avaliada em dois climas distintos para uma melhor compreensão sobre a influência da localização na solução tecnológica a adotar.

A Tabela 2.10 representa uma síntese dos projetos demonstrados anteriormente.

Tabela 2.10 – Quadro Síntese de projetos executados

Nome do Projeto	Localização	Finalidade	Solução Construtiva	Ano Autor Custo (€/m ²)
<i>Urban Rigger</i>	Copenhaga (Dinamarca)	Residência Universitária	- 9 contentores	- 2016
			- Fachada de estrutura à vista	- BIG Architects -
<i>Flying Box</i>	Orgères (França)	Habitação	- 5 contentores	- 2015
			- Isolamento interior	- 2A Design - B3Ecodesign - Arquiteto Josué Gillet - 310 €/m ²
<i>Cross Box</i>	Pont-Péan (França)	Habitação	- 4 contentores	- 2009
			- Isolamento interior	- B3Ecodesign - CG Architects -
<i>Grillagh Water House</i>	County Derry (Irlanda)	Habitação	- 4 contentores	- 2014
			- Isolamento interiores	- Arquiteto Pratick Bradley - 1100 €/m ²
			- Revestimento exterior	
			- Estrutura metálica	

Nome do Projeto	Localização	Finalidade	Solução Construtiva	Ano e Autor
<i>Puma City</i>	Aleatória	Loja	- 24 contentores - Fachada de estrutura à vista - Estrutura metálica	- 2008 - LOT-EK -
<i>Common Ground</i>	Coreia do Sul	Lojas Mercado	- Fachada de estrutura à vista - Estrutura metálica	-2016 - Urbantainer -
<i>High Clube</i> <i>Marina Real</i>	Valência (Espanha)	Bar Discoteca	- Fachada de estrutura à vista - Estrutura metálica	- -

A conceção de uma moradia em contentor possibilita uma construção económica. No entanto, através dos exemplos apresentados, denota-se que o custo de construção depende da configuração geométrica do edifício uma vez que, caso a habitação necessite de reforço estrutural, o preço sobe consideravelmente.

3

CASO DE ESTUDO

3.1. INTRODUÇÃO

No caso de estudo será abordado a construção de uma moradia unifamiliar onde se avaliam duas localizações climáticas.

A construção da nova moradia será implementada em duas cidades com, naturalmente, climas distintos. A alteração da localização irá variar os fatores ambientais a que a casa estará sujeita e, como tal, é imperativo um estudo climático que servirá de base para escolha de materiais incluindo o isolamento térmico e acústico, e disposições construtivas.

O desenvolvimento do trabalho tem como base a cidade do Porto dado que pertence a um clima mediterrânico que engloba grande parte da zona Europeia, sudoeste Australiano, Califórnia e centro do Chile.

Uma vez que a estrutura da habitação é em contentor, existe a possibilidade da criação de efeito de estufa no ambiente interior, quando exposto a uma radiação solar bastante alta propiciando uma situação bastante desagradável aos utentes. Para se proceder ao correto dimensionamento térmico, a moradia será apreciada numa região portuguesa pertencente às zonas em que a radiação solar tenha atingido os valores máximos nacionais, o Alentejo. Assim, a casa também será avaliada para a situar em Reguengos de Monsaraz, na região de Évora. Esta ação irá permitir comparar os resultados do comportamento térmico do edifício analisado no capítulo 4.

Após a determinação dos aspetos climáticos de cada local efetua-se uma descrição da moradia onde se irá focar os pontos seguintes:

- Forma arquitetónica;
- Estrutura da moradia;
- Materiais e acabamentos.

A disposição dos contentores é dos aspetos mais relevantes neste projeto uma vez que necessita de, por um lado, ser atraente e ao mesmo tempo lucrativa para que a construção seja economicamente viável. A ligação entre estes elementos executa-se com recurso a perfis metálicos que, além de servirem de ligação, têm a finalidade de estabilizar a habitação.

O capítulo termina com os acabamentos empregues na moradia.

3.2. ASPETOS CLIMÁTICOS

Para ser praticável uma construção de qualidade, seja para fim habitacional ou comercial, o conhecimento meteorológico da respetiva localização é uma ação fundamental e primária. Esta permitirá um conhecimento anual sobre as condições a que o edifício estará submetido e qual deve ser o seu comportamento face a tais circunstâncias.

Para conhecer o desempenho térmico da habitação é necessário calcular os parâmetros climáticos das duas localizações. Em ambas as situações, assumiu-se que a habitação estaria situada 5 metros acima da altitude mínima.

A altitude mínima do Porto e de Reguengos de Monsaraz é de 0 m e 100 m, respetivamente [47].

Os parâmetros climáticos a ser conhecidos para a estação de aquecimento são [22]:

- GD – Número de graus-dias, na base de 18°C, correspondente à estação convencional de aquecimento [°C];
- M – Duração da estação de aquecimento [meses];
- $\Theta_{ext,i}$ – Temperatura exterior média do mês mais frio da estação de aquecimento [°C];
- G_{sul} – Energia solar média durante a estação de referência, recebida numa superfície vertical orientada a Sul [kWh/m².mês].

Os valores de referência estão apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de aquecimento [22]

NUTS-III	z	M		GD		$\Theta_{ext,i}$		G_{sul} KWh/m ² por mês
	REF m	REF meses	a mês/km	REF °C	a °C/km	REF °C	a °C/km	
Grande Porto	94	6,2	2	1250	1600	9,9	-7	130
Alentejo Central	221	5,3	2	1150	1100	10,0	-4	150

Seguidamente, executam-se as correções de altitude de os parâmetros através da expressão:

$$X = X_{REF} + a (z - z_{ref}) \quad [\text{meses ou } ^\circ\text{C}] \quad (3.1)$$

3.2.1. CIDADE DO PORTO

A cidade Portuguesa situa-se num clima mediterrânico classificado como Csb, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger [48], desfrutando de um Verão quente e seco, e de um Inverno instável e húmido. A temperatura média anual situa-se nos 14,4 °C com o mês de Agosto a atingir os 19,6 °C de média, sendo o mês mais quente. Relativamente ao Inverno, o mês de Janeiro atinge os 9,1 °C de média, no entanto, o mês com maior precipitação é Dezembro [49]. A Figura 3.1 representa a evolução anual da temperatura e humidade relativa da área metropolitana do Porto.

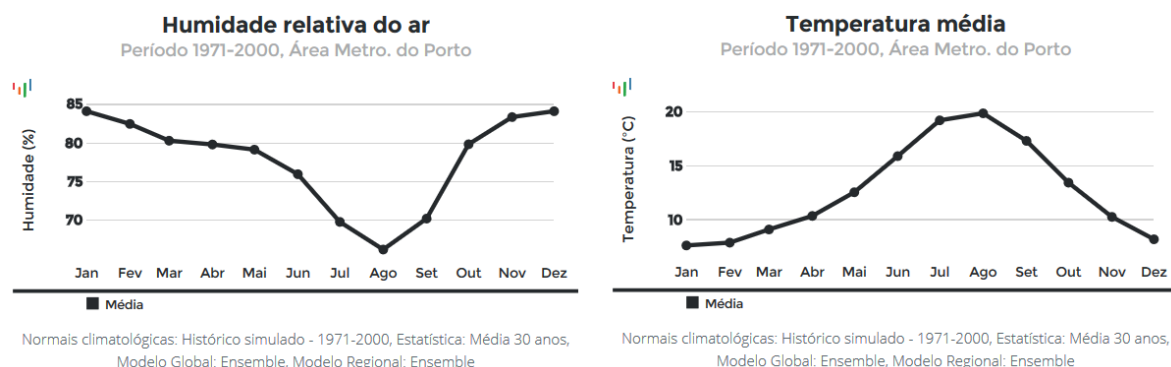


Figura 3.1 – Gráficos de humidade relativa e temperatura média na Área metropolitana do Porto [50]

Perante estes valores prevê-se que a fase crítica seja a estação de aquecimento onde a combinação de temperatura baixa, humidade relativa alta e maior pluviosidade poderão criar graves problemas patológicos.

As fachadas da moradia são concebidas para fornecer uma correta proteção e durabilidade. As fachadas Sul e Oeste são as que obtêm maior exposição solar e, como tal, o risco de manifestação de patologias e fungos é reduzido. As paredes exteriores em dita direção, ao ficarem húmidas com a água da chuva, secam por ação solar durante a maior parte do dia. Por outro lado, a fachada Norte é a mais suscetível a eflorescências de fungos uma vez que a chuva em Portugal provem do Norte com direção Sul e, que combinando com os baixos ganhos solares, se mantém húmida. A humidade relativa do ar ao ser relativamente alta no Inverno não permite a correta secagem dos materiais originando patologias que se manifesta através de, por exemplo, manchas no revestimento superficial.

Os valores dos parâmetros corrigidos pela expressão (3.1) para a cidade do Porto estão apresentados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Valores corrigidos para a estação de aquecimento no Porto

Parâmetros	Valor
GD [°C]	1108
M [meses]	6,02
$\theta_{ext,i}$ [°C]	10,52
G_{sul} [kWh/m ² por mês]	130

3.2.2. CIDADE REGUENGOS DE MONSARAZ

A segunda localização da moradia insere-se numa região com uma radiação solar elevada onde a temperatura média anual apresenta o valor de 16,5°C e, no mês mais quente da região (Julho), o valor de 24,4 °C.

O clima vivido é, de igual forma mediterrânico, no entanto está classificado como Csa, segundo Köppen-Geiger [48]. A principal distinção entre as duas classificações foca-se na temperatura média no Verão, na qual Reguengos de Monsaraz exhibe uma temperatura média acima dos 22 °C [49]. A Figura 3.2 representa a evolução anual da temperatura e humidade relativa do Alentejo Central.

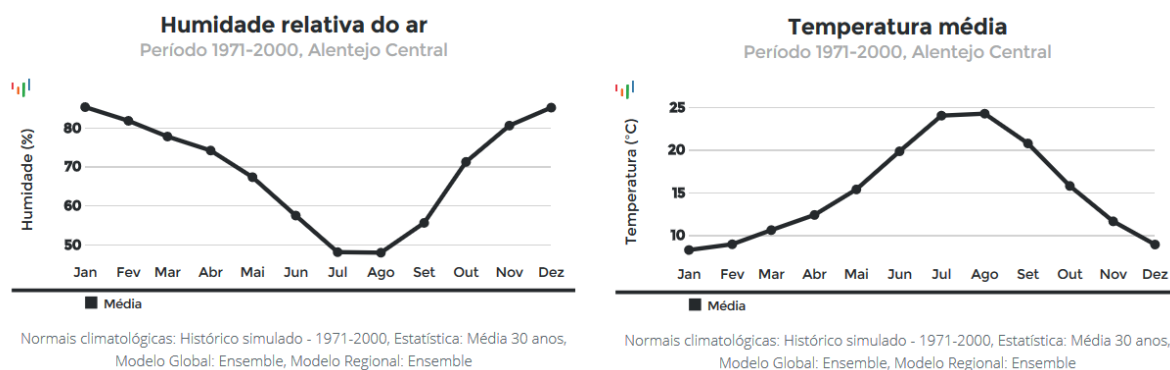


Figura 3.2 - Gráficos de humidade relativa e temperatura média na sub-região do Alentejo Central [50]

Comparando a Figura 3.2 com a Figura 3.1, percebe-se que a temperatura média é superior pelo que terá de ser exigido não só um correto dimensionamento do caudal de ventilação como também um bom isolamento térmico para que, por exemplo, a temperatura interior nunca atinja a temperatura máxima exterior nas horas de maior radiação solar. Relativamente á humidade relativa, prevê-se um ar seco uma vez que a humidade relativa se situa abaixo dos 50 % contrariamente à zona do Porto que, ao respetivo mês mais quente, apresenta 66%. Por outro lado, durante a estação de aquecimento, tanto a temperatura média como a humidade são inferiores à cidade do Porto.

Os valores dos parâmetros corrigidos pela expressão (3.1) para a cidade de Reguengos de Monsaraz estão apresentados na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Valores corrigidos para a estação de aquecimento em Reguengos de Monsaraz

Parâmetros	Valor
GD [°C]	1022
M [meses]	5,07
$\Theta_{ext,i}$ [°C]	10,46
G_{sui} [kWh/m ² por mês]	150

3.3. DESCRIÇÃO DA MORADIA

A moradia considerada apresenta um projeto executado em 2015 pela empresa *Urbanpolis – Construções e Empreendimentos Lda* aprovado segundo os critérios de implantação estipulados pela legislação em vigor bem como o plano municipal onde se inserirá. A cota de soleira adotada tem em conta a facilidade das acessibilidades a pessoas deficientes ou com mobilidade condicionada.

A habitação, com uma área de implantação de 102,4 m², é constituída por dois andares, um térreo e um superior, com pé direito de 2,50 m e cêrcea de 6 m.



Figura 3.3 – Perspetiva da moradia fachada Sul

A construção modular é definida por uma conjugação de elementos retos em que a existência de uma relação entre a área dos compartimentos e a forma estrutural é primordial para que o utilizador se sinta confortável e para que a dimensão da habitação seja arquitetonicamente viável. Para isso, a disposição dos compartimentos deve ser simples e o aproveitamento da área interna do contentor deve ser o melhor possível. As áreas dos principais compartimentos encontram-se na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Áreas dos compartimentos da moradia

Fogos	Áreas(m ²)
Quarto de Casal	16,4
Quarto duplo 1	10,3
Quarto duplo 2	11,3
Sala	34,6
Cozinha	16,8
Lavandaria	2,4
WC social	2,1
WC	4,4
WC privativo	3,5

3.3.1. DISPOSIÇÃO DOS CONTENTORES/ FORMA ARQUITETÓNICA

Os contentores, com a sua forma retangular rígida, permitem infinitas formas de implantação e conjugação entre elas. Neste caso específico, são utilizados cinco contentores de 40'HC, dois grupos assemblados com dois contentores cada e um grupo, a garagem, com um contentor separado a meio e unido pelo lado de maior comprimento. A disposição final dos contentores é a definida na Figura 3.4.

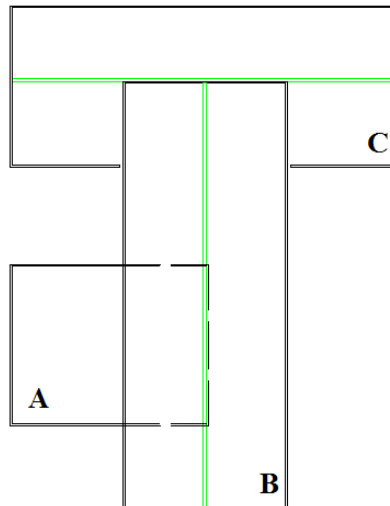


Figura 3.4 – Disposição dos contentores em vista de planta

O pavimento térreo da habitação é constituído pelos blocos **A** e **C**: a garagem é concebida pela estrutura do contentor **A**, enquanto o bloco **C**, formado por dois contentores 40'HC, assemblados na longitudinal, logram espaços tais como a cozinha, sala comum, casa de banho social e uma lavandaria. A ligação entre os dois blocos é realizada por meio de um corredor onde se situa a entrada principal executada em vidro. O corredor interliga os contentores do piso 0 com os contentores do piso superior pela comunicação vertical, conforme é perceptível na Figura 3.5.

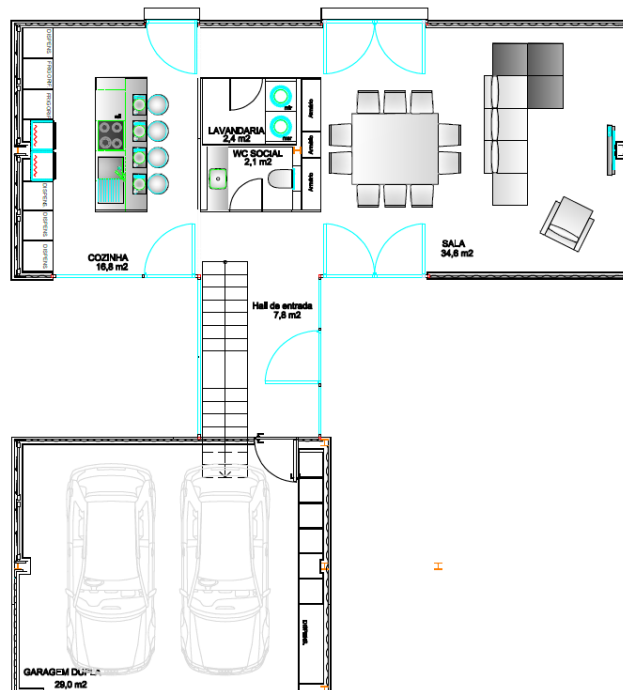


Figura 3.5 – Planta do Rés do Chão da moradia

O nível superior é constituído por dois contentores 40'HC, bloco **B**, assemblados na longitudinal dando origem a três quartos e duas casas de banho. A suíte, composta por quarto, casa de banho privativa e closet, situa-se na parte posterior da casa com acesso único a varanda para aproveitamento de vista do local onde se insere. A Figura 3.6 apresenta a planta do piso superior.

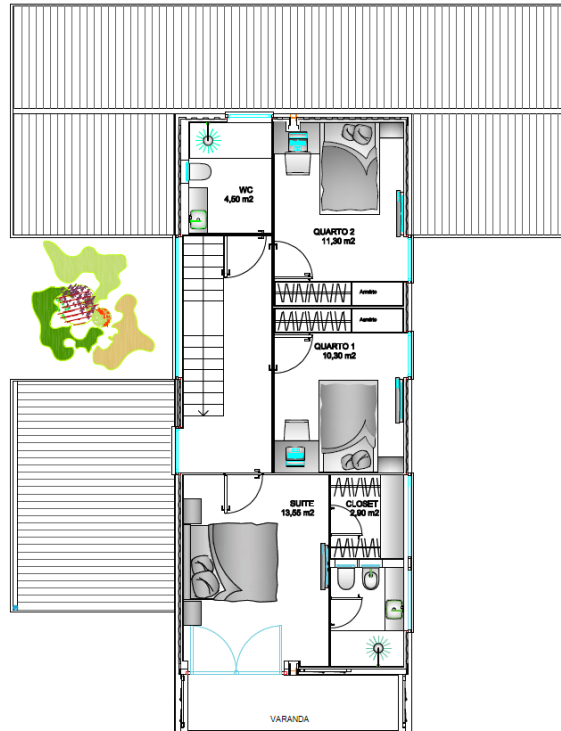


Figura 3.6 – Planta do Piso Superior

3.3.2. ESTRUTURA DA HABITAÇÃO

A estrutura do contentor, formada pelos perfis e chapas de face, apresentam uma elevada resistência a grandes cargas verticais. Prova disso, é a sua derradeira função como equipamento de transporte de materiais podendo aguentar, quando imóveis, até nove filas em altura de contentores. No entanto, quando os contentores não estão alinhados na vertical, é essencial a implementação de estrutura metálica de reforço, como se pode verificar na Figura 3.7.



Figura 3.7 – Proposta Estrutural da habitação em estudo

O cálculo estrutural executou-se com recurso ao *software* estrutural “Autodesk Structural Analysis Professional” onde se modelou as partes estruturais do contentor e os perfis metálicos de reforço apresentados no capítulo anterior.

- **Considerações de Cálculo**

Para a estrutura da habitação considerou-se dois tipos de reforço metálico, principal e secundário. O reforço principal é composto pelos perfis que são providenciais à saúde estrutural do edifício uma vez que sem eles a ruína seria inevitável. Dada a sua importância, escolhe-se os perfis HEB 140 para essa função. O nome do perfil indica a forma transversal do elemento e o valor da altura que, até aos perfis HEB 300, é igual à altura do perfil.

Uma vez que o reforço principal também serve como interligação de contentores, a sua secção transversal deve facilitar o método de soldagem e providenciar a maior área de ligação possível. A Figura 3.8 apresenta um exemplo disso.

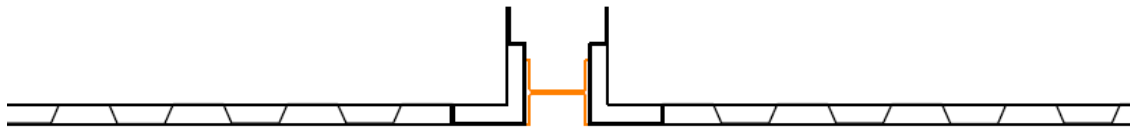


Figura 3.8 – Utilização de Perfil HEB como ligação entre contentores, vista em planta

Os perfis secundários têm a principal função de sustentar a estrutura do contentor junto às aberturas. Como referido anteriormente, a chapa do contentor, ao ser cortada, enfraquece e deforma com mais facilidade. O uso destes perfis impede esta deformação.

Relativamente à modelação da casa no *software*, somente foram inseridos alguns perfis dos contentores. Optou-se por não colocar os perfis de canto verticais (do contentor) soldados aos perfis de ligação HEB para que a análise fosse conservativa. Se esses perfis verticais HEB conseguirem garantir a segurança estrutural então, na realidade, a habitação irá estar com um coeficiente de segurança superior visto que os perfis de canto auxiliam estruturalmente.

Todos os perfis em estudo, incluindo os HEB140, foram definidos no programa considerando um aço de classe S355 sendo a classe correspondente ao aço Corten [1].

- **Imputação de Dados**

O programa contém um catálogo em que se pode escolher o tipo de perfil pretendido. Deste catálogo, foram escolhidos os perfis principais HEB140 e os secundários com a secção presente na Figura 3.9 com espessura de 5 mm para reforçar a caixilharia das aberturas com segurança.



Figura 3.9 – Perfil secundário

Como o *software* não inclui os perfis dos contentores, foram imputados, para cada perfil, os seguintes parâmetros inerentes à secção transversal:

- A_x – Área da secção transversal, [mm²];
- I_y – Momento de inércia segundo o eixo local y, [mm⁴];
- I_z – Momento de Inércia segundo o eixo local z, [mm⁴];
- V_y – Distância entre a fibra mais remota e o eixo z local, no lado positivo do eixo local y, [mm];
- V_{p_y} – Distância entre a fibra mais remota e o eixo z local, no lado negativo do eixo local y, [mm];
- V_z – Distância entre a fibra mais remota e o eixo y local, no lado positivo do eixo local z, [mm];
- V_{p_z} – Distância entre a fibra mais remota e o eixo y local, no lado negativo do eixo local z, [mm].

A Figura 3.10 auxilia na compreensão dos últimos quatro parâmetros referidos anteriormente.

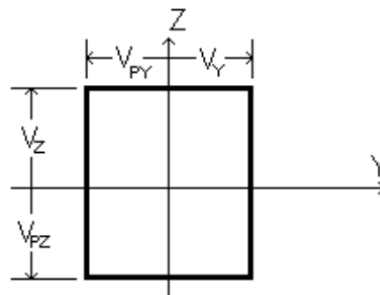


Figura 3.10 – Exemplo das distâncias das fibras mais remotas aos eixos locais [51]

A Tabela 3.5 resume os valores dos dados inseridos.

Tabela 3.5 – Propriedades geométricas das secções dos perfis metálicos [13]

Perfil	A_x [mm ²]	I_y [mm ⁴]	I_z [mm ⁴]	V_y [mm]	V_{p_y} [mm]	V_z [mm]	V_{p_z} [mm]
BSR	1099	3183516	522963	18,7	61,3	66,5	88,5
DCP	3813	112466	17965937	151,5	128,5	22,6	23,4
DH	1964	3985802	4850731	210,1	112,9	37,9	75,2
DS	1676	4833613	4463540	116,5	49,5	58,1	91,1
FCP	2980	12792554	14479868	70,4	153,7	145,0	64,0
FH	758	920049	469021	155,1	197,9	20,7	66,3
FS	661	351348	351348	30	30	30	30
TSR							

Na sequência da introdução dos perfis e respetivo desenho no *software*, colocaram-se as paredes e o pavimento (*cladding*) com a função de dissipar as cargas da superfície para os perfis delimitadores, sem que tenha função estrutural ou de suporte.

