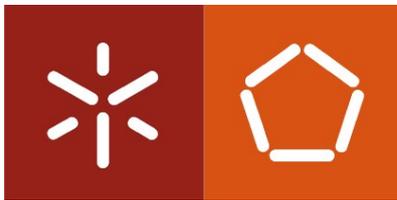


**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Carlos Daniel Costa Pimenta

**Análise do comportamento térmico e das  
condições de conforto de um edifício  
vernáculo com varanda envidraçada da  
região da Beira Alta**





**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Carlos Daniel Costa Pimenta

**Análise do comportamento térmico e das condições de conforto de um edifício vernáculo com varanda envidraçada da região da Beira Alta**

Dissertação de Mestrado  
Mestrado Integrado em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação do  
Professor Doutor Ricardo Mateus

e do coorientador  
Professor Doutor Luís Bragança



## AGRADECIMENTOS

A concretização desta dissertação de mestrado é o culminar de uma longa jornada repleta de muita dedicação, alguma ânsia, mas acima de tudo de uma grande realização pessoal. O final de uma etapa trás consigo uma incerteza acompanhada de novos receios e novos desafios, contudo, a parte mais difícil é termos de nos despedir desta fase e das pessoas que dela fizeram parte. A todos aqueles que me acompanharam, não posso deixar de expressar esta menção simbólica, na esperança que faça justiça ao seu valoroso contributo.

Ao professor doutor Ricardo Mateus dirijo o mais sentido agradecimento, não só pela sábia orientação e motivação, mas também pela pronta disponibilidade e pelos conselhos que permitiram enaltecer o presente trabalho. O seu carácter nobre e personalidade incontornável são para mim motivo de grande respeito e admiração.

Ao arquiteto Jorge Fernandes agradeço todo o contributo e cooperação, que me permitiram inteirar no seu projeto com a mesma dedicação que o faz. A oportunidade de participar neste projeto, tornou-se numa experiência positiva e gratificante, do qual anseio que reverta no sucesso e reconhecimento ambicionado.

Ao Marco e à Verónica, duas pessoas fantásticas com quem tive o maior gosto de partilhar este últimos cinco anos, agradeço a simpatia, a paciência, o companheirismo, a amizade e muitas outras palavras de apreço, que receio não haver adjetivos suficientes para o expressar. A eles dirijo os maiores votos de uma nova etapa cheia de alegrias e que as adversidades da vida possam ser encaradas com a boa disposição que sempre lhes foi característica.

A todos os familiares e amigos, em especial aos meus pais, agradeço a motivação e o apoio incondicional. Dedico este trabalho ao meu avô José Pimenta, com saudade, e à minha madrinha Ana Maria, cuja luta contra o cancro e postura inabalável, são exemplo de força e determinação.

Ao senhor José Pombo e a toda a sua família agradeço a simpatia e a amabilidade em disponibilizar a sua residência para este estudo.

A todas estas pessoas, com quem tenho aprendido e passado bons momentos, e cujo contributo tornou tudo isto possível, um Muito Obrigado a vocês.



## RESUMO

As crises energética e ambiental, com as quais a arquitetura e a construção contemporâneas se confrontam, fizeram aumentar, nos últimos anos, o interesse pelas estratégias de controlo natural e passivo das condições de conforto da arquitetura tradicional. A arquitetura vernácula apresenta técnicas construtivas simples, desenvolvidas de forma empírica ao longo de gerações, marcadas pela estreita relação com as condições locais do meio em que se insere (clima, recursos, cultura, etc.). Em Portugal, a arquitetura vernácula carece ainda de um vasto trabalho de campo que comprove cientificamente a veracidade das diversas estratégias e potencialidades deste tipo de arquitetura.

Neste sentido, o presente trabalho tem como principal objetivo avaliar *in-situ* o comportamento e as condições de conforto de um edifício tradicional português, da região da Beira Alta. As principais estratégias passivas utilizadas na arquitetura vernacular beirã são as varandas envidraçadas. Os indicadores de conforto analisados foram o ambiente térmico, a iluminação e a qualidade do ar interior. A metodologia de ensaio baseou-se em trabalho campo composta por avaliações subjetivas do nível de conforto dos ocupantes e avaliações objetivas dos parâmetros físicos do edifício. Os parâmetros monitorizados foram a temperatura e a humidade relativa do ar, a iluminância e a concentração de CO<sub>2</sub>. O período de monitorização estendeu-se pelas estações climáticas de primavera e de verão, entre os dias 5 de junho e 10 de setembro do ano 2014.

Os resultados deste estudo permitem constatar que, através de meios passivos, é possível assegurar as condições de conforto térmico, visual e de qualidade do ar no interior do edifício, na maior parte dos espaços interiores. Este estudo permitiu também concluir que os ocupantes têm a capacidade de adaptar o ambiente interior às suas condições de conforto ideais.

**Palavras-chave:** arquitetura vernacular, conforto, ambiente térmico, iluminação, qualidade do ar



## ABSTRACT

The energetic and environmental crises, with which the contemporary architecture and construction are facing, have increased, in recent years, the interest in the natural and passive strategies to control the comfort conditions in buildings. The vernacular architecture features simple construction techniques, developed empirically over generations, marked by close relationship with the local conditions of the environment in which it operates (climate, resources, culture, etc.). In Portugal, the vernacular architecture still needs to be studied in an approach that scientifically proves the veracity of the various passive strategies and potentialities of this type of architecture.

In this context, the present work aims at evaluating the *in-situ* thermal performance and the comfort conditions of a traditional Portuguese building in the Beira Alta region. The main passive strategies used in the vernacular architecture of Beira Alta are the glazed balconies. The analyzed comfort indicators were the hydrothermal environment, natural lighting and indoor air quality. The methodology was based on subjective assessments of the comfort level and objective assessments of the physical parameters of the building. The monitored parameters were the air temperature, relative humidity, the illuminance levels and the CO<sub>2</sub> concentration. The monitoring period was extended by the seasons of spring and summer, between June 5<sup>th</sup> and September 10<sup>th</sup> of 2014.

The results of this study allowed concluding that through the passive design principles it was possible to guarantee comfort conditions for the thermal, visual and air quality parameters inside the building, during most of the monitored period.

**Keywords:** vernacular architecture, comfort, thermal environment, lighting, air quality



# ÍNDICE

<b>1. FUNDAMENTOS E OBJETIVOS</b> .....	1
1.1. Introdução .....	1
1.2. Objetivos.....	4
1.3. Organização da dissertação.....	5
<b>2. ARQUITETURA VERNÁCULA E AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO EM EDIFÍCIOS</b> .....	7
2.1. Conforto .....	7
2.1.1. Ambiente térmico .....	8
2.1.2. Iluminação .....	15
2.1.3. Qualidade do ar interior.....	17
2.2. Arquitetura e construção vernácula .....	21
2.2.1. Enquadramento.....	21
2.2.2. Arquitetura vernácula portuguesa.....	24
2.3. Comportamento térmico e condições de conforto de edifícios vernaculares .....	26
2.3.1. Contributo da arquitetura vernácula para a sustentabilidade dos edifícios .....	26
2.3.2. Desenvolvimentos no estudo do comportamento térmico e condições de conforto da construção vernácula.....	27
2.3.3. Métodos de avaliação .....	31
<b>3. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO E DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO DA ARQUITETURA VERNACULAR</b> .....	33
3.1. Enquadramento .....	33
3.2. Avaliações objetivas .....	33
3.2.1. Ambiente térmico .....	34
3.2.2. Iluminação .....	37
3.2.3. Qualidade do ar.....	38
3.3. Avaliações subjetivas.....	40
<b>4. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO E DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO A UM EDIFÍCIO VERNÁCULO</b> 45	
4.1. Contextualização.....	45
4.2. Descrição do caso de estudo .....	47
4.2.1. Caracterização do local.....	47
4.2.2. Principais estratégias da arquitetura vernacular Beirã.....	51

4.2.3.	Caracterização do edifício.....	52
4.3.	Procedimentos gerais de avaliação.....	59
4.3.1.	Avaliações objetivas.....	60
4.3.2.	Avaliações subjetivas.....	66
<b>5.</b>	<b>ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO E DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO DE UM EDIFÍCIO VERNÁCULO.....</b>	<b>67</b>
5.1.	Análise preliminar de dados.....	67
5.1.1.	Caracterização das amostras subjetivas.....	67
5.1.2.	Perfil de utilização do edifício.....	69
5.2.	Apresentação e análise dos resultados obtidos para o ambiente térmico.....	70
5.2.1.	Análise dos resultados obtidos nas medições efetuadas na primavera.....	70
5.2.2.	Análise dos resultados obtidos nas medições efetuadas no verão.....	77
5.2.3.	Discussão dos resultados.....	82
5.3.	Apresentação e análise dos resultados obtidos para a luminosidade.....	84
5.3.1.	Análise dos resultados obtidos nas medições efetuadas na primavera.....	84
5.3.2.	Análise dos resultados obtidos nas medições efetuadas no verão.....	86
5.3.3.	Discussão dos resultados.....	89
5.4.	Apresentação e análise dos resultados obtidos para a qualidade do ar.....	90
5.4.1.	Análise dos resultados obtidos nas medições efetuadas na primavera.....	90
5.4.2.	Análise dos resultados obtidos nas medições efetuadas no verão.....	92
5.4.3.	Discussão dos resultados.....	93
5.5.	Apresentação e análise dos resultados obtidos na avaliação da sensação de conforto global.....	94
5.5.1.	Análise dos resultados obtidos nas medições efetuadas na primavera.....	94
5.5.2.	Análise dos resultados obtidos nas medições efetuadas no verão.....	94
5.5.3.	Discussão de resultados.....	95
<b>6.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>97</b>
6.1.	Conclusões.....	97
6.2.	Perspetivas futuras.....	101
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>103</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>107</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Relação entre os índices PMV e PPD .....	11
Figura 2 – Relação entre os limites de temperatura operativa interna, para edifícios sem sistemas de climatização mecânicos, em função da temperatura exterior média exponencialmente ponderada .....	14
Figura 3 – Espectro eletromagnético .....	15
Figura 4 – Celeiros de Ksar Ouled Debbab; Chum do povo Nenet; Rumah do povo Karo .....	22
Figura 5 – Palheiro; Aldeia de Piódão; Casa Redonda.....	24
Figura 6 – Perfis de temperatura de um dos casos de estudo .....	28
Figura 7 – Estudo das estratégias passivas de ventilação natural.....	29
Figura 8 – Estudo das estratégias passivas de sombreamento solar .....	30
Figura 9 – Data logger; Transmissor independente.....	34
Figura 10 – Testostor.....	35
Figura 11 – Estação de conforto .....	36
Figura 12 – Ferramenta CBE Thermal Comfort Tool.....	37
Figura 13 – Foto-radiómetro e sonda de medição da iluminância .....	38
Figura 14 – Equipamento de medição multifunções testo 435 e sonda de avaliação da qualidade do ar.....	39
Figura 15 – Equipamento ATMOS 12 DPX .....	40
Figura 16 – Escala utilizada na avaliação subjetiva do nível de conforto provocado pela luminosidade.....	42
Figura 17 – Escala utilizada na avaliação subjetiva do nível de conforto provocado pela qualidade do ar.....	42
Figura 18 – Escala utilizada na avaliação subjetiva do nível de conforto global .....	43
Figura 19 – Contrastes do território português .....	46
Figura 20 – Exemplos de varandas envidraçadas da arquitetura vernacular portuguesa .....	46
Figura 21 – Aldeia de Granja do Tedo (latitude 41° 04' 02.6"N longitude 7° 36' 43.2"W).....	47
Figura 22 – Cartografia da aldeia de Granja do Tedo .....	48
Figura 23 – Hipsometria da região de Tabuaço.....	49
Figura 25 – Humidade relativa média anual na região de Tabuaço .....	50
Figura 24 – Temperatura média anual na região de Tabuaço.....	50
Figura 26 – Insolação da região de Tabuaço .....	51
Figura 27 – Edifício vernáculo em estudo.....	53
Figura 28 – Fachada contígua ao edifício devoluto; Beco de acesso à porta das traseiras .....	53
Figura 29 – Edifício vernáculo em estudo antes da reabilitação .....	54
Figura 30 – Planta do piso térreo.....	56
Figura 31 – Planta do piso superior .....	56

