



Universidade de Aveiro

Departamento de Engenharia Civil

2013

**Diana Carina Pereira
Cancela**

**Comportamento higrotérmico e monitorização de
construções em adobe**



Universidade de Aveiro Departamento de Engenharia Civil

2013

**Diana Carina Pereira
Cancela**

**Comportamento higrotérmico e monitorização de
construções em adobe**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil realizada sob a orientação científica do Doutor Romeu da Silva Vicente, Professor Auxiliar e do Doutor Aníbal Guimarães da Costa, Professor Catedrático, do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

Aos meus Pais, Anabela e António Cancela
e irmãos Tiago, Bruno e Mariana

o júri

presidente

Prof. Doutor Carlos Daniel Borges Coelho

professor auxiliar e diretor do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Prof. Doutora Sandra Cristina Alves Pereira da Silva Cunha

professora auxiliar da Universidade de Trás-Os-Montes e Alto Douro

Prof. Doutor Romeu da Silva Vicente

professor auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Aníbal Guimarães da Costa

professor catedrático do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

agradecimentos

A tese de mestrado é um trabalho individual devido à sua finalidade académica, no entanto, existem contributos de diversas pessoas que devem ser referidos. Este espaço é dedicado a todos os que de uma forma direta ou indireta contribuíram para a conclusão do curso de Engenharia Civil, que culmina com trabalho desta tese. A todos deixo aqui o meu sincero agradecimento:

Aos meus orientadores científicos Prof. Doutor Romeu Vicente e Prof. Doutor Aníbal Costa pela forma como orientaram o meu trabalho, pela disponibilidade que demonstraram desde o contacto inicial, pela forma crítica e exigente com que abordaram as ideias apresentadas, ajudando-me a dissipar dúvidas e a resolver problemas nos momentos de incerteza.

À Arquitecta Alice Tavares que sempre se disponibilizou para desenvolver, acompanhar e incentivar em todas as etapas deste trabalho.

Ao Engenheiro Tiago Meneses que com a partilha do saber e experiência, deu uma valiosa contribuição.

Agradeço ao Professor Alfredo Rocha e Mestre Tiago Luna, do Departamento de Física da Universidade de Aveiro, pela amável cedência dos dados climatéricos da estação meteorológica, usados neste trabalho.

Aos proprietários das três casas monitorizadas pela disponibilidade, tempo e paciência ao longo das várias visitas para recolha de dados.

À Professora Dulce Martinho agradeço os conselhos e importante ajuda na fase final deste trabalho, nomeadamente na sugestão de correções gramaticais e ortográficas.

Agradeço aos meus amigos, que foram companhia, apoio e amizade durante este percurso.

Finalmente, um agradecimento muito especial à família, em particular aos meus pais e irmãos, pelo estímulo e apoio ao longo destes anos, pela paciência com que sempre me ouviram e sensatez com que sempre me ajudaram.

palavras-chave

Construção em adobe, comportamento higrotérmico, monitorização do conforto térmico, estratégias de reabilitação

resumo

Em Portugal existe um vasto património construído em alvenaria de adobe, com especial expressão na região de Aveiro. De forma a salvaguardar a satisfação das condições de conforto térmico nas casas de adobe, sem necessidades excessivas de energia, quer no inverno quer no verão, é necessário investir na reabilitação térmica e energética das mesmas.

Esta dissertação de mestrado aborda o tema do comportamento higrotérmico de construções em alvenaria de adobe. São apresentados os resultados de uma monitorização "*in situ*" de três casas de adobe no concelho de Ílhavo, com vista a avaliar e quantificar as condições de conforto ao longo de um ano apresentando-se estratégias de reabilitação térmica e energética compatíveis com estas construções.

É urgente salvaguardar o edificado em adobe, com reconhecida qualidade e valor arquitetónico, elevando os níveis de conforto térmico às exigências atuais, de forma a que estas casas se tornem mais compatíveis com os requisitos de conforto atuais.

keywords

Adobe construction, hygrothermal behavior, thermal comfort monitoring, rehabilitation strategies

abstract

In Portugal there is a vast heritage masonry built in adobe, especially expressive in the region of Aveiro. In order to achieve satisfactory of thermal comfort conditions in adobe houses without excessive energy consumption in the winter or in summer season, it is necessary invest in energy and thermal rehabilitation of the older building stock.

This dissertation approaches the topic of the hygrothermal behavior of adobe masonry constructions. It is presented the results of "in situ" monitoring of three adobe houses located in the city of Ílhavo, in order to evaluate and quantify the comfort conditions over a year and present compatible and intrusive strategies for thermal and energy rehabilitaion with these constructions.

It is urgent to safeguard through intervening over the built adobe masonry building stock with architectural value, raising the levels of thermal comfort to the current structure, so that these houses are closer to atual comfort requirements.

Índice Geral

Índice de Figuras	VI
Índice de Tabelas	XV
Lista de Símbolos	XVII
CAPÍTULO 1 -Introdução.....	2
1. Introdução.....	3
1.1. Enquadramento.....	3
1.2. Objetivos e metodologia.....	3
1.3. Estrutura da dissertação.....	4
Capítulo 2 - Construção em alvenaria de adobe.....	8
2. Construções em alvenaria de adobe.....	9
2.1. Construção em terra em Portugal.....	9
2.1.1. Técnicas de construção em terra em Portugal	10
2.2. Construções em alvenaria de adobe em Aveiro	11
2.3. Potencialidades da construção em terra	11
CAPÍTULO 3 -Térmica de edifícios.....	14
3. Térmica de edifícios.....	15
3.1. Legislação em vigor.....	15
3.2. Definição de conforto térmico	15
3.2.1. Envolvente térmica.....	16
3.3. Envidraçados – Ganho solar	17
3.4. Inércia térmica de edifícios.....	18
3.5. Ventilação natural dos edifícios.....	19
3.6. Utilização – Ganhos internos	20
3.7. Quantificação do conforto térmico no interior	21

CAPÍTULO 4 -Comportamento e características térmicas das construções em terra.....	24
4. Comportamento e características térmicas das construções em terra.....	25
4.1. Inércia térmica nas construções em terra	25
4.2. A terra como PCM natural.....	25
4.3. Estudos de comportamento térmico em construções de adobe.....	26
4.4. Toxicidade e qualidade do ar interior	30
CAPÍTULO 5 -Caracterização construtiva das casas de adobe.....	32
5. Caracterização construtiva das casas de adobe.....	33
5.1. Casa A.....	33
5.1.1. Levantamento geométrico	34
5.1.2. Caracterização construtiva dos elementos principais da envolvente.....	37
5.1.2.1. Paredes exteriores e interiores	37
5.1.2.2. Pavimentos.....	38
5.1.2.3. Cobertura	39
5.1.2.4. Vãos envidraçados	39
5.2. Casa B.....	42
5.2.1. Levantamento geométrico	42
5.2.2. Caracterização construtiva dos elementos principais da envolvente.....	45
5.2.2.1. Paredes exteriores e interiores	45
5.2.2.2. Pavimentos.....	46
5.2.2.3. Cobertura	46
5.2.2.4. Vãos envidraçados	46
5.3. Casa C.....	48
5.3.1. Levantamento geométrico	49
5.3.2. Caracterização construtiva dos elementos principais da envolvente.....	51
5.3.2.1. Paredes exteriores e interiores	52
5.3.2.2. Pavimentos.....	52

5.3.2.3. Cobertura	52
5.3.2.4. Vãos envidraçados	52
5.4. Síntese da caracterização das casas.....	54
CAPÍTULO 6 -Monitorização das casas e resultados obtidos.....	58
6. Monitorização das casas e resultados obtidos.....	59
6.1. Estratégia e âmbito do estudo	59
6.2. Sistema de monitorização e aquisição de dados	59
6.3. Instalação da monitorização das casas.....	60
6.4. Condicionantes e limitações da monitorização.....	63
6.5. Norma EN 15 251	65
6.6. Resultados da Casa A	66
6.6.1. Análise diária – Período de verão.....	66
6.6.2. Previsão de sobreaquecimento – Período de verão	71
6.6.3. Análise do conforto térmico segundo a EN 15 251 – Período de verão... 71	
6.6.4. Análise diária – Período de outono.....	72
6.6.5. Previsão de arrefecimento – Período de outono	76
6.6.6. Análise do conforto térmico segundo a EN 15 251 – Período de outono 77	
6.6.7. Análise diária – Período de inverno	77
6.6.8. Previsão de arrefecimento – Período de inverno	81
6.6.9. Análise do conforto térmico segundo a EN 15 251 – Período de inverno 82	
6.6.10. Análise diária – Período de primavera	82
6.6.11. Previsão de arrefecimento – Período de primavera.....	86
6.6.12. Análise do conforto térmico segundo a EN 15 251 – Período de primavera.....	87
6.6.13. Síntese Geral – Casa A	87
6.7. Resultados da Casa B.....	88
6.7.1. Análise diária – Período de verão.....	88
6.7.2. Previsão de sobreaquecimento – Período de verão	92
6.7.3. Análise do conforto térmico segundo a EN 15 251 – Período de verão... 92	

6.7.4.	Análise diária – Período de outono.....	93
6.7.5.	Previsão de arrefecimento – Período de outono	97
6.7.6.	Análise do conforto térmico segundo a EN 15 251 – Período de outono	97
6.7.7.	Análise diária – Período de inverno	98
6.7.8.	Previsão de arrefecimento – Período de inverno	101
6.7.9.	Análise do conforto térmico segundo a EN 15 251 – Período de inverno.....	102
6.7.10.	Análise diária – Período de primavera	103
6.7.11.	Previsão de sobreaquecimento – Período de primavera	106
6.7.12.	Análise do conforto térmico segundo a EN 15 251 – Período de primavera.....	107
6.7.13.	Síntese geral – Casa B	108
6.8.	Resultados da Casa C.....	108
6.8.1.	Análise diária – Período de verão.....	109
6.8.2.	Previsão de sobreaquecimento – Período de verão	112
6.8.3.	Análise do conforto térmico segundo a EN 15 251 – Período de verão.	113
6.8.4.	Análise diária – Período de outono.....	113
6.8.5.	Previsão de arrefecimento – Período de outono	117
6.8.6.	Análise do conforto térmico segundo a EN 15 251 – Período de outono.....	117
6.8.7.	Análise diária – Período de inverno	118
6.8.8.	Previsão de arrefecimento – Período de inverno	121
6.8.9.	Análise do conforto térmico segundo a EN 15 251 – Período de inverno.....	122
6.8.10.	Análise diária – Período de primavera	122
6.8.11.	Previsão de arrefecimento – Período de primavera.....	126
6.8.12.	Análise do conforto térmico segundo a EN 15 251 – Período de primavera.....	126
6.8.13.	Síntese geral – Casa C	127
6.9.	Síntese comparativa	127
CAPÍTULO 7 -Propostas de intervenção.....		134
7.	Propostas de intervenção	135

7.1.	Cobertura / Pavimentos exteriores	135
7.2.	Envidraçados.....	139
7.3.	Paredes	141
7.4.	Sistemas de ventilação	143
7.5.	Reabilitação energética e integração de energias renováveis	145
CAPÍTULO 8 -Conclusões e perspectivas de trabalho futuro.....		148
8.	Conclusões e perspectivas de trabalho futuro	149
8.1.	Conclusões principais	149
8.1.1.	Construção em alvenaria de adobe	149
8.1.2.	Comportamento e características térmicas das construções em terra.....	150
8.1.3.	Caracterização construtiva das casas de adobe.....	150
8.1.4.	Monitorização das casas e resultados obtidos	150
8.1.5.	Propostas de intervenção	152
8.2.	Perspetivas de trabalho futuro.....	153
Referências Bibliográficas		156
Anexo A.....		149

Índice de Figuras

Figura 1: Construções tradicionais Portuguesas em terra: a) Taipa; b) Adobe; c) Tabique	9
Figura 2 - Inércia térmica: a) Pequena amplitude térmica de uma habitação; b) Grande amplitude térmica de uma habitação [4].....	19
Figura 3 - Ventilação nos edifícios.....	20
Figura 4: Os três módulos de teste construídos [28]	26
Figura 5 - Gráfico das temperaturas registadas de 6 a 11 de Agosto de 2004 [28].....	27
Figura 6: Gráfico de humidades registadas de 6 a 11 de Agosto de 2004 [28].....	27
Figura 7: Modelo à escala [29].....	28
Figura 8: Base e cobertura das células de teste [29].....	28
Figura 9: Posicionamento dos sensores PT100 na célula de teste [29]	29
Figura 10 - Temperaturas registadas nas três células de teste no dia 21 de Maio de 2010 [29]	30
Figura 11 - Casas monitorizadas: a) Casa A; b) Casa B; c) Casa C).....	33
Figura 12 - Casa A: a) Vista aérea; b) Fachada Sudeste	33
Figura 13 - Planta da cave da Casa A.....	34
Figura 14 - Planta do 1º piso da Casa A	35
Figura 15 - Planta do sótão da Casa A.....	35
Figura 16 - Planta da cobertura da Casa A.	36
Figura 17 - Alçados da Casa A.....	37
Figura 18 - Exemplos do revestimento do pavimento da cave: a) Revestimento em cacos de gazete; b) Revestimento em mosaico cerâmico	38
Figura 19 - Exemplos dos pavimentos dos pisos elevados: a) Estrutura dos pavimentos de madeira; b) Estrutura dos pavimentos de madeira; c) Revestimento em madeira; b) Revestimento em mosaico cerâmico	38
Figura 20 - a) Isolamento na cobertura em poliestireno extrudido de 5 centímetros; b) Estrutura da cobertura em madeira e localização do isolamento térmico	39
Figura 21 - Exemplo de uma janela com portada interior de duas folhas: a) Fotografia pelo interior; b) Desenho da janela tipo 1	39
Figura 22 - Vista exterior das três janelas de correr existentes na marquise.....	40
Figura 23 - Exemplo de janela fixa localizada na cave	40

Figura 24 - Exemplo de janela projetante localizada na cave da casa.....	40
Figura 25 - Legenda: Exemplos das portas interiores	40
Figura 26 - Portas exteriores e alguns pormenores.....	41
Figura 27 - Casa B: a) vista aérea; b) vista da fachada Este.....	42
Figura 28 - Planta do rés-do-chão da Casa B	43
Figura 29 - Planta do 1º piso da Casa B	43
Figura 30 - Planta da cobertura da Casa B	44
Figura 31 - Alçados da Casa B	45
Figura 32 – Janelas da casa B e respetivos pormenores	47
Figura 33 - Portas exteriores.....	48
Figura 34 - Casa C: a) vista aérea; b) vista da fachada sudeste.....	48
Figura 35 - Planta do rés-do-chão da Casa C	49
Figura 36 - Planta do 1º piso da Casa C	50
Figura 37 - Planta da cobertura da casa C	50
Figura 38 - Alçados da casa C	51
Figura 39 - Exemplos das janelas da casa C.....	53
Figura 40 - Exemplos das portas existentes na casa C	54
Figura 41 - Sensor utilizado para medição (testo 174) e adaptador USB	59
Figura 42 - Proteção em zinco dos sensores exteriores para as condições climáticas adversas	60
Figura 43 - Localização dos quatro sensores na casa A	61
Figura 44 - Localização dos três sensores na casa B.....	62
Figura 45 - Localização dos três sensores na casa C.....	63
Figura 46 - Valores base de temperaturas operativas interiores para edifícios não climatizados [5]	66
Figura 47 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 26 de julho de 2012	67
Figura 48 - Humidade relativa interior e exterior no dia 26 de julho de 2012	67
Figura 49 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 8 de agosto de 2012	68
Figura 50 - Humidade relativa interior e exterior no dia 8 de agosto de 2012.....	68
Figura 51 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 18 de agosto de 2012	68
Figura 52 - Humidade relativa interior e exterior no dia 18 de agosto de 2012.....	69

Figura 53 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no 6 de setembro de 2012	69
Figura 54 - Humidade relativa interior e exterior no dia 6 de setembro de 2012.....	69
Figura 55 - Registo de temperatura para o período de verão, no 1º andar (corredor) e sótão, com indicação do intervalo de conforto térmico.....	71
Figura 56 - Relação entre a temperatura média interior e exterior e limites especificados na norma Europeia EN 15 251 [5].....	72
Figura 57 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 23 de outubro de 2012	73
Figura 58 - Humidade relativa interior e exterior no dia 23 de outubro de 2012.....	73
Figura 59 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 25 de novembro de 2012	73
Figura 60 - Humidade relativa interior e exterior no dia 25 de novembro de 2012	74
Figura 61 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 10 de dezembro de 2012.....	74
Figura 62 - Humidade relativa interior e exterior no dia 10 de dezembro de 2012.....	74
Figura 63 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 17 de dezembro de 2012.....	75
Figura 64 - Humidade relativa interior e exterior no dia 17 de dezembro de 2012.....	75
Figura 65 - Registo de temperatura para o período de outono, no 1º andar (corredor) e sótão, com indicação do limite de desconforto térmico	76
Figura 66 - Relação entre a temperatura média interior e exterior e limites especificados na norma Europeia EN 15 251 [5].....	77
Figura 68 - Humidade relativa interior e exterior no dia 31 de dezembro de 2012.....	78
Figura 67 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 31 de dezembro de 2012.....	78
Figura 69 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 7 de janeiro de 2013	79
Figura 70 - Humidade relativa interior e exterior no dia 7 de janeiro de 2013	79
Figura 71 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 17 de fevereiro de 2013	79
Figura 72 - Humidade relativa interior e exterior no dia 17 de fevereiro de 2013.....	80
Figura 73 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global e radiação global no dia 2 de março de 2013.....	80

Figura 74 - Humidade relativa interior e exterior no dia 2 de março de 2013	80
Figura 75 - Registo de temperatura para o período de inverno, no 1º andar (sala) e sótão, com indicação do limite de desconforto térmico.....	81
Figura 76 - Relação entre a temperatura média interior e exterior e limites especificados na norma Europeia EN 15 251 [5].....	82
Figura 77 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global e radiação global no dia 25 de março de 2013.....	83
Figura 78 - Humidade relativa interior e exterior no dia 25 de março de 2013	83
Figura 79 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global e radiação global no dia 24 de abril de 2013	84
Figura 80 - Humidade relativa interior e exterior no dia 24 de abril de 2013.....	84
Figura 81 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global e radiação global no dia 7 de maio de 2013.....	84
Figura 82 - Humidade relativa interior e exterior no dia 7 de maio de 2013.	85
Figura 83 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global e radiação global no dia 29 de maio de 2013.....	85
Figura 84 - Humidade relativa interior e exterior no dia 29 de maio de 2013	85
Figura 85 - Registo de temperatura para o período de primavera, no 1º andar (sala) e sótão, com indicação do limite de desconforto térmico	86
Figura 86 - Relação entre a temperatura média interior e exterior e limites especificados na norma Europeia EN 15 251 [5].....	87
Figura 87 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 26 de julho de 2012	89
Figura 88 - Humidade relativa interior e exterior no dia 26 de julho de 2012	89
Figura 89 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 8 de agosto de 2012	89
Figura 92 - Humidade relativa interior e exterior no dia 18 de agosto de 2012.....	90
Figura 90 - Humidade relativa interior e exterior no dia 8 de agosto de 2012.....	90
Figura 91 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 18 de agosto de 2012	90
Figura 93 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 6 de setembro de 2012	91
Figura 94 - Humidade relativa interior e exterior no dia 6 de setembro de 2012.....	91

Figura 95 - Registo de temperatura para o período de verão, no rés-do-chão e 1º andar, com indicação dos limites de conforto térmico	92
Figura 96 - Relação entre a temperatura média interior e exterior e limites especificados na norma Europeia EN 15 251 [5].....	93
Figura 97 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 23 de outubro de 2012	93
Figura 98 - Humidade relativa interior e exterior no dia 23 de outubro de 2012.....	94
Figura 99 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 25 de novembro de 2012	94
Figura 100 - Humidade relativa interior e exterior no dia 25 de novembro de 2012	94
Figura 101 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 10 de dezembro de 2012.....	95
Figura 102 - Humidade relativa interior e exterior no dia 10 de dezembro de 2012.....	95
Figura 103 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 17 de dezembro de 2012.....	96
Figura 104 - Humidade relativa interior e exterior no dia 17 de dezembro de 2012.....	96
Figura 105 - Registo de temperatura para o período de outono, no rés-do-chão e 1º andar, com indicação do limite de desconforto térmico	97
Figura 106 - Relação entre a temperatura média interior e exterior e limites especificados na norma Europeia EN 15 251 [5]	97
Figura 107 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 31 de dezembro de 2012.....	98
Figura 108 - Humidade relativa interior e exterior no dia 31 de dezembro de 2012.....	98
Figura 109 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 7 de janeiro de 2013	99
Figura 110 - Humidade relativa interior e exterior no dia 7 de janeiro de 2013	99
Figura 111 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 17 de fevereiro de 2013	100
Figura 112 - Humidade relativa interior e exterior no dia 17 de fevereiro de 2013.....	100
Figura 113 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 2 de março de 2013	100
Figura 114 - Humidade relativa interior e exterior no dia 2 de março de 2013	101
Figura 115 - Registo de temperatura para o período de inverno, no rés-do-chão e 1º andar, com indicação do limite de desconforto térmico	102

Figura 116 - Relação entre a temperatura média interior e exterior e limites especificados na norma Europeia EN 15 251 [5]	102
Figura 117 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 25 de março de 2013	103
Figura 118 - Humidade relativa interior e exterior no dia 25 de março de 2013	103
Figura 119 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 24 de abril de 2013	104
Figura 120 - Humidade relativa interior e exterior no dia 24 de abril de 2013	104
Figura 121 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 7 de maio de 2013	105
Figura 122 - Humidade relativa interior e exterior no dia 7 de maio de 2013	105
Figura 123 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 29 de maio de 2013	105
Figura 124 - Humidade relativa interior e exterior no dia 29 de maio de 2013	106
Figura 125 - Registo de temperatura para o período de primavera, no rés-do-chão e 1º andar, com indicação do limite de desconforto térmico	107
Figura 126 - Relação entre a temperatura média interior e exterior e limites especificados na norma Europeia EN 15 251 [5]	107
Figura 127 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 26 de julho de 2012	109
Figura 128 - Humidade relativa interior e exterior no dia 26 de julho de 2012	109
Figura 129 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 8 de agosto de 2012	110
Figura 130 - Humidade relativa interior e exterior no dia 8 de agosto de 2012	110
Figura 131 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 18 de agosto de 2012	110
Figura 132 - Humidade relativa interior e exterior no dia 18 de agosto de 2012	111
Figura 133 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 6 de setembro de 2012	111
Figura 134 - Humidade relativa interior e exterior no dia 6 de setembro de 2012	111
Figura 135 - Registo de temperatura para o período de verão, no rés-do-chão e 1º andar, com indicação dos limites de conforto térmico	112
Figura 136 - Relação entre a temperatura média interior e exterior e limites especificados na norma Europeia EN 15 251 [5]	113

Figura 137 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 23 de outubro de 2012	113
Figura 138 - Humidade relativa interior e exterior no dia 23 de outubro de 2012.....	114
Figura 139 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 25 de novembro de 2012	114
Figura 140 - Humidade relativa interior e exterior no dia 25 de novembro de 2012 ...	114
Figura 141 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 10 de dezembro de 2012.....	115
Figura 142 - Humidade relativa interior e exterior no dia 10 de dezembro de 2012....	115
Figura 143 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 17 de dezembro de 2012.....	116
Figura 144 - Humidade relativa interior e exterior no dia 17 de dezembro de 2012....	116
Figura 145 - Registo de temperatura para o período de outono, no rés-do-chão e 1º andar, com indicação do limite de desconforto térmico	117
Figura 146 - Relação entre a temperatura média interior e exterior e limites especificados na norma Europeia EN 15 251 [5]	117
Figura 147 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 31 de dezembro de 2012.....	118
Figura 148 - Humidade relativa interior e exterior no dia 31 de dezembro de 2012....	118
Figura 149 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 7 de janeiro de 2013	119
Figura 150 - Humidade relativa interior e exterior no dia 7 de janeiro de 2013	119
Figura 151 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 17 de fevereiro de 2013	119
Figura 152 - Humidade relativa interior e exterior no dia 17 de fevereiro de 2013.....	120
Figura 153 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 2 de março de 2013	120
Figura 154 - Humidade relativa interior e exterior no dia 2 de março de 2013	120
Figura 155 - Registo de temperatura para o período de inverno, no rés-do-chão e 1º andar, com indicação do limite de desconforto térmico	121
Figura 156 - Relação entre a temperatura média interior e exterior e limites especificados na norma Europeia EN 15 251 [5]	122
Figura 157 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 25 de março de 2013	123

Figura 158 - Humidade relativa interior e exterior no dia 25 de março de 2013	123
Figura 159 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 24 de abril de 2013	123
Figura 160 - Humidade relativa interior e exterior no dia 24 de abril de 2013	124
Figura 161 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 7 de maio de 2013	124
Figura 162 - Humidade relativa interior e exterior no dia 7 de maio de 2013	124
Figura 163 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 29 de maio de 2013	125
Figura 164 - Humidade relativa interior e exterior no dia 29 de maio de 2013	125
Figura 165 - Registo de temperatura para o período de primavera, no rés-do-chão e 1º andar, com indicação do limite de desconforto térmico	126
Figura 166 - Relação entre a temperatura média interior e exterior e limites especificados na norma Europeia EN 15 251 [5]	126
Figura 167 - Ventilação do desvão: a) Telha com sistema de ventilação; b) Desvão não útil francamente ventilado	136
Figura 168 - Cobertura inclinada em telha cerâmica, assente em estrutura de madeira com desvão não habitável.....	136
Figura 169 - Cobertura inclinada em telha cerâmica, assente em estrutura de madeira com desvão habitável e colocação de isolamento sob o revestimento descontínuo da cobertura.....	137
Figura 170 - Cobertura inclinada em telha cerâmica, assente em estrutura de madeira com desvão habitável e colocação de isolamento na face inferior da estrutura cobertura	137
Figura 172 - 3: a) Célula 2 com cobertura ventilada; b) Vista geral das células durante a experiência [37]	138
Figura 171 - Gráfico das temperaturas interiores da célula 1, 2 e 3 e da temperatura exterior (E) [37].....	138
Figura 173 - Ventilação da cobertura: a) Micro - ventilação na face inferior da telha; b) Ripado interrompido com cortes transversais permitindo a ventilação; c) Mecanismo de ventilação entre o beirado e a cumeeira; d) Efeito da colocação de telhas de ventilação na cobertura; e) Efeitos da colocação desencontrada de telhas de ventilação na cobertura.	139

Figura 174 – Exemplo de conservação da caixilharia existente e introdução de uma segunda caixilharia interior (corte horizontal).....	140
Figura 175 - Distribuição de temperaturas de uma ponte térmica (zona de cunhal e ligação de parede-cobertura)	142
Figura 176 - Isolamento térmico de fachadas pelo exterior: a) Revestimento independente descontínuo com isolante térmico na caixa-de-ar; b) Sistema de isolamento térmico compósito exterior com revestimento espesso; c) Sistema de isolamento térmico compósito exterior com revestimento delgado; d) Sistema de isolamento térmico por elementos descontínuos pré-fabricados [34]	143
Figura 177- Contra fachada com isolante na caixa-de-ar: a) Contra fachada de alvenaria; b) Contra fachada de gesso cartonado [34]	143
Figura 178 - Medição do teor de humidade relativa do ar num quarto de um edifício antigo e da superfície exterior da parede.	144
Figura 179 – Esquema do sistema de ventilação da casa com recuperação de calor ...	145
Figura 180 – Esquemática da colocação de painéis fotovoltaicos e de coletores solares térmicos.	146

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Quadro resumo da caracterização construtiva das três casas	55
Tabela 2 - Particularidades de cada casa e hábitos dos habitantes para os períodos de registo de dados	64
Tabela 3 - Aplicabilidade das classes de ambientes térmicos	65
Tabela 4 - Resultados do registo no dia 26 de julho de 2012.....	67
Tabela 5 - Resultados do registo no dia 8 de agosto de 2012.....	68
Tabela 6 - Resultados do registo no dia 18 de agosto de 2012.....	69
Tabela 7 - Resultados do registo no dia 6 de setembro de 2012	70
Tabela 8 - Resultados do registo no dia 23 de outubro de 2012.....	73
Tabela 9 - Resultados do registo no dia 25 de novembro de 2012.....	74
Tabela 10 - Resultados do registo no dia 10 de dezembro de 2012	75
Tabela 11 - Resultados do registo no dia 17 de dezembro de 2012	75
Tabela 12 - Resultados do registo no dia 31 de dezembro de 2012	78
Tabela 13 - Resultados do registo no dia 7 de janeiro de 2013.....	79
Tabela 14 - Resultados do registo no dia 17 de fevereiro de 2013.....	80
Tabela 15 - Resultados do registo no dia 2 de março de 2013	81
Tabela 16 - Resultados do registo no dia 25 de março de 2013.....	83
Tabela 17 - Resultados do registo no dia 24 de abril de 2013.....	84
Tabela 18 - Resultados do registo no dia 7 de maio de 2013	85
Tabela 19 - Resultados do registo no dia 29 de maio de 2013	86
Tabela 20 - Resultados do registo no dia 26 de julho de 2012.....	89
Tabela 21 - Resultados do registo no dia 8 de agosto de 2012.....	90
Tabela 22 - Resultados do registo no dia 18 de agosto de 2012.....	91
Tabela 23 - Resultados do registo no dia 6 de setembro de 2012	91
Tabela 24 - Resultados do registo no dia 23 de outubro de 2012.....	94
Tabela 25 - Resultados do registo no dia 25 de novembro de 2012.....	95
Tabela 26 - Resultados do registo no dia 10 de dezembro de 2012.....	95
Tabela 27 - Resultados do registo no dia 17 de dezembro de 2012	96
Tabela 28 - Resultados do registo no dia 31 de dezembro de 2012.....	99
Tabela 29 - Resultados do registo no dia 7 de janeiro de 2013	99
Tabela 30 - Resultados do registo no dia 17 de fevereiro de 2013.....	100

Tabela 31 - Resultados do registo no dia 2 de março de 2013	101
Tabela 32 - Resultados do registo no dia 25 de março de 2013	104
Tabela 33 - Resultados do registo no dia 24 de abril de 2013	104
Tabela 34 - Resultados do registo no dia 7 de maio de 2013	105
Tabela 35 - Resultados do registo no dia 29 de maio de 2013	106
Tabela 36 - Resultados do registo no dia 26 de julho de 2013	109
Tabela 37 - Resultados do registo no dia 8 de agosto de 2012.....	110
Tabela 38 - Resultados do registo no dia 18 de agosto de 2012.....	111
Tabela 39 - Resultados do registo no dia 6 de setembro de 2012	112
Tabela 40 - Resultados do registo no dia 23 de outubro de 2012.....	114
Tabela 41 - Resultados do registo no dia 25 de novembro de 2012.....	115
Tabela 42 - Resultados do registo no dia 10 de dezembro de 2012	115
Tabela 43 - Resultados do registo no dia 17 de dezembro de 2012	116
Tabela 44 - Resultados do registo no dia 31 de dezembro de 2012	118
Tabela 45 - Resultados do registo no dia 7 de janeiro de 2013	119
Tabela 46 - Resultados do registo no dia 17 de fevereiro de 2013.....	120
Tabela 47 - Resultados do registo no dia 2 de março de 2013	121
Tabela 48 - Resultados do registo no dia 25 de março de 2013	123
Tabela 49 - Resultados do registo no dia 24 de abril de 2013.....	124
Tabela 50 - Resultados do registo no dia 7 de maio de 2013	125
Tabela 51 - Resultados do registo no dia 29 de maio de 2013	125
Tabela 52 - Síntese comparativa dos parâmetros de conforto térmico para o período de verão.	128
Tabela 53 - Síntese comparativa dos parâmetros de conforto térmico para o período de outono.	129
Tabela 54 - Síntese comparativa dos parâmetros de conforto térmico para o período de inverno.	130
Tabela 55 - Síntese comparativa dos parâmetros de conforto térmico para o período de primavera.	131

Lista de Símbolos

Q_{cond} – fluxo de calor trocado entre o interior e o exterior (W)

A – área do elemento da envolvente (perpendicular ao fluxo – m²)

θ_i e θ_e – temperaturas do ar, respetivamente, no interior e no exterior (°C)

U – coeficiente de transmissão térmica médio da parede (W/m²°C)

R_{si} – Resistência térmica superficial interior (m²°C/W)

R_{se} – Resistência térmica superficial exterior (m²°C/W)

e – Espessura do elemento (m)

λ – Coeficiente de condutibilidade térmica do material (W/m°C)

Pontos cardeais	Pontos colaterais	Pontos subcolaterais
<i>N</i> – Norte	<i>NE</i> - Nordeste	<i>NNE</i> - Nór-Nordeste
<i>E</i> - Este	<i>SE</i> - Sudeste	<i>ENE</i> - Es-Nordeste
<i>S</i> - Sul	<i>SO</i> ou <i>SW</i> - Sudoeste	<i>ESE</i> - Es-Sudeste
<i>W</i> - Oeste	<i>NO</i> ou <i>NW</i> - Noroeste	<i>SSE</i> - Sul-Sudeste
		<i>SSO</i> - Sul-Sudoeste
		<i>ONO</i> ou <i>WNW</i> - Oés-Noroeste
		<i>NNO</i> ou <i>NNW</i> - Nór-Noroeste
		<i>OSO</i> ou <i>WSW</i> - Oés-Sudoeste

CAPÍTULO 1
Introdução

CAPÍTULO 1 - Introdução

1.1. Enquadramento

1.2. Objetivos e metodologia

1.3. Estrutura da dissertação

1. Introdução

Este capítulo constitui a introdução da dissertação, e nela apresenta-se o tema desenvolvido ao longo da mesma e faz-se o seu enquadramento. Apresentam-se ainda os objetivos gerais e a estrutura da dissertação.

1.1. Enquadramento

Desde que o Homem constrói casas, sensivelmente há dez mil anos, existem construções em terra crua. A terra foi um dos primeiros materiais utilizados pelo Homem na construção, pois, se por um lado, era facilmente adquirido, por outro este, era um material facilmente moldado e naturalmente seco, sendo esta uma matéria-prima ecológica, abundante e reutilizável [1]. Contrariamente ao que se possa inicialmente julgar, a terra foi utilizada não só na edificação de pequenas construções, usadas como edifícios de habitação, mas também na construção de edifícios de grande escala, como grandes monumentos [2].

Por outro lado, o setor da construção exerce sobre o ambiente um enorme impacto [3]. Este setor é responsável por grande parte da energia consumida e por emissões de CO₂. Os métodos de construção são cada vez mais direcionados para garantir a rapidez na execução da obra e não é dada a devida atenção ao desempenho ambiental e à inércia térmica dos materiais. Para sentir conforto no interior dos edifícios são necessários sistemas ativos de arrefecimento, de aquecimento e de ventilação, uma vez que a capacidade de armazenamento de calor sensível dos materiais é reduzida. No fabrico dos materiais de construção e no seu transporte são consumidas grandes quantidades de energia, que são responsáveis por emissões de CO₂ e que contrinuirão para que a habitação tenha níveis de conforto satisfatórios. Desta forma, a utilização de materiais de construção à base de terra crua pode contribuir de forma significativa para reduzir estas emissões [4].

1.2. Objetivos e metodologia

As construções tradicionais em adobe apresentam características termofísicas muito incertas devido aos processos de produção associados.

A atual regulamentação térmica apresenta novos objetivos na determinação das propriedades da terra nos processos de construção e de reabilitação térmica de edifícios. Para as intervenções sobre edifícios existentes é necessário dotar os técnicos de conhecimentos que lhes permitam responder às exigências regulamentares. O objetivo principal da presente dissertação é, a partir de uma monitorização "*in situ*", avaliar e quantificar as condições de conforto, com a apresentação de estratégias de reabilitação

térmica e energética. Para esse efeito, foi efetuado um levantamento e registo geométrico das características das construções estudadas. Foram recolhidos e analisados registos de termohidrógrafos, colocados em três casas de construção em adobe, em Ílhavo, desde o dia 19 de Julho de 2012. Cada casa dispunha de sensores que registaram a temperatura e a humidade relativa, interiores e exteriores. A análise dos resultados foi feita com base nos critérios de conforto definidos em regulamentação própria, como seja a EN 15 251 [5] e o RCCTE [6].

1.3. Estrutura da dissertação

A dissertação está organizada em 8 capítulos e um anexo, sendo que o Capítulo 1 é a presente introdução, na qual se apresenta o enquadramento, os objetivos e a metodologia, bem como a estrutura da mesma.

O Capítulo 2; construção em alvenaria de adobe; apresenta o enquadramento teórico das construções em terra em Portugal, com particular referência a Aveiro. Mostra também o potencial deste tipo de construção.

No Capítulo 3; térmica de edifícios; é apresentada a legislação em vigor em Portugal e definido o conceito de conforto térmico. Faz-se também uma abordagem às características dos edifícios e aos comportamentos dos residentes, fatores importantes na definição do conforto térmico, tais como: envidraçados, inércia térmica, ventilação natural e utilização. Por fim, é apresentada a quantificação do conforto térmico no interior do edifício.

O Capítulo 4; comportamento e características térmicas das construções em terra; caracteriza-se a inércia térmica nas construções em terra e apresenta a terra como PCM (Phase Change Material) natural. Neste capítulo, são ainda contemplados alguns estudos já efetuados relativos a ensaios do comportamento térmico em construções de adobe. Por fim, é feita uma referência à toxicidade e qualidade do ar interior em construções em adobe.

No Capítulo 5; caracterização construtiva das casas antigas de estudo; procede-se à caracterização das três casas monitorizadas no âmbito deste estudo, sendo apresentado o respetivo levantamento geométrico e descrição construtiva dos elementos principais da envolvente.

No Capítulo 6; monitorização das casas e resultados obtidos; é definida a estratégia e o âmbito do sistema de monitorização e aquisição de dados. É descrito o processo de monitorização das casas e são apresentadas as condições e limitações do mesmo. Realiza-se, também, uma pequena descrição da aplicação da norma EN 15 251 [5]. São igualmente apresentados e comentados os registos efetuados nas três casas em estudo.

No Capítulo 7; propostas de intervenção; resumem-se as principais estratégias de reabilitação térmica e energética nas construções em adobe, com principal foco na cobertura, envidraçados, paredes e na importância da ventilação.

Finalmente, no Capítulo 8; conclusões e perspectivas de trabalho; resumem-se as principais conclusões do trabalho desenvolvido apresentando ainda algumas perspectivas possíveis de trabalhos futuros.

No sentido de proporcionar informação mais detalhada sobre os levantamentos geométricos são apresentados os desenhos à escala no Anexo A.

CAPÍTULO 2
Construção em alvenaria de adobe

Capítulo 2 - Construção em alvenaria de adobe

2.1. Construção em terra em Portugal

2.1.1. Técnicas de construção em terra em Portugal

2.2. Construção em alvenaria de adobe em Aveiro

2.3. Potencialidades da construção em terra

2. Construções em alvenaria de adobe

Este capítulo apresenta o enquadramento teórico das construções em alvenaria de adobe em Portugal com incidência em Aveiro, e o seu potencial, baseado em documentos desenvolvidos anteriormente por outros autores sobre o tema da construção em terra.

2.1. Construção em terra em Portugal

Até há pouco tempo, falar da construção em terra em Portugal seria falar de uma construção utilizada num passado distante por franjas populacionais com poucos recursos económicos que, na impossibilidade de conseguirem adquirir materiais modernos como o aço, o cimento ou o tijolo, tinham de utilizar o que a natureza lhes oferecia de forma gratuita. Infelizmente, essa errónea convicção levou a que não se procurassem justificações racionais, para o facto de países num contexto económico mais favorável, como a França ou a Alemanha, se terem empenhado há já algum tempo em valorizar e fomentar a construção em terra. Na verdade, não existem quaisquer argumentos que não sejam os de ordem estritamente cultural que possam justificar a forma como depreciativamente se olha para a construção em terra em Portugal. Felizmente, este cenário está a mudar, sendo atualmente visíveis muitos exemplos no Alentejo e no Algarve, que evidenciam um reaparecimento da construção em terra. No entanto, e comparativamente às centenas de milhares de habitações construídas em Portugal, a construção nova em terra representa ainda uma percentagem que praticamente não tem expressão estatística [7].

Os processos construtivos tradicionais resumem-se basicamente à taipa, ao adobe e ao tabique, sendo que a sua utilização apresenta distribuição geográfica no território nacional que se encontra representada na figura 1 [8].

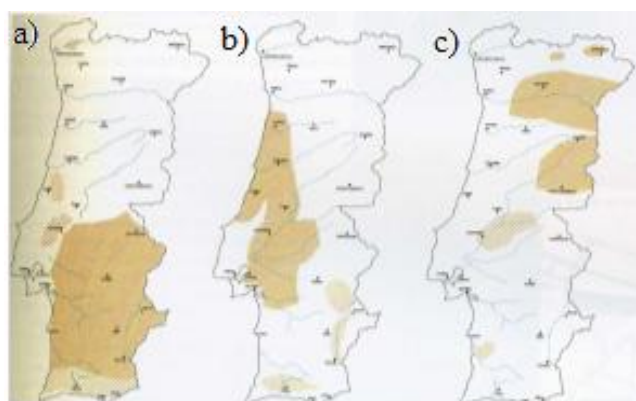


Figura 1: Construções tradicionais Portuguesas em terra: a) Taipa; b) Adobe; c) Tabique

Fonte: [8]

2.1.1. Técnicas de construção em terra em Portugal

Em Portugal são conhecidas três técnicas de construção em terra: tabique, adobe e taipa. Mas, mais recente, além dos estudos e desenvolvimentos da melhoria das características destas técnicas tradicionais, existe uma outra denominada BTC (bloco de terra comprimida) [9].

Entre as técnicas frequentemente utilizadas em Portugal continental, encontra-se o tabique, que resulta do preenchimento, com pasta de terra, de uma estrutura ligeira de cofragem de madeira, resultando em paredes não resistentes de reduzida espessura [9].

A alvenaria de adobe pode apresentar diferentes espessuras em função da geometria dos blocos de adobe, mas particularmente do modo como são dispostos (à meia vez ou a uma vez no caso de paredes divisórias interiores e a uma vez e meia ou a duas vezes, mais corrente em paredes exteriores portantes). Como se trata de uma técnica com algum consumo de água (comparativamente à taipa), era geralmente utilizada em locais situados perto de linhas de água. O adobe resulta de uma alvenaria executada com blocos de terra, eventualmente com adição de cal aérea e/ou palha, enformados e secos ao sol, ligados por uma pasta com base na mesma terra utilizada para o fabrico dos blocos, à exceção dos casos em que estes blocos não eram fabricados no local da sua implantação [9, 10].

A taipa constitui uma estrutura monolítica de paredes que resulta da compactação de terra entre taipais (cofragem), em camadas estreitas, até se atingir o limite superior do taipal. A terra deve conter algumas pedras pequenas (ou outros agregados grossos, tais como partículas de cerâmica de barro vermelho), para adquirirem uma maior consistência. Pode ainda ser estabilizada com determinada percentagem de cal aérea, resultando na denominada “taipa militar”. A largura da parede corresponde à distância entre os painéis do taipal. Uma altura do painel poderá ser de cerca de 0,6 m e o comprimento deste pode estimar-se em cerca de 2,0 m. Os taipais subsequentes vão evoluindo lateralmente e depois em altura. As juntas entre taipais ao mesmo nível podem ser verticais ou inclinadas; as juntas horizontais entre taipais de níveis sucessivos podem ser reforçadas pela colocação prévia de camadas de cal aérea, de tijolos maciços tradicionais ou de elementos de pedra delgados, junto às periferias dos taipais. As zonas de esquinas ou junto a aros de vãos podem ser reforçadas com alvenaria de tijolos maciços cozidos ou de pedra (no caso das paredes de taipa, geralmente inserida dentro do taipal para a obtenção de uma conveniente ligação à estrutura de terra). Nos vãos utilizavam-se geralmente lintéis de madeira ou de pedra (mais recentemente, de betão armado) [9].

O bloco de BTC produz-se pela prensagem da terra no seu estado húmido, podendo ter um processo de fabrico mecânico ou hidráulico [11], sendo este último uma técnica mais recente, cuja utilização na construção se assemelha à de adobe.

2.2. Construções em alvenaria de adobe em Aveiro

Em Portugal, a construção em terra, como elemento estrutural, é predominante no sul e centro litoral. O norte e centro interior são dominados pela alvenaria de pedra. No sul, a técnica construtiva mais utilizada é a taipa. Relativamente ao adobe e apesar da sua enorme heterogeneidade, confirmada pelas inúmeras tipologias identificadas, a maioria das construções encontram-se confinadas sobretudo ao centro litoral [12].

A construção em alvenaria de adobe ainda existente na região de Aveiro corresponde sobretudo ao período entre o final do séc. XIX e os anos 40 do séc. XX. Atualmente são, ainda, vários os exemplos de património histórico, sobretudo ligados à Arte Nova, movimento artístico e arquitetónico dominante nas últimas décadas do séc. XIX e primeiras décadas do séc. XX, edificados em alvenaria de adobe na região. Do mesmo modo, embora pese o estado de degradação avançado, são inúmeros os exemplos de edifícios de habitação e serviços, alguns de dimensões consideráveis, que continuam a satisfazer as funções para as quais foram projetados, comprovando a longevidade do adobe como material de construção [12].

O emprego deste material, na região, acontecia sobretudo na construção de casas e muros, embora lhe sejam conhecidas outras utilizações como sejam a construção de igrejas, quartel de bombeiros, de muros de suporte de terras ou até mesmo de poços de água e armazéns. De tal forma se faz ainda sentir a presença da construção em adobe na região que, segundo dados do município de Aveiro, cerca de 20-25% da construção existente na cidade, atualmente, é de adobe, se nos referirmos à região a percentagem sobe para os 35-40% [12].

Regra geral, os blocos de adobe eram realizados com terra arenosa húmida que, depois de amassada e metida em formas, era seca ao Sol. Para a melhoria do seu desempenho mecânico, era relativamente frequente a adição de cal e, por vezes, de palha. As dimensões correntes, embora existam inúmeras tipologias identificadas, variavam sobretudo consoante o uso, sendo de aproximadamente 0,45×0,30×0,15m, quando utilizados em casas, e de 0,45×0,20×0,15m, quando utilizados na construção de muros [12].

2.3. Potencialidades da construção em terra

A construção em terra constitui uma solução ecologicamente viável e interessante, uma vez que permite uma construção mais sustentável e uma maior preservação dos recursos naturais [13].

O material utilizado na construção em terra está ao alcance de todos, sendo inesgotável, fácil de trabalhar e duradouro, quando tomadas as devidas precauções. Uma casa construída em terra apresenta bom comportamento térmico e acústico devido à grande inércia térmica das suas paredes, que se

comportam como uma barreira eficaz contra as intempéries. Além disso, sendo a terra um material incombustível, apresenta um ótimo comportamento ao fogo [2].

Na construção em terra as questões ambientais estão asseguradas, uma vez que existe pouco consumo de energia não renovável. A vantagem de ser reciclável exclui a hipótese de formação de entulho industrial pois a terra volta a ser terra após o final de vida útil do edifício. Para a construção em terra é unicamente necessária mão-de-obra humana e equipamento simples para a produção e aplicação, o que viabiliza economicamente este tipo de edificação quando comparada com os métodos correntes de construção [13].

No entanto, a sua resistência mecânica à compressão é da ordem dos 1 a 3 MPa e a sua resistência à tração é desprezável e com mau comportamento à ação da água e na presença de humidade. Estas situações podem ser contornadas utilizando disposições construtivas adequadas e processos de estabilização de solos, embora a construção em altura esteja sempre limitada devido à sua elevada massa, salvo algumas exceções, como é o caso da cidade de Bam (Irão) [2, 13].

CAPÍTULO 3
Térmica de edificios

CAPÍTULO 3 - Térmica de edifícios

- 3.1. Legislação em vigor
- 3.2. Definição de conforto térmico
 - 3.2.1. Envolvente térmica
- 3.3. Envidraçados – Ganho solar
- 3.4. Inércia térmica de edifícios
- 3.5. Ventilação natural dos edifícios
- 3.6. Utilização – Ganhos internos
- 3.7. Quantificação do conforto térmico no interior

3. Térmica de edifícios

Este capítulo apresenta a legislação em vigor em Portugal relativa ao comportamento térmico de edifícios e define o conceito de conforto térmico. Faz, também, uma abordagem a características dos edifícios e comportamentos dos habitantes, importantes na definição do conforto térmico, tais como: envidraçados, inércia térmica, ventilação natural e utilização. Por fim, apresenta a quantificação do conforto térmico no interior do edifício.

3.1. Legislação em vigor

O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de Fevereiro, foi o primeiro instrumento legal que, em Portugal, impôs requisitos ao projeto de novos edifícios e de grandes remodelações, de forma a salvaguardar a satisfação das condições de conforto térmico nesses edifícios, sem necessidades excessivas de energia, quer no inverno quer no verão. O RCCTE visa também garantir a minimização de efeitos patológicos na construção derivados das condensações, quer superficiais, quer no interior dos elementos da envolvente [6].

3.2. Definição de conforto térmico

De um ponto de vista geral, a sensação de conforto térmico pode ser definida como “o estado de espírito que expressa a satisfação com o ambiente térmico” [14]. Por outras palavras, uma pessoa está termicamente confortável quando não sente nem calor nem frio, não havendo uma temperatura exata que o defina. O conforto térmico resulta das condições de trocas de calor existentes entre o corpo humano e o ambiente. Uma das principais exigências para o bem-estar e conforto é manter o equilíbrio térmico entre o corpo humano e o meio ambiente. Isso implica, para edifícios de habitação, ter como temperatura de referência de conforto 20°C para a estação de aquecimento e 25°C para a estação de arrefecimento [14]. A humidade relativa condiciona, também, o conforto térmico, pois influencia as trocas de calor por evaporação ao nível da superfície do corpo humano. Uma humidade do ar elevada reduz a evaporação do suor e constitui, assim, um constrangimento térmico para os habitantes, principalmente em ambientes com temperatura elevada. Já em ambientes térmicos moderados, a humidade do ar tem uma influência relativamente pequena [14].

Com o intuito de obter um ambiente interior dos edifícios termicamente confortável para os seus ocupantes, as normas sobre conforto térmico são uma ferramenta essencial. Devido aos problemas ambientais, que são cada vez mais evidentes, e à necessidade do desenvolvimento sustentável, estas normas de conforto térmico têm de considerar formas de o atingir com o menor consumo energético

possível. Por outro lado, o aumento da utilização de equipamentos para arrefecimento e aquecimento dos espaços na Europa é preocupante, em termos ambientais, o crescente consumo energético, contribuindo para o aumento das emissões de CO₂ e o conseqüente aquecimento global. Assim, enquanto não for possível suprir as necessidades energéticas a partir de fontes renováveis, a climatização de espaços deverá ser reservada para as necessidades especiais de climas extremos, e não para melhorar os efeitos de um fraco desempenho climático dos edifícios. A solução deverá resultar de um bom planeamento, do uso de soluções eficazes e duráveis, com detalhe e pormenorização em projeto, utilizando dados reais de conforto térmico [15].

De seguida, apresentam-se e discutem-se as componentes de fatores relevantes na definição do comportamento térmico de espaços fechados, tais como: 1) envolvente térmica; 2) envidraçados; 3) inércia térmica de edifícios; 4) ventilação natural dos edifícios; e 5) utilização.

3.2.1. Envolvente térmica

Através de elementos construtivos como paredes, janelas, portas, pavimentos e cobertura, os edifícios têm a capacidade de absorver todo o tipo de agentes que neles incidam (luz, ar, água e ruído), impulsionando o contraste entre os ambientes exterior e interior. Logo, o comportamento térmico das construções está diretamente dependente das características e propriedades dos elementos de construção da sua envolvente, mais precisamente da sua massa e taxa de condução de calor que transformam o comportamento térmico num processo dinâmico desfasado temporalmente devido às ações térmicas exteriores, e assim, mais complexo de prever e quantificar [16].

Para uma melhor interpretação do comportamento térmico da envolvente das construções, é necessário ter conhecimento do fluxo de calor (por unidade de tempo) e do coeficiente de transmissão térmica (U) de cada elemento da envolvente do edifício, contemplados no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) [6].

O fluxo de calor (por unidade de tempo) através de um elemento de construção é, assim, normalmente representado através de [16]:

$$Q_{cond} = UA(\theta_i - \theta_e) \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

Q_{cond} – fluxo de calor trocado entre o interior e o exterior (W);

A – área do elemento da envolvente (perpendicular ao fluxo – m²);

θ_i e θ_e – temperaturas do ar, respetivamente, no interior e no exterior (°C);

U – coeficiente de transmissão térmica médio da parede ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$).

O cálculo do coeficiente de transmissão térmica (U) de cada elemento envolve todo um conjunto de coeficientes de transmissão de calor relativos aos seus processos de transferência: condução, convecção e radiação, [16] :

$$U = \frac{1}{R_{si} + \frac{e}{\lambda} + R_{se}} \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

R_{si} – Resistência térmica superficial interior ($\text{m}^2\text{C}/\text{W}$);

R_{se} – Resistência térmica superficial exterior ($\text{m}^2\text{C}/\text{W}$);

λ – Condutividade térmica do material ($\text{W}/\text{m}^\circ\text{C}$);

e – Espessura do elemento (m).

3.3. Envidraçados – Ganho solar

A configuração dos elementos construtivos, tais como os envidraçados, está diretamente relacionada com ganhos e perdas de calor dos edifícios. Os envidraçados são considerados sistemas passivos de aquecimento direto. Por serem sistemas simples, são os mais utilizados, ainda que, na maior parte das vezes, de uma forma não intencional para esse efeito. A absorção, armazenamento e libertação de energia, é feita diretamente no compartimento, de acordo com o efeito de estufa [17].

Para um funcionamento eficiente do sistema de ganho direto, é necessário que se verifiquem algumas condições, tais como: correta orientação da janela, preferencialmente a Sul, para evitar que as perdas superem os ganhos no inverno; área transparente da janela em harmonia com a capacidade de armazenamento térmico; uso de dispositivos de sombreamento, como forma de prevenir o sobreaquecimento no verão; redução das perdas de calor, com a aplicação de isolamento térmico eficiente dos elementos opacos. A redistribuição do calor armazenado realiza-se por radiação e convecção natural [17].

Os envidraçados possuem uma resistência térmica muito baixa, que tem como consequência a obtenção de coeficientes de transmissão térmica (U) relativamente elevados, bastante superiores aos valores correspondentes às zonas opacas dos elementos em que estão inseridos. Estão indicados no RCCTE [6] os valores dos fatores solares (g) dos vãos envidraçados mais comuns em Portugal. Neste sistema de ganho direto, as considerações mais importantes, com respeito aos ganhos solares, são as dimensões e a localização dos envidraçados [18].

Note-se que o fluxo de calor criado, como resultado das diferenças de temperatura, além do processo de acumulação e libertação de calor, é acompanhado pela variação da temperatura interior. Este fluxo deve ser mantido dentro dum intervalo tolerável, pois o problema chave do sistema direto é a captação do máximo de energia solar necessária no inverno e, paralelamente, a minimização dos ganhos solares no verão, quando estes não são desejáveis, com uma oscilação de temperatura o mais reduzida possível [17].

3.4. Inércia térmica de edifícios

A resistência oferecida pelos sistemas térmicos à tentativa de alterar o seu estado termodinâmico caracteriza a inércia térmica. Nos edifícios, dado o caráter periódico das solicitações, esta resistência traduz-se num amortecimento das ondas de calor e por um desfasamento entre as solicitações e a resposta do edifício. A inércia térmica é a capacidade, que os materiais possuem, de armazenar calor. Quanto maior é esta capacidade mais facilmente os sistemas térmicos absorvem as solicitações sem alterarem, radicalmente, o seu estado termodinâmico. Num edifício de um nível de inércia elevado, a utilização de materiais pode contribuir para armazenar os ganhos solares de inverno restituindo-os ao interior dos compartimentos quando estes forem necessários, aumentando assim o seu fator de utilização e para prevenir contra fenómenos de sobreaquecimento característicos das estações intermédias [19]. A inércia térmica é uma variável de extrema importância no que diz respeito ao desempenho térmico de um edifício. Por este motivo, a capacidade de armazenamento térmico deverá ser projetada, caso a caso, em função da geometria, do clima e do regime de ocupação [19].

Potencialmente, todo o material de elevada capacidade calorífica pode contribuir para o aumento da inércia térmica do edifício. Todas as características que estejam diretamente relacionadas com a captação e redistribuição da energia afetam também a inércia térmica do edifício. Assim, para além da capacidade calorífica dos materiais, a condutibilidade térmica, a espessura das paredes e dos pavimentos, a distribuição das áreas de captação e armazenamento dos ganhos solares e a cor das superfícies (emissividade e reflexibilidade) desempenham, também, um papel fundamental na forma como o edifício capta, distribui e armazena a energia [19].

De forma a validar o anteriormente referido, apresentam-se, nos gráficos da figura 2, exemplos do comportamento térmico de diferentes projetos de edifícios para uma mesma condição climática.

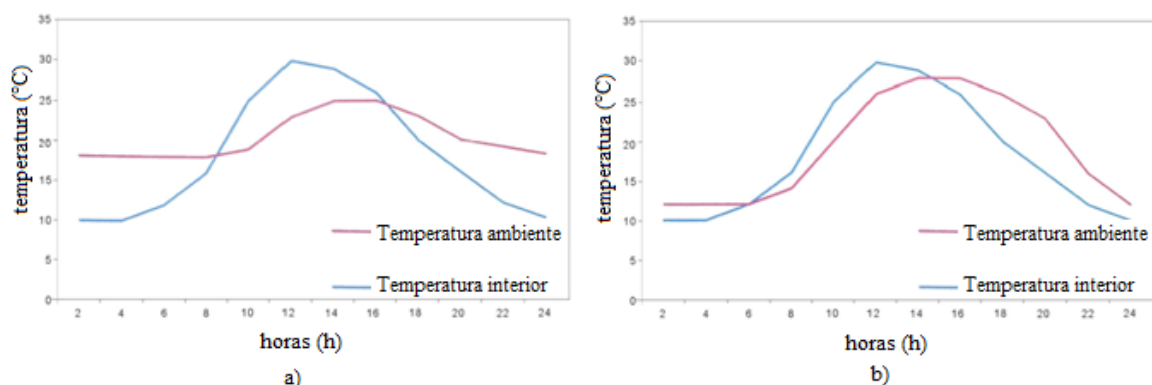


Figura 2 - Inércia térmica: a) Pequena amplitude térmica de uma habitação; b) Grande amplitude térmica de uma habitação [4]

A figura 2 a) representa o comportamento da temperatura interior face à evolução das temperaturas exteriores de uma habitação com paredes espessas e poucas aberturas de janelas e portas, o que lhe confere uma maior capacidade de armazenar calor e uma pequena amplitude térmica no seu interior, como é o caso de uma construção em adobe. Por outro lado, a figura 2 b) representa uma habitação constituída por paredes finas e com muitas aberturas de janelas e portas, o que lhe confere um comportamento térmico contrário ao da habitação anterior [20].

3.5. Ventilação natural dos edifícios

A utilização corrente dos edifícios engloba atividades das quais resultam substâncias poluentes que devem ser removidas com vista à existência de um ambiente adequado à permanência dos ocupantes. Dessas substâncias destacam-se o vapor de água, o dióxido de carbono, o monóxido de carbono e os odores que resultam essencialmente da atividade humana, da combustão nos aparelhos termodomésticos, do uso de tabaco, de atividades domésticas como a preparação dos alimentos, a lavagem e secagem de loiça e de roupa e a utilização das instalações sanitárias. Estas substâncias podem afetar diretamente os ocupantes pela sua toxicidade ou pela incomodidade que originam. Quando a humidade relativa do ar é elevada, para além do desconforto que os ocupantes sentem, podem ocorrer condensações em locais cuja temperatura superficial se encontre abaixo do respetivo ponto de orvalho. Nas situações em que exista água no estado líquido depositada nas superfícies ou impregnando materiais higroscópicos, pode criar-se um meio propício ao desenvolvimento de fungos e de bolores, e daí resultarem danos nesses materiais ou a criação de um ambiente pouco saudável para a permanência dos ocupantes [21].

Para que o ambiente seja adequado, quer à permanência das pessoas, quer à realização das diversas atividades, é necessário proceder à exaustão dos poluentes e à admissão de ar limpo do exterior, tal como é representado na figura 3 [21].

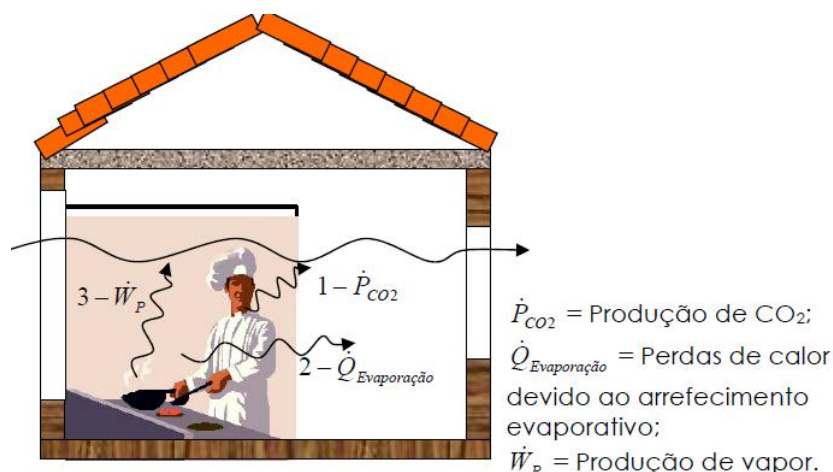


Figura 3 - Ventilação nos edifícios

Fonte: [22].

Quando se recorre à ventilação natural, estes objetivos são atingidos através da diferença de pressão criada por ação do vento entre as fachadas do edifício e pela alteração da densidade do ar por ação da temperatura. É essencial que a ventilação dos edifícios residenciais seja feita de uma forma controlada, para que não sejam criadas condições inadequadas à permanência de pessoas, nomeadamente não gerar correntes de ar incómodas para os utilizadores e a não incrementar, desnecessariamente, as perdas de energia nos meses em que, por razões de conforto térmico, é necessário proceder ao aquecimento das habitações [21].

3.6. Utilização – Ganhos internos

Os ganhos internos de um edifício podem ter várias contribuições, tais como: a ocupação humana, a iluminação e os equipamentos existentes no seu interior. Estes parâmetros variam de caso para caso. Logo, é pouco conveniente que, na prática, se analise em pormenor a situação real, sendo mais simples a resolução partindo de um pressuposto baseado naquilo que é expectável. O RCCTE [6] assume para este fim um valor médio (em W/m^2), consoante a funcionalidade do edifício. Uma análise dinâmica permitirá uma estimativa mais precisa dos ganhos internos associados ao conjunto de parâmetros acima referidos, mas, para tal, é necessário conhecer a energia consumida em iluminação, nos equipamentos e nas atividades exercidas pelas pessoas no seu interior. Os ganhos internos são benéficos durante a estação de inverno e prejudiciais durante a estação de verão, pois, em permanência, contribuem para o aumento da temperatura interior do edifício [23].

3.7. Quantificação do conforto térmico no interior

A quantificação do conforto térmico não é exata, pois depende de cada pessoa, e de vários fatores, como a temperatura e velocidade do ar, humidade, vestuário, atividade, entre outros. Com o objetivo de obter um ambiente interior dos edifícios termicamente confortável para os seus ocupantes, as normas sobre conforto térmico são uma ferramenta essencial.

Nesta secção vão ser apresentadas de uma forma sucinta as seguintes normas: EN 15 251 [5], EN ISO 7730 [24] e a ASHRAE 55 [25].

As normas ASHRAE 55 [25] e a EN ISO 7730 [24] estabelecem recomendações e regras para se obterem condições de conforto térmico em ambientes interiores de edifícios. Em relação à EN 15 251 [5], esta regula a qualidade do ambiente interior em edifícios, em termos térmicos, qualidade do ar, iluminação e ruído, tendo estes um menor impacto que as duas anteriores [26].

A *American Society of Heating, Refrigerating and Air – Conditioning Engineers* desenvolveu a norma ASHRAE 55 [25], que regula as condições de conforto térmico para as quais, pelo menos 80% dos ocupantes com atividades sedentárias, $\leq 1,2$ met, considerem o ambiente termicamente aceitável. Esta norma pretende orientar os projetos de edifícios ou espaços habitados e os respetivos sistemas de climatização e, ainda, a avaliação de ambientes térmicos, considerando três métodos para especificar as condições de conforto [26].

Um dos métodos representa graficamente a zona de conforto térmico sobre um diagrama psicrométrico que é válido para espaços em que os ocupantes têm uma taxa de metabolismo entre 1,0 e 1,3 met, e um vestuário com resistência térmica entre 0,5 e 1,0 clo. O segundo método é válido para espaços em que os ocupantes têm uma taxa de metabolismo entre 1,0 e 2,0 met, e um vestuário com uma resistência térmica até 1,5 clo, sendo este método correspondente ao modelo de PMV/PPD apresentado na norma EN ISO 7730 [24]. Por último, o terceiro método aplica-se a espaços condicionados naturalmente onde os ocupantes podem livremente escolher o seu vestuário adequando-o às condições interiores ou exteriores. Este método é representado de uma forma gráfica [26].

CAPÍTULO 4

Comportamento e características térmicas das construções em terra

CAPÍTULO 4 - Comportamento e características térmicas das construções em terra

4.1. Inércia térmica nas construções em terra

4.2. A terra como PCM natural

4.3. Estudos de comportamento térmico em construções de adobe

4.4. Toxicidade e qualidade do ar interior

4. Comportamento e características térmicas das construções em terra

Este capítulo aborda a questão da inércia térmica nas construções em terra, realçando as propriedades térmicas da terra como PCM natural. São ainda contemplados neste capítulo alguns estudos já efetuados relativos a ensaios de controlo térmico do adobe. Por fim, é feita uma referência à toxicidade e qualidade do ar interior em construções de adobe.

4.1. Inércia térmica nas construções em terra

O desempenho térmico dos edifícios não depende unicamente do material, da técnica construtiva e das espessuras dos elementos da envolvente do edifício, mas também do resultado da construção. É importante ter em conta os fatores climáticos e os aspetos de orientação solar, proteção de paredes e dimensão das aberturas de esquadrias, sobretudo, as que utilizam vidros [20].

4.2. A terra como PCM natural

A terra contém na sua constituição uma determinada quantidade de água em equilíbrio com o vapor de água no ar. Esta característica higroscópica da terra faz com que ela desempenhe a função de ar condicionado natural, permitindo um ambiente interior mais saudável.

O PCM (Phase Change Material) é uma das mais recentes inovações no mundo dos materiais de construção. Este material muda de fase em função das alterações da temperatura ambiente, comparativamente à água que se transforma em gelo aos 0°C. No entanto, a fusão sólido-líquido é acompanhada da absorção de calor do meio ambiente, e a restituição desse calor envolve o processo inverso de solidificação. Este é o princípio para o desenvolvimento dos PCM's [27].

Os PCM's podem apresentar-se sob a forma de micro encapsulados em polímeros, sendo incorporados nos diferentes materiais de construção. A temperatura de fusão, constitui a maior diferença entre este material e a água, uma vez que a temperatura de fusão dos PCM's pode ser regulada. O conforto que resulta desta regulação tem a vantagem da economia nos custos de climatização do edifício [27].

A terra é um material “de mudança de fase” proporcionando, assim, um maior conforto aos seus habitantes. Do ponto de vista natural, a água existente na sua composição permite alterar as fases da temperatura ambiente. A água solidifica aos 0°C e vaporiza aos 100°C, mas isto pode ser alterado de acordo com a espessura dos blocos de argila. A água encontra-se em equilíbrio com a humidade ambiente, mas, com o aumento da temperatura exterior, uma parte desta água evapora. Por outro lado, existe condensação capilar, quando a temperatura diminui. Assim, a monoestrutura da terra permite à água uma mudança de fase à temperatura ambiente. Logo, quando a temperatura ambiente aumenta, a

água evapora-se e, quando a temperatura baixa, uma parte da água do meio ambiente condensa na terra e devolve a energia anteriormente acumulada [27].