O pavimento do contentor é composto por uma estrutura unidirecional transferindo as cargas segundo o lado de menor dimensão. No programa essa direção pode ser segundo x ou y dependendo da orientação do contentor relativamente aos eixos globais.

Como as paredes revelam maior importância no cálculo da estrutura, uma vez que impedem a deslocação dos perfis estruturais horizontais, foram inseridas com a sua secção real, corrugada. A sua definição contou com a inserção do comprimento de chapa, espessura e altura (espaçamento do corrugado).

Desta forma, a moradia no *software* ficou com o aspeto apresentado nas Figura 3.11 e Figura 3.12.

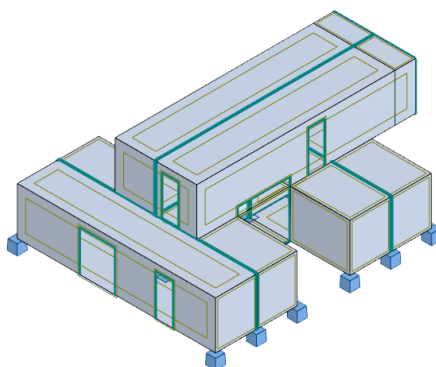


Figura 3.11 – Perspetiva da parte posterior da habitação modelada em *Robot*

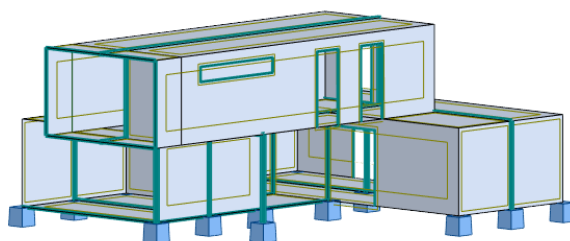


Figura 3.12 – Perspetiva da parte frontal da habitação modelada em *Robot*

• Ações de Projeto

O cálculo estrutural de uma habitação é definido por, pelo menos, um caso de carga a que todo o edifício vai estar submetido para verificação de segurança. Com base nas cargas inseridas no projeto, o programa devolve o resultado final da verificação.

As ações a considerar num projeto são definidas no Eurocódigo 1 [52] sendo classificadas como permanentes ou variáveis. As ações permanentes, como o próprio nome indica, são aquelas que vão estar sempre a atuar, por exemplo, peso próprio da estrutura e dos materiais dos elementos como paredes e pavimentos. As ações variáveis são as que não atuam permanentemente no tempo tais como os sismos, a ação do vento ou as sobrecargas. Dado tratar-se de um edifício de baixa estatura apenas se considera a ação variável preponderante, as sobrecargas.

A moradia foi calculada, segundo o Estado Limite Último, pela expressão seguinte:

$$Ed = 1,35 G_k + 1,5 Q_k \quad (3.2)$$

Sendo

G_k – Cargas permanentes;

Q_k – Sobrecargas.

Por questões de segurança, são colocados valores de majoração junto às cargas. Por outras palavras, no cálculo é considerado que o peso próprio dos elementos está majorado em 35 % enquanto que as cargas variáveis são majoradas em 50 %.

O programa automaticamente calcula a parcela do peso próprio dos elementos estruturais, que é uma porção das ações permanentes, sem que seja necessário a introdução de cargas.

As restantes cargas permanentes são relacionadas com os pesos próprios dos pavimentos e cobertura. Para estes, definiram-se como cargas superficiais o valor de 3 kN/m² e 1 kN/m², respetivamente.

Para as sobrecargas, o Eurocódigo 1[52] define esses valores apresentados na Tabela 3.6.

Tabela 3.6 – Sobrecargas nos Edifícios de Habitação [52]

Elemento	Sobrecarga [kN/m ²]
Coberturas	0,40
Pavimentos	2,00
Garagens	2,50

• Resultado Final

Com base nestas cargas, foram estudados somente os perfis de reforço estrutural. Os perfis dos contentores não são verificados ao estado limite último uma vez que estes já se encontram estruturados para resistir a cargas bastante superiores.

Estes perfis, segundo o programa, estão de acordo com o regulamento pelo que podem ser inseridos na habitação sem por em causa a estrutura da habitação.

• Fundações da Habitação

As fundações têm como função transmitir as cargas do edifício para o terreno. Como não se conhece o tipo de terreno, somente se indica três possibilidades utilizadas noutros projetos de casas em contentor.

As três possibilidades são:

- Fundação perimetral;
- Ensoleiramento geral;
- Sapatas.

A fundação perimetral, como o próprio nome indica, é uma solução que pode ser efetuada em betão armado ou em bloco de betão sendo desenvolvida ao longo do perímetro da área de implantação da habitação. A transmissão de cargas ocorre pelos perfis de canto e os perfis laterais inferiores (BSR) do contentor marítimo.

O ensoleiramento geral é executado em betão armado em toda a área de implantação do edifício e, por essa razão, tem um custo elevado. Por esse motivo, é uma solução que não deve ser implementada numa solução construtiva que, tem como principal objetivo, executar uma construção de baixo custo. Ambas as soluções estão apresentadas na Figura 3.13.



Figura 3.13 - Sapatas de fundação: a) exemplo de sapata; b) exemplo de ensoleiramento geral [53]

A terceira opção, por sapatas, é a mais económica uma vez que envolve menos quantidade de betão armado. A ligação nos perfis de canto do contentor é executada em dois passos. O primeiro passo é a realização de uma sapata circular ou quadrada com uma abertura no centro. Ao mesmo tempo solda-se ao contentor uma peça triangular com quatro armaduras. O segundo passo realiza-se após a colocação do contentor marítimo no local de implantação com a respetiva estabilização. Quando o contentor se encontra na posição final, com as quatro armaduras no interior da abertura, betona-se o resto da sapata. Desta forma a fundação garantirá a segurança da estrutura [3].

A Figura 3.14 apresenta esta solução.

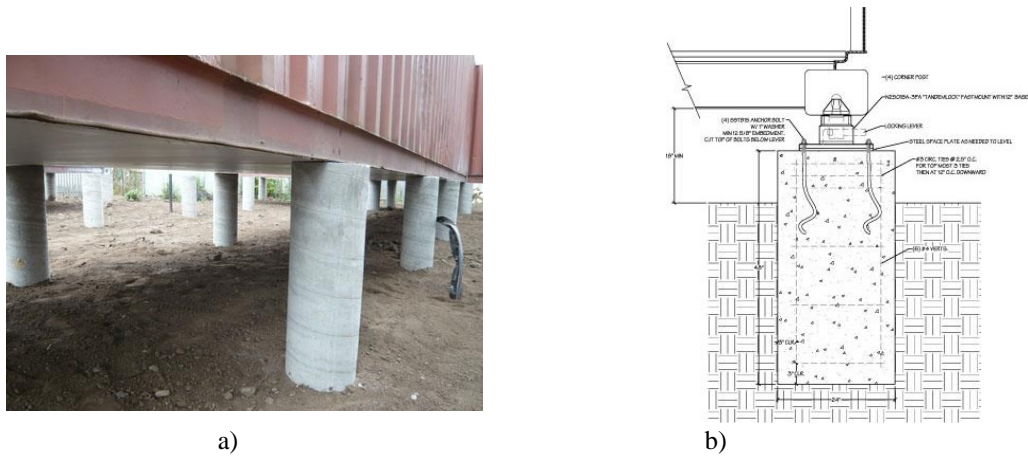


Figura 3.14 – Sapatas de fundação [53]

3.3.3. ESCOLHA DOS MATERIAIS

São os materiais que concedem vida à habitação fornecendo a particularidade desejada ao produto final uma vez que são capazes de alterar a percepção de um indivíduo. Por exemplo, uma habitação pode ter vários erros construtivos e dimensionais, mas com uma correta escolha dos materiais o utilizador terá uma percepção positiva e presenciará a ideia de uma construção dotada. Por outro lado, sucederá o oposto, uma casa bem delineada e pensada com uma seleção de materiais errónea originará uma ideia de fraca qualidade no produto final. Deste modo, os ideais aqui seguidos são a simplicidade arquitetónica, a contextualização com o edifício, a estética final, modularidade e, principalmente, a qualidade inerente ao produto que será capaz de conceder a esta habitação a virtuosidade necessária para marcar a diferença do restante mercado imobiliário.

A disposição e escolha dos materiais são dependentes da função que irão desempenhar, estando incluídos nos grupos seguintes:

- Isolamento térmico;
- Isolamento acústico;
- Acabamentos e divisórias interiores;
- Acabamentos exteriores.

De seguida apresenta-se o estudo da escolha do material por função.

• **Isolamento Térmico**

A composição dos elementos estruturais bem como a estética do edifício, estão dependentes do posicionamento do isolamento térmico existindo duas possibilidades: interior ou exterior. No caso de o isolamento ser colocado pelo interior da habitação, a solução será a projeção de poliuretano visto ser o mais usual nas casas em contentor existentes, em que se mantém a estrutura exterior. No caso de aplicação pelo exterior, será implementado o sistema ETICS, habitual na construção tradicional. A Tabela 3.7 indica as vantagens e desvantagens dos dois métodos.

Tabela 3.7 – Vantagens e Desvantagens do Posicionamento do Isolamento Térmico [54] [55]

Posição do Isolamento Térmico		
	Interior (Poliuretano Projetado)	Exterior (Sistema ETICS)
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rápida aplicação ▪ Boa aderência ▪ Maior eficácia térmica ▪ Permite manter a fachada ▪ Melhores Propriedades acústicas ▪ Possibilidade de Projeção em fábrica e em Obra ▪ Baixa Permeabilidade ao vapor de água ▪ Boa resistência à água salgada 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Redução de Pontes Térmicas ▪ Proteção de Paredes/Estrutura ▪ Paredes mais leves ▪ “Aumento” de área habitação ▪ Maior inércia térmica
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Maior pressão nas paredes ▪ Ocultação de anomalias como infiltração de água ▪ Redução da área de habitação ▪ Menor inércia térmica 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Elevada fragilidade ▪ Colocação cuidada ▪ Maior custo ▪ Necessário colocação de chapa para regularização do contentor para superfície plana

O conceito deste tipo de construção fixa-se na maximização de produção em fábrica e consequente minimização de trabalhos em obra. O facto de ser produzido em fábrica condiciona os materiais a utilizar porque o seu transporte ao local deve estar de acordo com a lei bem como ser economicamente sustentável. O transporte do contentor é limitado pelas suas medidas pelo que, qualquer acréscimo exterior, poderá provocar uma alteração no sistema de traslado, passando a ser classificado como transporte especial, convertendo o seu custo num valor incapaz de sustentar uma construção deste género.

Posto isto, a implementação do sistema ETICS apenas poderá ser em obra, aumentando a duração dos trabalhos uma vez que a sua colocação é lenta e cuidada. A sua aplicação somente é possível com o emprego de uma chapa plana como base pois a estrutura do contentor é corrugada. Se não se colocar esta chapa existe a possibilidade de o ar presente entre os dois materiais condensar, criando patologias na habitação. Por outro lado, este sistema não permite um aumento do número de compartimentos da habitação a um preço viável uma vez que será inevitável a destruição do isolamento térmico. Assim, com base na tabela anterior e nos ideais da metodologia construtiva, optou-se por implementar o isolamento pelo interior em poliuretano projetado com espessura de 5 cm nas paredes exteriores e 4 cm nos pavimentos. Na cobertura, o isolamento será feito pelo exterior com recurso a painéis sandwich com 6 cm de poliuretano.

A utilização do isolamento térmico pelo interior permite manter a estrutura do contentor, aproveitando duas vantagens do aço *Corten*: a impermeabilidade à água e a agentes corrosivos e aproveitamento da radiação solar quando o material está exposto ao sol.

A Figura 3.15 apresenta um exemplo de aplicação de poliuretano projetado pelo interior entre os montantes de madeira que irão de servir de estrutura de suporte dos painéis de revestimento interior. A sua aplicação deve ser executada em fábrica para minimizar os trabalhos em obra de forma a que, no local, somente se proceda à montagem da moradia.



Figura 3.15 – Aplicação de poliuretano projetado [56]

• Isolamento Acústico

O isolamento acústico a implementar será a lã de rocha. Este material pode ser aplicado em vários elementos tais como paredes exteriores e interiores, tetos falsos e pavimentos. Contudo, como as paredes exteriores serão executadas com poliuretano projetado, com boas propriedades acústicas, a lã de rocha somente será empregue em tetos falsos e paredes divisórias.

As vantagens do material estão assinaladas na tabela seguinte:

Tabela 3.8 – Vantagens da aplicação de Lã de Rocha [57]

Vantagens
▪ Incombustível e estabilidade mecânica até 750 °C
▪ Não é prejudicial à saúde
▪ Bom comportamento térmico
▪ Não retém água devido à estrutura não capilar
▪ Não altera com o tempo
▪ Permite a passagem de ar
▪ Recupera a espessura original após deformação.

A aplicação nos tetos falsos contém dupla função: impedir a propagação do som entre pisos e obstruir a propagação de ar frio, na estação de aquecimento, pelas pontes térmicas criadas na ligação cobertura/parede exterior.

• **Acabamentos e Divisórias Interiores**

O revestimento interior das paredes deve estar de acordo com os princípios da construção modular devendo ser leves e de madeira para um melhor conforto térmico. Como tal, escolheu-se empregar placas de MDF na habitação com exceção das zonas húmidas onde se escolheu placas de resina fenólica pois necessitam de ser hidrófugas. As vantagens dos materiais estão apresentadas na Tabela 3.9.

Tabela 3.9 – Vantagens dos revestimentos interiores de parede [58, 59]

Vantagens do Material	
Placas de MDF <i>(Medium Density Fiberboard)</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Boa resistência mecânica ▪ Estabilidade dimensional face a variações de humidade ▪ Possibilidade de pintar, laca, colar, aparafusar, etc ▪ Dispõe de várias gamas
Placas de Resina Fenólica	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Produto estável ▪ Hidrófugo ▪ Boa relação resistência/peso ▪ Versátil e durável ▪ Resistente a agentes químicos ▪ Aplicação tanto em exterior como interior

Ao serem aplicadas placas de MDF existe a possibilidade de escolher o acabamento de superfície, podendo ser um produto cerâmico ou simplesmente pintado ou lacado, dependendo do gosto do utilizador.

As paredes divisórias são também compostas por duas placas do mesmo material, separadas por uma caixa de ar preenchida na totalidade com lã de rocha para que o som não se propague entre as divisões da habitação. Este material contém também a resistência mecânica devida para sustentar elementos como os equipamentos sanitários.

Os pavimentos interiores serão revestidos a material cerâmico nas instalações sanitárias enquanto que a restante habitação exibirá piso flutuante em madeira. Relativamente ao isolamento sonoro será colocado uma camada de dessolidarização diminuindo a propagação do som e respetivo eco por ser no interior de uma caixa metálica.

Para revestimento interior, poderia ser mantido o piso inicial do contentor, caso este se mantivesse em condições, no entanto, seria necessário aplicar vários tratamentos químicos ao material uma vez que poderão ser nocivos ao ser humano quando utilizados diariamente. Por essa razão, o piso apenas servirá de suporte e de distribuição de cargas [60].

Com a evolução da tecnologia construtiva e dos materiais, toda a indústria da construção nacional atual emprega vãos envidraçados em vidro duplo ou triplo nas construções. A duplicação de vidro, com uma camada de ar a servir de separação, aumenta não só o conforto térmico como melhora substancialmente o isolamento sonoro a sons de condução aérea [61].

Devido à proximidade de implementação em zona costeira, nomeadamente na zona do Porto, optou-se por uma caixilharia em alumínio com propriedades físicas resistentes aos agentes atmosféricos presentes nas regiões próximas do mar. Os vãos envidraçados apresentam corte térmico, vidro duplo de 22 mm (8+10+6) e são protegidos por persianas exteriores. Este dispositivo de oclusão está localizado entre a estrutura do contentor e o revestimento exterior permitindo uma elevada estanquidade ao ar (quando fechado). A Figura 3.16 ilustra a caixilharia escolhida da empresa Cortizo com o modelo Cor-60.



Figura 3.16 – Secção da caixilharia em alumínio, Cortizo Cor-60 [62]

O interior da habitação deve ter um aspeto final parecido com a Figura 3.17 e a Figura 3.18.



Figura 3.17 - Acabamentos Interiores do piso 0



Figura 3.18 – Acabamentos Interiores piso 1

▪ Acabamentos Exteriores

Na cobertura, tal como referido anteriormente, será empregue painel sandwich para que a habitação apresente um pé direito de acordo com o regulamento. O painel sandwich é um material que é impermeável e ao mesmo tempo isola termicamente a habitação. A Figura 3.19 apresenta um exemplo deste material.



Figura 3.19 – Exemplo de painel sanwich

Na fachada, as escolhas dos materiais são demarcadas pela arquitetura atual ao utilizar-se placas de maior dimensão de cores alternadas para criação de um contraste atrativo.

As paredes exteriores, construídas com o principio de fachada ventilada, irão ser revestidas a placas de cimento reforçado de média densidade, resistentes e ao mesmo tempo leves. Este material, denominado de Equitone Cedral da empresa Sotecnisol, de 10 mm de espessura, é também hidrófuga e resistente a organismos vivos tais como, fungos e bactérias eliminando as possibilidades de surgirem patologias. O principal motivo da sua escolha são as suas propriedades acústicas.

Serão requeridos dois modelos diferentes do material: *classic* para a parte inferior da habitação onde o acabamento apresenta textura em madeira e *smooth* no superior com acabamento liso. O material está apresentado na Figura 3.20.

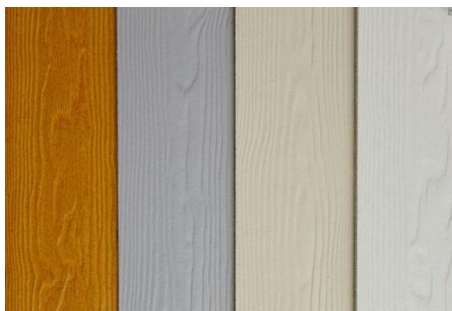


Figura 3.20 – Material Equitone Cedral em diferentes tonalidades [63]

O modelo *classic* irá ser empregue na parte inferior da habitação enquanto que o modelo *smooth* será empregue na parte superior criando a atração visual desejada.

A Figura 3.21 demonstra o aspeto final exterior da moradia.

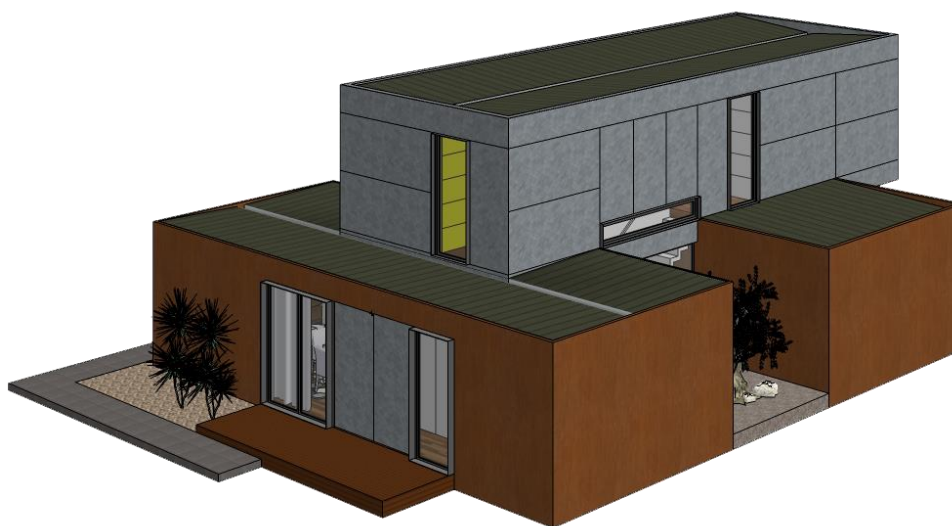


Figura 3.21 – Aspeto exterior da moradia

Os pormenores construtivos são particularidades necessárias a ter em conta na execução de uma obra. Neste trabalho desenvolveram-se dois pormenores construtivos, nomeadamente, um corte transversal AB e um corte longitudinal CD. Estes encontram-se representados nos anexos B a uma escala de 1:50 para que se possa visualizar a composição dos respetivos elementos construtivos e ligações.

3.4. SÍNTESE DO CAPÍTULO 3

O caso de estudo consiste numa habitação de tipologia T3 com dois pisos: um piso térreo e um superior.

A moradia foi projetada tendo em conta que a estrutura seria composta por cinco contentores *High Cube* de 12 metros, com devido reforço metálico. No piso 0 estão dispostos três contentores, sendo um deles cortado a meio e assemblado para dar lugar a uma garagem com uma largura de seis metros e, aproximadamente cinco metros de comprimento. Os outros dois contentores são assemblados na longitudinal dando origem a uma cozinha, uma sala, uma casa de banho de serviço e uma lavandaria. O reforço metálico, constituído por perfis HEB140, serve também como ligação entre os vários contentores da habitação, por meio de soldagem. A entrada principal situa-se no acesso entre a garagem e o resto da habitação sendo, essa passagem, totalmente em vão envidraçado, incluindo a porta principal.

No piso superior, os dois contentores assemblados dão lugar a três quartos, um deles com closet e casa de banho privada, um hall de entrada e uma casa de banho.

A moradia será estudada, no capítulo 4, em duas situações climáticas distintas, sendo avaliada termicamente para a cidade do Porto, local onde se situa a faculdade, e para a cidade de Reguengos de Monsaraz, uma das cidades nacionais com temperaturas mais elevadas.

Após se conhecer os dados meteorológicos necessários para o cálculo do desempenho térmico escolheu-se os materiais que compõem a casa, bem como a sua espessura. Os revestimentos exteriores e a caixilharia do vão envidraçado dependem do local de implantação sendo selecionados para a situação que provocaria maiores danos ao material. Devido à proximidade a zona costeira, foram escolhidos como se a moradia se situasse na cidade do Porto.

4

ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO E ACÚSTICO DO CASO DE ESTUDO

4.1. INTRODUÇÃO

Em Portugal, os edifícios são sujeitos a um conjunto de requisitos que visam assegurar o conforto do utilizador (acústico e térmico) e a promoção de melhorias energéticas dos edifícios.

O presente capítulo analisa o comportamento da moradia em estudo face a duas importantes exigências habitacionais: a térmica e a acústica.

Relativamente à térmica, o REH estabelece esses requisitos e metodologias de caracterização de desempenho energético de um edifício face a três situações:

- Estação de aquecimento;
- Estação de arrefecimento;
- Águas quentes sanitárias (AQS).

Este projeto somente irá avaliar a situação mais crítica, a estação de aquecimento (Inverno). É neste período do ano que o edifício está sujeito a uma série de fatores que maximizam o risco de ocorrência de patologias. Como no exterior a temperatura é mais baixa e a humidade relativa mais alta, o calor interior tende a dissipar-se possibilitando o surgimento de anomalias. Face a tal situação, o REH estabelece limites que o edifício deve cumprir.

No Verão, para que a habitação tenha um bom desempenho térmico é essencial ter em conta dois fatores:

- Utilização de proteção solar dos vãos envidraçados;
- Ventilação noturna.

Como nos meses mais quentes a temperatura exterior é superior à temperatura interior, o calor tende a entrar na habitação pelos vãos envidraçados (ganhos solares) o que, juntamente com os ganhos térmicos internos (equipamentos, luzes e pessoas), gera desconforto aos utentes. Face a este cenário, a solução passa por ativar a proteção solar (estores) que minimiza a transferência de calor.

Apesar de se minimizar, existe sempre uma percentagem de calor que entra na habitação. Para que este não se acumule com os ganhos solares do dia seguinte, deve-se ventilar a casa durante a noite com a abertura de janelas.