Figura 32 – Vista exterior e interior da varanda envidraçada .....	57
Figura 33 – Janela tipo guilhotina; Tranca lateral.....	57
Figura 34 – Sistema de proteção desmontável; Rede e sistema de patilha .....	58
Figura 35 – Data logger colocado na sala/cozinha; Transmissor colocado no quarto/varanda com a proteção da radiação solar direta .....	61
Figura 36 – Local de instalação dos testostors.....	61
Figura 37 – Disposição da estação de conforto no espaço sala/cozinha; Disposição da estação de conforto no espaço quarto/varanda .....	62
Figura 38 – Condições atmosféricas no período de medições de 05/06/2014 .....	63
Figura 39 – Condições atmosféricas no período de medições de 06/08/2014 .....	64
Figura 40 – Condições atmosféricas no período de medições de 10/09/2014 .....	64
Figura 41 – Medição da luminosidade no compartimento quarto/varanda.....	64
Figura 42 – Medição da concentração de CO <sub>2</sub> no compartimento quarto/varanda .....	65
Figura 43 – Gráficos dos perfis de temperatura e humidade relativa: monitorização de primavera .....	71
Figura 44 – Perfis de temperatura e humidade relativa do espaço sala/cozinha.....	74
Figura 45 – Variação do índice PMV do espaço sala/cozinha.....	74
Figura 46 – Perfis de temperatura e humidade relativa do espaço quarto/varanda.....	74
Figura 47 – Variação do índice PMV do espaço quarto/varanda .....	75
Figura 48 – Gráfico da relação entre os limites da temperatura operativa interna, do compartimento sala/cozinha, em função da temperatura exterior média exponencialmente ponderada: estação climática de primavera .....	76
Figura 49 – Gráficos dos perfis de temperatura e humidade relativa: monitorização de verão	78
Figura 50 – Gráfico da relação entre os limites da temperatura operativa interna, do compartimento sala/cozinha, em função da temperatura exterior média exponencialmente ponderada: estação climática de verão.....	80
Figura 51 – Gráfico da relação entre os limites da temperatura operativa interna, do compartimento quarto/varanda, em função da temperatura exterior média exponencialmente ponderada: estação climática de verão.....	81
Figura 52 – Luminosidade proporcionada pela janela do piso superior; Condições de luminosidade do compartimento sala/cozinha na primavera .....	85
Figura 53 – Condições de luminosidade do compartimento sala/cozinha 06/08/2014.....	87
Figura 54 – Condições de luminosidade do compartimento sala/cozinha 10/09/2014.....	87
Figura 55 – Condições de luminosidade do compartimento quarto/varanda 06/08/2014.....	88
Figura 56 – Condições de luminosidade do compartimento quarto/varanda 10/09/2014.....	89

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Diferentes atividades metabólicas .....	8
Tabela 2 – Valores típicos para diferentes combinações de roupa.....	10
Tabela 3 – Escala de conforto térmico .....	11
Tabela 4 – Iluminâncias recomendadas para edifícios residenciais .....	17
Tabela 5 – Iluminâncias recomendadas para diversos tipos de atividade .....	17
Tabela 6 – Principais substâncias poluentes no interior de edifícios e respectivas fontes e efeitos na saúde.....	19
Tabela 7 – Concentrações máximas de referência, segunda a Nota Técnica NT-SCE-02 e a OMS .....	20
Tabela 8 – Escala utilizada na avaliação subjetiva do nível de conforto provocado pelo ambiente térmico .....	41
Tabela 9 – Área dos espaços interiores .....	55
Tabela 10 – Dimensões das portas e janelas e respetiva área dos envidraçados.....	58
Tabela 11 – Informação sobre a amostra dos ocupantes .....	68
Tabela 12 – Médias de temperatura e humidade relativa na monitorização de primavera .....	70
Tabela 13 – Avaliação das condições de conforto .....	75
Tabela 14 – Médias de temperatura e humidade relativa da monitorização de verão.....	79
Tabela 15 – Resultados obtidos nas medições objetivas da luminosidade na primavera.....	84
Tabela 16 – Resultados obtidos nas medições objetivas da luminosidade no verão.....	86
Tabela 17 – Resultados obtidos nas medições objetivas do CO <sub>2</sub> na primavera .....	91
Tabela 18 – Resultados obtidos nas medições objetivas do CO <sub>2</sub> no verão .....	92



## **LISTA DE ACRÓNIMOS**

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers  
(associação internacional de engenheiros de AVAC)

CIE – Commission Internationale de L’Eclairage (Comissão Internacional de Iluminação)

DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia

DGT – Direção Geral de Território

HR – Humidade Relativa

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera

OMS – Organização Mundial de Saúde

PMV – Predicted Mean Vote (voto médio previsível)

PPD – Predicted Percentage of Dissatisfied (percentagem de pessoas insatisfeitas)

SBS – Sick Building Syndrome (síndrome do edifício doente)

SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios

Ta – Temperatura do ar

Tmp – Temperatura exterior média exponencialmente ponderada

Top – Temperatura operativa

Tr – Temperatura radiante média

Va – Velocidade do ar



## 1. FUNDAMENTOS E OBJETIVOS

### 1.1. Introdução

O ambiente circundante tem um efeito físico e psicológico de grande importância para o ser humano. Desde cedo, o Homem tem vindo a moldar o mundo que o rodeia, tentando retirar o máximo partido das condições naturais, em favorecimento do conforto e do bem-estar (Matias, 2010). Esta tem sido uma das principais premissas da humanidade, que se reflete de forma marcante na importância que se atribui, nos dias de hoje, à satisfação das condições de conforto na conceção de edifícios.

O conforto resulta de um conjunto de sensações humanas, de carácter marcadamente subjetivas, que torna difícil a sua denominação (Nematchoua, Tchinda & Orosa, 2014). Cada indivíduo possui uma capacidade própria de se adaptar ao ambiente que o rodeia, pelo que se considera que este se encontra em condições de conforto quando não experimenta qualquer desagrado ou irritação, que possa interferir com o desenvolvimento das atividades do quotidiano.

Vários são os fatores que podem influenciar a sensação de conforto no interior de edifícios, sendo as principais o ruído, a iluminação, a qualidade do ar e o ambiente térmico. Estes fatores poderão ter as mais diversas origens – desde fatores climáticos a problemas na conceção de edifícios – que comprometem o comportamento das habitações e a saúde dos seus ocupantes. Um sinal claro da importância do conforto para o ser humano é o efeito que a sensação de desconforto detém no seu desempenho e na sua saúde (Nematchoua et al., 2014). Um indivíduo sujeito à sensação de desconforto poderá sofrer de *stress*, incómodo ou baixa produtividade, podendo evoluir, no caso de exposições prolongadas, para doenças graves do foro respiratório ou cardiovascular. Efetivamente, o tempo que um indivíduo despende no interior de edifícios, nomeadamente em habitações, locais de trabalho ou de lazer é muito significativo, sendo que um habitante europeu despende em média 90% do seu tempo no interior de edifícios (Zhai & Previtali, 2010). É portanto crucial que um edifício seja capaz de

proteger os seus ocupantes das condições adversas, sem criar condições de desconforto no seu interior (Dili, Naseer & Varghese, 2010).

Contudo, o aumento das exigências de conforto e o grande número de edifícios desadequados ao ambiente que os rodeia resultaram no crescimento do consumo de energia proveniente, principalmente, da utilização de combustíveis fósseis (Dili et al., 2010; Matias, 2010; Nematchoua et al., 2014). Este recurso inorgânico não é inesgotável, pelo que é impossível continuar a basear os sistemas energéticos em fontes não renováveis, nem manter a atual política no destino a dar aos resíduos produzidos pelas atividades humanas (Mateus, 2009; Zhai & Previtali, 2010). O setor da construção é um dos setores de peso na economia mundial e um dos principais contribuintes para os impactes ambientais. Estima-se que as atividades desenvolvidas pela indústria da construção sejam responsáveis por 30% das emissões de carbono, pelo consumo de 50% das matérias-primas retiradas da crosta terrestre e que o parque edificado seja responsável por 40% dos consumos totais de energia na União Europeia (DGEG, 2013; Torgal & Jalali, 2010).