A água existente na constituição da terra funciona como um regulador termo higrométrico, permitindo o controlo da humidade relativa interior. Esta energia própria é infinitamente renovável. Além disso, a evaporação e condensação da água constituem trocas energéticas muito mais poderosas do que a fusão e a solidificação da parafina, uma vez que as trocas de energia por cada litro de água que se evapora, são equivalentes às trocas de energia de 22 kg de parafina fundida. Para que este mecanismo possa funcionar eficazmente é necessário haver trocas rápidas de vapor entre o meio exterior e o interior de uma parede de terra, o que implica a existência, para além de pequenos poros onde se produzem a condensação e evaporação capilar, de uma rede de canais de maior diâmetro eficazmente ligados entre si e o exterior [27].

4.3. Estudos de comportamento térmico em construções de adobe

Foi realizado no Texas por John J. Morony um estudo onde se pretendia perceber a transmissão térmica e os diferentes estados de humidade relativa presentes numa construção de terra.

Foram, então, construídos três módulos de teste com as mesmas dimensões, como representado na figura 4. Os módulos são compostos por diferentes materiais: o módulo 1 foi construído com blocos de betão mexicano e com reboco de cimento; o módulo 2 com adobe tradicional e, para o módulo 3 recorreu-se a blocos de adobe comprimido (BTC). A base e a cobertura têm as mesmas características nos três módulos, simulando um modelo adiabático. Todos os módulos foram pintados de branco e expostos às mesmas condições físicas e de radiação solar [28].

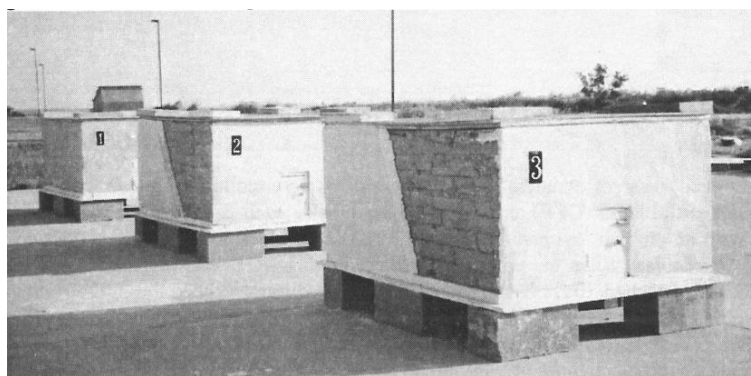


Figura 4: Os três módulos de teste construídos [28]

Foram usados nos ensaios sensores do tipo “Spectrum 2000”, tendo estes sido colocados dentro dos módulos para registar valores de temperatura e humidade relativa com uma periodicidade de três horas. Foi também colocado um sensor na proximidade dos módulos para que se pudesse perceber a diferença em relação à temperatura e humidade ambiente exterior. O período de registo ocorreu de 6 a 11 de agosto de 2004, ou seja, correspondeu ao período de maior calor e humidade no Texas [28].

Nas figuras 5 e 6, podem observar-se os resultados dos testes realizados nos módulos 1 e 3.

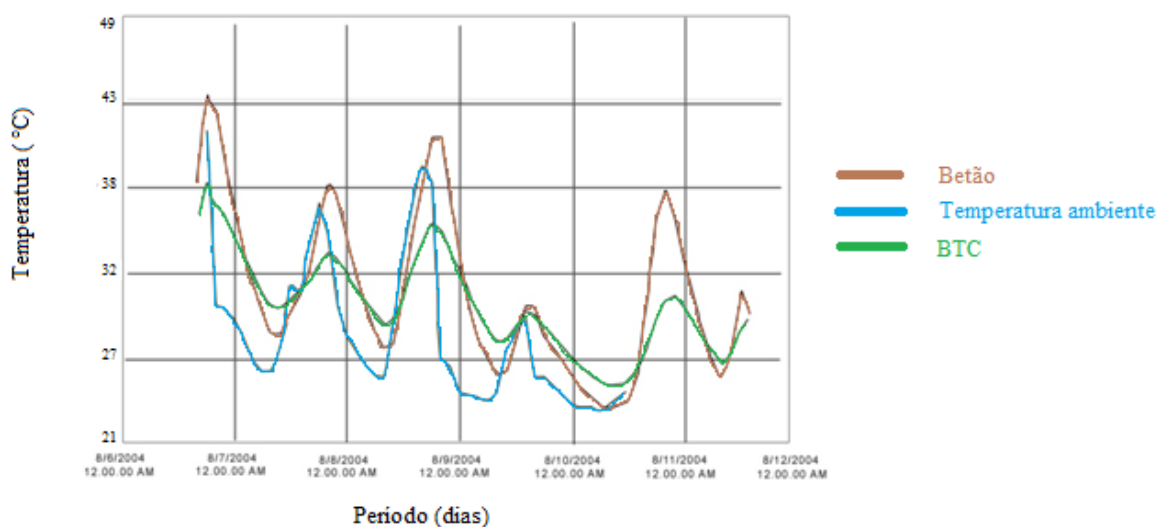


Figura 5 - Gráfico das temperaturas registadas de 6 a 11 de Agosto de 2004 [28]

No módulo de betão, as temperaturas recolhidas durante os três dias de maior calor foram superiores às do meio ambiente, enquanto que, durante o mesmo período, no módulo 3, os valores foram significativamente inferiores, ou seja, a temperatura ambiente foi de 41°C, no módulo de BTC 38°C e no módulo de betão 43°C [28].

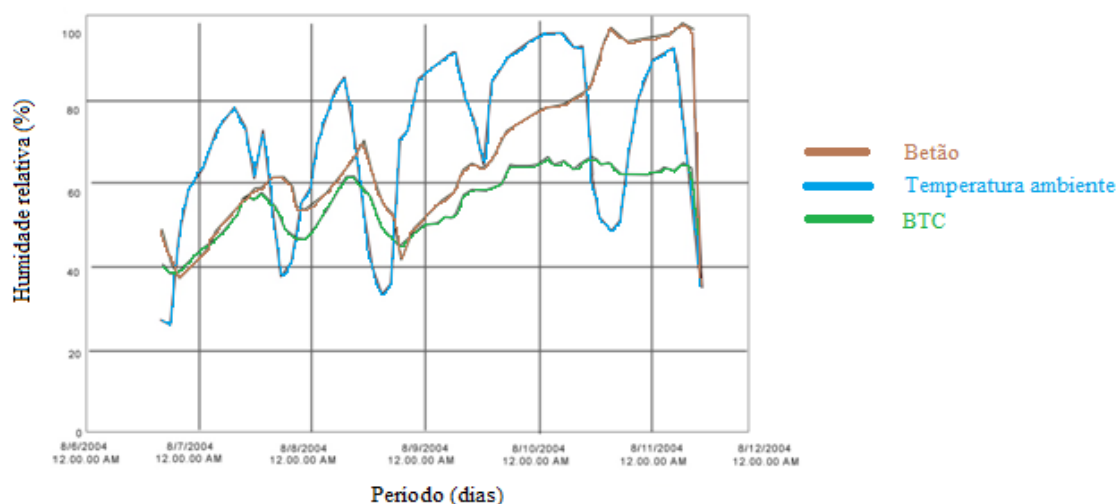


Figura 6: Gráfico de humidades registadas de 6 a 11 de Agosto de 2004 [28]

Quanto à humidade, notou-se um aumento significativo, durante o período quente e húmido de 9 a 11 de Agosto, chegando a valores de 90% de humidade relativa para 37,8°C, na célula construída por blocos de betão, atingindo quase o máximo de saturação. Em contraste, a humidade no módulo construído com BTC's chegou apenas aos 60% de humidade relativa.

Os dois módulos mostram assim que existe uma grande diferença a nível de conforto térmico em detrimento das construções em betão, mais usuais. A terra constitui assim uma solução com bom

comportamento térmico face ao betão, facto que acontece em resposta a uma mudança crítica de temperatura.

A argila existente no adobe pode ser a causa destas qualidades higroscópicas que as construções em terra possuem [28].

Em Portugal, no ano de 2010, foram realizados ensaios semelhantes aos anteriormente referidos, por Tiago Meneses, no âmbito da tese de mestrado em Engenharia Civil [13].

A campanha experimental realizada consistiu na construção de três células de teste em alvenaria de adobe com diferentes composições à escala $\frac{1}{4}$ do real, todas com as mesmas dimensões (Figura 7). A base e a cobertura eram fronteiras adiabáticas para garantir que as trocas de energia se realizariam pelas paredes de adobe, sendo as dimensões as que estão indicadas na figura 8 [29].

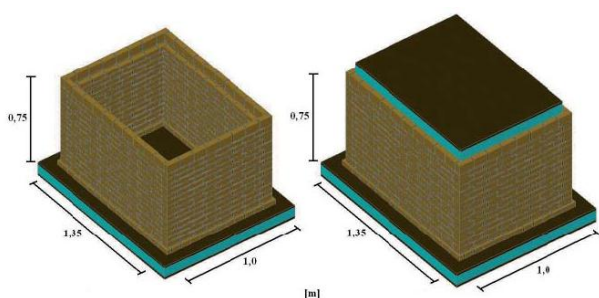


Figura 7: Modelo à escala [29]

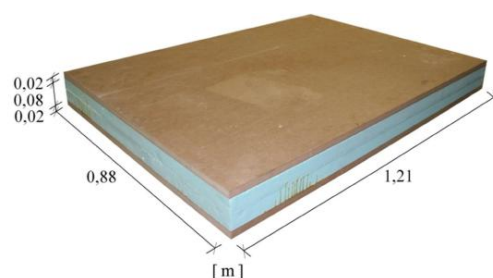


Figura 8: Base e cobertura das células de teste [29]

A célula de teste número 1 foi construída em alvenaria de adobe, com blocos produzidos em laboratório. A composição destes blocos é muito similar aos blocos de adobe das construções existentes no distrito de Aveiro, com um traço em volume de 1:1:2 (cal hidratada, terra ligeiramente argilosa e areia), apresentando a argamassa de assentamento usada a mesma composição da mistura utilizada na produção dos adobes.

A célula de teste número 2 foi construída com blocos cortados, de adobes já existentes, originários de uma demolição que ocorreu na zona de Aveiro. A argamassa de assentamento usada nesta célula de teste foi idêntica à usada na construção da primeira célula e nas construções existentes.

A célula de teste número 3 foi construída com blocos de adobe com adição de cortiça. Foi usada como mistura base a composição dos blocos da célula de teste número 1 à qual se adicionou cortiça na percentagem de 2% em relação ao peso total da amostra com uma mistura de duas granulometrias de 2mm e 4mm. A argamassa de assentamento usada nesta célula de teste foi idêntica à usada para realizar os adobes desta célula.

A mistura usada no reboco de cada célula é idêntica à argamassa de assentamento das mesmas.

Para instrumentação das três células de teste foram distribuídos quatro sensores PT100 por célula. O posicionamento dos sensores PT100 foi efetuado de acordo com as marcas a verde da figura 9, colocando-se um sensor PT100 no centro da célula; outro na superfície interior da parede; outro dentro

da parede e outro junto à superfície exterior da célula de teste, todos orientados na mesma direção, no sentido da parede. As células após serem devidamente monitorizadas, foram expostas às mesmas condições climáticas. As células de teste foram instrumentadas no período de 1 a 30 de Maio de 2010 [29].

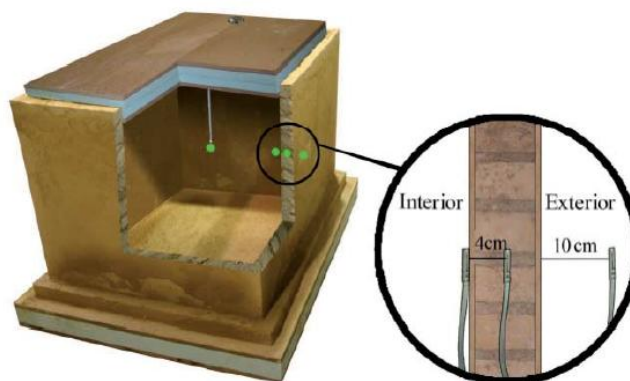


Figura 9: Posicionamento dos sensores PT100 na célula de teste [29]

As células de teste números 1 e 2 apresentaram comportamentos semelhantes ao longo dos dias, evidenciando-se sempre mais um pouco a primeira célula, uma vez que sofrem um maior período de exposição solar quando comparada com as outras células de teste. Nos dias de grande radiação foi notório que ambas as células de teste apresentaram uma tendência de sobreaquecimento. Tal terá acontecido devido a uma acumulação de situações favoráveis a este efeito: i) a elevada exposição solar; ii) a inexistência de convecção exterior das paredes devido a carência de ventos na direção das células de teste; iii) o efeito de estufa gerado devido a falta de ventilação do espaço interior das células de teste.

A célula de teste número 3 apresentou sempre um comportamento distinto das outras células de teste, evidenciando a importância que a incorporação de cortiça nos adobes teve no comportamento térmico. O coeficiente de transmissão térmica (U) neste tipo de construção é regulamentar, o que permite o seu uso na construção civil.

A título de exemplo, são apresentados na figura 10 os registos de temperatura e humidade relativa para as três células de teste, no dia 21 de Maio. Este foi um dia de grande exposição solar, sem incidência de ventos na direção das células de teste o que não favoreceu a convecção exterior. A amplitude térmica registada neste dia teve grande influência nos resultados do amortecimento. Em dias de grande amplitude térmica e elevada exposição solar, as células de teste demonstram bons níveis de amortecimento; já os dias que exibem alguma nebulosidade revelam-se prejudiciais para os amortecimentos [13].

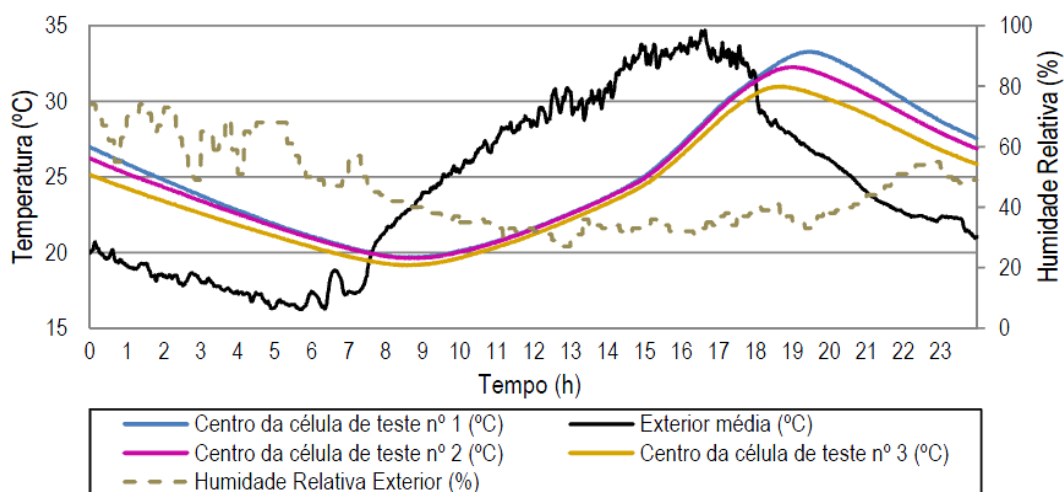


Figura 10 - Temperaturas registadas nas três células de teste no dia 21 de Maio de 2010 [29]

4.4. Toxicidade e qualidade do ar interior

A construção em terra não está, regra geral, associada aos efeitos nocivos em termos de toxicidade da utilização de materiais sintéticos, os quais são responsáveis pela contaminação do ar interior. Este tipo de construções tem a capacidade de controlar a humidade relativa do ar que contribui para a qualidade do ar interior. Os blocos de terra são capazes de absorver 10 vezes mais humidade do ar do que os tijolos cerâmicos tradicionais [7].

A higroscopicidade dos materiais de construção, por vezes, é mais eficaz na redução da humidade do ar interior do que a utilização de ventilação. A construção em terra consegue manter os níveis de humidade interior entre 40 a 60%, sendo que este intervalo de humidade é o mais indicado para a saúde humana. As habitações com valores de humidade acima de 60% ou abaixo de 40% propiciam o aparecimento de doenças do foro respiratório [7].

CAPÍTULO 5
Caracterização construtiva das casas de adobe

CAPÍTULO 5 - Caracterização construtiva das casas de adobe

5.1. Casa A

5.1.1. Levantamento geométrico

5.1.2. Caracterização construtiva dos elementos principais da envolvente

5.1.2.1. Paredes exteriores e interiores

5.1.2.2. Pavimentos

5.1.2.3. Cobertura

5.1.2.4. Vãos envidraçados

5.2. Casa B

5.2.1. Levantamento geométrico

5.2.2. Caracterização construtiva dos elementos principais da envolvente

5.2.2.1. Paredes exteriores e interiores

5.2.2.2. Pavimentos

5.2.2.3. Cobertura

5.2.2.4. Vãos envidraçados

5.3. Casa C

5.3.1. Levantamento geométrico

5.3.2. Caracterização construtiva dos elementos principais da envolvente

5.3.2.1. Paredes exteriores e interiores

5.3.2.2. Pavimentos

5.3.2.3. Cobertura

5.3.2.4. Vãos envidraçados

5.4. Síntese da caracterização das casas

5. Caracterização construtiva das casas de adobe

Este capítulo apresenta a caracterização construtiva das três casas em adobe (A, B, C) em estudo, sendo que a casa A foi construída no final do século XIX, a B no início do século XX e a C nos anos vinte do século XX, apresentados na figura 11, que foram objeto de monitorização para a realização desta dissertação. As casas em adobe possuem características próprias ao nível das soluções construtivas, sendo importante o conhecimento destas para que, em casos de intervenção, seja obtido o melhor resultado do seu comportamento térmico conferindo-lhes um maior conforto térmico. A caracterização construtiva feita ao longo deste trabalho foca-se nos elementos mais importantes e condicionantes do comportamento térmico, tendo em conta que as paredes da envolvente e estrutura das casas é o adobe, com alguns elementos e componentes em betão armado, resultantes da sua adaptabilidade ao longo do tempo para melhoria da funcionalidade das casas. As três casas são constituídas por dois pisos, e nos casos das casas A e C, há ainda um sótão acessível. As três casas possuem forma regular, ou seja, paralelepípedica, como se verá adiante.



Figura 11 - Casas monitorizadas: a) Casa A; b) Casa B; c) Casa C)

5.1. Casa A

A casa A situa-se em Ílhavo, de forma isolada e rodeada por um quintal onde existem algumas árvores e vegetação. A fachada principal está orientada a sudeste conforme apresentado na figura 12.

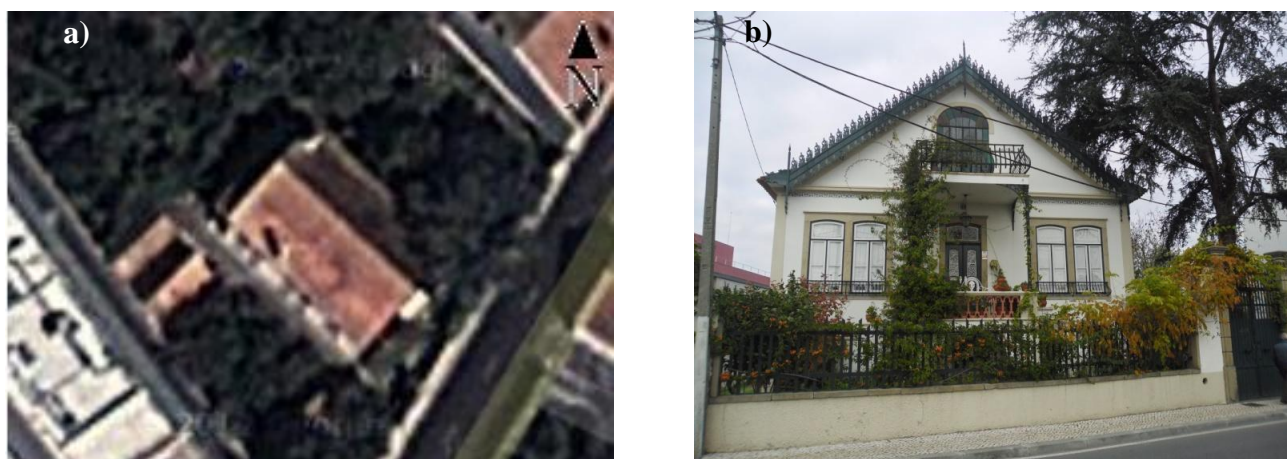


Figura 12 - Casa A: a) Vista aérea; b) Fachada Sudeste
(Fonte: Google Maps [30])

5.1.1. Levantamento geométrico

Neste subcapítulo, será apresentada a geometria da casa A, através de plantas dos diferentes pisos, alçados e alguns detalhes construtivos.

A casa A é constituída por uma cave, um piso habitável e um aproveitamento do sótão, igualmente habitável. A cave tem pouca compartimentação do espaço. Todo este espaço tem como função principal a arrumação. Existe, também, na cave uma casa de banho. A planta da cave, apresentada na figura 13 apresenta a representação das vigas metálicas existentes no teto, os pilares em adobe de dimensões consideráveis, aproximadamente 0,65×0,65 metros. Este desenho é apresentado no anexo A à escala 1:100.

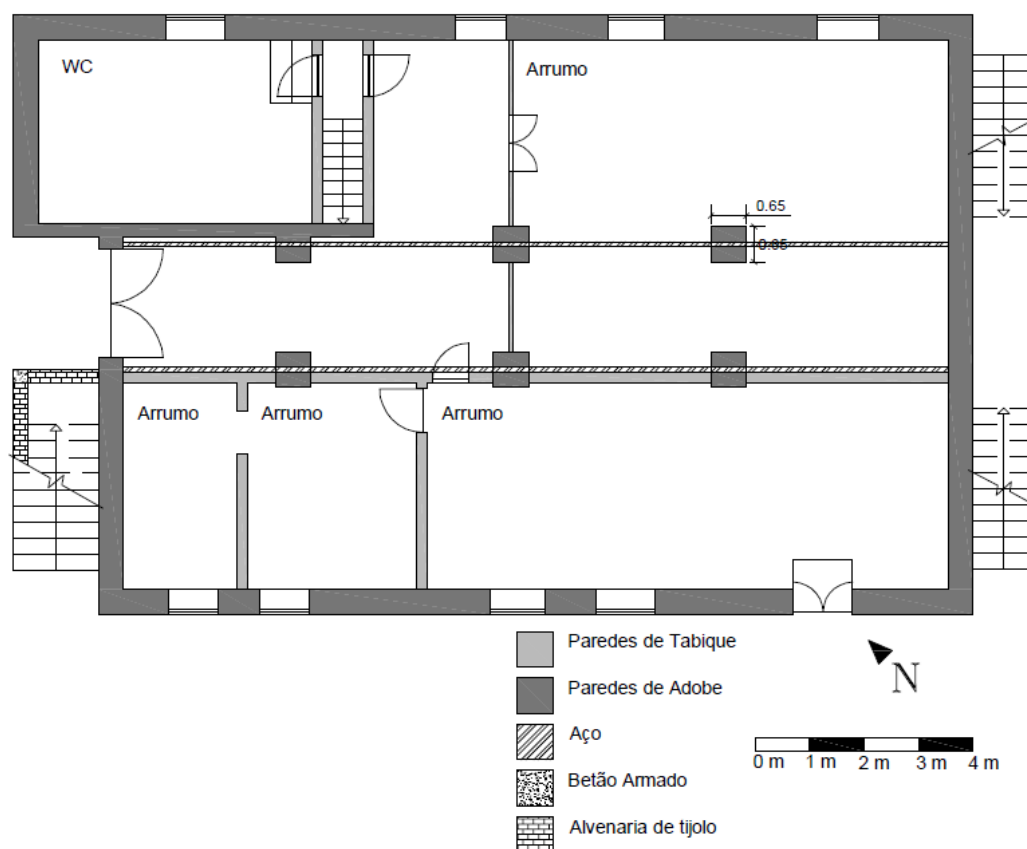


Figura 13 - Planta da cave da Casa A

O primeiro piso tem sete compartimentos incluindo uma cozinha, uma casa de banho e uma marquise, com a disposição apresentada na planta da figura 14. A marquise é resultante de uma intervenção posterior na casa e foi construída em betão armado. O desenho à escala é apresentado no anexo A.

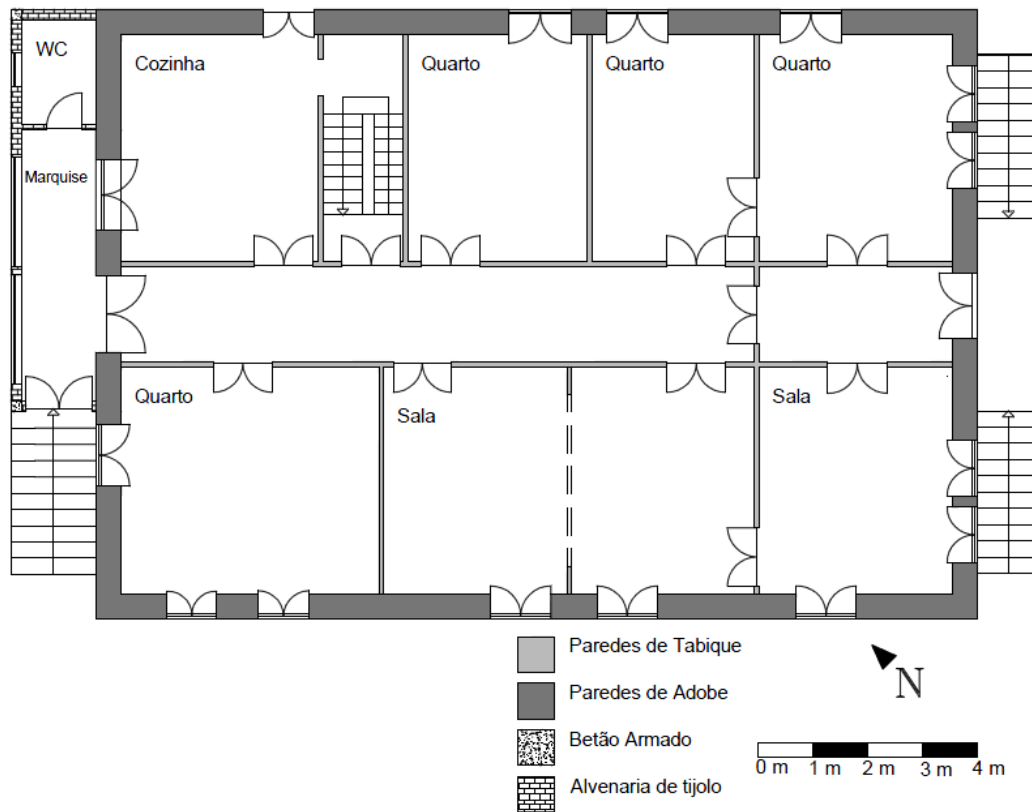


Figura 14 - Planta do 1º piso da Casa A

O sótão (figura 15) possui apenas duas divisões centrais habitáveis, sendo uma delas um pequeno escritório e a outra um salão amplo. As divisões situadas nos extremos (desvão ventilado), devido à inclinação da vertente, servem de arrumos. O desenho à escala é apresentado no anexo A.

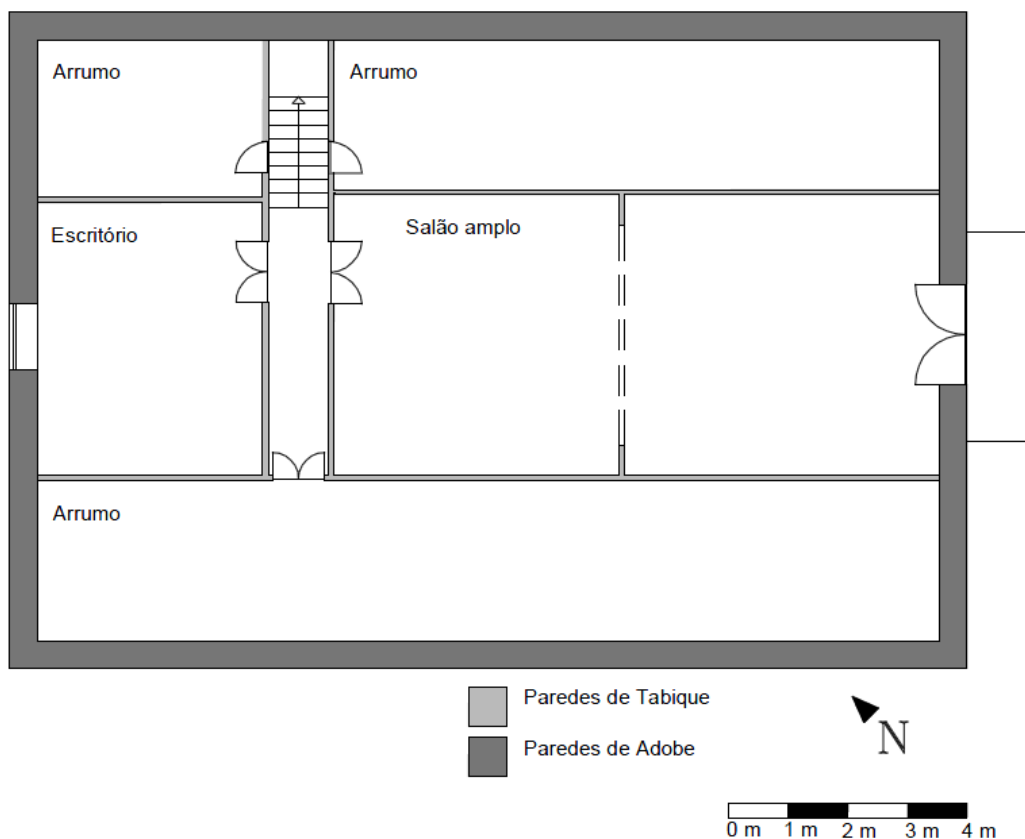


Figura 15 - Planta do sótão da Casa A

Na figura 16 é apresentada a planta da cobertura. A descrição mais detalhada da mesma será feita adiante, no subcapítulo 5.1.2.3. O desenho à escala é apresentado no anexo A.

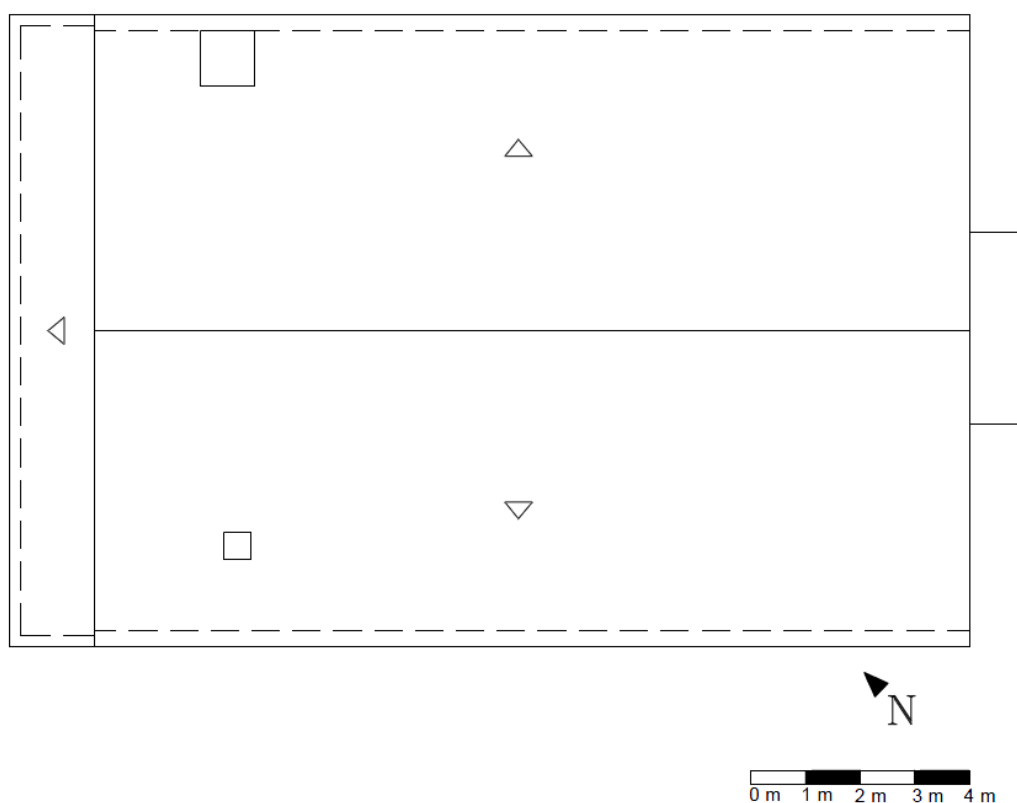


Figura 16 - Planta da cobertura da Casa A.

Na figura 17, apresentam-se os desenhos dos quatro alçados da casa A. Os vãos envidraçados desta casa, à exceção do alçado noroeste, são todos idênticos e retangulares, havendo diferenças de dimensões entre os vãos da cave e do 1º piso. No alçado nordeste, existem dois vãos de pequenas dimensões que em nada se comparam aos anteriores. Em cada alçado existe uma porta de acesso à casa. O desenho à escala é apresentado no anexo A.



Figura 17 - Alçados da Casa A

5.1.2. Caracterização construtiva dos elementos principais da envolvente

Neste trabalho, a caracterização é realizada em termos de elementos principais da envolvente da casa. Consideram-se como elementos principais os da envolvente externa da casa. Optou-se por sistematizar estes elementos da seguinte forma: paredes exteriores e interiores, pavimentos, cobertura e vãos envidraçados.

5.1.2.1. Paredes exteriores e interiores

As paredes exteriores da casa foram construídas com alvenaria de adobe, revestidas em ambas as faces com reboco, funcionando como paredes resistentes. Estas paredes apresentam a espessura de 46 centímetros. Na parte posterior da casa existe uma parede exterior com 20 centímetros de espessura em alvenaria de tijolo com pilares de suporte em betão armado (alteração posterior da marquise).

As paredes interiores desempenham o papel de compartimentação de espaços interiores na casa. As paredes interiores são de tabique com espessuras variáveis entre os 9 e os 15 centímetros.

5.1.2.2. Pavimentos

Esta casa tem pavimentos com estrutura diferente, consoante são pavimentos térreos ou elevados. A constituição do pavimento do piso da cave é térreo e apresenta um revestimento de cacos de gazete, existindo a este nível a casa de banho e arrumos em que é revestido com mosaico cerâmico, como apresentado nas figuras 18: a) e b).



Figura 18 - Exemplos do revestimento do pavimento da cave: a) Revestimento em cacos de gazete; b) Revestimento em mosaico cerâmico

Tal como ilustrado nas figuras 19: a), b) e c), no que diz respeito aos pavimentos elevados, estes têm uma estrutura em madeira, sendo esta construída num sistema de vigamento espaçados de forma constante, de aproximadamente 46 centímetros, e que apoiam nas paredes resistentes da estrutura. Somente na cozinha, casa de banho e marquise do 1º piso o pavimento é revestido com mosaico cerâmico (Figura 19:d)).



Figura 19 - Exemplos dos pavimentos dos pisos elevados: a) Estrutura dos pavimentos de madeira; b) Estrutura dos pavimentos de madeira; c) Revestimento em madeira; b) Revestimento em mosaico cerâmico

5.1.2.3. Cobertura

No que se refere à forma, a cobertura é de duas águas, com inclinação aproximada de 35°. A estrutura da cobertura é constituída por asnas e madres de madeira apoiadas nesta e que suportam o telhado com revestimento em telha cerâmica do tipo “marselha”. Esta cobertura possui isolamento térmico em poliestireno extrudido, com espessura de 5 centímetros, colocado sobre um ripado de madeira, como se observa na figura 20: a) e b).



Figura 20 - a) Isolamento na cobertura em poliestireno extrudido de 5 centímetros; b) Estrutura da cobertura em madeira e localização do isolamento térmico

5.1.2.4. Vãos envidraçados

As janelas existentes nesta casa são de quatro tipos: janelas de abrir de eixo vertical, janelas de correr, janelas fixas e janelas projetantes.

Na zona habitável da casa só existem janelas de abrir de eixo vertical em madeira (ver figura 21:a) e b)). Estas são formadas por duas folhas, que são movimentadas em torno de um eixo vertical fixo, coincidente com as laterais da folha, abrindo para dentro. As janelas possuem bandeira com um só vidro e portadas de madeira com duas ou três folhas, colocadas pelo interior e que se movimentam em torno de um eixo vertical fixo nas laterais das folhas.

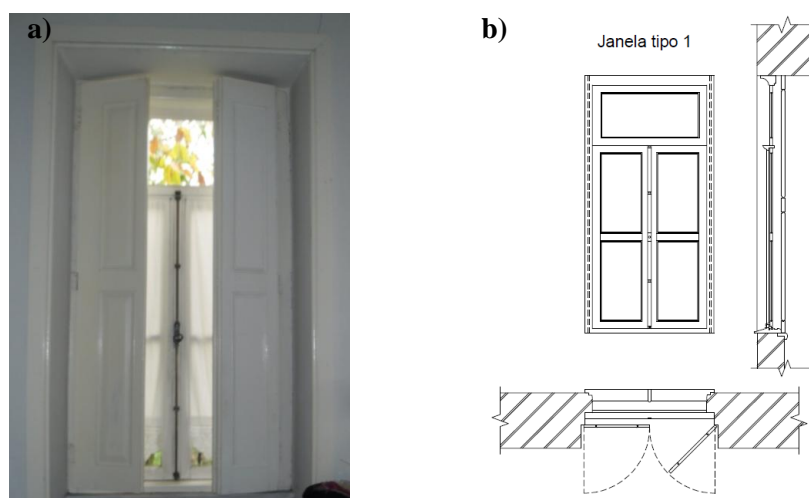


Figura 21 - Exemplo de uma janela com portada interior de duas folhas: a) Fotografia pelo interior; b) Desenho da janela tipo 1

A marquise, figura 22, possui três janelas de correr em vidro simples e com caixilho em alumínio, formadas por duas folhas que são movimentadas por deslizamento horizontal no plano da janela, e bandeira com vidro simples.



Figura 22 - Vista exterior das três janelas de correr existentes na marquise

Na cave, existem duas tipologias de janelas de pequenas dimensões com caixilho em madeira lacada: janelas fixas e janelas projetantes. As janelas fixas (figura 23) não são operacionais, servindo apenas para iluminação.

As janelas projetantes (figura 24), neste caso, são formadas por duas folhas, que são movimentadas em torno de um eixo horizontal com caixilho em madeira lacada.

Todos os envidraçados desta casa são de vidro simples, apresentando folgas e frinchas de cerca de 2 milímetros por onde o ar se infiltra.

As portas interiores são em madeira maciça lacada de duas folhas com relevos como apresentado na figura 25.



Figura 23 - Exemplo de janela fixa localizada na cave

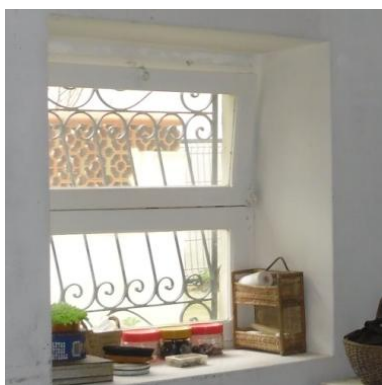


Figura 24 - Exemplo de janela projetante localizada na cave da casa

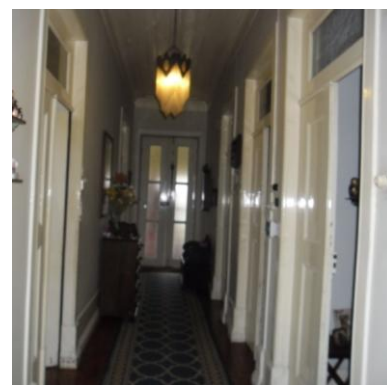


Figura 25 - Legenda: Exemplos das portas interiores

Na figura 26, são apresentados os cinco tipos de portas exteriores, assim como pormenores de algumas das folgas existentes nas mesmas. A porta da entrada principal e a porta do sótão possuem um postigo de vidro que possibilita alguma iluminação e ventilação.



a) Porta principal da entrada



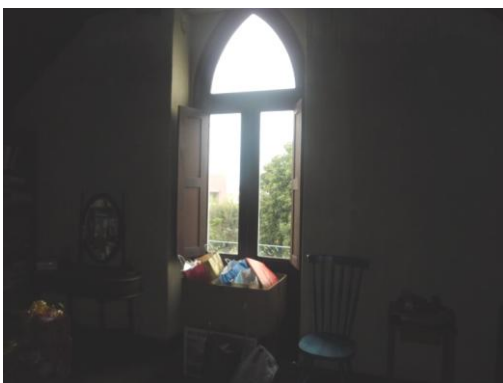
b) Porta das traseiras do 1º piso



c) Porta da fachada principal do sótão



d) Pormenor da folga da porta do sótão



e) Porta posterior do sótão



f) Pormenor da folga da porta lateral do sótão



g) Porta das traseiras da cave

Figura 26 - Portas exteriores e alguns pormenores

5.2. Casa B

A casa B situa-se em Ílhavo e está inserida na Urbanização Industrial da Fábrica da Vista Alegre, com algumas casas circundantes a cerca de 10 metros, sensivelmente com a mesma altura e abrigada por estar rodeada de árvores e vegetação. A entrada principal está orientada a este, conforme apresentado na figura 27.

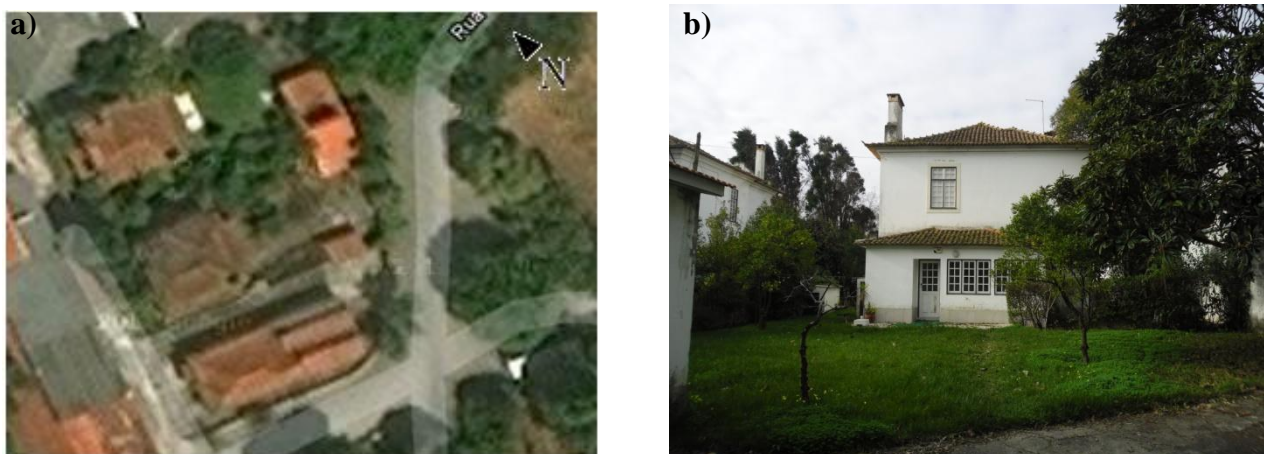


Figura 27 - Casa B: a) vista aérea; b) vista da fachada Este.
(Fonte: Google Maps [30])

5.2.1. Levantamento geométrico

Neste subcapítulo serão apresentadas as peças desenhadas da casa B: plantas dos diferentes pisos e alçados.

A geometria da casa B em planta é aproximadamente retangular e esta casa é constituída por rés-do-chão e 1º andar, ambos habitáveis. A organização do rés-do-chão contempla as seguintes divisões: sala, cozinha, arrumos, hall de entrada, acessos e marquise, como se apresenta na planta da figura 28. O desenho à escala é apresentado no anexo A.

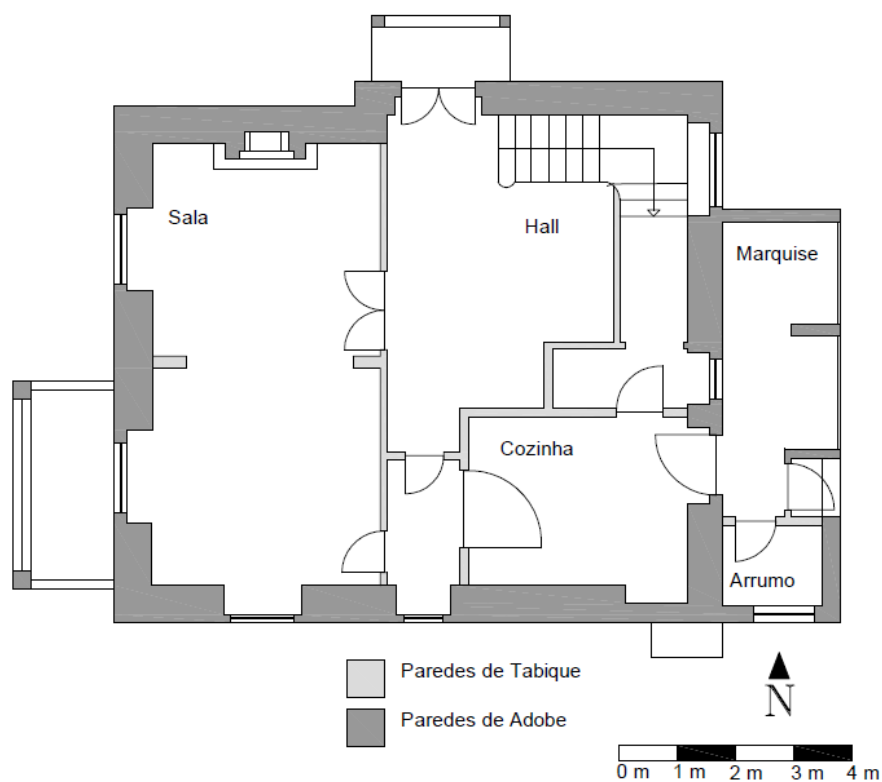


Figura 28 - Planta do rés-do-chão da Casa B

Como apresentado na figura 29, o 1º andar possui cinco divisões, sendo estas quatro quartos, uma casa de banho com *hall* de acesso aos mesmos. O desenho à escala é apresentado no anexo A.

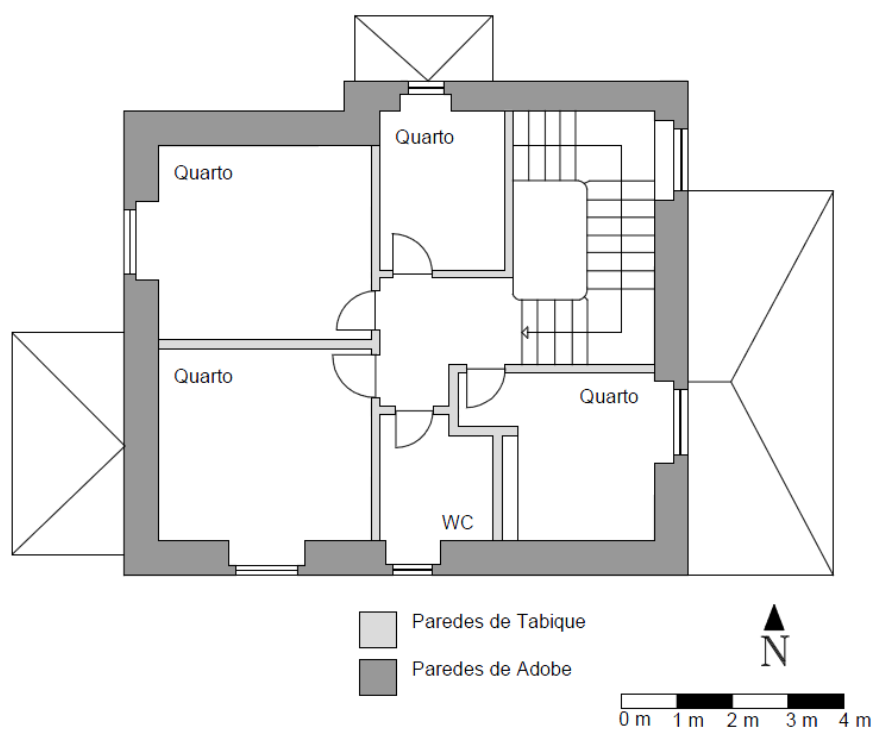


Figura 29 - Planta do 1º piso da Casa B

A planta da cobertura é apresentada na figura 30. A cobertura possui quatro vertentes, sendo que numa delas há adaptação do telhado à forma da casa, e três telheiros sobre corpos salientes com três vertentes cada. Mais detalhadamente a estrutura da mesma é descrita no subcapítulo 5.2.2.3. O desenho à escala é apresentado no anexo A.

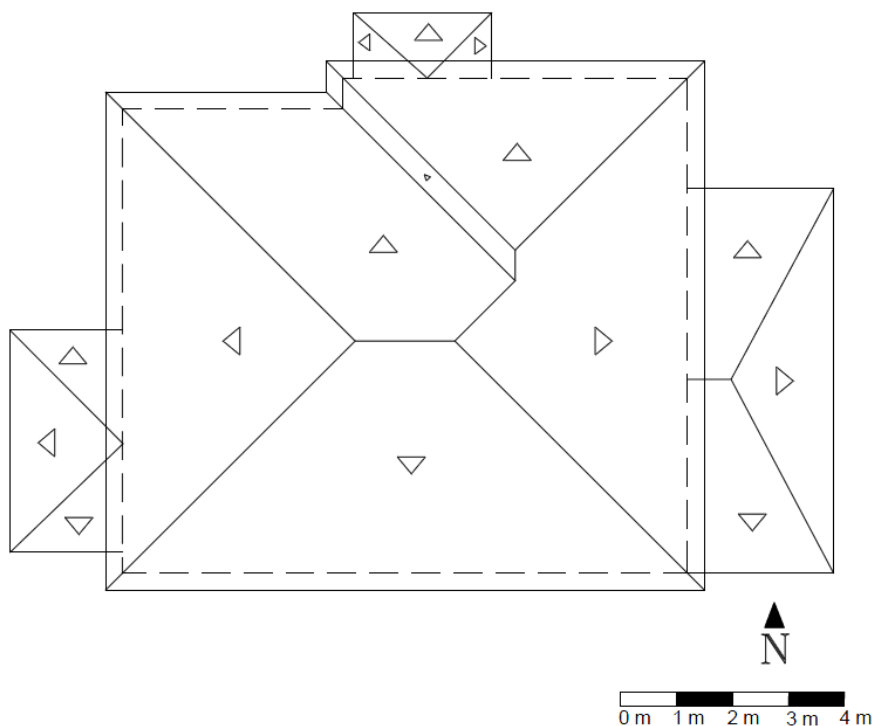


Figura 30 - Planta da cobertura da Casa B

No que diz respeito aos alçados (figura 31), o alçado oeste e norte possuem cada um pequeno telheiro sobre as respectivas portas de acesso à casa. Os vãos desta casa são todos similares, à exceção dos vãos do 1º andar do alçado este. Os desenhos à escala são apresentados no anexo A.

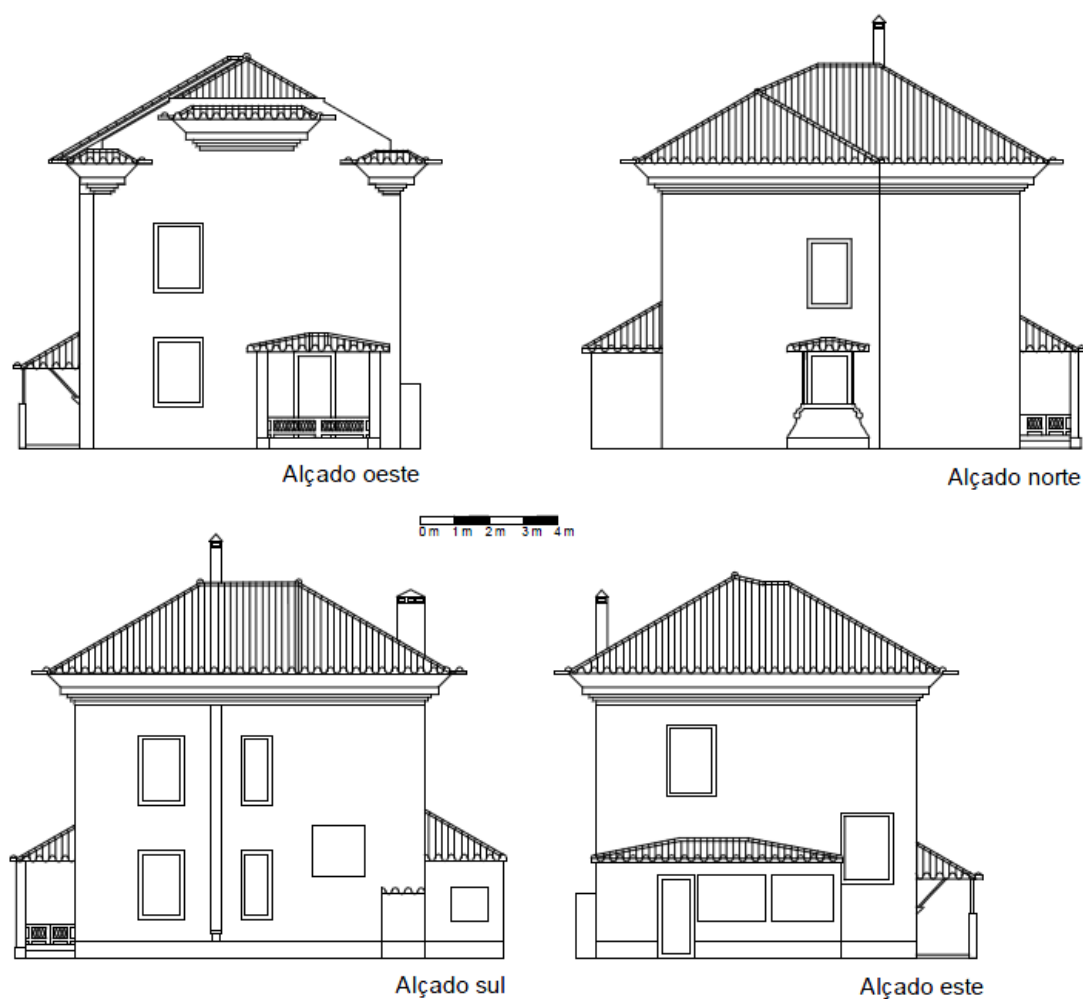


Figura 31 - Alçados da Casa B

5.2.2. Caracterização construtiva dos elementos principais da envolvente

À semelhança do que anteriormente foi apresentado para a casa A, a caracterização construtiva também é feita tendo por base os principais elementos da envolvente exterior da casa. De seguida, far-se-á a descrição das soluções de paredes exteriores e interiores, pavimentos, cobertura e vãos envidraçados.

5.2.2.1. Paredes exteriores e interiores

As paredes exteriores da casa B são de adobe, sendo esta a solução de construção típica da urbanização em que a casa se insere. Estas paredes são rebocadas e revestidas em ambas as faces, têm espessuras totais de 60 centímetros, sendo paredes resistentes.

As paredes interiores são em tabique com dimensão de 16 centímetros de espessura. Estas são rebocadas e pintadas em ambas as faces.

5.2.2.2. Pavimentos

O piso do rés-do-chão da casa é um pavimento térreo sobre o qual assentam as paredes interiores. No primeiro andar, a estrutura do pavimento é constituída por um vigamento de madeira em que assenta o soalho.

Os pavimentos nesta casa são revestidos a alcatifa ou mosaico cerâmico, dependendo do compartimento e da sua função.

5.2.2.3. Cobertura

Não foi possível aceder à cobertura, mas através do responsável pela equipa de manutenção do complexo residencial da Vista Alegre foram obtidas algumas informações sobre a mesma.

A estrutura da cobertura é constituída por asnas simples de madeira, em que são assentes telhas cerâmicas do tipo canudo.

5.2.2.4. Vãos envidraçados

Nesta casa existe apenas um tipo de janelas, embora estas variem em alguns aspetos, nomeadamente, nas dimensões, na existência ou não de bandeira e no número de folhas das mesmas. Estas janelas são de abrir para dentro de eixo vertical fixo, coincidente com as laterais da folha, conforme apresentado na figura 32: a) a j). As mesmas são de uma, duas ou três folhas. Algumas janelas possuem bandeira fixa e portadas interiores com duas folhas, que se movimentam em torno de um eixo vertical fixo nas laterais das folhas.

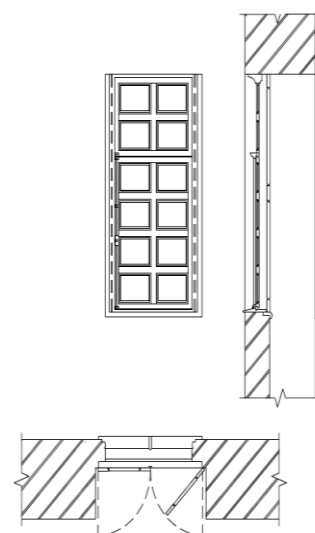
Os vãos envidraçados são os originais possuindo caixilharia em madeira lacada e vidros simples, apresentando frinchas de cerca de 1 milímetro por onde existem infiltrações de ar.



a) Janela do rés-do-chão



b) Exemplo de janela do 1º andar de uma única folha



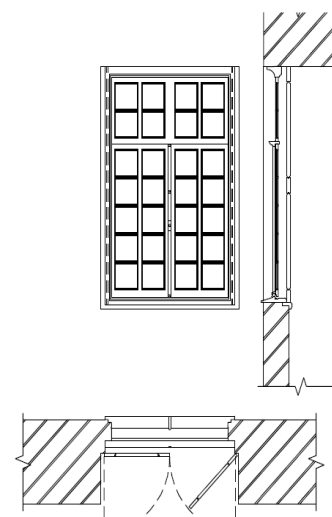
c) Desenhos da janela em b)



d) Pormenor do encaixe das portadas



e) Exemplo de janela com duas folhas e com bandeira



f) Desenhos da janela em e)



h) Pormenor do encaixe da janela



i) Pormenor da soleira em madeira



j) Exemplo de janela de três folhas

Figura 32 – Janelas da casa B e respetivos pormenores

As portas interiores são de madeira maciça lacada de uma ou duas folhas com relevos e com vidro simples. As portas exteriores são todas muito semelhantes sendo uma delas de apenas uma folha, como se observa na figura 33. As portas de duas folhas possuem bandeira fixa.



Figura 33 - Portas exteriores.

5.3. Casa C

A casa C situa-se em Ílhavo, entre casas circundantes com sensivelmente a mesma altura a 6 metros de distância e está rodeada por um pequeno jardim relvado. A fachada principal está orientada a sudeste, conforme apresentado na figura 34.

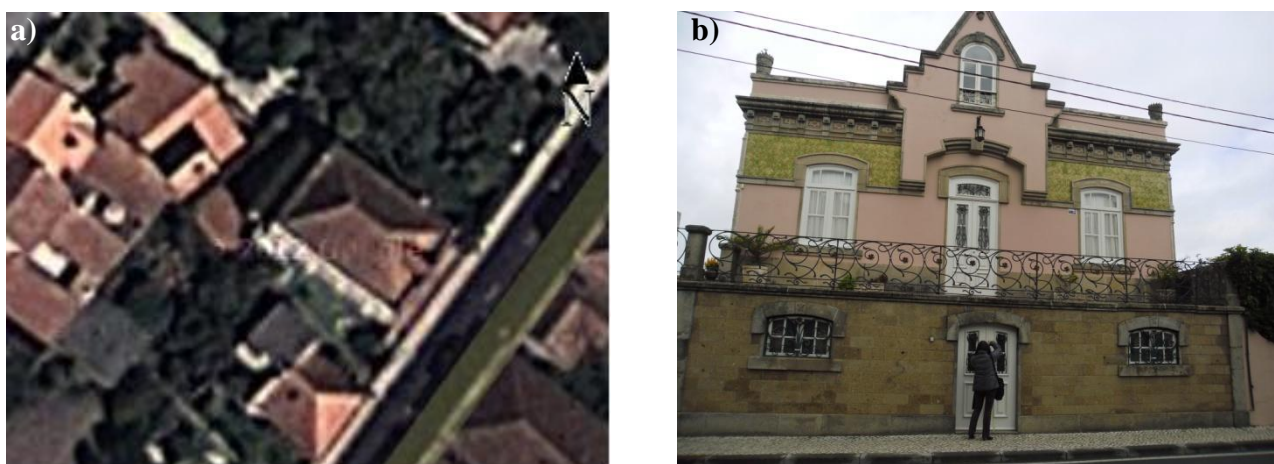


Figura 34 - Casa C: a) vista aérea; b) vista da fachada sudeste (Fonte: Google Mapas [30])

5.3.1. Levantamento geométrico

Neste subcapítulo serão apresentadas as peças desenhadas da casa C: plantas dos pisos e alçados.

A casa C apresenta uma forma retangular em planta, sendo aproximadamente simétrica na direção sudeste-noroeste.

A casa é composta por rés-do-chão, 1º andar e sótão, sendo este último acessível, mas não habitável.

A organização do espaço do rés-do-chão contempla as seguintes divisões: sala, cozinha e uma divisão ampla, como se apresenta a planta da figura 35. A entrada principal desta casa é localizada ao nível do rés-do-chão e dá acesso direto à sala. O desenho à escala é apresentado no anexo A.

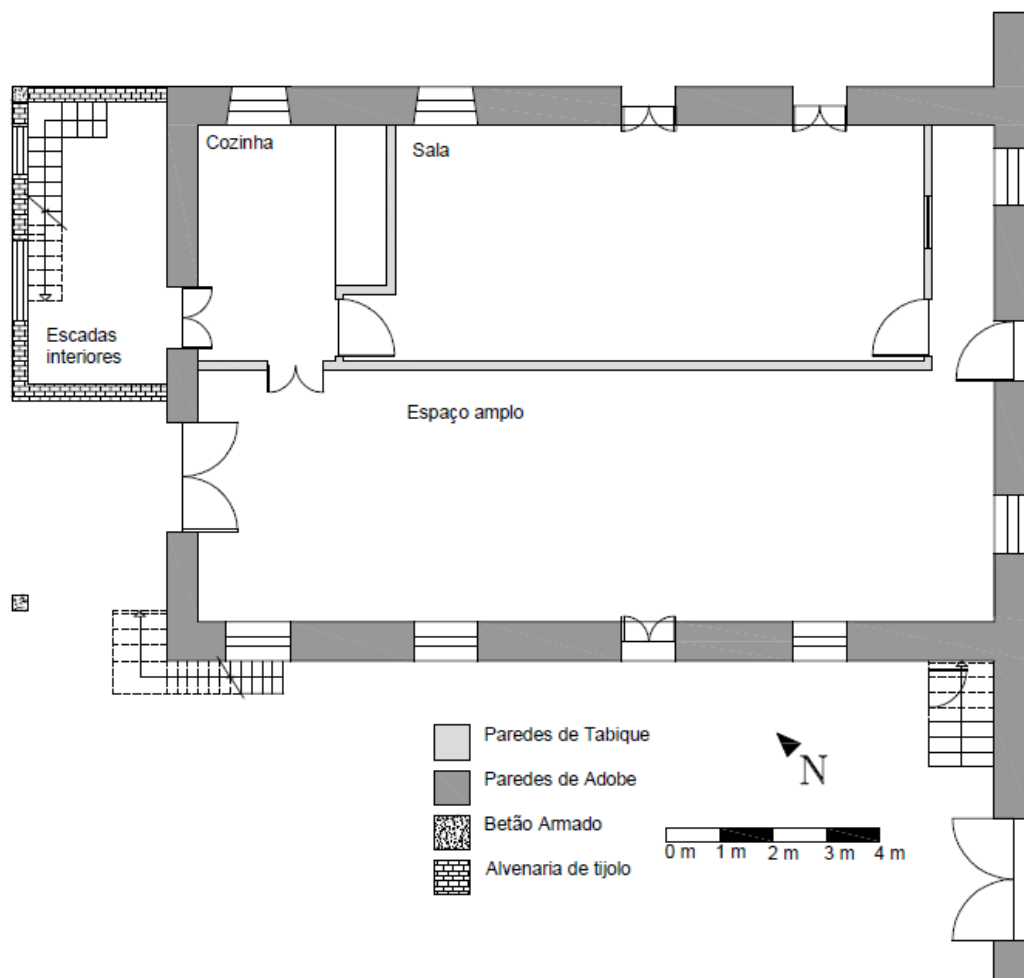


Figura 35 - Planta do rés-do-chão da Casa C

O 1º piso está dividido em cinco quartos, duas casas de banho, uma sala, um escritório, uma marquise e um pequeno espaço de arrumos. A escada interior de acesso a este piso localiza-se na marquise. Na zona central deste piso, existe um corredor longitudinal que faz a ligação entre todos os espaços interiores. A planta do mesmo é apresentada na figura 36. O desenho à escala é apresentado no anexo A.

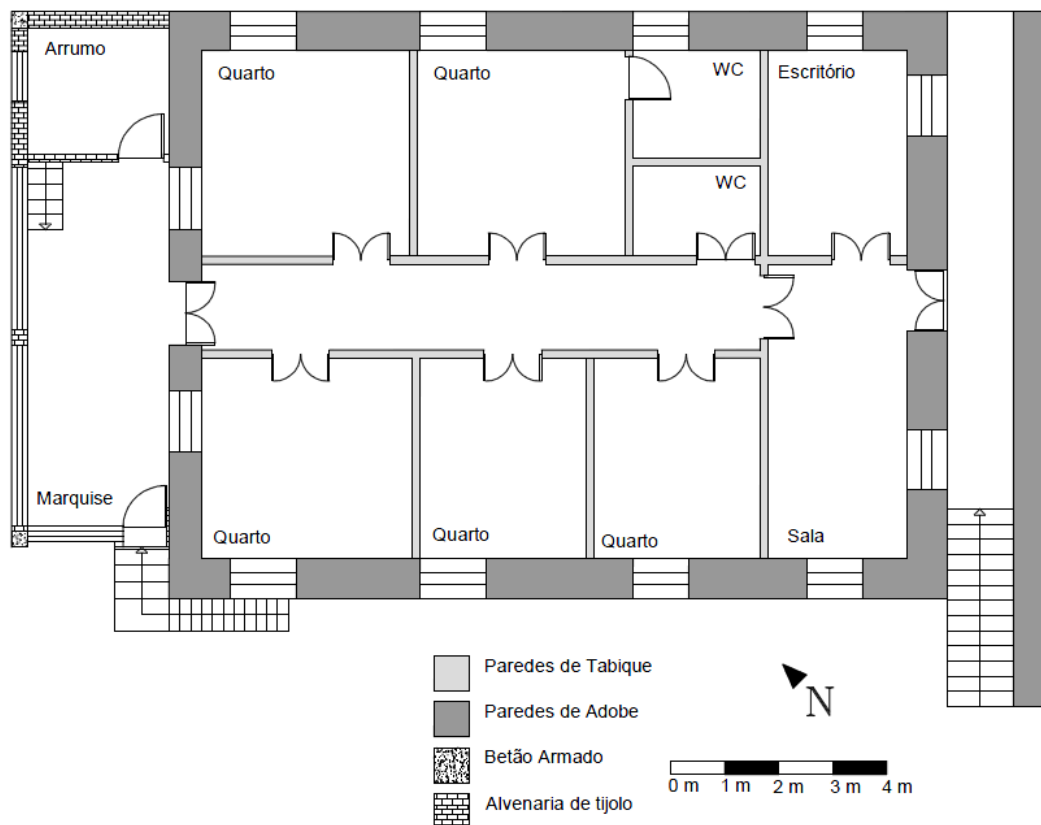


Figura 36 - Planta do 1º piso da Casa C

A planta da cobertura é apresentada na figura 37. A cobertura possui quatro vertentes principais e uma mansarda com duas águas que possui uma janela que é utilizada para iluminação e ventilação natural do sótão. De forma mais detalhada, a estrutura da mesma casa será descrita no subcapítulo 5.3.2.3. O desenho à escala é apresentado no anexo A.