Relativamente à acústica, o desempenho acústico da habitação deve satisfazer as exigências acústicas estabelecidas no Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE). Tratando-se de uma habitação isolada somente é obrigatório o isolamento a sons de condução aérea normalizado, $D_{2m,nT,w}$.

A análise deste parâmetro é executada entre o exterior e os quartos ou zonas de estar dos fogos, em que o seu valor tem de ser superior ao mínimo regulamentar, de acordo com a zona em que se localiza a habitação.

Como não se conhece o local exato de estudo da implementação da moradia, considera-se a situação mais desfavorável, ou seja, que a moradia se localiza numa zona mista, tendo o valor de $D_{2m,nT,w}$ de ser superior a 33 dB.

4.2. DESEMPENHO TÉRMICO

A avaliação do comportamento térmico do edifício será executada sujeitando-o a uma metodologia de cálculo especificada no REH [16].

Este subcapítulo será dividido em quatro pontos com o objetivo de simplificar a análise. Esses pontos são:

- Metodologia de cálculo;
- Determinação de parâmetros da habitação;
- Desempenho térmico da habitação na cidade do Porto;
- Desempenho térmico da habitação na cidade de Reguengos de Monsaraz.

A metodologia de cálculo irá permitir uma breve análise relativa ao procedimento do cálculo térmico. Por outro lado, como se trata da mesma habitação em localizações distintas, existem parâmetros que são comuns às duas cidades pelo que o seu cálculo deve ser efetuado separadamente com o objetivo de ajudar a compreender os resultados obtidos. Por fim, verifica-se o desempenho térmico da habitação em cada localização escolhida, nomeadamente, a cidade do Porto e Reguengos de Monsaraz.

4.2.1. METODOLOGIA DE CÁLCULO

Para que o comportamento térmico esteja de acordo com o decreto-lei n.º 118/2013 [16], juntamente com os despachos de apoio n.º15793-K/2013 [64] n.º15793-I/2013 [65] e n.º15793-F [22], estabelece que o valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_{ic}) de um edifício não pode exceder o valor máximo de energia útil para aquecimento (N_i), resultando a expressão (4.1).

$$N_i \geq N_{ic} \quad (4.1)$$

Em que:

N_{ic} – Valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento do edifício, [kWh/m².ano];

N_i – Valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, [kWh/m².ano].

Esta exigência deve ser cumprida sem que sejam ultrapassados os valores limite de qualidade térmica da envolvente caracterizados nos parâmetros seguintes:

- Valor máximo do coeficiente de transmissão térmica superficial dos elementos da envolvente opaca (U_i), [W/(m².°C)];
- Valor máximo do fator solar dos vãos envidraçados horizontais e verticais (g_i).

Os valores de N_{ic} e de N_i , para edifícios novos, são determinados pelas expressões (4.2) e (4.3):

$$N_i = (Q_{tr,i_{ref}} + Q_{ve,i_{ref}} - Q_{gu,i_{ref}}) / A_p \quad (4.2)$$

Em que:

$Q_{tr,i_{ref}}$ - Transferência de calor por transmissão através da envolvente de referência na estação de aquecimento, [kWh];

$Q_{ve,i_{ref}}$ - Transferência de calor por ventilação de referência na estação de aquecimento, [kWh];

$Q_{gu,i_{ref}}$ - Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento, [kWh];

A_p - Área interior útil de pavimento do edifício medida pelo interior, [m²].

$$N_{ic} = (Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i}) / A_p \quad (4.3)$$

Em que:

$Q_{tr,i}$ - Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento através da envolvente dos edifícios, [kWh];

$Q_{ve,i}$ - Transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento, [kWh];

$Q_{gu,i}$ - Ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento resultantes dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes, [kWh];

A_p - Área interior útil de pavimento do edifício medida pelo interior, [m²].

As necessidades nominais de energia avaliam a transferência de calor entre o interior da habitação e o exterior. Esta pode efetivar-se de três formas: por transmissão da envolvente, por ventilação e por ganhos solares.

A transferência de calor é caracterizada pelo sentido do seu fluxo. O sentido é positivo quando o calor se perde para o exterior (por transmissão da envolvente e ventilação) e negativo quando o calor se transmite do exterior para o interior (ganhos solares). Tendo isto em conta, é necessário limitar superiormente as necessidades anuais de energia da habitação uma vez que o sentido do fluxo de calor é positivo para o exterior (perdas térmicas).

As principais diferenças no cálculo de N_i e de N_{ic} são relativas aos valores dos parâmetros climáticos e dos coeficientes de transmissão térmica superficial. Na determinação do valor máximo para as necessidades nominais de energia (N_i) utilizam-se os valores de referência definidos no REH [16] enquanto que na determinação do valor das necessidades nominais de energia da habitação (N_{ic}) os parâmetros climáticos são referentes à localização exata do edifício e os coeficientes de transmissão térmica devem ser calculados segundo pormenores construtivos da habitação.

• **Transferência de calor por transmissão da envolvente $Q_{tr,i}$**

A transferência de calor por transmissão da envolvente é definida na expressão (4.4).

$$Q_{tr,i} = 0.024.GD.H_{tr,i} \quad (4.4)$$

Sendo:

GD – Número de graus-dias de aquecimento [$^{\circ}\text{C}.\text{dia}$];

$H_{tr,i}$ – Coeficiente global de transferência de calor por transmissão, [$\text{W}/^{\circ}\text{C}$].

O coeficiente global de transferência de calor por transmissão representa a condutância através dos elementos da envolvente que está traduzida na expressão (4.5).

$$H_{tr,i} = H_{ext} + H_{enu} + H_{adj} + H_{ecs} \quad (4.5)$$

Sendo:

$$H_{ext} = \sum_i [U_i.A_i] + \sum_j [\psi_j.B_j] \quad [\text{W}/^{\circ}\text{C}] \quad (4.6)$$

$$H_{enu; adj} = b_{tr} \cdot (\sum_i [U_i.A_i] + \sum_j [\psi_j.B_j]) \quad [\text{W}/^{\circ}\text{C}] \quad (4.7)$$

$$H_{ecs} = \sum_i [U_{bf_i} \cdot A_i] + \sum_j [z_j \cdot P_j \cdot U_{bw_j}] \quad [\text{W}/^{\circ}\text{C}] \quad (4.8)$$

Em que:

H_{ext} – Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior, [$\text{W}/^{\circ}\text{C}$];

H_{enu} – Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis, [$\text{W}/^{\circ}\text{C}$];

H_{adj} - Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com edifícios adjacentes, [$\text{W}/^{\circ}\text{C}$];

H_{ecs} - Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o solo, [$\text{W}/^{\circ}\text{C}$];

U_i – Coeficiente de transmissão térmica do elemento i da envolvente, [$\text{W}/(\text{m}^2.\text{^{\circ}\text{C}}$);

A_i – Área do elemento i da envolvente, medida pelo interior, [m^2];

ψ_j – Coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica linear j , [$\text{W}/(\text{m}.\text{^{\circ}\text{C}}$);

B_j – Desenvolvimento linear da ponte térmica j , [m];

b_{tr} - Coeficiente de redução de perdas de determinado espaço não útil ou edifício adjacente;

U_{bf_i} – Coeficiente de transmissão térmica do pavimento enterrado i , [$\text{W}/(\text{m}^2.\text{^{\circ}\text{C}}$);

z_j – Profundidade média enterrada da parede em contacto com o solo j , [m];

P_j – Desenvolvimento total da parede em contacto com o solo j , medido pelo interior, [m];

U_{bw_j} – Coeficiente de transmissão térmica da parede em contacto com o solo j , [$\text{W}/(\text{m}^2.\text{^{\circ}\text{C}}$).

Tendo em conta que espaço útil é definido como todo o compartimento da habitação que se pressupõe aquecido, a garagem não pertence a estes espaços sendo considerado espaço não útil. Uma vez que está ao nível do piso térreo e com uma abertura de área elevada (portão), considera-se como um espaço fortemente ventilado sendo o valor de b_{tr} igual a **1**. Tal como a garagem, o pavimento térreo da restante habitação também se encontra ao mesmo nível, logo o parâmetro z_j recebe o valor de **0**.

Com base nestas considerações, juntamente com o facto de a moradia ser isolada, resulta a expressão:

$$H_{tr,i} = H_{ext} \quad (4.9)$$

- **Transferência de calor por ventilação $Q_{ve,i}$**

Para calcular as perdas de calor por renovação do ar, recorre-se à seguinte expressão:

$$Q_{ve,i} = 0,024.GD.H_{ve,i} \quad (4.10)$$

Onde:

$$H_{ve,i} = 0,34.R_{ph,i} A_p P_d \quad (4.11)$$

Em que:

$R_{ph,i}$ – Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento, [h^{-1}];

A_p – Área interior útil de pavimento, medida pelo interior, [m^2];

P_d – Pé direito médio da fração, [m];

$H_{ve,i}$ – Coeficiente global de transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento, [$W/^\circ C$].

No cálculo térmico será considerado um valor da taxa nominal de renovação do ar interior igual à mínima regulamentar, $0,4 h^{-1}$.

- **Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento $Q_{gu,i}$**

Os ganhos térmicos úteis resultam da conversão dos ganhos térmicos brutos pela seguinte expressão:

$$Q_{gu,i} = \eta_i.Q_{g,i} \quad (4.12)$$

Em que:

η_i – Fator de utilização dos ganhos térmicos;

$Q_{g,i}$ – Ganhos térmicos brutos [kWh].

Os ganhos térmicos brutos podem ser originados por fontes internas ou fonte externa. São considerados fontes internas qualquer fonte de calor situada no interior da habitação, sendo os mais comuns os ganhos de calor associado aos utilizadores, calor dissipado dos equipamentos e dos dispositivos de iluminação. O ganho térmico bruto por fonte externa resulta do aproveitamento da radiação solar incidente nos vãos envidraçados.

Assim, o cálculo dos ganhos térmicos brutos resulta na expressão:

$$Q_{g,i} = Q_{int,i} + Q_{sol,i} \quad (4.13)$$

Em que:

$$Q_{int,i} = 0,72 \cdot q_{int} \cdot M \cdot A_p \quad (4.14)$$

$$Q_{sol,i} = G_{sul} \cdot \sum_j [X_j \cdot \sum_n F_{s,i_{nj}} \cdot A_{s,i_{nj}}] \cdot M \quad (4.15)$$

Sendo:

$Q_{int,i}$ – Ganhos térmicos associados a fontes internas, [kWh];

$Q_{sol,i}$ – Ganhos térmicos associados à radiação solar incidente nos vãos envidraçados, [kWh];

q_{int} – Ganhos térmicos internos médios por unidade de superfície, iguais a 4, [W/m²];

M – Duração média da estação convencional de aquecimento, [mês];

G_{sul} – Valor médio mensal de energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a sul, por unidade de superfície, [kWh/m².mês];

X_j – Fator de orientação para as diferentes exposições;

$F_{s,i_{nj}}$ – Fator de obstrução do vão envidraçado n com a orientação j , [m²];

$A_{s,i_{nj}}$ – Área efetiva coletora de radiação solar do vão envidraçado na superfície n com orientação j , [m²];

j – Índice que corresponde a cada uma das orientações;

n – Índice que corresponde cada uma das superfícies com a orientação j .

Os valores respetivos ao fator de orientação X_j estão representados na tabela seguinte:

Tabela 4.1 – Fator de orientação para as diferentes exposições, X_j [65]

Orientação do vão (j)	N	NE/NW	S	SE/SW	E/W	H
X_j	0,27	0,33	1	0,84	0,56	0,89

O valor de $A_{s,i_{nj}}$ resulta da expressão:

$$A_{s,i_{nj}} = A_w \cdot F_g \cdot g_i \quad (4.16)$$

Sendo:

A_w – Área total do vão envidraçado, incluindo o vidro e caixilho, [m²];

F_g – Fração envidraçada do vão envidraçado;

g_i – Fator solar de Inverno.

A fração envidraçada refere-se ao tipo de caixilharia presente em cada vão envidraçado. Como no caso de estudo a caixilharia é igual para todos os vãos envidraçados, em alumínio, a parcela F_g é igual em todos os envidraçados com o valor de 0,70 [64].

O fator solar g_i significa o quociente entre a energia que entra pelo vão envidraçado e a energia de radiação que nela incide, pelo que, está relacionado com a composição do vidro e os dispositivos de proteção solar. O despacho 15793-K [64] considera que, para a estação de aquecimento, os dispositivos de oclusão estão totalmente abertos para maximizar o aproveitamento da radiação solar o que faz com que o fator solar seja calculado pela expressão (4.17).

$$g_i = F_{w,i} \cdot g_{\perp,vi} \quad (4.17)$$

Sendo

$F_{w,i}$ – Fator de correção da seletividade angular dos envidraçados que, para a estação de aquecimento, toma o valor 0,9;

$g_{\perp,vi}$ – Fator solar do vão envidraçado para uma incidência normal ao vão.

Por simplificação, considerou-se a composição do vidro como vidro duplo incolor 8 mm (exterior) + 5 mm (interior) uma vez que as tabelas presentes no despacho 15793-K [64] não contemplam o valor deste parâmetro para a composição do vidro presente da habitação (8mm + 6 mm). Posto isto, o valor de $g_{\perp,vi}$ é de 0,75.

Calculando o valor de g_i pela expressão (4.17) obtemos o resultado de 0,675.

Outros fatores a ter em conta nos ganhos térmicos é fator de obstrução dos vãos envidraçados $F_{s,ij}$ que representa a redução da radiação solar incidente nos envidraçados devido ao sombreamento permanente causado por obstruções. O valor é calculado pela expressão seguinte:

$$F_s = F_h \cdot F_o \cdot F_f \quad (4.18)$$

Em que

F_h – Fator de sombreamento do horizonte por obstruções exteriores ao edifício ou por outros elementos do edifício;

F_o – Fator de sombreamento por elementos horizontais adjacentes ao envidraçado;

F_f – Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado.

Os valores dos parâmetros F_h , F_o e F_f são obtidos de acordo as Tabela 4.2, Tabela 4.3 e Tabela 4.4, respetivamente. Uma vez que os vãos envidraçados são orientados em quatro quadrantes somente se apresentam os valores respetivos a essas orientações para Portugal Continental.

Tabela 4.2 – Valores do fator de sombreamento do horizonte F_h [64]

Ângulo do horizonte	Portugal Continental e RAA			
	Latitude de 39°			
	H	N	E/W	S
0°	1	1	1	1
10°	0,99	1	0,94	0,97
20°	0,95	1	0,84	0,90
30°	0,82	1	0,71	0,67
40°	0,67	1	0,61	0,50
45°	0,62	1	0,58	0,45

Tabela 4.3 - Valores do fator de sombreamento de elementos horizontais F_o [64]

Ângulo da pala horizontal	Portugal Continental e RAA		
	Latitude de 39°		
	N	E/W	S
0°	1	1	1
30°	1	0,84	0,73
45°	1	0,74	0,59
60°	1	0,64	0,44

Tabela 4.4 - Valores do fator de sombreamento de elementos verticais F_v [64]

Posição da pala	Ângulo	Portugal Continental e RAA			
		Latitude de 39°			
		N	E	W	S
Pala à esquerda	0°	1	1	1	1
	30°	1	1	0,87	0,93
	45°	1	1	0,8	0,88
	60°	1	1	0,72	0,83
Pala à direita	0°	1	1	1	1
	30°	1	0,87	1	0,93
	45°	1	0,8	1	0,88
	60°	1	0,72	1	0,83

Quando, para o cálculo de um fator de sombreamento, não existem obstruções esse fator toma o valor de 1. No entanto, para se contabilizar o efeito de sombreamento provocado pelo contorno do vão o produto entre F_o e F_f deve ser inferior ou igual a 0,9 [64].

Após se obter o valor do ganho térmico bruto converte-se esse valor em ganhos térmicos úteis, recorrendo-se ao fator de utilização dos ganhos térmicos η_i calculado pela seguinte expressão:

a) Se $\gamma \neq 1$ e $\gamma > 0$

$$\eta = \frac{1-\gamma^a}{1-\gamma^{a+1}} \quad (4.19)$$

b) Se $\gamma = 1$

$$\eta = \frac{a}{a+1} \quad (4.20)$$

c) Se $\gamma < 0$

$$\eta = \frac{1}{\gamma} \quad (4.21)$$

Em que:

$$\gamma = Q_g / (Q_{tr} + Q_{ve}) \quad (4.22)$$

Sendo a um parâmetro que traduz a influência da classe de inércia térmica.

A inércia térmica de um edifício é a capacidade de armazenamento de calor que o edifício apresenta dependendo da massa superficial útil de cada elemento. O seu valor calcula-se através da expressão (4.23).

$$I_t = (\sum_i Ms_i \cdot r \cdot S_i) / A_p \quad (4.23)$$

Em que:

Ms_i – Massa superficial útil do elemento i , [kg/m²];

r – Fator de redução da massa superficial útil;

S_i – Área da superfície interior do elemento i , [m²];

A_p – Área interior útil de pavimento, [m²].

A classe de inércia térmica está definida na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Classes de inércia térmica com respetivo valor de a [64]

Classe de Inércia Térmica	I_t [kg/m ²]	a
Fraca	$I_t < 150$	1,8
Média	$150 \leq I_t \leq 400$	2,6
Forte	$I_t > 400$	4,2

A fórmula para obtenção do valor da massa superficial útil de cada elemento depende da sua localização no edifício e da sua constituição, nomeadamente, a posição do isolamento térmico e o valor do revestimento superficial.

O valor de M_{si} corresponde à massa do elemento desde o isolamento térmico até à face interior exceto quando exista uma caixa de ar entre estas duas camadas, situação essa em que o valor adotado é igual à massa do elemento desde a caixa de ar até ao revestimento final interior.

A Tabela 4.6 indica os valores dos parâmetros necessários para obter o valor da inércia térmica, calculados segundo as regras do despacho 15793-K/2013 [64].

Tabela 4.6 – Resumo dos valores de cálculo da inércia térmica

Elemento	M_{si} [kg/m ²]	S_i [m ²]	r
Cobertura	10,20	101,10	1
Pavimento interior	110,15	15,76	0,75
Pavimento (sobre o solo e o exterior)	100,35	104,11	1
Parede exterior	9,6	114,71	1
Parede interior	19,2	74.325	1

No caso do pavimento interior o valor de r é 0,75 uma vez que uma das faces apresenta uma resistência superficial inferior a 0,14 m².°C/W e a outra face apresenta uma resistência superior a este valor (0,16 m².°C/W).

Utilizando a expressão (4.23) resulta uma inércia térmica de 128,39 Kg/m². De acordo com a Tabela 4.5, o edifício apresenta uma inércia térmica fraca e, por essa razão, o parâmetro a recebe o valor de **1,8**.

4.2.2. DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS DA HABITAÇÃO;

A habitação será a mesma para duas localizações distintas existindo parâmetros que são comuns para ambas as situações.

Os parâmetros a serem determinados são:

- O coeficiente global de transferência de calor por transmissão $H_{tr,i}$;
- O coeficiente global de transferência de calor por ventilação $H_{ve,i}$;
- Fator de obstrução do vão envidraçado F_s ;
- Área efetiva coletora de radiação solar do vão envidraçado A_s .

A determinação irá decorrer pela ordem acima descrita.

4.2.2.1. Coeficiente global de transferência de calor por transmissão $H_{tr,i}$

Este coeficiente depende da quantificação dos parâmetros U_i , A_i e B_j . No cálculo de U_i serão estudados os elementos da envolvente:

- Fachada opaca - zona corrente;
- Fachada opaca - zona do elemento estrutural;
- Cobertura;
- Vãos Envidraçados;
- Pavimento sobre espaços exteriores;
- Pavimento em contacto com o solo.

A determinação do coeficiente de transmissão térmica superficial é executada pela expressão:

$$U_i = 1 / (R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}) \quad (4.24)$$

Em que:

$$R_j = e_j / \lambda_j \quad (4.25)$$

sendo

R_j – Resistência térmica da camada j , [$m^2 \cdot ^\circ C/W$];

R_{si} – Resistência térmica interior, [$m^2 \cdot ^\circ C/W$];

R_{se} – Resistência térmica exterior, [$m^2 \cdot ^\circ C/W$];

e_j – Espessura da camada j , [m];

λ_j – Condutibilidade térmica do material presente na camada j , [$W/(m \cdot ^\circ C)$].

O coeficiente de transmissão térmica superficial de um elemento caracteriza a transferência de calor que ocorre entre os meios que o elemento em estudo separa. Ou seja, quanto maior for o valor de U pior qualidade térmica terá o elemento uma vez que a sua resistência térmica será menor, fazendo com que o calor mais facilmente se dissipe pela envolvente. A resistência térmica depende da condutibilidade térmica de cada material [64].

A condutibilidade térmica (λ) é uma propriedade intrínseca dos materiais definida pela quantidade de calor, por unidade de área que atravessa uma espessura unitária de um material, entre duas faces planas e paralelas, quando se estabelece uma diferença unitária de temperatura. Os seus valores foram obtidos em laboratório estando divulgados no livro de informação técnica de edifícios (ITE 50) publicado pelo LNEC de onde serão retirados para este projeto [61].

Outro dado a entrar no cálculo são as resistências térmicas superficiais. Estas traduzem a resistência que o ar apresenta junto aos revestimentos superficiais, consideradas como uma camada fictícia. O seu valor será maior quanto menor convecção existir, ou seja, quando ocorrer menos circulação de ar.

Os valores das resistências térmicas superficiais, R_{si} e R_{se} , descritos na Tabela 4.7 dependem da posição do elemento, caso seja vertical ou horizontal e, conseqüentemente, do sentido do fluxo de calor.

Tabela 4.7 – Valores das Resistências Térmicas Superficiais, R_{se} e R_{si} [64]

Sentido do fluxo de calor		Resistência térmica [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]	
		Exterior R_{se}	Interior R_{si}
Horizontal			0,13
Vertical	Ascendente	0,04	0,10
	Descendente		0,17

Na estação de aquecimento, para o cálculo dos coeficientes de transmissão térmica superficial, o fluxo de calor adota a direção perpendicular dos elementos da envolvente em análise, sendo considerados sempre no sentido do interior para o exterior, uma vez que a temperatura interior é superior à exterior. Quando o elemento em estudo for um pavimento, o fluxo de calor será vertical descendente enquanto que, se for cobertura, o sentido é vertical ascendente. No caso de elementos verticais, como as paredes, o fluxo de calor é horizontal.

Quando o elemento contém uma caixa de ar ventilada, o cálculo do parâmetro U apenas contempla as camadas desde a caixa de ar (inclusive, com $R=R_{si}$) até ao revestimento final interior. Considera-se R_{si} na caixa de ar em vez de R_{se} dado que o ar nessa camada se encontra com menor circulação do que no exterior, tendo um valor superior à resistência superficial exterior.

Para cada elemento construtivo enunciado anteriormente será apresentado um quadro com os parâmetros dos materiais a contabilizar no cálculo, acompanhado por uma figura ilustrativa da secção do elemento construtivo. Como a estrutura do contentor é corrugada, apresentando variações na sua espessura, será adotado, para cada elemento, a situação mais desfavorável a que corresponde os valores mínimos de espessura dos materiais.

Conhecidos os coeficientes de transmissão térmica superficial de toda a envolvente, será realizada uma comparação com os valores de referência e os valores máximos admissíveis presentes na Tabela 2.5 e Tabela 2.6, respetivamente, retirados da Portaria 349-B/2013 [19].

Coefficientes de Transmissão Térmica Superficial e respetiva Área

- **Fachada opaca - Zona Corrente**

As paredes exteriores são executadas em fachada ventilada, para um melhor comportamento higrotérmico, contendo uma caixa de ar ventilada. A Figura 4.1 apresenta o corte transversal do elemento onde os materiais numerados são os contabilizados para o cálculo. A Tabela 4.8 auxilia o cálculo com a descrição dessas camadas.