Perante a ameaça de uma sociedade insustentável a curto prazo, são necessárias mudanças profundas que alterem a relação do Homem com o meio ambiente. Na década de 1970, e resultado da crise energética, surge um movimento de consciencialização social que se veio a estender até aos dias de hoje. O desenvolvimento sustentável tem como principal objetivo corrigir o rumo atual do desenvolvimento, introduzindo questões marcantes e essenciais, relativas às suas três grandes dimensões – social, económica e ambiental.

O setor da construção tem uma forte ligação e potencial no que concerne ao desenvolvimento sustentável. Porém, continua a basear-se em mão-de-obra não qualificada e em processos de construção convencionais, caracterizados pelos seus impactes nefastos para o ambiente (Mateus, 2009). Desta forma, a União Europeia estabeleceu objetivos de redução na ordem dos 50% nos consumos energéticos, em 30% no consumo de matérias-primas e 40% nos resíduos produzidos (Torgal & Jalali, 2010). Numa análise ao mercado da construção é possível encontrar novas tecnologias comprovadamente mais sustentáveis que as convencionais, cujo sucesso dependerá, nos próximos anos, da promoção e dos incentivos por parte das entidades responsáveis, na utilização destas novas técnicas e no respeito das metas estabelecidas (Mateus, 2009).

A consciencialização social para o desenvolvimento sustentável tem vindo a crescer ao longo dos anos, levando diversos autores a estudar novas formas de construção mais sustentáveis (Zhai & Previtali, 2010). Acima de tudo, procuram-se formas arquitetónicas que respeitem o meio envolvente e que em simultâneo respondam de forma eficiente às necessidades de conforto com menores consumos de energia. A arquitetura vernácula é exemplo de um tipo de construção do passado, pautada pela racionalização dos recursos disponíveis e pela utilização de medidas passivas, pensadas para satisfazer os requisitos de conforto dos seus ocupantes. Este tipo de construção utiliza técnicas adquiridas através de experimentação, que vieram progressivamente conceder aos edifícios a máxima flexibilidade e adaptabilidade ao clima em que se encontram inseridos (Priya, Sundarraja, Radhakrishnan & Vijayalakshmi, 2012; Singh, Mahapatra & Atreya, 2010). Numa era onde é premente reduzir as necessidades energéticas, os edifícios vernáculos apresentam um baixo perfil tecnológico, sendo estes menos dependentes de energias não renováveis (Fernandes, 2012). Contudo, o desenvolvimento despoletado pela Revolução Industrial trouxe consigo novos materiais e técnicas construtivas, que conduziram ao desuso deste tipo de construção.

Nos últimos anos, face às crises energética e ambiental, as medidas passivas utilizadas nos edifícios vernáculos têm despertado uma crescente atenção. Um pouco por todo o mundo estão a ser desenvolvidos estudos, de modo a compreender o comportamento térmico, as condições de conforto e o potencial de poupança energética das técnicas utilizadas na construção vernácula (Dili, Naseer & Varghese, 2011). Os estudos em desenvolvimento visam perceber de que forma as técnicas passivas utilizadas nos edifícios tradicionais poderão ser adaptadas à construção contemporânea (Borong et al., 2004; Dili et al., 2010; Priya et al., 2012; Singh, Mahapatra & Atreya, 2010). Portugal não é exceção, contudo, a construção vernacular portuguesa carece ainda de um profundo estudo e reconhecimento, pelo que só agora são dados os primeiros passos nesse sentido.

Tendo em consideração a conjuntura atual, a análise da construção vernacular portuguesa poderá trazer benefícios para o setor da construção. A reutilização dos métodos utilizados, adquiridos através de conhecimentos empíricos e aliados à tecnologia e aos conhecimentos atuais, poderão contribuir de forma significativa para a sustentabilidade dos edifícios (Priya et al., 2012). No entanto, existe ainda um longo caminho a percorrer e, para que este objetivo ambicioso seja alcançado é necessário conhecer as técnicas utilizadas na construção vernácula portuguesa e compreender de que modo e como se refletem em termos de desempenho e eficiência.

## 1.2. Objetivos

O potencial conhecimento que a construção tradicional portuguesa encerra em si, carece ainda de um profundo estudo. Para que esse potencial possa ser identificado, o presente trabalho tem como objetivo compreender o comportamento e as condições de conforto existentes num edifício vernáculo, da região da Beira Alta, no interior norte de Portugal continental. A principal estratégia passiva utilizada na promoção do conforto interior é a varanda envidraçada.

Neste sentido, será necessário perceber o conceito de construção vernacular e a filosofia inerente. O trabalho será desenvolvido com base num edifício vernáculo existente, onde serão conduzidas as monitorizações necessárias à avaliação do ambiente térmico, luminosidade natural e qualidade do ar interior. Com base no ponto anterior, fica subjacente o necessário conhecimento dos materiais e das técnicas utilizadas no edifício, bem como a caracterização do clima e do local onde este se insere.

A monitorização será realizada *in-situ*, nas estações climáticas de primavera e de verão, através do estudo de algumas propriedades relevantes dos elementos construtivos e da monitorização dos parâmetros ambientais. Os parâmetros em estudo são referentes à qualidade do ar, iluminação e conforto térmico. Adicionalmente serão realizados questionários, com base nas normas em vigor, para avaliação dos níveis de conforto sentido pelos ocupantes durante o período das monitorizações.

Posteriormente, os dados obtidos serão apresentados e alvo de análise e interpretação, de modo a descrever e compreender o comportamento térmico e as condições de conforto do edifício em estudo, sob a influência do clima em que se encontra inserido. A realização deste estudo pretende ainda facultar uma base de apoio, sustentada num caso real, que permita o desenvolvimento da temática e a realização de trabalhos análogos.

Em suma, enumeram-se os principais objetivos do presente trabalho:

- Estudar e caracterizar um edifício vernáculo da região da Beira Alta;
- Identificar as condições locais, as estratégias adotadas e os sistemas construtivos do edifício em estudo;

- Realizar monitorizações *in-situ* para averiguação das condições de conforto relativas à iluminação, ambiente térmico e qualidade do ar interior;
- Realizar questionários para avaliação dos níveis de conforto sentido pelos ocupantes do edifício;
- Análise e interpretação dos dados recolhidos para averiguação do comportamento térmico e das condições de conforto existentes nos edifícios vernaculares da região em estudo.

### 1.3. Organização da dissertação

As diferentes temáticas abordadas nesta dissertação encontram-se divididas em seis capítulos, cujo conteúdo apresenta a seguinte estrutura:

- **Capítulo 1 – Fundamentos e objetivos:** apresenta-se o enquadramento da dissertação, com o intuito de introduzir o tema e os objetivos da mesma;
- **Capítulo 2 – Arquitetura vernácula e avaliação das condições de conforto em edifícios:** apresenta uma visão geral do atual estado de arte, abordando os principais aspetos que envolvem a temática de estudo. Este capítulo é composto por um breve enquadramento do conceito de arquitetura vernácula, dando ênfase às suas características singulares e à sua expressão em Portugal. Ainda neste capítulo, são apresentadas algumas noções base sobre conforto térmico, visual e de qualidade do ar interior, de modo a facilitar a compreensão dos conteúdos abordados nos capítulos posteriores. Para finalizar este capítulo, são discutidos alguns dos desafios atuais, que concedem à arquitetura vernácula a importância do seu estudo, os desenvolvimentos recentes da temática e os métodos de avaliação utilizados pelos diversos autores, na análise da arquitetura vernacular;
- **Capítulo 3 – Metodologia de avaliação do comportamento térmico e das condições de conforto da arquitetura vernácula:** neste capítulo é apresentada a metodologia a adotar na avaliação do conforto e do comportamento térmico do edifício em estudo. Este capítulo pretende expor as ferramentas e os equipamentos necessários à condução das monitorizações, bem como o *modus operandi* dos mesmos;

- **Capítulo 4 – Aplicação da metodologia de avaliação do comportamento térmico e das condições de conforto a um edifício vernáculo:** neste capítulo descreve-se a aplicação da metodologia apresentada no capítulo 3 ao edifício em estudo. Numa primeira análise será apresentado o caso de estudo, com o intuito de dar conhecer todas as particularidades da região e do edifício estudado. Posteriormente será apresentado o modo como as avaliações, objetiva e subjetiva, foram conduzidas;
- **Capítulo 5 – Análise do comportamento térmico e das condições de conforto de um edifício vernáculo:** neste capítulo são apresentados os resultados desta investigação. Com base na análise das monitorizações efetuadas comprova-se cientificamente a veracidade das estratégias utilizadas no edifício vernáculo em estudo;
- **Capítulo 6 – Considerações finais:** expõem-se as principais conclusões desta investigação e tece-se alguns comentários relativos às perspetivas futuras da temática e de continuidade desta investigação.

## **2. ARQUITETURA VERNÁCULA E AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO EM EDIFÍCIOS**

### **2.1. Conforto**

O conforto é um termo de difícil avaliação, não havendo uma definição consensual reconhecida na literatura. A origem da palavra conforto está ligada ao conceito de consolo ou apoio, a partir da palavra latina *cumfortare*, derivada de *cum-fortis*, que significa aliviar dor ou fadiga (van der Linden & Guimarães, 2003). No idioma português, este termo pode ser definido como uma sensação de bem-estar ou comodidade, porém, estas definições estarão longe de conceder objetividade a um conceito claramente abstrato, que varia de pessoa para pessoa (Matias, 2010; Nematchoua et al., 2014).

A evolução dos seus significados está diretamente ligada à evolução da cultura ocidental e reflete a mudança de valores desde o início do cristianismo para a atual busca do bem-estar material. Um exemplo claro dessa mudança foi o período da Revolução Industrial, que desenvolveu o conceito de conforto como uma necessidade vinculada à modernização (van der Linden & Guimarães, 2003). Nas últimas décadas, o termo tem sido alvo de vários estudos ergonômicos, onde alguns autores definem o conforto como “ausência de desconforto” (Lueder, 1983) ou como “um estado de harmonia física e psicológica entre o ser humano e o ambiente” (Slater, 1986). O que os vários conceitos e definições têm em comum é a subjetividade e a dependência da opinião do indivíduo num determinado momento.