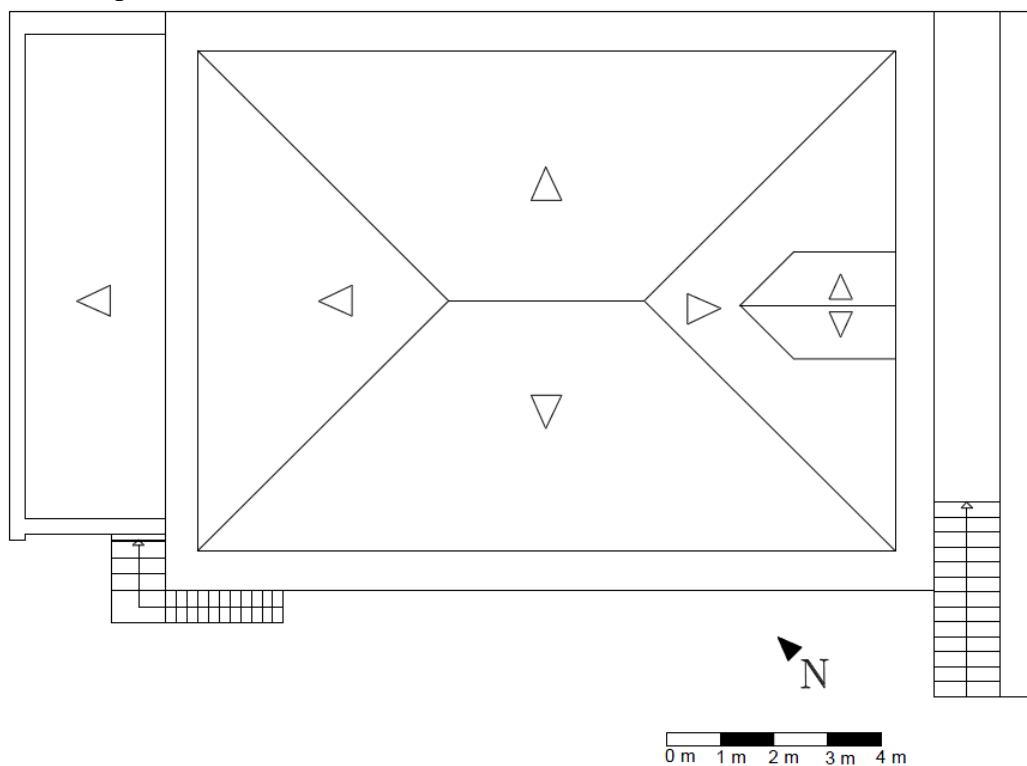


Figura 37 - Planta da cobertura da casa C

Em relação aos alçados, estes são apresentados na figura 38. O alçado principal (alçado sudeste) apresenta uma diversidade de formas e relevos trabalhados em pedra, nomeadamente na tipologia das janelas e cantarias e na utilização de frisos, cornijas e elementos escultóricos em várias partes do mesmo.

As janelas das fachadas usualmente são de abrir para dentro de eixo vertical fixo com ou sem bandeira envidraçada e, com ou sem grades de proteção ou projetantes de duas folhas. As grades das janelas são em ferro, com desenhos exuberantes, o que as torna num dos motivos decorativos do alçado. A casa foi pintada em duas cores, amarelo e cor-de-rosa, sendo que no rés-do-chão e no alçado sudeste à cota do primeiro andar, estão revestidos a azulejo decorativo. Os desenhos à escala são apresentados no anexo A.



Figura 38 - Alçados da casa C

5.3.2. Caracterização construtiva dos elementos principais da envolvente

Tal como foi feito para a casa A e B, também para a casa C será feita a caracterização construtiva tendo por base os principais elementos da envolvente térmica da casa. A divisão deste subcapítulo será: paredes exteriores e interiores, pavimentos, cobertura e vãos envidraçados. Esta casa sofreu pequenas alterações ao longo do tempo, a saber: as janelas a nordeste foram ampliadas e foi construída uma ampliação da casa no lado noroeste em estrutura de betão armado para implantação de uma

escada de acesso pelo interior ao 1º andar, sendo que neste existe uma marquise e uma porta para o exterior que são de materiais recentes, nomeadamente, alumínio.

5.3.2.1. Paredes exteriores e interiores

Nesta casa as paredes exteriores são em adobe e as paredes interiores em tabique.

As paredes da envolvente externa da casa apresentam geometria e dimensões regulares, com uma espessura de 73 centímetros. Estas paredes apresentam dois tipos de revestimento. No primeiro andar o revestimento é reboco e pintado com duas tonalidades e o rés-do-chão e uma pequena faixa do primeiro andar são revestidos com azulejo decorativo.

As paredes interiores de tabique são rebocadas e pintadas em ambas as faces e, tem espessura média de 15 centímetros, destinadas apenas à divisão dos espaços interiores da casa.

5.3.2.2. Pavimentos

Nesta casa, o pavimento do rés-do-chão é térreo e apresenta um revestimento em madeira, à exceção da cozinha, em que é revestido com mosaico cerâmico. No que diz respeito ao pavimento do 1º andar, este possui uma estrutura em madeira, constituída por um sistema de vigamento que se apoia nas paredes resistentes. Apenas nas duas casas de banho do 1º andar, o pavimento é revestido a mosaico cerâmico.

5.3.2.3. Cobertura

A estrutura da cobertura utilizada nesta casa, é uma estrutura inclinada de madeira, com geometria de quatro vertentes. Esta está adaptada à utilização do sótão, pois este é acessível e utilizado para arrecadação. A estrutura de madeira é formada por asnas e madres onde apoia o ripado e sobre este assenta a telha cerâmica do tipo marselha. Pontualmente, na zona da cobertura sobre os dois quartos principais da casa foi colocado isolamento térmico (informação do proprietário).

5.3.2.4. Vãos envidraçados

A maioria das janelas desta casa (figura 39: b) e e)) são de abrir para dentro de eixo vertical fixo com bandeira envidraçada, existindo no rés-do-chão algumas janelas de eixo vertical fixo com ou sem grades de proteção de pequenas dimensões (figura 39: a) e f)) ou janelas projetantes de eixo horizontal fixo (figura 39: d)). Estas janelas são feitas de madeira lacada e apresentam alguns relevos que as caracterizam. As dimensões dos vidros são variáveis, sendo todas estas em vidro simples. Na marquise

existem janelas de correr em alumínio com vidros simples de maiores dimensões que as restantes (figura 39: c)).



a) Janela de abrir para dentro de eixo vertical com grades



b) Janela de abrir para dentro de eixo vertical do sótão



c) Janelas de correr em alumínio na marquise



d) Janelas projetantes de eixo horizontal fixo



e) Janela de abrir para dentro de eixo vertical fixo com bandeira



f) Janela de abrir para dentro de eixo vertical fixo

Figura 39 - Exemplos das janelas da casa C

As portas de entrada do lado sudeste são em madeira trabalhada (figura 40:a)), possuindo pequenos envidraçados com grades de proteção. As portas do alçado nordeste (figura 40: b)), embora trabalhadas, são mais simples que as anteriores e possuem uma área envidraçada superior. As portas são em madeira lacada de cor branca e possuem envidraçados simples. No alçado sudoeste, existe uma porta de acesso ao primeiro andar em alumínio e com vidros simples (figura 40: c)).



a) Portas do alçado sudeste



b) Portas do alçado nordeste



c) Porta no alçado sudoeste

Figura 40 - Exemplos das portas existentes na casa C

5.4. Síntese da caracterização das casas

Na tabela 1, para facilitar a comparação entre as casas monitorizadas, foram compiladas algumas das características mais importantes dos diferentes sistemas construtivos das casas.

Tabela 1 - Quadro resumo da caracterização construtiva das três casas

		Casa A	Casa B	Casa C
Orientação da fachada principal		Sudeste	Este	Sudeste
Pé-direito (m)	Rés-do-chão/Cave	2,30	3,23	2,43
	1º Andar	3,56	3,28	3,67
	Sótão	3,07	-	3,80
Área de piso (m²)	Rés-do-chão	183,04	110,06	193,76
	1º Andar	189,69	87,46	184,48
	Sótão	176,71	-	184,48
Área opaca de fachada (m²)		335,38	300,20	307,85
Área de envidraçado (m²)		44,65	25,22	32,37
Área de cobertura (m²)		186,34	124,08	145,64
Espessura da parede externa (cm)		46 - 20	65	30 - 73
Espessura total da parede interna (cm)		9 - 15	16	15 - 60
Características principais	Paredes interiores	Tabique	Tabique	Tabique
	Paredes exteriores	Adobe ou alvenaria de tijolo	Adobe	Adobe ou alvenaria de tijolo
	Pavimentos	Soalho	Soalho e massame de betão	Soalho
		Madeira ou mosaico ou cacos de gazete	Alcatifa ou mosaico	Madeira ou mosaico
	Cobertura	Estrutura de madeira com telha “marselha”	Estrutura de madeira com telha “canudo”	Estrutura de madeira com telha “marselha”
Existência de isolamento	Cobertura	Sim (com 5 cm de espessura)	Não	Sim (existência pontual de isolamento na cobertura de 4 cm de espessura)
	Paredes	Não	Não	Não
Tipos de caixilharia e envidraçados		Janelas de abrir de eixo vertical com portadas pelo interior ou janelas de correr ou janelas fixas ou janelas projetantes	Janelas de abrir para dentro de eixo vertical com portadas pelo interior	Janelas de abrir para dentro de eixo vertical fixo com portadas pelo interior ou janelas projetantes de eixo horizontal fixo
		Madeira lacada, alumínio com vidro simples	Madeira lacada e vidro simples	Madeira lacada, alumínio com vidro simples
Formas de aquecimento / arrefecimento		Lareira	Aquecedores a óleo	Lareira e aquecedores a óleo

CAPÍTULO 6
Monitorização das casas e resultados obtidos

CAPÍTULO 6 - Monitorização das casas e resultados obtidos

- 6.1. Estratégia e âmbito
- 6.2. Sistema de monitorização e aquisição de dados
- 6.3. Processo de monitorização das casas
- 6.4. Condicionantes e limitações da monitorização
- 6.5. Norma EN 15 251
- 6.6. Resultados da casa A
- 6.7. Resultados da casa B
- 6.8. Resultados da casa C

6. Monitorização das casas e resultados obtidos

Este capítulo inicia-se com a apresentação da estratégia e âmbito do estudo e do sistema de monitorização e aquisição de dados fazendo referência ao processo de monitorização das casas e às condicionantes e limitações da mesma. É feita uma breve explicação da norma EN 15 251 [5]. São apresentados ainda os resultados e a análise dos dados tratados da monitorização das três casas em estudo referentes às quatro estações do ano.

6.1. Estratégia e âmbito do estudo

Para se atingirem os objetivos deste trabalho e para uma melhor compreensão e caracterização do comportamento térmico das casas em alvenaria de adobe, optou-se por monitorizar as condições higrotérmicas a partir da recolha de dados *in situ*. Assim sendo, com base nos dados obtidos na monitorização do ambiente das três casas, caracterizou-se termicamente cada ambiente, ao longo de um ano (verão, outono, inverno e primavera).

Neste capítulo, são analisados os dados de temperatura e humidade relativa. Esta análise será dividida essencialmente em três partes: análise diária de alguns dias representativos de cada estação do ano, análise global por período e, por fim, a avaliação segundo o critério definido na norma EN 15 251 [5].

6.2. Sistema de monitorização e aquisição de dados

Na monitorização termohigrométrica e aquisição de dados das três casas, foram usados termohidrógrafos da marca Testo, modelo 174H, como se vê na figura 41, para registo da temperatura e humidade relativa. Estes pequenos aparelhos permitem registo contínuo, uma vez que têm memória. Para recolha dos dados é utilizado o software Comsoft da Testo, que permite uma programação rápida do *data logger*, descarregar dados e uma fácil análise dos mesmos.



Figura 41 - Sensor utilizado para medição (testo 174) e adaptador USB

Fonte: Testo [31].

Este sistema foi escolhido porque apresenta boa precisão ($\pm 0,5$ °C nas medidas de temperatura e $\pm 0,03\%$ nas medidas de humidade relativa) e tem boa capacidade de armazenamento de dados: cerca de 12000 medições considerando medições de 10 em 10 minutos.

6.3. Instalação da monitorização das casas

Foram utilizados dez sensores, sendo que sete deles medem temperatura e humidade relativa no interior das casas e os restantes três mediram a temperatura e humidade relativa do ambiente exterior a cada casa.

Uma vez que os sensores exteriores ficariam sujeitos às condições climatéricas adversas, foi construída uma pequena proteção em chapa de zinco, como apresentado na figura 42.



Figura 42 - Proteção em zinco dos sensores exteriores para as condições climatéricas adversas

No primeiro período (verão), os aparelhos registaram os dados de 10 em 10 minutos, tendo nos restantes períodos (outono, inverno e primavera) efetuado registos de 15 em 15 minutos, para que não houvesse necessidade de recolher dados com tanta frequência.

A escolha da localização dos sensores interiores regeu-se pelo critério de que existisse um sensor em cada piso das casas e um sensor no exterior protegido da radiação solar direta e da chuva.

Na casa A, foram colocados três sensores no interior e um no exterior. O sensor do primeiro andar, durante o período de verão, esteve colocado no corredor, local que a habitante ventilava, mas, com a descida das temperaturas por aproximação da estação de aquecimento (inverno), considerou-se mais fidedigno que este sensor fosse colocado na sala de jantar, pois nesta divisão existe uma lareira que faz o aquecimento da casa. Os restantes sensores mantiveram sempre a mesma posição ao longo do tempo de registos, ou seja, um sensor localizado na cave, um sensor no sótão e um sensor exterior no alçado nordeste. A localização dos sensores nesta casa é apresentada na figura 43.

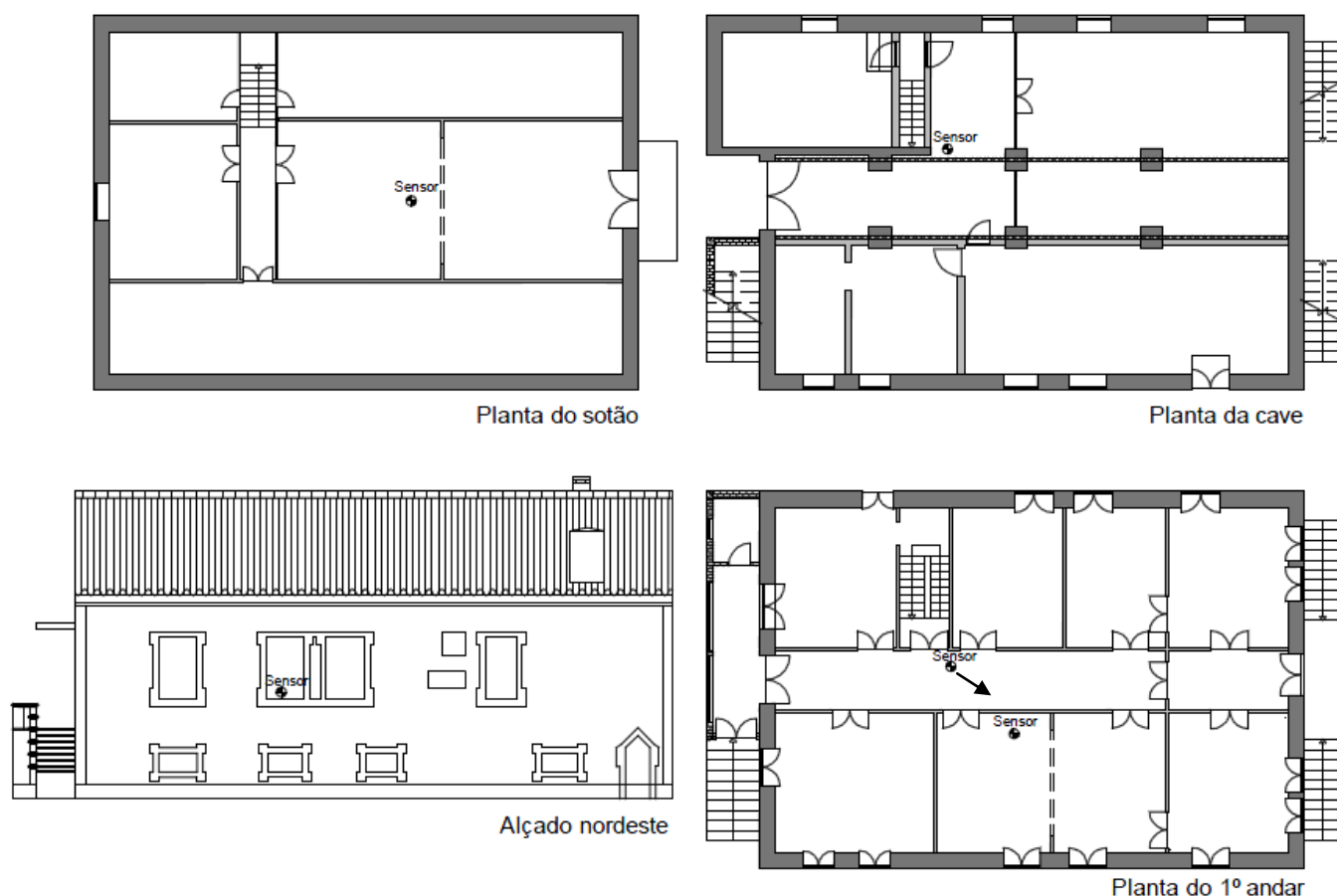


Figura 43 - Localização dos quatro sensores na casa A

Na casa B, foi colocado um sensor no interior de cada piso, posicionados sensivelmente no mesmo alinhamento vertical. Estes sensores foram colocados nos corredores do rés-do-chão e do primeiro piso. O sensor exterior que foi inicialmente colocado no alçado norte da casa, teve posteriormente mudada a sua localização, pois este descolou da parede após o temporal do dia 18 de janeiro de 2013. No dia 31 de janeiro, foi reposicionado no alçado oeste. Os dados registados no sensor exterior para este intervalo de tempo foram desprezados por ter havido perturbações destes registos pelas razões acima enumeradas. As localizações dos sensores nesta casa são apresentadas na figura 44.



Figura 44 - Localização dos três sensores na casa B

Na casa C, os sensores interiores foram colocados no 1º andar e no rés-do-chão. O sensor exterior está colocado no alçado noroeste, como apresentado na figura 45.

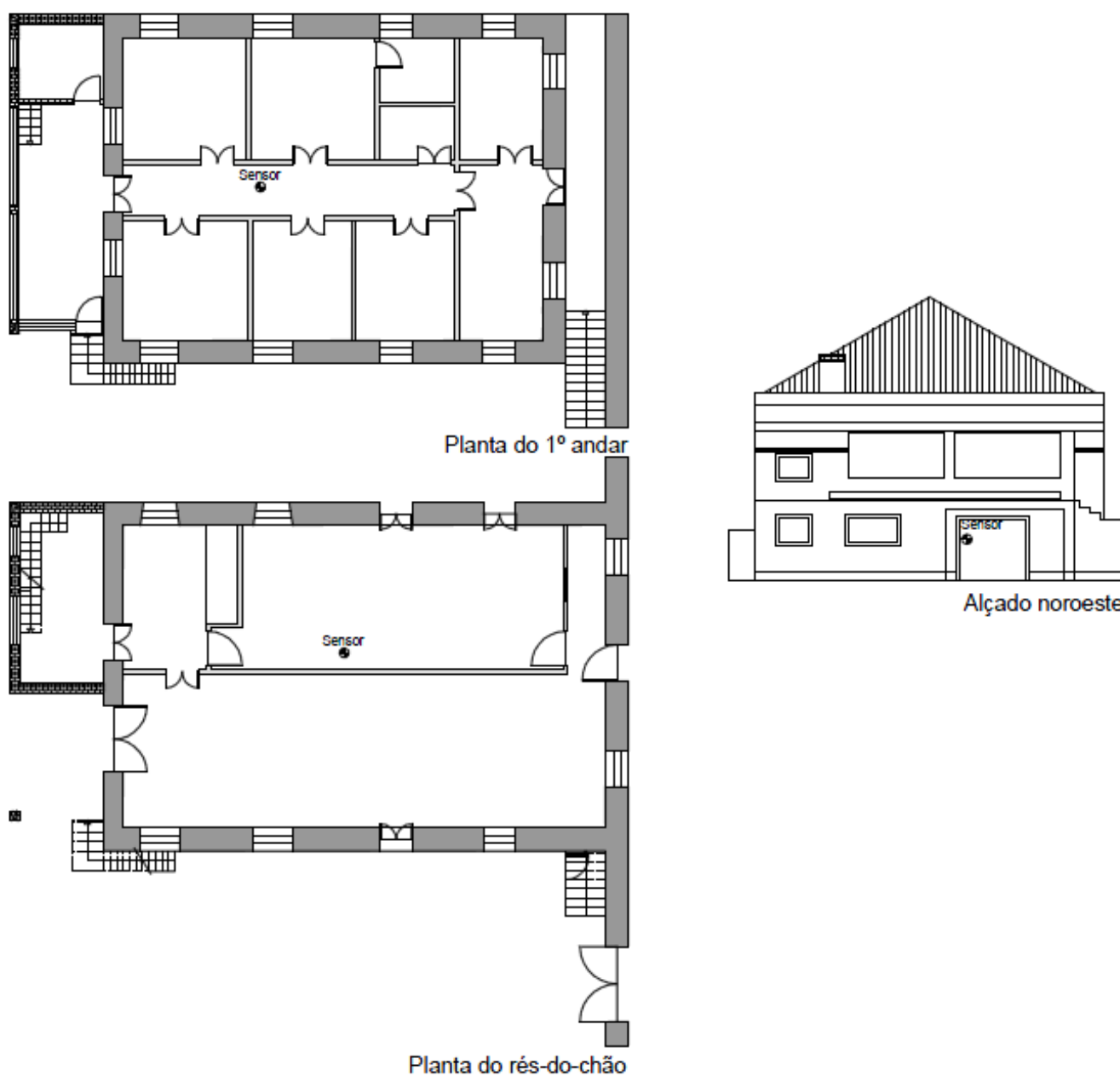


Figura 45 - Localização dos três sensores na casa C

6.4. Condicionantes e limitações da monitorização

Na tabela 2 são sistematizadas as particularidades de cada casa e os hábitos dos habitantes para os períodos de registo de dados, fundamentais na interpretação dos resultados obtidos nas secções seguintes.

Tabela 2 - Particularidades de cada casa e hábitos dos habitantes para os períodos de registo de dados

Casa	Período de Monitorização	Hábitos dos habitantes	Características relevantes
Casa A	verão	Ventilação da habitação por abertura do postigo entre as 7h30m e as 8h00m	Cave semi - enterrada Falta de estanquidade ao ar dos vãos envidraçados e da cobertura, devido à existência de folgas e frinchas Isolamento térmico na cobertura de 5 cm Portadas pelo interior na maioria dos vãos envidraçados
	outono	Lareira acesa às 6h30m no compartimento onde se encontra o sensor do 1º andar	
	inverno		
	primavera	-	
Casa B	verão	Casa desabitada	Ausência de isolamento na cobertura Portadas pelo interior de todos os vãos envidraçados.
	outono		
	inverno	Casa habitada de 20 de janeiro a meados de março com confeção de refeições para 19 pessoas	
	primavera	Casa habitada com número variável de pessoas	
Casa C	verão	Habitação desocupada em agosto e início de setembro (férias do proprietário)	Rés-do-chão mais protegido, ou seja, com menor exposição solar Isolamento pontual na cobertura com espessura de 4cm Portadas colocadas pelo interior na maioria dos vãos envidraçados
	outono	Aquecedor a óleo (convetor de 2000w) ligado em meados de novembro, na potência mínima durante todo o dia, intensificando o aquecimento a partir das 18h00m Possibilidade de acender a lareira na divisão onde se localiza o sensor do rés-do-chão	
	inverno		
	primavera	-	

Para se realizar uma análise mais rigorosa e fidedigna, neste trabalho foram usados dados climáticos da Estação de Meteorologia cedidos pelo Departamento de Física da Universidade de Aveiro, tais como: radiação global, velocidade, direção do vento e temperatura e humidade relativa em Aveiro. Os valores de temperatura e humidade relativa foram usados para confirmar e validar a fiabilidade dos dados obtidos dos sensores aplicados no exterior. No âmbito deste trabalho, foi considerado como temperatura exterior a média dos três sensores colocados no exterior das casas estudadas, uma vez que todos se encontravam num raio de 1km e à mesma cota altimétrica. Os valores de radiação global, velocidade e direção do vento serão apresentados mais adiante neste trabalho.

6.5. Norma EN 15 251

A norma EN 15 251 [5] (*Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*) foi elaborada no âmbito de um mandato conferido ao CEN pela *European Commission and the European Free Trade Association* (Mandato M/343), e suporta os requisitos essenciais da Diretiva 2002/91/CE da UE relativa ao desempenho energético dos edifícios. A mesma faz parte de uma série de normas que visam a harmonização europeia da metodologia para o cálculo do desempenho energético dos edifícios [5].

Esta norma é muito importante na avaliação do desempenho energético quer dos edifícios novos, quer dos já existentes, tendo como preocupação a qualidade do ambiente interior dos mesmos, nomeadamente, no que diz respeito à térmica, qualidade do ar, iluminação e ruído [32].

No que diz respeito ao conforto térmico em edifícios climatizados a EN15 251 particulariza intervalos de temperatura ou limites de aceitabilidade dos índices térmicos PMV e PPD [5].

Assim, esta norma classifica os ambientes térmicos em função do grau de exigência pretendido para o edifício analisado e para os seus habitantes, tal como é apresentado na tabela 3.

Tabela 3 - Aplicabilidade das classes de ambientes térmicos
(Adaptado de EN 15 251[5])

Classe	Descrição
I	Alto nível de expectativa é recomendado para espaços ocupados por pessoas muito sensíveis e frágeis com necessidades especiais, como crianças deficientes, doentes, muito jovens e idosos.
II	Nível normal de expectativa deve ser usado para construções novas e reabilitações.
III	Nível moderado de expectativa pode ser usado para edifícios existentes.
IV	Valores fora dos critérios para as categorias acima. Esta categoria só deve ser aceite por um período limitado do ano.

No que diz respeito aos edifícios sem sistemas de climatização de arrefecimento, ou seja, em que as janelas são utilizadas como principal meio de regulação da temperatura interior, a norma apresenta um método adaptativo para a definição das condições aceitáveis de conforto térmico, sem limitação do número de habitantes [5].

Na figura 46 são apresentadas as gamas de temperaturas consideradas aceitáveis pela norma para edifícios de serviços ou outros com atividades essencialmente sedentárias e de habitação, onde é fácil o acesso e a possibilidade de abertura de janelas e onde os seus habitantes adaptam livremente o vestuário às condições interiores e exteriores. Os valores apresentados são aconselhados para registos de verão (estação de arrefecimento). No entanto, estes também podem ser usados de inverno (estação de aquecimento) em edifícios sem sistemas mecânicos de arrefecimento [32].

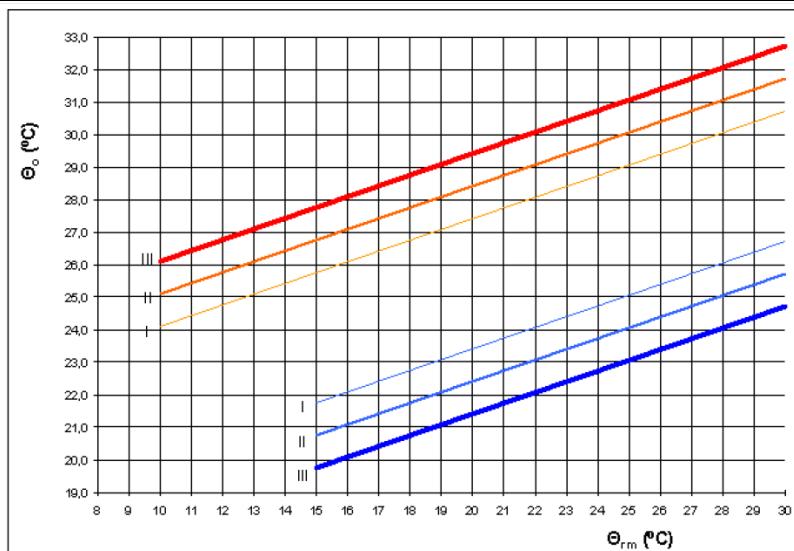


Figura 46 - Valores base de temperaturas operativas interiores para edifícios não climatizados [5]

6.6. Resultados da Casa A

Os resultados, para as três casas, são expostos e discutidos de forma diferente. Em primeiro lugar é feita uma análise diária de alguns dias representativos, tendo como único critério de escolha o facto de melhor explicarem o comportamento higrotérmico das casas para cada período referenciado. De seguida, é feita a previsão de sobreaquecimento para o período de registos de verão, definindo a percentagem de tempo em que as temperaturas interiores são superiores a 25°C. Para os restantes períodos, e visto que não faz sentido a avaliação de sobreaquecimento, é feita uma avaliação do arrefecimento, ou seja, verificar qual a percentagem de tempo em que o ambiente interior se encontra a uma temperatura inferior a 16°C. A análise de conforto térmico para os registos é feita segundo a EN 15 251 [5], com base no que foi descrito no subcapítulo 6.5. Por fim, é apresentada uma síntese geral que condensa as principais conclusões na análise dos registos de cada casa.

6.6.1. Análise diária – Período de verão

A tendência de registos no período de verão nesta casa é igual para todos os dias. No entanto, estes registos foram escolhidos para comentar por serem representativos deste período.

Para melhor compreensão dos resultados obtidos, inicia-se este subcapítulo apresentando o registo de temperaturas (°C) interiores e exteriores da casa em estudo e da radiação global (W/m^2), ambas em função do tempo (h). De seguida, apresenta-se o registo da humidade relativa (%) interior e exterior da casa em estudo, igualmente em função do tempo (h). A apresentação destes resultados será, ao longo deste subcapítulo, devidamente comentada.

Nas figuras 47, 49, 51 e 53, são apresentados os resultados dos dias 26 de julho, 8 de agosto, 18 de agosto e 6 de setembro, respetivamente, correspondentes aos registos de temperaturas interiores e

exteriores e à radiação global em função do tempo. Já nas figuras 48, 50, 52 e 54, são apresentados os registos da humidade relativa interior e exterior em função do tempo.

Para melhor compreensão e análise dos resultados obtidos, compilaram-se nas tabelas 4, 5, 6 e 7 todos os valores considerados mais importantes para a análise do comportamento térmico da casa A, nos respetivos dias de registo.

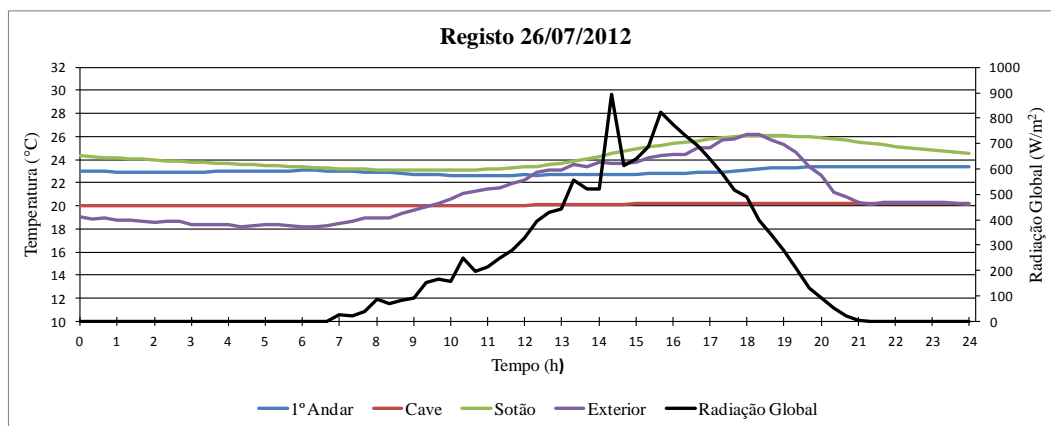


Figura 47 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 26 de julho de 2012

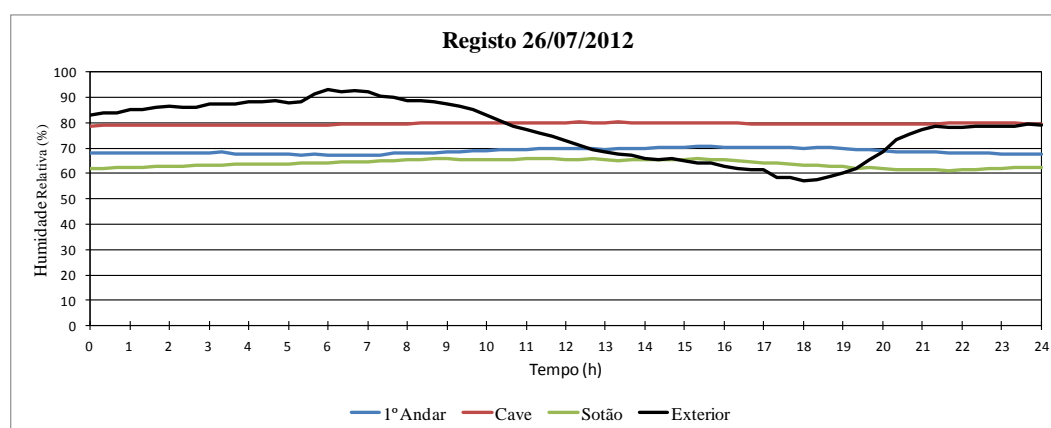


Figura 48 - Humidade relativa interior e exterior no dia 26 de julho de 2012

Tabela 4 - Resultados do registo no dia 26 de julho de 2012

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	26,17	18,13	93,10	57,10	-	-	338,16	1,39	WNW
1º Andar	23,40	22,60	70,50	67,20	2,77	1h40m			
Cave	20,20	20,00	80,20	78,70	5,97	-			
Sótão	26,10	23,10	65,80	61,20	0,07	0h00m			

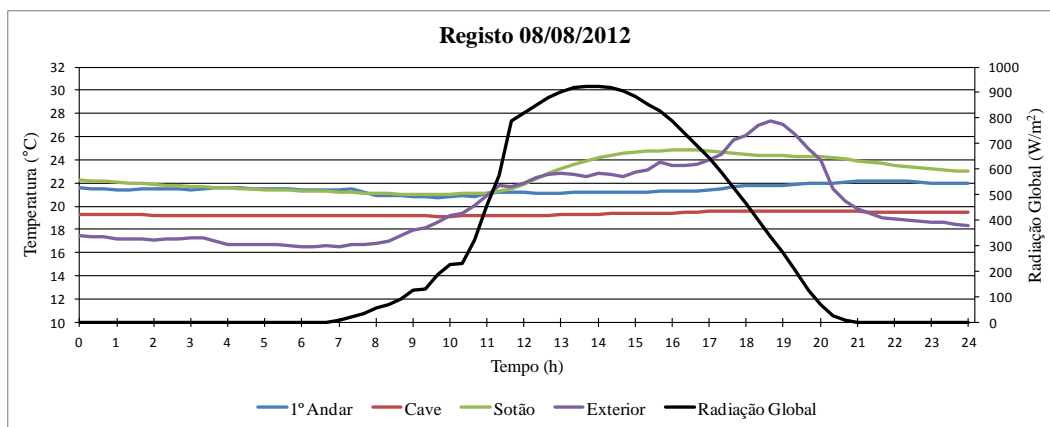


Figura 49 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 8 de agosto de 2012

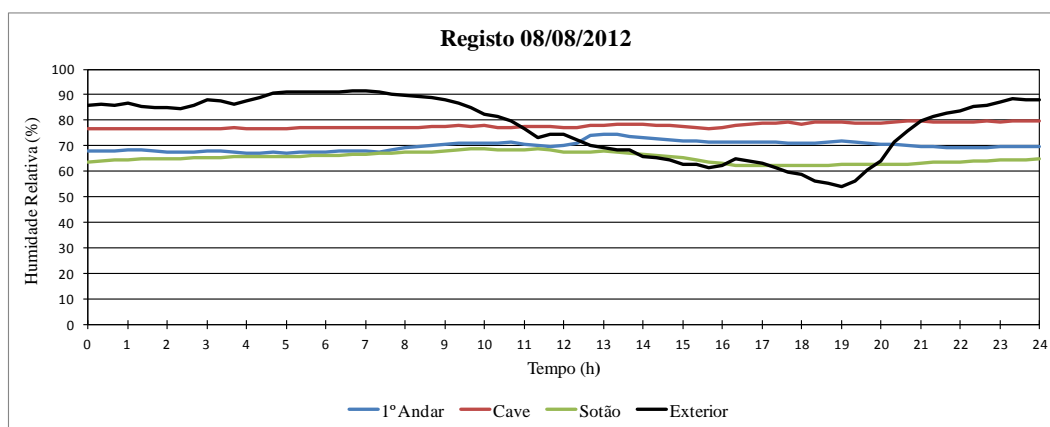


Figura 50 - Humidade relativa interior e exterior no dia 8 de agosto de 2012

Tabela 5 - Resultados do registo no dia 8 de agosto de 2012

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	27,33	16,50	91,70	54,10	-	-	471,64	1,52	NNW
Cave	19,60	19,10	79,70	78,90	7,73	-			
1º Andar	22,20	20,70	74,70	67,30	5,13	2h20m			
Sótão	24,90	21,00	68,90	57,70	2,43	-			

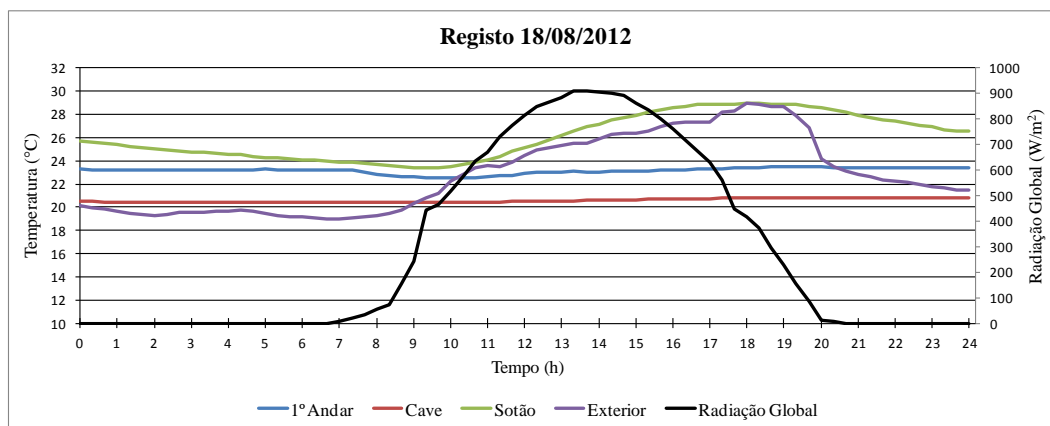


Figura 51 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 18 de agosto de 2012

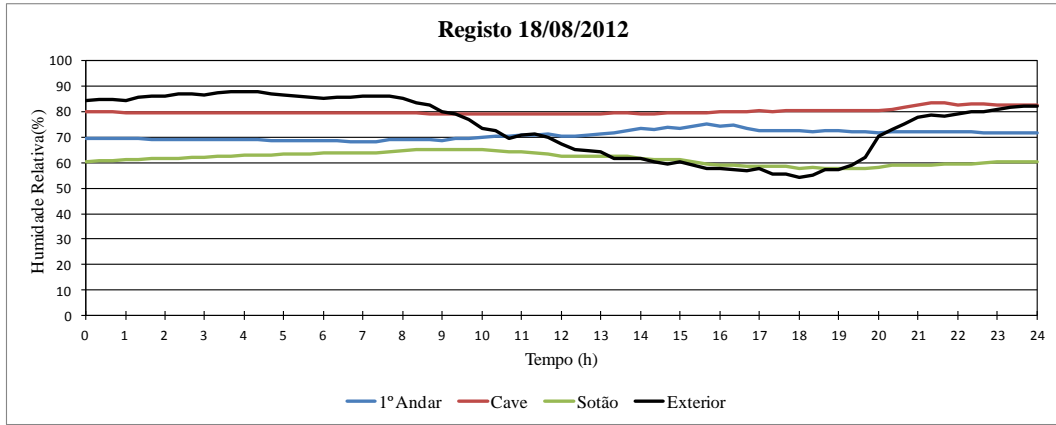


Figura 52 - Humidade relativa interior e exterior no dia 18 de agosto de 2012

Tabela 6 - Resultados do registo no dia 18 de agosto de 2012

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	29,00	18,97	87,97	54,30	-	-	517,05	1,40	ESE
Cave	20,50	22,50	83,30	78,90	8,20	-			
1º Andar	23,50	20,70	75,10	68,10	5,50	0h40m			
Sótão	29,00	23,40	65,10	57,70	0,00	-			

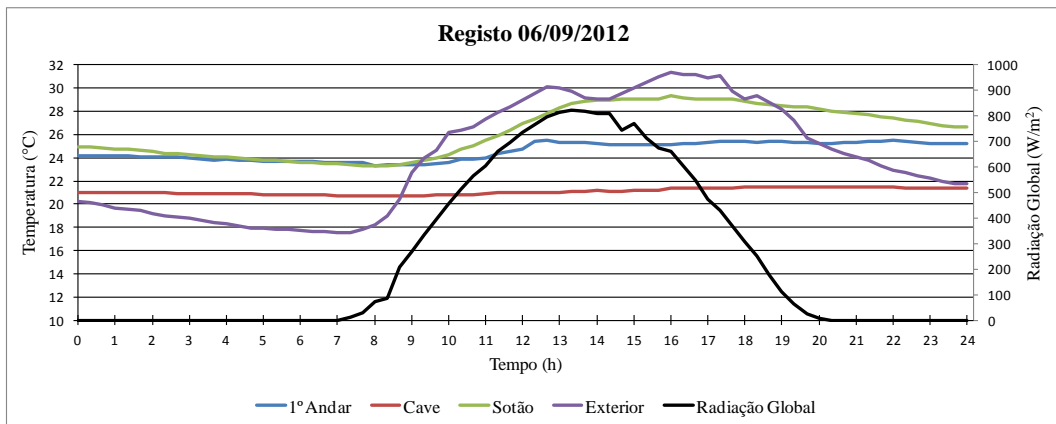


Figura 53 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no 6 de setembro de 2012

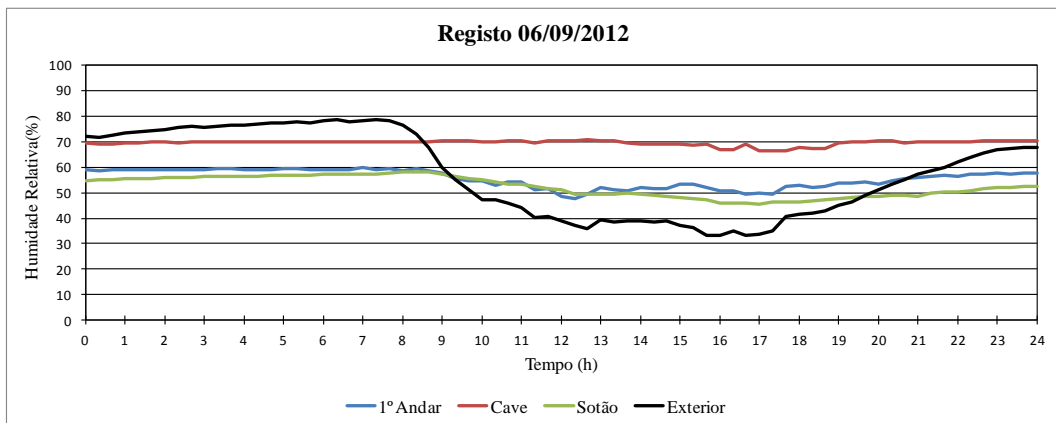


Figura 54 - Humidade relativa interior e exterior no dia 6 de setembro de 2012

Tabela 7 - Resultados do registo no dia 6 de setembro de 2012

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	31,37	17,50	78,53	33,30	-	-	466,79	1,30	NW
Cave	21,50	20,70	70,80	66,20	9,87	2h00m			
1º Andar	25,50	23,30	59,90	47,60	5,87	6h00m			
Sótão	29,30	23,30	58,20	45,60	2,07	0h00m			

Os resultados apresentados caracterizam dias típicos de verão, ou seja, com radiação solar elevada (céu limpo), temperaturas altas e vento fraco a moderado.

Para este período a temperatura máxima foi registada anormalmente entre as 18h e as 19h, sendo que o expectável fosse que este máximo ocorresse mais cedo.

Por observação dos gráficos da temperatura, podemos constatar que as temperaturas da zona interior habitável (1º andar e sótão) apresentam, ao longo dos diversos dias, um comportamento semelhante, sendo que o primeiro andar apresenta uma menor amplitude térmica, isto é, aparenta um bom amortecimento (inércia térmica). Na cave, a temperatura é praticamente constante, variando entre os 18°C e os 22°C. Um dos motivos plausíveis para este comportamento estará diretamente relacionado com o facto de a cave ser semi-enterrada e de a casa estar rodeada por algumas árvores, o que a protege da incidência direta do sol, justificando ainda o facto de a humidade relativa ser mais elevada localmente.

A habitante desta casa apresenta hábitos regulares de manutenção do ambiente térmico interior, como descrito na secção 6.4, ao ventilar transversalmente o primeiro andar diariamente das 6h30m até às 7h30m, promovendo uma perda térmica e abaixamento da temperatura, o que se confirma através da observação dos gráficos que registam uma descida ligeira de temperatura de cerca de 1°C sensivelmente a esta hora (ver figura 49).

Em alguns dias de verão, foi verificado o sobreaquecimento do sótão, nomeadamente, no dia 18 de agosto. Os espaços subjacentes às coberturas, sujeitos a forte e prolongada exposição solar, são sempre mais críticos. Porém, esta casa apresenta uma falta de estanquidade ao ar dos vãos envidraçados e da cobertura, o que faz com que o seu comportamento térmico fique comprometido, pois apesar do isolamento térmico na cobertura apresentar uma espessura razoável, este não é totalmente eficaz pelos fatores anteriormente descritos.

Do ponto de vista da qualidade do ar, sendo a humidade relativa um dos fatores condicionantes, esta deve manter-se entre valores de 40% e 50% para que não seja comprometida a qualidade do ar e a durabilidade dos materiais [6], facto que nem sempre se verifica nesta casa. Este intervalo de valores para humidade relativa é também importante para que se evitem patologias, tais como

desenvolvimento de fungos e bolores, condensações superficiais, entre outras. A humidade relativa interior apresenta uma variação máxima de 15% na casa.

6.6.2. Previsão de sobreaquecimento – Período de verão

Neste subcapítulo é feita uma análise geral dos resultados obtidos (ver figura 55), dado que os resultados apresentados e comentados são de todo o período, convencionado neste estudo como a estação de verão. Para esta análise não foram tidos em conta os valores registados para a cave pois este é um piso muito pouco usado pelos habitantes desta casa.

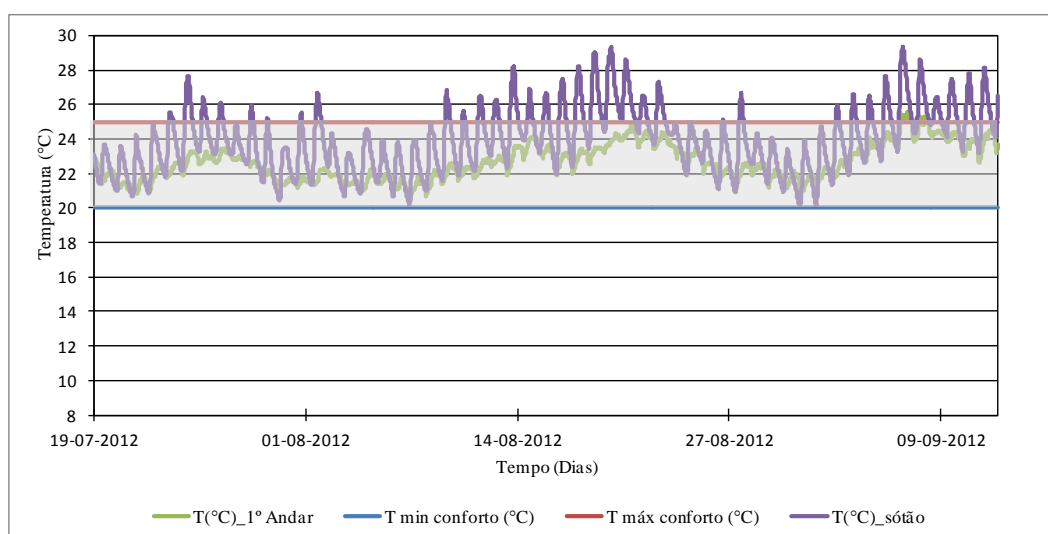


Figura 55 - Registo de temperatura para o período de verão, no 1º andar (corredor) e sótão, com indicação do intervalo de conforto térmico

O risco de sobreaquecimento para o período monitorizado, considerado representativo da estação de verão, é de 2,3% e 27,7% do tempo neste período para o 1º andar e sótão, respetivamente. As temperaturas médias foram 22,6°C e 23,9°C, para o 1º andar e sótão, respetivamente.

6.6.3. Análise do conforto térmico segundo a EN 15 251 – Período de verão

A norma EN 15 251 [5] apresenta uma relação entre a temperatura exterior e a temperatura operativa interior. A temperatura interior usada para o resultado apresentado na figura 56 foi a média das temperaturas interiores monitorizadas.

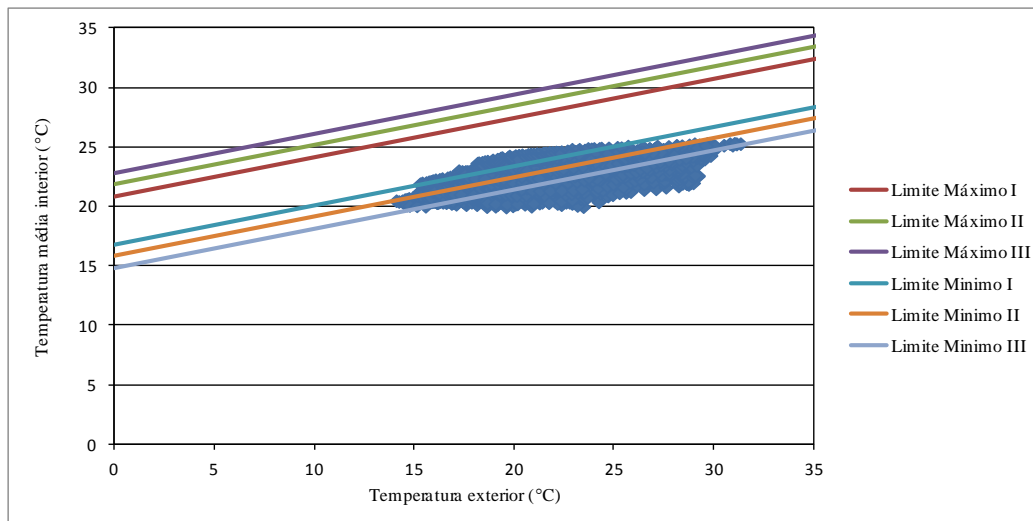


Figura 56 - Relação entre a temperatura média interior e exterior e limites especificados na norma Europeia EN 15 251 [5]

Como facilmente se pode verificar na figura 56, para a amostra em estudo, existe um conjunto significativo de valores que ficam fora da gama de valores especificada na norma. Sendo esta uma casa antiga, pela norma teria de apresentar valores dentro do limite III (limite menos exigente). No entanto, pode considerar-se que estes valores registados para o período tido como representativo de verão não são muito desfavoráveis. O conforto térmico, pelo método adaptativo da norma EN 15 251 [5], é apresentado apenas como sendo a relação entre as temperaturas exterior e interior média, mas este não depende apenas deste fator. Outro fator que influencia o conforto térmico é o vestuário, sendo que é possível o ser humano adaptar-se a temperaturas no interior de aproximadamente 19°C, como registado para a casa A, adequando o vestuário, não sentindo desta forma desconforto térmico face a estas temperaturas [14].

6.6.4. Análise diária – Período de outono

O outono enquanto a estação do ano que sucede ao verão, é caracterizado pela queda crescente dos valores da temperatura.

Os registos escolhidos para apresentar e discutir são representativos deste período. Nas figuras 57, 59, 61 e 63, são apresentados os resultados dos dias 23 de outubro, 25 de novembro, 10 de dezembro e 17 de dezembro, respetivamente, correspondentes aos registos de temperaturas interiores e exteriores e da radiação global em função do tempo, enquanto nas figuras 58, 60, 62 e 64 são apresentados os registos da humidade relativa interior e exterior em função do tempo.

Para melhor compreensão e análise dos resultados obtidos, compilam-se nas tabelas 8, 9, 10 e 11 todos os valores considerados mais relevantes para a análise do comportamento térmico da casa A, nos respetivos dias representativos de registo para o período de outono.

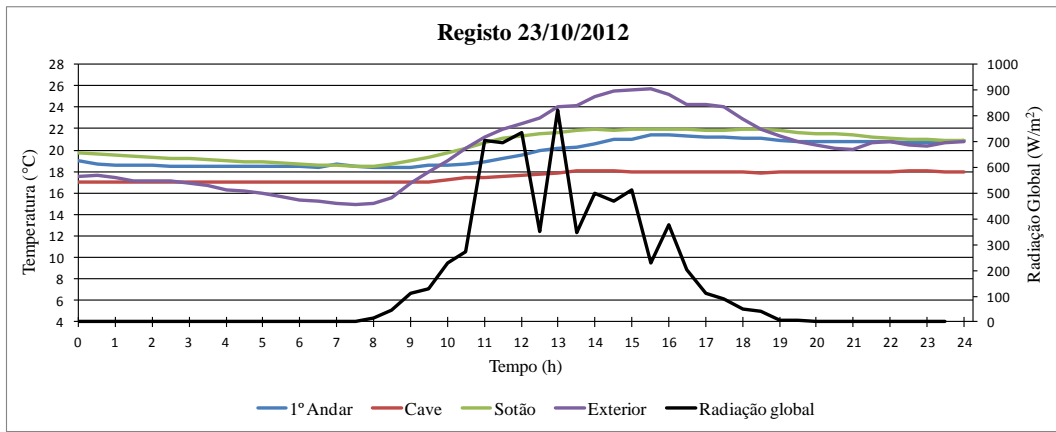


Figura 57 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 23 de outubro de 2012

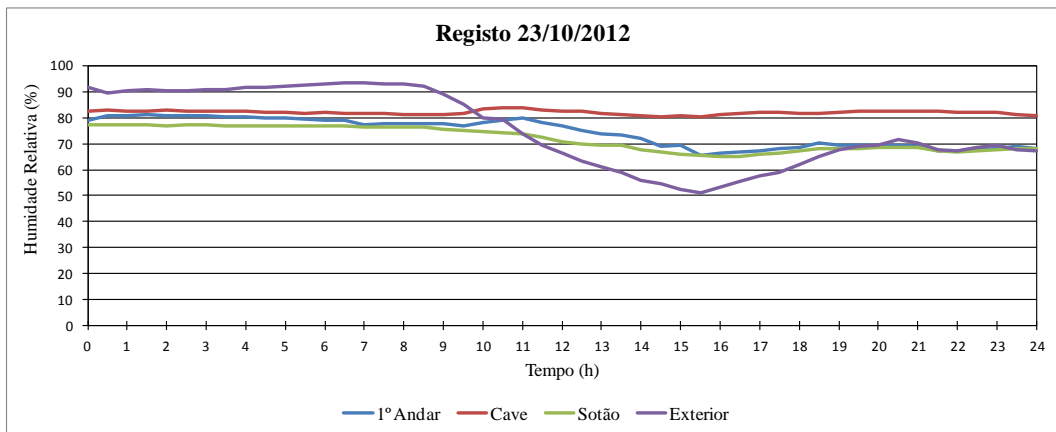


Figura 58 - Humidade relativa interior e exterior no dia 23 de outubro de 2012

Tabela 8 - Resultados do registo no dia 23 de outubro de 2012

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	25,67	14,97	93,37	51,20	-	-	281,68	5,42	SSW
Cave	18,10	17,00	84,00	80,30	7,57	-			
1º Andar	21,40	18,40	81,00	65,60	4,27	-			
Sótão	21,90	18,50	77,30	64,90	3,77	-			

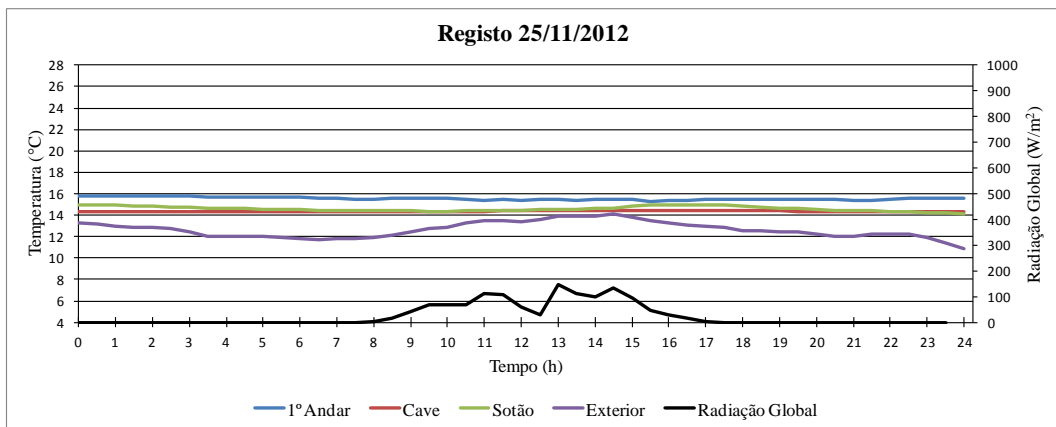


Figura 59 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 25 de novembro de 2012

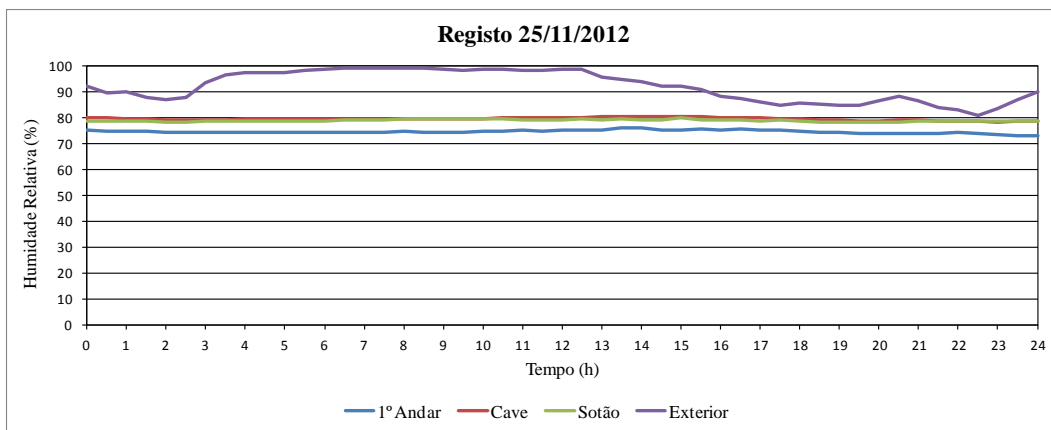


Figura 60 - Humidade relativa interior e exterior no dia 25 de novembro de 2012

Tabela 9 - Resultados do registo no dia 25 de novembro de 2012

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	14,13	11,40	99,47	80,80	-	-	65,79	1,42	N
Cave	14,40	14,30	80,50	60,20	Tint>Text	-			
1º Andar	15,80	15,30	76,10	73,30	Tint>Text	-			
Sótão	15,00	14,20	80,20	78,40	Tint>Text	-			

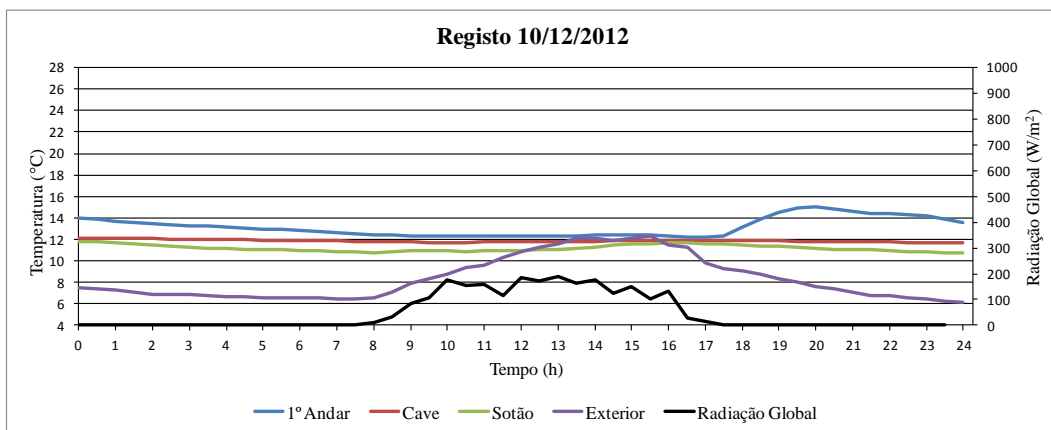


Figura 61 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 10 de dezembro de 2012

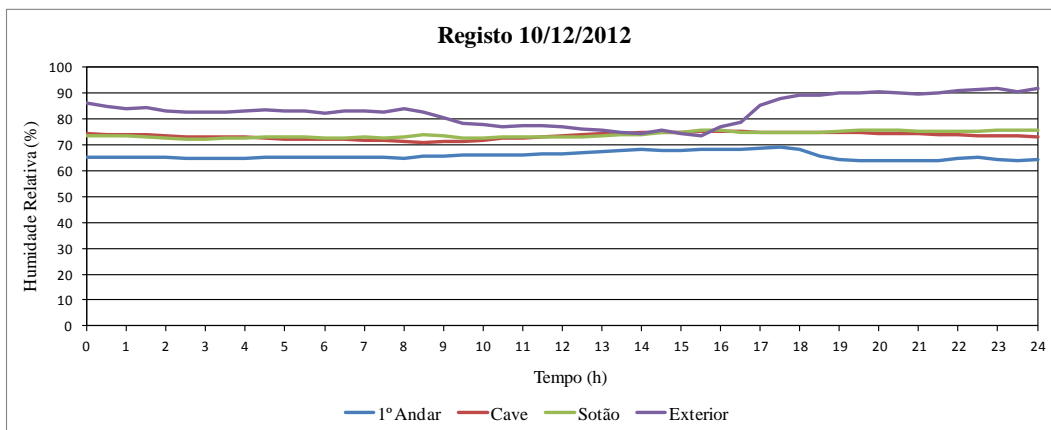


Figura 62 - Humidade relativa interior e exterior no dia 10 de dezembro de 2012

Tabela 10 - Resultados do registo no dia 10 de dezembro de 2012

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	12,33	6,27	91,83	73,27	-	-	119,84	0,80	ESE
Cave	12,10	11,70	75,10	71,00	0,23	-			
1º Andar	15,00	12,20	69,20	63,70	Tint>Text	-			
Sótão	11,80	10,70	75,80	72,20	0,53	1h00m			

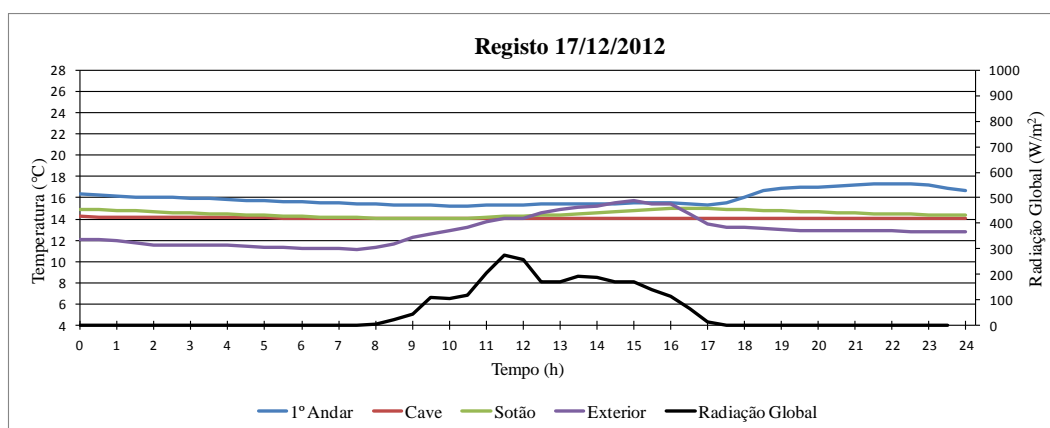


Figura 63 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 17 de dezembro de 2012

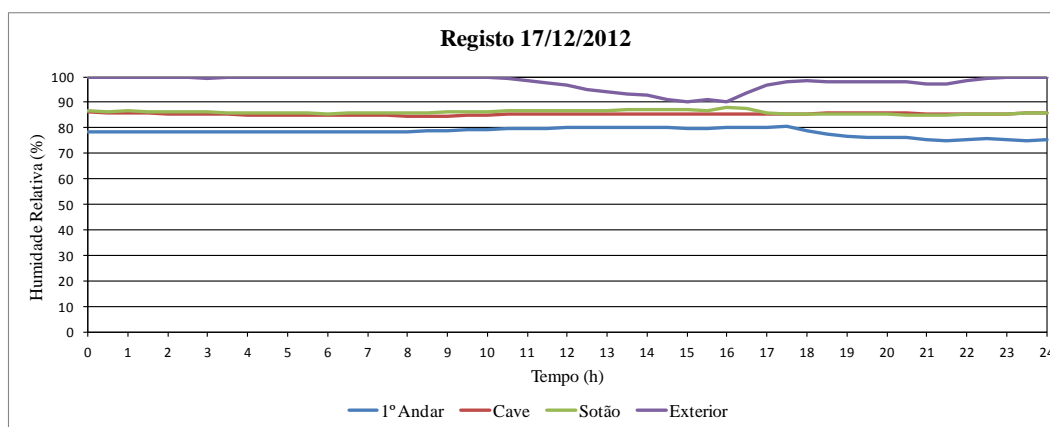


Figura 64 - Humidade relativa interior e exterior no dia 17 de dezembro de 2012.

Tabela 11 - Resultados do registo no dia 17 de dezembro de 2012

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	15,77	11,17	99,90	90,03	-	-	133,47	0,97	SE
Cave	14,30	14,10	86,20	84,30	1,47	-			
1º Andar	17,30	15,20	80,40	74,90	Tint>Text	-			
Sótão	15,00	14,10	87,80	85,00	0,77	-			

Os resultados apresentados caracterizam dias típicos de outono em que se verifica a progressiva diminuição das temperaturas exteriores. Este fenómeno tem consequências nos valores de temperatura registados no interior da casa como observado nos registos das figuras 57, 59, 61 e 63.

Através da observação dos registos, pode verificar-se que a temperatura dos três andares apresenta um comportamento muito semelhante com diferencial de temperatura entre si. Para este período, há uma inversão dos andares que registam as temperaturas mais elevadas. A cave, como já dito anteriormente, por estar semi-enterrada e por estar protegida da radiação solar direta, mantém uma temperatura sempre mais baixa mas aproximadamente constante. O 1º andar, sendo o andar mais utilizado pelos habitantes da casa e por possuir uma lareira de aquecimento, regista para este período as temperaturas mais elevadas, na ordem dos 15°C. O sótão foi o que verificou uma queda mais acentuada nos valores da temperatura, chegando a estar mais frio no sótão que na cave (ver figura 61). O sótão apresenta temperaturas mais baixas, uma vez que as perdas pelo solo da cave, neste período do ano, são amenizadas tirando partido da inércia térmica do solo. Por outro lado, a elevada permeabilidade dos vãos do sótão e da própria cobertura não garante conforto térmico interior, mesmo com a cobertura isolada. A humidade relativa registada para este período é bastante elevada, apresentando valores na maioria do tempo superiores a 60%.

6.6.5. Previsão de arrefecimento – Período de outono

Neste subcapítulo é feita uma análise geral dos resultados obtidos, dado que os resultados apresentados e comentados são de todo o período de outono.