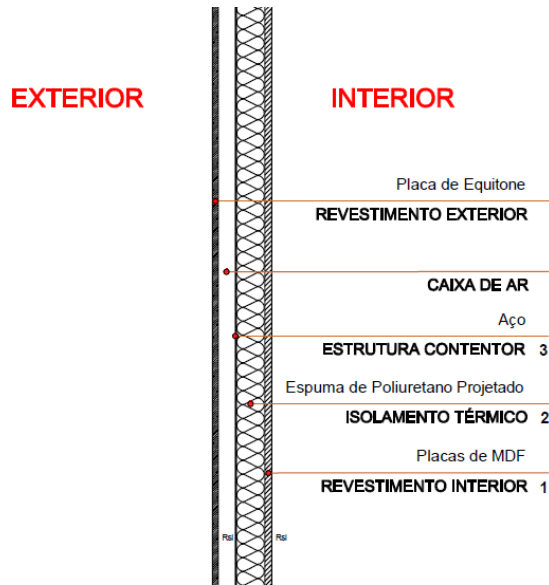


Figura 4.1 – Secção transversal da parede exterior

Tabela 4.8 – Características dos materiais implementados nas paredes exteriores

N.º	Material	Espessura [m]	Peso Volúmico [Kg/m ³]	Condutibilidade Térmica (λ) [W/(m.°C)]	Resistência Térmica [m ² .°C/W]
1	Placas de MDF	0,012	800	0,17	0,07
2	Espuma de Poliuretano Projetado	0,05	51	0,042	1,19
3	Aço Corten	0,0016	8000	50	3x10 ⁻⁵

O coeficiente de transmissão térmica U , calculado pela expressão (4.24), da zona corrente da parede exterior é de **0,66 W/(m².°C)**.

▪ **Fachada opaca – Zona do elemento estrutural**

O elemento estrutural que está em contacto com a fachada são os pilares. A diferença, relativamente à zona corrente, é a espessura da caixa de ar exterior e o acréscimo de uma camada de ar na zona interior para que os perfis de canto dos contentores fiquem ocultos pelo revestimento, tal como representa a Figura 4.2. A Tabela 4.29 indica as características dos materiais necessários para o cálculo de U .

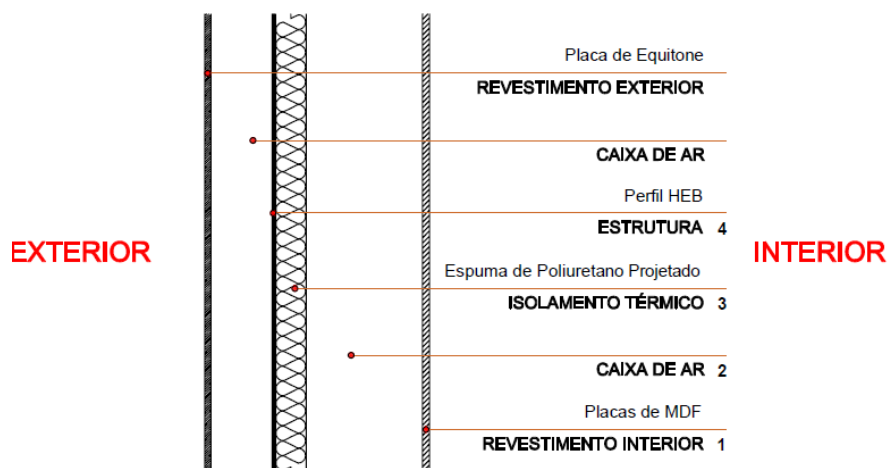


Figura 4.2 – Zona estrutural da parede exterior

Tabela 4.9 – Características dos materiais implementados na zona estrutural da parede exterior

N.º	Material	Espessura [m]	Peso Volúmico [Kg/m ³]	Condutibilidade Térmica (λ) [W/(m.°C)]	Resistência Térmica [m ² .°C/W]
1	Placas de MDF	0,012	800	0,17	0,07
2	Espaço de ar (Não ventilado)	0,19	-	-	0,18
3	Espuma de Poliuretano Projetado	0,05	51	0,042	1,19
4	Perfil HEB	0,0055	7800	50	1,1x10 ⁻³

Assim, a zona do elemento estrutural apresenta um coeficiente de transmissão térmica U de **0,59** W/(m².°C).

• **Cobertura**

Contrariamente ao resto dos elementos, a cobertura apresenta o isolamento térmico pelo exterior em painel sandwich. O teto falso da cobertura é composto por caixa de ar e 3 cm de lã de rocha para impedir a entrada de ar frio pelas pontes térmicas criadas na junção da cobertura com as paredes de fachada. Os materiais pertencentes à cobertura estão apresentados na Figura 4.13 e descritos na Tabela 4.10.

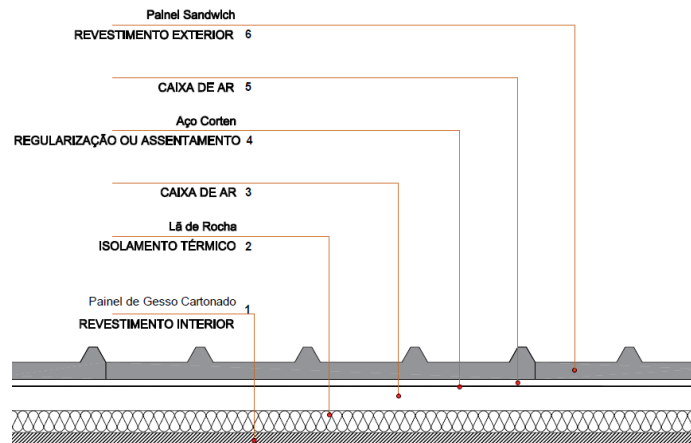


Figura 4.3 – Secção transversal do elemento de cobertura

Tabela 4.10 – Características dos Materiais implementados na cobertura

N.º	Material	Espessura [m]	Peso Volúmico [Kg/m³]	Condutibilidade Térmica (λ) [W/(m.°C)]	Resistência Térmica [m².°C/W]
1	Painel de gesso cartonado (Standard ou Hidrófugo)	0,015	680	0,25	0,06
2	Lã de rocha	0,03	20	0,045	0,67
3	Espaço de ar (não ventilado)	0,05	-	-	0,11
4	Aço Corten	0,002	8000	50	4x10 ⁻⁵
5	Espaço de ar (não ventilado)	0,015	-	-	0,16
6	Painel Sandwich	0,06	40	.037	1,62

Os valores das resistências térmicas da caixa de ar não ventilado são retirados diretamente do ITE50, dependendo da espessura da caixa.

Com estes materiais e respetiva disposição, a cobertura apresenta coeficiente de transmissão térmica superficial U de **0,36 W/(m².°C)**.

▪ **Vãos Envidraçados**

O ITE50 distingue o coeficiente de transmissão térmica superficial de acordo com:

- a utilização do edifício (somente diurna ou diurna e noturna);
- a existência de dispositivos de oclusão noturna;
- espessura lâmina de ar;
- o tipo de caixilharia.

Tratando-se de uma habitação, admite-se a existência de ocupação noturna em todos os espaços considerados úteis no qual os vãos envidraçados presentes nas fachadas apresentam caixilharia de alumínio com corte térmico. Como suplemento, os envidraçados são todos protegidos exteriormente por um estore com lâminas horizontais metálicas que apresenta baixa permeabilidade ao ar (quando fechado).

O valor de U é calculado recorrendo à Tabela 4.11 retirada do ITE50 [61].

Tabela 4.11 – Coeficiente de transmissão térmica superficial em vãos envidraçados [61]

Tipo de vão envidraçado	Número de vidros	Espessura da lâmina de ar	U_{wdn}
			[W/(m ² .°C)]
Simples (1 janela)	2 (vidro duplo)	6	2,5
		16	2,2

Como a espessura de lâmina de ar de 10 mm não está presente no quadro, recorre-se a uma interpolação matemática o que resulta num valor de U_{wdn} igual **2,4 W/(m².°C)** [61].

• **Pavimento sobre Espaço Exterior**

O pavimento da habitação é revestido interiormente por piso flutuante e cerâmica em zonas húmidas pelo que o piso que o contentor inclui (de raiz) apenas será utilizado como estrutura de suporte e dissipação de cargas.

A espessura da caixa de ar é variável visto que o pavimento do contentor é constituído por vigas metálicas espaçadas entre si estando revestido a madeira na parte superior como demonstra a Figura 2.8.

Uma vez que o revestimento interior se altera consoante o compartimento onde está aplicado, somente se irá avaliar a situação mais desfavorável. Por outras palavras, será avaliado o pavimento do compartimento que apresente um revestimento com propriedades térmicas inferiores, ou seja, a casa de banho da suite (pavimento cerâmico). O corte transversal do elemento está representado na Figura 4.4 e caracterizado na Tabela 4.12.

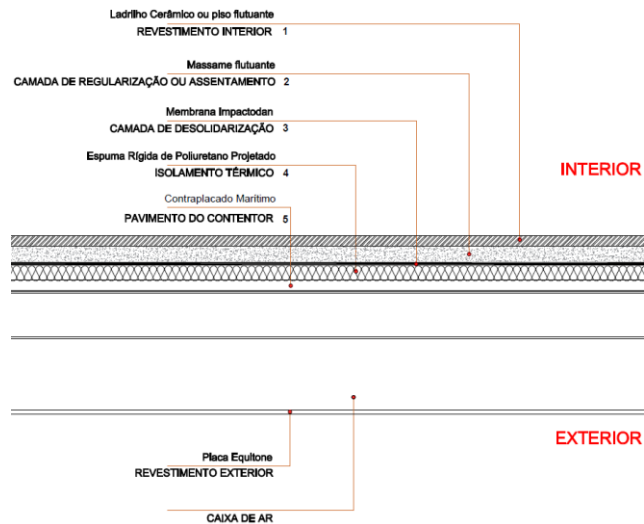


Figura 4.4 – Composição do Pavimento sobre espaço exterior

Tabela 4.12 – Características do pavimento sobre espaço exterior

N.º	Material	Espessura [m]	Peso Volúmico [Kg/m ³]	Condutibilidade Térmica (λ) [W/(m.°C)]	Resistência Térmica [m ² .°C/W]
1	Revestimento cerâmico	0,010	2300	1,3	7,7x10 ⁻³
2	Betonilha de regularização ou assentamento	0,04	1900	1,3	0,03
3	Camada de des-solidarização	0,005	270	0,10	0,05
4	Espuma rígida de poliuretano	0,04	50	0,040	1
5	Madeira	0,028	700	0,17	0,16

A resistência térmica do pavimento é de 1,59 m².°C/W, logo o coeficiente de transmissão térmica superficial U é de **0,63** W/(m².°C).

• **Pavimento em contacto com o Solo**

Apesar de o elemento conter a mesma disposição de elementos apresentada na Figura 4.4, o método de cálculo para o coeficiente em estudo no pavimento térreo é diferente. Para se conhecer o valor de U é necessário determinar três parâmetros e ainda o tipo de isolamento térmico, podendo ser contínuo ou descontínuo. A solução do tipo de isolamento determina qual o quadro a consultar no despacho 15793-K/2013 [64] que, por sua vez, indica o valor do coeficiente de transmissão térmica superficial do elemento.

Os três parâmetros são:

- Dimensão característica do pavimento B' ;
- Resistência térmica do pavimento R_f , excluindo as resistências térmicas superficiais;
- Diferença de cotas entre o terreno e o pavimento z .

O pavimento do nível térreo da habitação não está em contacto com o solo, visto apresentar uma caixa de ar. No entanto, considera-se que se encontra ao mesmo nível do terreno ($z = 0$) uma vez que este apresenta uma inércia térmica estável.

O parâmetro B' calcula-se pela seguinte expressão:

$$B' = \frac{A_p}{0,5.P} \tag{4.26}$$

Em que:

A_p – Área interior útil de pavimento, medida pelo interior [m^2];

P – Perímetro exposto, medido pelo interior [m].

Com base nas plantas do projeto, os valores da área útil do pavimento térreo (A_p) e o respetivo perímetro (P) são 65,15 m^2 e 40,69 m, respetivamente.

Substituindo os valores na equação (4.26) resulta que $B' = 3,20$ m.

O pavimento térreo apresenta as mesmas camadas que o pavimento descrito na Tabela 4.12 pelo que a resistência térmica R_f é de 1,25 ($m^2 \cdot ^\circ C$)/W.

Sendo o isolamento contínuo em todo o pavimento, consulta-se a tabela 03 do despacho 15793-K [64] que está, em parte, representada na Tabela 4.13.

Tabela 4.13 – Coeficiente de transmissão térmica de pavimentos em contacto com o solo U_{bf} [64]

B'	$z \leq 0,5$ m		
	R_f [($m^2 \cdot ^\circ C$)/W]		
	0,5	1	2
3	0,65	0,57	0,32
4	0,57	0,52	0,3
6	0,47	0,43	0,27

Recorrendo a uma interpolação matemática, obteve-se o valor de U_{bf} igual a 0,50 W/($m^2 \cdot ^\circ C$).

A Tabela 4.14 compara todos os coeficientes de transmissão térmica superficial calculados anteriormente com os valores de referência e valores máximos admissíveis presentes na Portaria 349-B [19].

Tabela 4.14 – Comparação dos valores calculados de U com U_{ref} e $U_{máx}$

Elemento	U [W/(m ² .°C)]	U_{ref} [W/(m ² .°C)]	U_{máx} [W/(m ² .°C)]
Fachada opaca - Zona Corrente	0,66	0,50	1,75
Fachada opaca – Zona Estrutural	0,59		
Cobertura	0,36	0,40	1,25
Vãos Envidraçados (U_{wdn})	2,4	2,90	-
Pavimento sobre espaço exterior	0,63	0,40	1,25
Pavimento em contacto com o solo (U_{bf})	0,50	0,50	

Os valores dos coeficientes U calculados devem ser próximos dos valores de referência, admitindo-se uma pequena variação, e inferiores aos máximos admissíveis. Todos eles cumprem com esse requisito e são idênticos aos de referência o que comprova que uma casa em contentor pode facilmente atingir o mesmo patamar de qualidade térmica do que as casas construídas pelo método tradicional.

A zona estrutural da parede tem um valor inferior ao da zona corrente visto que a espessura do perfil HEB é superior à espessura da chapa do contentor o que aumenta a resistência térmica do elemento.

Por fim, recorrendo-se aos pormenores da habitação, calcula-se os valores das áreas de cada elemento da envolvente resultando a Tabela 4.15.

Tabela 4.15 – Coeficientes de transmissão térmica superficial de cada elemento e respetiva área

Elemento	U_i [W/(m ² .°C)]	A_i [m ²]	$U_i \cdot A_i$ [W/°C]
Fachada opaca – Zona corrente	0,66	111,34	95,38
Fachada opaca – Zona estrutural	0,59	4,84	3,37
Cobertura	0,36	101,10	42,35
Vãos envidraçados (U_{wdn})	2,40	55,19	132,46
Pavimento sobre o exterior	0,63	38,96	24,45
Pavimento em contacto com o solo (U_{bt})	0,50	65,15	32,58

▪ Perdas Térmicas Lineares

As perdas térmicas lineares são, como o nome indica, as perdas térmicas que resultam das ligações entre os elementos estruturais de fachada que são desenvolvidas ao longo de uma linha reta.

A quantificação das perdas térmicas lineares é executada pela multiplicação dos coeficientes de transmissão térmica linear Ψ , representados na Tabela 2.8, pelo seu desenvolvimento.

As ligações existentes entre os elementos construtivos presentes na habitação do caso de estudo são:

- Fachada com pavimento térreo;
- Fachada com pavimento sobre o exterior, isolamento sobre a estrutura de pavimento;
- Fachada com varanda;
- Fachada com cobertura, isolamento sobre a estrutura de cobertura;
- Duas paredes verticais em ângulo saliente;
- Fachada com caixilharia sem contacto entre caixilharia e isolamento térmico.

Apesar de existir um pavimento intermédio, não existe uma ligação entre a fachada e esse elemento que se considere uma ponte térmica uma vez que todas as fachadas da habitação são descontínuas. A zona da caixa de estore está colocada junto à cobertura, mais concretamente, na zona da caixa de ar inferiormente ao painel sandwich não existindo ponte térmica.

A Tabela 4.16 apresenta o coeficiente de transmissão térmica linear e o respetivo desenvolvimento linear.

Tabela 4.16 – Coeficiente de transmissão térmica linear e respetivo desenvolvimento linear

Ligação	Ψ [W/m.°C]	B [m]	$\Psi \cdot B$ [W/°C]
Fachada com pavimento térreo	0,80	61,54	49,23
Fachada com pavimento sobre o exterior	0,10	9,12	0,91
Fachada com varanda	0,60	4,71	4,71
Fachada com Cobertura	1	61,72	61,72
Duas paredes verticais em ângulo saliente	0,10	30,00	42,50
Fachada com caixilharia	0,25	91,01	91,01

Valor do Coeficiente global de transferência de calor por transmissão H_{tri}

Sabendo que o valor de H_{tri} é determinado pela expressão (4.6), é necessário somar todos valores referentes à última coluna da Tabela 4.15 e da Tabela 4.16 obtendo-se os valores seguintes:

$$\sum_i [U_i \cdot A_i] = 301,45$$

$$\sum_j [\psi_j \cdot B_j] = 144,17$$

Somando as duas parcelas obtém-se:

$$H_{tr,i} = 445,62 \text{ W/°C}$$

4.2.2.2. Coeficiente global de transferência de calor por ventilação $H_{ve,i}$

O coeficiente $H_{ve,i}$ quantifica a transferência de calor que a habitação permite dissipar devido à sua própria ventilação.

Como referido anteriormente, para o cálculo das perdas térmicas por renovação de ar considerou-se que a taxa nominal de renovação do ar interior (R_{ph}) é de $0,4 \text{ h}^{-1}$, valor de referência, levando a que $H_{ve,i}$ seja igual a $H_{ve,i,ref}$.

Substituindo os parâmetros A_p e P_d da equação (4.11) pelos valores respetivos de $119,67 \text{ m}^2$ e $2,50 \text{ m}$ resulta:

$$H_{ve,i} = 0,34 \cdot 0,4 \cdot 119,67 \cdot 2,50 = 40,69 \text{ W/°C}$$

4.2.2.3. Parâmetros referentes ao vão envidraçado: F_s e A_s

Para uma melhor organização do trabalho, os envidraçados da moradia, que engloba portas e janelas, são identificados de acordo com a seguinte nomenclatura:

$$V_{a,b} X$$

Sendo:

V – Vão envidraçado;

a – Piso onde está situado o vão envidraçado, podendo ser 0 ou 1;

b – Número do vão envidraçado por orientação, com sentido crescente da esquerda para a direita e da posição anterior para a posterior;

X – Orientação do vão envidraçado, podendo ser Norte, Sul, Este ou Oeste.

A Figura 4.5 e a Figura 4.6 identificam os elementos de vidro da moradia, segundo esta nomenclatura, no piso 0 e 1º piso, respetivamente.

Uma vez que já são conhecidos os valores de F_g e g_i , para o cálculo da área efetiva coletora (A_s) apenas falta conhecer a área total do vão envidraçado incluindo o caixilho (A_w). Os valores de A_w são obtidos, por medição, em plantas e alçados da moradia.

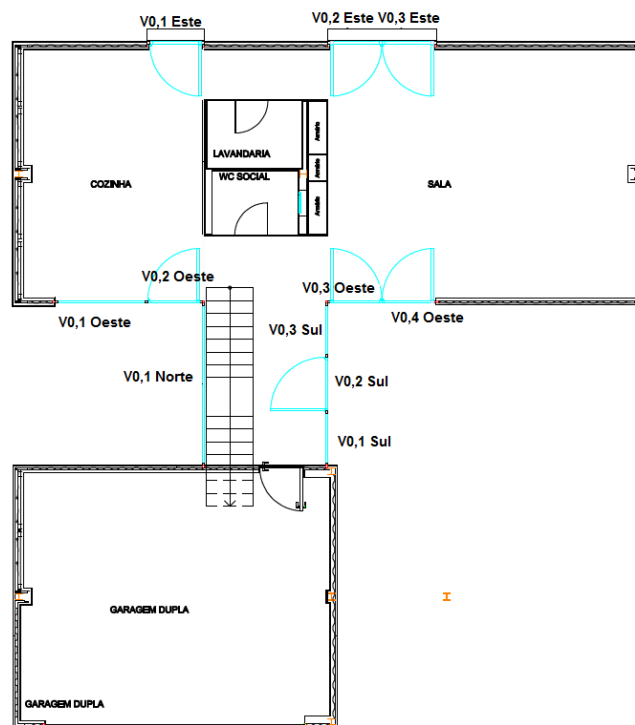


Figura 4.5 – Identificação dos vãos envidraçados piso 0

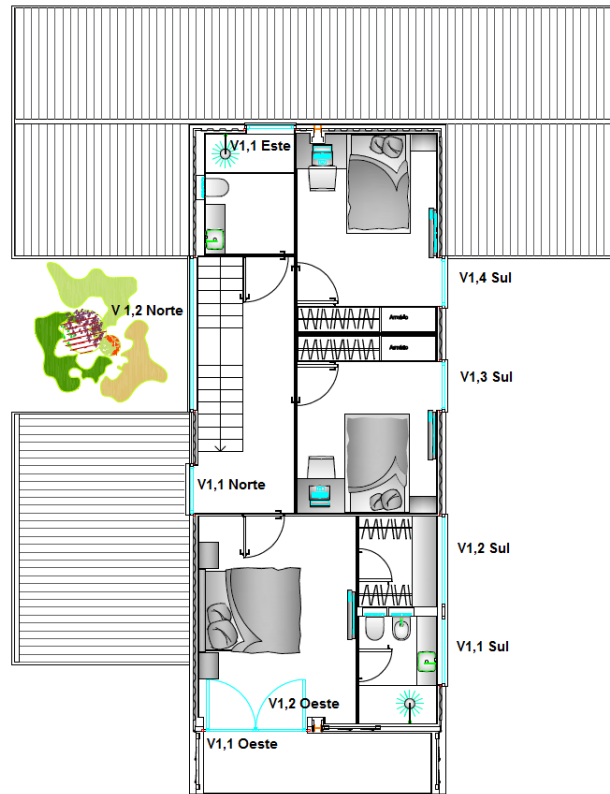


Figura 4.6 – Identificação dos vãos envidraçados piso 1

A Tabela 4.17 e a Tabela 4.18 apresentam os valores dos parâmetros necessários para o cálculo, por piso e o respetivo valor da área efetiva coletora determinado pela expressão (4.16).

Tabela 4.17 – Área efetiva coletora dos vãos envidraçados do piso 0

Vão Envidraçado	A_w [m ²]	F_g	g_i	A_s [m ²]
V _{0,1} Norte	7,88			3,72
V _{0,1} Este	2,75			1,30
V _{0,2} Este				
V _{0,3} Este				
V _{0,1} Sul	2,63			1,24
V _{0,2} Sul		0,70	0,68	
V _{0,3} Sul				
V _{0,1} Oeste	4,5			2,13
V _{0,2} Oeste				
V _{0,3} Oeste	2,63			1,24
V _{0,4} Oeste				

Tabela 4.18 - Área efetiva coletora dos vãos envidraçados do piso 1

Vão Envidraçado	A_w [m ²]	F_g	g_i	A_s [m ²]
V _{1,1} Norte	2,63			1,24
V _{1,2} Norte	1,58			0,74
V _{1,1} Este	2,63			1,24
V _{1,1} Sul	1,36			0,64
V _{1,2} Sul	0,98	0,70	0,68	0,47
V _{1,3} Sul				
V _{1,4} Sul	2,63			1,24
V _{1,1} Oeste				
V _{1,2} Oeste				

Os fatores de sombreamento fundamentais para o cálculo do fator de obstrução são calculados vão a vão. Como não se conhece o local de implantação do edifício, considera-se que o fator de sombreamento do horizonte (F_h) difere de 1 quando a obstrução a um envidraçado é causada por um elemento do edifício, como é o caso de, por exemplo, $V_{0,1}$ Oeste e $V_{0,2}$ Oeste.