A estreita dependência do desempenho humano em relação ao conforto ambiental é de facto, uma realidade desde há muito reconhecida. Para definir o conforto associado a um determinado ambiente é necessário conjugar inúmeras variáveis (Oliveira, 2008). Neste domínio, os principais fatores que influenciam a sensação de conforto no interior de edifícios são a qualidade do ar, o ambiente térmico, o ambiente acústico e o nível de iluminação (Mateus, 2009; Matias, 2010). Partindo da afirmação anterior, serão apresentadas, de forma breve e objetiva, algumas noções básicas sobre os referidos parâmetros em estudo e o modo como estes são avaliados.

### 2.1.1. Ambiente térmico

#### a) Conforto térmico

O estudo do comportamento térmico de edifícios tem como um dos principais objetivos a análise do conforto térmico dos seus ocupantes. O conforto térmico é, desde logo, um dos fatores fundamentais na avaliação da qualidade de edifícios. A norma ISO 7730:2005 define o conforto térmico como “condição psicológica que expressa satisfação com o ambiente térmico que envolve uma pessoa”. Para que um indivíduo esteja em conforto térmico é necessário que o sistema termorregulador do organismo esteja em equilíbrio com o ambiente, ou por outras palavras, que num determinado momento haja equilíbrio entre um conjunto de condições ambientais e fisiológicas sem a violação das funções orgânicas (Nematchoua et al., 2014).

O Homem é um animal homeotérmico, de sangue quente, que necessita de manter a temperatura interna do corpo a  $37 \pm 0,8^{\circ}\text{C}$  (Matias, 2010). No entanto, na maioria das situações, a temperatura do ar envolvente tende a ser inferior, pelo que daí resultam as perdas de calor a que o corpo está sujeito. Para que o corpo humano esteja em equilíbrio com o ambiente circundante é necessário que haja neutralidade térmica, ou seja, a energia produzida terá de ser igual à energia dissipada (Matias, 2010). Através do metabolismo o organismo adquire a energia necessária à sua plena atividade. A este processo dá-se o nome de atividade metabólica. A atividade metabólica corresponde ao calor libertado por uma pessoa em descanso e é caracterizada pela unidade *met* (1 *met* corresponde a  $58,2 \text{ W/m}^2$ ). O corpo dispõe de mecanismos internos de produção de calor, que se vai dissipando à medida que é produzido, de modo a não existir um défice ou acumulação. Se esta neutralidade não se verificar um indivíduo sentirá desconforto. A Tabela 1 apresenta algumas atividades metabólicas típicas e o seu respetivo valor em *met*.

Tabela 1 – Diferentes atividades metabólicas (fonte: ASHRAE 55, 2010)

Atividade	met	W/m <sup>2</sup>
Dormir	0,7	40
Sentado, Relaxado	1,0	60
Escrever	1,0	60
De pé	1,2	70
Cozinhar	1,6-2,0	95-115

Os mecanismos de termorregulação do organismo têm como finalidade manter o balanço térmico entre as perdas e os ganhos de energia do corpo humano. As variáveis térmicas, como a temperatura ou a velocidade do ar, influenciam as transferências de calor e determinam a facilidade com que o corpo regula ou conserva uma temperatura adequada. As transferências de calor, que influenciam o balanço térmico entre o Homem e o meio ambiente, ocorrem do seguinte modo:

- **Condução** – transferência de calor que ocorre através de sólidos ou líquidos que não estão em movimento;
- **Convecção** – transferência de calor que ocorre através de fluidos em movimento (gases ou líquidos);
- **Radiação** – transferência de calor que ocorre através de ondas eletromagnéticas. A radiação que incide sobre um corpo pode ser parcialmente refletida, transmitida ou absorvida;
- **Evaporação** – troca de calor latente por evaporação de água do corpo humano sob a forma de perspiração insensível e de transpiração. A eficiência da evaporação é diretamente proporcional ao movimento do ar e inversamente proporcional à humidade do ar, tornando-se nula quando o ar está saturado.

Nos casos em que a temperatura ambiente cria condições de desconforto para o corpo humano ou quando a taxa metabólica é diferente da normal, os mecanismos termorreguladores são ativados, de forma a evitar as perdas térmicas ou aumentar a produção interna de calor. Na presença de calor são ativados mecanismos involuntários, como por exemplo, o aumento do fluxo de sangue para a zona cutânea ou a sudação, que aumentam as perdas de calor (Matias, 2010). No caso do frio são ativados mecanismos que reduzem as perdas de calor e aumentam a produção de energia, que se manifestam pela diminuição do fluxo de sangue na zona cutânea, desativação (fecho) das glândulas sudoríparas ou através de tremores involuntários dos músculos (Mateus, 2009; Matias, 2010; Uğursal & Culp, 2013). Em todos os casos, estas reações resultam numa sensação de desconforto, uma vez que implicam o funcionamento anormal do organismo.

Um fator de grande importância para a sensação de conforto térmico é o nível de roupa utilizada por cada indivíduo. A resistência térmica proporcionada pela roupa permite um maior controlo das trocas de calor entre o organismo e o meio, reduzindo a sensibilidade do corpo às variações de temperatura e de velocidade do ar. A unidade utilizada para caracterizar o efeito de isolamento proporcionado pela roupa é o *clo* (1 *clo* corresponde a 0,155 m<sup>2</sup>K/W). A Tabela 2 apresenta alguns valores típicos para várias combinações de roupa.

Tabela 2 – Valores típicos para diferentes combinações de roupa (fonte: ISO 7730, 2005)

Roupa	clo	m <sup>2</sup> K/W
Sem roupa (nu)	0	0
Roupa leve de verão – roupa interior leve, camisa de manga curta, calções, meias leves e sandálias	0,5	0,08
Roupa leve de trabalho – roupa interior leve, camisa leve de algodão e manga comprida, calças, meias de algodão e sapatos	0,7	0,11
Roupa típica de inverno – roupa interior, camisa de algodão e manga comprida, calças ou saia, camisola de manga comprida ou casaco, meias grossas e sapatos	1,0	0,16
Roupa pesada de inverno – roupa interior de algodão, camisa de manga comprida, fato, incluindo calças, casaco e sobretudo, meias de lã e sapatos pesados	1,5	0,23

### ***b) Avaliação do conforto térmico segundo o Modelo de Fanger***

O modelo atualmente mais utilizado para avaliação do conforto térmico foi desenvolvido pelo dinamarquês Ole Fanger, durante a década de 1970, e está presente na norma ISO 7730:2005 e ASHRAE *Standard* 55:2010. Uma vez que o conforto é expresso pela satisfação dos ocupantes, Fanger realizou uma série de ensaios, em que mais de 1300 participantes foram expostos a diferentes ambientes térmicos controlados. Nos ensaios realizados, os participantes avaliaram a sensação térmica, através de uma escala constituída por sete patamares, variando entre -3 (muito frio) a +3 (muito quente) e em que o zero representa a neutralidade térmica (ver Tabela 3). Nas suas avaliações experimentais, Fanger efetuou a medição objetiva dos parâmetros físicos que definem o ambiente térmico, de forma a determinar a acumulação energética do corpo humano, e relacionou esses resultados com a avaliação subjetiva fornecida pelos ocupantes (Mateus, 2009). Com base neste estudo Fanger desenvolveu dois índices: o PMV (*Predicted Mean Vote*) e o PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*).

Tabela 3 – Escala de conforto térmico (fonte: ISO 7730, 2005)

+3	Muito Quente
+2	Quente
+1	Ligeiramente Quente
0	Neutro (Confortável)
-1	Ligeiramente Frio
-2	Frio
-3	Muito Frio

O índice PMV consiste num valor numérico (entre -3 e 3) que traduz a sensibilidade humana ao frio e ao calor, resultando da combinação de quatro variáveis ambientais – temperatura do ar, velocidade do ar, temperatura radiante média e humidade relativa – e duas variáveis pessoais – vestuário e nível de atividade. O valor do índice PPD percentual permite prever o número de pessoas que estão desconfortáveis com um determinado ambiente térmico. A relação entre a percentagem de pessoas insatisfeitas (PPD) e o voto médio previsível (PMV) é apresentado na Figura 1.

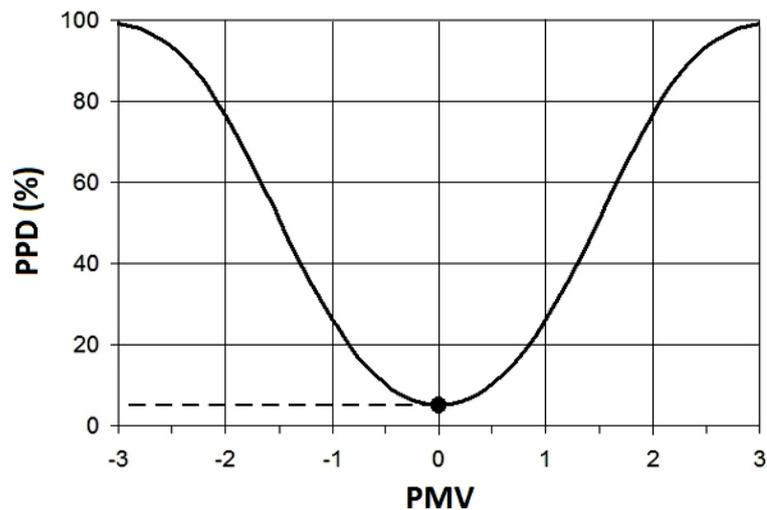


Figura 1 – Relação entre os índices PMV e PPD (fonte: ISO 7730, 2005)

De acordo com este modelo, para a condição de PMV igual a zero, que corresponde à neutralidade térmica para a maior parte das pessoas, o índice PPD apresenta um número mínimo de pessoas insatisfeitas de aproximadamente 5%. Esta diferença deve-se ao facto de cada indivíduo ter uma perceção do conforto única, o que significa que, mesmo com a otimização de todos os parâmetros que influenciam o conforto térmico é impossível criar um ambiente que agrade a 100% das pessoas (Mateus, 2009).