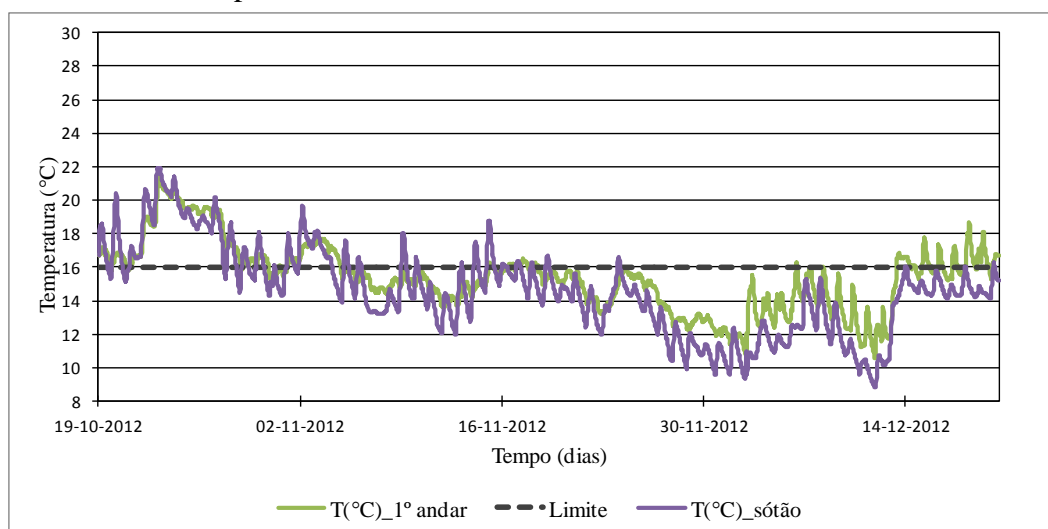


Figura 65 - Registo de temperatura para o período de outono, no 1º andar (corredor) e sótão, com indicação do limite de desconforto térmico

Como é possível observar na figura 65, as temperaturas são inferiores a 16°C, no 1º andar e sótão, em 64,2% e 84,9% do tempo para o período monitorizado, respetivamente. As temperaturas médias foram 15,4°C e 14,2°C, para o 1º andar e sótão, respetivamente.

6.6.6. Análise do conforto térmico segundo a EN 15 251 – Período de outono

A norma EN 15 251 [5] apresenta uma relação entre a temperatura exterior e a temperatura interior. A temperatura interior usada para aplicação desta norma foi a média de todas as temperaturas interiores.

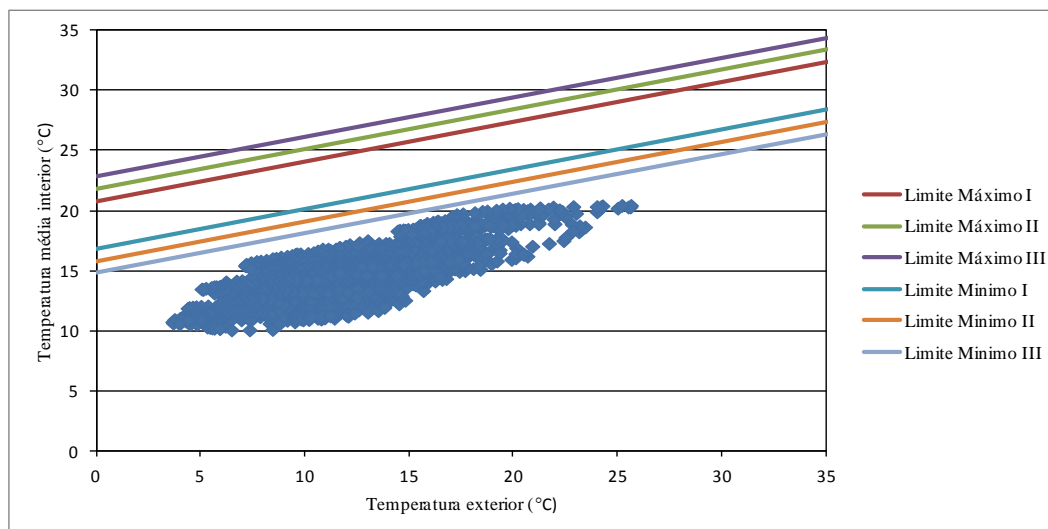


Figura 66 - Relação entre a temperatura média interior e exterior e limites especificados na norma Europeia EN 15 251 [5]

A norma EN 15 251 [5] permite, neste caso, a verificação da temperatura interior de conforto em função da temperatura exterior, sabendo que, à medida que a categoria aumenta (I para III), mais permissivo é o intervalo de controlo, o que implica uma necessidade de climatização e de aumento do consumo energético. Mas, como facilmente se pode verificar na figura 66, para a amostra em estudo, todos os valores ficam fora da gama de valores especificada na norma. Logo, podemos concluir que as medidas atuais de aquecimento e controlo das perdas térmicas pela envolvente nesta casa não são suficientes, segundo a norma, sendo necessária a definição de estratégias de reabilitação e reforço térmico, como será apresentado no capítulo 7.

6.6.7. Análise diária – Período de inverno

O inverno, a estação mais fria das quatro estações do ano, registou temperaturas exteriores que variaram entre os 3°C e os 21°C. Os registos apresentados para comentar foram escolhidos por serem representativos deste período.

Nas figuras 67, 69, 71 e 73, são apresentados os resultados dos dias 31 de dezembro, 7 de janeiro, 17 de fevereiro e 2 de março, respetivamente, correspondentes aos registos de temperaturas interior e exterior e à radiação global em função do tempo, enquanto nas figuras 68, 70, 72 e 74 são apresentados os registos de humidade relativa interior e exterior em função do tempo para os mesmos dias.

Para melhor compreensão e análise dos resultados obtidos, compilaram-se nas tabelas 12, 13, 14 e 15 todos os valores considerados mais relevantes para a análise do comportamento térmico da casa A, nos respetivos dias representativos de registo para o período de inverno.

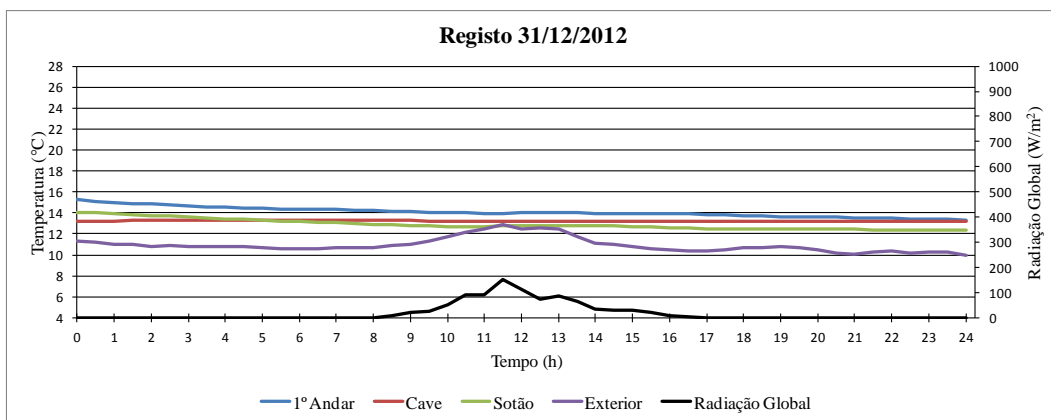


Figura 67 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 31 de dezembro de 2012

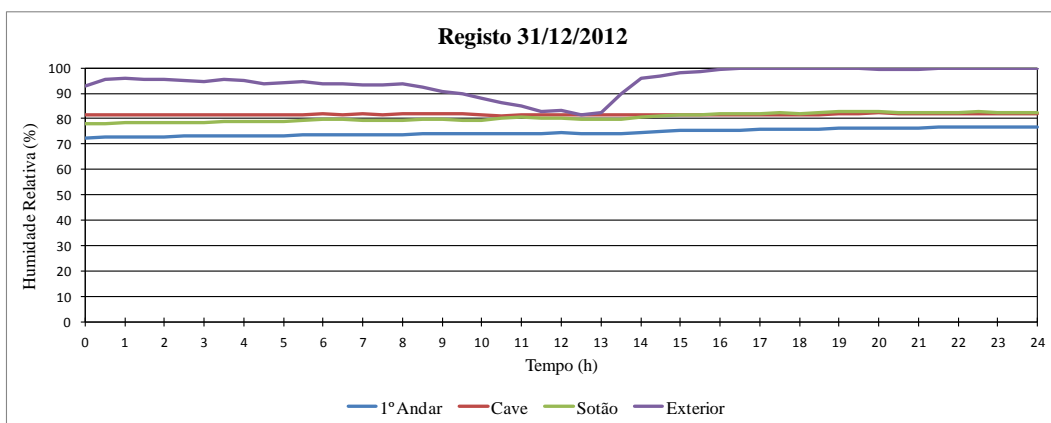


Figura 68 - Humidade relativa interior e exterior no dia 31 de dezembro de 2012

Tabela 12 - Resultados do registo no dia 31 de dezembro de 2012

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	12,87	10,07	99,90	81,60	-	-	53,18	2,75	S
Cave	13,30	13,20	82,60	81,20	Tint>Text	-			
1º Andar	15,30	13,40	76,80	72,50	Tint>Text	-			
Sótão	14,00	12,40	82,70	77,90	Tint>Text	-			

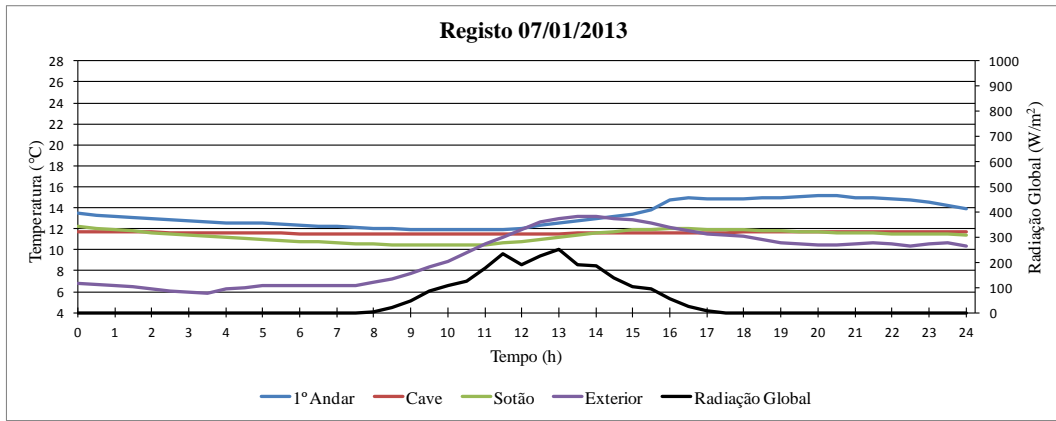


Figura 69 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 7 de janeiro de 2013

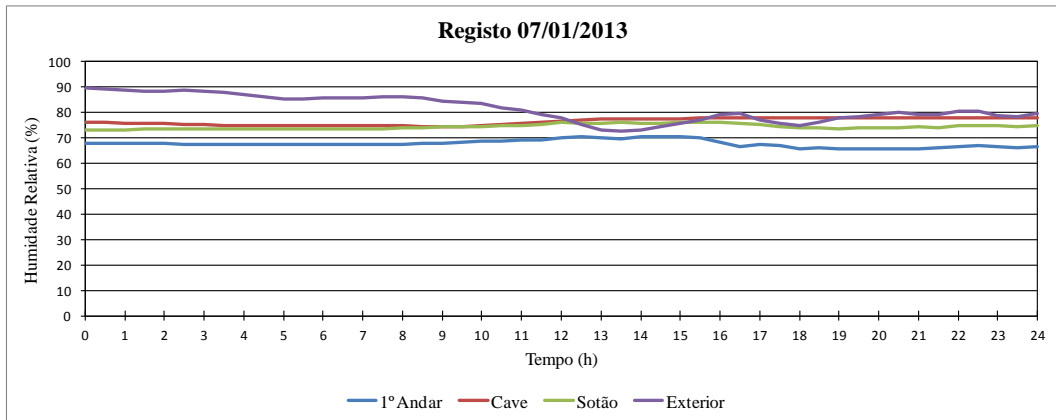


Figura 70 - Humidade relativa interior e exterior no dia 7 de janeiro de 2013

Tabela 13 - Resultados do registo no dia 7 de janeiro de 2013.

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	13,17	5,87	89,83	72,83	-	-	118,95	1,76	ESE
Cave	11,70	11,50	78,10	74,50	1,47	2h00m			
1º Andar	15,20	11,90	70,70	65,50	Tint>Text	-			
Sótão	12,20	10,50	76,30	73,00	1,17	3h30m			

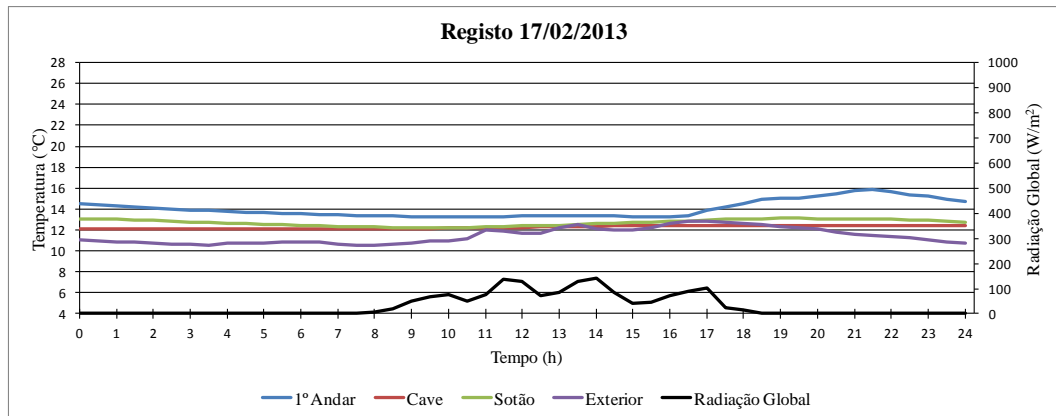


Figura 71 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 17 de fevereiro de 2013

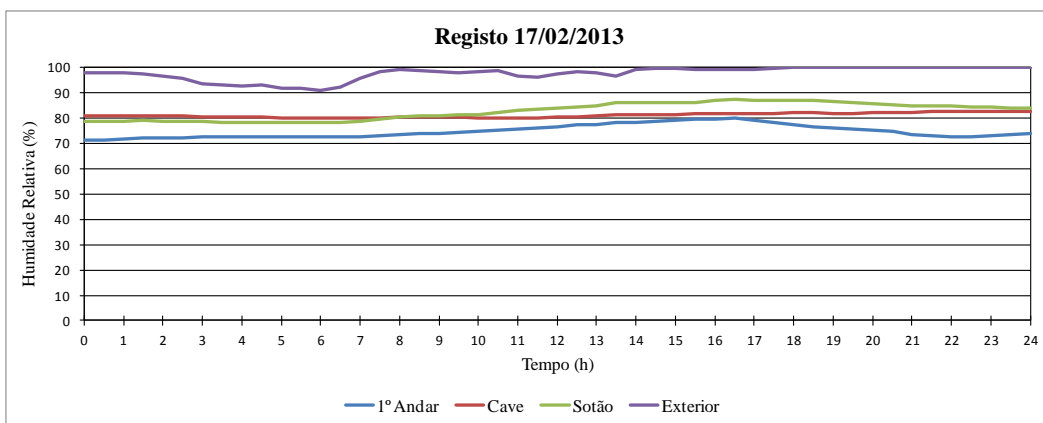


Figura 72 - Humidade relativa interior e exterior no dia 17 de fevereiro de 2013

Tabela 14 - Resultados do registo no dia 17 de fevereiro de 2013

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	12,83	10,50	99,90	91,10	-	-	71,67	3,08	ESE
Cave	12,40	12,10	82,80	80,00	0,43	-			
1º Andar	15,90	13,30	80,20	71,10	Tint>Text	-			
Sótão	13,20	12,20	87,40	78,20	Tint>Text	-			

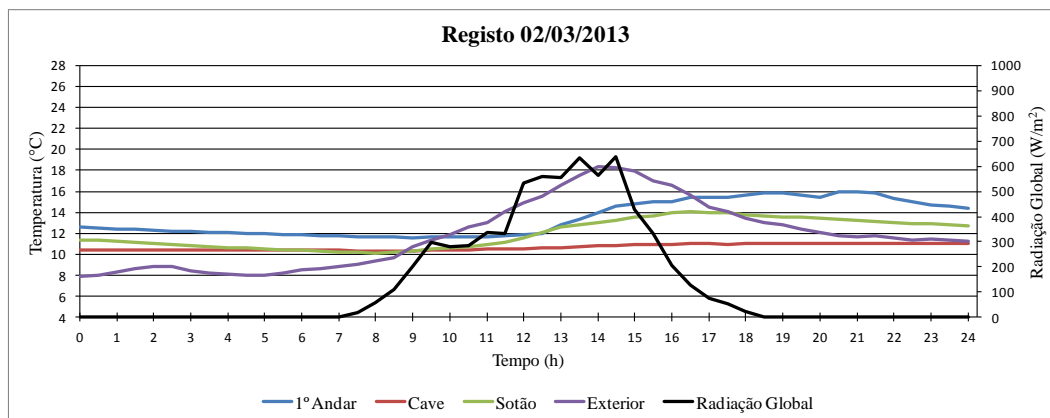


Figura 73 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global e radiação global no dia 2 de março de 2013

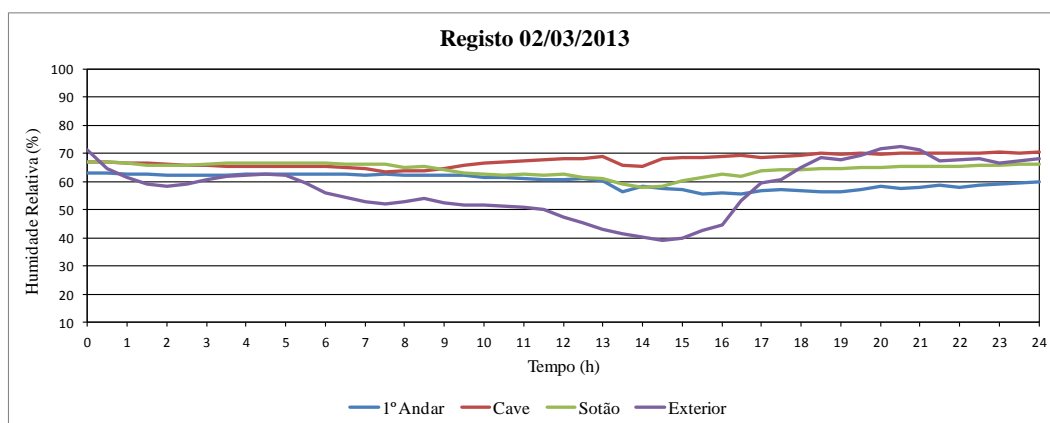


Figura 74 - Humidade relativa interior e exterior no dia 2 de março de 2013

Tabela 15 - Resultados do registo no dia 2 de março de 2013

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	18,40	7,93	72,43	39,07	-	-	276,88	1,80	ENE
Cave	11,00	10,30	70,40	63,50	7,4	2h30m			
1º Andar	16,00	11,60	63,00	55,50	2,4	-			
Sótão	14,10	10,10	67,00	57,90	4,3	2h30m			

No período de inverno, foram registadas temperaturas exteriores baixas (ver figura 69) mas sempre superiores a 0°C, sendo que, também, existiram dias com temperaturas amenas (ver figura 67 e 71) na ordem dos 11°C. Na figura 73, são apresentados registos de um dia atípico para esta estação, com valores de temperatura próximos dos 19°C.

O 1º andar regista valores de temperatura superiores relativamente aos restantes andares. Este facto deve-se à existência de um sistema de aquecimento (lareira) no compartimento onde se encontra o sensor do 1º andar. É de realçar a importância deste sistema para a manutenção do conforto térmico.

Embora a cave seja mais fria que o sótão, existem dias em que as temperaturas destes andares são muito próximas (ver figura 71).

A humidade relativa exterior apresenta valores muito elevados (ver figura 71), evidenciando dias de maior precipitação. A humidade relativa no interior é superior a 50% em todo o período.

6.6.8. Previsão de arrefecimento – Período de inverno

Os registos de temperaturas interiores apresentam-se para todo o período de inverno abaixo dos 20°C, como se apresenta na figura 75.

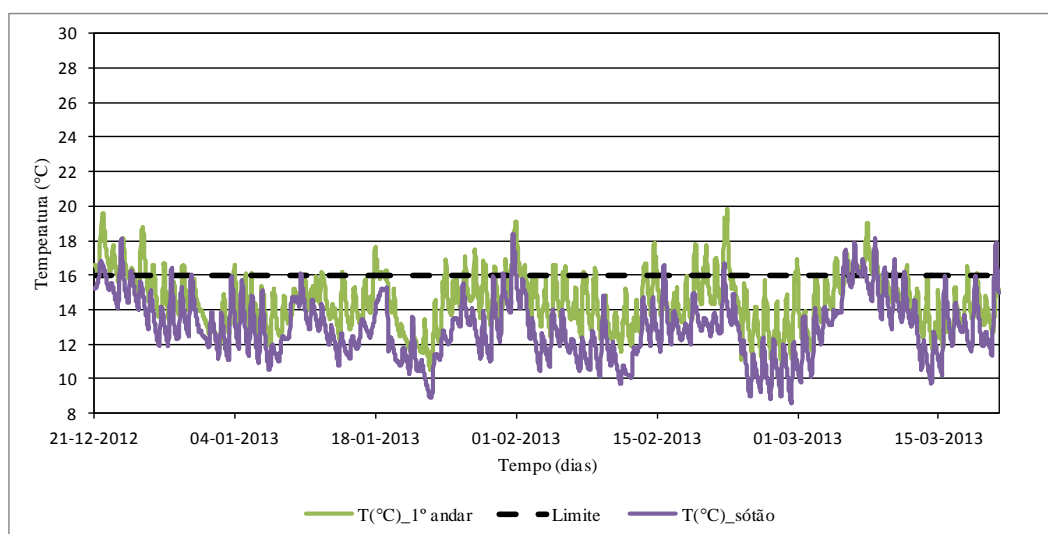


Figura 75 - Registo de temperatura para o período de inverno, no 1º andar (sala) e sótão, com indicação do limite de desconforto térmico

Como é possível observar na figura 75, as temperaturas são inferiores a 16°C, no 1º andar e sótão, em 81,9% e 94,1% do tempo para o período monitorizado, respetivamente. As temperaturas médias foram 14,5°C e 12,3°C, para o 1º andar e sótão, respetivamente.

6.6.9. Análise do conforto térmico segundo a EN 15 251 – Período de inverno

A figura 76, com base na norma EN 15 251 [5], apresenta uma relação entre a temperatura exterior e a temperatura interior e os respetivos limites de conforto considerados por esta norma. Recordar-se que a temperatura interior usada para aplicação desta norma foi a média das temperaturas interiores registadas pelos sensores.

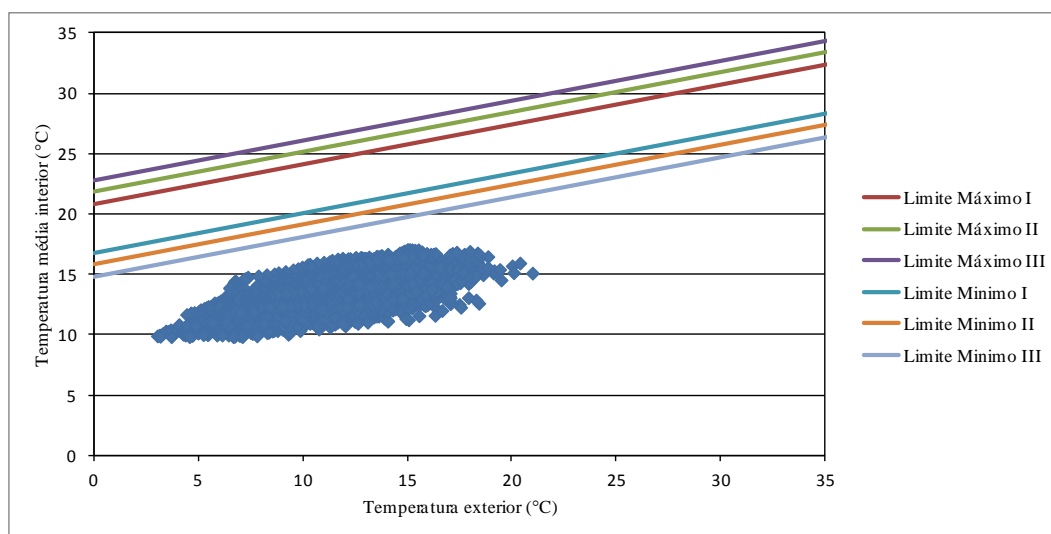


Figura 76 - Relação entre a temperatura média interior e exterior e limites especificados na norma Europeia EN 15 251 [5]

Como seria expectável, pelos dados obtidos para as estações de verão e outono, no período de inverno a amostra em estudo apresenta todos os valores fora da gama de valores especificada na norma. Mais uma vez, se verifica que as medidas de aquecimento implementadas e o controlo das perdas térmicas pela envolvente na casa A não são as suficientes, segundo os limites especificados pela norma.

6.6.10. Análise diária – Período de primavera

Marcando a primavera a transição entre o inverno e o verão, verifica-se neste período uma subida gradual das temperaturas. Mais uma vez, os registos apresentados para comentar foram escolhidos por serem representativos deste período.

Nas figuras 78, 80, 82 e 84, são apresentados os resultados dos dias 25 de março, 24 de abril, 7 de maio e 29 de maio, respetivamente, correspondentes aos registos de temperaturas interiores e exteriores e à radiação global em função do tempo, enquanto, nas figuras 79, 81, 83 e 85 são

apresentados os registos de humidade relativa interior e exterior em função do tempo para os mesmos dias.

Para melhor compreensão e análise dos resultados obtidos, compilaram-se nas tabelas 16, 17, 18 e 19 todos os valores considerados mais relevantes para a análise do comportamento térmico da casa A, nos respetivos dias representativos de registo para o período de primavera.

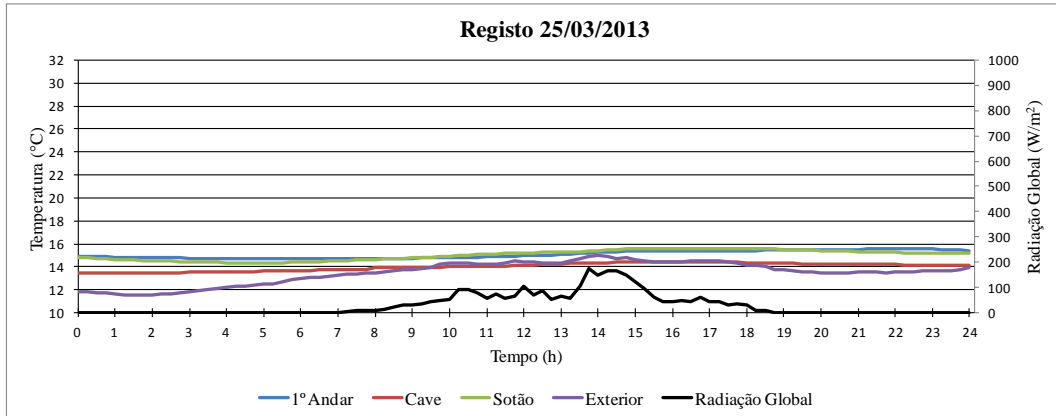


Figura 77 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global e radiação global no dia 25 de março de 2013

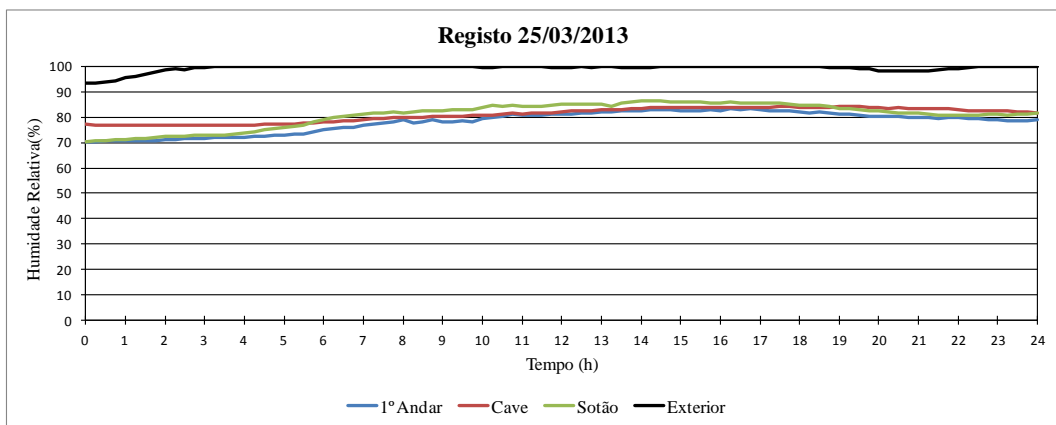


Figura 78 - Humidade relativa interior e exterior no dia 25 de março de 2013

Tabela 16 - Resultados do registo no dia 25 de março de 2013.

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	15,00	11,50	99,90	93,30	-	-	61,94	5,48	SSO
Cave	14,40	13,50	84,30	76,60	0,6	0h30m			
1º Andar	15,60	14,70	83,30	70,30	Tint>Text	-			
Sótão	15,60	14,30	86,60	70,30	Tint>Text	-			

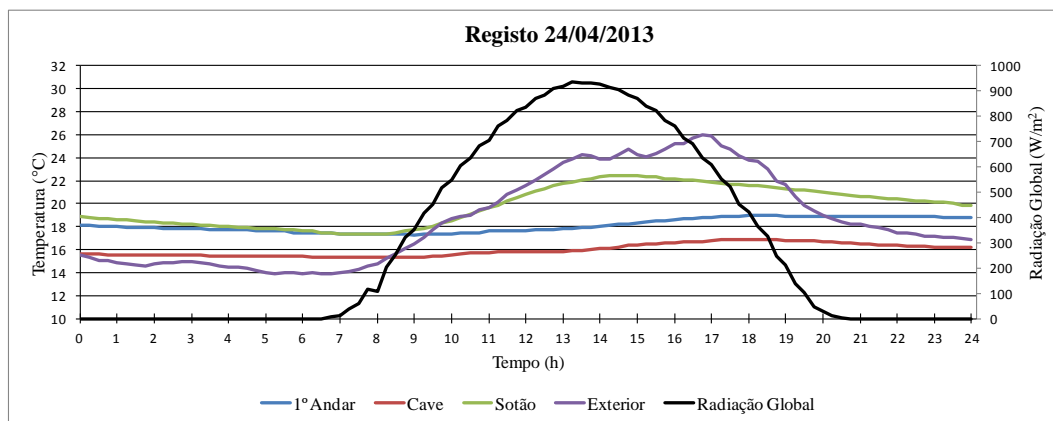


Figura 79 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global e radiação global no dia 24 de abril de 2013

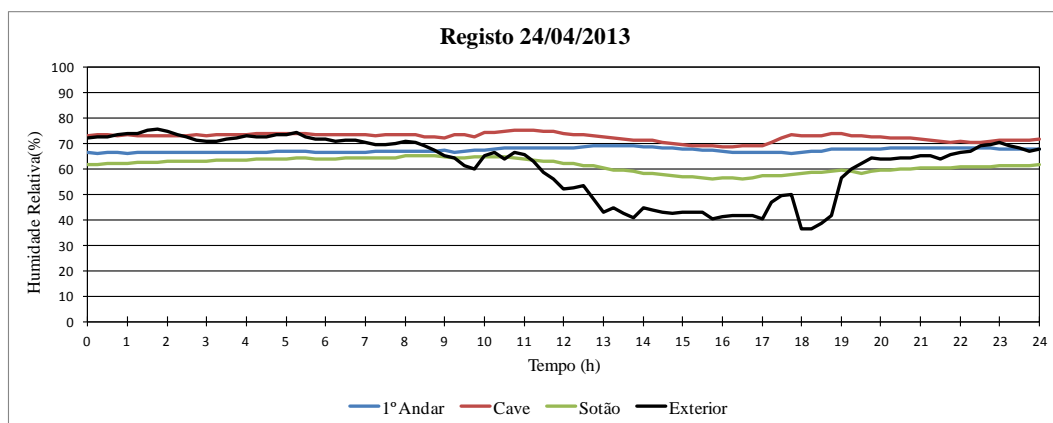


Figura 80 - Humidade relativa interior e exterior no dia 24 de abril de 2013

Tabela 17 - Resultados do registo no dia 24 de abril de 2013

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	26,60	13,90	75,60	36,40	-	-	525,39	1,69	NO
Cave	16,90	12,30	75,40	68,70	9,10	1h30m			
1º Andar	19,00	17,30	69,00	66,30	7,00	1h00m			
Sótão	22,40	17,40	65,20	56,10	3,60	-			

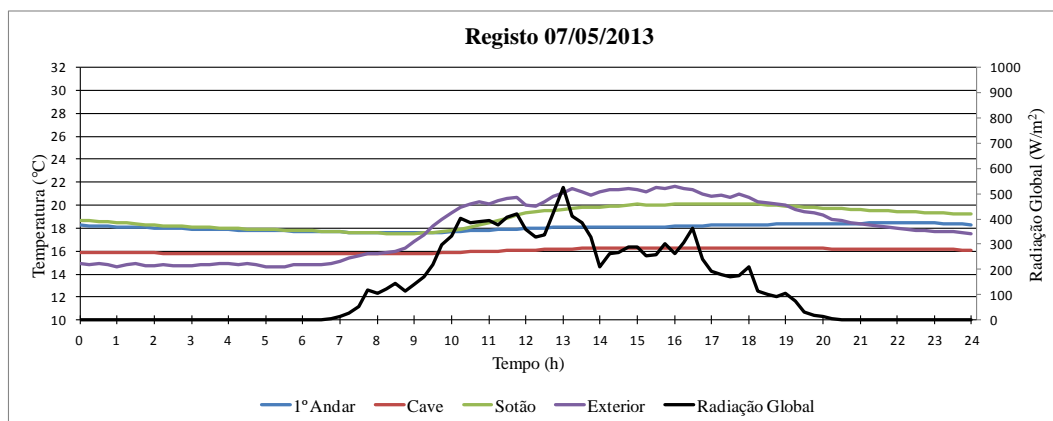


Figura 81 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global e radiação global no dia 7 de maio de 2013

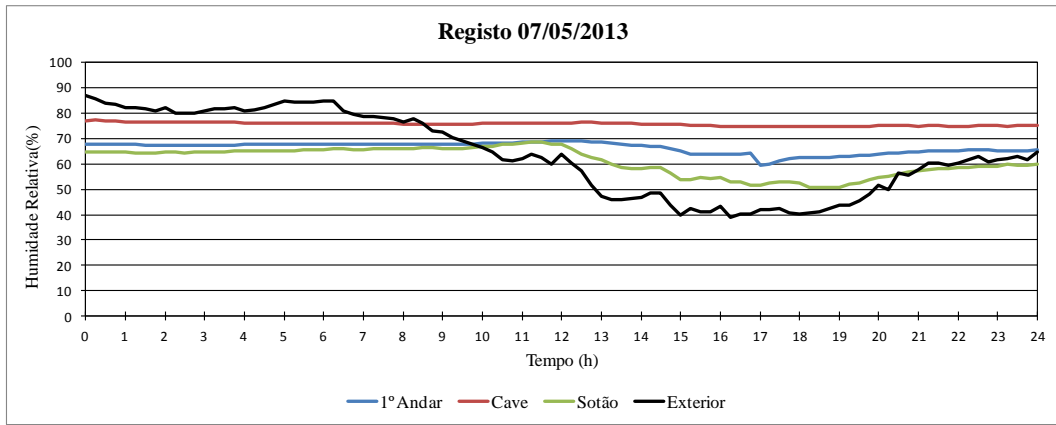


Figura 82 - Humidade relativa interior e exterior no dia 7 de maio de 2013.

Tabela 18 - Resultados do registo no dia 7 de maio de 2013

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	21,60	14,60	86,90	38,90	-	-	227,80	2,06	ESE
Cave	16,30	15,80	77,10	74,50	5,3	-			
1º Andar	18,50	17,60	69,20	59,40	3,1	5h30m			
Sótão	20,10	17,50	68,70	50,50	1,5	-			

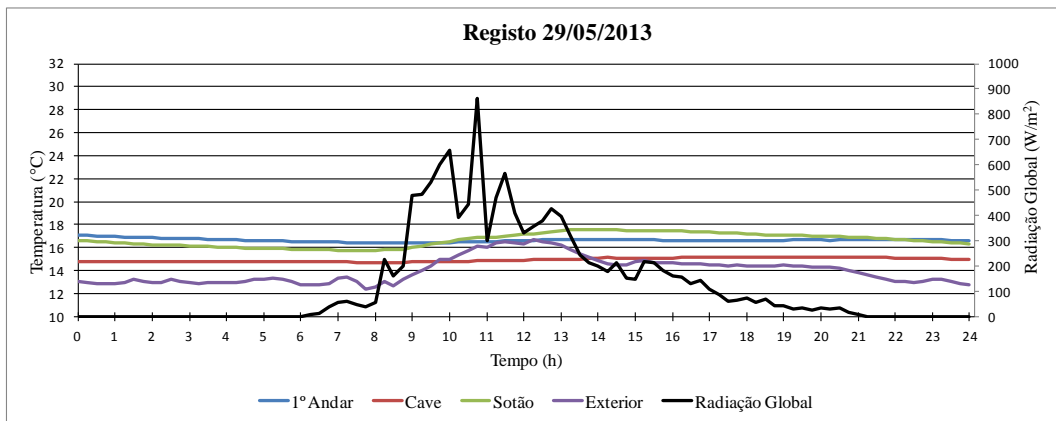


Figura 83 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global e radiação global no dia 29 de maio de 2013

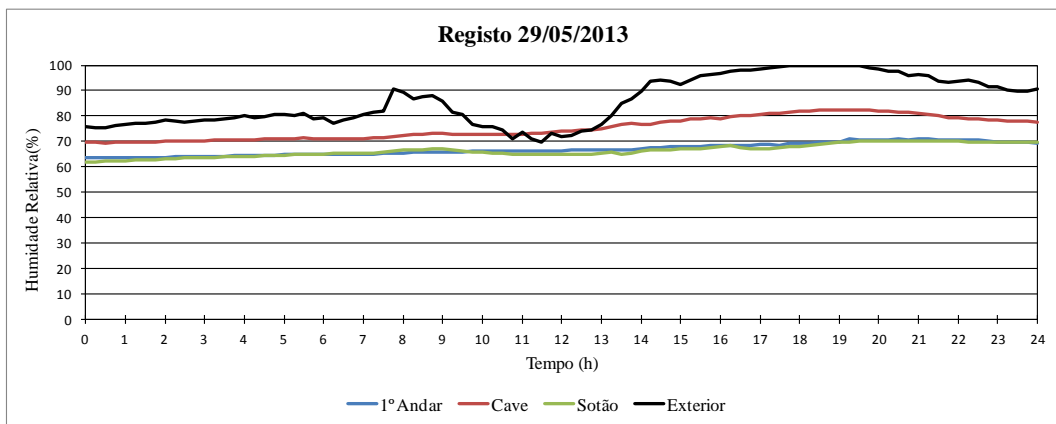


Figura 84 - Humidade relativa interior e exterior no dia 29 de maio de 2013

Tabela 19 - Resultados do registo no dia 29 de maio de 2013

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	16,70	12,40	99,90	69,60	-	-	211,07	4,34	NO
Cave	15,20	14,70	82,40	69,40	1,5	-			
1º Andar	17,10	16,40	71,00	63,40	Tint>Text	-			
Sótão	17,60	15,70	70,30	61,80	Tint>Text	-			

No período de primavera, existiu alguma alternância entre dias mais frios (figura 77 e 82), registando-se valores de temperatura interior aproximadamente entre os 13°C e os 17°C, e dias mais amenos (ver figuras 79 e 81), em que foram registados valores de temperatura entre os 16° e os 23°C, aproximadamente.

O 1º andar regista, na generalidade, valores de temperatura constantes, tal como a cave, sendo que esta última apresenta comparativamente um diferencial de temperatura sensivelmente de 2°C mais baixo. O sótão é que apresenta mais variações nos valores da temperatura, acompanhando estes aproximadamente o comportamento dos valores registados da temperatura exterior.

Neste período, foram registados alguns dias de grande intensidade de precipitação, com valores máximos de humidade relativa exterior de 99,9%. É exemplo o dia 25 de março (ver figura 79). No interior a humidade relativa regista ao longo de todo o período de primavera valores superiores a 50% (ver figuras 80, 82, 84 e 86).

6.6.11. Previsão de arrefecimento – Período de primavera

No período de primavera, foi avaliado o arrefecimento, para os registos de temperaturas interiores apresentados para todo o período de Primavera, como se apresenta na figura 85.

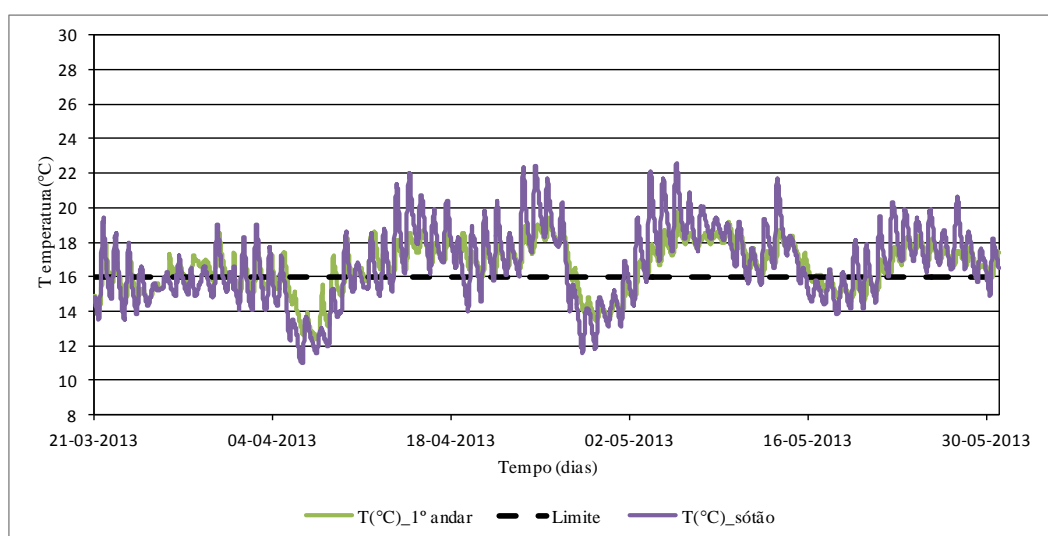


Figura 85 - Registo de temperatura para o período de primavera, no 1º andar (sala) e sótão, com indicação do limite de desconforto térmico

As temperaturas são inferiores a 16°C, no 1º andar e sótão, em 31,2% e 38,6% do tempo neste período, respetivamente. As temperaturas médias foram 16,5°C e 16,7°C, para o 1º andar e sótão, respetivamente.

6.6.12. Análise do conforto térmico segundo a EN 15 251 – Período de primavera

A figura 86, com base na norma EN 15 251 [5], apresenta uma relação entre a temperatura exterior e a temperatura interior e os respetivos limites de conforto considerados por esta norma.

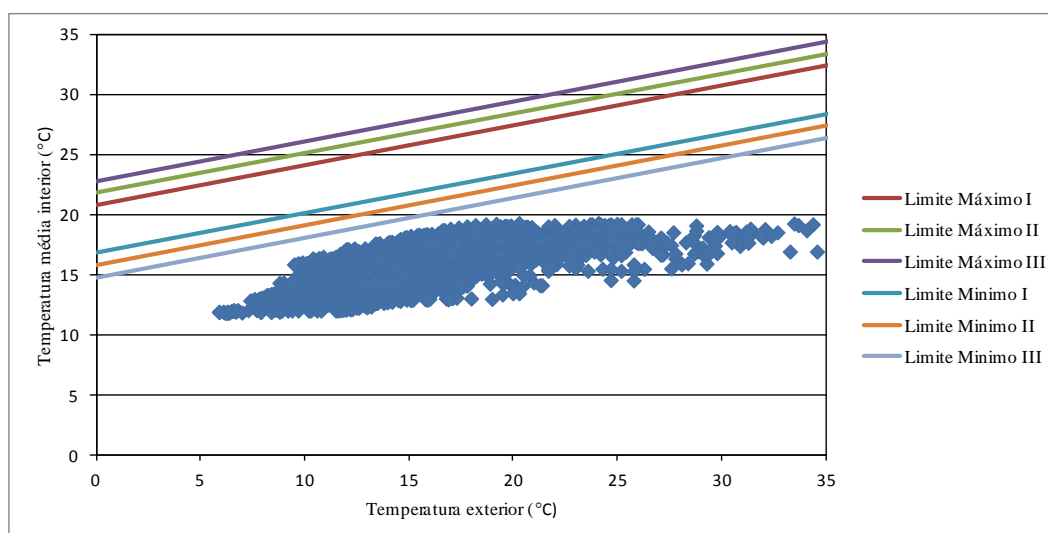


Figura 86 - Relação entre a temperatura média interior e exterior e limites especificados na norma Europeia EN 15 251 [5]

A amostra em estudo apresenta todos os valores fora da gama de valores especificada na norma. Mais uma vez se verifica que as medidas de aquecimento implementadas e controlo das perdas térmicas pela envolvente na casa A não são as suficientes segundo os limites especificados pela norma, sendo apresentadas no capítulo 7 algumas soluções de reabilitação térmica.

6.6.13. Síntese Geral – Casa A

Após a análise das temperaturas do ar e humidades relativas interior e exterior registadas durante aproximadamente um ano, podem-se retirar algumas conclusões. A casa A apresenta um melhor comportamento no verão em relação às outras estações do ano, tirando partido da inércia térmica das paredes maciças e espessas de adobe, embora, mesmo assim, a mancha de registo não esteja toda contida nos limites apresentados pela EN 15 251 [5]. Nesta casa já estão implementados alguns hábitos de melhoria do ambiente térmico interior, nomeadamente a ventilação regular e o aquecimento do espaço do 1º piso durante os períodos mais frios. No entanto, estas ainda não são as medidas

suficientes para que sejam cumpridos os requisitos impostos pela norma, pois esta casa é dotada de envidraçados com elevada permeabilidade ao ar não prepositada, comprometendo a eficácia do isolamento na cobertura.

Nesta casa foram verificados grandes fatores de atraso e amortecimentos consideráveis entre as temperaturas máximas exteriores e interiores na cave e no 1º andar, principalmente no verão.

6.7. Resultados da Casa B

À semelhança do que foi feito para a casa A, neste subcapítulo são apresentados e discutidos os resultados em diferentes níveis de análise. Primeiramente, é feita a análise diária de alguns dias representativos, sendo que estes foram escolhidos por melhor explicarem o comportamento higrotérmico desta casa para cada período referenciado. De seguida, é feita a previsão de sobreaquecimento para o período de registos de verão, definindo a percentagem de tempo em que as temperaturas interiores são superiores a 25°C. Para os restantes períodos, e visto que não faz sentido a avaliação de sobreaquecimento, é feita uma avaliação do arrefecimento, ou seja, verificar qual a percentagem de tempo em que o ambiente interior se encontrar a uma temperatura inferior a 16°C. A análise do conforto térmico é feita usando o modelo adaptativo segundo a EN 15 251 [5]. Para finalizar, apresenta-se uma síntese geral contendo as conclusões mais relevantes para os quatros períodos em análise (verão, outono, inverno e primavera).

6.7.1. Análise diária – Período de verão

No que diz respeito ao período de verão, esta casa apresenta um comportamento muito constante sendo que os resultados comentados ao longo deste subcapítulo são representativos deste período.

Nas figuras 87, 89, 91 e 93, são apresentados os resultados para os dias 26 de julho, 8 de agosto, 18 de agosto e 6 de setembro, respetivamente, correspondentes aos registos de temperaturas (°C) interiores e exteriores da casa em estudo e da radiação global, ambas em função de tempo. Nas figuras 88, 90, 92 e 94 são apresentados os registos da humidade relativa interior e exterior em função do tempo.

Compilaram-se nas tabelas 20, 21, 22 e 23 os valores, correspondentes aos respetivos dias de registo, considerados mais importantes para análise do comportamento térmico da casa B.

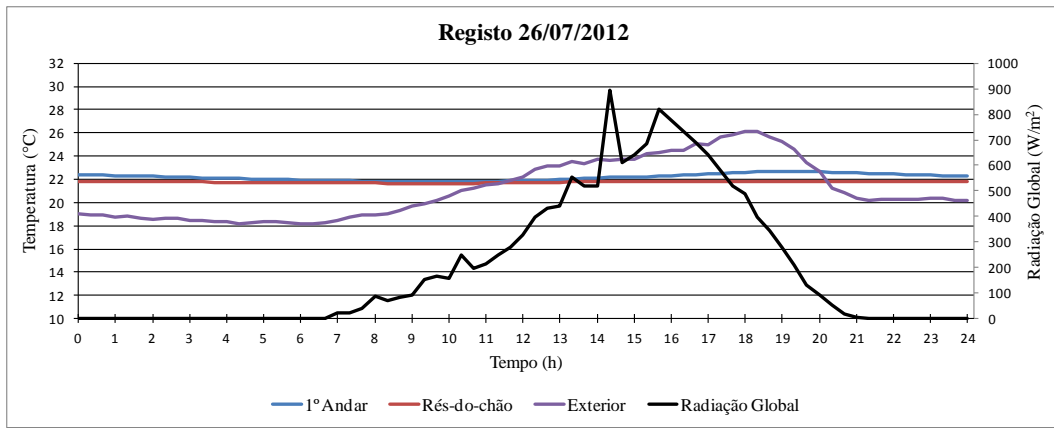


Figura 87 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 26 de julho de 2012

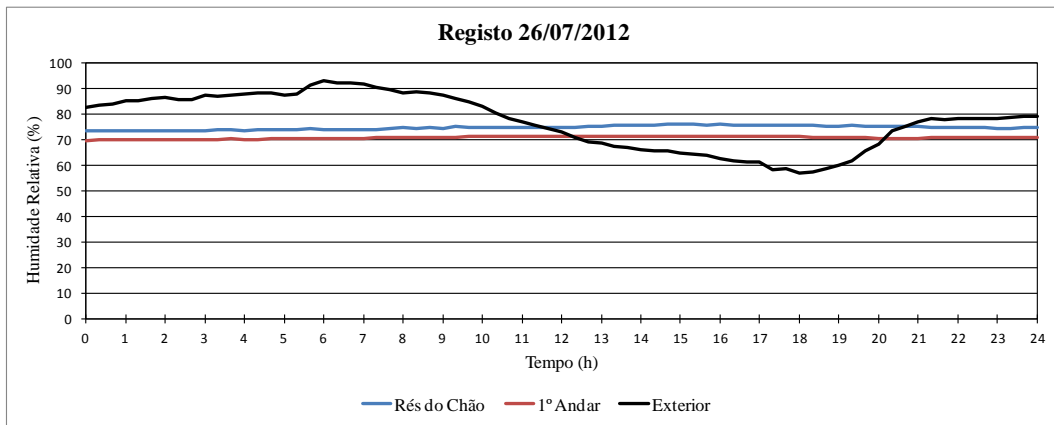


Figura 88 - Humidade relativa interior e exterior no dia 26 de julho de 2012

Tabela 20 - Resultados do registo no dia 26 de julho de 2012

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	26,17	18,13	93,10	57,10	-	-	338,16	1,39	WNW
Rés-do-Chão	21,80	21,60	76,30	73,40	4,37	-			
1º Andar	22,70	21,80	71,60	69,80	3,47	0h20m			

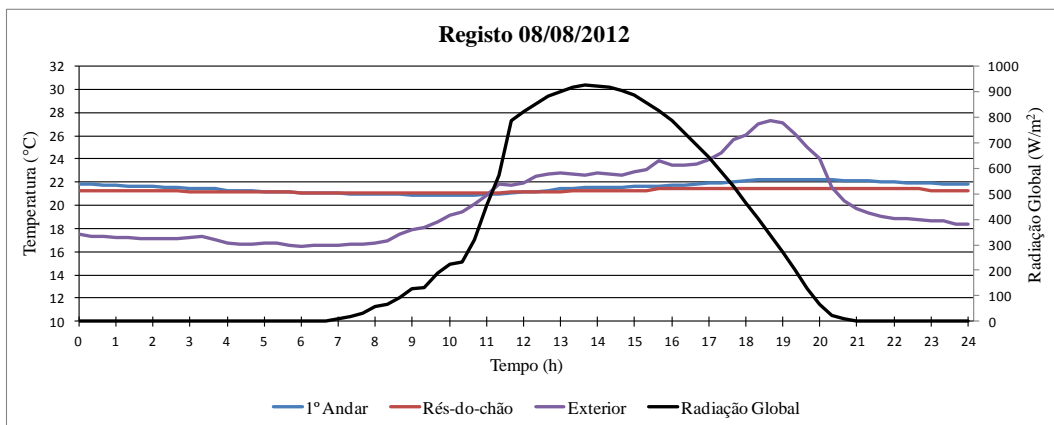


Figura 89 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 8 de agosto de 2012

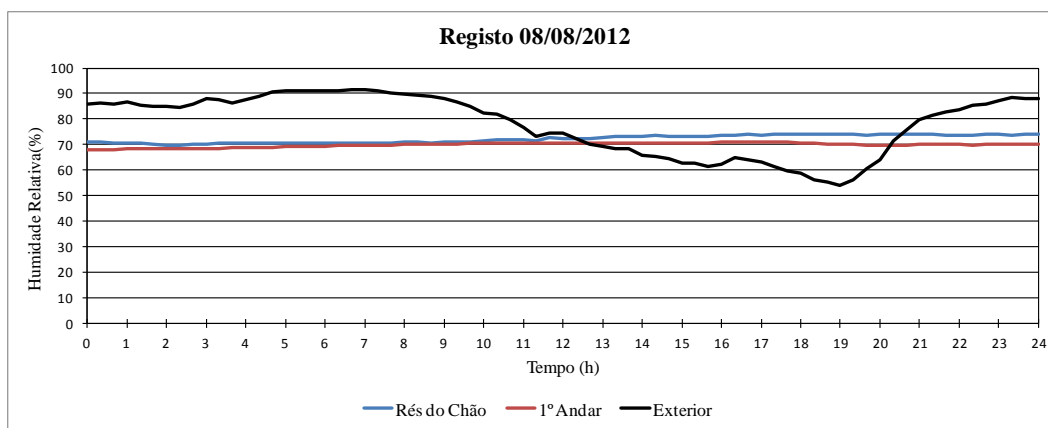


Figura 90 - Humidade relativa interior e exterior no dia 8 de agosto de 2012

Tabela 21 - Resultados do registo no dia 8 de agosto de 2012

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	27,33	16,50	91,70	54,10	-	-	471,64	1,52	NNW
Rés-do-Chão	21,40	21,10	74,20	69,90	5,93	-			
1º Andar	22,20	20,90	71,00	68,00	5,13	-			

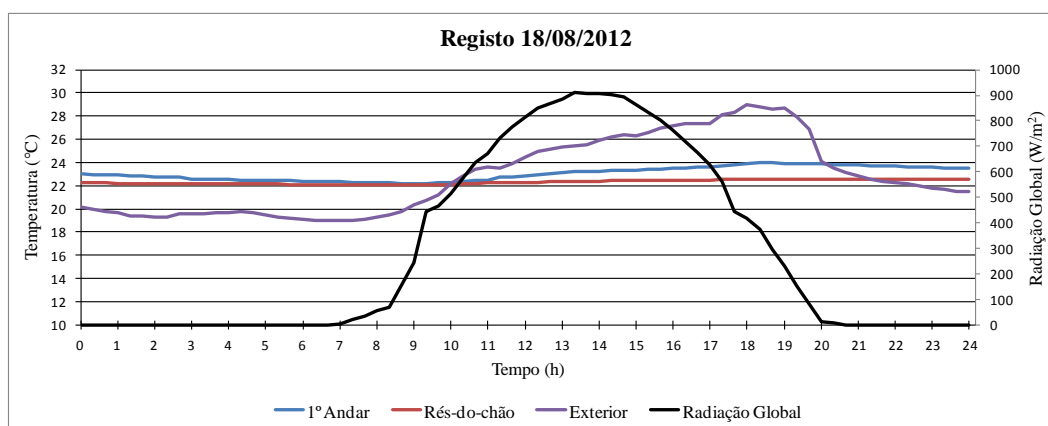


Figura 91 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 18 de agosto de 2012

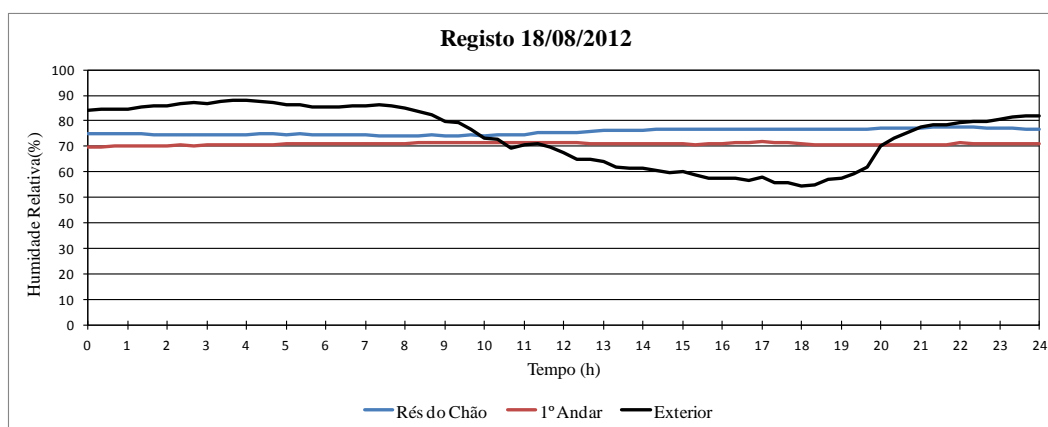


Figura 92 - Humidade relativa interior e exterior no dia 18 de agosto de 2012

Tabela 22 - Resultados do registo no dia 18 de agosto de 2012

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	29,00	18,97	87,97	54,30	-	-	517,05	1,40	ESE
Rés-do-Chão	22,60	22,10	77,40	74,00	6,40	-			
1º Andar	24,00	22,20	71,70	69,90	5,00	0h20m			

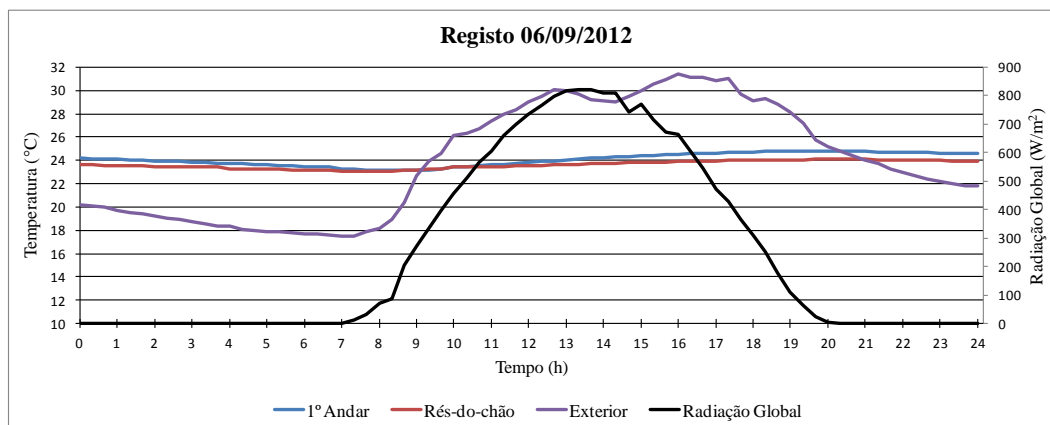


Figura 93 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 6 de setembro de 2012

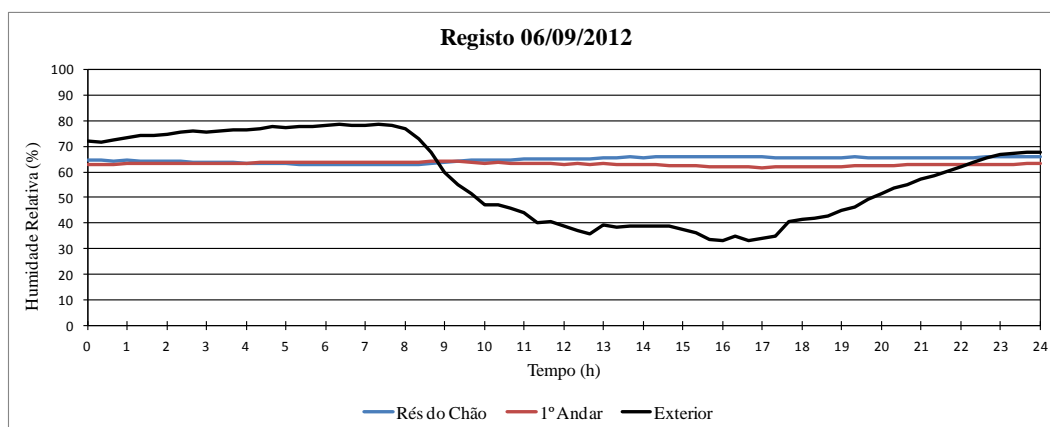


Figura 94 - Humidade relativa interior e exterior no dia 6 de setembro de 2012

Tabela 23 - Resultados do registo no dia 6 de setembro de 2012

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	31,37	17,50	78,53	33,30	-	-	466,79	1,30	NW
Rés-do-Chão	24,10	23,10	65,80	62,70	7,27	3h40m			
1º Andar	24,80	23,20	64,00	61,70	6,57	2h20m			

Os registos de temperatura interior apresentam um comportamento bastante linear, sendo que, quando a temperatura exterior é mais elevada, a temperatura interior apresenta valores mais elevados (ver figura 93).

A envolvente exterior é favorável à obtenção destes resultados, pois trata-se de uma zona arborizada. Os sensores interiores nesta moradia foram colocados nos diferentes pisos, sensivelmente no mesmo alinhamento. Em virtude desta instalação dos sensores, existe uma pequena estratificação da temperatura de cerca de 1°C (figura 89).

6.7.2. Previsão de sobreaquecimento – Período de verão

Neste subcapítulo são apresentados os registos de temperatura do rés-do-chão e do 1º andar, em função do tempo para o período convencionado neste estudo como a estação de verão (ver figura95). O sombreado apresenta o intervalo entre os 20°C e os 25°C , convencionado pelo RCCTE[6] como os valores de conforto de referência.

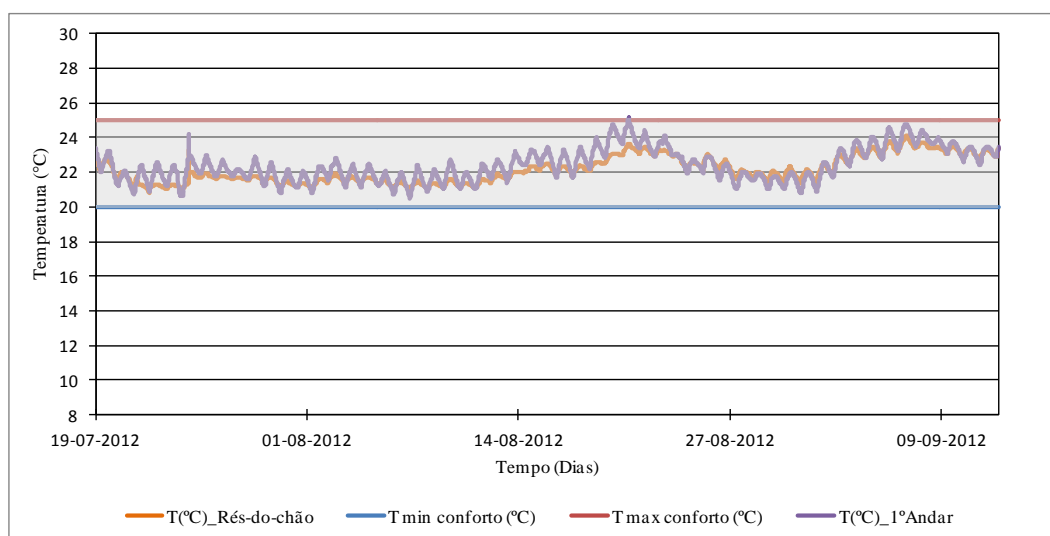


Figura 95 - Registo de temperatura para o período de verão, no rés-do-chão e 1º andar, com indicação dos limites de conforto térmico

O risco de sobreaquecimento para o período monitorizado pode ser considerado quase nulo, pois as temperaturas no rés-do-chão encontram-se sempre dentro das condições de conforto de referência e as temperaturas no 1º andar apenas excedem os 25°C em 0,2% do tempo neste período. As temperaturas médias foram $22,1^{\circ}\text{C}$ e $22,4^{\circ}\text{C}$ para o rés-do-chão e 1º andar, respetivamente.

6.7.3. Análise do conforto térmico segundo a EN 15 251 – Período de verão

A figura 96, com base na norma EN 15 251 [5], apresenta uma relação entre a temperatura exterior e a temperatura interior e os respetivos limites de conforto considerados por esta norma.

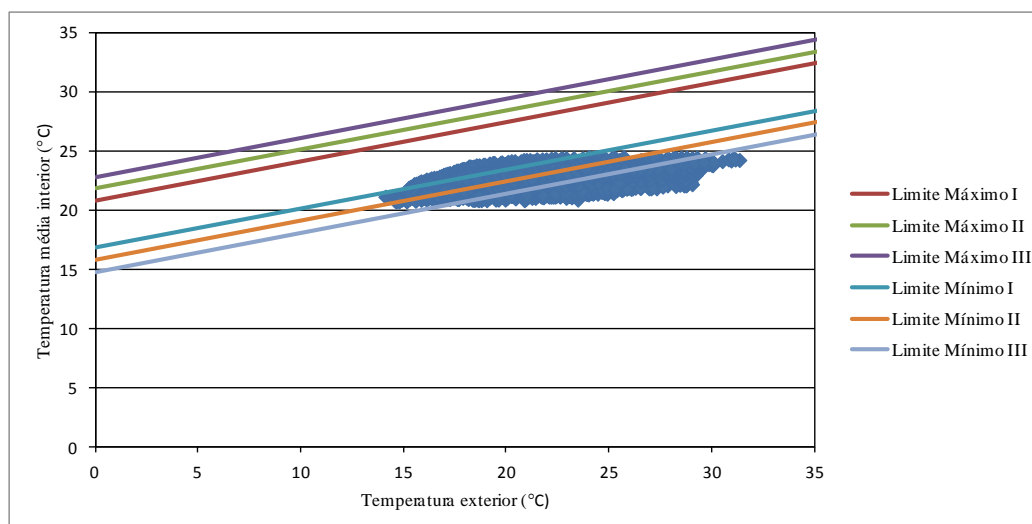


Figura 96 - Relação entre a temperatura média interior e exterior e limites especificados na norma Europeia EN 15 251 [5]

Na figura 96, é possível verificar que, para a amostra em estudo, existe um conjunto significativo de valores que ficam dentro da gama de valores especificada na norma.

6.7.4. Análise diária – Período de outono

Nas figuras 97, 99, 101 e 103, são apresentados os resultados dos dias 23 de outubro, 25 de novembro, 10 de dezembro e 17 de dezembro, respetivamente, correspondentes aos registos das temperaturas interiores e exterior e à radiação global em função do tempo. Para os mesmos dias representativos do período de outono, são apresentados, nas figuras 98, 100, 102 e 104, os registos de humidade relativa interior e exterior em função do tempo.

Nas tabelas 24, 25, 26 e 27, são condensados os valores considerados mais relevantes para a análise do comportamento térmico da casa B, nos respetivos dias do período de outono.