Os valores dos fatores de sombreamento estão compreendidos entre 0 e 1 e dependem do valor do ângulo α que corresponde ao ângulo entre o centro do vão e o elemento de sombreamento. O valor de α é diferente para todos os fatores de sombreamento. A sua forma de obtenção está representada Figura 4.7.

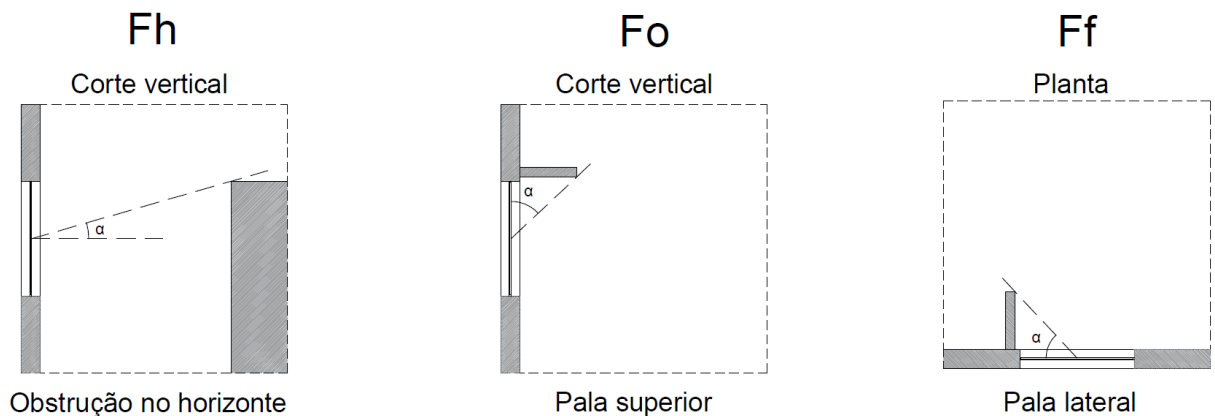


Figura 4.7 – Método de obtenção do ângulo α , para cada fator [64]

Considerou-se que, sempre que o valor de α se apresente superior a 60° (máximo valor tablado), o valor do respetivo fator corresponde ao valor de $\alpha=60^\circ$. O seu objetivo é tornar o cálculo próximo da realidade porque se for considerado o valor do fator de sombreamento igual a 1 seria transmitida a ideia de que não existe obstrução, o que é desajustado do projeto. Quando α é menor do que 60° e não está representado nas Tabela 4.2, Tabela 4.3 e Tabela 4.4 recorre-se a uma interpolação matemática.

São nove os envidraçados que apresentam obstruções no qual os onze restantes apresentam valor de F igual a 0,9. A Tabela 4.19 e a Tabela 4.20 demonstram os fatores dos envidraçados. Os respectivos valores de ângulo estão presentes no anexo A3.

Tabela 4.19 – Fator de obstrução dos vãos envidraçados do piso 0

Vão Envidraçado	Fatores de Sombreamento			Fator de obstrução F_s
	F_h	F_o	F_f	
V _{0,1} Norte				
V _{0,1} Este				
V _{0,2} Este	1	1	1	0,90
V _{0,3} Este				
V _{0,1} Sul				
V _{0,2} Sul	1	0,44	0,83	0,37
V _{0,3} Sul				
V _{0,1} Oeste	0,71	1	0,72	0,51
V _{0,2} Oeste				
V _{0,3} Oeste	1	0,64	1	0,64
V _{0,4} Oeste				

Tabela 4.20 - Fator de obstrução dos vãos envidraçados do piso 1

Vão envidraçado	Fatores de sombreamento			Fator de obstrução F_s
	F_h	F_o	F_f	
V _{1,1} Norte				
V _{1,2} Norte				
V _{1,1} Este				
V _{1,1} Sul	1	1	1	0,90
V _{1,2} Sul				
V _{1,3} Sul				
V _{1,4} Sul				
V _{1,1} Oeste	1	0,74	0,86	0,64
V _{1,2} Oeste	1	0,74	0,81	0,60

Como já se conhecem os valores dos parâmetros F_s e A_s é possível conhecer a parcela $\sum_j [X_j \cdot \sum_n F_{s,i_{nj}} \cdot A_{s,i_{nj}}]$. da equação (4.15). A Tabela 4.21 reúne os parâmetros dessa mesma parcela.

Tabela 4.21 – Resumo dos valores de F_s e A_s

Vão envidraçado	X_j	Área Efetiva Coletora A_s [m ²]	Fator de Obstrução F_s	$X_j \cdot \sum F_{s,i_j} \cdot A_{s,i_j}$ [m ²]
V _{0,1} Norte		3,721		
V _{1,1} Norte	0,27	1,240		1,39
V _{1,2} Norte		0,744		
V _{0,1} Este		1,299	0,90	
V _{0,2} Este	0,56			2,53
V _{0,3} Este				
V _{1,1} Este		1,240		
V _{0,1} Sul				
V _{0,2} Sul			0,37	
V _{0,3} Sul				
V _{1,1} Sul	1	0,644		4,61
V _{1,2} Sul		0,465		
V _{1,3} Sul			0,90	
V _{1,4} Sul		1,240		
V _{0,1} Oeste		2,126	0,51	
V _{0,2} Oeste				
V _{0,3} Oeste	0,56			2,71
V _{0,4} Oeste		1,240	0,64	
V _{1,1} Oeste				
V _{1,2} Oeste			0,60	

Somando os valores da última coluna da Tabela 4.21 resulta:

$$X_j \cdot \sum F_{s,i_j} \cdot A_{s,i_j} = 11,24 \text{ [m}^2\text{]}$$

4.2.3. DESEMPENHO TÉRMICO DA HABITAÇÃO NA CIDADE DO PORTO

Como os parâmetros térmicos da habitação e do local já são todos conhecidos, basta recorrer às fórmulas indicadas na metodologia de cálculo do presente capítulo para determinar as necessidades nominais de energia anuais (N_{ic}) e o seu valor máximo (N_i).

Os valores de $Q_{tr,i}$, $Q_{ve,i}$ e $Q_{gu,i}$ e os seus homólogos de referência irão ser calculados de seguida, separadamente.

A Tabela 4.22 resume os dados já conhecidos e os dados de referência para o cálculo de N_i facilitando a compreensão da inserção de dados nas expressões matemáticas.

Tabela 4.22 -Tabela resumo dos Parâmetros relativos à habitação no Porto

Valor	Parâmetros							
	GD [°C]	M [meses]	G_{sul} [kWh/m ² por mês]	$H_{tr,i}$ [W/°C]	$H_{ve,i}$ [W/°C]	$X_j \cdot \sum_n F_{s,i_{nj}} \cdot A_{s,i_{nj}}$ [m ²]	a	η_{ref}
Valor de estudo	1108	6,02		445,62		11,24	1,8	-
			130		40,69			
Valor de referência	1250	6,20		447,70		-	-	0,60

Não existe valor de referência para $X_j \cdot \sum_n F_{s,i_{nj}} \cdot A_{s,i_{nj}}$ uma vez que o método de cálculo de $Q_{sol,i_{ref}}$ difere do método de $Q_{sol,i}$.

O valor de $H_{tr,i_{ref}}$ obteve-se através da mesma equação de cálculo que $H_{tr,i}$ substituindo apenas os coeficientes de transmissão térmica pelos valores de referência (U_{ref} e ψ_{ref}).

O REH [16] considera que o fator de utilização de ganhos térmicos é igual a 0,60, para o calculo de N_i .

▪ **Transferência de calor por transmissão $Q_{tr,i}$ e $Q_{tr,i_{ref}}$**

Alterando os parâmetros por valores na fórmula (4.4) obtém-se:

$$Q_{tr,i} = 0,024 \cdot 1108 \cdot 445,62 = 11849,93 \text{ [kWh]}$$

$$Q_{tr,i_{ref}} = 0,024 \cdot 1250 \cdot 447,70 = 13431 \text{ [kWh]}$$

Este valor significa que a habitação perde 11849,93 kWh de energia por transmissão.

▪ **Transferência de calor por ventilação $Q_{ve,i}$ e $Q_{ve,i_{ref}}$**

Com a inserção dos valores dos parâmetros de A_p , P_d e $R_{ph,i}$ na expressão (4.10), o valor da transferência de calor por ventilação é de:

$$Q_{ve,i} = 0,024 \cdot 1108 \cdot 40,69 = 1082,03 \text{ [kWh]}$$

$$Q_{ve,i_{ref}} = 0,024 \cdot 1250 \cdot 40,69 = 1220,70 \text{ [kWh]}$$

Do mesmo modo que o ponto anterior, a habitação dissipa 1082,03 kWh de energia devido a ventilação.

▪ **Ganhos térmicos úteis $Q_{gu,i}$ e $Q_{gu,i_{ref}}$**

Para o cálculo dos ganhos térmicos brutos, a parcela referente ao ganhos associados a fontes internas ($Q_{int,i}$ e $Q_{int,i_{ref}}$) obteve o valor de:

$$Q_{int,i} = 0,72 \cdot 4 \cdot 6,02 \cdot 119,67 = 2074,79 \text{ [kWh]}$$

$$Q_{int,i_{ref}} = 0,72 \cdot 4 \cdot 6,2 \cdot 119,67 = 2136,83 \text{ [kWh]}$$

Por outro lado, a parcela relativa a aos ganhos externos ($Q_{sol,i}$) adquiriu um valor de:

$$Q_{sol,i} = 130 \cdot 11,24 \cdot 6,02 = 8796,42 \text{ [kWh]}$$

Para obter o valor homólogo de referência a portaria 349-B recomenda a utilização da expressão:

$$Q_{sol,i_{ref}} = G_{sul} \cdot 0,182 \cdot 0,20 A_p \quad \text{[kWh]} \quad (4.27)$$

Assim, o valor a ser utilizado no cálculo do valor máximo das necessidades anuais de energia é:

$$Q_{sol,i_{ref}} = 130 \cdot 0,182 \cdot 0,20 \cdot 119,67 = 566,28 \text{ [kWh]}$$

Ao comparar estes dois resultados verifica-se que a habitação apresenta um ganho térmico por radiação solar bastante superior ao que o regulamento prevê como referência sendo um aspeto positivo da moradia. Esta diferença pode estar relacionada com a área dos vãos envidraçados da moradia.

O valor dos ganhos térmicos brutos é igual à soma das duas parcelas determinadas precedentemente:

$$Q_{g,i} = 2074,79 + 8796,42 = 10871,21 \text{ [kWh]}$$

$$Q_{g,i_{ref}} = 2136,83 + 566,28 = 2703,11 \text{ [kWh]}$$

A transição de ganhos brutos para ganhos úteis é efetuada pelo fator de utilização que é necessário calcular. No entanto, determina-se primeiro γ pela expressão (4.22):

$$\gamma = 10871,21 / (11849,93 + 1082,03) = 0,84$$

Como γ é positivo e diferente de 1, o fator de utilização é calculado pela expressão (4.19).

Considerando o parâmetro a relativo à classe de inércia térmica da habitação o valor é:

$$\eta = (1 - 0,84^{1,8}) / (1 - 0,84^{2,8}) = 0,70$$

Por fim, o valor dos ganhos térmicos úteis da habitação é de:

$$Q_{gu,i} = 0,70 \cdot 10871,21 = 7609,85 \text{ [kWh]}$$

$$Q_{gu,i_{ref}} = 0,60 \cdot 2703,11 = 1621,87 \text{ [kWh]}$$

▪ **Cálculo das necessidades nominais anuais de energia (N_{ic}) e respetivo valor máximo (N_i)**

Dado que já são conhecidos todos os parâmetros obrigatórios para a determinação do valor das necessidades nominais anuais de energia para a habitação localizada na zona do Porto é possível determinar se a moradia está de acordo com os requisitos energéticos impostos.

Utilizando as expressões (4.2) e (4.3), os valores de N_i e N_{ic} são:

$$N_{ic} = (11849,93 + 1082,03 - 7609,85) / 119,67 = 44,47 \text{ [kWh/m}^2 \cdot \text{ano]}$$

$$N_i = (13431 + 1220,70 - 1621,87) / 119,67 = 108,13 \text{ [kWh/m}^2 \cdot \text{ano]}$$

Logo,

$$N_i > N_{ic}$$

De acordo com a legislação em vigor em Portugal, se a habitação estiver situada no Porto garante um bom comportamento térmico uma vez que as perdas térmicas da habitação correspondem a, aproximadamente, 41% da perda térmica máxima admissível.

4.2.4. DESEMPENHO TÉRMICO DA HABITAÇÃO NA CIDADE DE REGUENGOS DE MONSARAZ

O método utilizado na determinação do comportamento térmico da habitação em Reguengos de Monsaraz é igual ao utilizado para a cidade do Porto. Assim sendo, os valores dos parâmetros a introduzir nas expressões estão indicados na Tabela 4.23.

Tabela 4.23 – Tabela resumo dos Parâmetros relativos à habitação em Reguengos de Monsaraz

Valor	Parâmetros							
	GD [°C]	M [meses]	G_{sul} [kWh/m ² por mês]	$H_{tr,i}$ [W/°C]	$H_{ve,i}$ [W/°C]	$X_j \cdot \sum_n F_{s,i \eta_j} \cdot A_{s,i \eta_j}$ [m ²]	a	η_{ref}
Valor de estudo	1022	5,07	150	445,62	40,69	11,24	1,8	-
Valor de referência	1150	5,30		447,70		-	-	0,60

Comparando os dados entre a Tabela 4.22 e Tabela 4.23 percebe-se que os valores dos parâmetros climáticos da cidade de Reguengos de Monsaraz são inferiores à cidade do Porto e, como tal, estima-se que as necessidades nominais anuais de energia serão inferiores.

Uma vez que o processo é igual ao formalizado no caso da cidade do Porto somente se indicará, na Tabela 4.24, os valores finais dos cálculos executados.

Tabela 4.24 – Valores relativos à transferência de calor e ganhos térmicos da habitação

Valor	Parâmetros					
	$Q_{tr,i}$ [kWh]	$Q_{ve,i}$ [kWh]	$Q_{int,i}$ [kWh]	$Q_{sol,i}$ [kWh]	$Q_{g,i}$ [kWh]	$Q_{gu,i}$ [kWh]
Valor de estudo	10930,17	998,04	1747,37	8548,02	10295,39	7206,78
Valor de referência	12356,52	1123,04	1826,64	653,40	2480,04	1488,02

Os ganhos térmicos úteis foram determinados com um fator de utilização (η) de 0,70 dado que γ obteve o valor 0,86.

As necessidades nominais anuais de energia terão de apresentar um valor inferior a:

$$N_i = (12356,52 + 1123,04 - 1488,02) / 119,67 = 100,21 \text{ [kWh/m}^2\text{.ano]}$$

A habitação, sobre os requisitos estabelecidos pelo REH [16], obteve um valor de necessidades nominais anuais de energia de:

$$N_{ic} = (10930,17 + 998,04 - 7206,78) / 119,67 = 39,45 \text{ [kWh/m}^2\text{.ano]}$$

Como o valor das necessidades nominais anuais de energia é cerca de 39% do valor máximo, a moradia caso fosse situada em Reguengos de Monsaraz apresentaria um bom comportamento térmico.

4.3. DESEMPENHO ACÚSTICO

O compartimento a ser analisado deve ser o mais desfavorável em termos acústicos, ou seja, aquele cujo elemento de fachada apresente uma maior percentagem de área translúcida (propício a maior passagem de som). Se essa área for superior a 60 % da área do elemento então, $D_{2m,nT,w}$ deve ser acrescido do termo de adaptação C (Ruído rosa) ou C_{tr} (ruído tráfico urbano), conforme o tipo de ruído dominante na emissão, esclarecido na Tabela 4.25. Caso se verifique esta condição o elemento será estudado para os dois tipos de ruído uma vez que não se sabe qual o ruído predominante no local da habitação.

Se o comportamento acústico do compartimento crítico cumprir com a lei em vigor então todos os restantes compartimentos da habitação estarão de acordo com a legislação.

A caracterização do isolamento a sons aérea pode ser efetuada por dois métodos:

- Metodologia de caracterização experimental;
- Modelos simplificados de previsão de isolamentos sonoro.

A caracterização experimental é executada em laboratório ou “in situ”, mas, uma vez que a habitação não está construída, somente se pode prever o comportamento acústico do edifício por modelos simplificados.

Tabela 4.25 – Tipo de fonte sonora consoante o termo de adaptação

Tipo de Fonte Sonora	Termo de adaptação Espetral
Atividades quotidianas (conversa�o, música, rádio, TV)	
Crianças a brincar	
Tráfego ferroviário de m�dia e alta velocidade	
Tráfego rodoviário a velocidade > 80 km/h	C
Aeronave a jato, a curta distância	
R�ido industrial de m�dias e altas frequências	
R�ido Industrial de m�dias e altas frequências	
Tráfego rodoviário urbano	
Tráfego ferroviário de baixa velocidade	
Aeronave propulsionada a hélice	
Aeronave a jato, a longa distância	C_{tr}
Discotecas	
R�ido industrial de baixas e m�dias frequências	

Os modelos simplificados de previsão do isolamento sonoro são baseados nos seguintes métodos:

- Método Elasto-dinâmico (Lei da Massa ou Frequência);
- Método baseado na norma EN 12354:2000;
- Método da Análise Modal;
- Método dos elementos finitos;
- Método de Análise Experimental.

Na presente disserta o optou-se pela metodologia baseada na norma europeia EN 12354-3:2000 [66] que, juntamente com a norma NP EN ISO 717-1:2013 [67], especifica o método de cálculo para determina o do isolamento a sons de condu o aérea provenientes do exterior, no domínio da frequência.

O estudo do desempenho acústico   limitado uma vez que não existe dados relativos ao comportamento acústico de habita es em contentor. Para se obter o desempenho acústico da habita o, segundo o método escolhido,   necessário conhecer a curva do  ndice de redu o sonora do elemento. Como tal, após uma procura exaustiva, considera-se que o  ndice de redu o sonora das paredes exteriores   equivalente ao  ndice de redu o sonora de um painel sandwich em l  de rocha com a sec o presente na Figura 4.8 e as características da Tabela 4.26.

Esta análise não   muito conservativa dado que, para isolamento acústico, a l  de rocha apresenta melhores resultados quando comparado com o poliuretano projetado implementado na habita o. No entanto, dado que o elemento   corrugado existe diferentes varia es de espessura de isolamento o que pode melhorar o desempenho acústico da moradia.



Figura 4.8 – Secção transversal do painel sandwich considerado [68]

Tabela 4.26 – Características das camadas do painel sandwich [68]

Camada	Espessura (mm)
Chapa de aço	1,45
Isolamento térmico SeaRox SL 340	50
Chapa de aço	1,45

O índice de redução sonora do painel sandwich apresenta-se na Tabela 4.27.

Tabela 4.27 – Índice de Redução Sonora do painel sandwich [68]

F (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
L (dB)	26	42	54	61	66	70

Para uma melhor compreensão do desenvolvimento do cálculo acústico da habitação, o presente subcapítulo será dividido em dois: a apresentação da metodologia de cálculo e o respetivo cálculo.

4.3.1. METODOLOGIA DE CÁLCULO

O valor final do isolamento sonoro a sons de condução aérea é obtido através da expressão seguinte:

$$D_{2m,nT,w} = R_w' + \Delta L_{fs} + 10 \log \frac{V}{6 T_0 S} \quad [\text{dB}] \quad (4.28)$$

Em que:

$$R_w' = R_w - \Delta TM \quad [\text{dB}] \quad (4.29)$$

Sendo:

R_w' – índice de redução sonora ponderado aparente [dB];

ΔL_{fs} – fator de correção devido à forma da fachada;

V – Volume do compartimento recetor [m³];

T_0 – tempo de reverberação de referência [s], igual a 0,5s para situações comuns;

S – área do elemento construtivo, vista pelo interior [m²];

R_w – índice de redução sonora ponderado [dB];

ΔTM – fator de correção relativo à influência da transmissão marginal [dB].

Caso a área translúcida do elemento de fachada em estudo seja superior a 60 % da área total do mesmo elemento, então considera-se a expressão (4.30) ou (4.31), conforme o som de emissão.

$$D_{2m,nT,w} = D_{2m,nT,w} + C \quad (4.30)$$

$$D_{2m,nT,w} = D_{2m,nT,w} + C_{tr} \quad (4.31)$$

Sendo:

C – Termo de adaptação de Ruído Rosa;

C_{tr} – Termo de adaptação de Ruído tráfego urbano.

O índice de redução sonora ponderado (R_w) é em função da frequência do som emitido e determina-se dependendo do tipo de elemento de fachada em estudo, caso seja homogéneo ou heterogéneo. Considera-se um elemento heterogéneo, todo o elemento que apresente características de isolamento sonoro diferentes ao longo do seu desenvolvimento em superfície, como é o caso de paredes exteriores constituídas por portas e janelas. Em elementos heterogéneos, necessita-se de homogeneizar o material para obter o índice de redução sonora homogeneizado, utilizando a expressão (4.32).

$$R = 10 \log\left(\frac{\sum_i S_i}{\sum S_i * 10^{-R_i/10}}\right) \quad [\text{dB}] \quad (4.32)$$

Sendo:

R – índice de redução sonora homogeneizado [dB];

R_i – índice de redução sonora do componente i [dB];

S_i – área do componente i [m²].

Aplica-se a expressão (4.32) para cada frequência e, no final, os valores são traduzidos para uma curva $L(f)$ denominada curva dos valores estimados.

Independentemente do tipo de elemento, o valor R_w obtém-se através da sobreposição da curva dos valores estimados com a curva convencional de referência. Ajusta-se a curva de referência, por patamares de 1 dB, relativamente à curva dos valores estimados, de modo a que a soma dos desvios desfavoráveis seja o maior possível e não superior a 32,0 dB (para medições em 16 bandas de terços de oitava) ou 10,0 dB (para medições em 5 bandas de oitava). Após o ajustamento da curva de referência, o valor de R_w é dado pelo valor da ordenada da curva de referência para a frequência de 500 Hz [67].

Considera-se desvio desfavorável, numa determinada banda, quando o valor da curva dos valores estimados é inferior ao da curva de referência [69].

As Figura 4.9 e Figura 4.10 representam a curva dos valores de referência para bandas de frequência de largura de um terço de oitava e de uma oitava, respetivamente.

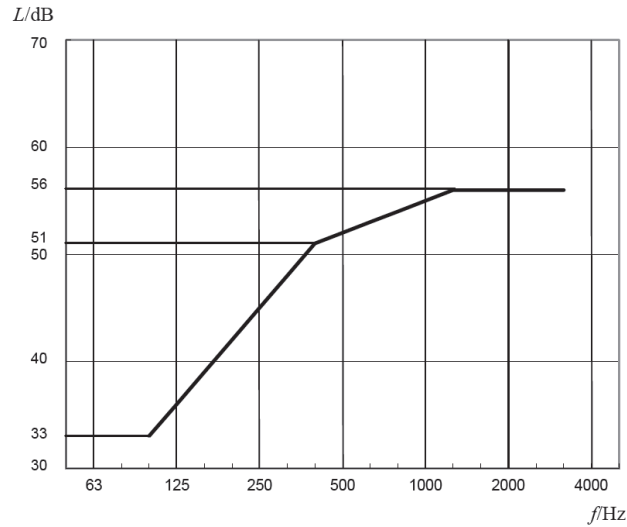


Figura 4.9 – Curva dos valores de referência para sons de condução aérea para bandas de frequência com a largura de um terço de oitava

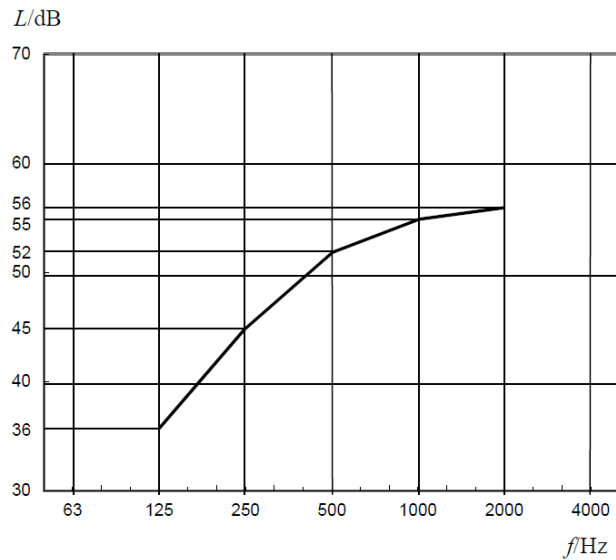


Figura 4.10 – Curva dos valores de referência para sons de condução aérea para bandas de frequência com a largura de uma oitava

A transmissão marginal é outro aspeto a considerar no cálculo do índice de redução sonora, ponderado. Esta define-se como toda a propagação de energia sonora que ocorre por via indireta, por outras palavras, não é propagada pelo elemento de separação entre compartimentos adjacentes ou o interior e o exterior do edifício. Para sons provenientes do exterior, a norma EN 12354-3:2000 aconselha adotar o valor de **2 dB** para o fator de correção relativo à influência da transmissão marginal [66, 70].