### ***c) Divergências na aplicação do modelo de Fanger e o modelo de conforto adaptativo***

O modelo proposto por Fanger foi desenvolvido a partir de estudos realizados em laboratório, que não tem em conta fatores como, por exemplo, a presença, ou não, de ambientes climatizados ou a adaptabilidade dos ocupantes. Para esse efeito, nos últimos anos têm sido desenvolvidos vários estudos com o intuito de atualizar as normas de conforto térmico existentes (Matias, 2010).

Em estudos que comparam a aplicação do modelo de Fanger, em edifícios naturalmente ventilados com edifícios de ventilação mecânica, sugerem que as previsões do PMV variam com o contexto e são mais precisas em edifícios com sistemas de ventilação mecânica. Em parte por causa da influência da temperatura exterior e da capacidade de adaptação dos ocupantes (Charles, 2003). Num estudo levado a cabo por Humphreys e Nicol (2002), em 35 dos 41 edifícios naturalmente ventilados analisados, as discrepâncias entre o PMV e a sensação térmica real ultrapassou 0,25 unidades da escala, ou seja, mais do que poderia ser atribuído a erros aleatórios. Em oito destes edifícios, a diferença entre o PMV e a sensação térmica real foi maior do que uma unidade de escala (Humphreys & Fergus Nicol, 2002).

Em geral, as temperaturas interiores, em edifícios naturalmente ventilados, tendem a ser temperaturas mais próximas das exteriores, enquanto os edifícios com sistemas mecânico de climatização são projetados para atingir uma faixa estreita e padronizada de condições térmicas. Isto significa que, os ocupantes de edifícios climatizados esperam condições de temperatura bem definidas e são mais propensos a sentirem-se insatisfeitos se as temperaturas se desviarem para fora desse intervalo (Charles, 2003; Uğursal & Culp, 2013). Em edifícios naturalmente ventilados, quanto maior for a satisfação de um indivíduo, face à possibilidade de se adaptar às condições do ambiente térmico, melhor ele aceita as condições do ambiente em que se encontra e mais tolerante é face a desvios da temperatura de conforto térmico (Matias, 2010).

Neste contexto, para se obter uma análise ajustada e realista das condições de conforto térmico, de um edifício naturalmente ventilado, é necessário recorrer a um modelo adaptativo. Os modelos de conforto adaptativo são pensados para situações onde as pessoas têm a possibilidade de se adaptar ao ambiente (ajustar as roupas, abrir janelas), tendo assim zonas de conforto térmico substancialmente maiores do que as normas convencionais e não constantes como são referenciadas na regulamentação térmica atualmente em vigor.

A aplicação da teoria de adaptação admite variações das temperaturas interiores em função das condições exteriores, de modo a permitir situações de adaptação (Matias, 2010). A abordagem adaptativa tem como hipótese o seguinte princípio adaptativo: “*Se uma mudança ocorre de modo a gerar uma situação de desconforto, as pessoas reagem de maneira a tentar restaurar a situação de conforto*” (Nicol & Humphreys, 2002).

O modelo apresentado na norma ASHRAE 55:2010 é dirigido aos espaços onde as condições térmicas do espaço são reguladas, principalmente, pelos ocupantes, por meio de abertura e encerramento das janelas. Para que este método possa ser aplicado, o espaço em questão deve ser equipado com janelas operáveis e ajustáveis pelos ocupantes do espaço. Não deve haver qualquer sistema mecânico de arrefecimento para o espaço. A ventilação mecânica com ar condicionado pode ser utilizado, contudo, a abertura e encerramento das janelas devem ser o principal meio de regular as condições térmicas no espaço. Este método opcional só se aplica aos espaços onde os ocupantes estão envolvidos atividades físicas sedentárias com taxas metabólicas que variam de 1,0 met a 1,3 met. Este método só se aplica aos espaços onde os ocupantes podem adaptar livremente a sua roupa às condições térmicas interiores.

O modelo desenvolvido por Matias (2010) resulta da adaptação do modelo apresentado na norma ASHRAE *Standard 55* ao contexto português. A aplicação do modelo proposto parte dos seguintes pressupostos: i) as atividades desenvolvidas pelos ocupantes apresentam taxas metabólicas (met) que variam de 1,0 met a 1,3 met (atividades sedentárias); ii) os ocupantes são livres de adaptar a resistência térmica proporcionada pela roupa; iii) velocidade do ar inferior a 0,6m/s (ar calmo); iv) a temperatura operativa interior entre os 10°C e os 30°C; v) a temperatura exterior média exponencialmente ponderada entre os 5°C e os 30°C.

Considerando que um indivíduo demora cerca de uma semana a ajustar-se totalmente às mudanças no clima exterior, a temperatura de conforto térmico (temperatura operativa, Top) é obtida a partir da média exponencialmente ponderada, da temperatura exterior dos últimos

sete dias ( $T_{mp}$ ) (Matias, 2010). O cálculo da temperatura exterior média exponencialmente ponderada, durante os últimos sete dias, é realizado através da Equação 1.

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

Em que,

$T_{mp}$  (°C) – Temperatura média exterior exponencialmente ponderada;

$T_{n-i}$  (°C) – Temperatura média do dia anterior (i).

A relação entre os limites da temperatura operativa interna, para edifícios sem sistemas de climatização mecânicos, em função da temperatura exterior média exponencialmente ponderada (adaptado de Matias, 2010), está representada na Figura 2. O desfasamento em relação ao valor de temperatura “ideal” de conforto, das temperaturas que limitam as gamas de conforto (limites superior e inferior), considerado neste modelo foi de  $\pm 3^\circ\text{C}$ . Este valor corresponde ao valor mínimo determinado para as gamas de temperatura, de modo a garantir a satisfação de 90% dos ocupantes (Matias, 2010).

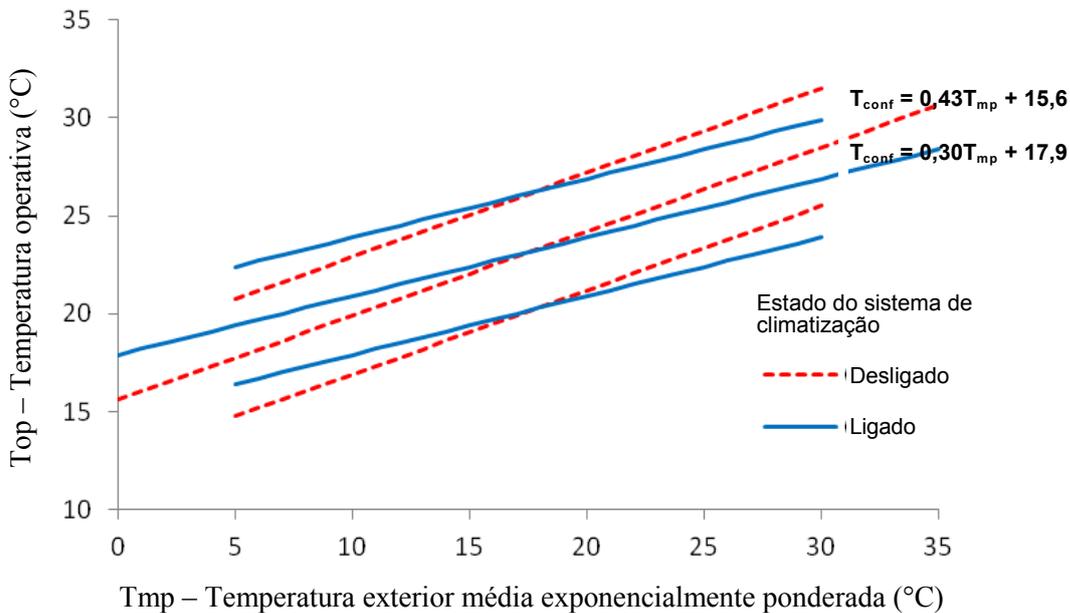


Figura 2 – Relação entre os limites de temperatura operativa interna, para edifícios sem sistemas de climatização mecânicos, em função da temperatura exterior média exponencialmente ponderada (adaptado de: Matias, 2010)

### 2.1.2. Iluminação

#### a) Conforto visual

A luz é a manifestação visual de energia, que se propaga sob a forma de ondas eletromagnéticas, perceptíveis ao olho humano. O conjunto de ondas eletromagnéticas, visíveis e não visíveis pelo olho humano, formam o espectro eletromagnético representado na Figura 3. A luz visível compreende, aproximadamente, os comprimentos de onda entre os 380 e os 780 nanómetros, situada entre a radiação ultravioleta e infravermelha. A cor resulta da existência de luz, no entanto não é uma propriedade da luz. As cores correspondem à interpretação do sistema sensorial, que atribui uma cor segundo a frequência de onda. Deste modo, os objetos não possuem cor, simplesmente refletem a radiação solar incidente sob a forma de ondas eletromagnéticas com um comprimento de onda característico, dependendo da constituição atômica de cada material (Mateus, 2009).

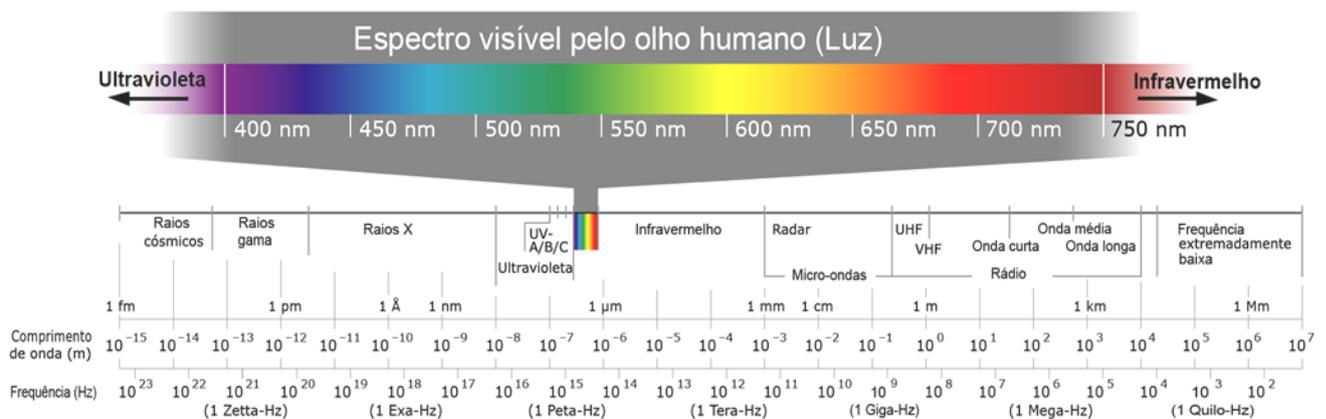


Figura 3 – Espectro eletromagnético (fonte: Botelho, 2011)

A iluminação é um dos principais fatores que influenciam a sensação de conforto no interior de edifícios. A sua função consiste em garantir a visibilidade dos espaços interiores, assegurando o correto e confortável desempenho das atividades do quotidiano. Não obstante, o conforto visual é entendido como a existência de um conjunto de condições, num determinado ambiente, no qual o ser humano pode desenvolver as suas tarefas visuais com o máximo de acuidade e precisão visual, com o menor esforço, com menor risco de prejuízos à visão e com reduzidos riscos de acidentes (Santos, 2007).