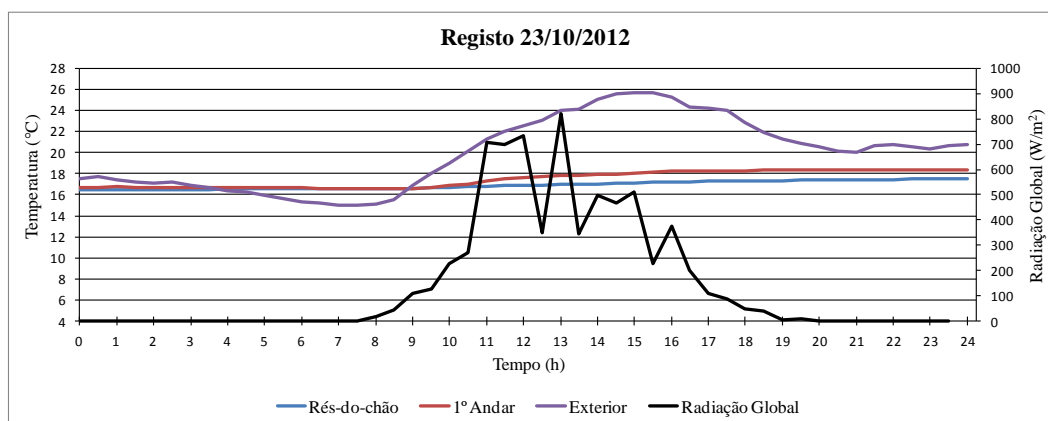


Figura 97 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 23 de outubro de 2012

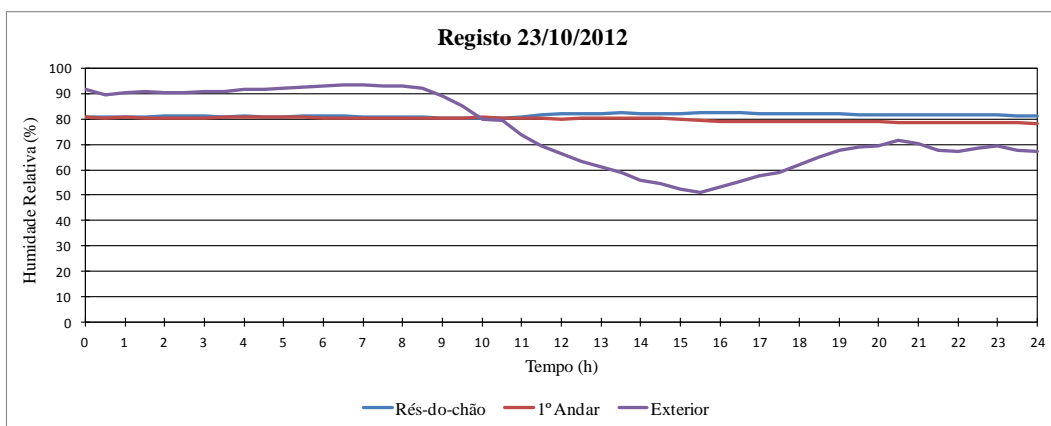


Figura 98 - Humidade relativa interior e exterior no dia 23 de outubro de 2012

Tabela 24 - Resultados do registo no dia 23 de outubro de 2012

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	25,67	14,97	93,37	57,30	-	-	281,68	5,42	SSW
Rés-do-Chão	17,50	16,50	82,50	80,40	8,17	1h30m			
1º Andar	18,40	16,60	80,80	74,80	7,27	3h00m			

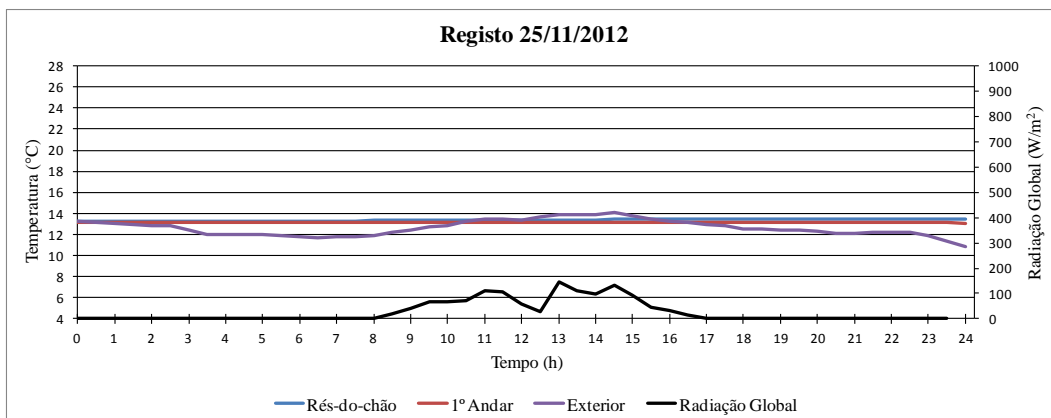


Figura 99 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 25 de novembro de 2012

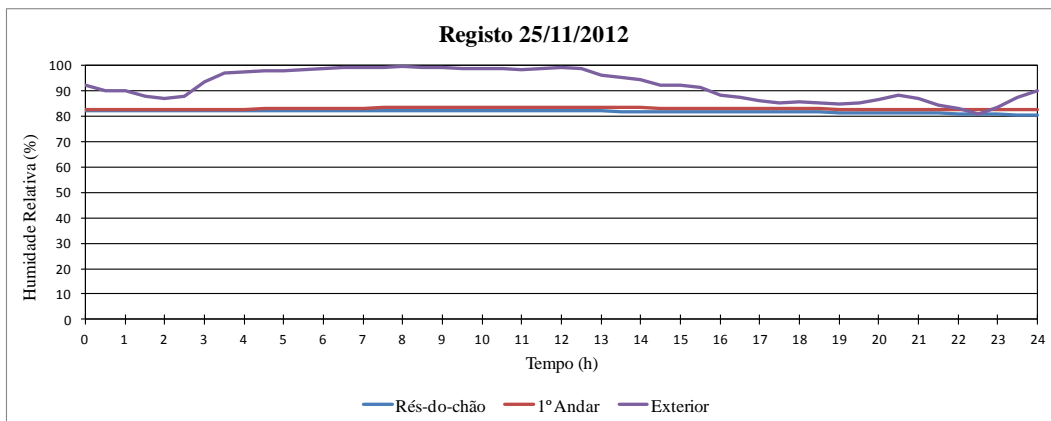


Figura 100 - Humidade relativa interior e exterior no dia 25 de novembro de 2012

Tabela 25 - Resultados do registo no dia 25 de novembro de 2012.

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	14,13	11,40	99,47	80,80	-	-	65,79	1,42	N
Rés-do-Chão	13,50	13,30	82,30	80,60	0,63	-			
1º Andar	13,20	13,10	83,50	82,50	0,93	-			

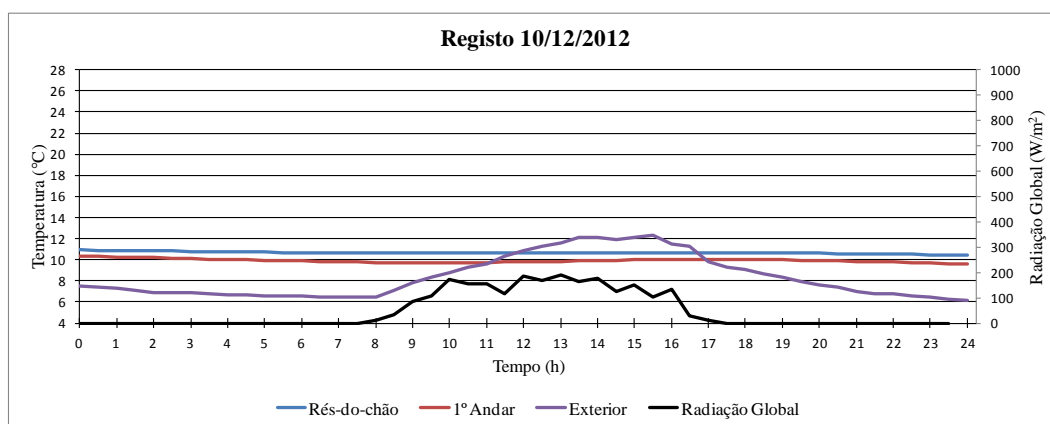


Figura 101 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 10 de dezembro de 2012

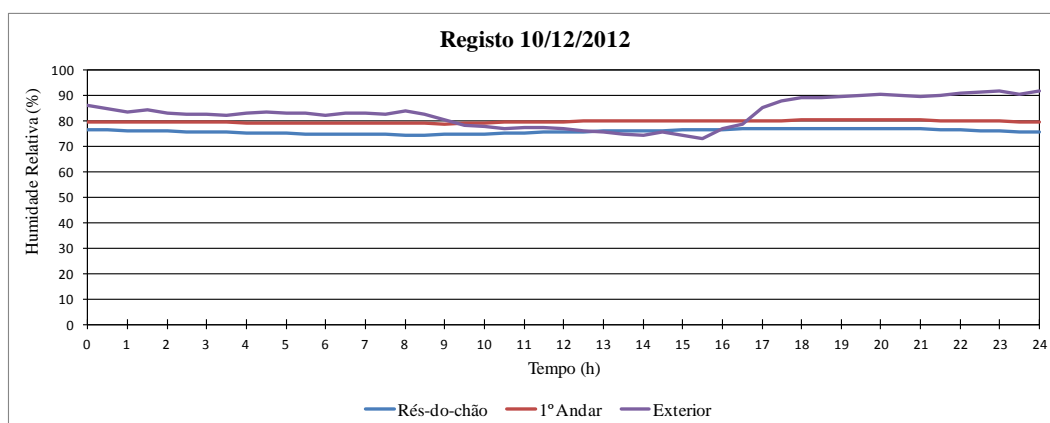


Figura 102 - Humidade relativa interior e exterior no dia 10 de dezembro de 2012

Tabela 26 - Resultados do registo no dia 10 de dezembro de 2012.

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	12,33	6,27	91,83	73,27	-	-	119,84	0,80	ESE
Rés-do-Chão	11,00	10,40	77,20	74,50	1,73	-			
1º Andar	10,30	9,60	80,40	78,90	2,33	-			

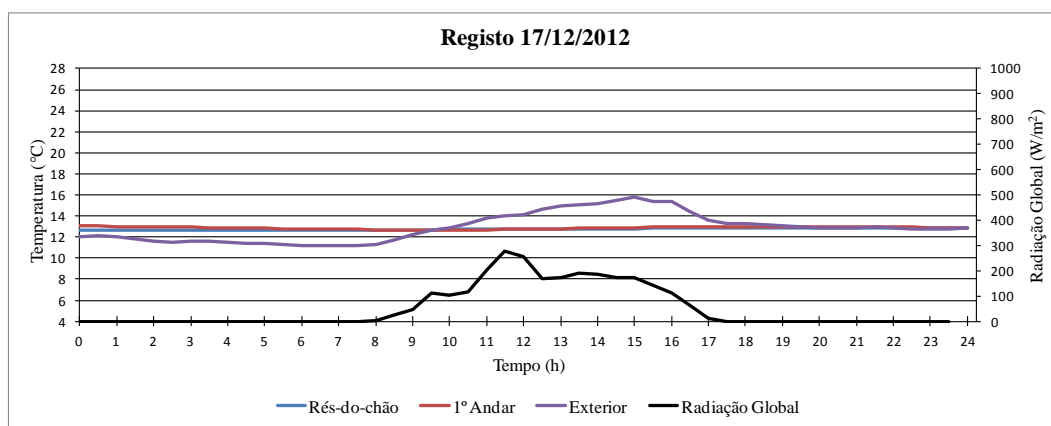


Figura 103 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 17 de dezembro de 2012

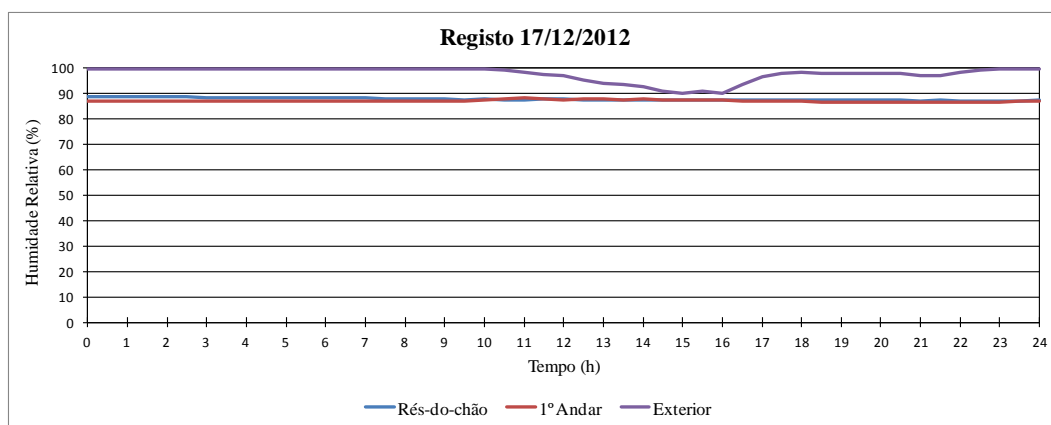


Figura 104 - Humidade relativa interior e exterior no dia 17 de dezembro de 2012

Tabela 27 - Resultados do registo no dia 17 de dezembro de 2012

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	15,77	11,17	99,90	90,03	-	-	133,47	0,97	SE
Rés-do-Chão	12,90	12,70	88,90	87,30	2,87	0h30m			
1º Andar	13,10	12,70	88,30	86,70	2,67	0h30m			

Os resultados apresentados caracterizam dias típicos de outono em que se verifica o progressivo abaixamento dos valores das temperaturas exteriores. Este fenómeno tem consequências nos valores de temperatura registados no interior da casa, tal como observável nos registos das figuras 97, 99, 101 e 103, apresentando valores de temperatura interior superiores a 16°C no dia 23 de outubro (figura 97) que descem até sensivelmente aos 12°C no dia 17 de dezembro (figura 103).

Através da observação dos registos pode verificar-se que os valores de temperatura dos dois sensores interiores apresentam um comportamento muito semelhante com um diferencial de temperatura entre si bastante pequeno, por vezes, inferior a 1°C. A humidade relativa registada para este período é bastante elevada, apresentando valores entre os 60% e os 96%, aproximadamente.

6.7.5. Previsão de arrefecimento – Período de outono

Neste subcapítulo são apresentados os registos de temperatura, do rés-do-chão e do 1º andar, em função do tempo para o período de outono (ver figura 105).

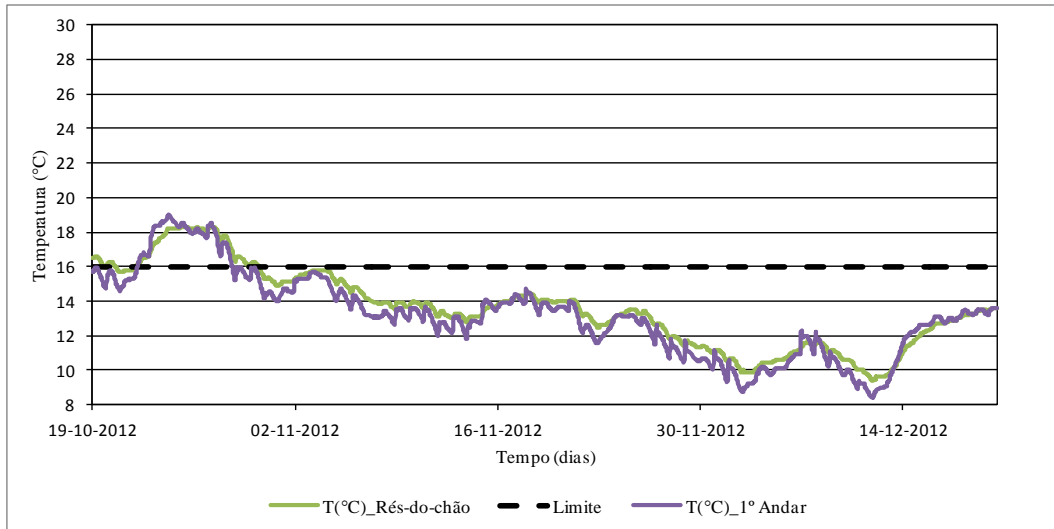


Figura 105 - Registo de temperatura para o período de outono, no rés-do-chão e 1º andar, com indicação do limite de desconforto térmico

Para o período em questão, foi avaliado o risco de arrefecimento, sendo as temperaturas interiores inferiores a 16°C em 84% e 89,5% do tempo, para o rés-do-chão e 1º andar, respetivamente. Os valores das temperaturas médias registadas foram 13,6°C e 13,2°C para o rés-do-chão e 1º andar, respetivamente.

6.7.6. Análise do conforto térmico segundo a EN 15 251 – Período de outono

A figura 106, com base na norma EN 15 251 [5], apresenta uma relação entre a temperatura exterior e a temperatura interior e os respetivos limites de conforto considerados pela mesma.

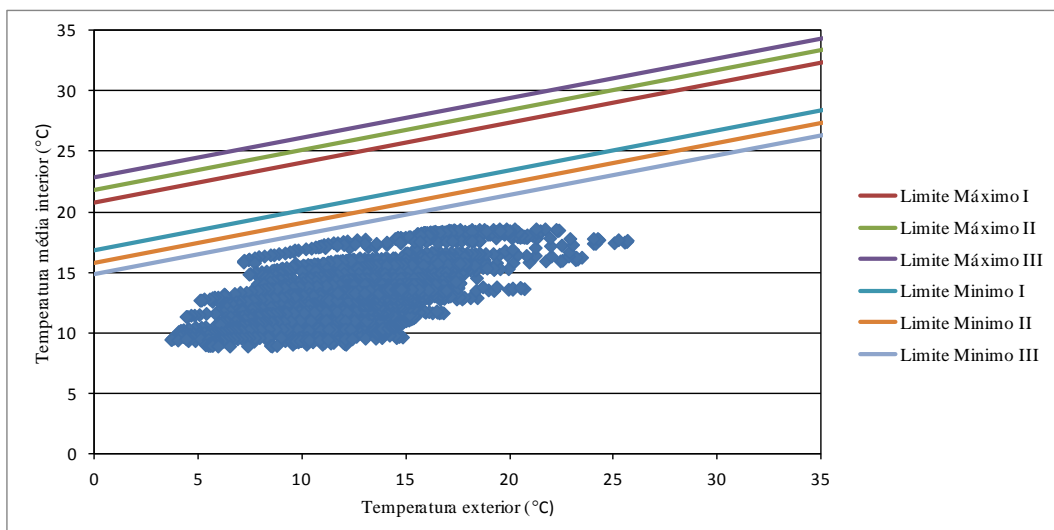


Figura 106 - Relação entre a temperatura média interior e exterior e limites especificados na norma Europeia EN 15 251 [5]

Como se verifica pela figura 106, todos os valores encontram-se fora dos limites definidos pela norma. É de realçar apenas que esta casa esteve desocupada durante este período não tendo, por isso, sido promovidas quaisquer ações de aquecimento ou ventilação do espaço, o que poderá, em parte, justificar os registos obtidos.

6.7.7. Análise diária – Período de inverno

Nas figuras 107, 109, 111 e 113, são apresentados os resultados dos dias 31 de dezembro, 7 de janeiro, 17 de fevereiro e 2 de março, respetivamente, correspondentes aos registos de temperaturas interiores e exterior e à radiação global em função do tempo, enquanto nas figuras 108, 110, 112 e 114 são apresentados os registos de humidade relativa interior e exterior em função do tempo para os mesmos dias.

Nas tabelas 28,29,30 e 31, compilaram-se todos os valores considerados mais relevantes para a análise do comportamento térmico na casa B, nos respetivos dias representativos de registo para o período de inverno.

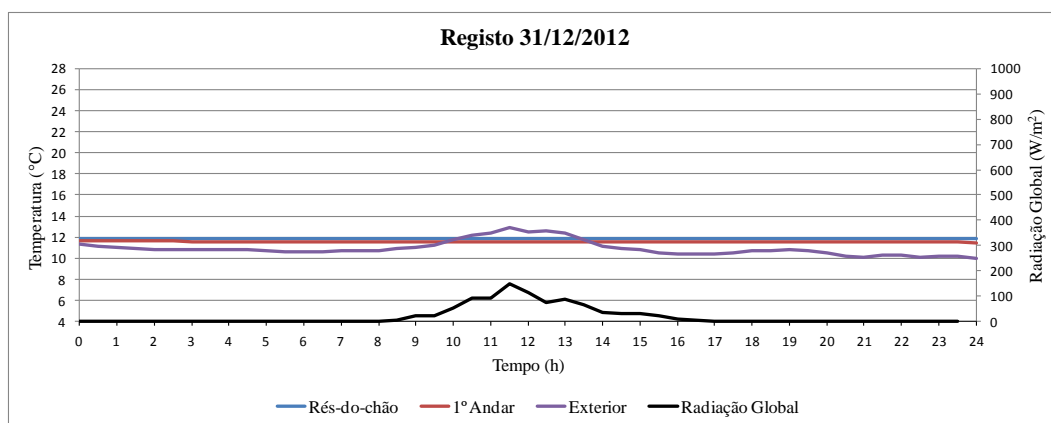


Figura 107 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 31 de dezembro de 2012

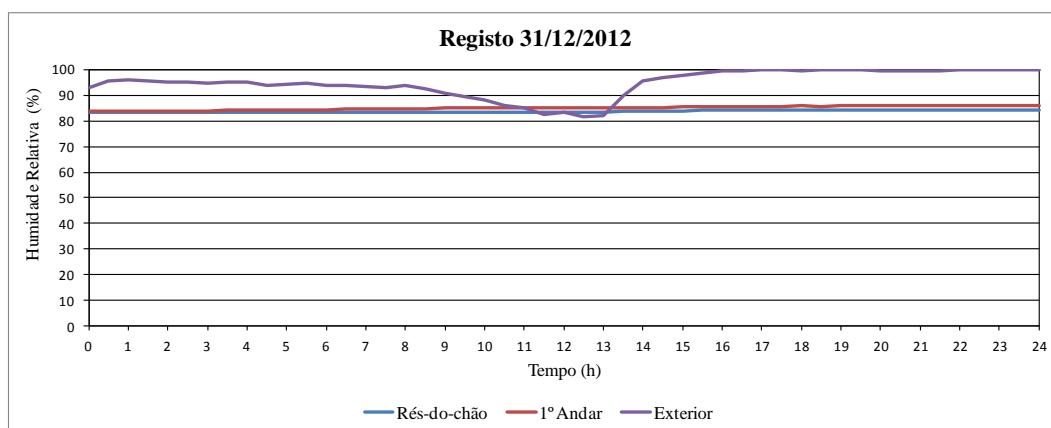


Figura 108 - Humidade relativa interior e exterior no dia 31 de dezembro de 2012

Tabela 28 - Resultados do registo no dia 31 de dezembro de 2012.

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	12,89	10,07	99,90	81,60	-	-	53,18	2,75	S
Rés-do-Chão	11,90	11,90	84,20	83,20	0,97	-			
1º Andar	11,70	11,50	85,90	83,80	1,17	-			

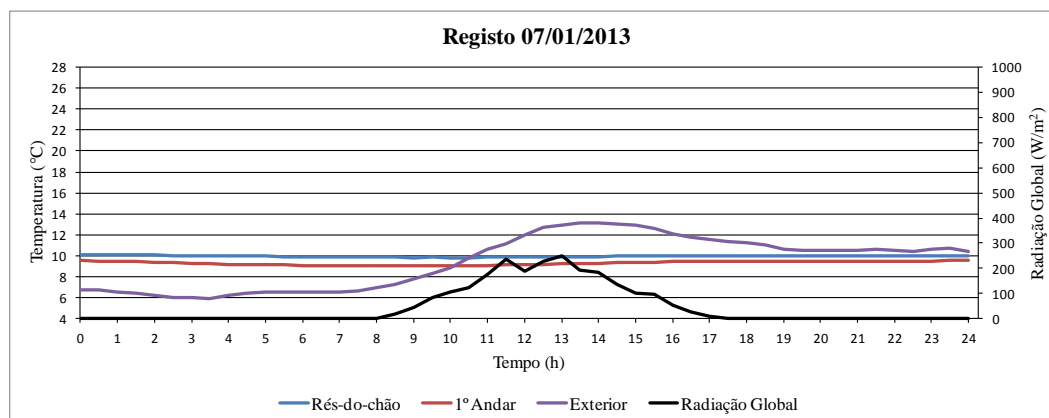


Figura 109 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 7 de janeiro de 2013

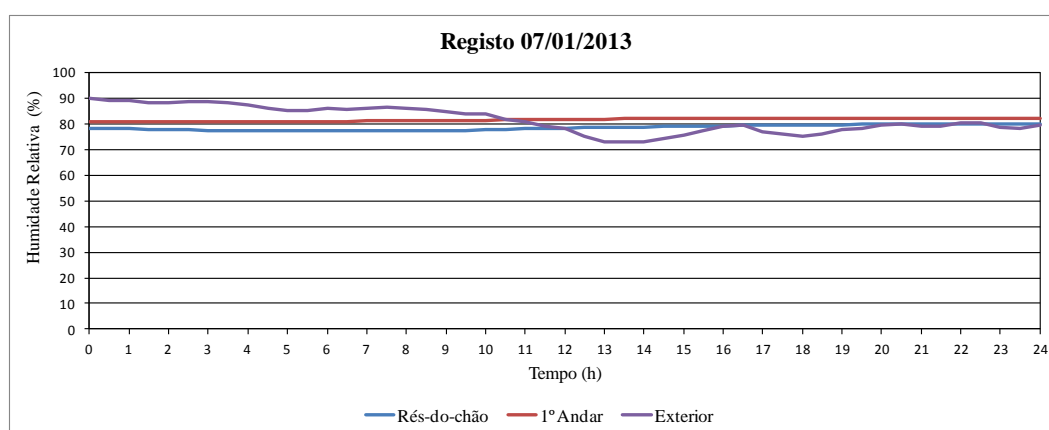


Figura 110 - Humidade relativa interior e exterior no dia 7 de janeiro de 2013

Tabela 29 - Resultados do registo no dia 7 de janeiro de 2013

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	13,17	5,87	89,83	72,83	-	-	118,95	1,76	ESE
Rés-do-Chão	10,10	9,80	80,10	77,20	3,17	0h30m			
1º Andar	9,60	9,00	82,30	80,70	3,67	1h00m			

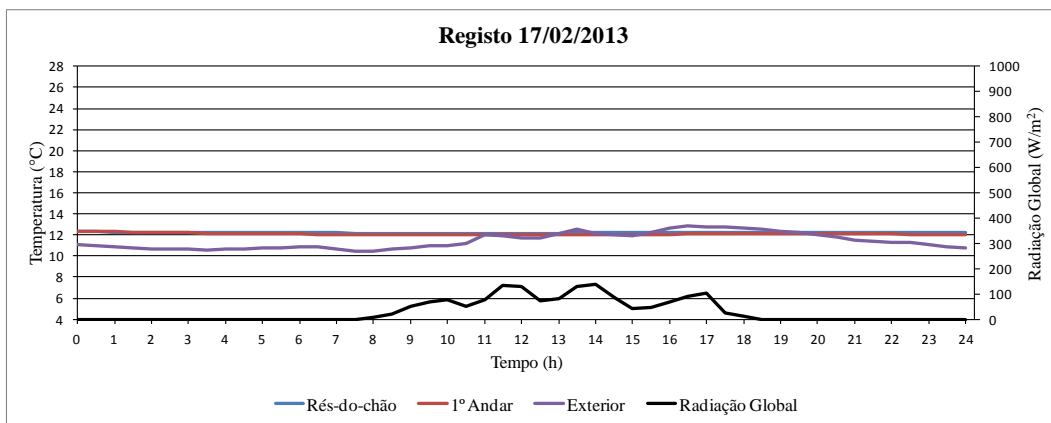


Figura 111 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 17 de fevereiro de 2013

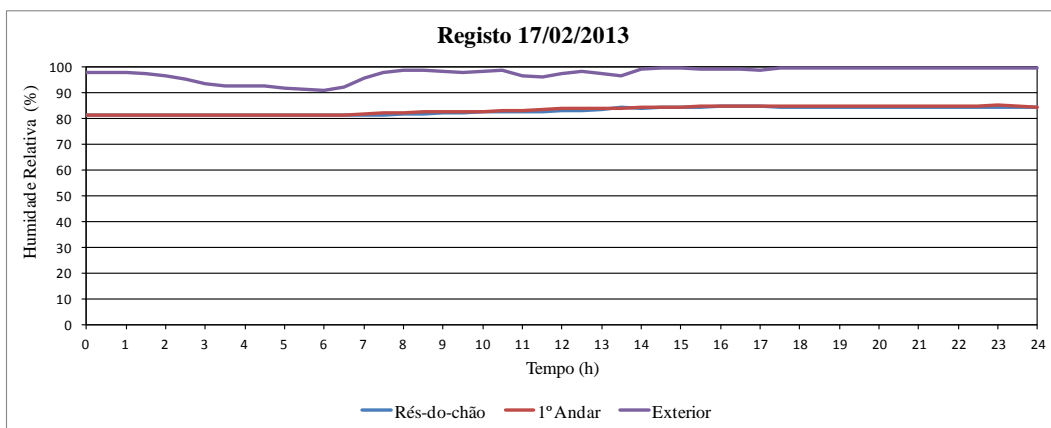


Figura 112 - Humidade relativa interior e exterior no dia 17 de fevereiro de 2013

Tabela 30 - Resultados do registo no dia 17 de fevereiro de 2013

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	12,83	10,50	99,90	91,10	-	-	71,67	3,08	ESE
Rés-do-Chão	12,30	12,10	84,80	81,30	0,53	-			
1º Andar	12,30	12,00	85,10	81,20	0,53	-			

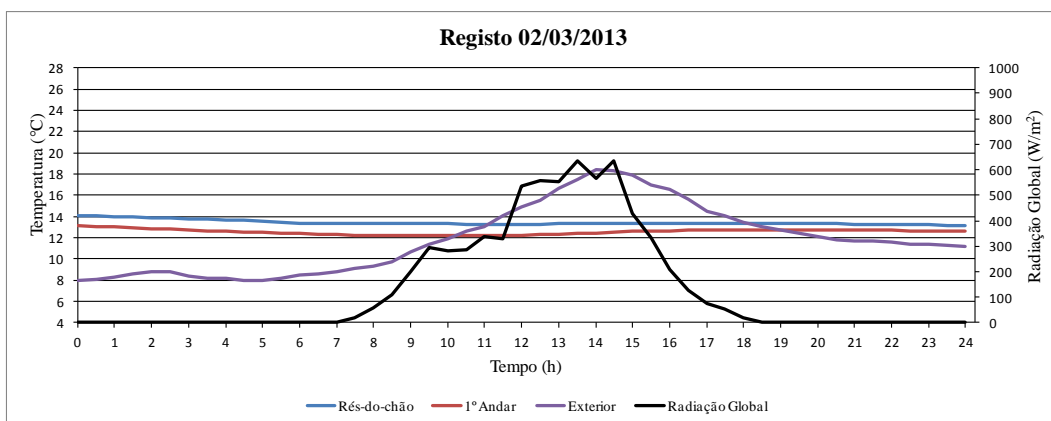


Figura 113 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 2 de março de 2013

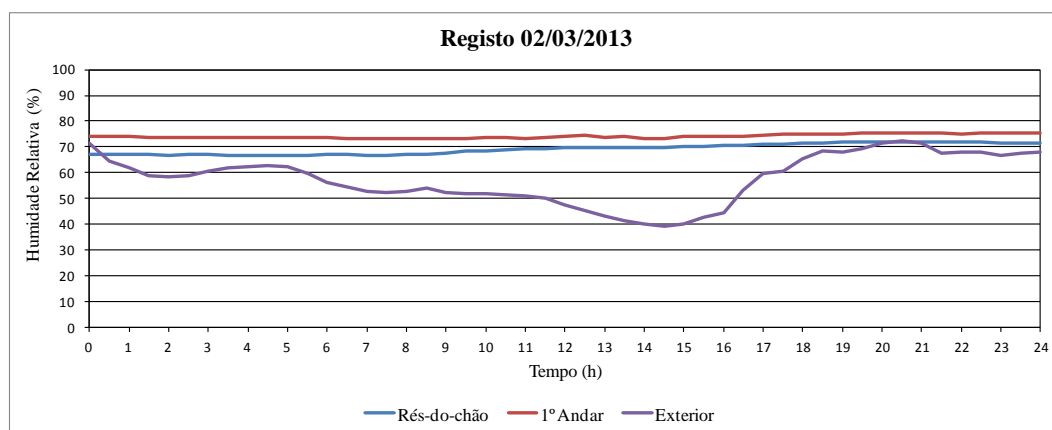


Figura 114 - Humidade relativa interior e exterior no dia 2 de março de 2013

Tabela 31 - Resultados do registo no dia 2 de março de 2013

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	18,40	7,93	72,43	39,07	-	-	276,88	1,80	ENE
Rés-do-Chão	14,10	13,10	72,10	66,50	4,30	-			
1º Andar	13,10	12,20	75,30	73,10	5,30	2h30m			

Os resultados apresentados são característicos de dias típicos de inverno, período em que se verificam registos de temperatura exterior que variam entre os 3°C e os 21°C, aproximadamente.

Através da observação dos registos da temperatura interior (ver figuras 107, 109, 111 e 113), pode verificar-se que continua, neste período, a existir uma estratificação de temperaturas de cerca de 1°C do rés-do-chão para o 1º andar. Esta casa apresenta um comportamento muito constante dos valores de temperatura e humidade relativa interiores, independentemente das variações dos registos no exterior.

O dia 2 de março (ver figura 113) foi um dia relativamente quente para a estação do ano em questão, verificando-se que o rés-do-chão assinalou um acréscimo da temperatura mais rápido que o 1º andar, aumentando assim o diferencial de temperatura entre os dois andares.

Os registos de humidade relativa (ver figuras 108, 110, 112 e 114) apresentam, em média, valores de 79% e 80,9% para este período.

6.7.8. Previsão de arrefecimento – Período de inverno

Neste subcapítulo são apresentados os registos de temperatura, do rés-do-chão e do 1º andar, em função do tempo para o período de inverno (ver figura 115).

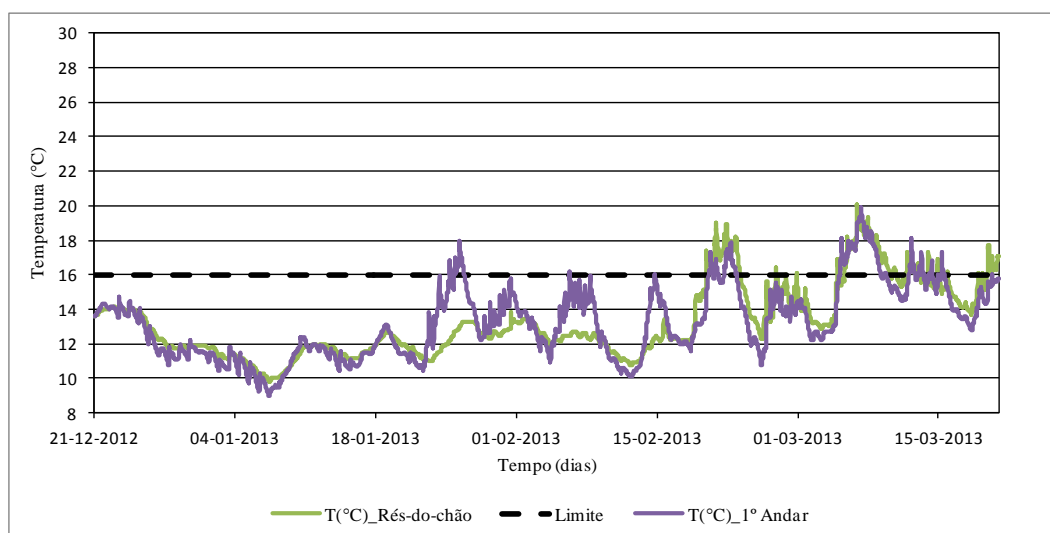


Figura 115 - Registo de temperatura para o período de inverno, no rés-do-chão e 1º andar, com indicação do limite de desconforto térmico

Para o período em questão, foi avaliado o risco de arrefecimento, sendo as temperaturas interiores inferiores a 16°C em 86,9% e 89,5% do tempo, para o rés-do-chão e 1º andar, respetivamente. As temperaturas médias foram 13,2°C para o rés-do-chão e 1º andar.

6.7.9. Análise do conforto térmico segundo a EN 15 251 – Período de inverno

A figura 116, com base na norma EN 15 251 [5], apresenta uma relação entre a temperatura exterior e a temperatura interior e os respetivos limites de conforto considerados por esta norma.

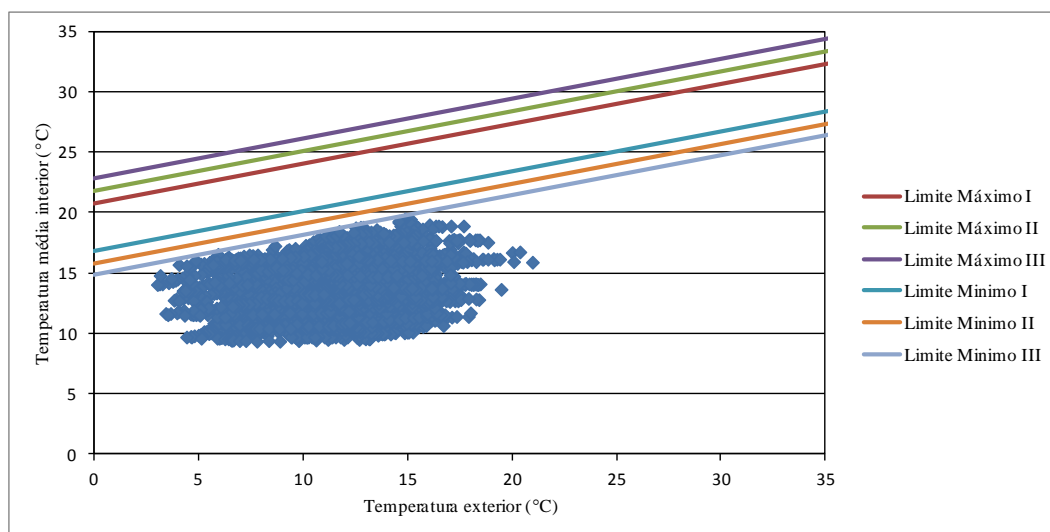


Figura 116 - Relação entre a temperatura média interior e exterior e limites especificados na norma Europeia EN 15 251 [5]

Para este período, poucos são os valores da amostra em estudo que se apresentam dentro da gama de valores especificado na norma. Verifica-se que na casa B são necessárias medidas de aquecimento e controlo das perdas térmicas pela envolvente, como será abordado adiante, no capítulo 7.

6.7.10. Análise diária – Período de primavera

Os registos apresentados para comentar, do período de primavera, foram escolhidos por serem representativos deste período.

Nas figuras 117, 119, 121 e 123, são apresentados os resultados dos dias 25 de março, 24 de abril, 7 de maio e 29 de maio, respetivamente, correspondentes aos registos de temperaturas interiores e exteriores e à radiação global em função do tempo, enquanto nas figuras 118, 120, 122 e 124 são apresentados os registos de humidade relativa interior e exterior em função do tempo para os mesmos dias.

Para melhor compreensão e análise dos resultados obtidos, compilaram-se nas tabelas 32, 33, 34 e 35 todos os valores considerados mais relevantes para a análise do comportamento térmico da casa B, nos respetivos dias representativos de registo para o período de primavera.

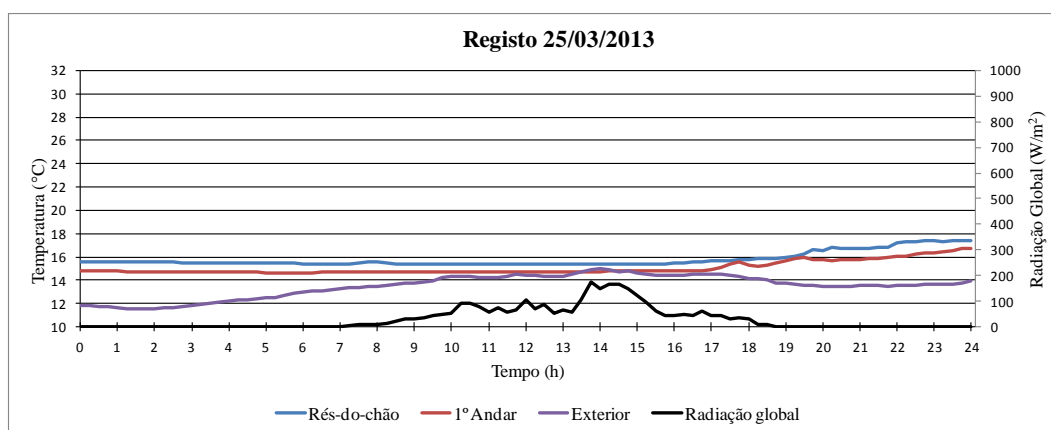


Figura 117 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 25 de março de 2013

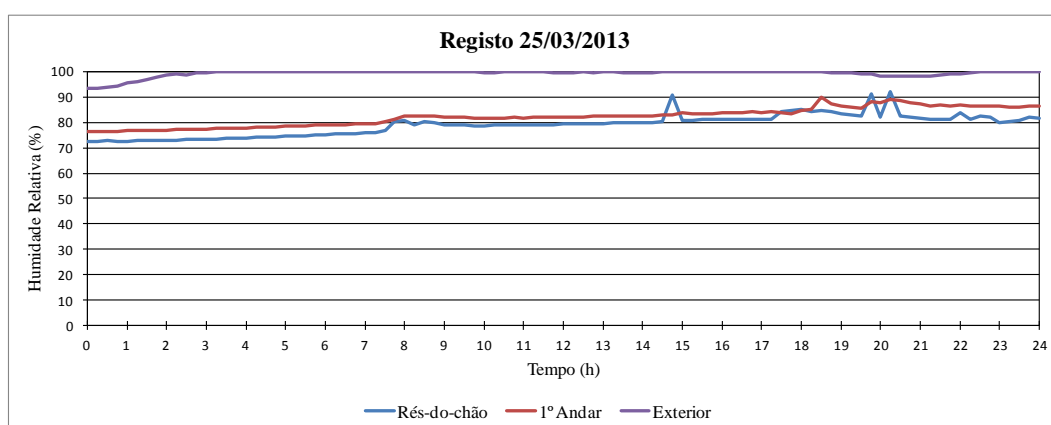


Figura 118 - Humidade relativa interior e exterior no dia 25 de março de 2013

Tabela 32 - Resultados do registo no dia 25 de março de 2013

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	15,00	11,50	99,90	93,30	-	-	61,94	5,48	SSO
Rés-do-Chão	17,40	15,40	92,00	72,30	Tint>Text	-			
1º Andar	16,70	14,60	90,10	76,30	Tint>Text	-			

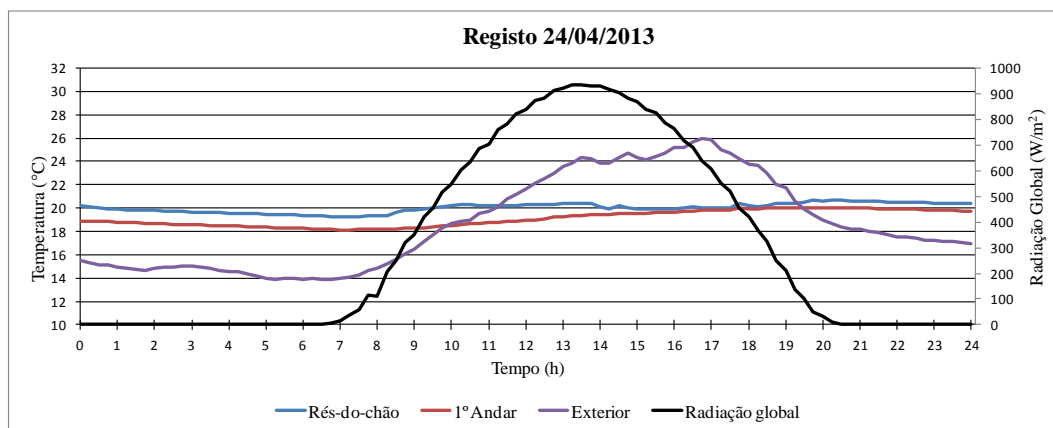


Figura 119 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 24 de abril de 2013

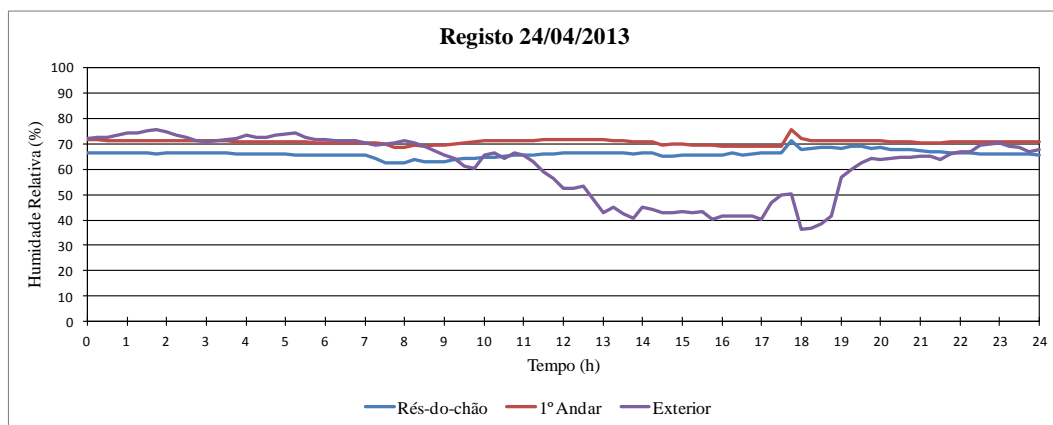


Figura 120 - Humidade relativa interior e exterior no dia 24 de abril de 2013

Tabela 33 - Resultados do registo no dia 24 de abril de 2013

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	26,00	13,90	75,60	36,40	-	-	525,39	1,69	NO
Rés-do-Chão	20,70	19,20	71,00	62,40	5,30	3h00m			
1º Andar	20,00	18,10	75,70	68,80	6,00	1h00m			

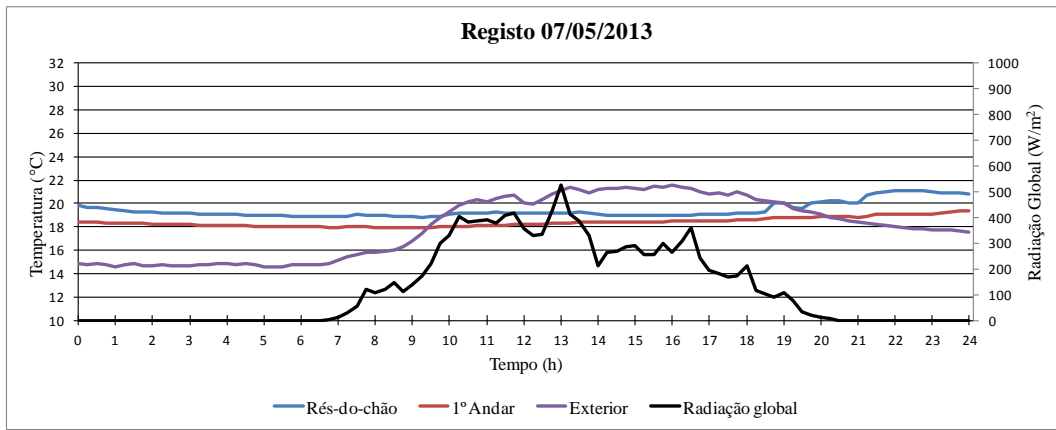


Figura 121 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 7 de maio de 2013

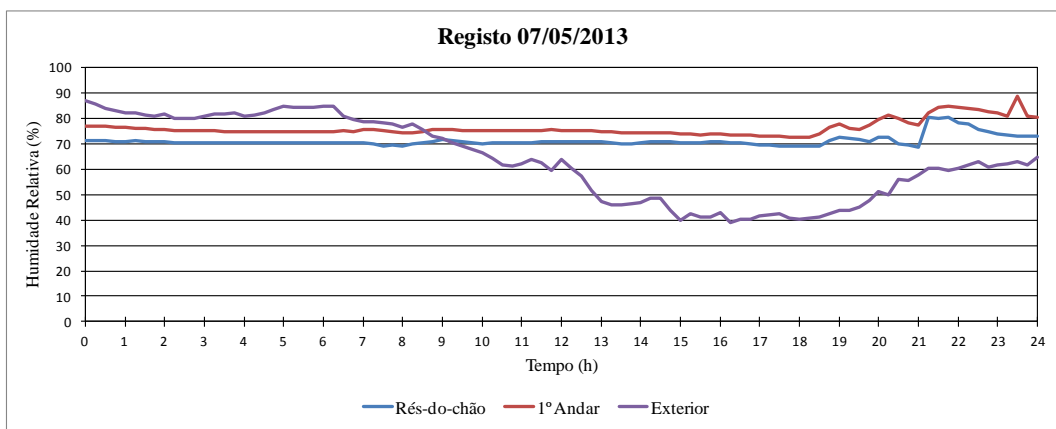


Figura 122 - Humidade relativa interior e exterior no dia 7 de maio de 2013

Tabela 34 - Resultados do registo no dia 7 de maio de 2013

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	21,60	14,60	86,90	38,90	-	-	227,80	2,06	ESE
Rés-do-Chão	21,10	18,80	80,40	68,80	0,50	2h30m			
1º Andar	19,40	17,90	88,60	72,60	2,20	1h			

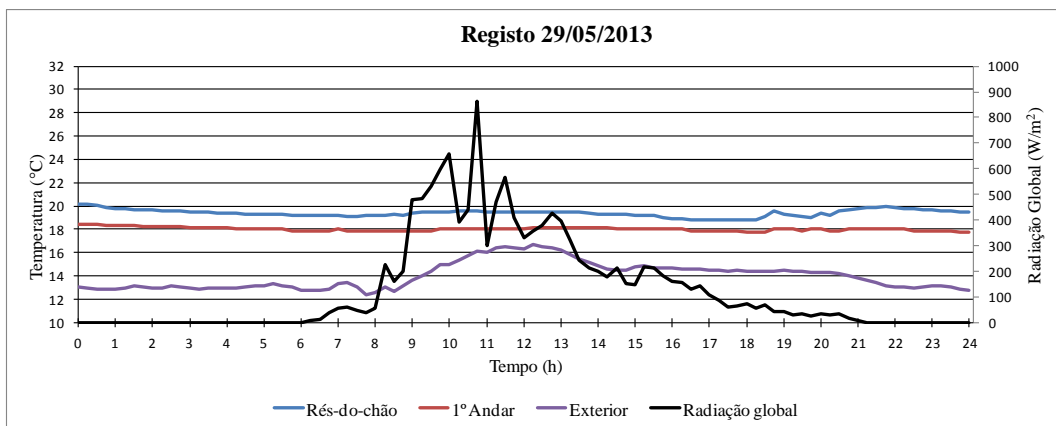


Figura 123 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 29 de maio de 2013

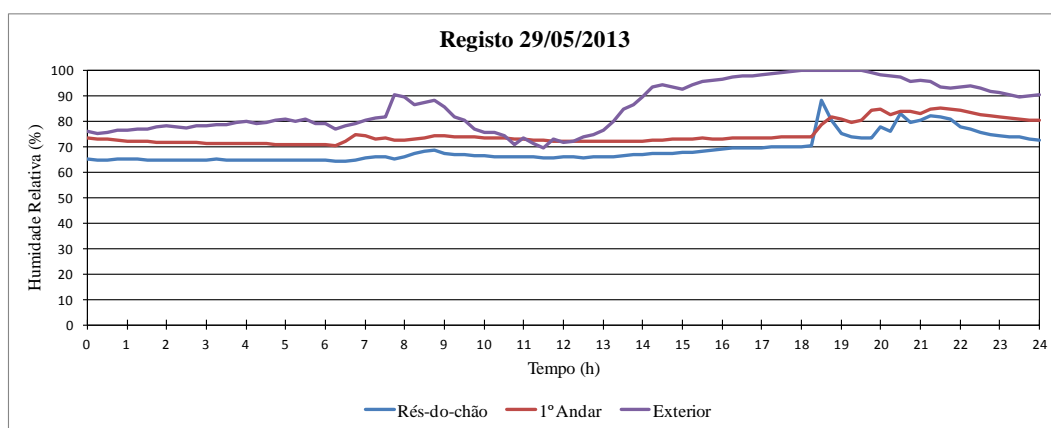


Figura 124 - Humidade relativa interior e exterior no dia 29 de maio de 2013

Tabela 35 - Resultados do registo no dia 29 de maio de 2013

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	16,70	12,40	99,90	69,60	-	-	211,07	4,34	NO
Rés-do-Chão	20,20	18,80	88,30	64,50	Tint>Text	-			
1º Andar	18,40	17,80	85,10	70,50	Tint>Text	-			

A casa B apresenta um comportamento constante nos registos dos valores de temperatura, sendo que o 1º andar regista sempre temperaturas ligeiramente inferiores. No dia 25 de março (figura 117), registaram-se valores de temperatura exterior entre os 11,5°C e os 15°C, sendo que no interior as temperaturas variaram entre os 14°C e os 16°C. Nos dias mais quentes (figura 119, 121 e 123), com registos de temperaturas exteriores mais elevados, no interior, verificaram-se temperaturas entre os 18°C e os 20°C, aproximadamente.

No interior, a humidade relativa regista, ao longo de todo o período de primavera, valores superiores a 50% (ver figuras 118, 120, 122 e 124).

6.7.11. Previsão de sobreaquecimento – Período de primavera

Neste subcapítulo são apresentados os registos de temperatura, do rés-do-chão e do 1º andar, em função do tempo para o período, convencionado neste estudo, como a estação de primavera (ver figura 125).

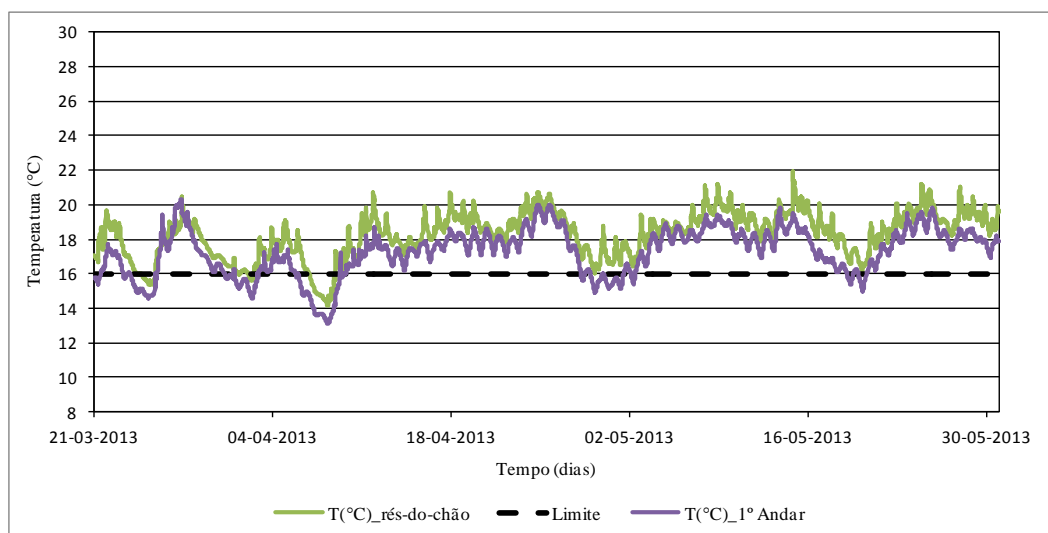


Figura 125 - Registo de temperatura para o período de primavera, no rés-do-chão e 1º andar, com indicação do limite de desconforto térmico

Os valores de temperatura para este período são inferiores a 16°C em 16,3% e 18,7% do tempo para o rés-do-chão e 1º andar, respetivamente. As temperaturas médias foram 18,3°C e 17,3°C, para o rés-do-chão e 1º andar, respetivamente.

6.7.12. Análise do conforto térmico segundo a EN 15 251 – Período de primavera

A figura 126, com base na norma EN 15 251 [5], apresenta uma relação entre a temperatura exterior e a temperatura interior e os respetivos limites de conforto considerados por esta norma.

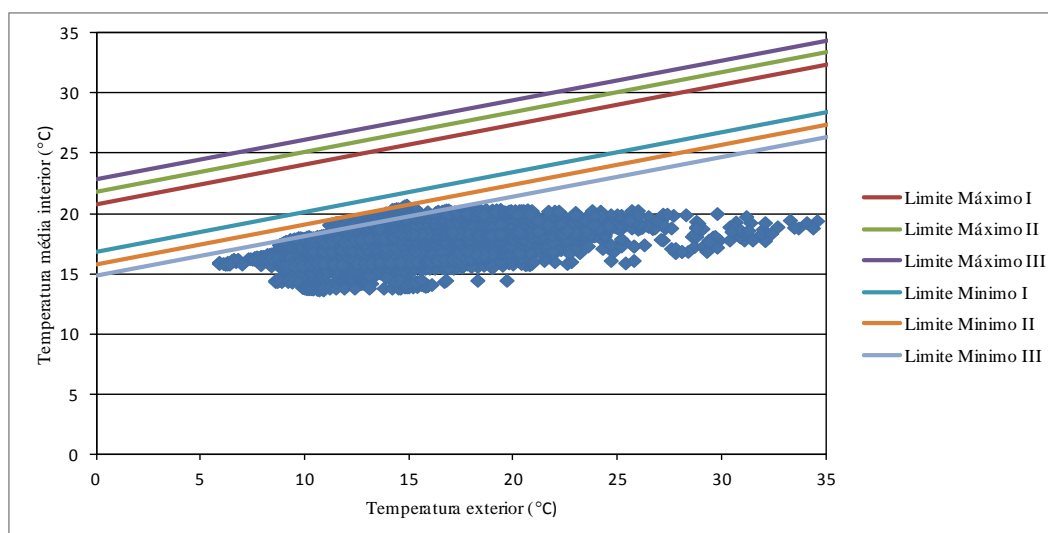


Figura 126 - Relação entre a temperatura média interior e exterior e limites especificados na norma Europeia EN 15 251 [5]

Na figura 126, é possível verificar que, para a amostra em estudo, existe um conjunto significativo de valores que ficam fora da gama de valores especificada na norma. Verifica-se que as medidas de aquecimento implementadas e o controlo das perdas térmicas pela envolvente na casa B não são as

suficientes, segundo os limites especificados pela norma para verificação do conforto térmico da casa, uma vez que esta esteve habitada neste período por um número variável de pessoas.

6.7.13. Síntese geral – Casa B

Para a casa B, ao longo do ano de monitorização, foi registado um comportamento muito constante dos valores de temperatura e humidade relativa interiores. Devido à colocação dos sensores interiores, no rés-do-chão e 1º andar, sensivelmente no mesmo alinhamento, verificou-se ao longo dos diferentes períodos uma estratificação da temperatura em altura, com diferencial de cerca de 1°C.

Esta casa apresenta, para o período de verão, segundo o RCCTE [6], um comportamento bastante bom, sendo que nunca se registaram intervalos de sobreaquecimento significativos. Nos restantes períodos também não se registou sobreaquecimento, embora os valores nem sempre tenham estado dentro da gama de conforto definida por esta norma. Segundo a norma EN 15 251 [5], também foi o período de verão o que registou o maior número de valores que se enquadram no intervalo de conforto definido pela mesma.

Os registos de humidade relativa, para os diferentes períodos de registo, mostram valores sempre superiores a 50%, evidenciando a falta de ventilação natural e/ou aquecimento dos espaços.

Concluiu-se, em contrapartida que a alvenaria de adobe possui boa inércia térmica, pois motivou fatores de atraso e amortecimentos consideráveis entre as temperaturas máximas exteriores e interiores.

6.8. Resultados da Casa C

Tendo como base o que foi efetuado para as duas anteriores casas, também neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados em diferentes níveis. Primeiro é efetuada a análise diária, de alguns dias representativos, sendo que estes foram escolhidos por melhor explicarem o comportamento higrotérmico desta casa para cada período referenciado. De seguida, é feita uma análise geral dos resultados obtidos, estimando-se o risco de sobreaquecimento para o período em questão. A análise do conforto térmico é feita à luz da norma EN 15 251 [5]. Para finalizar o capítulo, apresenta-se uma síntese geral em que se incluem as conclusões mais relevantes para os quatro períodos em análise (verão, outono, inverno e primavera).

6.8.1. Análise diária – Período de verão

Os resultados apresentados e comentados ao longo deste subcapítulo expressam o comportamento higratérmico da casa C no período considerado como representativo do verão.

Nas figuras 127, 129, 131 e 133, são apresentados os resultados para os dias 26 de julho, 8 de agosto, 18 de agosto e 6 de setembro, respetivamente, correspondentes aos registos de temperaturas (°C) interiores e exteriores da casa em estudo e à radiação global sempre em função do tempo. Nas figuras 128, 130, 132 e 134 são apresentados os registos da humidade relativa interior e exterior em função do tempo.

Compilaram-se nas tabelas 36, 37, 38 e 39 os valores considerados mais relevantes para a análise detalhada do comportamento térmico da casa C, correspondentes aos respetivos dias de registo.