O fator de correção devido a forma da fachada é, segundo a norma EN 12354-3:2000, função da absorção média da superfície de reflexão exterior, e da altura da linha visível entre a fonte de ruído e o espaço interior em estudo. O valor desse fator está presente no anexo A4.

Os valores relativos ao compartimento a estudar, V e S , são retirados através das plantas e cortes da habitação.

Por fim, os termos de adaptação C e C_{tr} utilizando os espectros presentes no anexo A4. Para o cálculo dos termos de adaptação espectral, C_j , utiliza-se a expressão (4.33).

$$C_j = X_{AJ} - R_i \quad (4.33)$$

Em que:

$$X_{AJ} = -10 \log \sum 10^{(L_{i,j} - R_i)/10} \quad [\text{dB}] \quad (4.34)$$

Onde:

i – Índice para as bandas de frequência de um terço de oitava de 100 Hz a 3150 Hz ou para as bandas de frequência de uma oitava, de 125 Hz a 2000 Hz;

$L_{i,j}$ – níveis de pressão sonora para a banda de frequências i e espectro j ;

R_i – redução sonora aparente [dB].

4.3.2. DESEMPENHO ACÚSTICO

Como a análise do isolamento a sons de condução aérea apenas engloba zonas de estar e quartos, não se considerou a análise ao hall de entrada, visto ser apenas zona de passagem, onde a fachada é translúcida. A fachada com maior vão envidraçado situa-se na cozinha, no entanto, este elemento não é analisado uma vez que se encontra direcionado para uma zona resguardada em que o som de ruído contém obstáculos na sua propagação até atingir o vidro. Assim sendo, o elemento de fachada com maior área de envidraçado a ser analisado corresponde ao quarto, conforme apresentado na Figura 4.11.

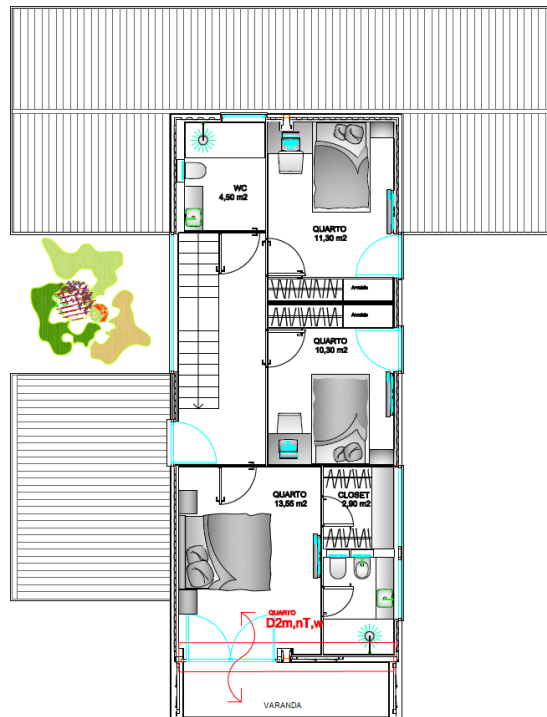


Figura 4.11 – Elemento de estudo para determinação de comportamento acústico

O elemento de separação está representado na Figura 4.12.

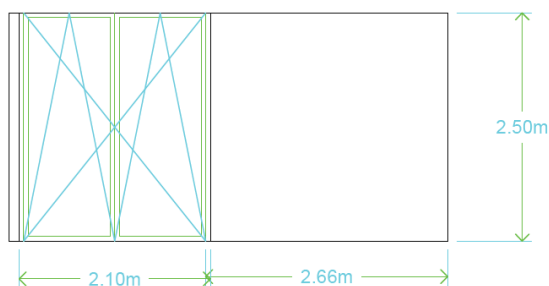


Figura 4.12 – Elemento em estudo para o desempenho acústico

O vão envidraçado apresenta uma área de $5,25 \text{ m}^2$ face a parede normal que apresenta $6,65 \text{ m}^2$, o que corresponde a uma área translúcida de, aproximadamente, 44%. Assim sendo, não é necessário acrescentar o termo de adaptação C_j .

Os vidros da habitação, com a composição 8 + 10 + 6 mm (vidro exterior, caixa de ar, vidro interior), segundo a norma EN 12354-3:2000, apresentam o índice de redução sonora da Tabela 4.28.

Tabela 4.28 – Índice de redução Sonora do envidraçado 8 + 10 + 6 mm [66]

F (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
L (dB)	26	42	54	61	66	70

Como o elemento é heterogéneo, composto pela parede e pelo envidraçado, é necessário homogeneizar os dois materiais.

A Tabela 4.29 representa a homogeneização dos dois materiais, segundo a expressão (4.32).

Tabela 4.29 – Homogeneização do elemento em estudo

f (hz)	125	250	500	1000	2000	4000
L_{janela} (dB)	20	21	33	40	36	48
L_{parede} (dB)	26	42	54	61	66	70
R	22,4	24,5	36,5	43,5	39,5	51,5

Uma vez que apenas se conhece o valor de R para as frequências presentes na Tabela 4.29, utiliza-se a curva de referência para larguras de uma oitava representada na Figura 4.10.

A sobreposição das curvas, com o correto ajustamento, está representada graficamente na Figura 4.13 e valorizado na Tabela 4.30.

Tabela 4.30 – Valores do método de comparação

Frequência (Hz)	Curva dos valores Estimados (dB)	Curva de referência (dB)	Desvio Desfavorável (dB)
125	22,4	21	0
250	24,5	30	5,5
500	36,5	37	0,5
1000	43,5	40	0
2000	39,5	41	1,5
4000	51,5	-	-

Somando os valores da última coluna, desvio desfavorável, resulta o valor de 7,5 dB sendo inferior a 10 dB, logo já é possível determinar o valor de R_w .

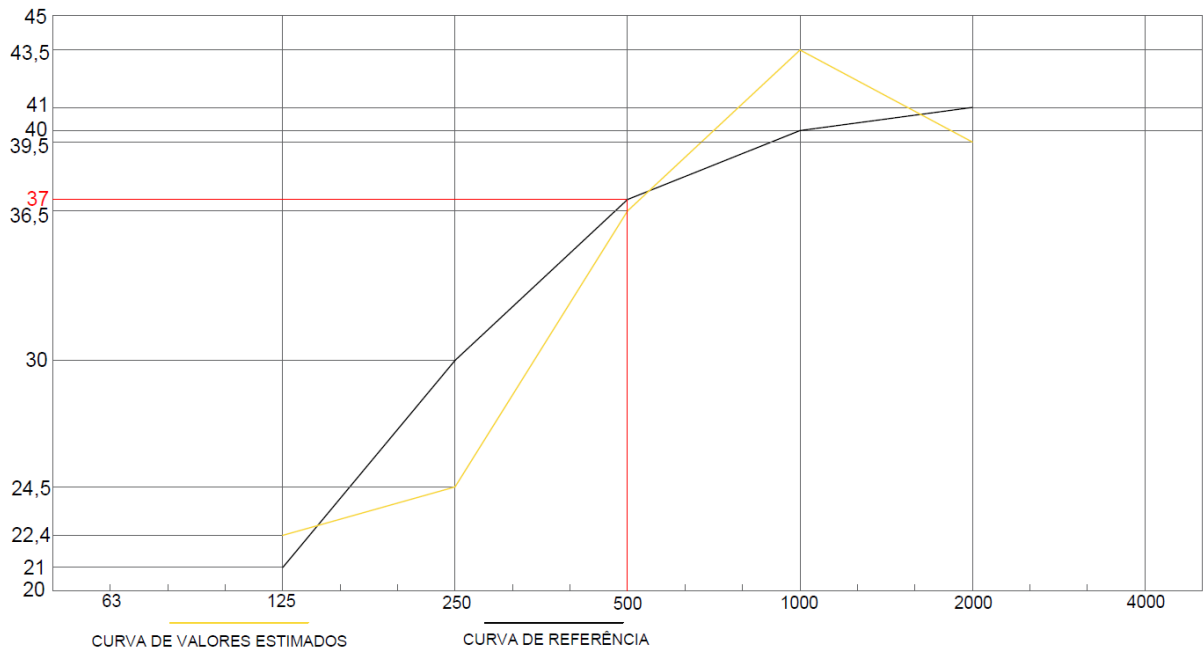


Figura 4.13 – Ajustamento da curva de referência

Assim, para a frequência de 500 Hz resulta um R_w de 37 dB. Considerando as transmissões marginais, resulta um índice de redução sonora ponderado aparente (R'_w) de 35 dB.

O quarto contém uma área de 16,75 m² onde, multiplicando pelo pé direito, se obtém um volume (V) de 41,875 m³ e, de acordo com a Figura 4.12, o elemento contém uma área (S) de 11,90 m².

Considera-se o valor de $\Delta L_{fs} = 0$, de acordo com a tabela do anexo A4.

Como já são conhecidos todos os valores referentes ao cálculo do isolamento a sons de condução aérea, basta implementar os valores na equação (4.28).

$$D_{2m,nT,w} = 35 + 10 \log \frac{41,875}{6 \times 0,5 \times 11,90} = 36 \text{ dB}$$

Desta forma conclui-se que a habitação cumpre com a legislação portuguesa relativamente ao comportamento acústico.

4.4. ANÁLISE DO CLIMA INTERIOR DE UM CONTENTOR

A presente dissertação envolve a implementação de contentores na estrutura de uma habitação e, como tal, decidiu-se analisar o ambiente interior de um contentor relativamente à temperatura e humidade relativa.

A análise deste comportamento decorreu durante o mês de Maio com recurso a três sensores de medição “in situ” localizados em sítios específicos. Os pontos de estudo foram:

- O interior de um contentor;
- O exterior do mesmo contentor;
- O interior de um edifício.

Para que o estudo apresentasse resultados reais era necessário que ambos os elementos em estudo permanecessem sob as mesmas condições meteorológicas, apresentassem a mesma forma volumétrica e estivessem o mínimo possível expostos a variações internas de temperatura e humidade. Com estas condições os valores tornar-se-iam equiparáveis.

Como não decorria nenhum estudo que envolvesse contentores optou-se por contactar uma firma de construção que contemplasse as situações em estudo. A empresa *Urbanpolis – Construções e Empreendimentos Lda* facultou o seu stand de vendas e um dos seus contentores, utilizados para armazenamento de material, para a colocação dos sensores. Ambos os elementos encontram-se distanciados em, aproximadamente, 50 metros estando sob as mesmas condições climáticas e exposição solar uma vez que nenhum deles contém obstáculos no redor.

Como o contentor raramente era aberto considerou-se que o seu clima interior não se encontraria exposto a variações dos dados requeridos. O mesmo sucedeu para o stand de vendas uma vez que o sensor foi colocado num compartimento pouco utilizado.

O stand de vendas, representado na Figura 4.14, apresenta uma forma retangular com estrutura metálica revestida a madeira, tanto no exterior como no interior, isolada (pelo interior) com poliuretano projetado. A sua metodologia construtiva é considerada modular devido às características dos materiais empregues.



Figura 4.14 – Stand de Vendas analisado

Após obtenção dos dados nos três locais, comparar-se-iam os valores obtidos no exterior com os valores adquiridos no interior do contentor, de forma a compreender o fluxo de calor e de humidade existente. Os valores obtidos no interior do stand de vendas serviriam para equiparar com o clima interior do contentor. Uma vez que o sensor colocado no exterior sofreu uma avaria, somente se irá proceder à comparação entre os climas interiores do contentor e do stand de vendas.

Os sensores estavam programados para recolher dados em períodos de 10 minutos, tendo o estudo sido iniciado no dia 3 de Maio às 9h00 e finalizado no dia 1 de Junho às 17h00. No total os dados foram recolhidos 4225 vezes, tendo, por cada 24 horas, recolhido 145 dados. Após organização da informação recolhida obteve-se a Figura 4.15 e a Figura 4.16, e as respetivas características presentes nas Tabela 4.31 e Tabela 4.32.

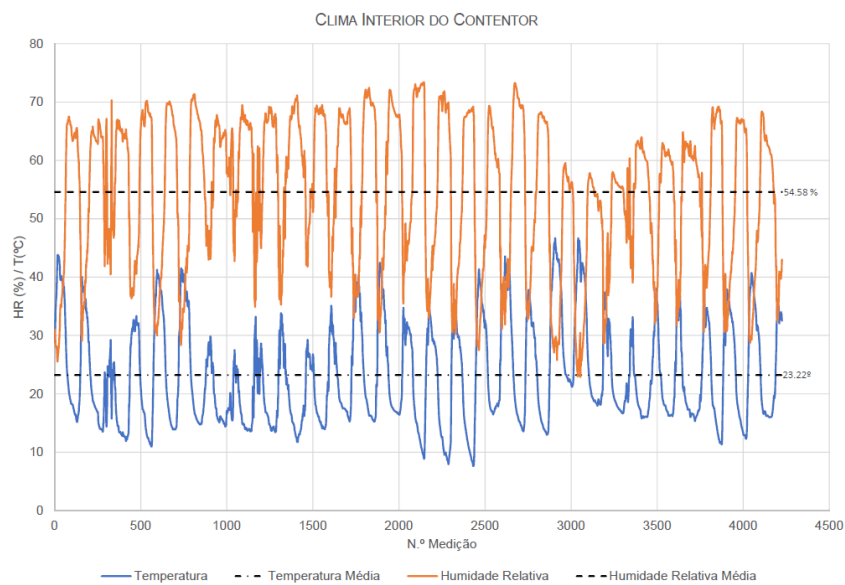


Figura 4.15 – Temperatura e humidade relativa no contentor

Tabela 4.31 – Dados recolhidos no contentor

Valores	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)
Máximo	46,65	73,41
Mínimo	7,62	22,96
Média	23,23	54,58

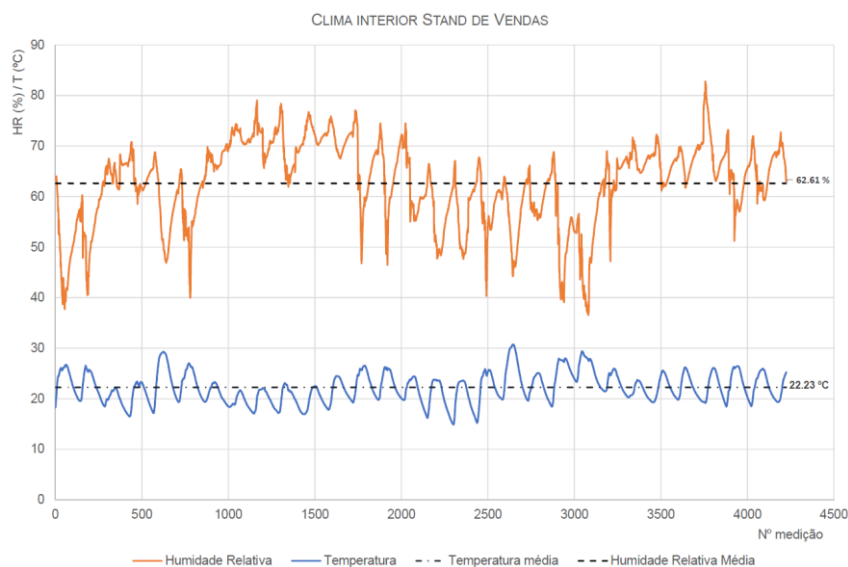


Figura 4.16 – Temperatura e humidade relativa no interior do stand de vendas

Tabela 4.32 – Dados recolhidos no stand de vendas

Valores	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)
Máximo	30,73	82,79
Mínimo	14,89	36,52
Média	22,23	62,61

Comparando os dois casos percebe-se que, tanto a temperatura como a humidade relativa, são mais instáveis no contentor do que no stand de vendas.

No stand de vendas a temperatura encontra-se estabilizada num ciclo que é praticamente constante durante todo o estudo. A temperatura aumenta durante o dia e diminui durante a noite, existindo picos correspondentes a temperaturas mais elevadas devido aos ganhos solares dos vãos envidraçados. Relativamente à humidade relativa, esta encontra-se também estabilizada entre os valores normais para um edifício. Existe uma variação mas esta acontece ao longo do tempo e não de forma bruta o que pode ser entendido devido à baixa amplitude térmica do edifício.

No contentor, a amplitude térmica é bastante superior variando num curto período de tempo. No mesmo dia é possível obter-se uma temperatura acima dos 30° e outra abaixo dos 10°. Esta variação bruta de temperatura altera também os valores de humidade de forma repentina. Apesar de se suceder nos dois casos, é mais nítido no contentor que quando a temperatura é máxima a humidade relativa é mínima.

No caso do contentor existe uma maior amplitude térmica num curto espaço de tempo uma vez que este é concebido, na sua totalidade, em metal e não apresenta isolamento térmico. Ao ser executado em metal adquire a característica de ser um bom condutor térmico.

Durante o dia, o contentor atinge temperaturas elevadas devido à radiação que nele incide. O metal, como se encontra a uma temperatura elevada, aquece as partículas de ar presentes no interior (por condução), criando um efeito de estufa. Nestas situações, a temperatura interior pode ser superior à temperatura exterior, como se verificou nesta análise. Durante a noite, o clima exterior arrefece a superfície do elemento que, por condução, diminui a temperatura interior.

O facto de não existir isolamento térmico faz com que as trocas de calor entre o exterior e o interior se executem sem dificuldade, sendo perceptível as diferenças na comparação das duas figuras. Como não existe obstáculo térmico, o fluxo de calor entre o exterior e o interior do contentor efetua-se de forma mais rápida delineando, tanto para a temperatura como para a humidade relativa, uma linha praticamente vertical.

Assim, o clima interior de uma moradia em contentor seria semelhante ao clima interior do stand de vendas.

4.5. SÍNTESE DO CAPÍTULO 4.

Quando se constrói um edifício novo, em Portugal, é necessário que este responda a um conjunto de requisitos estabelecidos em regulamentos. Para isso, o presente capítulo estuda o desempenho face a duas importantes exigências habitacionais: térmica e acústica.

Para o desempenho térmico, estuda-se a habitação para a situação mais desfavorável e que cria um maior desconforto aos utentes, a estação de aquecimento. O estudo térmico é estudado supondo que a habitação seria implementada em duas cidades o que implica dois cálculos de desempenho térmico. Como tal, para uma maior organização do trabalho e compreensão dos valores obtidos o subcapítulo referente ao nível térmico é dividido em quatro pontos:

- Metodologia de cálculo;
- Determinação dos parâmetros da habitação;
- Desempenho térmico para a cidade do Porto;
- Desempenho térmico para a cidade de Reguengos de Monsaraz.

Para que a moradia esteja de acordo com a legislação calcula-se as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento de acordo com a localização e com a disposição dos materiais nos elementos construtivos que separam o exterior e o interior do edifício. Esse valor tem de ser inferior a um valor máximo que é obtido alterando os valores relativos à localização e aos coeficientes de transmissão térmica por valores de referência estabelecidos no regulamento.

Para ambas as cidades o comportamento da habitação foi bastante positivo uma vez que o valor das perdas térmicas é inferior a metade do valor máximo, como se pode comprovar na Tabela 4.33.

Tabela 4.33 – Resumo dos valores finais de desempenho térmico

Cidade	$Q_{tr,i}$ [kWh]	$Q_{ve,i}$ [kWh]	$Q_{gu,i}$ [kWh]	N_{ic} [Kw/m ² ano]	N_i [Kw/m ² ano]
Porto	11849,3	1082,03	7609,85	44,47	108,13
Reguengos de Monsaraz	10930,17	998,04	7206,78	39,45	100,21

Relativamente ao desempenho acústico da habitação, como se trata de uma moradia isolada, somente se avalia o isolamento sonoro a sons de condução aérea com o exterior. O seu valor mínimo depende do tipo de zona em que se situa a moradia mas, uma vez que não se indicou o local exato para implementação da moradia, adotou-se a situação mais desfavorável, ou seja, que a moradia se situaria numa zona mista. Para que a moradia obtenha um bom comportamento acústico é essencial que o valor de $D_{2m,nt,w}$ tem de ser superior a 33 dB.

O estudo do comportamento acústico consiste na avaliação do elemento separador entre o exterior e o interior que apresente pior índice de redução sonora. Por outras palavras, estuda-se a situação mais desfavorável o que corresponde à zona com maior vão envidraçado pertencente ao elemento que separa uma zona de estar ou quarto com a produção de ruído no exterior. Na habitação, o elemento estudado foi a parede exterior da suite.

Como não é conhecido o comportamento acústico de um contentor ou de uma habitação em contentor, considerou-se que o índice de redução sonora das paredes exteriores era equivalente ao índice de redução sonora de um painel sandwich com isolamento de 5 cm. A habitação obteve um valor de $D_{2m,nT,w}$ superior ao mínimo regulamentar (36 dB) significando que a habitação apresenta um bom comportamento acústico.

Em suma, tanto a nível térmico como a nível acústico, a habitação construída com recurso a contentores está ao nível dos edifícios construídos pelo método tradicional.

A análise climática do ambiente interior de um contentor permitiu concluir que a transferência de calor entre o exterior e o interior acontece de forma mais repentina quando comparado com um edifício com isolamento térmico. A temperatura interior do contentor apresenta uma amplitude térmica elevada que varia também com a humidade relativa. A presença de isolamento térmico é fundamental para que o clima interior estabilize dando conforto aos utilizadores.

5

CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O contentor é uma estrutura metálica bastante resistente. No entanto, quando são dispostos em posições para as quais não foram projetadas podem comprometer a sua segurança estrutural. Para impedir que a segurança seja posta em causa emprega-se perfis metálicos de reforço que garantem a estabilidade estrutural necessária. Os posicionamentos destes reforços variam de caso a caso embora, para economizar material, também possam ser empregues nos locais de junção dos contentores, servindo de principal elemento de ligação.

Para o caso de estudo aqui desenvolvido, verificou-se, com recurso a um *software*, que os perfis HEB140, juntamente com os perfis delimitadores das aberturas, são suficientes para garantir a segurança da moradia.

Relativamente ao desempenho térmico da habitação, foi perceptível a importância de cada parâmetro térmico calculado. Para ambos os casos estudados, a maior transferência de calor entre o interior e o exterior deu-se por transmissão, o que realça a importância de ter os elementos de fachada bem isolados. Quanto mais isolada for a casa menos perdas térmicas por transmissão ocorrerá melhorando termicamente a habitação.

O segundo parâmetro com maior importância são os ganhos térmicos úteis. Apesar de existirem duas fontes de ganhos térmicos, a mais relevante é a dos ganhos externos (solares). Uma moradia com bastante área de vão envidraçado contém maior ganhos térmicos, no entanto, é essencial a escolha de uma caixilharia de qualidade para que o ar quente permaneça mais tempo no interior.