A escolha adequada da quantidade e qualidade de iluminação, num determinado ambiente, varia em função da pessoa e do contexto. Os fatores pessoais, como o sexo ou a idade, e o contexto, como o local ou a hora do dia, interferem com a decisão pessoal de cada um. Em

geral, quanto mais complexa for a tarefa a desempenhar ou quanto mais velha for a pessoa, maior deverá ser o nível de iluminação (Coutinho, 2009). Nos casos em que a iluminação é inadequada ao desempenho de determinadas atividades, um sujeito poderá apresentar sintomas de fadiga, cansaço, irritabilidade, dores de cabeça, além dos perigos que poderão resultar da atividade que este possa estar a exercer.

A luz natural teve, desde cedo, destaque na arquitetura e projeto de edifícios. A qualidade da luz, a redução dos consumos energéticos e os benefícios psicológicos e fisiológicos são, desde logo, algumas das razões apontadas pelos projetistas que optam por esta fonte de luz (Santos, 2007). Por razões óbvias, a iluminação natural não permite garantir um nível contínuo de iluminação, contudo deverá, sempre que possível, ser preferida relativamente à iluminação artificial. A sua versatilidade concede aos espaços interiores um ambiente dinâmico muito apreciado pelo ser humano (Santos, 2007). Desta última, a iluminação natural ajuda a criar condições de trabalho ótimas, permitindo uma sensação de bem-estar e de consciência do ambiente exterior, que tem um efeito benéfico para a saúde e sensação de conforto dos ocupantes.

### ***b) Avaliação do conforto visual***

O olho é um órgão do corpo humano capaz de se adaptar aos níveis de luminosidade existentes no ambiente. Contudo, só consegue desempenhar corretamente as funções visuais dentro de uma gama limitada de iluminâncias. A iluminância, cuja unidade SI é o “lux”, representa o fluxo luminoso incidente por unidade de área, ou seja, a incidência perpendicular de 1 lúmen por unidade de área. Os valores recomendados para os parâmetros de iluminação baseiam-se na correlação existente entre os diferentes níveis de iluminação e as respostas subjetivas dos ocupantes. A norma EN 12464-1:2002 recomenda níveis mínimos de iluminância para o adequado desempenho de várias tarefas visuais em condições de conforto. De forma análoga, a Comissão Internacional de Iluminação (CIE<sup>1</sup>) recomenda níveis de iluminâncias para vários tipos de atividades (Mateus, 2009). Na Tabela 4 encontram-se apresentadas as iluminâncias recomendadas pela CIE, no plano de trabalho, em edifícios residenciais e na Tabela 5 as iluminâncias recomendadas pela CIE para o desempenho de determinadas atividades.

---

<sup>1</sup> Acrónimo da expressão de língua francesa *Commission Internationale de L'Éclairage*

Tabela 4 – Iluminâncias recomendadas para edifícios residenciais (fonte: CIE, 2001)

Edifícios Residenciais	Iluminância (lux)
Zonas de passagem, escadas	100 – 150
Salas de jantar, quartos de dormir	100
Salas de estar, cozinhas, casas de banho	200
Zonas de Estudo	300 – 500

Tabela 5 – Iluminâncias recomendadas para diversos tipos de atividade (fonte: CIE, 2001)

Domínios	Iluminâncias Recomendadas (lux)	Tipo de Atividade
Iluminação geral para áreas pouco utilizadas ou com poucas exigências do ponto de vista das tarefas visuais	20 – 50	Áreas públicas com zonas circundantes “escuras”
	50 – 100	Orientação simples apenas para visitas temporárias de curta duração
	100 – 200	Compartimentos usados em atividades não contínuas (áreas de armazenagem, vestíbulos, átrios, etc.)
Iluminação geral em zonas interiores com exigências do ponto de vista das tarefas visuais	300 – 500	Tarefas com exigências visuais limitadas (trabalho com máquinas de pouca precisão, anfiteatros, etc.)
	500 – 1000	Tarefas de exigências visuais normais (salas de aula, gabinetes, trabalho com máquinas de precisão média)
	1000 – 2000	Tarefas de exigências visuais especiais (salas de desenho, gabinetes de arquitetura, tarefas de inspeção de materiais, etc.)
Iluminação adicional para o desempenho de tarefas visuais que exijam grande exatidão	3000 – 5000	Tarefas que exijam um desempenho visual de elevada exatidão, durante um período longo (fabrico de relógios, indústria eletrónica, outras atividades de precisão, etc.)
	5000 – 7500	Tarefas visuais que exijam um desempenho visual excecionalmente exato (micro-electrónica, etc.)
	10000 - 20000	Tarefas visuais muito especiais (cirurgias, etc.)

### 2.1.3. Qualidade do ar interior

#### a) Qualidade do ar em edifícios

O ambiente interior de edifícios poderá conter compostos potencialmente perigosos que resultam da utilização dos espaços ou são emanados pelos materiais que integram os elementos construtivos dos edifícios. Estes compostos, dependendo das suas características e das suas concentrações, são reconhecidos como importantes fatores de risco para a saúde humana, derivado dos efeitos nocivos da sua inalação ou contacto.

A perceção da qualidade do ar está diretamente relacionada com o sistema respiratório humano. Para que o ar manifeste uma boa qualidade terá de apresentar os seus constituintes básicos nas proporções normais e encontrar-se livre de partículas e/ou substâncias poluentes. Normalmente, o ar atmosférico seco é constituído por azoto (78%), oxigénio (21%), dióxido de carbono (0,03%) e por gases nobres como o árgon, néon, hélio, entre outros (0,97%). Para além desses constituintes, o ar tem ainda água sob a forma de vapor, em quantidade variável, sendo ideal que a humidade relativa se situe perto dos 50% (Mateus, 2009).

As populações urbanas passam mais de três quartos do seu tempo no interior de edifícios, pelo que é importante apontar que a população, de um modo geral, mas principalmente os grupos mais sensíveis da população, tais como crianças, idosos, asmáticos, etc., estão potencialmente expostos à poluição do ar interior (APA, 2009). O número de queixas relacionadas com a qualidade do ar tem crescido nos últimos anos, a par do aumento da densidade de edifícios, o crescente uso de materiais sintéticos e das medidas de conservação de energia que reduzem a taxa de renovação de ar (APA, 2009). Todas estas situações provocam o aumento das concentrações de poluentes no interior de edifícios, podendo desencadear reações nocivas nos seus ocupantes, conduzindo ao fenómeno conhecido como Síndrome do Edifício Doente (SBS). O termo SBS é o acrónimo da expressão inglesa *Sick Building Syndrome* e foi atribuída pela Organização Mundial de Saúde (OMS) para descrever situações de desconforto laboral e/ou de problemas agudos de saúde relacionados com a permanência no interior de alguns edifícios (Bernardes, 2009).

Os efeitos adversos na saúde dos ocupantes podem ser imediatos ou manifestarem-se ao fim de um longo período de exposição. O ar interior de um edifício resulta da interação da sua localização, do clima, do sistema de ventilação do edifício, das fontes de contaminação (mobiliário, fontes de humidade, processos de trabalho e atividades, e poluentes exteriores), e do número de ocupantes do edifício. Análises às amostras de ar podem não revelar concentrações significativas de nenhum dos poluentes presentes, pelo que o problema é muitas vezes associado à combinação dos efeitos de vários poluentes presentes em baixas concentrações, influenciado por outros fatores ambientais (APA, 2009). Na Tabela 6 encontram-se indicadas as principais substâncias poluentes presentes no interior de edifícios e respetivas fontes e efeitos na saúde dos ocupantes.

Tabela 6 – Principais substâncias poluentes no interior de edifícios e respetivas fontes e efeitos na saúde (fontes: APA, 2009; outros)

Poluentes	Fontes de Poluição	Principais efeitos na saúde
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	Processos de combustão, fumo de tabaco, Homem	Dor de cabeça, irritação dos olhos e garganta, fadiga
Monóxido de carbono (CO)	Combustão incompleta, fumo de tabaco	Dores de cabeça, sonolência, redução das capacidades físicas
Formaldeído (HCHO)	Isolantes térmicos, colas, têxteis, derivados da madeira, fumo do tabaco	Dores de cabeça, fadiga, alergias, irritação de pele, olhos e vias respiratórias
Ozono (O <sub>3</sub> )	Reações fotoquímicas, fotocopiadoras, impressoras	Dores de cabeça, doenças cardiovasculares, alergias, irritação de pele, olhos e vias respiratórias
Componentes Orgânicos Voláteis (COV)	Mobiliário, produtos de higiene pessoal, cosméticos, detergentes, tintas, resinas	Irritação da garganta, dores de cabeça, distúrbios visuais
Partículas e fibras	Fumo do tabaco, fibras têxteis, tintas	Irritação de pele, olhos e vias respiratórias, asma, bronquite
Radão	Radiação através da base dos edifícios	Carcinogénico

### ***b) Avaliação da qualidade do ar interior***

A avaliação da qualidade do ar interior não reúne o consenso geral da especialidade. O método mais utilizado, tal como indica a norma internacional EN 15251:2006, é a medição da concentração de dióxido de carbono. Este gás não causa desconforto direto nas pessoas, uma vez que é inodoro. No entanto, quando a sua concentração ultrapassa os 1000 ppm os ocupantes podem manifestar os sintomas já mencionados (ver Tabela 6). Sabendo que a ocupação dos espaços pelo Homem provoca um aumento da concentração de CO<sub>2</sub> devido aos bioefluentes humanos (uma exalação normal tem uma concentração de CO<sub>2</sub> de 40000 ppm), conhecendo o número de pessoas que estão num espaço, o seu volume e a concentração de CO<sub>2</sub> do ar exterior, é possível determinar a taxa de ventilação. Uma elevada concentração de CO<sub>2</sub> significa que existe uma baixa taxa de renovação do ar interior e pode ser também um indicador para a existência de outros poluentes em elevadas concentrações (Mateus, 2009).