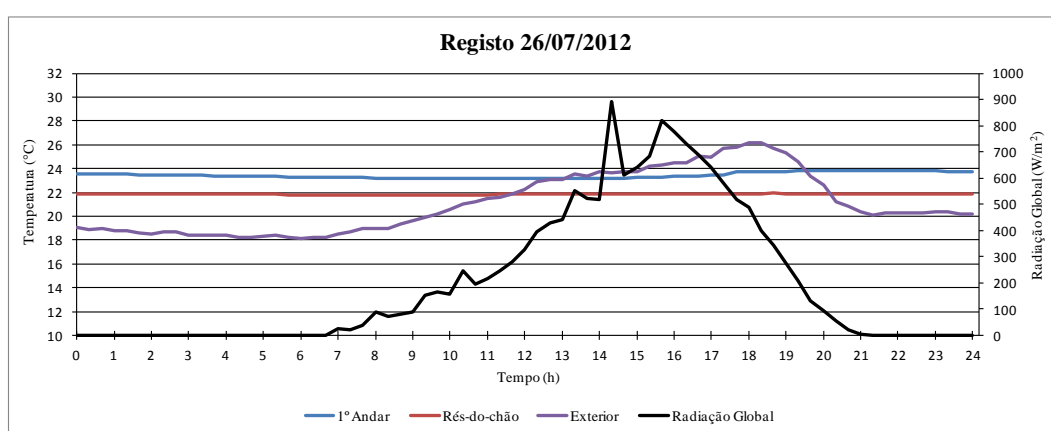


Figura 127 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 26 de julho de 2012

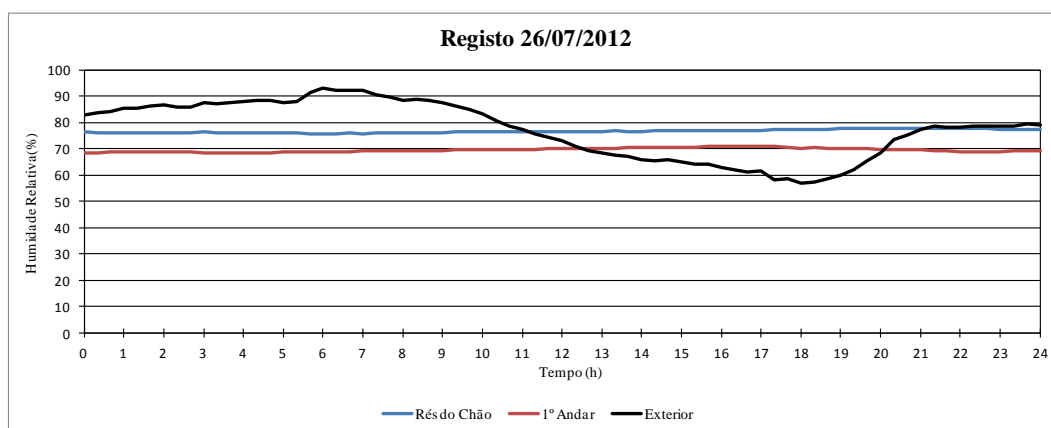


Figura 128 - Humidade relativa interior e exterior no dia 26 de julho de 2012

Tabela 36 - Resultados do registo no dia 26 de julho de 2013

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	26,17	18,13	93,10	57,10	-	-	338,16	1,39	WNW
Rés-do-Chão	22,00	21,80	77,90	75,80	2,37	1h20m			
1º Andar	23,80	23,20	71,00	68,50	4,17	0h40m			

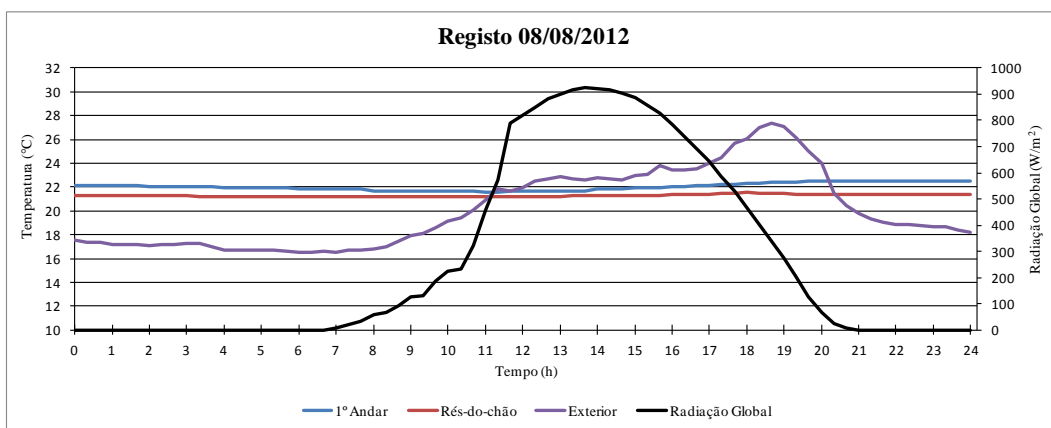


Figura 129 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 8 de agosto de 2012

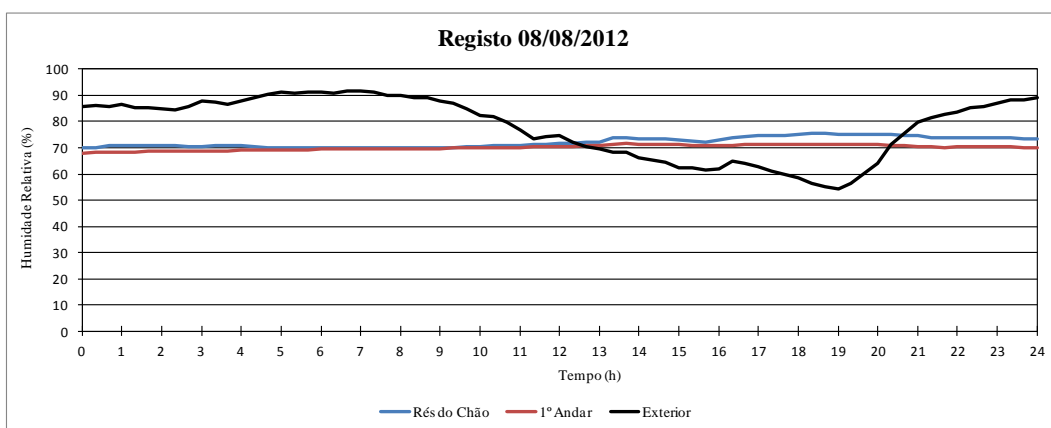


Figura 130 - Humidade relativa interior e exterior no dia 8 de agosto de 2012

Tabela 37 - Resultados do registo no dia 8 de agosto de 2012

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	27,33	16,50	91,70	54,10	-	-	471,64	1,52	NNW
Rés-do-Chão	21,60	21,20	75,40	69,90	4,83	1h00m			
1º Andar	22,50	21,60	71,60	67,80	5,73	-			

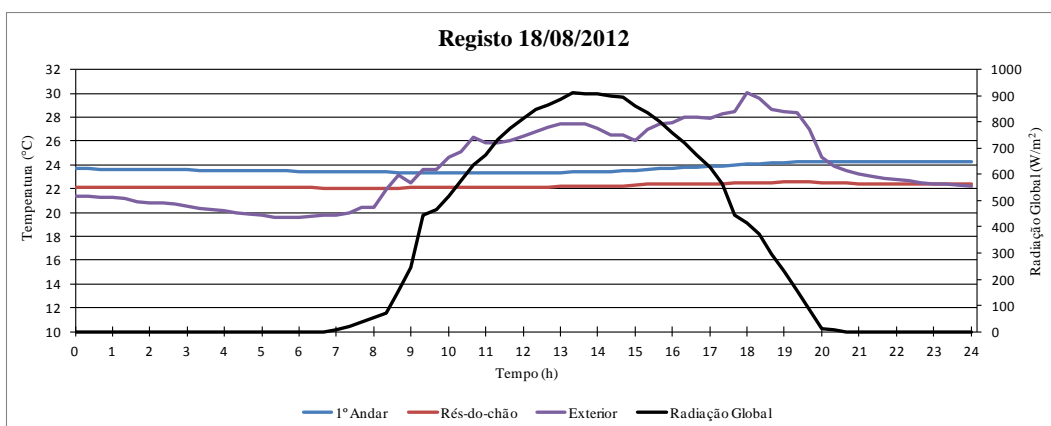


Figura 131 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 18 de agosto de 2012

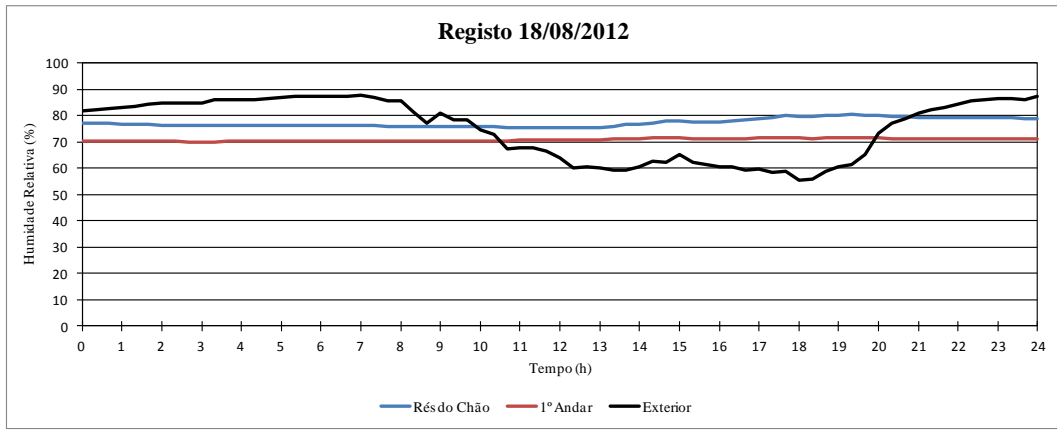


Figura 132 - Humidade relativa interior e exterior no dia 18 de agosto de 2012

Tabela 38 - Resultados do registo no dia 18 de agosto de 2012

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	30,03	19,57	87,80	55,23	-	-	517,05	1,40	ESE
Rés-do-Chão	22,60	22,00	80,60	75,30	5,73	1h20m			
1º Andar	24,30	23,30	71,60	70,00	7,43	1h00m			

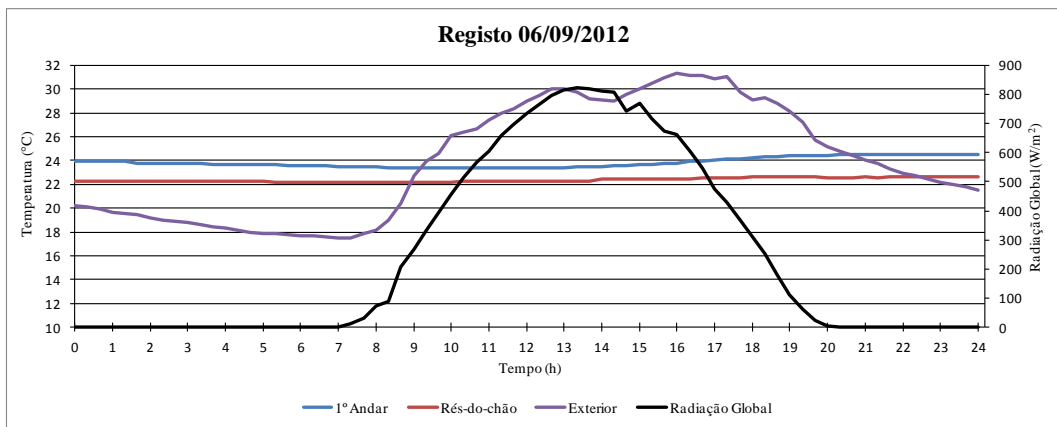


Figura 133 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 6 de setembro de 2012

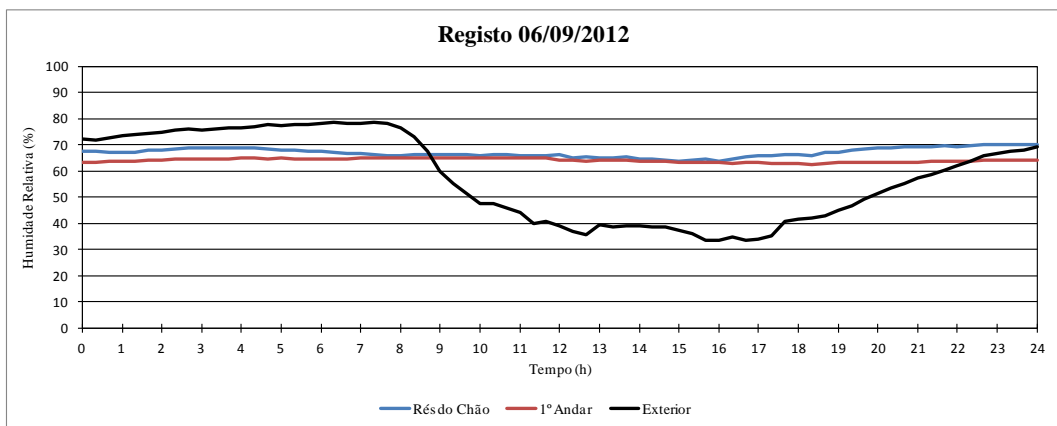


Figura 134 - Humidade relativa interior e exterior no dia 6 de setembro de 2012

Tabela 39 - Resultados do registo no dia 6 de setembro de 2012

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	31,37	17,50	78,53	33,30	-	-	466,79	1,30	NW
Rés-do-Chão	22,60	22,20	70,20	63,70	6,87	4h20m			
1º Andar	24,50	23,40	65,10	62,60	8,77	2h00m			

Registe-se que a casa C esteve desabitada no mês de agosto e parte do mês de setembro. Assim sendo e tendo em conta que as portadas dos vãos são pelo interior potenciaram o aumento da temperatura interior nestes meses.

Sabendo-se que a humidade relativa é um dos fatores condicionantes da qualidade do ar, registe-se que neste edifício esta se manteve sempre acima dos 65%, em média, o que faz com que a salubridade do ar no interior fique ligeiramente comprometida.

6.8.2. Previsão de sobreaquecimento – Período de verão

Neste subcapítulo são apresentados os registos de temperatura, do rés-do-chão e do 1º andar, em função do tempo para o período convencionado neste estudo como a estação de verão (ver figura 135).

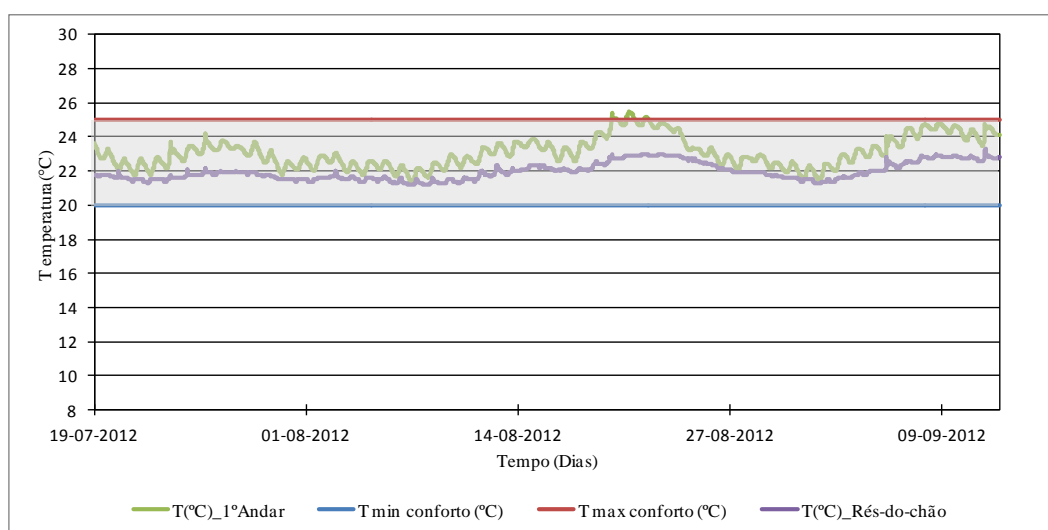


Figura 135 - Registo de temperatura para o período de verão, no rés-do-chão e 1º andar, com indicação dos limites de conforto térmico

Para o período monitorizado, apenas no 1º andar existe risco de sobreaquecimento, sendo este 2,5% do tempo de registo. Segundo o RCCTE [6], que define os limites de conforto entre 20°C e os 25°C, esta casa apresenta um comportamento térmico bastante bom, estando a maioria dos registos de temperatura dentro do intervalo de conforto.

As temperaturas médias registadas foram de 22°C e 23,1°C para o rés-do-chão e 1º andar, respetivamente.

6.8.3. Análise do conforto térmico segundo a EN 15 251 – Período de verão

Neste subcapítulo é apresentado, com base na norma EN 15 251 [5], uma relação entre a temperatura exterior e a temperatura interior e os respetivos limites de conforto considerados na mesma.

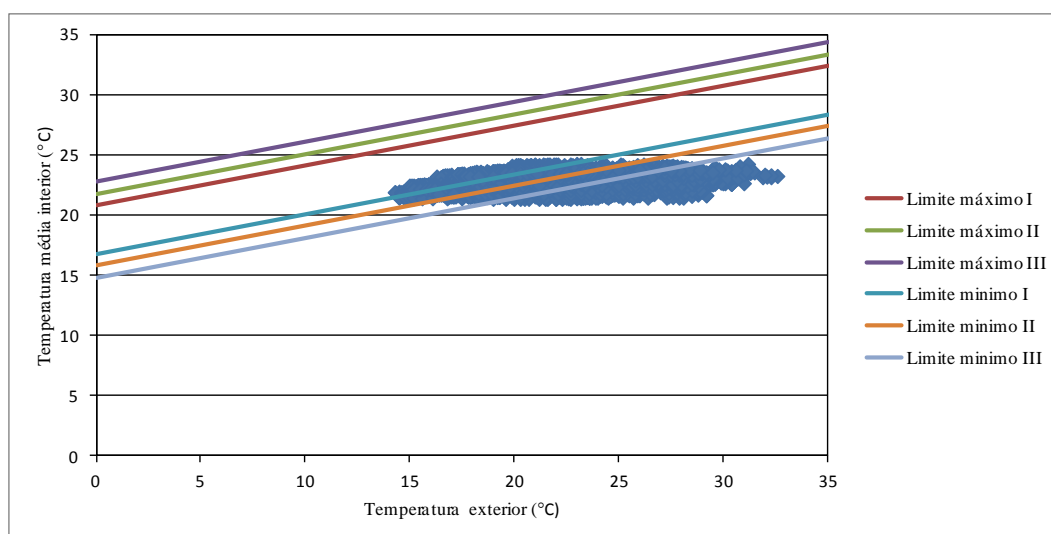


Figura 136 - Relação entre a temperatura média interior e exterior e limites especificados na norma Europeia EN 15 251 [5]

Na figura 136, é possível verificar que, para a amostra em estudo, existe um conjunto de valores que ficam fora da gama de valores especificada na norma, mesmo para o limite mais permissivo (III).

6.8.4. Análise diária – Período de outono

Nas figuras 137, 139, 141 e 143, são apresentados os resultados dos dias 23 de outubro, 25 de novembro, 10 de dezembro e 17 de dezembro, respetivamente, correspondentes aos registos das temperaturas interiores e exterior e a radiação global em função do tempo. Para os mesmos dias representativos do período de outono, são apresentados, nas figuras 138, 140, 142 e 144, os registos de humidade relativa interior e exterior em função do tempo.

Nas tabelas 40, 41, 42 e 43, são apresentados os valores considerados mais relevantes para a análise do comportamento térmico da casa C, nos respetivos dias do período de outono.

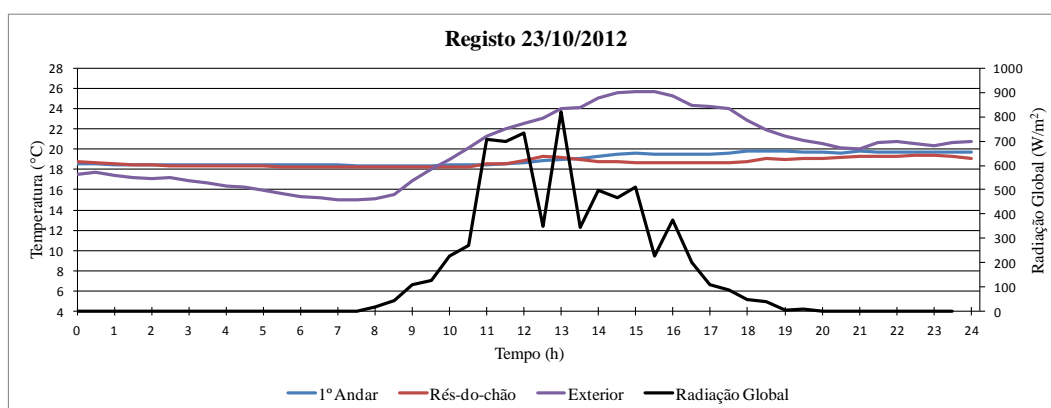


Figura 137 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 23 de outubro de 2012

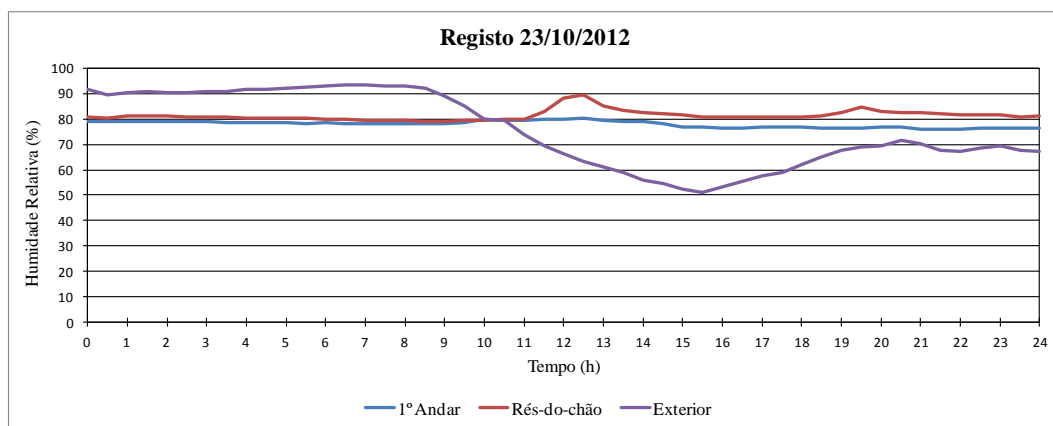


Figura 138 - Humidade relativa interior e exterior no dia 23 de outubro de 2012

Tabela 40 - Resultados do registo no dia 23 de outubro de 2012

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	25,67	14,97	93,37	51,20	-	-	281,68	5,42	SSO
Rés-do-Chão	19,40	18,30	89,60	79,10	-	-			
1º Andar	19,80	18,40	80,10	76,00	5,87	2h30m			

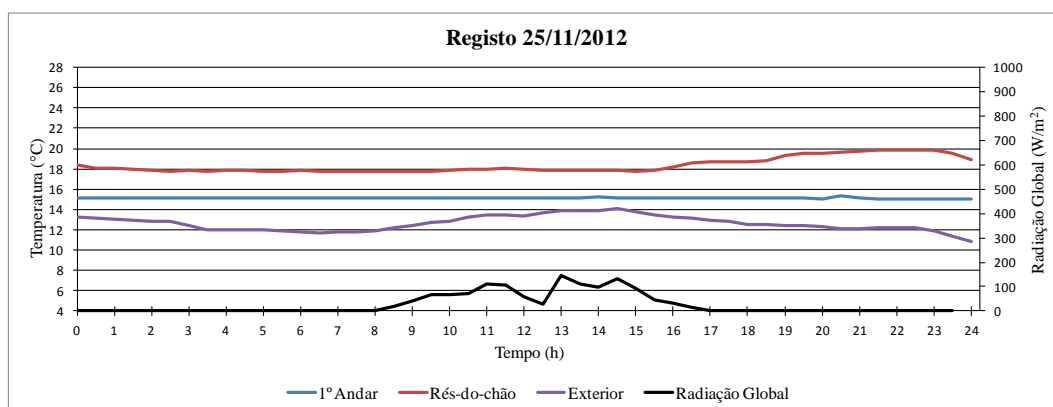


Figura 139 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 25 de novembro de 2012

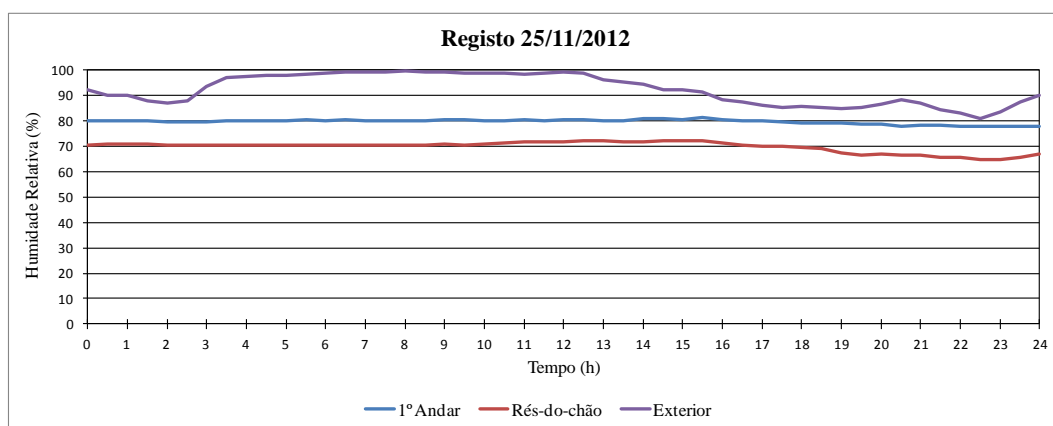


Figura 140 - Humidade relativa interior e exterior no dia 25 de novembro de 2012

Tabela 41 - Resultados do registo no dia 25 de novembro de 2012

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	14,13	11,40	99,47	80,80	-	-	65,79	1,42	N
Rés-do-Chão	19,90	17,80	72,30	64,80	Tint>Text	-			
1º Andar	15,30	15,00	81,40	77,60	Tint>Text	-			

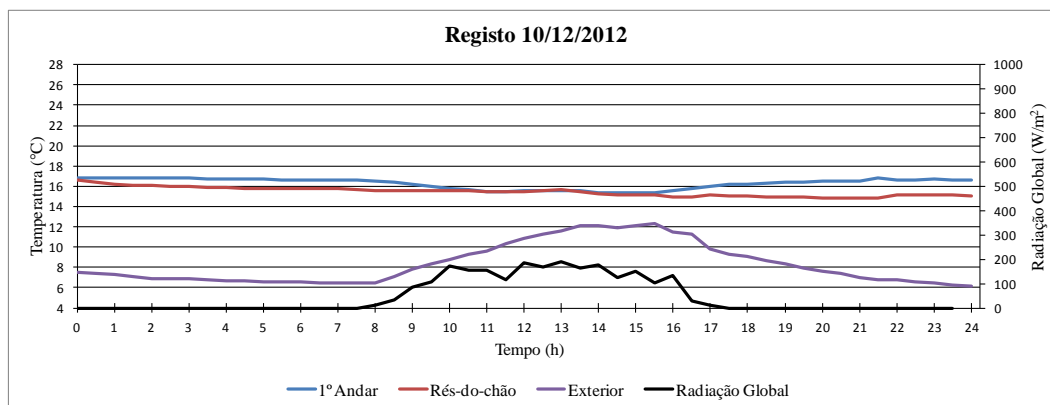


Figura 141 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 10 de dezembro de 2012

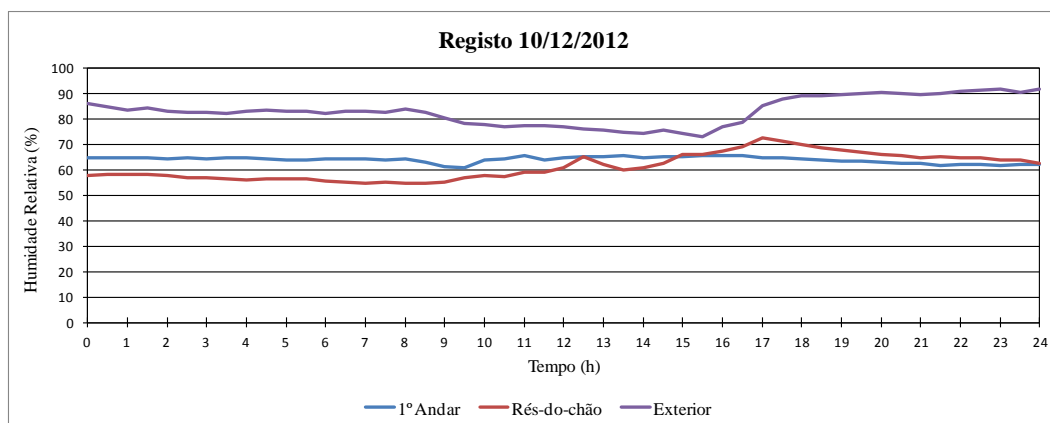


Figura 142 - Humidade relativa interior e exterior no dia 10 de dezembro de 2012

Tabela 42 - Resultados do registo no dia 10 de dezembro de 2012

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	12,33	6,27	91,83	73,27	-	-	119,84	0,80	ESE
Rés-do-Chão	16,60	14,80	72,50	54,80	Tint>Text	-			
1º Andar	16,80	15,4	65,80	54,50	Tint>Text	-			

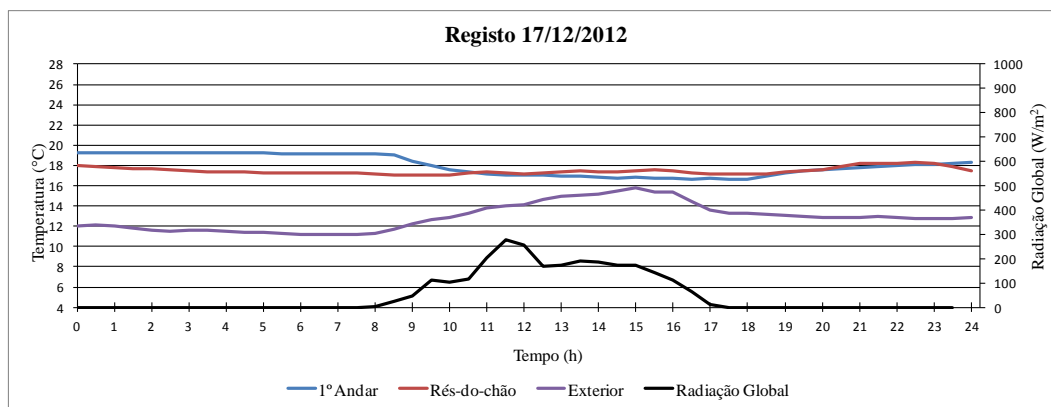


Figura 143 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 17 de dezembro de 2012

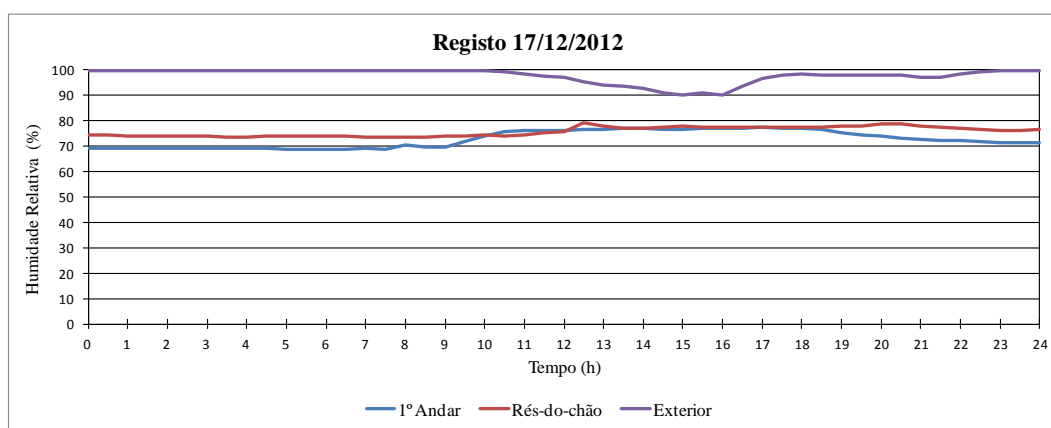


Figura 144 - Humidade relativa interior e exterior no dia 17 de dezembro de 2012

Tabela 43 - Resultados do registo no dia 17 de dezembro de 2012

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	15,77	11,67	99,90	90,03	-	-	133,47	0,97	SE
Rés-do-Chão	18,30	17,10	19,20	73,40	Tint>Text	-			
1º Andar	19,20	16,60	77,50	68,70	Tint>Text	-			

O progressivo abaixamento das temperaturas exteriores no período de outono (ver figuras 140, 142 e 144) não têm uma influência notória nos valores registados da temperatura interior, pois esta casa usufrui de sistemas de aquecimento e na boa inércia térmica, como referido no subcapítulo 6.4. Nesta casa, o rés-do-chão apresenta temperaturas mais baixas relativamente ao 1º andar. A humidade relativa, para o período de outono, apresenta valores sempre acima dos 65%. O abaixamento da humidade relativa observado na figura 138 coincide com a subida de temperatura interior, devido ao aquecimento interior da casa.

6.8.5. Previsão de arrefecimento – Período de outono

Neste subcapítulo, são apresentados os registos de temperatura, do rés-do-chão e do 1º andar, em função do tempo para o período de outono (figura 145).

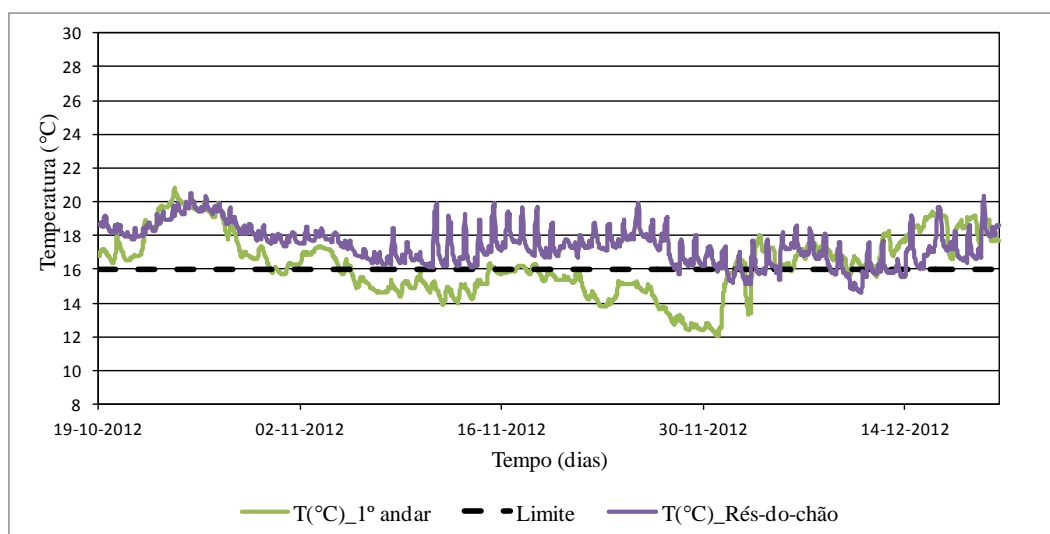


Figura 145 - Registo de temperatura para o período de outono, no rés-do-chão e 1º andar, com indicação do limite de desconforto térmico

Para o período em questão as temperaturas registaram valores inferiores a 16°C 43,3% e 9,4% do tempo, para o rés-do-chão e 1º andar, respetivamente. Os valores das temperaturas médias registadas foram 17,4°C e 16,3°C, para o rés-do-chão e 1º andar, respetivamente.

6.8.6. Análise do conforto térmico segundo a EN 15 251 – Período de outono

Com base na norma EN 15 251 [5], é apresentada a relação entre a temperatura exterior e a temperatura interior e os respetivos limites de conforto considerados pela mesma.

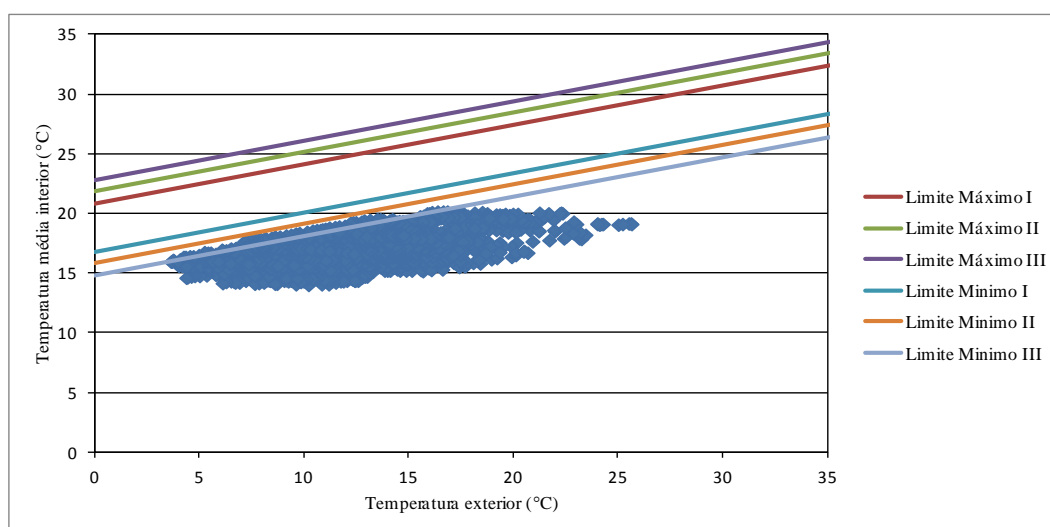


Figura 146 - Relação entre a temperatura média interior e exterior e limites especificados na norma Europeia EN 15 251 [5]

Como se verifica pela figura 146, a maioria dos valores encontra-se fora dos limites definidos pela norma, mesmo para o limite mais permissivo, III.

6.8.7. Análise diária – Período de inverno

Nas figuras 147, 149, 151 e 153, são apresentados os resultados dos dias 31 de dezembro, 7 de janeiro, 17 de fevereiro e 2 de março, respetivamente, correspondentes aos registos de temperaturas interiores e exterior e à radiação global em função do tempo, enquanto nas figuras 148, 150, 152 e 154 são apresentados os registos de humidade relativa interior e exterior em função do tempo para os mesmos dias.

Nas tabelas 44, 45, 46 e 47, compilaram-se todos os valores considerados mais relevantes para a análise do comportamento térmico na casa C, nos respetivos dias de registo para o período de inverno.

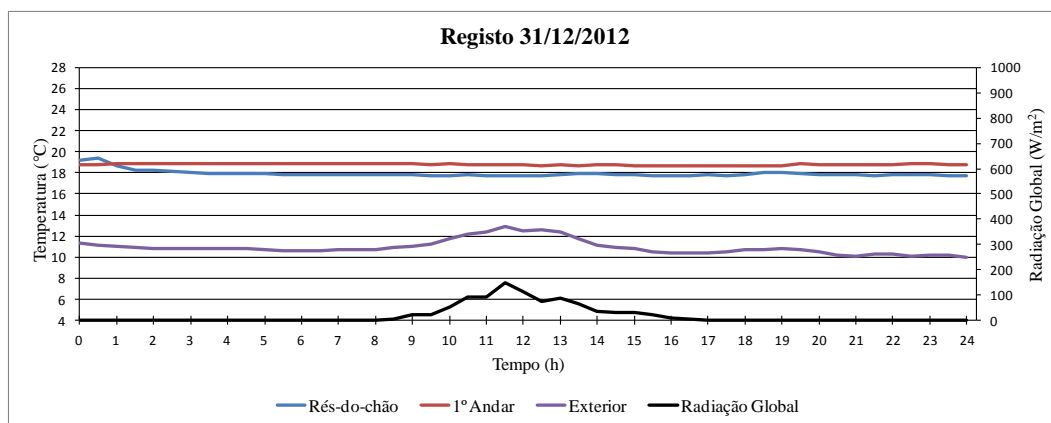


Figura 147 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 31 de dezembro de 2012

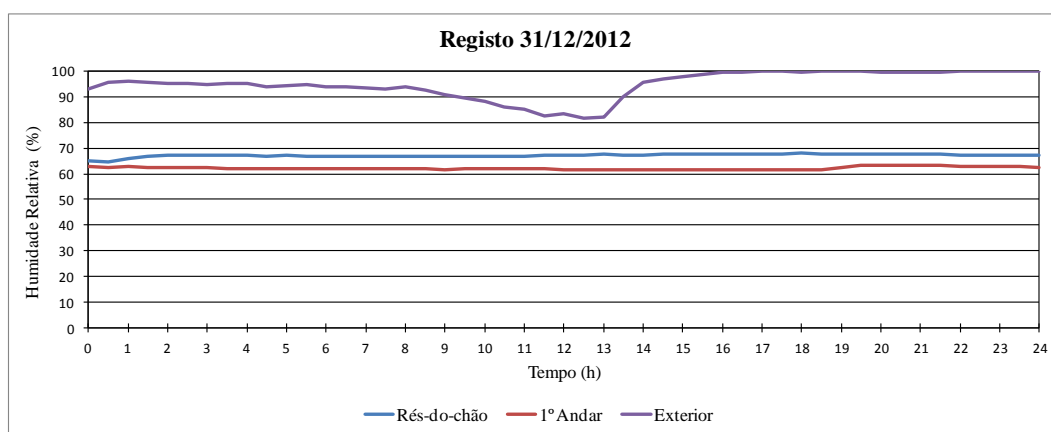


Figura 148 - Humidade relativa interior e exterior no dia 31 de dezembro de 2012

Tabela 44 - Resultados do registo no dia 31 de dezembro de 2012

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	12,87	10,07	99,90	81,60	-	-	53,18	2,75	S
Rés-do-Chão	19,40	17,70	67,90	59,90	Tint>Text	-			
1º Andar	18,90	18,70	63,50	61,50	Tint>Text	-			

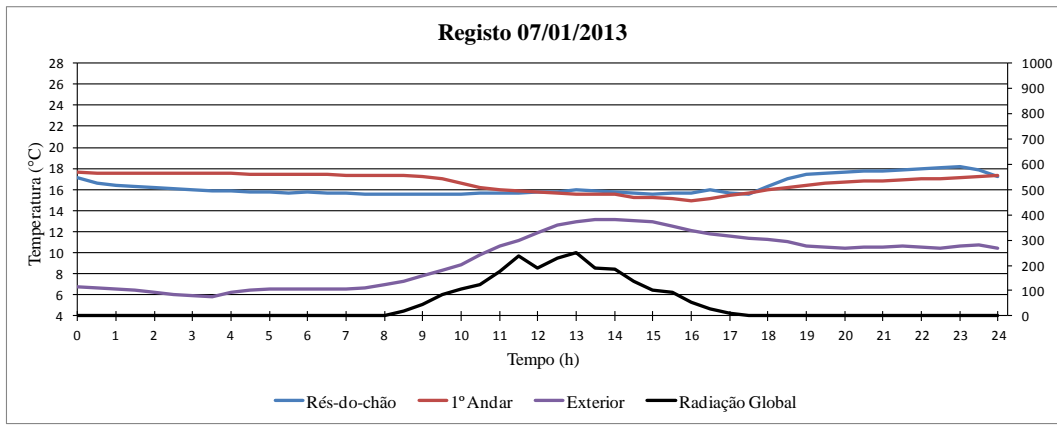


Figura 149 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 7 de janeiro de 2013

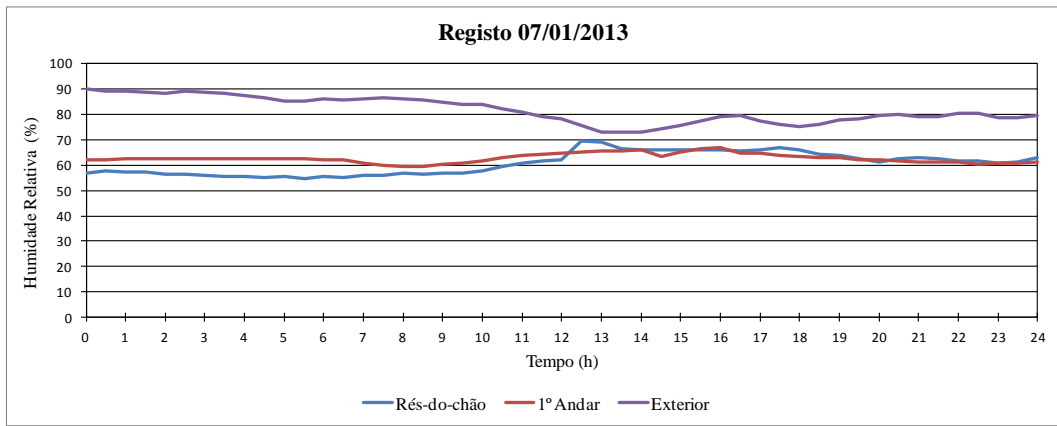


Figura 150 - Humidade relativa interior e exterior no dia 7 de janeiro de 2013

Tabela 45 - Resultados do registo no dia 7 de janeiro de 2013

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	13,17	5,87	89,83	72,83	-	-	118,95	1,76	ESE
Rés-do-Chão	18,20	15,50	69,60	54,80	Tint>Text	-			
1º Andar	17,60	14,90	66,70	59,40	Tint>Text	-			

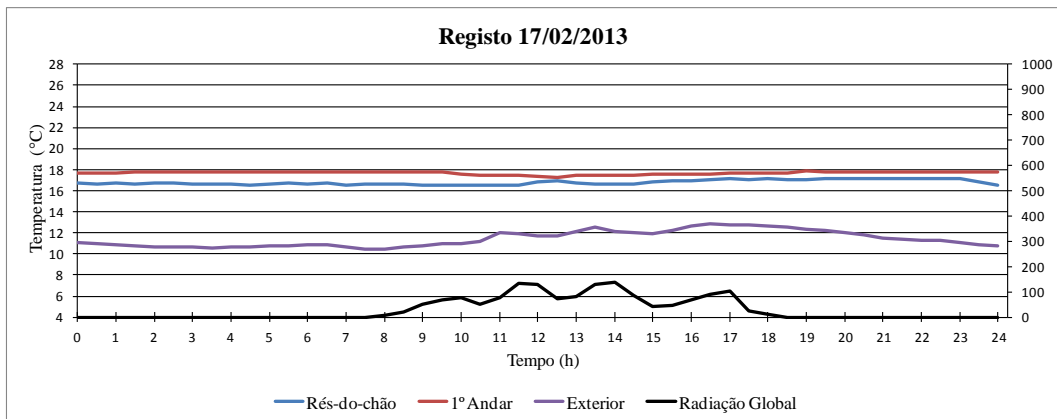


Figura 151 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 17 de fevereiro de 2013

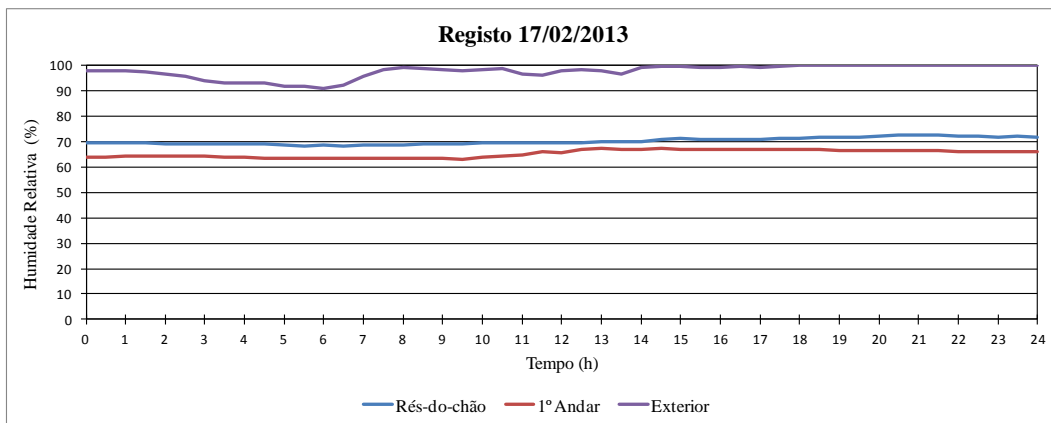


Figura 152 - Humidade relativa interior e exterior no dia 17 de fevereiro de 2013

Tabela 46 - Resultados do registo no dia 17 de fevereiro de 2013

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	12,83	10,50	99,90	91,10	-	-	71,67	3,08	ESE
Rés-do-Chão	17,20	16,50	72,50	48,60	Tint>Text	-			
1º Andar	17,90	17,30	67,40	62,80	Tint>Text	-			

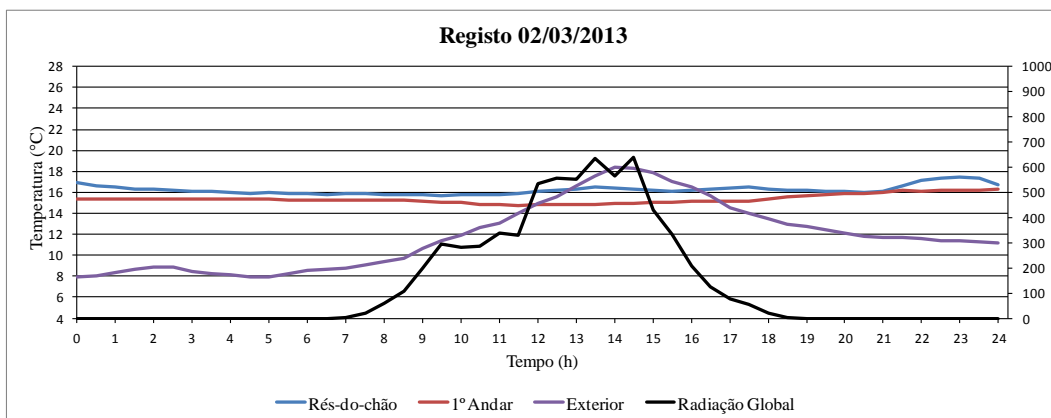


Figura 153 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 2 de março de 2013

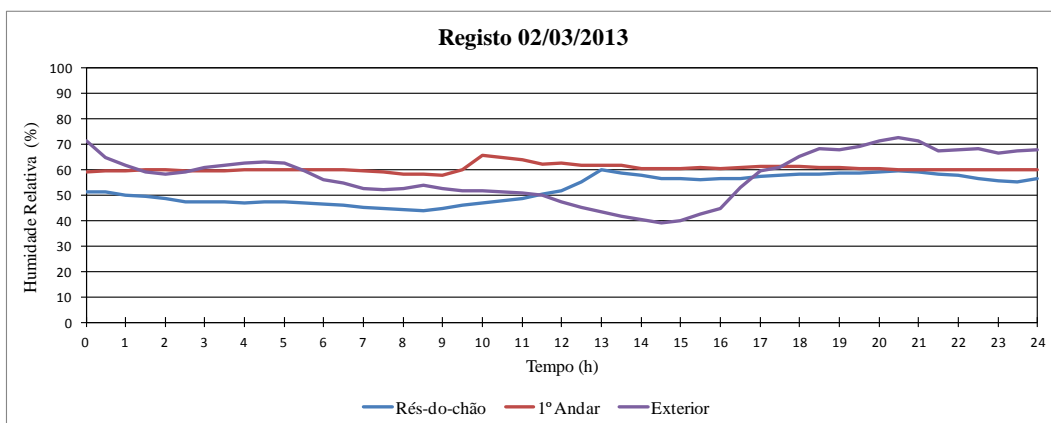


Figura 154 - Humidade relativa interior e exterior no dia 2 de março de 2013

Tabela 47 - Resultados do registo no dia 2 de março de 2013

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	18,40	7,93	72,43	39,07	-	-	276,88	1,80	ENE
Rés-do-Chão	17,50	15,70	59,80	43,90	0,90	-			
1º Andar	16,20	14,70	65,50	57,90	2,20	-			

Através da observação dos resultados (figura 147, 149, 151 e 153), verifica-se que os registos das temperaturas interiores encontram-se entre os 16°C e os 20°C, confirmando a informação do proprietário sobre os hábitos de aquecimento dos dois andares da casa. Mais uma vez, é verificada a estratificação de temperatura nos diferentes andares da casa, sendo que o 1º andar regista temperaturas superiores de aproximadamente 1°C (ver figura 151).

A humidade relativa média para a casa C, no período de registos em causa, é de sensivelmente 65%.

6.8.8. Previsão de arrefecimento – Período de inverno

Neste subcapítulo, são apresentados os registos de temperatura, do rés-do-chão e do 1º andar, em função do tempo para o período de outono (ver figura 155).

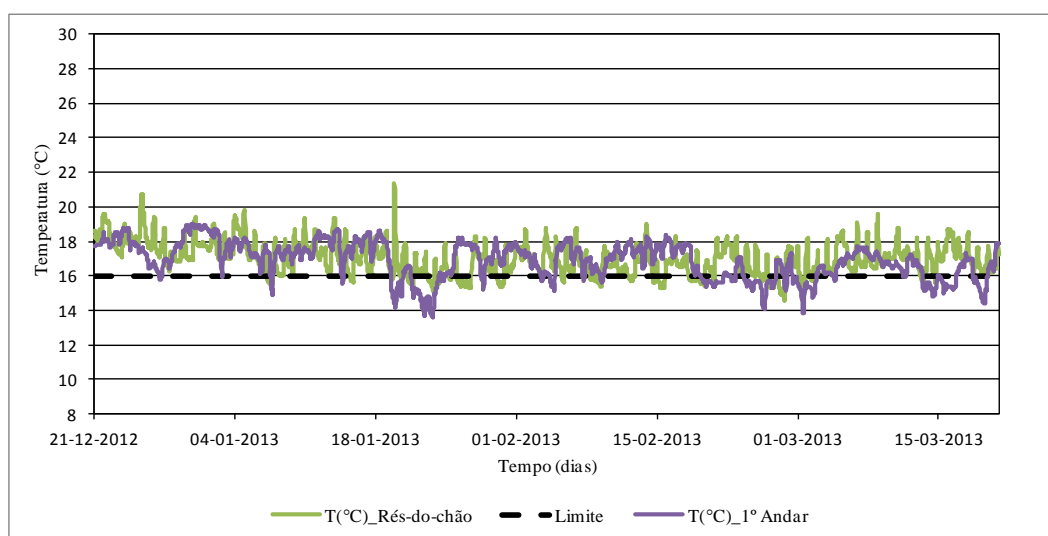


Figura 155 - Registo de temperatura para o período de inverno, no rés-do-chão e 1º andar, com indicação do limite de desconforto térmico

Para o período em questão as temperaturas registaram valores inferiores a 16°C 14,5% e 22,5% do tempo, para o rés-do-chão e 1º andar, respetivamente. As temperaturas médias foram 17°C e 16,9°C para o rés-do-chão e 1º andar, respetivamente.

6.8.9. Análise do conforto térmico segundo a EN 15 251 – Período de inverno

A figura 156, com base na norma EN 15 251 [5], apresenta uma relação entre a temperatura exterior e a temperatura interior e os respetivos limites de conforto considerados por esta norma.

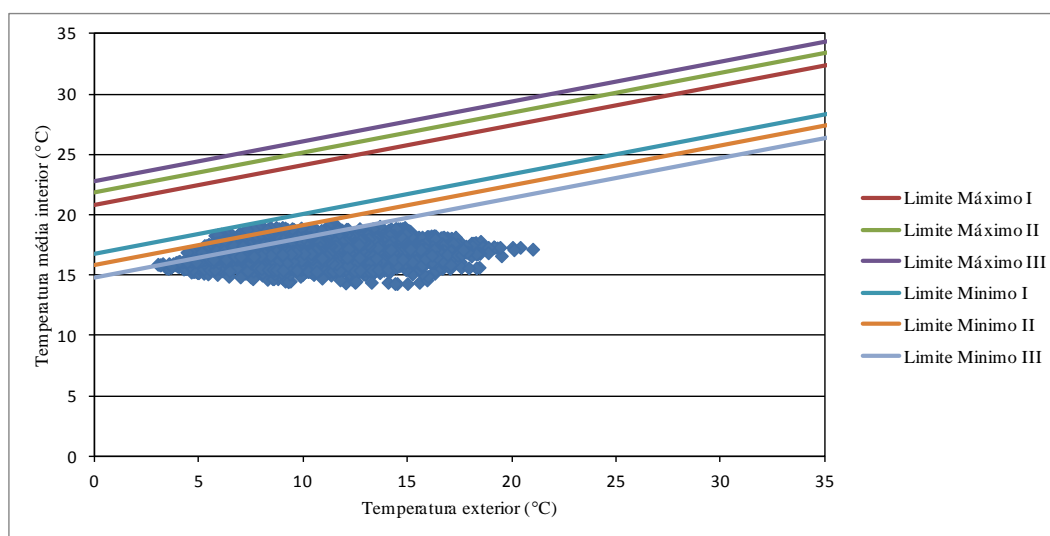


Figura 156 - Relação entre a temperatura média interior e exterior e limites especificados na norma Europeia EN 15 251 [5]

Para este período, a maioria dos valores da amostra em estudo apresentam-se fora da gama de valores especificado na norma. Verifica-se que na casa C são necessárias medidas de aquecimento complementares para proporcionar conforto térmico.

6.8.10. Análise diária – Período de primavera

Os registos apresentados para comentar, do período de primavera, foram escolhidos por serem representativos deste período.

Nas figuras 157, 159, 161 e 163, são apresentados os resultados dos dias 25 de março, 24 de abril, 7 de maio e 29 de maio, respetivamente, correspondentes aos registos de temperaturas interiores e exteriores e à radiação global em função do tempo. Nas figuras 158, 160, 162 e 164 são apresentados os registos de humidade relativa interior e exterior em função do tempo para os mesmos dias.

Para melhor compreensão e análise dos resultados obtidos, compilaram-se nas tabelas 32, 33, 34 e 35 todos os valores considerados mais relevantes para a análise do comportamento térmico da casa C, nos respetivos dias para o período de primavera.

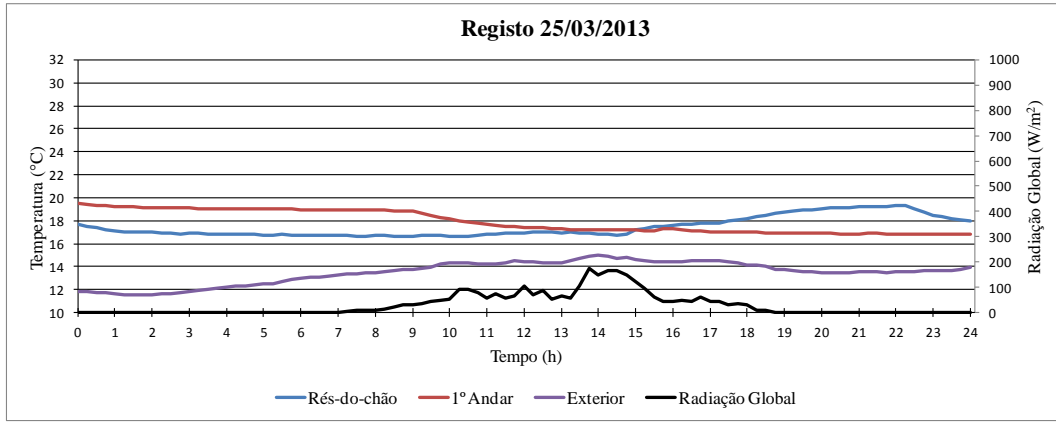


Figura 157 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 25 de março de 2013

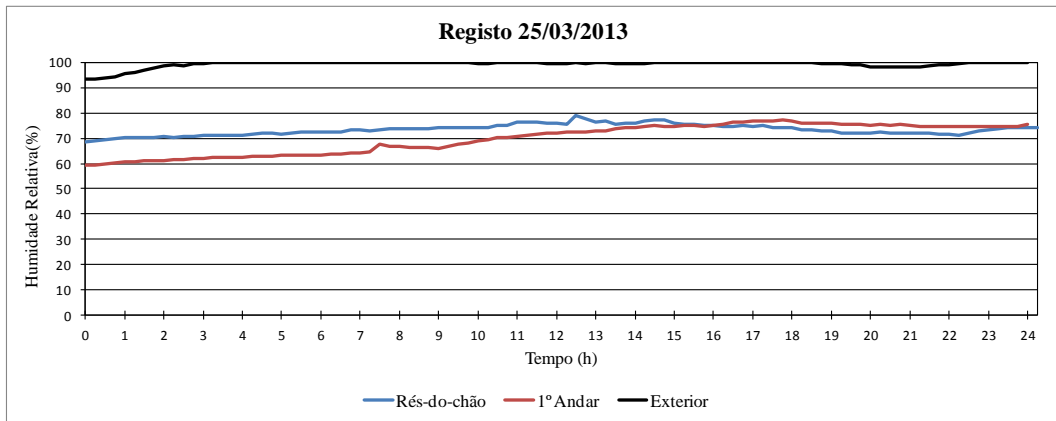


Figura 158 - Humidade relativa interior e exterior no dia 25 de março de 2013

Tabela 48 - Resultados do registo no dia 25 de março de 2013

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	15,00	11,50	99,90	93,30	-	-	61,94	5,48	SSO
Rés-do-Chão	19,30	16,60	79,20	68,60	Tint>Text	-			
1º Andar	19,50	16,80	77,40	59,30	Tint>Text	-			

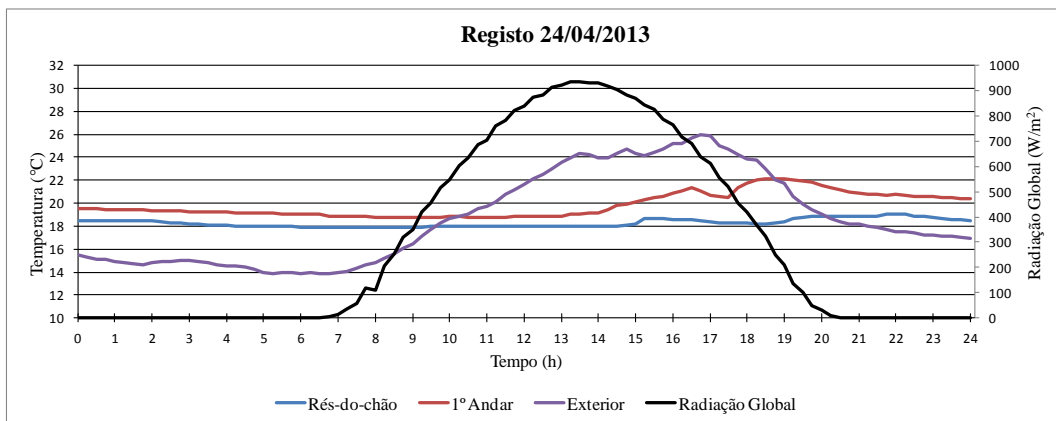


Figura 159 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 24 de abril de 2013

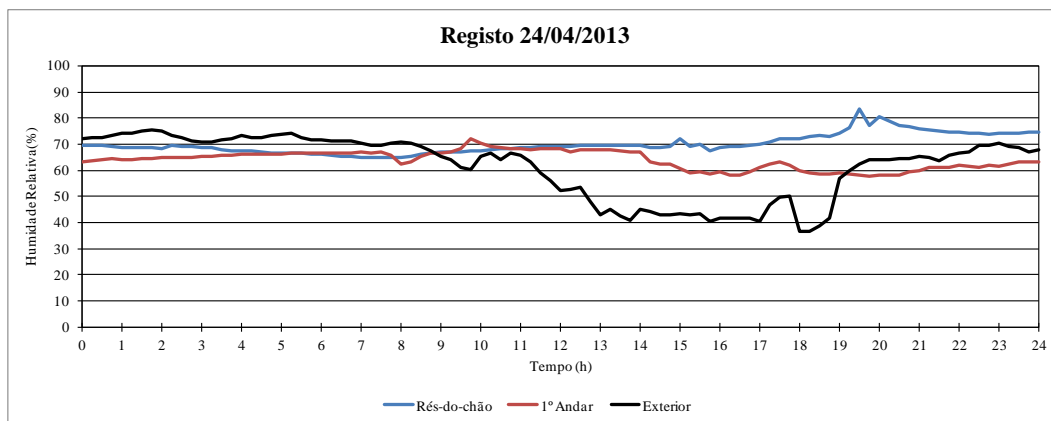


Figura 160 - Humidade relativa interior e exterior no dia 24 de abril de 2013

Tabela 49 - Resultados do registo no dia 24 de abril de 2013

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	26,00	13,90	75,60	36,40	-	-	525,39	1,69	NO
Rés-do-Chão	19,00	17,90	83,50	64,70	7,00	-			
1º Andar	22,10	17,90	72,20	57,80	3,90	1h30m			

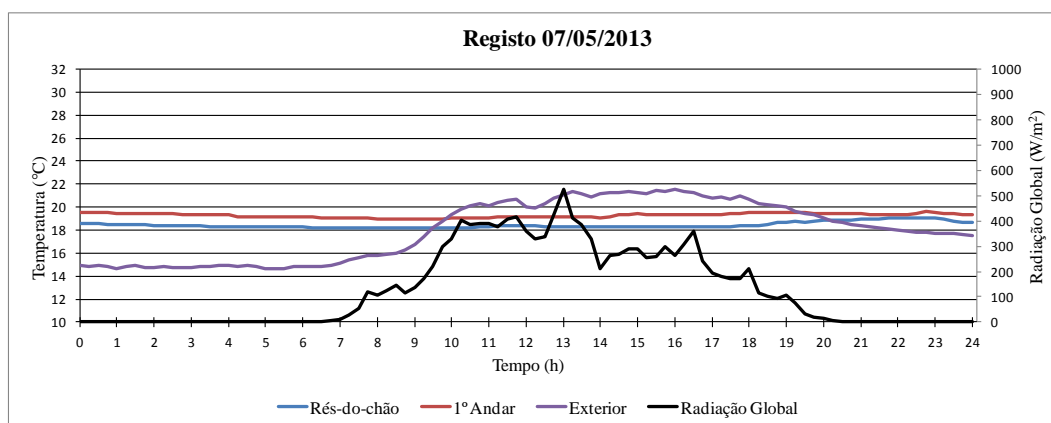


Figura 161 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 7 de maio de 2013

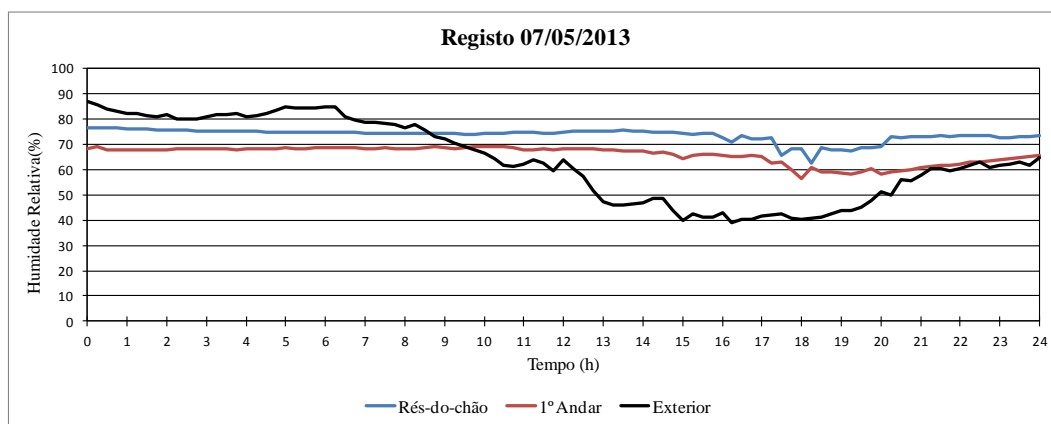


Figura 162 - Humidade relativa interior e exterior no dia 7 de maio de 2013

Tabela 50 - Resultados do registo no dia 7 de maio de 2013

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	21,60	14,60	86,90	38,90	-	-	227,80	2,06	ESE
Rés-do-Chão	19,10	18,20	76,70	62,70	2,50	2h30m			
1º Andar	19,60	19,00	69,30	56,50	2,00	2h00m			

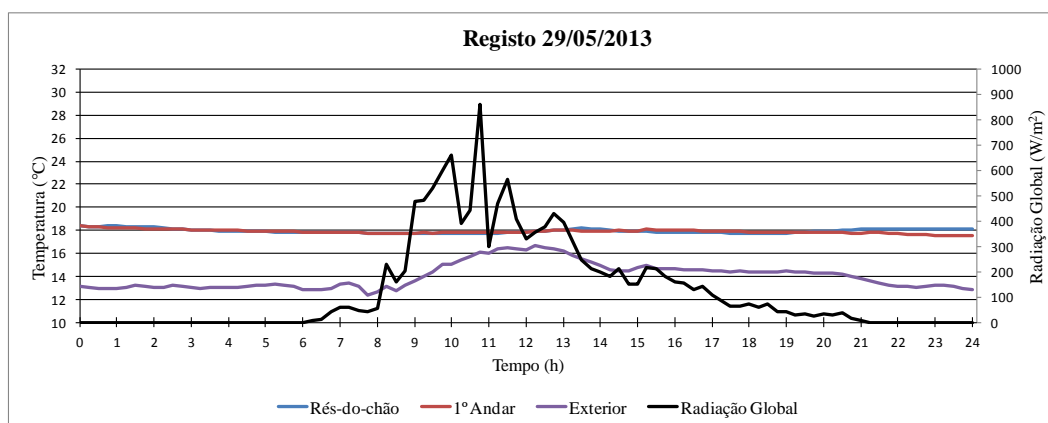


Figura 163 - Temperaturas interiores e exteriores e radiação global no dia 29 de maio de 2013

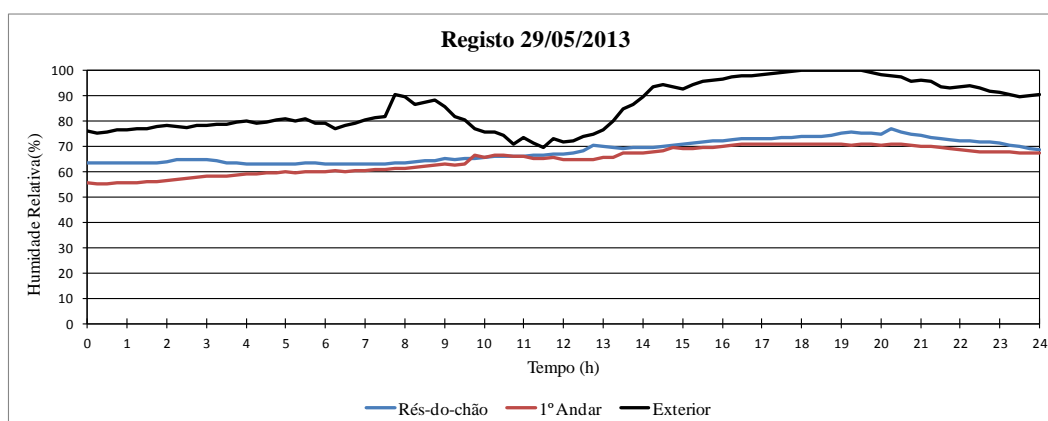


Figura 164 - Humidade relativa interior e exterior no dia 29 de maio de 2013

Tabela 51 - Resultados do registo no dia 29 de maio de 2013

	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)		Amortecimento (°C)	Atraso (h:m)	Radiação global média (W/m ²)	Vento	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo				Velocidade média (m/s)	Direção principal (dir)
Exterior	16,70	12,40	99,90	69,60	-	-	211,07	4,34	NO
Rés-do-Chão	18,40	17,70	76,90	62,90	Tint>Text	-			
1º Andar	18,40	17,50	71,10	55,30	Tint>Text	-			

O efeito da subida da temperatura exterior no período de primavera, refletiu-se nos registos de temperatura interior. Sendo característica da casa C a estratificação de temperatura de cerca de 1°C entre os pisos, existindo dias em que esta diferença foi praticamente nula, como se observa na figura 163.

A humidade relativa na generalidade deste período foi superior a 50%.

6.8.11. Previsão de arrefecimento – Período de primavera

Neste subcapítulo é feita uma análise mais geral dos resultados obtidos, dado que os dados apresentados e comentados são de todo o período de primavera.

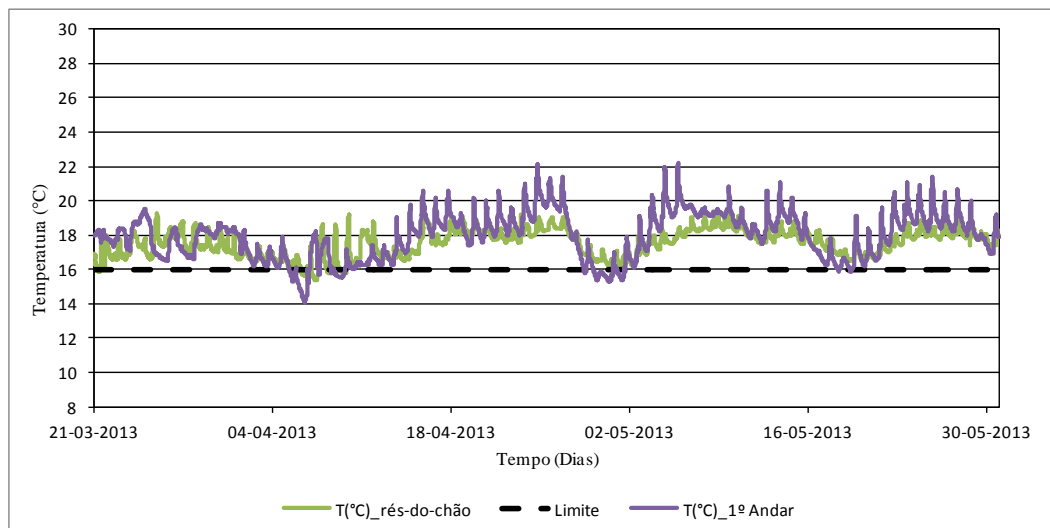
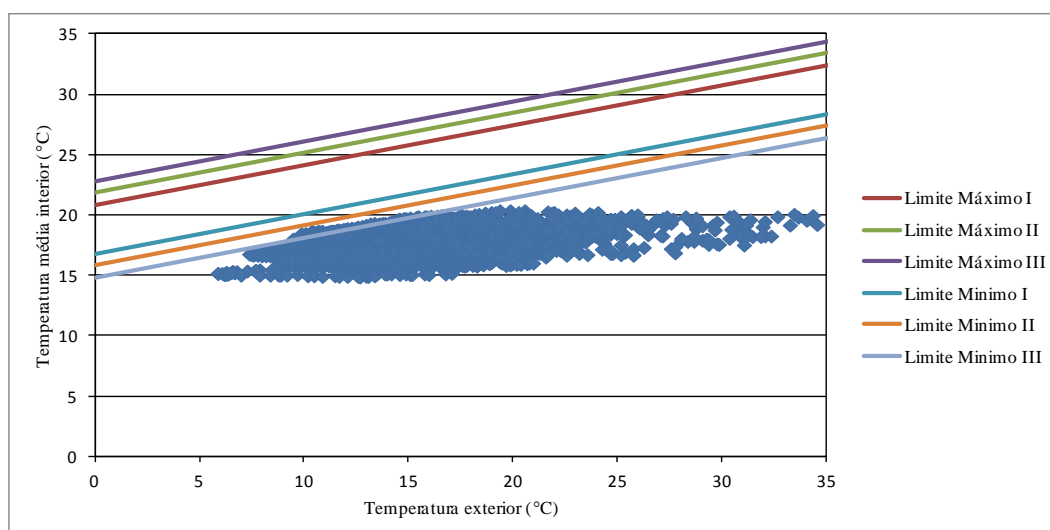


Figura 165 - Registo de temperatura para o período de primavera, no rés-do-chão e 1º andar, com indicação do limite de desconforto térmico

Para o período em questão as temperaturas registaram valores inferiores a 16°C 2,8% e 7,1% do tempo, para o rés-do-chão e 1º andar, respetivamente. As temperaturas médias foram 17,5°C e 17,9°C para o rés-do-chão e 1º andar, respetivamente.