Comparando as duas cidades entende-se que ambos os comportamentos energéticos são semelhantes tendo, Reguengos de Monsaraz, apresentado as necessidades nominais anuais de energia inferiores.

Relativamente ao desempenho acústico verificou-se que a habitação cumpre com a legislação. No entanto, não é uma certeza que assim o será na realidade visto que não são conhecidos dados acústicos relativos a casas em contentores ou à tipologia do seu elemento construtivo. Poderá ser necessário a implementação de pormenores acústicos nos elementos de fachada.

Ao analisar os dados do subcapítulo 4.4, percebe-se uma clara distinção entre o ambiente interior de um contentor e de um compartimento isolado. No contentor, como é metálico e não apresenta isolamento térmico, a transferência de calor acontece muito mais rapidamente quando comparado com o stand de vendas. Uma casa em contentor obterá um clima interior semelhante com o clima interior do stand de vendas uma vez que se encontra devidamente isolado.

Em suma, após a conclusão desta dissertação, constatou-se que uma habitação em contentor apresenta um nível de qualidade equiparável a uma habitação construída pelo método tradicional.

5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Para que a implementação de contentores na construção em Portugal seja de sucesso é importante dar seguimento a este tema, nomeadamente com a execução das seguintes propostas:

- Análise do desempenho térmico do edifício para a estação de arrefecimento;
- Execução de projeto de segurança contra incêndios do edifício para que se perceba o comportamento da estrutura face a esta situação;
- Execução de um orçamento detalhado da moradia contemplando o custo dos materiais, mão de obra e duração dos trabalhos;
- Utilizando o mesmo edifício, comparar o orçamento, o planeamento dos trabalhos, o projeto de higiene e segurança e as diferenças na direção de obra quando construído pelo método tradicional e utilizando contentores;
- Análise experimental em laboratório do comportamento acústico de um contentor e de um contentor empregando materiais de construção e, possivelmente, introdução de um vão envidraçado uma vez que não se conhecem dados relativos a esta exigência funcional;
- Cálculo da certificação energética de uma habitação em contentor;
- Relativamente ao planeamento, a possibilidade ou existência de incentivos fiscais e monetários que incitem à utilização desta forma construtiva com maior regularidade no país;
- Cálculo estrutural detalhado de uma casa em contentor e comparar com diferentes formas arquitetónicas.

BIBLIOGRAFIA

1. Nunes, N.C.G., *Aproveitamento de Contentores Marítimos para Habitação*, em *Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura*. 2009, Universidade da Beira Interior.
2. Wikipedia. *Container*. 2016 7/12/2016 [citado 2017 25/02/2017]; Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Container_\(transporte\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Container_(transporte)).
3. Woods, T., *How to Build a Shipping Container Home - The Complete Guide*. 2015.
4. first, C., *A Grade*. <https://www.containersfirst.com.au/buy-a-shipping-container-direct>.
5. *Regulamento Geral das edificações Urbanas actualização do decreto-lei nº 290/2007*. 2007.
6. ISBU Association. 2006 2016 [citado 2017 15/03/2017]; [Intermodal Steel Building Units and Container Homes]. Disponível em: <http://www.isbu-association.org/>.
7. Containers, M.S., *Specifications*. 2015.
8. Solutions, C., *Specifications*, ISO, Editor. 2015: www.containersolutions.net/specifications/.
9. Giriunas, K., H. Sezen, and R.B. Dupaix, *Evaluation, modeling, and analysis of shipping container building structures*. 2012. **43**: p. 48.
10. Scarbrough, L., *Container Ship*, C. Ship, Editor. 2012.
11. Wikipédia, *Aço Corten*, em *Wikipedia*. 2014.
12. Primer, R.S.C., *Residential Shipping Container Primer* 2013: <http://www.residentialshippingcontainerprimer.com/CONTAINER%20COMPONENTS%20AND%20TERMINOLOGY>.
13. Silva, R.D.F.d., *Construção com Contentores Marítimos Remodelados - Estudo de Caso de Aplicação*, em *Engenharia*. 2010, Universidade da Beira Interior. p. 230.
14. plans, C.h., *how are shipping containers made*. 2015: <http://www.containerhomeplans.org/2015/07/how-are-shipping-containers-made/>.
15. S.A., C.I., *Soalho*. 2015: Gerador de Preços.
16. *Decreto-Lei n.º 118/2013*, M.d.E.e.d. Ambiente, Editor. 2013: Diário da República n.º159/2013, Série I de 2013-08-20. p. 17.
17. *Decreto-Lei n.º 96/2008*, em *96/2008*, O.d.T.e.E. Ministério do Ambiente, Editor. 2008: Diário da República n.º 110/2008, Série I de 2008-06-09. p. 13.
18. *Decreto-Lei n.º 9/2007*, em *9/2007*, M.d.A.d.O.d.T.e.d.D. Regional, Editor. 2007: Diário da República - 1ª Série, N.º12, de 2007-01-17. p. 9.
19. *Portaria n.º 349-B/2013*, O.d.T.e.E. Ministério do Ambiente, Editor. 2013: Diário da República n.º 232/2013, 1º Suplemento, Série de 2013-11-29. p. 11.
20. Freitas, V.P., *Recomendações Práticas para a Implementação de Sistemas de Ventilação Mistos em Edifícios de Habitação*. 2008, FEUP.
21. *Portaria n.º 379-A:2015*, O.d.T.e.E. Ministério do Ambiente, Editor. 2015, Diário da república: Diário da República.
22. *Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013*, O.d.T.e.E.-D.G.d.E.e.G. Ministério do Ambiente, Editor. 2013: Diário da República n.º 234/2013, 3º Suplemento, Série II de 2013-12-03. p. 5.
23. Cabral, P.H.G., *Despacho n.º 15793-F/2013*. 2013: Despacho n.º 15793-F/2013.
24. Islam, H., et al., *Life cycle assessment of shipping container home: A sustainable construction*. 2016. **128**: p. 673-673 - 685.
25. Costa, A.R., *2015 foi "ano recorde" para os portos nacionais*. 2016, www.logisticaetransporteshoje.com: www.logisticaetransporteshoje.com. p. Contentores.
26. Designs, G., *The Shipping Containers House*. County Derry, em *Season Episode 4* 2014, Channel 4: Channel 4
27. Mairs, J. *BIG stacks shipping containers to create floating student housing in Copenhagen harbour*. 2016.
28. Stella, R. *Danish Students take to the seas in floating shipping container apartments*. 2016.
29. Griffiths, A. *Converted Shipping containers combine to form angular Flying Box house*. 2016.
30. Costa, P.J.M.d., *Lean Construction*. 2016, FEUP.
31. Archdaily *Flying Box Villa / 2A nDesign*. 2016.
32. Architizer *Flying Box / 2A Design*.

33. Mili, F., *Small House Bliss - Small House Designs With Big Impact*, em *Small House Bliss - Small House Designs With Big Impact*. 2013.
34. B3-Ecodesign, *B3-Ecodesign*. 2009: B3-Ecodesign.
35. Griffiths, A. *Grillagh Water House by Patrick Bradley is made up of four stacked shipping containers*. dezeen, 2015.
36. Brant, J., *Casa d'Água em Grillagh / Patrick Bradley Architects*. 2015: Archdaily Brasil.
37. Chen, O. *PREFAB FRIDAY: 'Puma City' Shipping Container Store*. 2008.
38. LOT-EK. *PUMA CITY*. 2008 [citado 2017 22/03/2017]; Disponível em: <http://www.lot-ek.com/PUMA-CITY>.
39. Basulto, D. *PUMA city, Shipping Container Store / LOT-EK*. 2008.
40. Archdaily *Common ground / URBANTAINER*. 2017.
41. Archdaily, *Common Ground*. 2017.
42. <http://www.visitvalencia.com/pt/> "Valência uma cidade incrível mas certa". 2017.
43. Pontes, A.F., *Rising Youth*. 2017, Universidade do Minho: Escola de Arquitetura.
44. Samsung, *Solar Powered Internet School*.
45. Insight, M. *Top 26 Innovative Uses of Shipping Containers*. 2016.
46. Pools, S.C., *Shipping Container Pool*. 2016.
47. Santos, F.F.M.d. *PORDATA Base de Dados de Portugal Contemporâneo*. 2009 [citado 2017 29/05/2017]; Disponível em: www.pordata.pt.
48. Peel, M.C., B.L. Finlayson, and T.A. McMahon, *Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification*. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 2007. **11**(5): p. 1633-1644.
49. contributors, A.O.P.-A.M.O. *Climate-Data.org*. [citado 2017 24/04/2017]; Dados Climáticos para cidades mundiais]. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/>.
50. Atmosfera, I.P.d.M.e.d. *Portal do Clima*. 2015 2015 [citado 2017 19/04/2017]; Clima e alterações climáticas em Portugal]. Disponível em: <http://portaldoclima.pt/pt/#>.
51. Autodesk, *Section Properties*. 2015, Autodesk: help.autodesk.com.
52. *Eurocódigo 1 Documento electrónico acções gerais NP EN 1991-1-1: 2009 Parte 1-1 pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios Instituto Português da Qualidade*. 2009.
53. Studio, E.D., *Jones-Glotfelty Shipping Container House*. 2010, Ecosa Design Studio: www.ecosadesign.com.
54. Pavimagos. *Pavimagos - Assentamentos e Revestimentos, Lda*. 2016 [citado 2017 26/04/2017]; Disponível em: <http://www.pavimagos.pt/vantagens-poliuretano-projectado.html>.
55. Eficiente, G.C. *Guia Casa Eficiente*. 2014 [citado 2017 26/04/2017]; Disponível em: <http://www.guiacasaeficiente.com/Isolamento/IsolamentoInteriorOuExterior.html>.
56. Roche, F., *Spray Polyurethane Foam Insulation - Advantages for Certain Types of Construction*. 2013, Frank Roche: www.rochereality.com.
57. FIBROSOM, *Isolamentos Térmicos/ Acústicos - Lã de Rocha*, F.M.d.C. S.A., Editor.: www.fibrosom.com.
58. S.A., M.-m. *Madeivouga*. 2017 [citado 2017 27/04/2017]; Disponível em: <http://www.madeivouga.pt/pt/produtos/mdf>.
59. Sotecnisol. *Sotecnisol Revestimentos*. 2017 [citado 2017 27/04/2017]; Disponível em: <http://www.sotecnisol.pt/revestimentos/fachadas-ventiladas-novo/paineis-de-resinas-fenolicas9/>.
60. Association, I., *Container Technology A-Z - Container Architecture and ISBU Technology™*. Version 5 ed. 2010: GreenCube Publishing.
61. Matias, C.A.P.d.S.L., *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*. 2ª edição ed. ITE 50, ed. LNEC. Vol. 50. 2006: Laboratório Nacional de Engenharia Civil. 171.
62. Cortizo, *Sistema COR-60 CC16 com RPT*, Cortizo, Editor.
63. Materiais, S., *Equitone Cedral*. 2017: <http://www.sotecnisol.pt/materiais/produtos/solucoes-de-coberturas-e-revestimentos/revestimentos-de-fachada-ventilada/paineis-media-densidade-novo/equitone-cedral/>.
64. *Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013*, O.d.T.e.E.-D.G.d.E.e.G. Ministério do Ambiente, Editor. 2013: Diário da República n.º 234/2013, 3º Suplemento, Série II de 2013-12-03. p. 30.

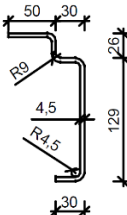
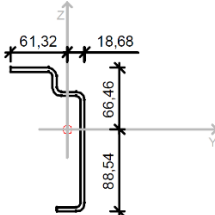
65. *Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013*, O.d.T.e.E.-D.G.d.E.e.G. Ministério do Ambiente, Editor. 2013: 15793-I/2013. p. 13.
66. *Building acoustics estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements EN 12354-3:2000 part 3 Airborne sound insulation against outdoor sound European Committee for Standardization*. 2000.
67. *Determinação do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção NP EN ISO 717-1: 2013 Parte 1 isolamento sonoro a sons de condução aérea (ISO 717-1: 2013) Instituto Português da Qualidade*. 2013.
68. ROCKWOOL, *Acoustic Manual - Marine & Offshore Insulation*, ROCKWOOL, Editor. 2013: www.rockwool-searox.com. p. 96.
69. Mateus, D., *Acústica de Edifícios e controlo de ruído*. 2008.
70. Lopes, B.D., *Previsão das Características Térmicas e Acústicas do Módulo de Parede Pré-fabricada da Habitação Modular de Custos Controlados*, em *Escola de Engenharia da Universidade do Minho*. 2012, Universidade do Minho: Universidade do Minho. p. 195.

ANEXOS

Anexo A1

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DOS PERFIS DE UM CONTENTOR 40'HC

Perfil	Secção Transversal	Posição Centro de Gravidade
DS		
DCP		
DH		
FH		
FS TSR		
FCP		

Perfil	Secção Transversal	Posição Centro de Gravidade
BSR		

Anexo A2

RESULTADO CÁLCULO ESTRUTURAL

A.2: Resultado Cálculo Estrutural

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio▲	Case
82 Simple bar 8	OK HEB 140	S 355	48.93	81.07	0.57	4 combinação
138	OK HEB 140	S 355	23.75	39.35	0.56	4 combinação
83 Simple bar 8	OK HEB 140	S 355	48.93	81.07	0.49	4 combinação
77 Simple bar 7	OK HEB 140	S 355	48.93	81.07	0.43	4 combinação
57 Simple bar 5	OK HEB 140	S 355	203.29	336.86	0.39	4 combinação
95	OK HEB 140	S 355	41.84	69.33	0.34	4 combinação
94	OK HEB 140	S 355	61.16	101.34	0.31	4 combinação
76 Simple bar 7	OK HEB 140	S 355	48.93	81.07	0.31	4 combinação
75 Simple bar 7	OK HEB 140	S 355	48.93	81.07	0.24	4 combinação
27 Simple bar 2	OK HEB 140	S 355	41.84	69.33	0.19	4 combinação
80 Simple bar 8	OK HEB 140	S 355	48.93	81.07	0.16	4 combinação
92	OK HEB 140	S 355	31.80	52.70	0.15	4 combinação
140	OK HEB 140	S 355	0.04	0.07	0.14	4 combinação
25 Simple bar 2	OK HEB 140	S 355	48.93	81.07	0.13	4 combinação
133	OK HEB 140	S 355	10.04	16.63	0.12	4 combinação
40 Simple bar 4	OK HEB 140	S 355	53.99	89.46	0.11	4 combinação
58 Simple bar 5	OK HEB 140	S 355	20.92	34.66	0.11	4 combinação
39 Simple bar 3	OK HEB 140	S 355	41.84	69.33	0.10	4 combinação
72 Simple bar 7	OK HEB 140	S 355	48.93	81.07	0.10	4 combinação
38 Simple bar 3	OK HEB 140	S 355	41.84	69.33	0.08	4 combinação
93	OK HEB 140	S 355	61.16	101.34	0.08	4 combinação
81 Simple bar 8	OK HEB 140	S 355	48.93	81.07	0.06	4 combinação
41 Simple bar 4	OK HEB 140	S 355	41.84	69.33	0.06	4 combinação
132	OK HEB 140	S 355	41.84	69.33	0.05	4 combinação
131	OK HEB 140	S 355	58.46	96.86	0.04	4 combinação
71 Simple bar 7	OK HEB 140	S 355	48.93	81.07	0.03	4 combinação
19 Simple bar 1	OK HEB 140	S 355	110.33	182.83	0.02	4 combinação
1 Simple bar 1	OK HEB 140	S 355	103.00	170.67	0.02	4 combinação
49 Simple bar 4	OK HEB 140	S 355	20.92	34.66	0.01	4 combinação
20 Simple bar 2	OK HEB 140	S 355	92.96	154.03	0.01	4 combinação

As secções garantem a estabilidade da habitação quando o rácio é inferior a 1. Assim, é possível perceber que todos verificam.

Anexo A3

ÂNGULOS FATORES SOMBREAMENTO

Vão Envidraçado	Valores de α (°)		
	F_h	F_o	F_f
V _{0,1} Sul		65	67
V _{0,2} Sul			76
V _{0,3} Sul			86
V _{0,1} Oeste	30		60
V _{0,2} Oeste			80
V _{0,3} Oeste		84	
V _{0,4} Oeste			
V _{1,1} Oeste		45	17
V _{1,2} Oeste			22,5

Anexo A4

PARÂMETROS PARA CÁLCULO DO DESEMPENHO ACÚSTICO

A.4: Tabela do fator de correção devido à forma da fachada, retirado de EN 12354-3

ΔL_n	1 plane fachade	2 gallery			3 gallery			4 gallery			5 gallery				
dB															
absorption roof (α_w)	does not apply	$\leq 0,3$	0,6	$\geq 0,9$	$\leq 0,3$	0,6	$\geq 0,9$	$\leq 0,3$	0,6	$\geq 0,9$	$\leq 0,3$	0,6	$\geq 0,9$		
line-of-sight															
on fachade :	0	-1	-1	0	-1	-1	0	0	0	1	does not apply				
<1,5 m															
(1,5-2,5) m	0	does not apply			-1	0	2	0	1	3					
>2,5m	0				1	1	2	2	2	3	3	4	6		
	6 balcony	7 balcony			8 balcony			9 terrace							
absorption roof (α_w)	$\leq 0,3$	0,6	$\geq 0,9$	$\leq 0,3$	0,6	$\geq 0,9$	$\leq 0,3$	0,6	$\geq 0,9$	$\leq 0,3$	0,6	$\geq 0,9$	$\leq 0,3$	0,6	$\geq 0,9$
line-of-sight															
on fachade :	-1	-1	0	0	0	1	1	1	2	1	1	1	3	3	3
<1,5 m															
(1,5-2,5) m	-1	1	3	0	2	4	1	1	2	3	4	5	5	6	7
>2,5m	1	2	3	2	3	4	1	1	2	4	4	5	6	6	7

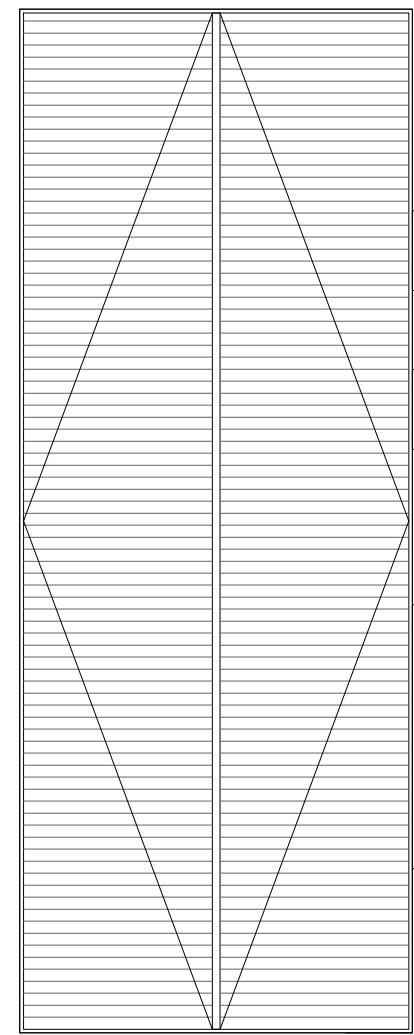
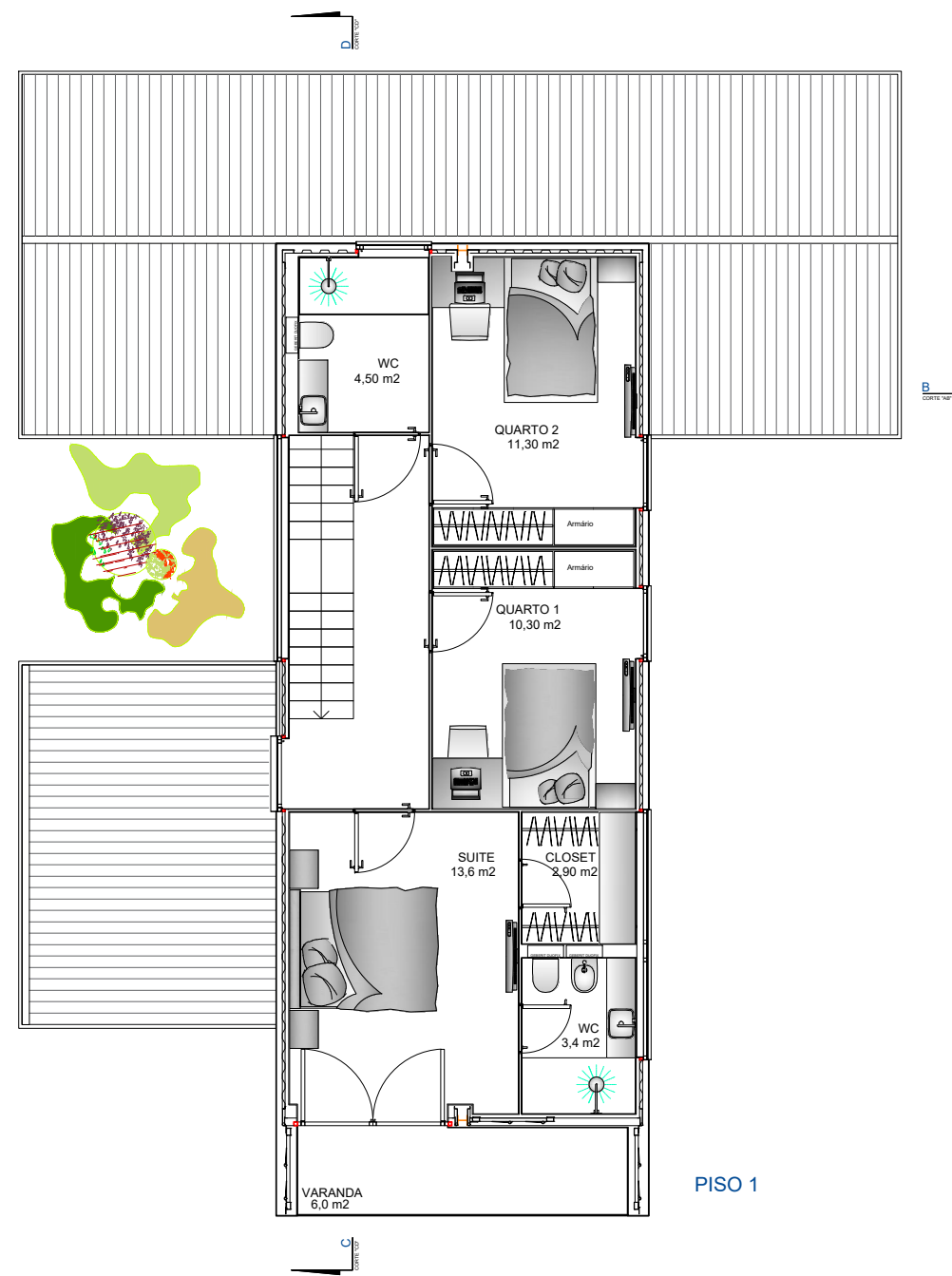
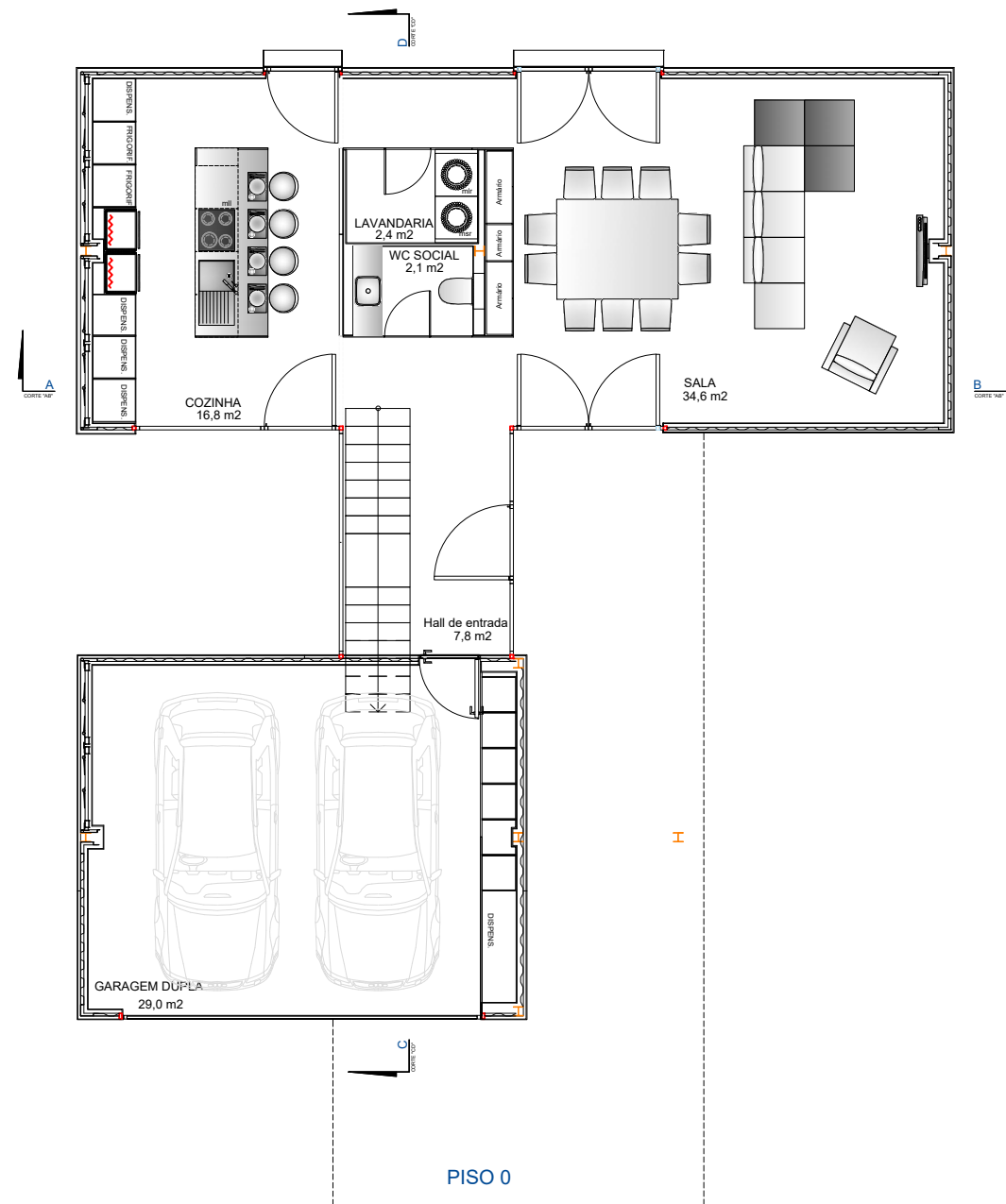
Espetro para cálculo dos termos de adaptação (NP EN ISO 717-1)