A norma EN 15251:2007 deixa ainda a indicação que o estudo de outros poluentes, como por exemplo, o monóxido de carbono ou o formaldeído, deverá ser realizado no caso de existência de sintomas ou odores específicos e que nesses casos essa análise estará fora do âmbito da referente norma. Em todo caso, existem uma série de *guidelines* e normas específicas, nacionais e internacionais, que definem estratégias e procedimentos para a medição e avaliação de determinados poluentes (Bernardes, 2009). Assim sendo, na Tabela 7 são comparados os valores relativos às concentrações máximas de referência de poluentes no interior de edifícios com base na Nota Técnica NT-SCE-02 (SCE, 2009) e os valores guia da OMS.

Tabela 7 – Concentrações máximas de referência, segunda a Nota Técnica NT-SCE-02 e a OMS (fonte: Bernardes, 2009; SCE, 2009)

Poluentes	Concentração máxima de referência	
	NT-SCE-02 [mg/m <sup>3</sup> ]	OMS [mg/m <sup>3</sup> ] e tempos de exposição
Partículas suspensas no ar (PM10)	0,15	0,02 (1 ano) 0,05 (24 horas)
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	1800	1000 (-)
Monóxido de Carbono (CO)	12,5	100 (15 min.) 60 (30 min.) 30 (1 hora) 10 (8 horas)
Ozono (O <sub>3</sub> )	0,2	0,1 (8 horas)
Formaldeído (HCHO)	0,1	0,1 (30 min.)
Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COV <sub>TOTAIS</sub> )	0,6	-
Radão	400 Bq/m <sup>3</sup>	-
Bactérias	500 UFC/m <sup>3</sup> ar	500 UFC/m <sup>3</sup> ar
Fungos	100 UFC/m <sup>3</sup> água	100 UFC/m <sup>3</sup> água
Legionella	500 UFC/m <sup>3</sup> ar	500 UFC/m <sup>3</sup> ar

A presença de zonas rochosas graníticas em Portugal continental levanta questões relativas à concentração de gás radão. O gás radão é radioativo e resulta do decaimento natural do urânio que se encontra presente em quase todos solos. De facto, os níveis de radão são particularmente elevados em locais onde os solos ou rochas são ricos em urânio (APA, 2009). Neste sentido, a monitorização deste poluente afigura-se necessária nas principais regiões rochosas graníticas do país, nomeadamente nos distritos de Braga, Castelo Branco, Guarda, Porto, Vila Real e Viseu, tal como indica a Nota Técnica NT-SCE-02 (SCE, 2009).

O radão produzido no solo pode entrar num edifício através de fissuras nas fundações, debilidades nas canalizações, abertura de fossas/reservatórios, etc., e acumular-se em áreas mal ventiladas. Durante as estações frias quando as janelas estão fechadas e os aquecedores ligados, a diferença de temperatura entre o interior e o exterior das habitações, origina um gradiente térmico, causando um efeito de escoamento térmico. O ar quente na casa sobe e cria uma diferença de pressão nas partes inferiores do edifício. Esta sucção no nível inferior arrasta o radão do solo e dispersa-o pelo edifício (APA, 2009).

Efetivamente, as variações sazonais refletem-se nas concentrações do gás radão no interior de edifícios. Deste modo, a monitorização deste gás deverá ser realizada, de preferência, durante o período de inverno, quando os espaços são pouco ventilados e conseqüentemente quando a concentração de gás radão é maior, e durante um período mínimo de 1 a 3 meses, para que haja um período de estabilização, no caso de recolha de dados através de métodos passivos.

## **2.2. Arquitetura e construção vernácula**

### *2.2.1. Enquadramento*

A definição de arquitetura vernacular é abrangente e possui diversas interpretações. O termo é utilizado para descrever estruturas construídas por pessoas, influenciadas pelas tradições da sua cultura, utilizando materiais e tecnologias disponíveis no local. (Zhai & Previtali, 2010). Em sentido lato, a arquitetura vernácula é um tipo de arquitetura realizada com base em conhecimentos empíricos, sem a intervenção de arquitetos (Arboleda, 2006). A complexidade deste termo fica no entanto clara, nas palavras citadas por Paul Oliver, na obra intitulada *Encyclopedia of Vernacular Architecture of the World*, que expressa (Oliver, 1997):

*“Um certo número de tentativas têm sido feitas para encontrar uma definição geral da arquitetura vernácula. Não é surpreendente que estas tentativas não tivessem sucesso pois o termo é usado para abraçar uma gama imensa de tipos de construção, formas, tradições, usos e contextos.”*

A construção vernacular surge instintivamente como uma forma simples de lidar com as necessidades humanas. O Homem desde cedo construiu, quer por necessidade funcional como por satisfação pessoal. No princípio, o Homem carecia dos conhecimentos e de meios tecnológicos para o fazer, construindo abrigos precários para se proteger dos elementos da natureza, dos animais selvagens e dos seus semelhantes. Mais tarde, fixou-se num local

preciso, construiu casas, fundou lugares e com recurso aos meios existentes no local foi desenvolvendo, de forma empírica, medidas de adaptação das habitações às condições do meio (Zhai & Previtali, 2010). Este tipo de abordagem resultou na criação de uma série de medidas passivas, com o intuito de promover o conforto no interior das habitações. Estas medidas, simples e engenhosas, foram apurando um grau de eficácia notório, tendo por base o respeito pelas características do local, nomeadamente a geografia, a orientação, a insolação, os materiais, entre outras (Fernandes, 2012).

Este tipo de construção pode ser encontrado um pouco por todo mundo e representa de forma expressiva o tempo, a cultura e as tradições dos povos, incutidas pelo contexto socioeconómico e pelas atividades dos seus moradores (AAVV, 1980). Efetivamente, o termo vernáculo caracteriza algo particular ou característico de um país ou região. Não obstante desta definição, a arquitetura vernácula está diretamente ligada às singularidades de um determinado local ou região, uma vez que certos materiais e técnicas apenas podem ser encontrados e utilizados nesses locais (Priya et al., 2012).

Alguns desses exemplos são os casos apresentados na Figura 4: os celeiros fortificados de Ksar Ouled Debbab, no sul da Tunísia, remontam ao séc. XV e foram construídos com recurso a grossas paredes de adobe, que permitem resistir às grandes variações de temperatura do deserto do Saara (Hoylen, 2007); os *chum* são as habitações transportáveis do povo nómada Nenet, do noroeste da Sibéria, na Rússia, compostas por uma estrutura de madeira, coberta por peles de rena, que absorve e mantém o calor gerado por um fogão a lenha (Rakhimova, 2012); os *rumah*, no Norte de Sumatra, na Indonésia, são as casas tradicionais do povo Karo, assentes sobre estacas de madeira, cuja empena, elaboradamente decorada, dá a indicação da riqueza e do *status* da família (Naturalhomes, n.d.).



Figura 4 – (esquerda) Celeiros de Ksar Ouled Debbab (fonte: Hoylen, 2007); (centro) *Chum* do povo Nenet (fonte: Rakhimova, 2012); (direita) *Rumah* do povo Karo (fonte: Naturalhomes, n.d.)

Com o progresso do Homem, a arquitetura e a construção vernácula foi aprimorando conhecimentos, permitindo a combinação de diferentes materiais e técnicas, que resultaram numa vasta diversidade de soluções construtivas. Contudo, o início da Revolução Industrial, que teve início na segunda metade do século XVIII, marcou o princípio de uma nova era, dando início à rutura dos métodos tradicionais até então fortemente utilizados. O crescente êxodo das populações rurais para as cidades conduziu à desertificação das aldeias, condenando o património vernáculo ao abandono. As técnicas e os conhecimentos, acumulados ao longo de gerações, foram progressivamente perdendo expressão, caindo no esquecimento.

No final do séc. XX, a arquitetura vernacular esteve aparentemente esquecida no panorama da arquitetura contemporânea e as técnicas e medidas utilizadas na sua construção foram muitas vezes encaradas como reflexões do passado. Na realidade, os edifícios vernáculos são ainda bastante expressivos e de grande importância para o setor da construção, sendo este o tipo de construção mais difundido do mundo. Estima-se que 90% dos edifícios existentes são de arquitetura vernácula – aproximadamente 800 milhões de habitações – e que apenas 10% foram projetados por arquitetos profissionais (Oliver, 1997; Zhai & Previtali, 2010).

Apesar da sua longa história, só nos últimos 50 anos é que a arquitetura vernácula se estabeleceu como tema influente na arquitetura e construção. Durante este período, e de forma lenta e gradual, os estudos deste tipo de construção foram-se tornando cada vez mais complexos, até mais recentemente começarem a ser relacionados com a sustentabilidade.

A arquitetura vernacular é considerada especialmente sustentável pela sua interligação com o ambiente, pelo uso de materiais orgânicos e pelas soluções arquitetónicas *low-tech* e de reduzido impacto ambiental. Estes princípios, utilizados em edifícios tradicionais, se corretamente implementados em edifícios modernos poderão reduzir os consumos energéticos e possibilitar a construção de edifícios mais sustentáveis (Singh, Mahapatra, & Atreya, 2010)

### 2.2.2. *Arquitetura vernácula portuguesa*

A arquitetura vernacular portuguesa possui múltiplas manifestações construtivas, estando presente principalmente em meios rurais, reflexo do forte vínculo do povo português às atividades agrícolas. As diferentes assimetrias geográficas e climáticas, bem como os diferentes recursos que constituem o território português, resultaram num património vernáculo rico que caracteriza de forma distinta a cultura e os lugares de norte a sul do país. À imagem da arquitetura vernácula no resto do mundo, a arquitetura vernacular portuguesa reflete o engenho do povo que soube tirar partido da adversidade e falta de meios, para criar métodos eficientes, aprimorados ao longo de gerações (Fernandes, 2012).