6.8.12. Análise do conforto térmico segundo a EN 15 251 – Período de primavera

A norma EN 15 251 [5] apresenta relação entre a temperatura exterior e a temperatura interior. A temperatura interior usada para aplicação desta norma foi a média de todas as temperaturas interiores.



126 Figura 166 - Relação entre a temperatura média interior e exterior e limites especificados na norma Europeia EN 15 251 [5]

Como facilmente se pode verificar na figura 166, para este período em estudo, a maior parte dos valores ficam fora da gama de valores especificada na norma. Logo, podemos concluir que as medidas atuais de aquecimento e controlo de perdas térmicas pela envolvente nesta casa não são suficientes segundo o critério de conforto estabelecido na norma.

6.8.13. Síntese geral – Casa C

Na casa C, para os períodos em estudo, a amplitude dos registos de temperatura e humidade relativa interiores em geral são menores, apresentando a temperatura uma estratificação em altura com um diferencial variável. A inércia térmica desta casa, provocada pelas dimensões consideráveis das paredes de adobe, origina menores flutuações de temperatura interior. Com o abaixamento das temperaturas exteriores (período de outono e inverno), a influência nos registos da temperatura interior é pouco evidente, devido às medidas de aquecimento, mesmo que insuficientes, implementadas nesta casa. O aquecimento do ar interior tem como consequência direta a diminuição da humidade relativa, como verificado ao longo dos registos. O período com registos, segundo a norma EN 15 251 [5], mais respeitados é o período de verão.

Os valores de humidade relativa para esta casa, comparativamente com as casas A e B, apresentam-se mais aceitáveis (em média 65%), também associadas às medidas de aquecimento dos ocupantes, embora sejam apresentados registos de humidade relativa, em geral, altos com exceção de alguns casos. Sempre que a humidade relativa interior é superior a 70% aumenta a probabilidade de desenvolvimento de fungos e bolores, realçando mais uma vez a importância de ventilar e aquecer convenientemente os espaços interiores.

6.9. Síntese comparativa

Nesta secção faz-se o confronto dos resultados globais das três casas. Sintetizam-se nas tabelas 52, 53, 54 e 55 os parâmetros de conforto térmico mais relevantes para as quatro estações do ano: verão, outono, inverno e primavera.

Tabela 52 - Síntese comparativa dos parâmetros de conforto térmico para o período de verão.

Período de verão

		Casa A	Casa B	Casa C
Temperatura máxima (°C)	Cave/Rés-do-chão	22,0	24,1	23,3
	1º Andar	25,5	25,2	25,5
	Sótão	29,3	-	-
Temperatura mínima (°C)	Cave/Rés-do-chão	18,8	20,8	21,2
	1º Andar	20,6	20,5	21,4
	Sótão	20,1	-	-
Temperatura média (°C)	Rés-do-chão	-	22,1	22,0
	1º Andar	22,6	22,4	23,1
	Sótão	23,9	-	-
Humidade relativa máxima (%)	Cave/Rés-do-chão	87,1	80,0	82,5
	1º Andar	75,7	84,7	74,1
	Sótão	70,6	-	-
Humidade relativa mínima (%)	Cave/Rés-do-chão	59,4	57,9	52,6
	1º Andar	29,4	58,5	56,6
	Sótão	39,0	-	-
Vento	Velocidade média (m/s)	2,2		
	Direção principal (dir)	NNO		
Radiação global média (W/m ²)		441,9		
Avaliação do risco de sobreaquecimento (%)	Rés-do-chão	-	0	0
	1º Andar	2,3	0,2	2,5
	Sótão	27,7	-	-
Conforto térmico (%) (ver subcapítulo 6.5)		≈60	≈70	≈50

Na tabela 52 é possível observar que os valores registados de temperatura e humidade relativa interiores são muito díspares entre as casas, salientando-se apenas que na casa A, no 1º andar, a humidade relativa mínima é significativamente inferior aos restantes valores registados. Este facto é justificável com a ventilação transversal regular deste piso promovida pela proprietária desta casa.

Segundo a norma EN 15 251 [5], as três casas apresentam um bom comportamento do ponto de vista do conforto térmico (percentagem de registos médios superior a 50%), sendo a casa B a que apresenta melhores resultados, apresentando uma percentagem de registos dentro do intervalo admissível de cerca de 70%.

Na avaliação do risco de sobreaquecimento pode-se constatar que são registadas pequenas percentagens de excedência, à exceção do sótão da casa A que como já referido anteriormente possui falta de estanquidade ao ar dos vãos envidraçados e estrutura da cobertura.

De um modo geral e para as três casas, é no período de verão que estas construções apresentam melhores resultados no que diz respeito aos critérios de conforto térmico avaliados.

Tabela 53 - Síntese comparativa dos parâmetros de conforto térmico para o período de outono.

Período de outono

		Casa A	Casa B	Casa C
Temperatura máxima (°C)	Cave/Rés-do-chão	18,6	18,4	20,5
	1º Andar	21,4	19,0	20,8
	Sótão	21,9	-	-
Temperatura mínima (°C)	Cave/Rés-do-chão	10,8	9,4	14,6
	1º Andar	10,6	8,4	12,1
	Sótão	8,8	-	-
Temperatura média (°C)	Rés-do-chão	-	13,6	17,4
	1º Andar	15,4	13,2	16,3
	Sótão	14,2	-	-
Humidade relativa máxima (%)	Cave/Rés-do-chão	94,2	96,3	89,6
	1º Andar	90,4	91,2	88,5
	Sótão	93,4	-	-
Humidade relativa mínima (%)	Cave/Rés-do-chão	60,2	60,0	45,9
	1º Andar	50,1	64,2	54,5
	Sótão	52,1	-	-
Vento	Velocidade média (m/s)	2,4		
	Direção principal (dir)	ESE		
Radiação global média (W/m ²)		208,2		
Avaliação risco de arrefecimento (%)	Rés-do-chão	-	84,0	43,3
	1º Andar	64,2	89,5	9,4
	Sótão	84,9	-	-
Conforto térmico (%) (ver subcapítulo 6.5)		0	0	≈15

Para o período de outono, a casa C é a que apresenta um melhor comportamento em relação em conforto térmico, registando valores de temperatura e humidade relativa comparativamente melhores.

Na avaliação do risco de arrefecimento, as casas A e B apresentam percentagens muito elevadas de tempo em que as temperaturas interiores se encontram abaixo dos 16°C.

Segundo os critérios de avaliação de conforto térmico da EN 15 251 [5], as casas A e B não cumprem os limites definidos como sendo o intervalo de conforto térmico, sendo a casa C que apresenta os melhores registos.

Tabela 54 - Síntese comparativa dos parâmetros de conforto térmico para o período de inverno.

Período de inverno

		Casa A	Casa B	Casa C
Temperatura máxima (°C)	Cave/Rés-do-chão	15,8	20,1	21,4
	1º Andar	19,8	19,9	19
	Sótão	18,4	-	-
Temperatura mínima (°C)	Cave/Rés-do-chão	9,3	9,8	14,6
	1º Andar	10,5	9,0	13,6
	Sótão	8,6	-	-
Temperatura média (°C)	Rés-do-chão	-	13,2	17,0
	1º Andar	14,5	13,2	16,9
	Sótão	12,3	-	-
Humidade relativa máxima (%)	Cave/Rés-do-chão	91,1	96,6	83,4
	1º Andar	88,3	95,3	81,3
	Sótão	94,4	-	-
Humidade relativa mínima (%)	Cave/Rés-do-chão	58,6	54,6	41,6
	1º Andar	53,0	65,1	49,9
	Sótão	57,9	-	-
Vento	Velocidade média (m/s)	2,0		
	Direção principal (dir)	ESE		
Radiação global média (W/m ²)		185,0		
Avaliação risco de arrefecimento (%)	Rés-do-chão	-	86,9	14,5
	1º Andar	81,9	89,5	22,5
	Sótão	94,1	-	-
Conforto térmico (%) (ver subcapítulo 6.5)		0	≈5	≈25

Devido às medidas de aquecimento implementadas pelos proprietários da casa C, esta é a que apresenta o melhor comportamento térmico no período de inverno, uma vez que têm cuidados de climatização como já referido na secção 6.4. As casas A e B, registam percentagens muito elevadas de tempo em que o ambiente interior apresenta temperaturas inferiores a 16°C, realçando a necessidade de medidas de reforço no aquecimento e melhoria da envolvente térmica, opaca e translúcida para estes edifícios.

Segundo a norma EN 15 251 [5] a casa C é a que apresenta uma percentagem maior de valores dentro da gama definida pela norma como critério de conforto térmico.

Tabela 55 - Síntese comparativa dos parâmetros de conforto térmico para o período de primavera.

Período de primavera

		Casa A	Casa B	Casa C
Temperatura máxima (°C)	Cave/Rés-do-chão	16,9	21,9	19,4
	1º Andar	19,8	20,3	22,2
	Sótão	22,6	-	-
Temperatura mínima (°C)	Cave/Rés-do-chão	11,6	14,2	15,4
	1º Andar	12,4	13,1	14,1
	Sótão	11,0	-	-
Temperatura média (°C)	Rés-do-chão	-	18,3	17,5
	1º Andar	16,5	17,3	17,9
	Sótão	16,7	-	-
Humidade relativa máxima (%)	Cave/Rés-do-chão	96,5	93,3	93,3
	1º Andar	85,4	90,1	81,4
	Sótão	93,0	-	-
Humidade relativa mínima (%)	Cave/Rés-do-chão	54,9	53,1	42,6
	1º Andar	56,3	57,9	48,0
	Sótão	50,1	-	-
Vento	Velocidade média (m/s)	3,4		
	Direção principal (dir)	NNW		
Radiação global média (W/m ²)		435,4		
Avaliação rico de arrefecimento (%)	Rés-do-chão	-	16,3	2,8
	1º Andar	31,2	18,7	7,1
	Sótão	38,6	-	-
Conforto térmico (%) (ver subcapítulo 6.5)		0	≈10	≈5

Para o período de primavera, a casa A é que apresenta uma maior percentagem na avaliação de arrefecimento e a casa C a que apresenta uma percentagem menor.

Segundo a norma EN 15 251 [5] estas casas não cumprem os requisitos, que esta define como a gama de valores de conforto térmico, a apresentando a casa B e C percentagens pequenas de registos dentro do intervalo admissível, correspondendo a um baixo conforto térmico. Neste período tipicamente não se recorre a sistemas de aquecimento, apresentando por isso piores resultados do que o período de inverno.

CAPÍTULO 7
Propostas de intervenção

CAPÍTULO 7 - Propostas de intervenção

7.1. Cobertura / Pavimentos exteriores

7.2. Envidraçados

7.3. Paredes

7.4. Sistema de ventilação

7.5. Reabilitação energética e integração de energias renováveis

7. Propostas de intervenção

As casas em adobe existentes em Portugal devem ser valorizadas tendo por base a sua reabilitação, promovendo a sustentabilidade ambiental. É, portanto, necessário desenvolver estratégias de intervenção que conciliem a preservação do património em terra, a melhoria significativa das condições de conforto e a melhoria do desempenho térmico e energético, tirando o maior partido do material (adobe) que confere uma boa inércia térmica ao edificado, principalmente no período de verão.

Na Europa, destaca-se o Reino Unido e a Alemanha como sendo muitas vezes considerados exemplos positivos de implementação de políticas inovadoras de eficiência energética, são prova disso os programas *CO2-Building Rehabilitation Programme* e *Supplier Obligation*, respetivamente [33].

A reabilitação do edificado antigo exige uma abordagem mais planeada em relação à estratégia e possíveis intervenções no âmbito da reabilitação térmica e energética. Antes da reabilitação é necessário o planeamento através das seguintes etapas: levantamento do edifício com a avaliação das componentes que precisam de ser imediatamente substituídas e as componentes que podem ser reaproveitadas; determinar o nível económico otimizado de melhoria de performance térmica para as componentes de construção individuais (paredes, cobertura, pavimentos, entre outros), avaliar o balanço de energia e necessidades de aquecimento consoante o nível de intervenção na habitação, tendo em conta que as necessidades de aquecimento irão condicionar a escolha do sistema de aquecimento e por fim, determinar a necessidade e localização do isolamento térmico nas soluções da envolvente.

No presente capítulo, abordam-se e sistematizam-se as principais medidas de intervenção nas casas de adobe, ao nível da melhoria do comportamento térmico e energético das mesmas, passíveis de serem adotadas na cobertura / pavimentos externos, envidraçados, paredes, ventilação e reabilitação energética, nomeadamente introdução e compatibilização com energias renováveis.

7.1. Cobertura / Pavimentos exteriores

Sendo a cobertura o elemento construtivo sujeito às maiores amplitudes térmicas, a introdução de isolamento térmico é considerado uma intervenção de eficiência energética prioritária, tendo em conta as vantagens imediatas em termos da diminuição das necessidades energéticas. Para as coberturas inclinadas, consideram-se dois procedimentos de reforço do isolamento que se distinguem pelo elemento da cobertura no qual se aplica o isolamento térmico: isolamento da esteira horizontal (caso do desvão não habitável) e isolamento das vertentes (caso do desvão habitável) [34].

No caso do desvão não ser habitável, é necessário aplicar a camada de isolamento térmico sobre a laje de esteira horizontal, eventualmente protegida superiormente, caso o desvão seja acessível, e assegurar uma franca ventilação do desvão com telhas de ventilação (figura 167:a)) e abertura ao nível do beiral ou empenas laterais (figura 167:b)) [34]. Em qualquer dos casos deve-se assegurar a herméticidade dos espaços interiores subjacentes de ruído, de maneira a não comprometer a solução de reforço térmico.

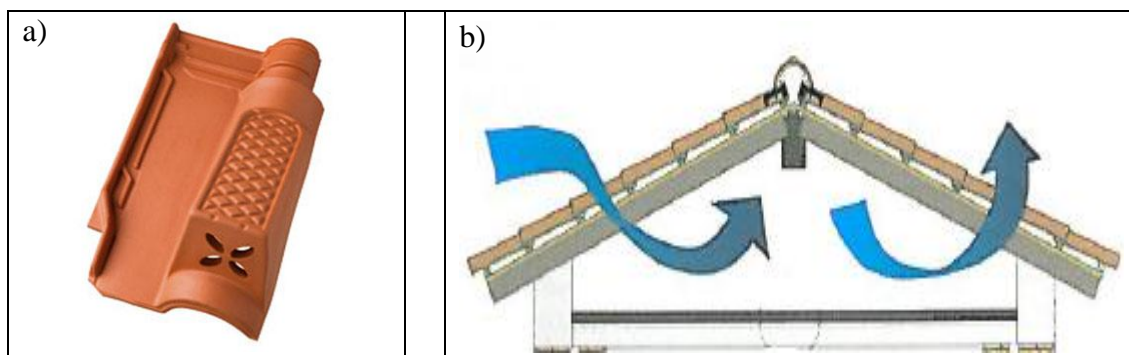


Figura 167 - Ventilação do desvão: a) Telha com sistema de ventilação; b) Desvão não útil francamente ventilado

Fonte: [35, 36]

As vantagens desta solução são: uma maior economia comparativamente com o isolamento das vertentes, visto que a quantidade de isolamento utilizada é significativamente menor e a sua aplicação é normalmente mais fácil, sendo que por outro lado, existirá um menor consumo de energia para aquecimento durante a estação fria (inverno), pois o desvão não necessita de ser aquecido. Na estação quente (verão), também haverá um melhor desempenho térmico devido à dissipação do calor promovida pela ventilação do desvão [34]. Na figura 168 é apresentado um exemplo de uma solução construtiva de implementação de isolamento num desvão não habitável, em cobertura inclinada em telha cerâmica, assente em estrutura de madeira.

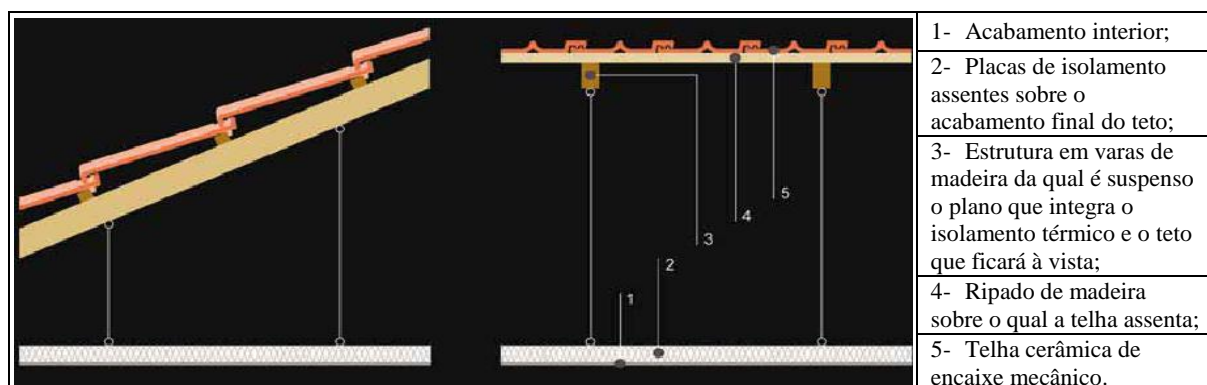


Figura 168 - Cobertura inclinada em telha cerâmica, assente em estrutura de madeira com desvão não habitável

Fonte: [37]

Quando o desvão é habitável, a solução deve passar pela aplicação do isolamento térmico aplicado segundo as vertentes da cobertura. Neste tipo de solução deve ser garantida uma lâmina de ar

ventilada, entre o revestimento exterior da cobertura e o isolamento térmico para evitar a degradação dos materiais e sistema de cobertura. A aplicação do isolamento desta forma implica alguns cuidados a ter em atenção, tais como a colocação de uma proteção superior ao isolante com uma camada que impeça a passagem da água no estado líquido, caso o isolamento seja colocado imediatamente sob o revestimento descontínuo da cobertura (figura 169). Caso não seja possível remover o revestimento exterior da cobertura, as soluções de isolamento térmico ficam reduzidas à sua aplicação na face inferior da estrutura da cobertura (figura 170) [34]

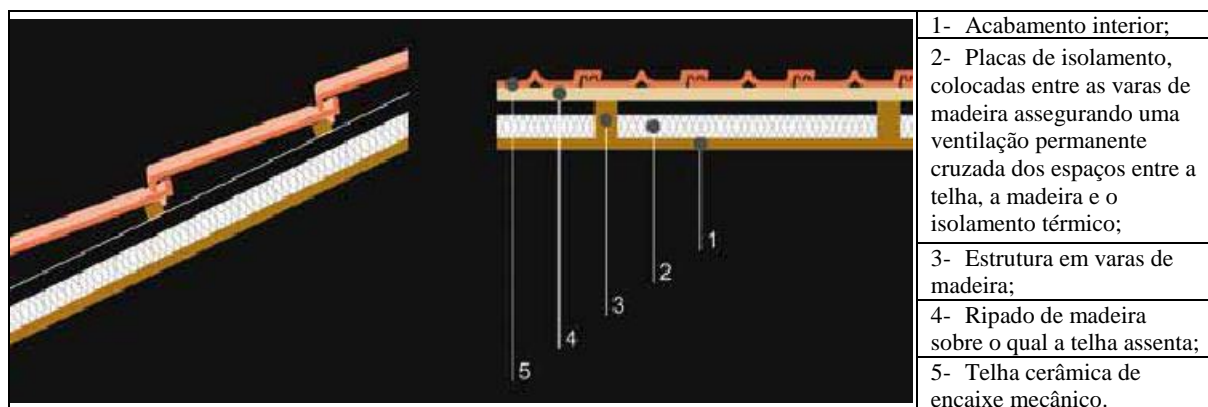


Figura 169 - Cobertura inclinada em telha cerâmica, assente em estrutura de madeira com desvão habitável e colocação de isolamento sob o revestimento descontínuo da cobertura

Fonte: [37]

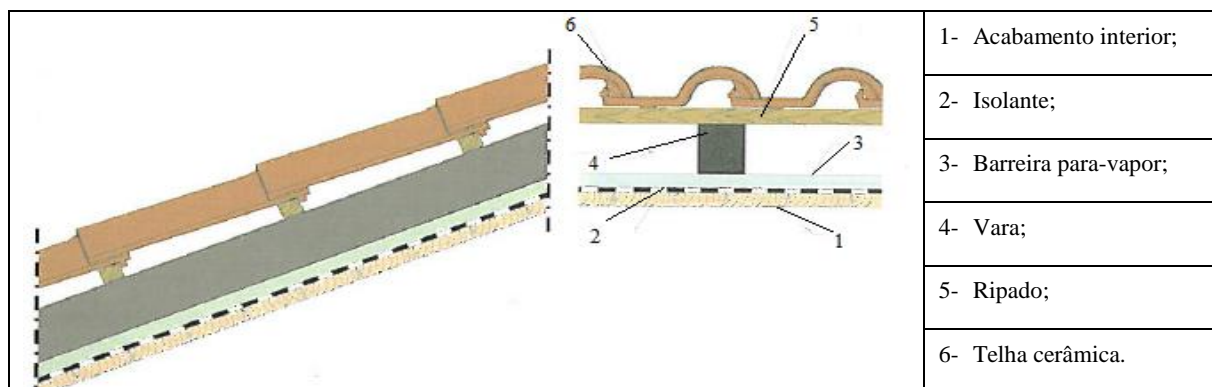


Figura 170 - Cobertura inclinada em telha cerâmica, assente em estrutura de madeira com desvão habitável e colocação de isolamento na face inferior da estrutura cobertura

Fonte: [36]

A empresa Coelho e Santos Telhas realizou um estudo [38], que comprova através de ensaios experimentais, que uma cobertura em telha cerâmica contribui para reduzir os efeitos térmicos da radiação solar e, ainda que de uma forma moderada, a telha também melhora o comportamento térmico da cobertura em relação às temperaturas mínimas. Pretendeu-se, de uma forma objetiva e quantificável, com este estudo avaliar o desempenho de coberturas revestidas com telha cerâmica. Para tal, através de um processo experimental, foram testadas três células com dimensões iguais, cujas paredes e pavimentos foram construídas com uma resistência térmica muito elevada, sendo as trocas

térmicas com o interior muito reduzidas. Das quatro experiências realizadas às três células, a experiência 3 é apresentada como exemplo, da qual se apresentam os resultados na figura 171. Para esta experiência, a cobertura da célula 1 e 2 apresentam sobre a chapa de aço um revestimento em telhas cerâmicas assentes sobre ripas, tendo sido na célula 1 argamassadas as telhas do beirado e da cumeeira, para impossibilitar a entrada ou saída de ar e na célula 2 não, para permitir a entrada e saída de ar; a cobertura da célula 3 é em chapa de aço (ver figura 172: a) e b)) [38].

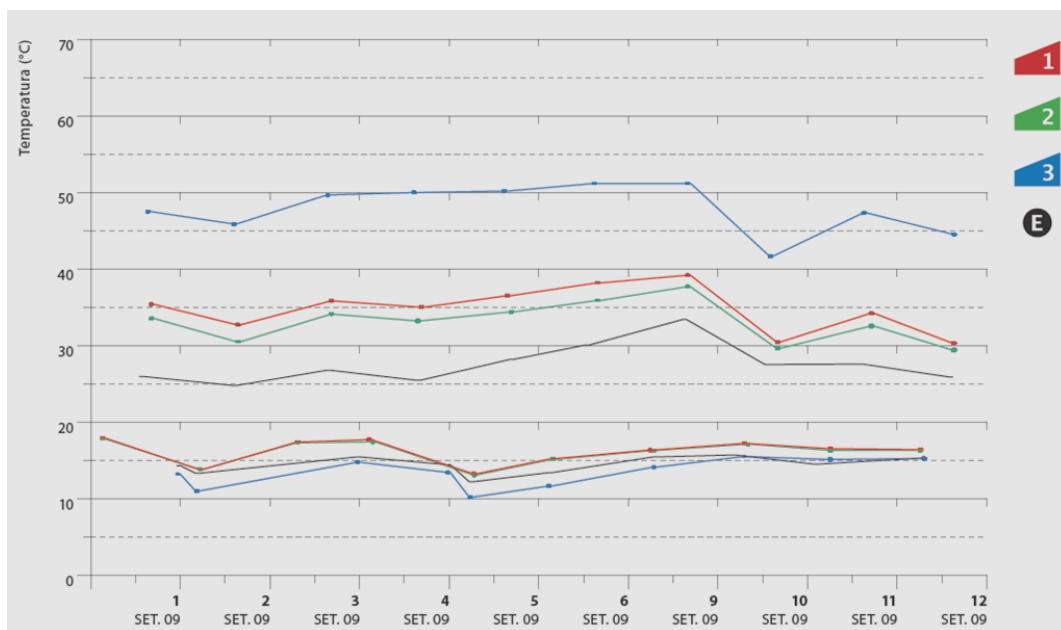


Figura 171 - Gráfico das temperaturas interiores da célula 1, 2 e 3 e da temperatura exterior (E) [37]



Figura 172 - 3: a) Célula 2 com cobertura ventilada; b) Vista geral das células durante a experiência [37]

Como já foi referido, a aplicação de isolamento segundo as vertentes da cobertura, é necessário promover a ventilação da face inferior da telha (micro-ventilação). Para que se verifique esta circulação de ar, é necessário que exista um espaço livre sob as telhas com 2 a 4 centímetros de altura (dimensão corrente das ripas) (ver figura 173: a)). As ripas devem ser interrompidas 2 a 3 centímetros em cada 3 a 4 metros para permitir a circulação de ar (ver figura 173: b)). O movimento do ar para que haja ventilação pretende-se que seja natural, ou seja, que o ar entre pelo beirado (com ou sem influência

do vento) e que saia pela cumeeira (ver figura 173: c)). Este movimento é criado pelo aquecimento do ar que naturalmente fará com que haja subida do ar. Caso não exista um beiral e uma cumeeira ventiladas será necessário implementar algumas medidas complementares, tais como: abertura de orifícios na zona do beirado com garantia da entrada do ar e a utilização de telhas de ventilação, a colocar na 2ª ou 3ª fiada junto ao beiral e na penúltima, junto à cumeeira (ver figura 173: d) e e)). As telhas de ventilação junto ao beiral e junto à cumeeira devem estar desencontradas, para que desta forma obriguem o ar a percorrer toda a cobertura [36].

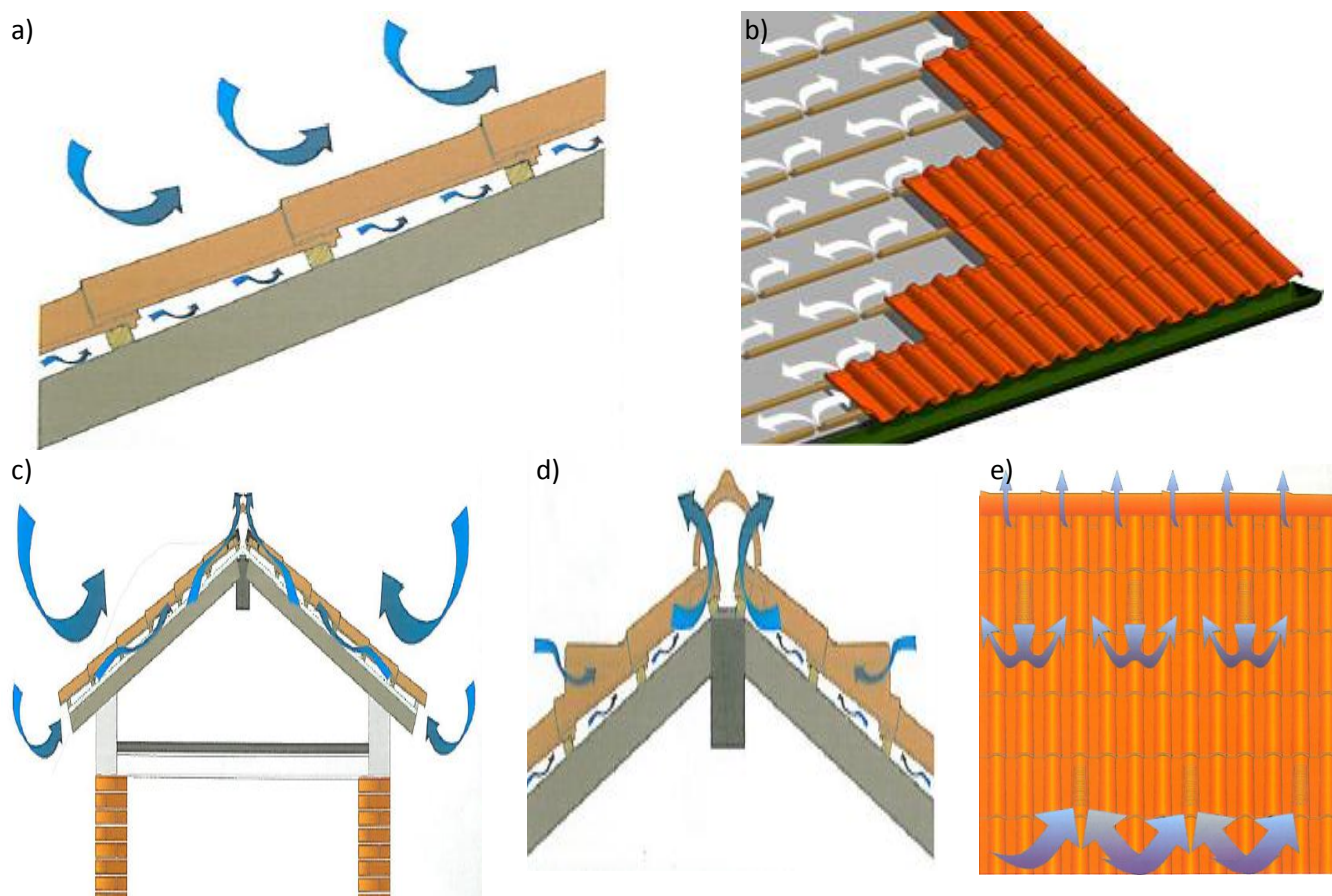


Figura 173 - Ventilação da cobertura: a) Micro - ventilação na face inferior da telha; b) Ripado interrompido com cortes transversais permitindo a ventilação; c) Mecanismo de ventilação entre o beirado e a cumeeira; d) Efeito da colocação de telhas de ventilação na cobertura; e) Efeitos da colocação desencontrada de telhas de ventilação na cobertura.

Fonte: [36]

7.2. Envidraçados

Os envidraçados assumem um papel muito importante devido à maior percentagem de perdas e ganhos de calor que ocorrem através dessa superfície, sendo elementos reguladores da assimetria térmica dos espaços. De forma a aumentar o conforto térmico e a eficiência energética é essencial evitar a entrada de correntes de ar quente ou frio, consoante a estação do ano [39].

A função das áreas envidraçadas caracteriza-se pela redução das infiltrações de ar não controladas, pelo aumento da captação de ganhos solares no inverno, pelo reforço da proteção da radiação solar no

verão e pela melhoria das condições da ventilação natural. Caso algum destes pontos não seja adequado, as perdas de calor provocadas pela sua ineficiência representa um aumento significativo das necessidades de aquecimento [39].

Nas opções de conservação e dependendo do estado de degradação das caixilharias existentes são algumas as soluções que se podem aplicar, tais como: manter os caixilhos existentes, introdução de uma segunda caixilharia pelo interior ou substituir a caixilharia existente por uma nova. É importante realçar a necessidade de um estudo diagnóstico para que as decisões tomadas e as intervenções de reabilitação sejam corretas e eficazes [40].

Na reabilitação/restauro de caixilharias existentes devem ser ponderados vários fatores, nomeadamente: o valor económico das caixilharias existentes, as condicionantes técnicas e económicas de restauro das caixilharias e o desempenho destas caixilharias, que poderá ficar aquém das exigências de conforto. Esta opção é justificável para edifícios de valor histórico, essencialmente. A estratégia de reabilitação das caixilharias originais poderá passar por níveis de intervenção mais ou menos profundos, nomeadamente através: da manutenção corrente, reparação ligeira e da substituição pontual de peças degradadas. Para melhoria do desempenho das caixilharias podem ser aplicadas outras medidas com alteração da imagem original pouco significativa, sendo estas: introdução de vedantes de borracha em pontos críticos, reforço de encaixes, adaptação ou substituição de ferragens, aplicação de tintas, massas e mástiques com melhor desempenho e durabilidade, remoção parcial dos componentes da caixilharia, substituição das peças de madeira degradadas (se for o caso), limpeza da madeira e aplicação de tratamento de preservação, aplicação de nova pintura, tratamento das juntas de ligação com o contorno, verificação do funcionamento da caixilharia, e utilização de vidros com melhor desempenho [40]. Uma segunda opção pode ser a introdução de uma segunda caixilharia pelo interior, caso fisicamente isso seja possível. Esta solução revela-se globalmente melhor que a anterior, relativamente ao seu desempenho térmico mantendo a arquitetura preexistente.

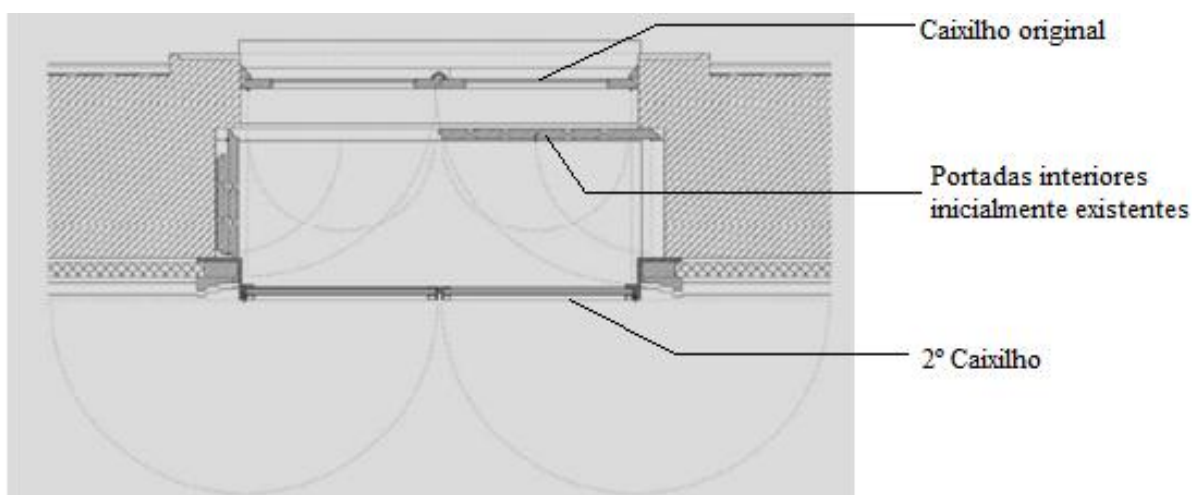


Figura 174 – Exemplo de conservação da caixilharia existente e introdução de uma segunda caixilharia interior (corte horizontal).

Fonte: [40]

Quando se opta pela substituição da caixilharia existente por uma nova caixilharia, o desenho e os materiais a utilizar devem ser adaptados a cada caso. Um exemplo muito frequente nesta opção é a substituição, para além do caixilho, do vidro simples por vidro duplo [40]. No que se refere aos vidros, as janelas que possuem vidros duplos oferecem maior capacidade de isolamento quando comparado com um vidro simples, para além de que a presença de ar entre os vidros permite reduzir a perda de calor de inverno e ganhos indesejáveis no verão [39]. Quanto às caixilharias, estas desempenham um papel chave na dissipação do calor, sendo as caixilharias com corte térmico as que apresentam melhores propriedades térmicas. As caixilharias com corte térmico são na realidade constituídas por dois perfis independentes, unidos por perfis de poliamida, garantindo que se consegue o isolamento térmico entre o elemento do exterior e o elemento do interior, independentemente do material do caixilho (madeira, alumínio ou PVC) [39].

O valor investido na reabilitação ou substituição das janelas é recuperando em pouco tempo na poupança de energia de aquecimento e arrefecimento [41].

Para qualquer uma das soluções é necessário ter em conta as questões da ventilação dos compartimentos, já que o aumento da estanquidade das janelas elimina a ventilação natural que tradicionalmente se realizava através das folgas e frinchas ou outras imperfeições da caixilharia. A elevada melhoria do comportamento higrotérmico das janelas poderá ter como consequência anomalias, nomeadamente: o aparecimento de condensações nas paredes e teto desse compartimento se não for introduzido qualquer isolamento térmico nas superfícies em contacto com o exterior.

7.3. Paredes

A colocação de isolamento térmico nas paredes da envolvente de uma construção antiga é essencial para garantir o conforto térmico durante todo o ano, principalmente no inverno, e para tornar a casa mais eficiente em termos energéticos. O objetivo principal é manter o ar interior da casa a uma temperatura confortável para os habitantes, recorrendo à colocação de isolamento térmico. Isolar termicamente as paredes da envolvente da casa permite minimizar as trocas de calor com o exterior e, consequentemente reduzir as necessidades de aquecimento/arrefecimento, e permite diminuir os riscos de ocorrência de condensações [16, 39].

A disposição do isolamento na reabilitação pode ser feita de duas formas: reabilitação de fachadas com a colocação de isolamento pelo exterior ou reabilitação de fachadas com a colocação de isolamento pelo interior. A escolha da colocação mais adequada do isolamento está diretamente condicionada com as características construtivas e arquitetónicas de cada casa em estudo.

Os sistemas de isolamento térmico de fachadas pelo exterior constituem uma ótima solução tanto do ponto de vista energético como do ponto de vista construtivo. Quando esta solução é possível, tem

como principais vantagens: a eliminação das pontes térmicas e a preservação da inércia térmica interior da casa [39]. As pontes térmicas são áreas da envolvente dos edifícios onde, devido à sua geometria ou à existência de materiais com elevada condutibilidade térmica, o calor do ambiente interior encontra um caminho fácil para se transmitir ao exterior. De uma maneira geral, todas as transições entre diferentes elementos construtivos, estão nesta situação [42]. Na figura 175, está representada a distribuição de temperaturas numa zona de ponte térmica, neste caso a ligação entre a parede e a laje de cobertura.

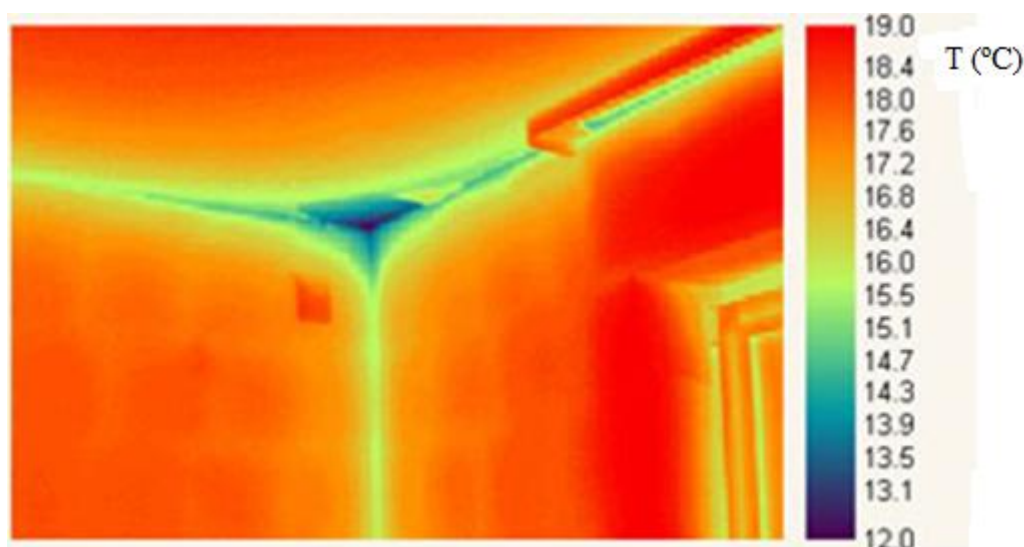
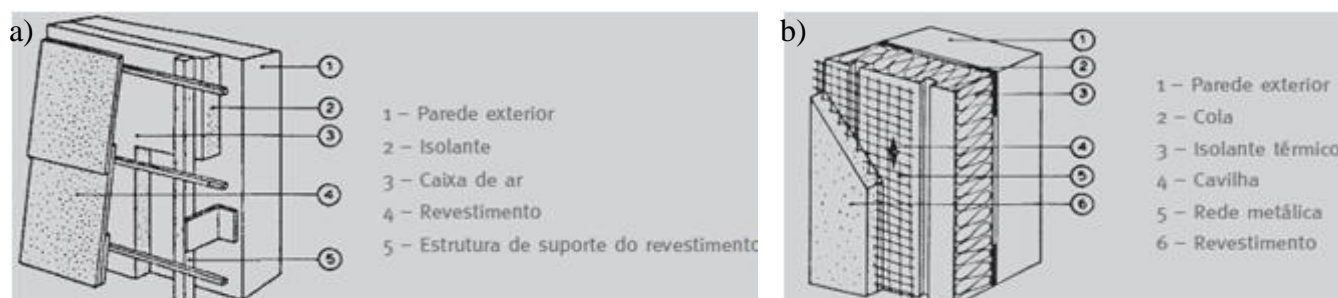


Figura 175 - Distribuição de temperaturas de uma ponte térmica (zona de cunhal e ligação de parede-cobertura)

Fonte: [35]

Como desvantagem, o isolamento pelo exterior, tem a necessidade de compatibilização com as padieiras, peitoris e vãos, sendo esta uma oportunidade para refazer os mesmos. De um modo geral, os sistemas de isolamento pelo exterior podem ser: revestimento independente com interposição de um isolante térmico no espaço de ar (figura 176: a)), constituídos por uma camada de isolamento térmico aplicada sobre o suporte e um revestimento exterior para proteção das solicitações climáticas e mecânicas, normalmente conhecido por ETICS (figura 176: b) e c)) e revestimentos isolantes, por exemplo, revestimentos prefabricados isolantes descontínuos e rebocos isolantes (figura 176: d)) [39].



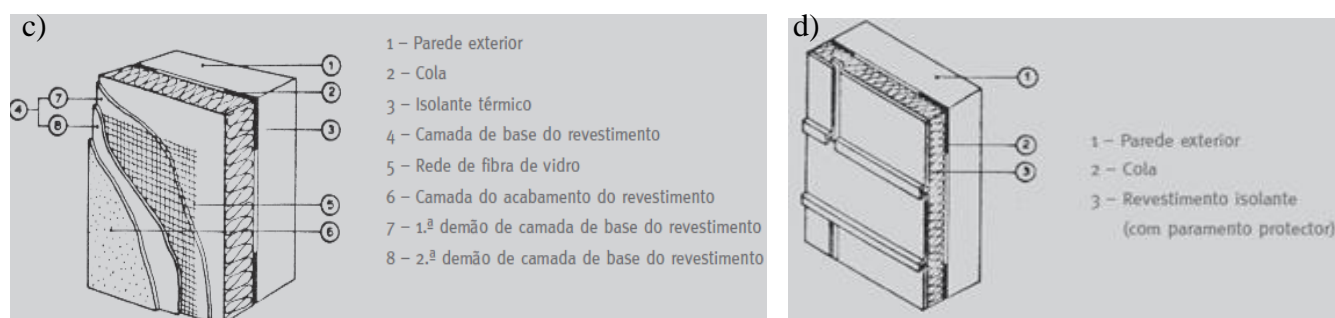


Figura 176 - Isolamento térmico de fachadas pelo exterior: a) Revestimento independente descontínuo com isolante térmico na caixa-de-ar; b) Sistema de isolamento térmico composto exterior com revestimento espesso; c) Sistema de isolamento térmico composto exterior com revestimento delgado; d) Sistema de isolamento térmico por elementos descontínuos pré-fabricados [34]

A reabilitação térmica da fachada pelo interior deve ter em conta que existirá perda de área útil no interior da casa. Este reforço térmico deve ter em consideração os encontros com os vãos (janelas e portas), assim como a resolução das pontes térmicas. Para esta medida de reabilitação, as soluções podem ser as seguintes: os painéis isolantes prefabricados, fixados contra a parede a reabilitar ou a execução de uma contra fachada no lado interior dessa parede (figura 177: a) e b)) [34].

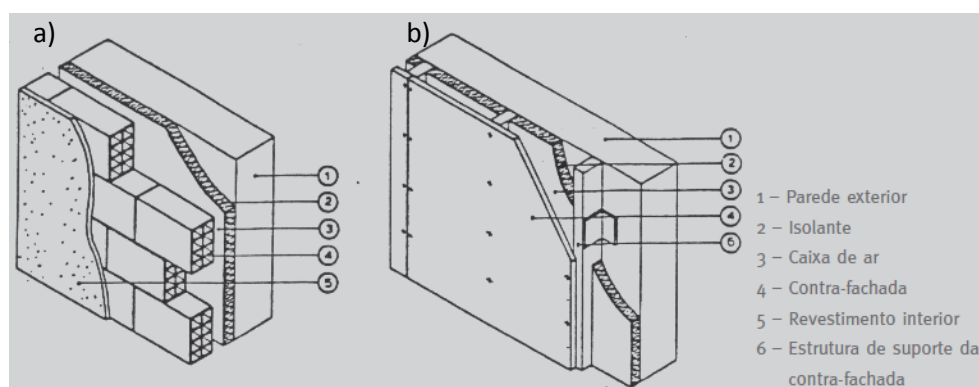


Figura 177- Contra fachada com isolante na caixa-de-ar: a) Contra fachada de alvenaria; b) Contra fachada de gesso cartonado [34]

7.4. Sistemas de ventilação

A ventilação dos espaços interiores numa casa é essencial quando se pretende aumentar os níveis de conforto térmico, ainda mais quando são tomadas medidas no sentido de reduzir a permeabilidade ao ar da envolvente, como por exemplo quando se aumenta a estanquidade dos vãos envidraçados. Nas casas habitadas com regularidade produzem-se grandes quantidades de vapor de água, principalmente em instalações sanitárias e cozinhas. O excesso de vapor de água e a falta de ventilação fará com que este dê origem fungos e bolores, prejudiciais para a saúde e conforto dos habitantes. Logo, a ventilação promove o aumento da qualidade do ar interior da casa, através: da renovação do ar, pois o movimento do ar acelera a dissipação de calor dos espaços e do corpo humano; e da climatização, pois o ar em movimento contribui para conduzir o calor acumulado nas paredes, cobertura e pavimentos pelo

fenómeno de convecção. A ventilação natural reduz as necessidades energéticas da casa, aumentando o conforto higrotérmico [16].

Quando as casas não são totalmente herméticas, o vento e o fluxo de ar provocado por diferenças de temperatura provocam caudais fracos de ventilação natural, mas com as medidas de reabilitação pretendendo tornar as casas cada vez mais estanques faz com que esta ventilação não tenha expressão, logo outras medidas de ventilação têm de ser consideradas. Evitar condensações e manter um conforto higrotérmico adequado só é possível através da ventilação regular, tendo os habitantes da casa abrir totalmente as janelas durante 5 a 10 minutos de 3 em 3 horas, mesmo durante a noite. Neste processo o ar saturado será substituído por ar fresco e quando esta renovação de ar estiver concluída não é necessário manter a janela aberta. Sabe-se que isto não é uma prática comum e muitas vezes é mesmo impraticável. Em consequência, a qualidade do ar é geralmente baixa e existe um risco acrescido de percentagens de humidade relativa elevadas. Por outro lado, se a ventilação for excessiva o ar poderá tornar-se seco, o que também não é pretendido. A quantificação das necessidades de ventilação não é um processo simples, mesmo para especialistas na área. Na figura 178, é apresentado um gráfico com registos de humidade relativa no interior de um quarto de um edifício antigo sem isolamento térmico e na face interior da parede exterior do mesmo, que ilustra porque a ventilação é tão importante. A medição foi feita entre o dia 3 e 9 de fevereiro de 2001 [43].

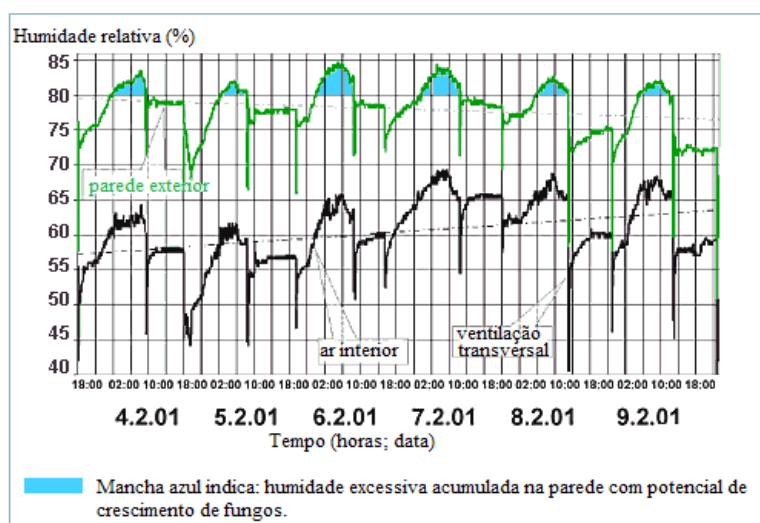


Figura 178 - Medição do teor de humidade relativa do ar num quarto de um edifício antigo e da superfície exterior da parede.

Fonte: adaptado de [43].

É possível observar que a humidade relativa está continuamente a ser libertada para o ambiente, especialmente à noite. Sendo também possível observar que quando se abre a janela para ventilar o espaço, a humidade relativa baixa, embora na maioria do tempo permaneça acima dos 60%. A curva verde mostra a humidade relativa do ar interior junto da parede exterior, verificando vários períodos, assinalados a azul, em que a humidade relativa é superior a 80% potenciando o crescimento de fungos. A ventilação efetuada neste período de tempo para medição mostrou-se insuficiente [43].

A solução mais simples para este problema pode ser a ventilação natural através da abertura de janelas. Este processo nem sempre se verifica suficiente, como referido anteriormente, e tem também a desvantagem do aumento do ruído, a entrada de insetos e o facto de não ser muito viável esta prática no inverno.

Na atualidade existem sistemas de ventilação com recuperação de energia (calor) que permitem manter a temperatura interior do edifício a níveis confortáveis ao mesmo tempo que renovam constantemente o ar interior, proporcionando uma excelente qualidade do mesmo. Os sistemas de recuperação de energia integrados são constituídos por materiais tecnologicamente avançados que permitem a entrada de ar renovado pré-aquecido no inverno ou pré-arrefecido no verão. Estes sistemas controlam o fluxo de ar tratado insuflado no ambiente e de extração do ar viciado. Durante o processo, um permutador de calor integrado, restaura uma grande percentagem de energia do ar de extração para o novo ar. Na figura 179, é apresentado de uma forma simplista este sistema. Este sistema exige a passagem de condutas, sendo que nos edifícios antigos esta deve ser feita de uma forma inteligente podendo o sótão servir de zona técnica a este sistema. Este processo implica um investimento inicial, compensado ao fim de algum tempo pois é um sistema com grandes vantagens em termos de qualidade do ar interior e conforto térmico [44].

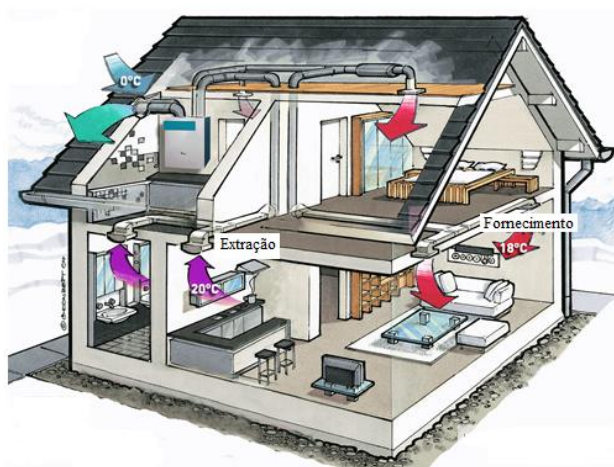


Figura 179 – Esquema do sistema de ventilação da casa com recuperação de calor

Fonte: [45].

7.5. Reabilitação energética e integração de energias renováveis

A eficiência energética de uma casa depende diretamente da redução do consumo de energia para o mínimo necessário de forma a garantir o conforto térmico e a qualidade do ar. A reabilitação energética de uma casa é, portanto uma abordagem inovadora, que tem por objetivo racionalizar a gestão de energia, favorecendo a utilização de energias renováveis, entre as quais a energia solar, considerando ser aquela que está mais amplamente disponível para consumo doméstico. A energia solar é uma energia limpa que favorece o abandono da utilização do petróleo dentro de uma escala

assinalável, e representa um contributo enorme para a redução de emissões de CO₂, diminuindo o consumo dos equipamentos convencionais utilizados no aquecimento de água como são os esquentadores e caldeiras murais a gás e os termoacumuladores a gás e elétricos [41]. Assim sendo, as tecnologias usadas para produzir energias renováveis capazes de satisfazer as necessidades dos edifícios e que podem ser implementadas num processo de reabilitação são: coletores solares térmicos (CST), usados para a produção de águas quentes sanitárias (AQS) e aquecimento; módulos fotovoltaicos, para produção de energia elétrica; e pequenas turbinas eólicas, para a produção de energia elétrica [46].

A energia solar é neste momento a fonte de energia renovável mais atrativa, para além das suas características não poluentes, esta produz energia em quantidades equivalentes em algumas vezes ao consumo energético necessário. Esta pode ser aproveitada para a geração de energia através da instalação de painéis fotovoltaicos e para a produção de águas quentes através de coletores solares térmicos, para fins sanitários e climatização (ver figura 180) [46].

Os painéis fotovoltaicos têm a capacidade de absorver energia térmica e transformá-la, através das suas células fotovoltaicas, em eletricidade. Esta eletricidade pode alimentar diretamente o edifício ou ser vendida à rede (essencialmente quando a produção de energia excede as necessidades do edifício).

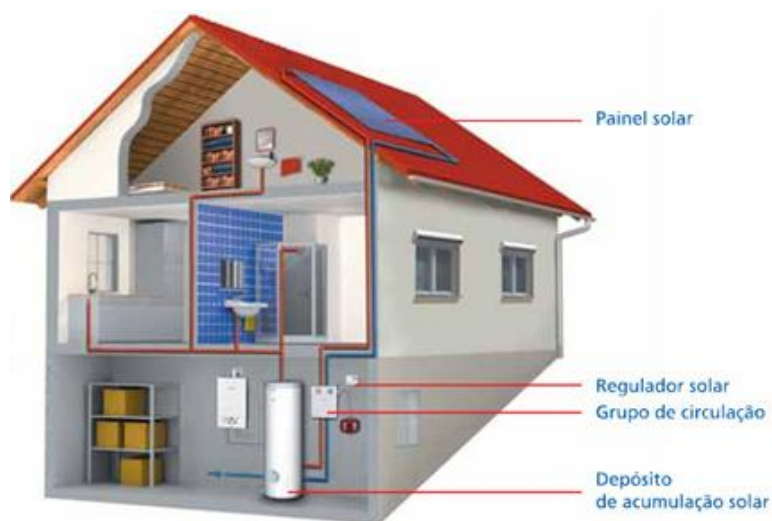


Figura 180 – Esquematização da colocação de painéis fotovoltaicos e de coletores solares térmicos.

Fonte: [35]

Os sistemas de micro e mini-eólicas com potência entre 1kW e os 50kW também podem ser usadas para aumentar a eficiência energética do edifício, embora estes sistemas não sejam de uso comum devido aos elevados custos, às condicionantes de localização do edifício e da direção e intensidade do vento [46].

Qualquer que seja a estratégia, a compatibilização com o edifício é essencial, quer pela integração de painéis ou definição de uma zona técnica no interior do edifício.

CAPÍTULO 8
Conclusões e perspectivas de trabalho futuro

CAPÍTULO 8 - Conclusões e perspectivas de trabalho futuro

8.1. Conclusões principais

8.1.1. Construção em alvenaria de adobe

8.1.2. Comportamento e características térmicas das construções em terra

8.1.3. Caracterização construtiva das casas de adobe

8.1.4. Monitorização das casas e resultados obtidos

8.1.5. Propostas de intervenção

8.2. Perspetivas de trabalho futuro

8. Conclusões e perspectivas de trabalho futuro

Este trabalho foi realizado tendo por base a monitorização termohigrométrica de construções em adobe e elaborado, em três fases. Numa primeira fase, foram monitorizadas as condições termohigrométricas de 3 casas antigas de adobe no concelho de Ílhavo, durante aproximadamente um ano (verão, outono, inverno e primavera). A segunda fase, teve como principal tarefa o tratamento e avaliação dos dados de humidade relativa e temperatura recolhidos da monitorização das casas, nomeadamente através de gráficos. A terceira fase, teve como principal motivação o facto de que as casas em adobe devem ser mais valorizadas, promovendo-se a sua reabilitação. Foi, portanto, apresentado no último capítulo medidas e estratégias gerais de reabilitação das casas de adobe, conciliando a preservação do património, a melhoria das condições de conforto, nomeadamente do seu desempenho térmico e energético, tirando partido do material (adobe) que é a base da construção e confere uma boa inércia térmica às construções.

8.1. Conclusões principais

As principais conclusões desta dissertação são resumidas nos subcapítulos seguintes.

8.1.1. Construção em alvenaria de adobe

Até há pouco tempo, falar da construção em terra em Portugal, seria falar de uma construção utilizada num passado distante por franjas populacionais com poucos recursos económicos, que na impossibilidade de conseguirem adquirir materiais modernos como o aço, o cimento ou o tijolo, tinham de utilizar o que a natureza oferecia de forma gratuita. Os processos construtivos tradicionais em terra resumem-se basicamente à taipa, ao adobe e ao tabique, sendo estes tipos de construção encontrados em Portugal. Em Portugal, a construção em terra, como elemento estrutural, é predominante no sul e centro litoral. No sul, a técnica construtiva mais utilizada é a taipa. Relativamente ao adobe e apesar da sua enorme heterogeneidade, confirmada pelas inúmeras tipologias identificadas, a maioria das construções encontram-se confinadas sobretudo no centro litoral. A construção em alvenaria de adobe ainda existente na região de Aveiro corresponde sobretudo ao período entre o final do séc. XIX e os anos 40 do séc. XX [7].

A construção em terra trata-se de uma solução ecologicamente viável e interessante, uma vez que permite uma construção mais sustentável e uma maior preservação dos recursos naturais [13]. O material utilizado na construção em terra está ao alcance de todos, sendo inesgotável, fácil de trabalhar e duradouro, quando tomadas as devidas precauções. Uma casa construída em terra apresenta bom

comportamento térmico e acústico devido à grande inércia das suas paredes, que se comportam como uma barreira eficaz contra as intempéries [2].

8.1.2. Comportamento e características térmicas das construções em terra

O desempenho térmico dos edifícios em terra não depende unicamente do material, da técnica construtiva e das espessuras dos elementos da envolvente do edifício mas também do resultado do projeto. É importante ter em conta os fatores climáticos e os aspetos de orientação solar, proteção de paredes e dimensão das aberturas de esquadrias, sobretudo as que utilizam vidros [20]. A terra na sua constituição contém uma determinada quantidade de água em equilíbrio com o vapor de água no ar. Esta característica higroscópica da terra faz com que ela desempenhe a função de ar-condicionado natural, permitindo uma ambiente interior mais saudável, podendo assim ser comparada e classificada como PCM natural [27].

Estas características da terra, como material de construção, têm despertado a curiosidade e levado à realização de alguns estudos de avaliação do comportamento térmico do mesmo.

A quantificação térmica não é exata pois depende de cada pessoa, para além de que depende de vários fatores. Com o objetivo de obter um ambiente interior dos edifícios termicamente confortável para os seus ocupantes, as normas sobre o conforto térmico são uma ferramenta essencial. Ao longo deste trabalho foram avaliados os resultados obtidos através da norma EN 15 251 [5], que regula a qualidade do ambiente interior em edifícios, nomeadamente em termos térmicos.

8.1.3. Caracterização construtiva das casas de adobe

As casas em adobe possuem características próprias ao nível das soluções construtivas, sendo importante o conhecimento destas para que seja obtido a melhor compreensão do seu comportamento térmico em casos de intervenção para lhes conferir um maior conforto térmico. Para iniciar o estudo que fomentou o presente trabalho foi necessário caracterizar as construções antigas em adobe monitorizadas. A caracterização descrita ao longo do capítulo 5 focou-se nos elementos mais importantes e condicionantes do comportamento térmico, tendo em conta que as paredes da envolvente e estrutura das casas é adobe, com alguns elementos e componentes em betão armado, resultante da sua adaptabilidade ao longo do tempo.

8.1.4. Monitorização das casas e resultados obtidos

Para se atingir os objetivos deste trabalho e para uma melhor compreensão e caracterização do comportamento térmico das casas em alvenaria de adobe, optou-se por monitorizar as condições

higrotérmicas a partir da recolha de dados *in situ*. Assim sendo, com base nos dados obtidos na monitorização do ambiente das 3 casas, caracterizou-se termicamente cada ambiente, ao longo de um ano (verão, outono, inverno e primavera).

Na monitorização termohigrométrica e aquisição de dados das três casas foram usados termohidrógrafos da marca Testo, modelo 174H para registo da temperatura e humidade relativa.

Os resultados, para as três casas, foram expostos e discutidos de forma diferente. Em primeiro lugar, foi feita uma análise diária de alguns dias representativos, tendo como único critério de escolha, o facto de melhor explicarem o comportamento higrotérmico das casas para cada período referenciado, para além de representativos. De seguida foi feita a previsão de sobreaquecimento para cada período de registos de verão, definindo a percentagem de tempo que as temperaturas interiores registados são superiores a 25°C. Para os restantes períodos, e visto que não faz sentido a avaliação de sobreaquecimento, foi feita uma avaliação do arrefecimento, ou seja, verificar qual a percentagem de tempo em que o ambiente interior se encontra a uma temperatura inferior a 16°C. A análise de conforto térmico para os registos foi feita segundo a EN 15 251 [5].

Para a casa A e após a análise das temperaturas do ar e humidades relativas interior e exterior registadas durante aproximadamente um ano podem-se retirar algumas conclusões. A casa A apresenta um melhor comportamento no verão em relação às outras estações do ano, tirando partido da inércia térmica das paredes maciças e espessas de adobe, embora mesmo assim a mancha de registo não esteja toda contida dentro dos limites apresentados pela EN 15 251 [5]. Nesta casa já estão implementados alguns hábitos de melhoria do ambiente térmico interior, nomeadamente a ventilação natural regular e o aquecimento do espaço do 1º piso durante os períodos mais frios, no entanto ainda não são medidas suficientes para que sejam cumpridos os requisitos impostos pela norma, pois esta casa é dotada de envidraçados com elevada permeabilidade ao ar, comprometendo a eficácia do isolamento na cobertura. Nesta casa foram verificados fatores de atraso grandes e amortecimentos consideráveis entre as temperaturas máximas exteriores e interiores para a cave e no 1º andar.

Para a casa B, ao longo do ano de monitorização, foi registado um comportamento muito constante dos valores de temperatura e humidade relativa interiores. Devido à colocação dos sensores interiores, no rés-do-chão e 1º andar, sensivelmente no mesmo alinhamento verificou-se ao longo dos diferentes períodos uma estratificação da temperatura em altura, com diferencial de cerca de 1°C. Esta casa apresenta, para o período de verão, um comportamento bastante satisfatório, sendo que nunca se registaram intervalos de sobreaquecimento significativos. Nos restantes períodos também não se registou sobreaquecimento, embora os valores nem sempre estiveram dentro da gama de conforto definida por esta norma. Segundo a norma EN 15 251 [5], também foi o período de verão o que registou o maior número de valores que se enquadram no intervalo de conforto definido pela mesma. Os registos de humidade relativa, para os diferentes períodos de registo, apresenta valores sempre

superiores a 50%, evidenciando a falta de ventilação natural e aquecimento dos espaços. A alvenaria de adobe possui boa inércia térmica, pois motivou fatores de atraso e amortecimentos consideráveis entre as temperaturas máximas exteriores e interiores.

Na casa C, para os períodos em estudo, a amplitude dos registos de temperatura e humidade relativa interiores em geral são menores, apresentando a temperatura uma estratificação em altura com um diferencial variável. A inércia térmica desta casa, provocada pelas dimensões consideráveis das paredes de adobe, origina menores flutuações de temperatura interior. Com o abaixamento das temperaturas exteriores (período de outono e inverno), a influência nos registos da temperatura interior é pouco evidente, devido às medidas de aquecimento, mesmo que insuficientes, implementadas nesta casa. O aquecimento do ar interior tem como consequência direta a diminuição da humidade relativa, como verificado ao longo dos registos. O período com registos, segundo a norma EN 15 251 [5], mais respeitados é o período de verão.

Os valores de humidade relativa para esta casa, comparativamente com as casas A e B, apresentam-se mais aceitáveis (em média 65%), também associadas às medidas de aquecimento dos ocupantes, embora sejam apresentados registos de humidade relativa, em geral, altos com exceção de alguns casos. Sempre que a humidade relativa interior é superior a 70% aumenta a probabilidade de desenvolvimento de fungos e bolores, realçando mais uma vez a importância de ventilar e aquecer convenientemente os espaços interiores.

8.1.5. Propostas de intervenção

As casas em adobe existentes em Portugal devem ser valorizadas tendo por base a sua reabilitação, promovendo a sustentabilidade ambiental. É, portanto, necessário desenvolver estratégias de intervenção que conciliem a preservação do património, a melhoria significativa das condições de conforto e a melhoria do desempenho térmico e energético, tirando o maior partido do material (adobe) que confere uma boa inércia térmica ao edificado, principalmente no período de verão.

A reabilitação do edificado antigo exige uma abordagem mais planeada em relação à estratégia e possíveis intervenções no âmbito da reabilitação térmica e energética.

No capítulo 7, foram abordados e sistematizadas, as principais medidas de intervenção nas casas antigas de adobe, ao nível da melhoria do comportamento térmico e energético das mesmas, passíveis de serem adotadas na cobertura / pavimentos externos, envidraçados, paredes, medidas de ventilação e reabilitação energética, nomeadamente introdução e compatibilização com energias renováveis.

8.2. Perspetivas de trabalho futuro

Espera-se que este trabalho, represente o início de futuras pesquisas e cooperação nos conhecimentos das necessidades de que carece o edificado em adobe. Identificam-se de seguida as perspetivas futuras de trabalhos a realizar dentro desta temática do comportamento térmico das construções em terra:

- Realizar a mesma instrumentação e análise para as mesmas casas de estudo, e se possível alargar este estudo a outras de forma a aumentar a informação disponível;
- Com base em construções em adobe, para além do estudo baseado no registo da temperatura e da humidade relativa, este deveria ser alargado ao registo de outros parâmetros, nomeadamente grau de ventilação dos espaços;
- Aplicar numa das casas de estudo algumas das medidas de reabilitação térmica proposta e comprovar os benefícios com posterior monitorização;
- Seria desejável desenvolver simulações dinâmicas de construções em adobe e calibração do modelo com os registos de monitorização.