Banda de frequências Hz	Níveis de pressão sonora, L_{ij} , dB			
	Espetro n.º 1 para cálculo de C		Espetro n.º 2 para cálculo de C_T	
	Bandas de terços de oitava	Bandas de oitava	Bandas de terços de oitava	Bandas de oitava
100	-29		-20	
125	-26	-21	-20	-14
160	-23		-18	
200	-21		-16	
250	-19	-14	-15	-10
315	-17		-14	
400	-15		-13	
500	-13	-8	-12	-7
630	-12		-11	
800	-11		-9	
1000	-10	-5	-8	-4
1250	-9		-9	
1600	-9		-10	
2000	-9	-4	-11	-6
2500	-9		-13	
3150	-9		-15	

NOTA: Os níveis de pressão sonora apresentados encontram-se ponderados pela malha A estando o nível global normalizado para 0 dB.

Anexo B

PEÇAS DESENHADAS

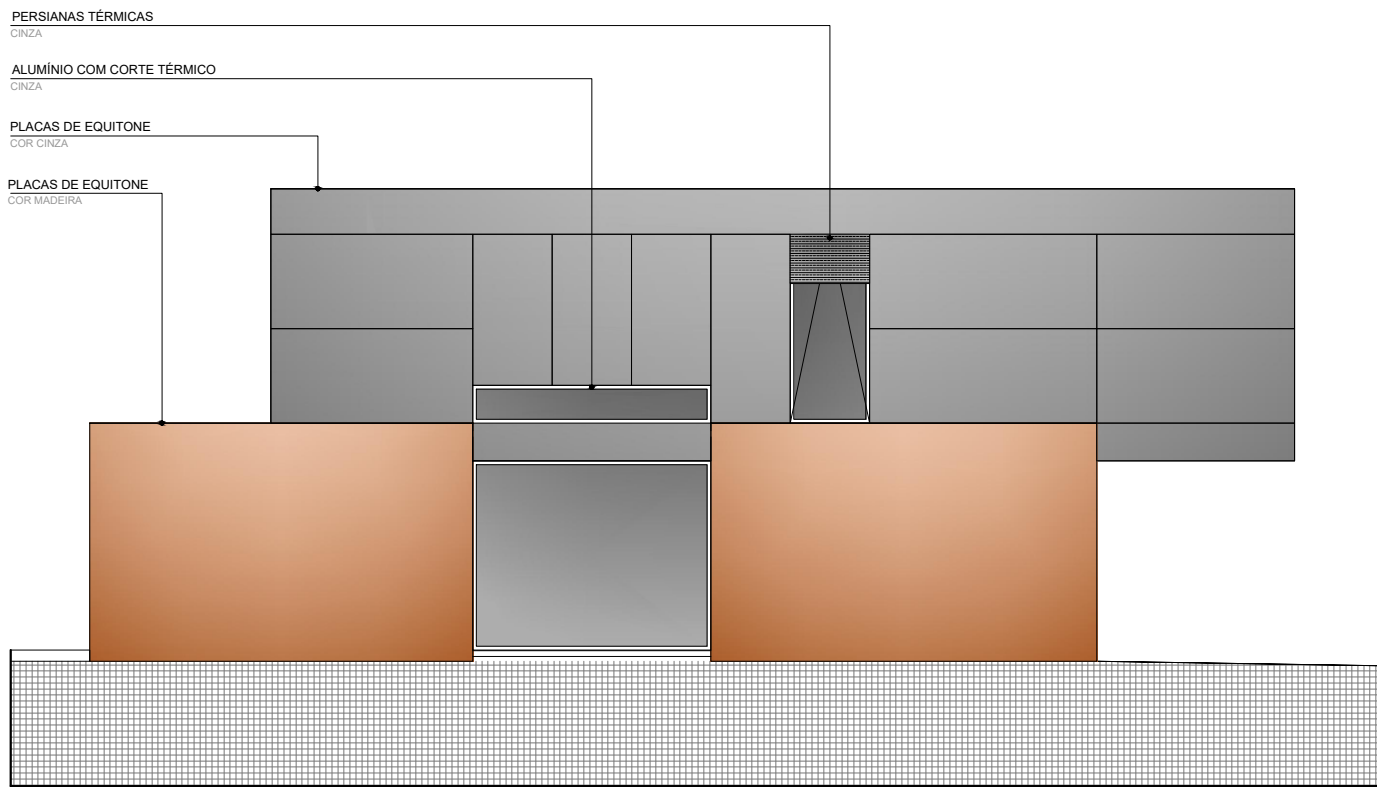


Descrição:
 Arquitetura da moradia em estudo: Plantas Piso 0 , Piso 1 e Cobertura

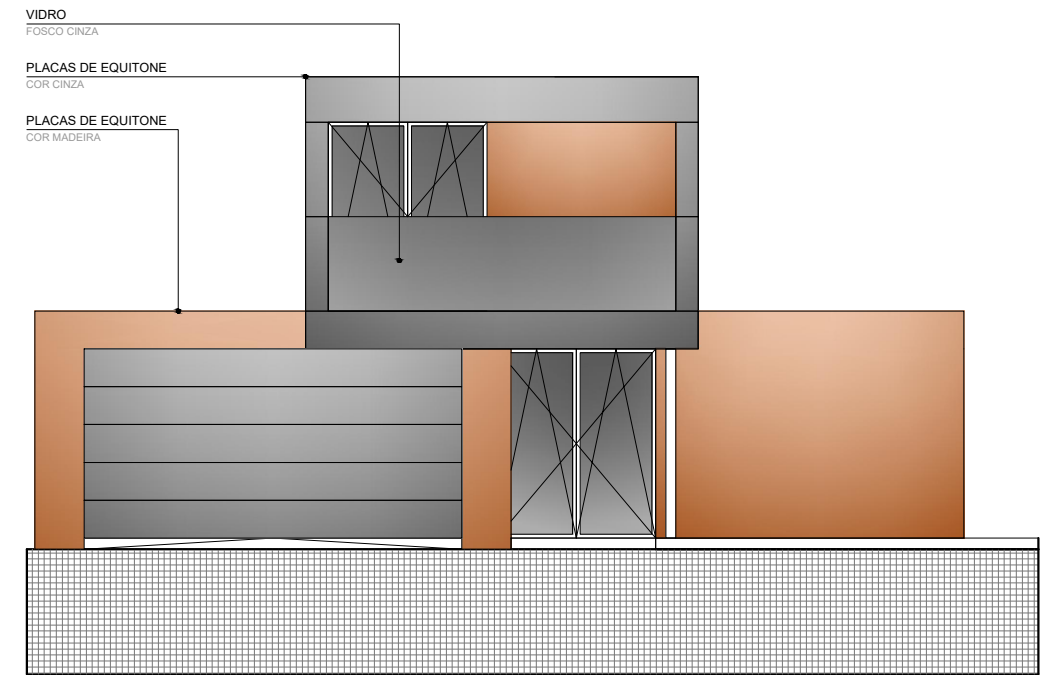
Data:
 2017-06-20

Escala:
 1:100

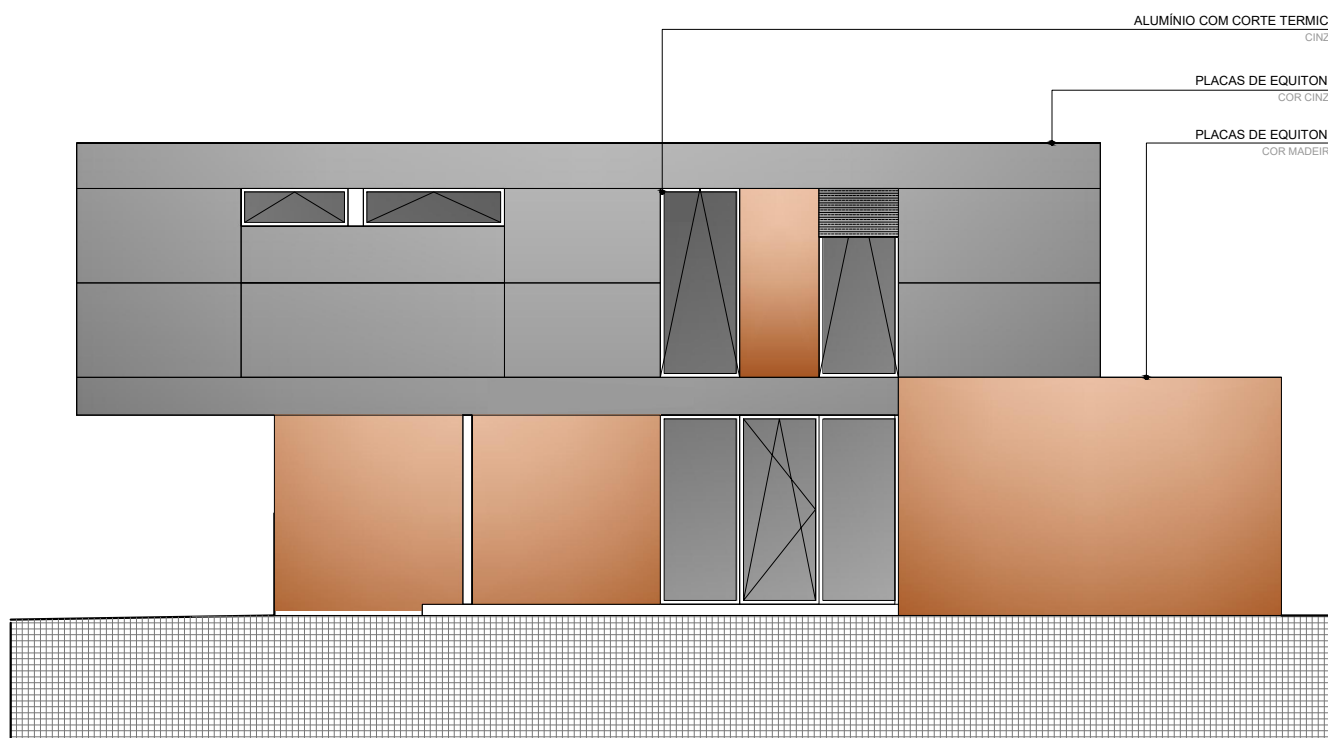
Daniel Fernandes Pontes



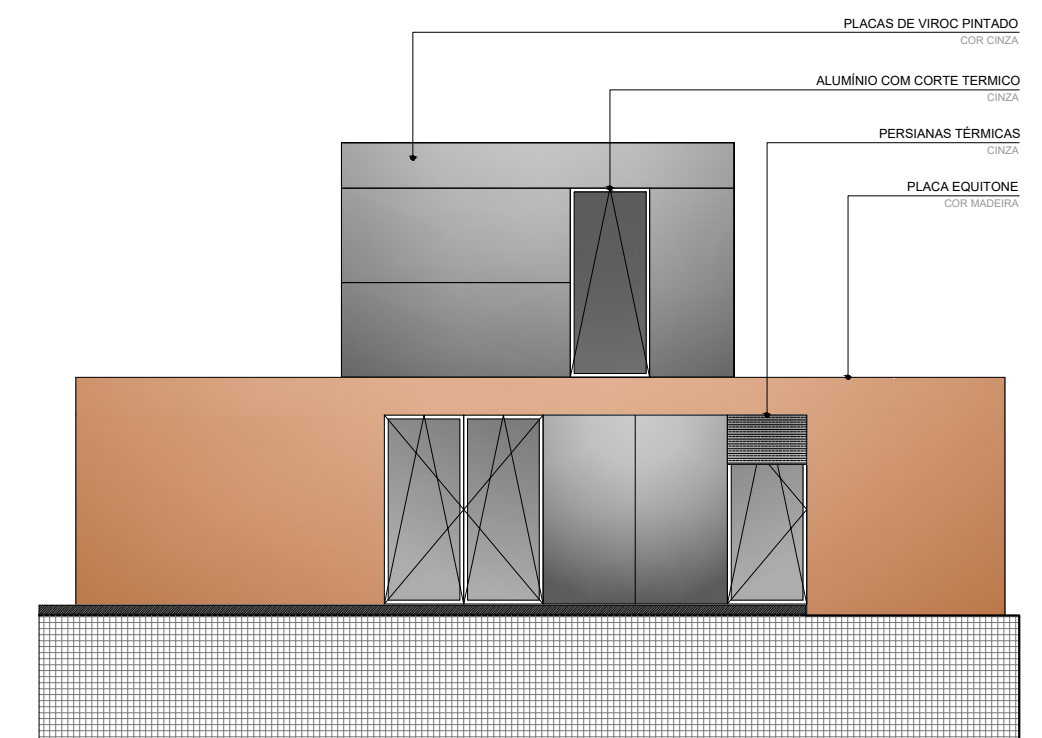
ALÇADO LATERAL ESQUERDO
ORIENTAÇÃO NORTE



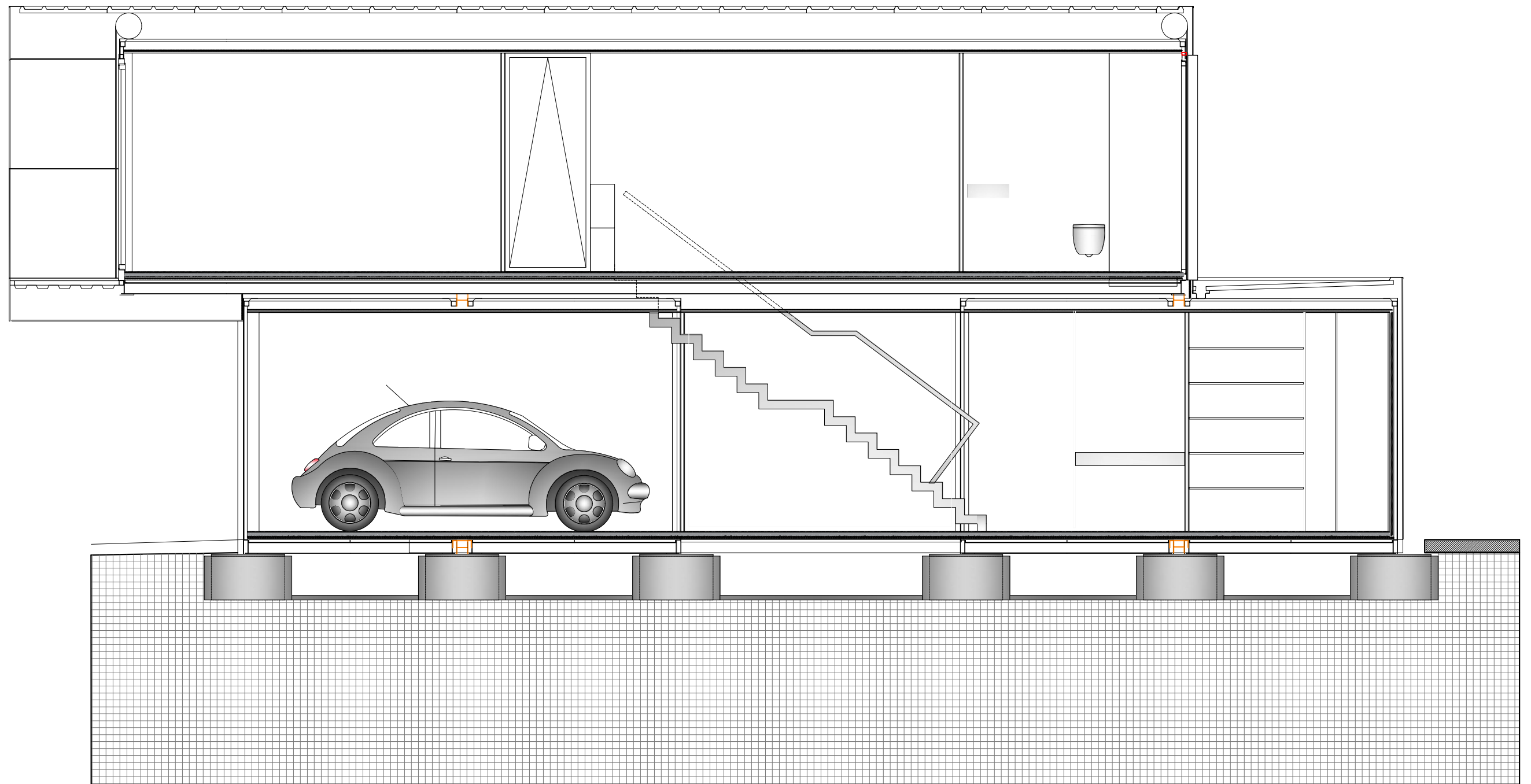
ALÇADO PRINCIPAL
ORIENTAÇÃO NASCENTE



ALÇADO LATERAL DIREITO
ORIENTAÇÃO SUL



ALÇADO POSTERIOR
ORIENTAÇÃO NASCENTE



CORTE "CD"
LONGITUDINAL

Descrição:

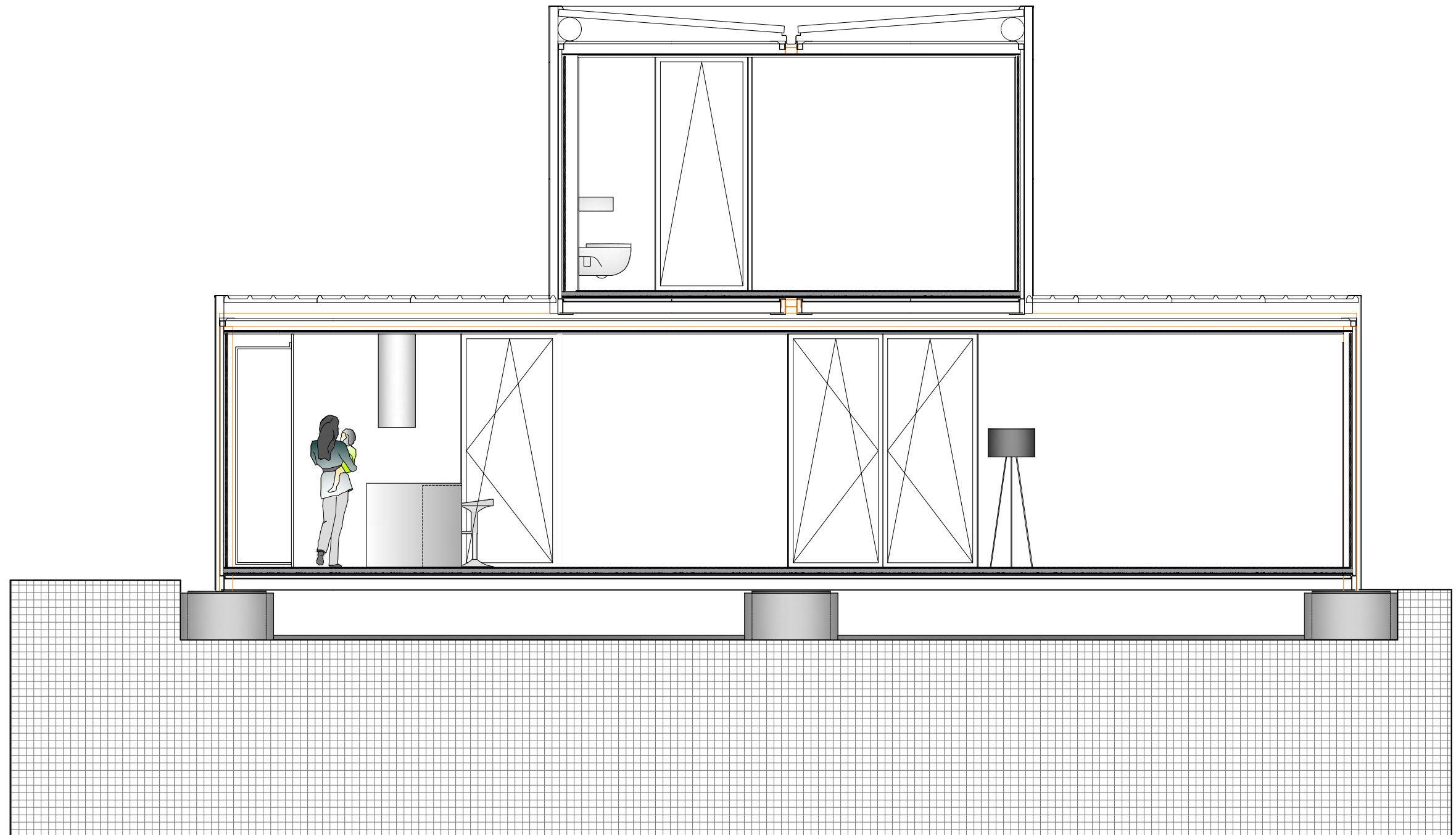
Arquitetura da moradia em estudo: Corte Longitudinal CD

Data:

2017-06-20

Escala:

1:50



CORTE "AB"
TRANSVERSAL

Descrição:

Arquitetura da moradia em estudo: Corte Transversal AB

Data:

2017-06-20

Escala:

1:50

Daniel Fernandes Pontes