Referências bibliográficas

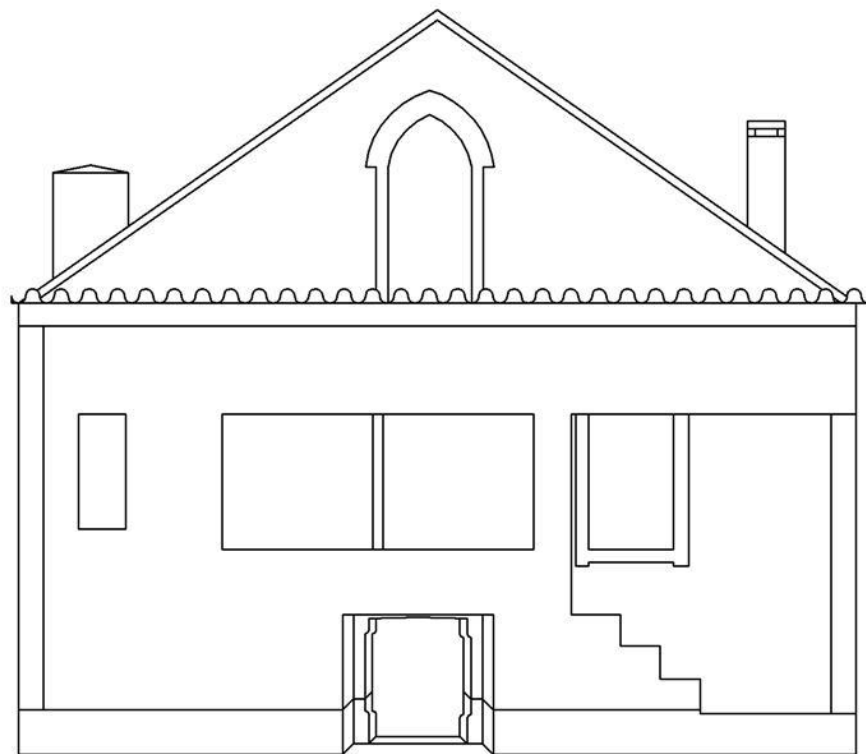
Referências Bibliográficas

1. Carvalho, I.; "A construção com terra em Portugal"; in *Revista Voz do Operário* 2006.
2. Mateus, R. and L. Bragança; "Tecnologias construtivas para a sustentabilidade da construção"; 2006; Porto. 978-989-95194-1-1.
3. Braga, A. and V. Rocheta; "A construção em terra e a sustentabilidade"; in *5º SEMINÁRIO Arquitectura de Terra em Portugal / 2007*: Departamento de Engenharia Civil - Universidade de Aveiro.
4. Schmidberger, E.V.; "A Responsabilidade do Sector da Construção Perante o Aquecimento Global"; in *5º SEMINÁRIO Arquitectura de Terra em Portugal* 2007: Departamento de Engenharia Civil - Universidade de Aveiro, Portugal.
5. (CEN), C.E.d.N.; "Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings - Addressing Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustics"; 2007; EN 15 251.
6. 80/2006, D.-L.; "RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios"; 4 de Abril de 2006.
7. Torgal, F.P., S. Jalali, and R.M.G. Eires; "A Construção em Terra"; 2009. 978-972-8692-40-7.
8. Torgal, F.P. and S. Jalali; "Patologia e reabilitação de construções em terra"; in *Arte & Construção* 228.
9. Rodrigues, P.F. and F.M.A. Henriques; "Construções em terra: conservação do património existente e perspectivas futuras"; in *PATORREB* 2006.
10. Rodrigues, P.F.; "Construções em terra crua. Tecnologias, potencialidades e patologias."; in *Revista Musa, n.º2 (Museu de arqueologia e Etnografia do distrito de Setúbal)* 2007: Setúbal: Fórum Museológico do Distrito de Setúbal.
11. Torgal, F.P. and S. Jalali; "Construção em Terra: o Passado, Presente e o Futuro"; in *Revista Profissional da construção. Arte & Construção, Edição n.º.230* 2009: Portugal.
12. Varum, H., et al.; "Caracterização mecânica e patológica das construções em Adobe no distrito de Aveiro como suporte em intervenções de reabilitação"; 2005: Convento da Orada, Monsaraz, Portugal.
13. Meneses, T.A.d.F.; "Estudo do comportamento térmico de construções em alvenaria de adobe"; in *Departamento de Engenharia Civil / 2010*; Universidade de Aveiro.
14. Matias, L.M.; "Módulo 2 – Conforto Térmico em Edifícios, Parte I: Conforto Térmico em Ambientes Interiores"; in *Seminário Ambiente em edifícios urbanos*; 2000; Lisboa: LNEC.

15. Nicol, J.F. and M.A. Humphreys; "*Energy and Buildings*". Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. Vol. Volume 34, Issue 6. 2002.
16. Rodrigues, A.M., A.C. Piedade, and A.M. Braga; "*Térmica de Edifícios*"; 2009. 9789728620134.
17. Mendonça, P.J.F.d.A.U.d.; "*Estratégias para a Redução do Impacto Ambiental de Construções Solares Passivas em Climas Temperados*"; in *Departamento de Engenharia Civil* / 2005; Universidade do Minho: Guimarães.
18. Santos, C.A.P.d.; "*Módulo 2 – Conforto Térmico em Edifícios, Parte II: Soluções construtivas e conforto térmico*"; in *Seminário Ambiente em edifícios urbanos*; 2000; Lisboa: LNEC.
19. Lima, M.A.d.S.; "*Armazenamento de energia térmica em componentes de edifícios sobre os quais incide radiação solar directa*"; in *Faculdade de Engenharia* 1995; Universidade do Porto.
20. Neves, C.; "*O desempenho térmico da edificação de terra*". In *Arquitectura de Terra em Portugal*; Maria Fernandes e Mariana Correia. Lisboa: Argumentum; 2005. 972-8479-36-0. p. 185-188.
21. Viegas, J.C.; "*Ventilação natural de edifícios de habitação*"; 2010. 9789724916712
22. Silva, P.; "*Análise do comportamento térmico de construções não convencionais através de simulação em visualdoe*"; in *Departamento de Engenharia Civil*; Universidade do Minho – Escola de Engenharia.
23. Afonso, J.F.d.S.; "*Estudo do Comportamento Térmico de Edifícios Antigos*"; in *Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil* / 2009; Universidade Nova de Lisboa.
24. (CEN), C.E.d.N.; "*Ergonomics of the Thermal Environment — Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculation of the PMV and PPD indices and Local Thermal Comfort Criteria*"; 2001; EN ISO 7730.
25. American Society of Heating, R.a.A.C.E.; "*Ergonomics oh the Thermal Environment - Instruments for Measuring Physical Quantities*"; 2004; ASHRAE 55.
26. Jerónimo, R.M.S.; "*Avaliação do desempenho higrotérmico e do conforto de edifícios rurais reabilitados*"; in *Faculdade de Engenharia* / 2012; Universidade do Porto.
27. Fontaine, A.; "*Bâtir En Terre; Du Grain De Sable À L'Architecture*"; 2009. 9782701152042.
28. Morony, J.J.; "*Adobe Moisture Absorption & Temperature Control*"; 2005.
29. Menese, T., et al.; "*Comportamiento térmico de construções em alvenaria de adobe: Ensaios experimentais sobre três células de teste à escala*"; in *Construcción con tierra. Tecnología y Arquitectura. Congresos de arquitectura de tierra en Cuenca de Campos 2010/2011*; 2011; Cátedra Juan de Villanueva: Universidad de Valladolid.

30. "Google Mapas"; [cited 16 maio 2013].
31. "Testo"; [cited 21 maio 2013].
32. Matias, L.M.C.; "*Desenvolvimento de um modelo adaptativo para definição das condições de conforto térmico em Portugal*"; in *Laboratório Nacional de Engenharia Civil / 2010*; Universidade Técnica de Lisboa.
33. Rosenow, J. and R. Galvin; "*Evaluating the evaluations: evidence from energy efficiency programmes in Germany and the UK*". Energy and Buildings; 2013.
34. Anselmo, I., C. Nascimento, and E. Maldonado; "*Reabilitação energética da envolvente de edifícios residenciais*". Iniciativa Pública sobre Eficiência Energética de Edifícios; 2004.
35. "Google"; [cited 26 junho 2013].
36. Sousa, A.V.S.e., et al.; "*Manual de aplicação de telhas cerâmicas*"; 1998.
37. Tirone, L.; "*Coberturas eficientes - Guia para a reabilitação energético-ambiental do edificado*"; in *ADENE / Abril 2011*.
38. Silva, C.-C.d.; "*Estudo do comportamento térmico das coberturas revestidas com telha cerâmica* "; 2010.
39. Jardim, F.M.G.; "*Proposta de intervenção de reabilitação energética de edifícios de habitação*"; in *Escola de Engenharia / 2009*; Universidade do Minho.
40. Lopes, N.V.R.; "*Reabilitação de caixilharias de madeira em edifícios do século XIX e início do século XX*"; in *Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto / 2006*; Universidade do Porto.
41. ADENE; [cited 10 de junho 2013].
42. Abreu, I. and H. Corvacho; "*Reabilitação*". 2003.
43. Passipedia; "*Types of ventilation*"; [cited 26 junho 2013].
44. Zehnder; "*Qualidade de Ar Interior*"; [cited 1 de julho de 2013].
45. Scotland, P.H.R.; [cited 1 de julho de 2013].
46. Brajal, F.M.G.; "*Edifícios de emissão quase zero - Guia de requisitos para a construção*"; in *Departamento de Engenharia Civil / 2012*; Universidade de Aveiro.

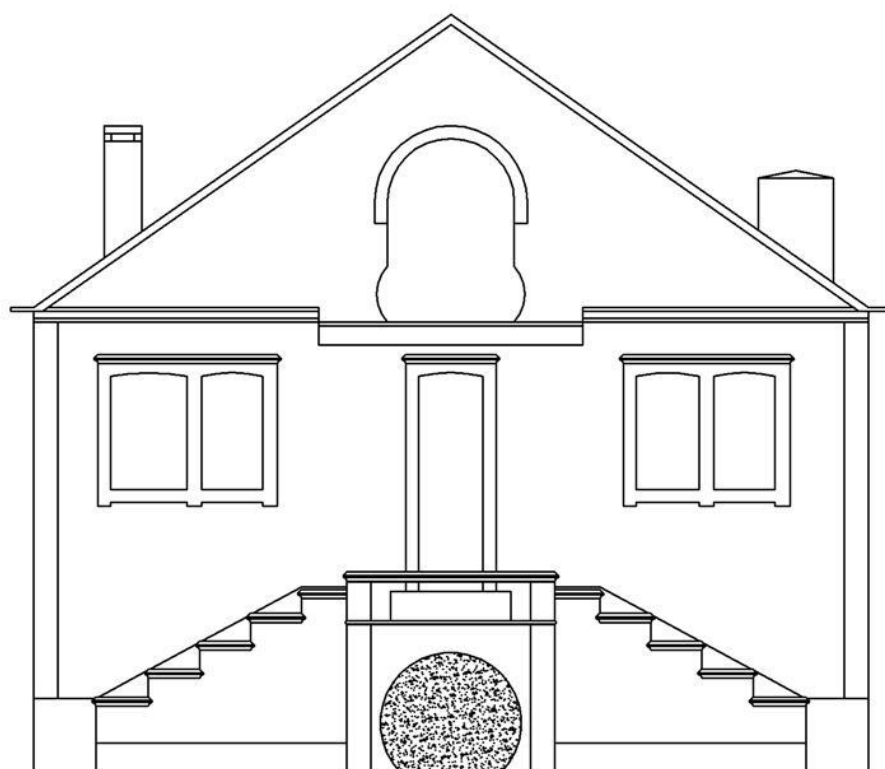
Anexo A
Desenhos à escala



Alçado noroeste
Casa A

Escala 1:100

Desenho A1

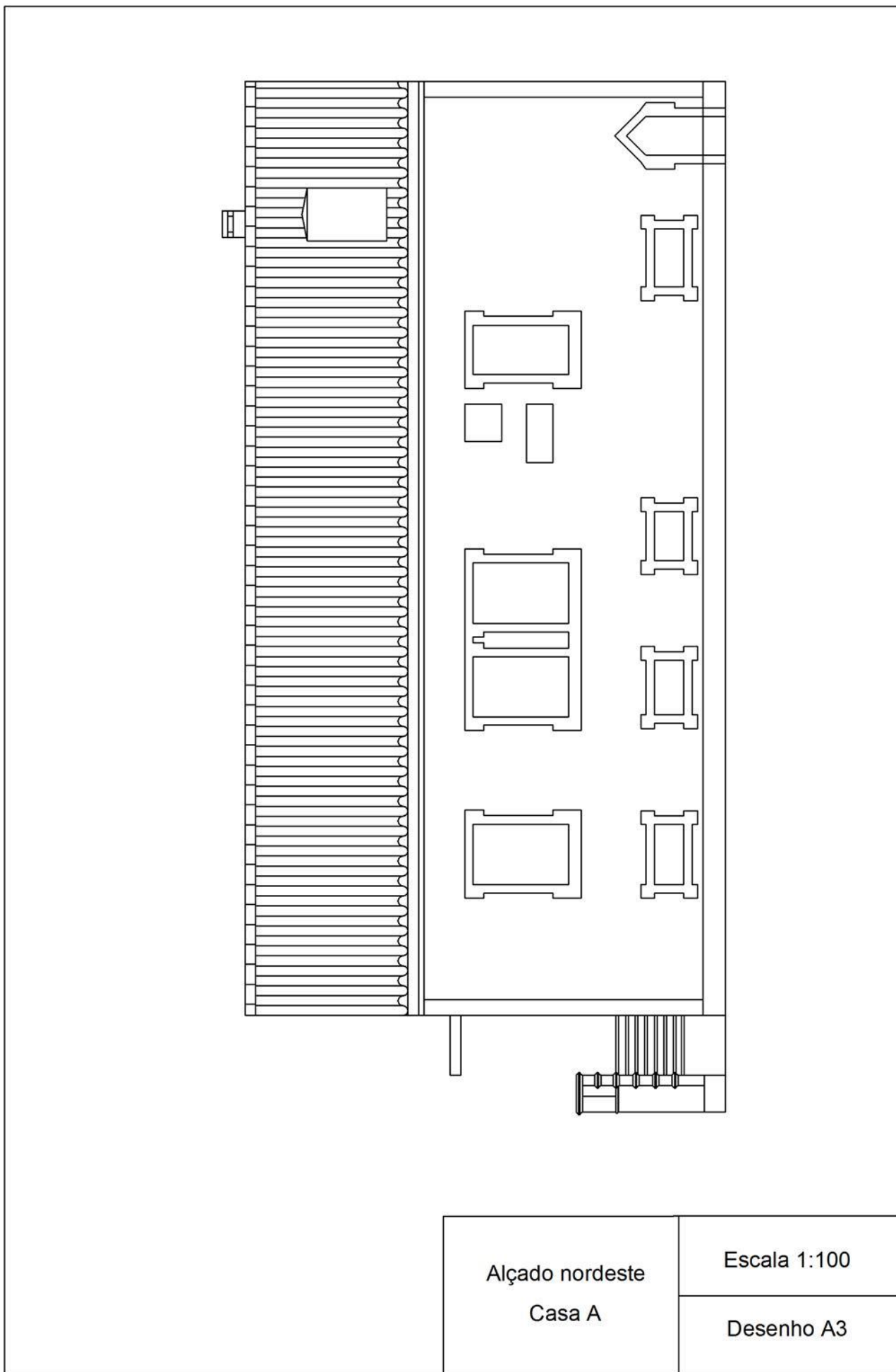


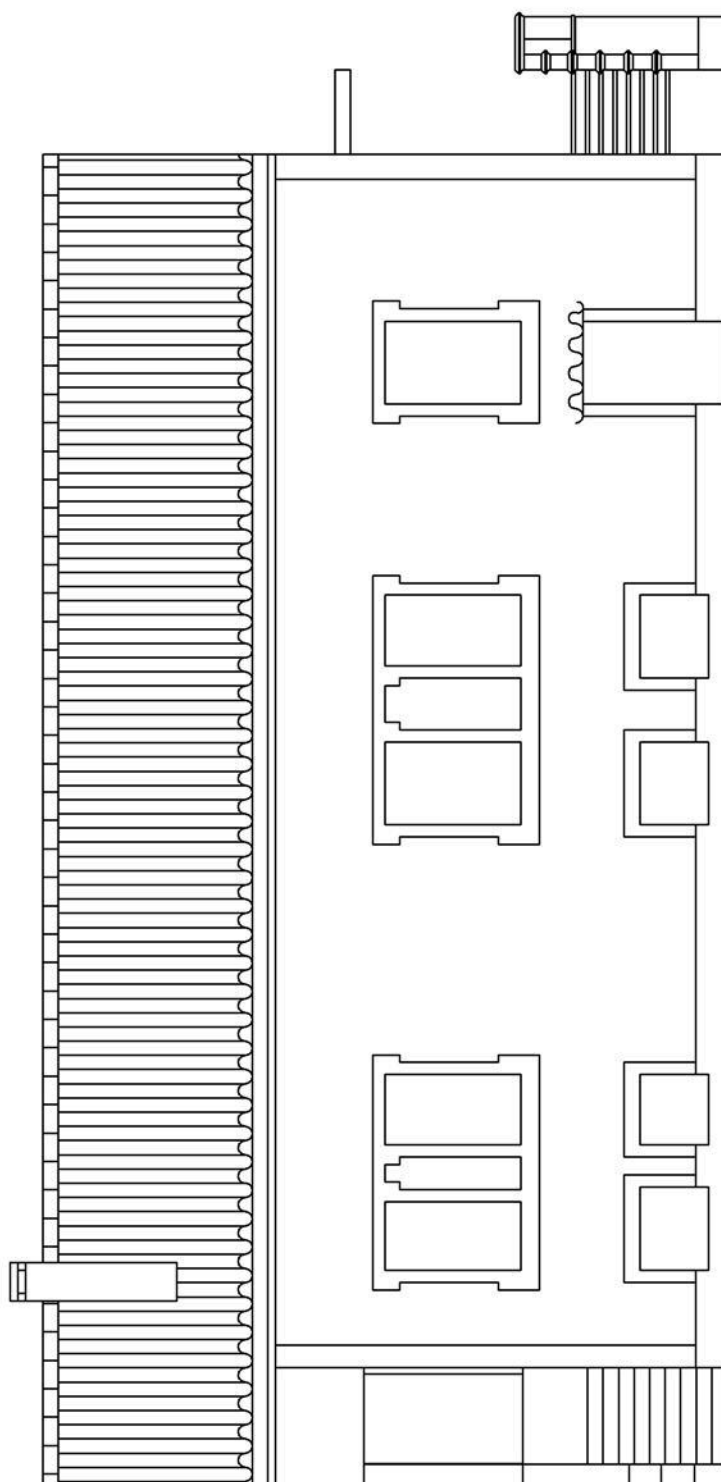
Alçado sudeste

Casa A

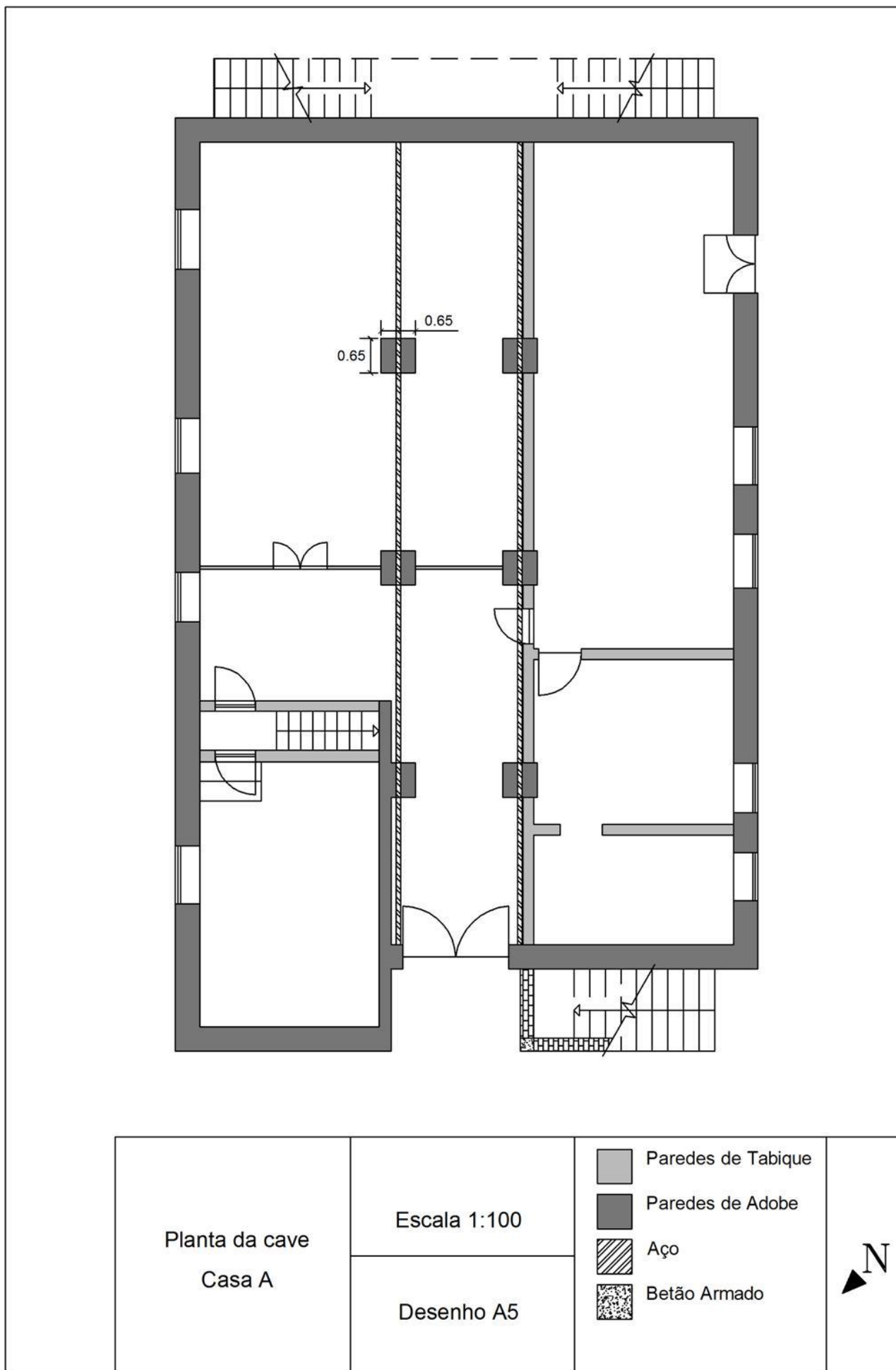
Escala 1:100

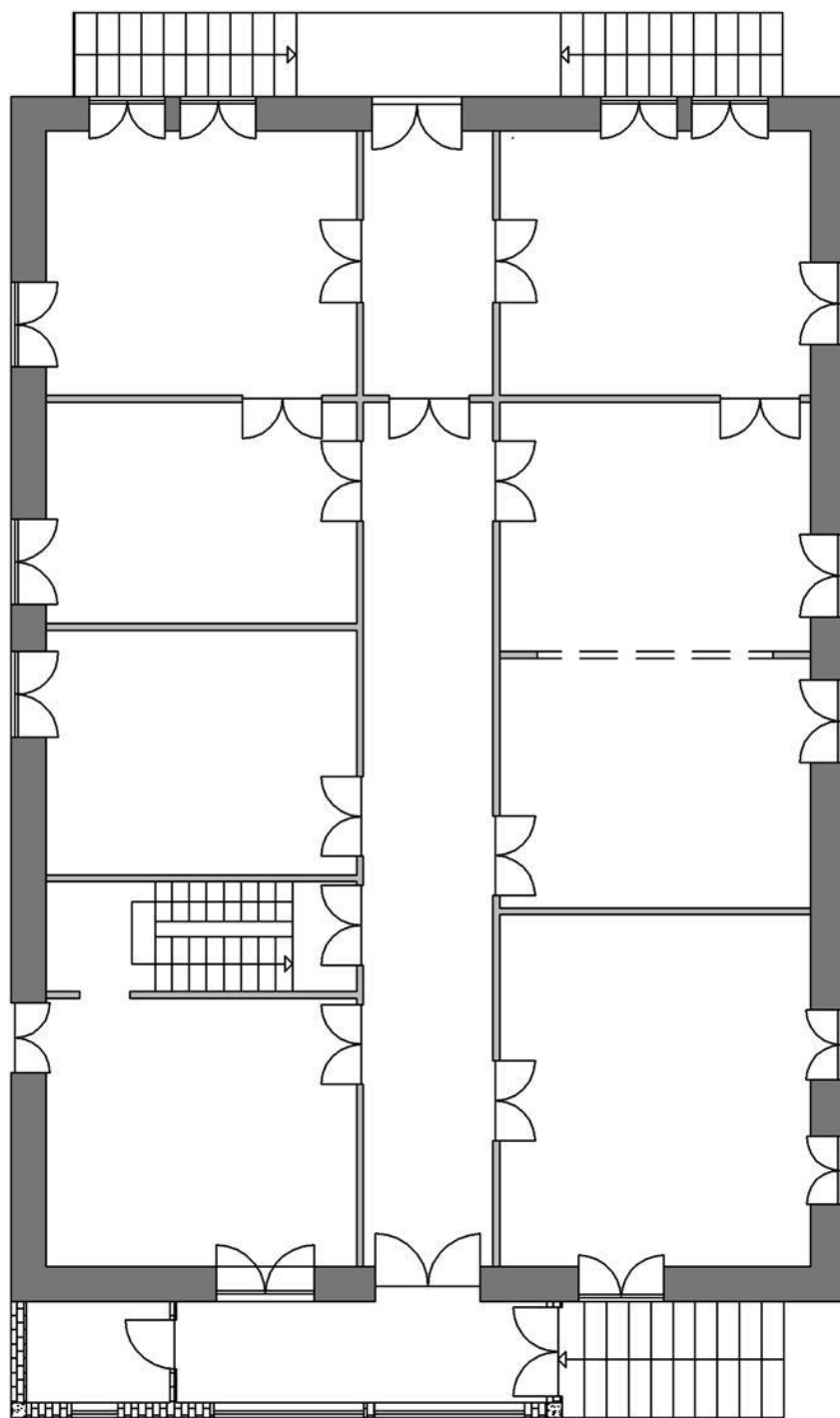
Desenho A2



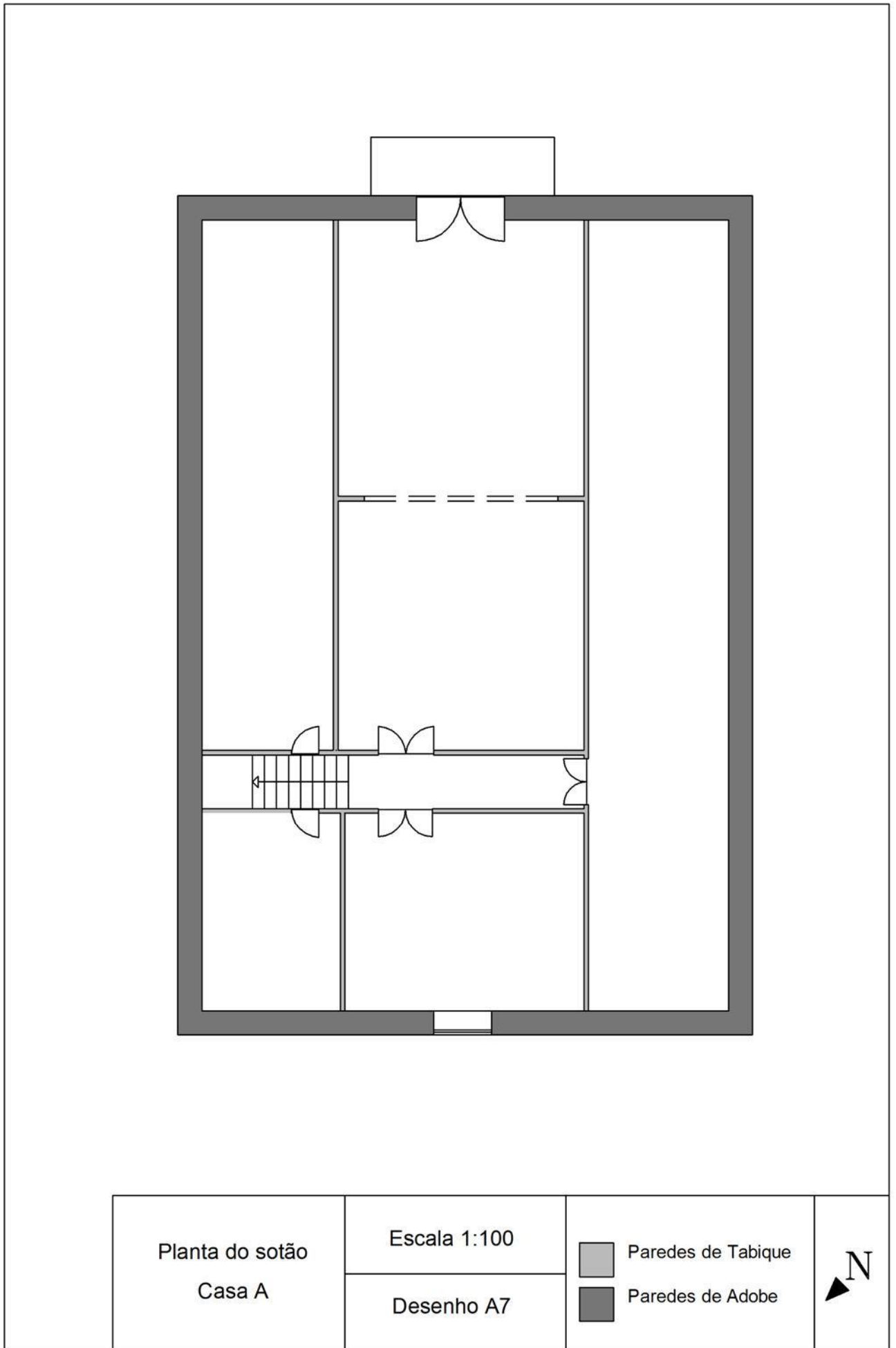


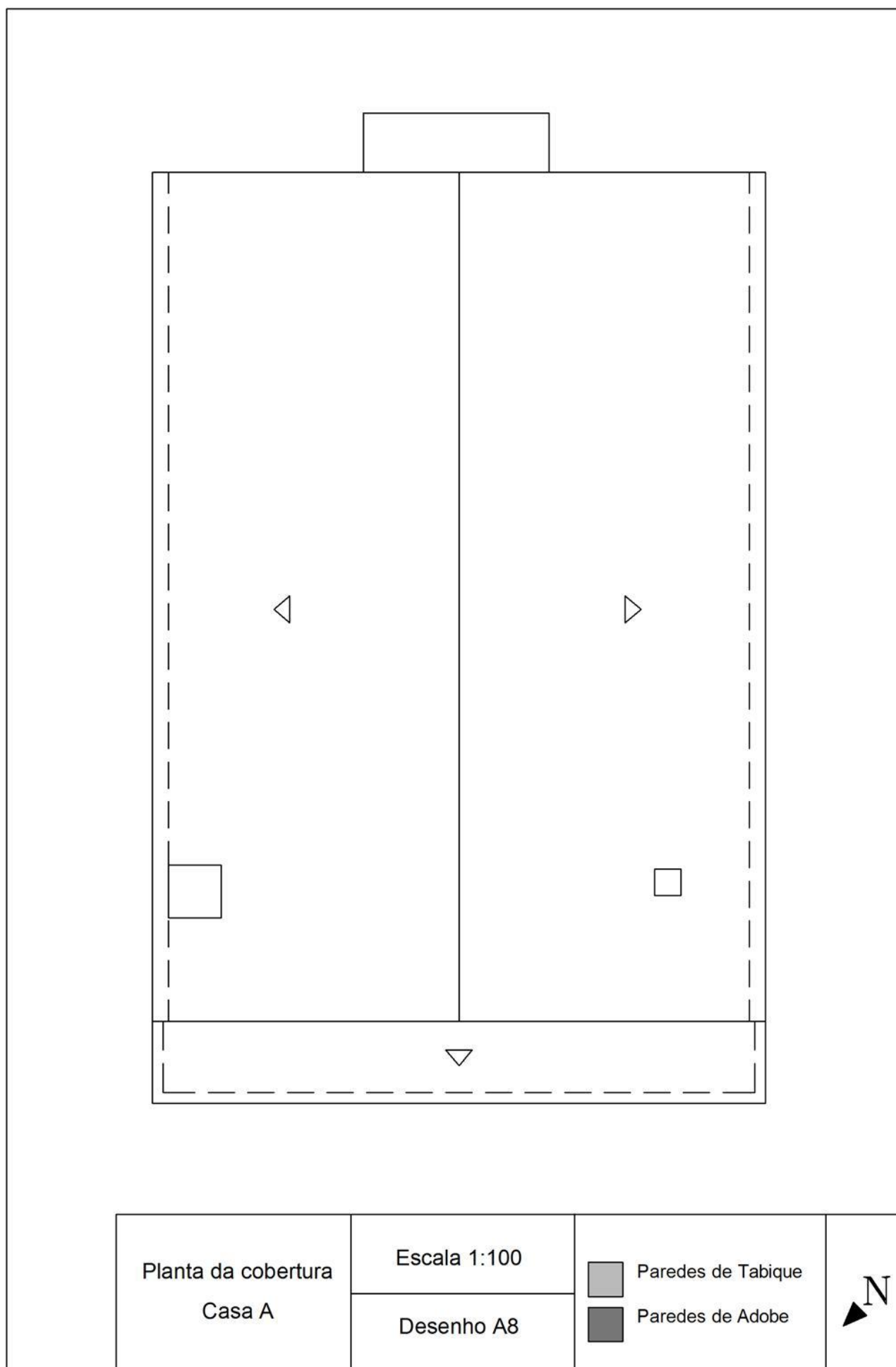
Alçado sudoeste Casa A	Escala 1:100
	Desenho A4

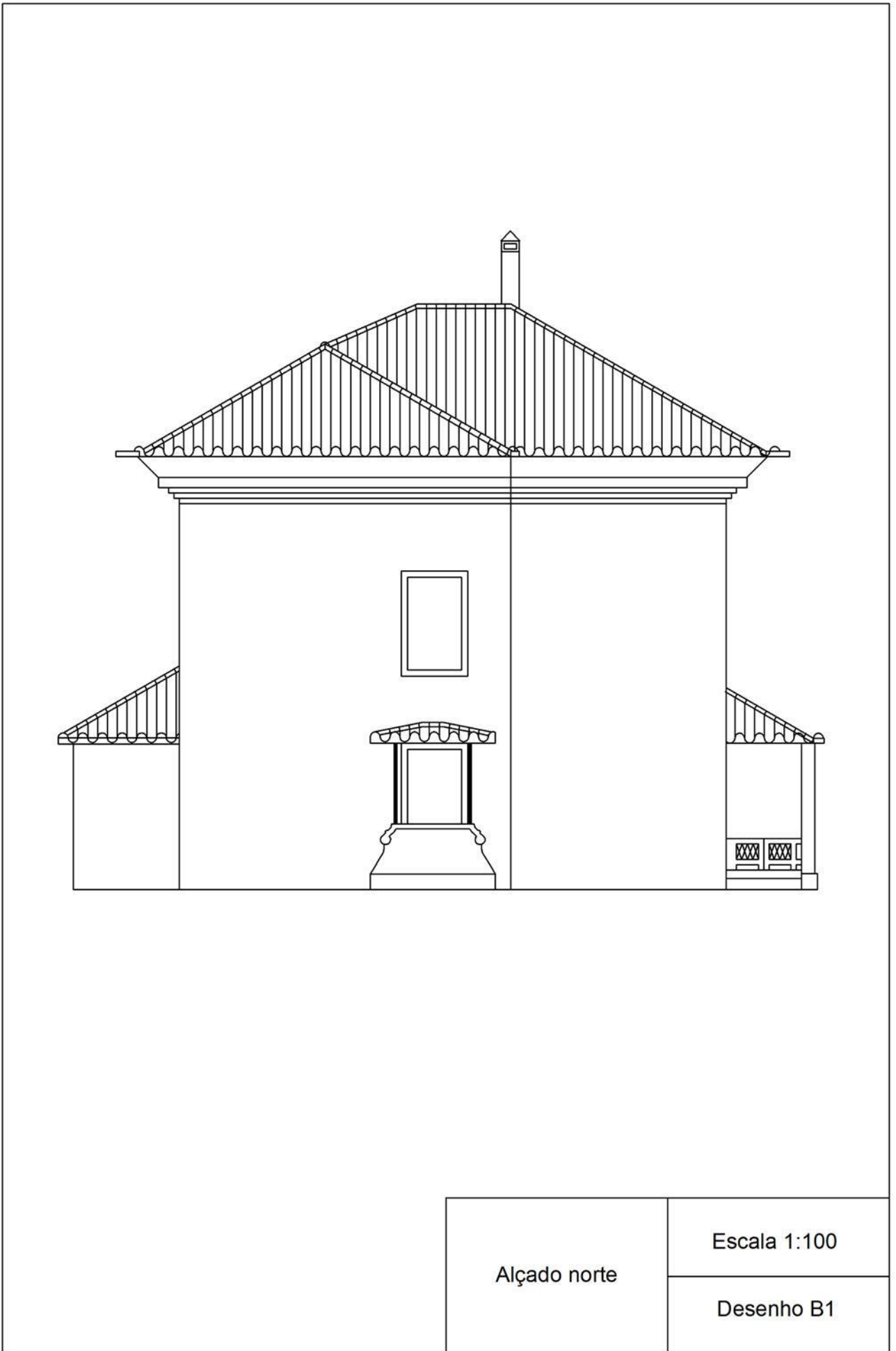


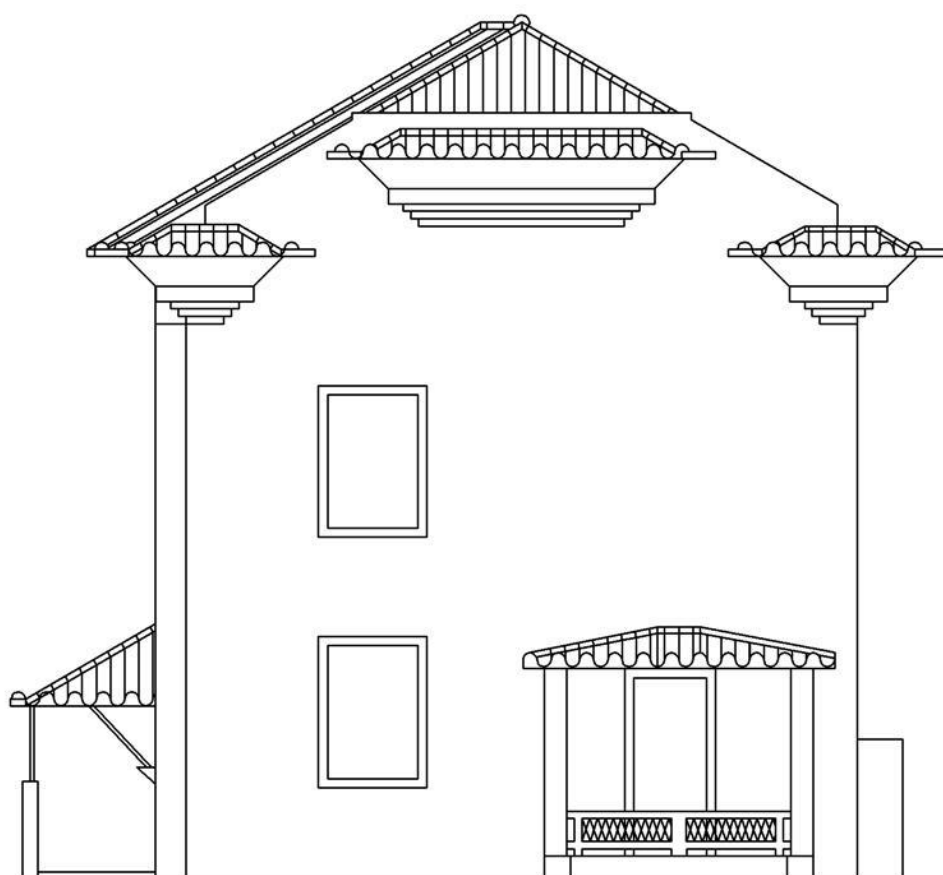


Planta do 1º andar Casa A	Escala 1:100	<ul style="list-style-type: none"> Paredes de Tabique Paredes de Adobe Betão Armado Alvenaria de tijolo 	
	Desenho A6		





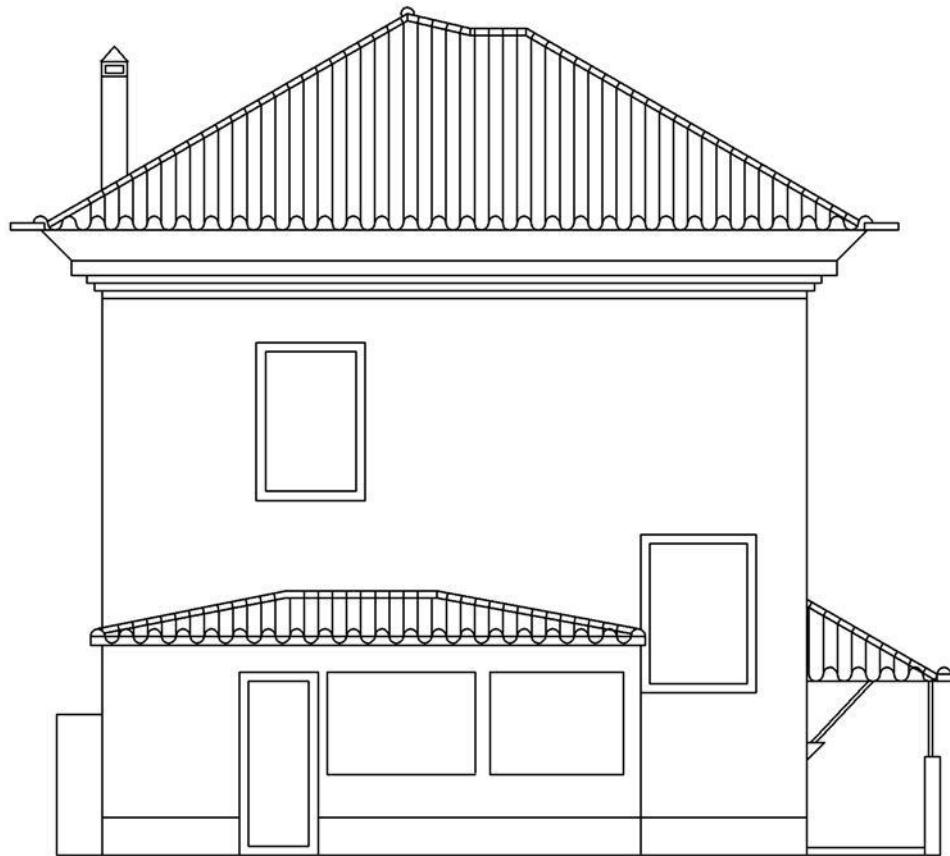




Alçado oeste

Escala 1:100

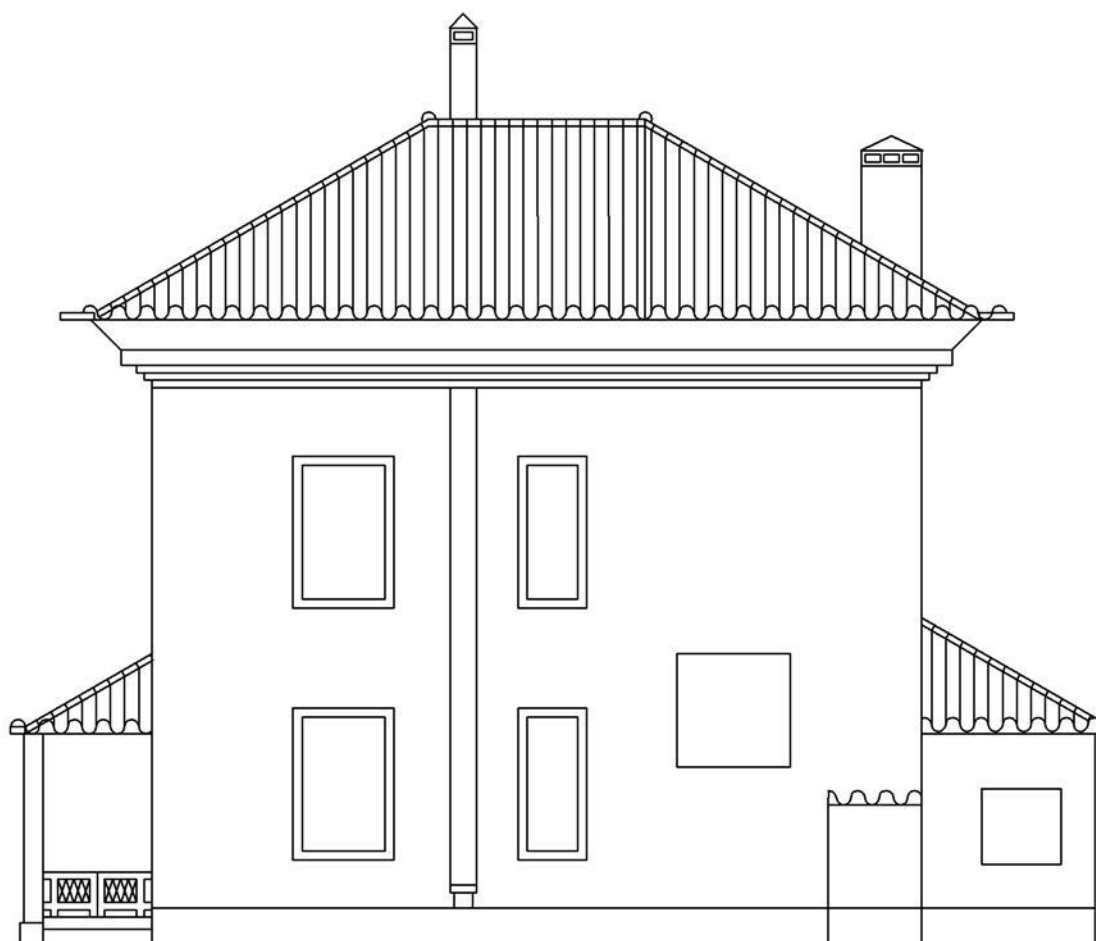
Desenho B2



Alçado este

Escala 1:100

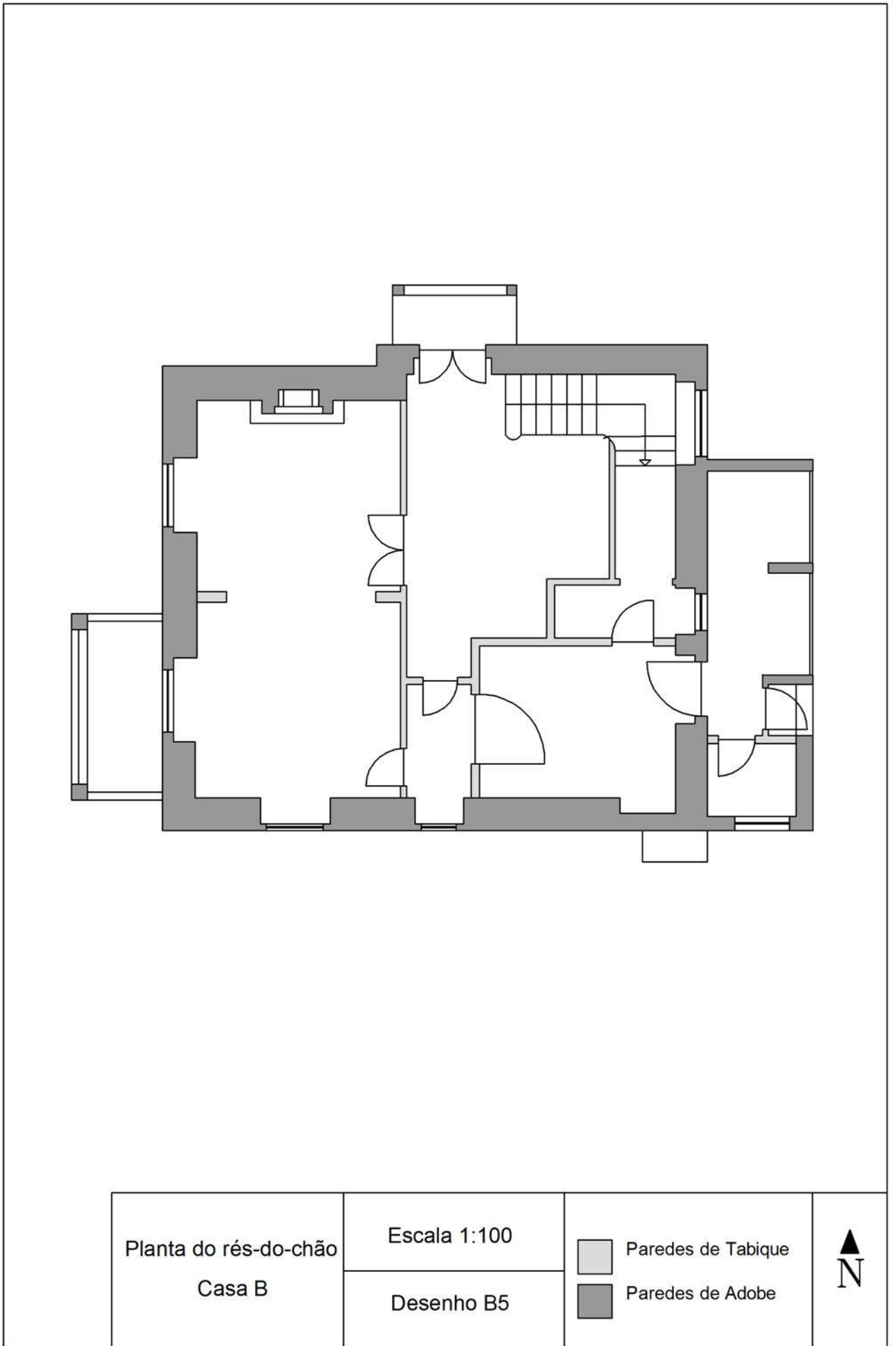
Desenho B3

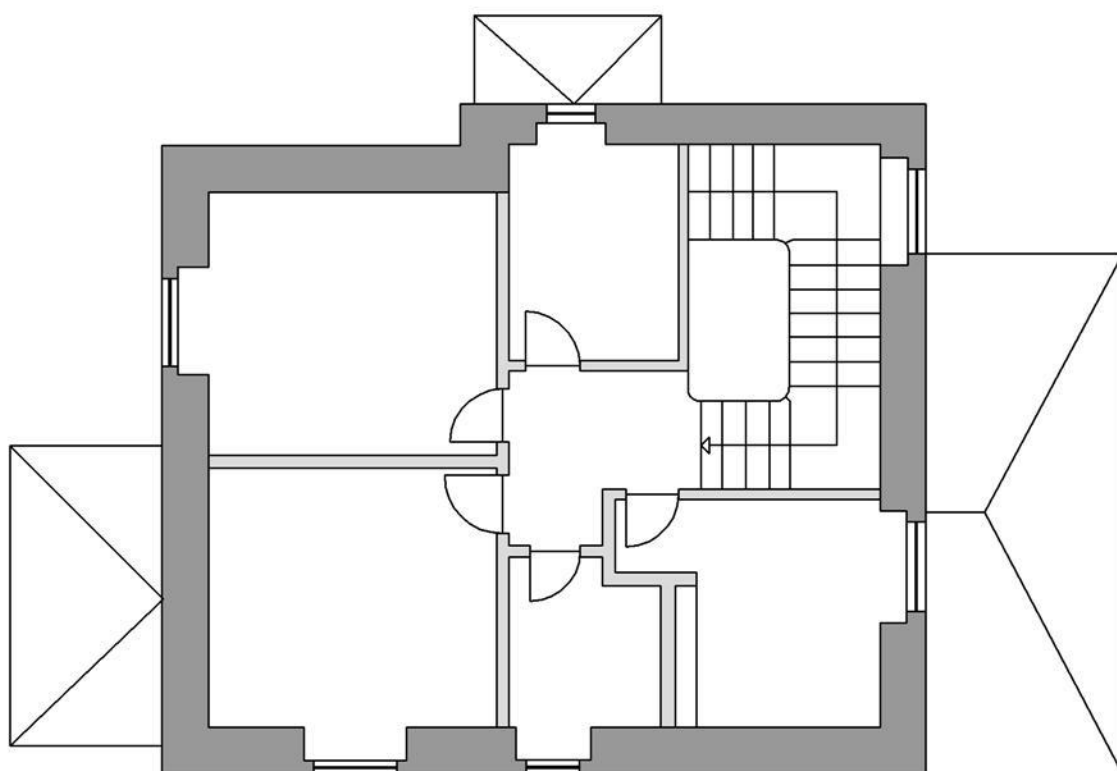


Alçado sul

Escala 1:100

Desenho B4

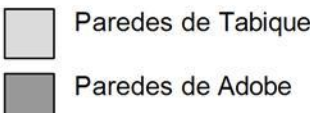




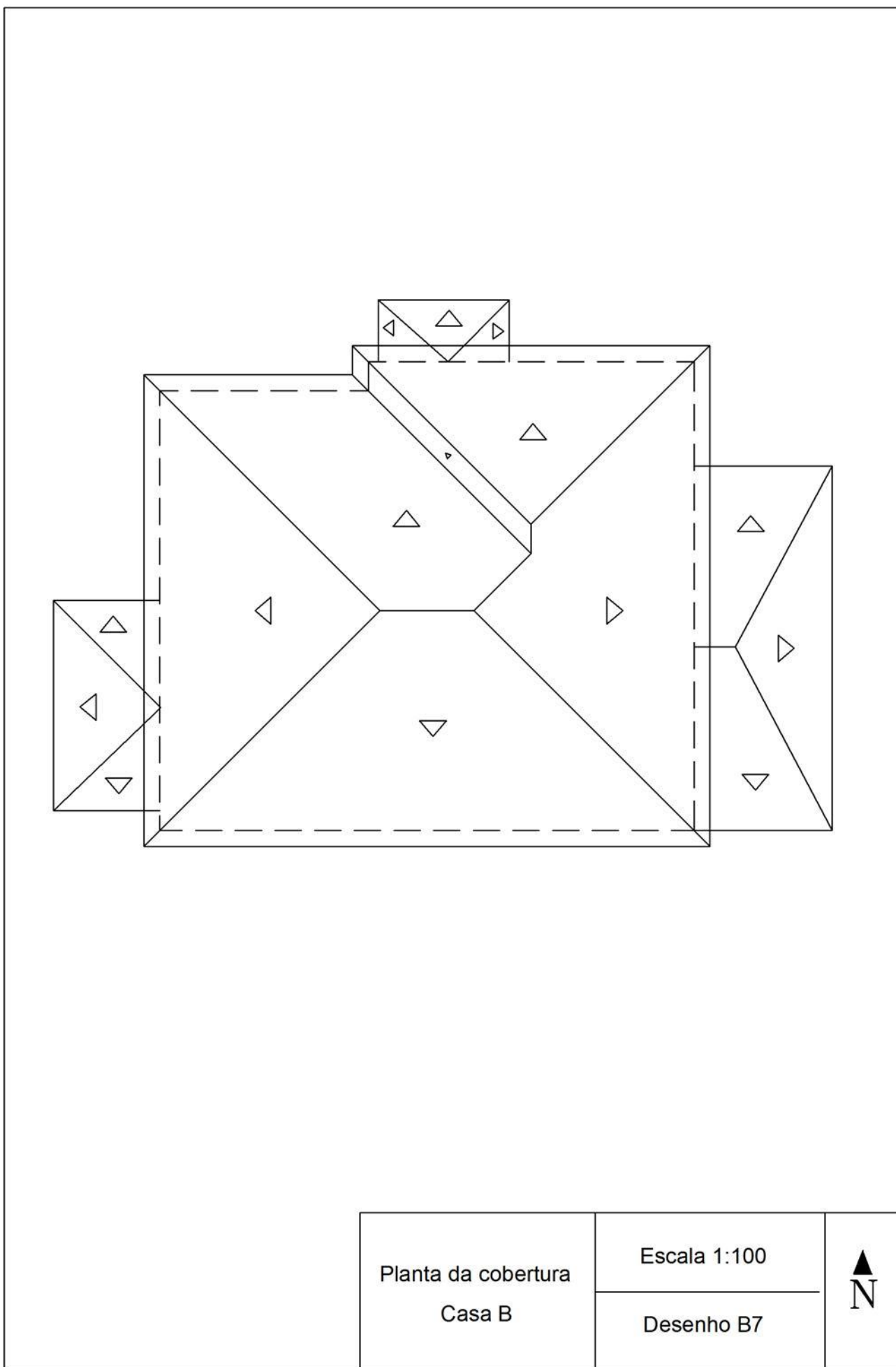
Planta do 1º andar
Casa B

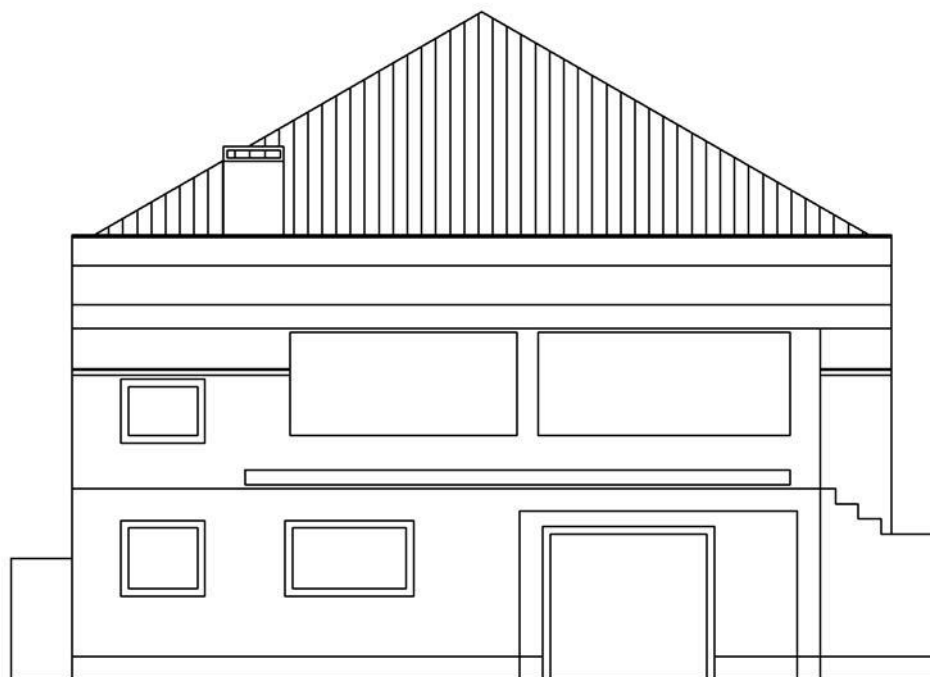
Escala 1:100

Desenho B6

 Paredes de Tabique
Paredes de Adobe



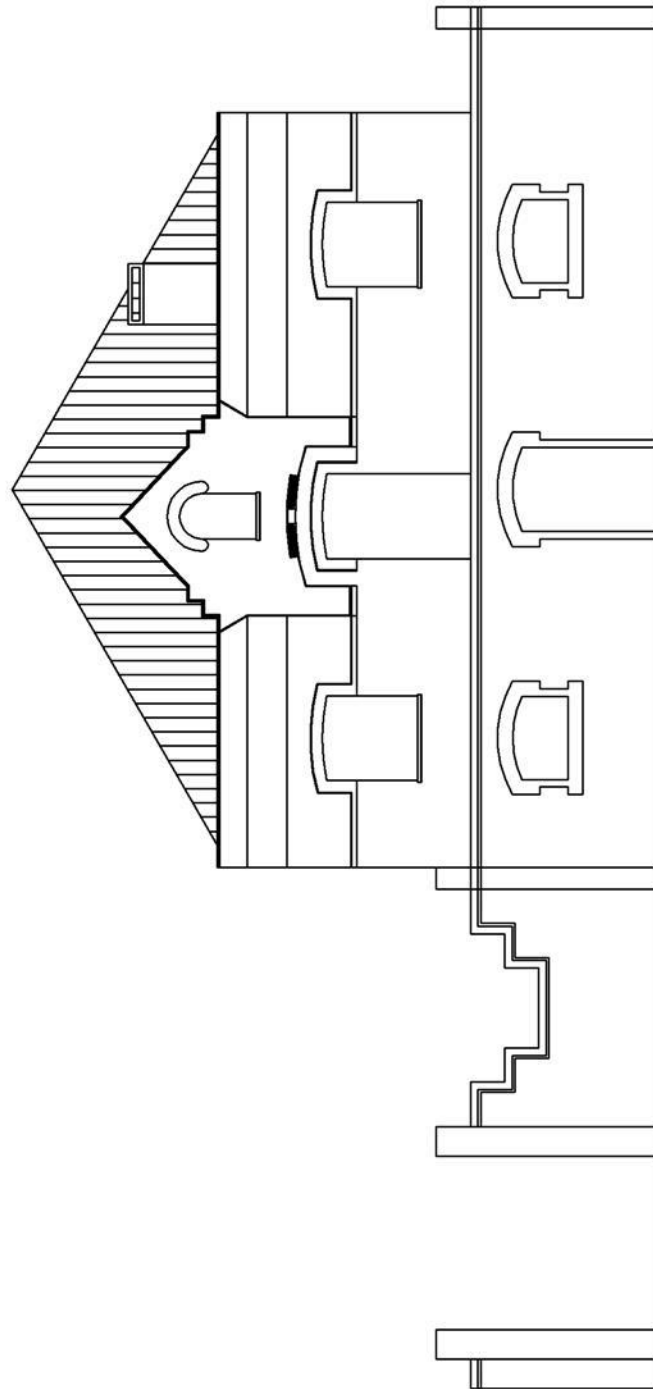




Alçado noroeste
Casa C

Escala 1:100

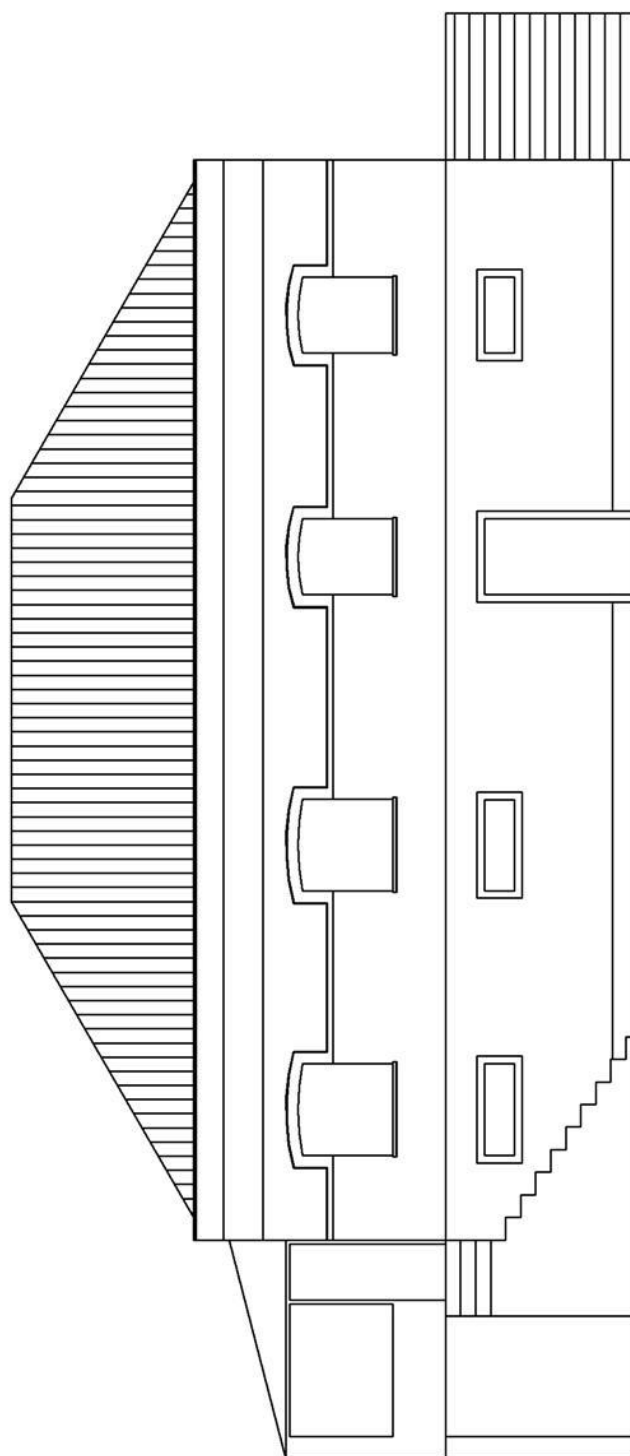
Desenho C1



Alçado sudeste
Casa C

Escala 1:100

Desenho C2

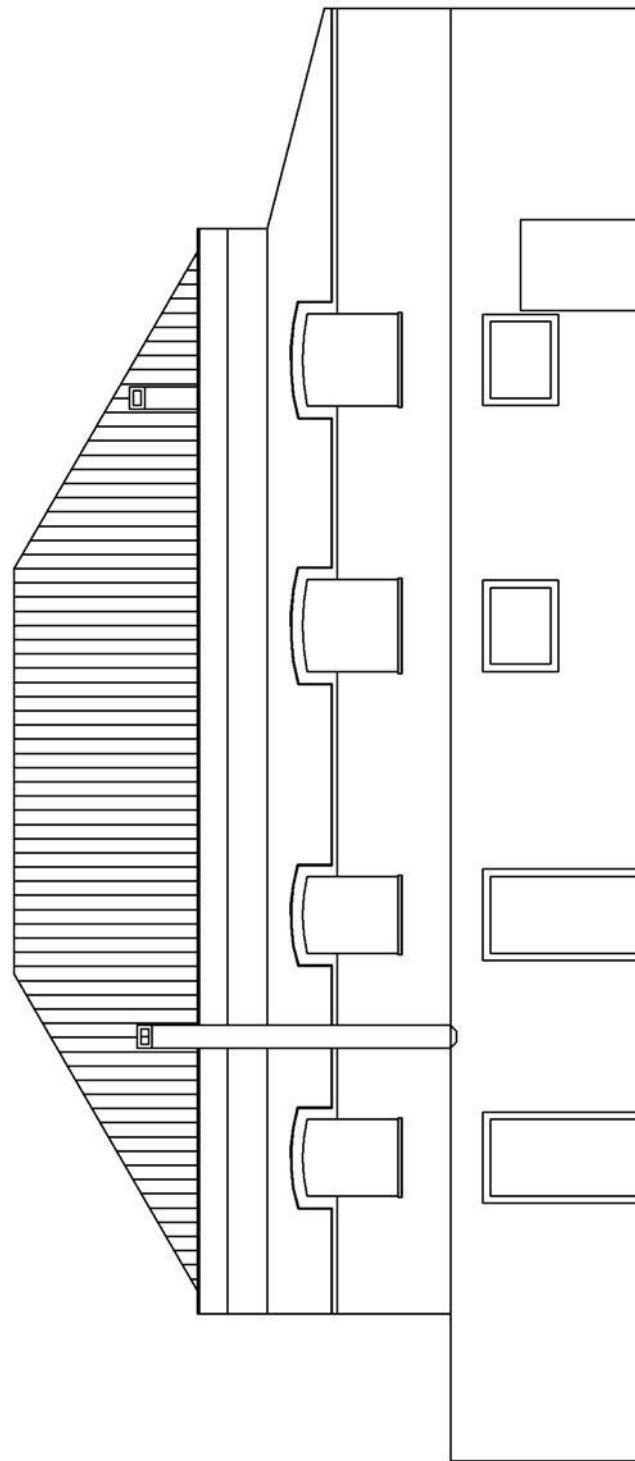


Alçado sudoeste

Casa C

Escala 1:100

Desenho C3



Alçado nordeste
Casa C

Escala 1:100

Desenho C4