Na Figura 5 são apresentados alguns exemplares da arquitetura vernácula em Portugal: reflexo das constantes necessidades de adaptação das comunidades piscatórias ao meio em que se encontravam inseridos, o palheiro construído sobre estacas foi um tipo de edifício muito utilizado no litoral norte do país. O extenso pinhal do litoral fornecia a principal matéria-prima, a madeira. A estrutura assente sobre estacas permitia que areia fluísse por baixo do edifício, sem que esta se acumulasse, enterrando o edifício (Ribeiro, 2007); os edifícios da aldeia de Piódão, no concelho de Arganil, recorrem aos materiais existentes na zona – o xisto e a madeira – adaptando-se à natureza íngreme das encostas da serra do Açor (Andrade, n.d.); a casa redonda, estilo típico da freguesia de São Jorge, na Ilha da Madeira, permite a manutenção de temperaturas interiores amenas durante todo o ano, recorrendo exclusivamente a materiais renováveis. O cultivo de cereais, para além de proporcionar sustento à população, permitia o aproveitamento da palha (colmo) para a cobertura das habitações. Estas casas são compostas por um sótão, para armazenagem e apoio às atividades agrícolas, e um piso térreo, geralmente destinado à habitação (Silva, 2012).



Figura 5 – (esquerda) Palheiro (fonte: Ribeiro, 2007); (centro) Aldeia de Piódão (fonte: Andrade, n.d.); (direita) Casa Redonda (fonte: Silva, 2012)

Desde o xisto ao granito, passando pelo adobe e pela madeira, a arquitetura vernacular portuguesa apresenta um vasto exemplar de soluções construtivas, que carecem ainda de estudo e reconhecimento, mas que contribuíram de forma inegável para a cultura e para o património do país (AAVV, 1980).

Destaca-se o trabalho de alguns arquitetos, que durante a década de 50 do século passado, desenvolveram aquela que seria a primeira grande publicação da temática em Portugal. Ainda sob uma fraca influência dos estilos que se viriam a desenvolver, o Inquérito à Arquitetura Popular em Portugal identificou de forma objetiva uma série de estilos arquitetónicos vernaculares portugueses, retratando o país rural de uma época (Fernandes, 2012; Mestre, 2002). Este trabalho foi realizado com o apoio do Ministério das Obras Públicas, onde de acordo com o Dec. Lei n.º 40 349 de 19/10/55 se pretendia:

*“ (...) a valorização da arquitetura portuguesa, estimulando-a na afirmação do seu vigor e da sua personalidade e apoiando-se no propósito de encontrar um rumo próprio para o seu engrandecimento”.*

Contudo, as transformações que viriam a ocorrer na sociedade portuguesa, durante a segunda metade do séc. XX, desencadearam o forte abandono e descaracterização do meio rural. As vagas de emigração e a forte industrialização proporcionaram a melhoria das condições de vida da população, ainda ligada a um estigma de pobreza. A troca das aldeias pelas cidades resultou no crescimento descontrolado da malha urbana e conseqüente destruição e abandono do património vernáculo (Fernandes, 2012; Mestre, 2002).

Hoje em dia, a construção vernacular portuguesa continua a padecer de problemas do passado, devido à falta de informação e reconhecimento. A associação deste tipo de construção à pobreza e falta de qualidade de vida de outros tempos continua a ser uma das razões apontadas, sendo que as soluções que passam pela reabilitação são muitas das vezes executadas de forma errada, comprometendo o comportamento e a traça original dos edifícios.

Para que a construção vernacular portuguesa obtenha o reconhecimento desejado, é necessário desmistificá-la, dando a conhecer as suas qualidades e o seu potencial, adaptando-a ao contexto atual da construção (Fernandes, 2012). O trabalho de muitos profissionais na reabilitação deste tipo de edifícios, dando uma interpretação moderna às características desta arquitetura, contribuem para preservar os valores desta cultura em extinção (Oliver, 1997).

## **2.3. Comportamento térmico e condições de conforto de edifícios vernaculares**

### *2.3.1. Contributo da arquitetura vernácula para a sustentabilidade dos edifícios*

A multiplicidade de soluções construtivas que integram a arquitetura vernácula resulta dos diversos condicionalismos naturais, sociais e económicos, que desde cedo o Homem soube combater e tirar partido (Zhai & Previtali, 2010). Este estilo arquitetónico varia muito com o vasto espetro de condições que compõe um determinado lugar e contém informação inerente de como otimizar o desempenho dos edifícios, utilizando recursos endógenos e de baixo custo. As técnicas que utiliza foram geradas através de um longo período de tentativa e erro de construtores locais, que possuíam conhecimentos específicos sobre os locais de construção, uma condição cada vez mais escassa nesta era de externalização e comunicação remota (Zhai & Previtali, 2010).

Nos dias de hoje, as práticas modernas não dão o devido valor às medidas de controlo ambiental, passivas e naturais, em edifícios. No contexto nacional, e durante vários anos, os conhecimentos inerentes a este tipo de construção estiveram abandonados e esquecidos. Com materiais e tecnologias modernas, os edifícios atuais apresentam, na sua maioria, perfis ineficientes de utilização de energia, numa tentativa de proporcionar as corretas condições de conforto em ambientes fechados.

Por outro lado, a arquitetura tradicional portuguesa, como no resto do mundo, tem evoluído ao longo dos tempos num esforço persistente e contínuo de criar soluções mais eficientes e perfeitas (Dili et al., 2010). Neste sentido, a arquitetura vernácula voltou a suscitar o interesse geral, em especial pela sua natural ligação com as principais dimensões do desenvolvimento sustentável (económica, social e ambiental) (Fernandes, 2012).

A humanidade atravessa um período delicado onde é premente reduzir os consumos de matérias-primas, sem esquecer o poder económico e a melhoria das condições de vida das populações. A construção vernácula surge atualmente associada ao conceito de construção sustentável, apresentando várias soluções que poderão servir de resposta às necessidades de conforto humanas.

Para que a arquitetura vernácula seja encarada como um exemplo de sustentabilidade é necessário adaptá-la ao contexto atual da construção, fomentar a sua aplicação entre os vários intervenientes do setor da construção e mudar algumas das ideias erradamente formadas,

como a conotação de pobreza atribuída pela maioria das pessoas. A quantidade de trabalhos publicados em torno desta temática é já notória e expressa o crescente interesse pelas suas potencialidades, como se apresentará de seguida. No entanto, em Portugal, há uma vasta investigação de campo por desenvolver, com o objetivo de comprovar a eficácia das estratégias vernáculas.

### *2.3.2. Desenvolvimentos no estudo do comportamento térmico e condições de conforto da construção vernácula*

A literatura disponível, relativa a esta temática, é abrangente, em especial a nível internacional, uma vez que em Portugal esta área de estudo apresenta-se praticamente inexplorada. Observa-se que, em comum, os autores utilizam como ponto de referência análises ideológicas, em que se identificam as diferentes vertentes da arquitetura vernácula e as estratégias de resposta aos condicionalismos para as quais foram concebidas (Borong et al., 2004). Exemplo disso é o trabalho publicado por Paul Oliver, nome incontornável no domínio da arquitetura vernacular, que em 1997 publica a primeira grande enciclopédia da arquitetura vernácula, identificando uma série de estilos e técnicas de todo o mundo.

A nível nacional distingue-se o já mencionado Inquérito à Arquitetura Popular em Portugal, publicado na década de 50, os trabalhos *Arquitetura Tradicional em Portugal* (AAVV, 1980), *Arquitetura Popular dos Açores* (AAVV, 2000), *Arquitetura Popular da Madeira* (AAVV, 2002) e mais recentemente o trabalho desenvolvido por Fernandes (2012), numa vertente vocacionada para os princípios de sustentabilidade da arquitetura vernacular portuguesa.

Progressivamente, a vertente de estudo da arquitetura vernácula veio a focar-se nos aspetos técnicos desta construção, em particular nas áreas da bioclimática, sustentabilidade e eficiência energética (Fernandes, 2012; Priya et al., 2012; Singh, Mahapatra, Atreya, & Givoni, 2010). Entre as várias características estudadas, o comportamento térmico e as condições de conforto estão entre as que despertam maior interesse, sendo alvo de variados estudos.

O estudo desenvolvido por Borong et al. (2003) é sinal do crescente interesse pela arquitetura vernácula e reflete os primeiros passos dados na investigação do comportamento e condições de conforto de edifícios vernaculares. Com base em medições de campo, foram estudados quatro edifícios tradicionais chineses, durante o verão. O foco principal desta investigação residia na compreensão das técnicas utilizadas nos edifícios e na forma como se refletiam nas

condições de conforto dos seus ocupantes. Ainda sem grande ênfase nas potencialidades futuras deste estilo arquitetónico, este estudo clarificou alguns pontos de vista que se apresentavam errados e permitiu entender a importância das estratégias de sombreamento, isolamento e ventilação, que se provaram eficazes.

Ao contrário do estudo anterior, que foi de carácter mais pontual, o estudo realizado por Singh et al. (2009) manifesta claramente uma evolução, apresentando um estudo mais aprofundado e rigoroso. Ainda sem validação experimental e carecendo de uma análise quantitativa, os investigadores realizaram um estudo detalhado sobre o desempenho térmico de edifícios vernaculares do nordeste da Índia.

O desenvolvimento deste estudo incluiu o levantamento detalhado de 150 habitações, testes de campo e voto da sensação térmica de 300 ocupantes, segundo a escala de sensação térmica da norma internacional ASHRAE 55. O teste de campo incluiu a medição de temperatura, humidade, nível de iluminação. O desempenho térmico destas habitações foi avaliado nos meses de inverno, imediatamente antes do verão, verão/monção e nos meses imediatamente antes do inverno do ano de 2008 (Figura 6). Esta avaliação foi baseada na abordagem adaptativa da norma ASHRAE 55, para a previsão da temperatura de conforto em edifícios naturalmente ventilados. Com base neste estudo verificou-se que os edifícios vernáculos desta região apresentam um comportamento satisfatório, exceto nos meses de inverno, e que os ocupantes se sentem confortáveis numa ampla gama de temperaturas.

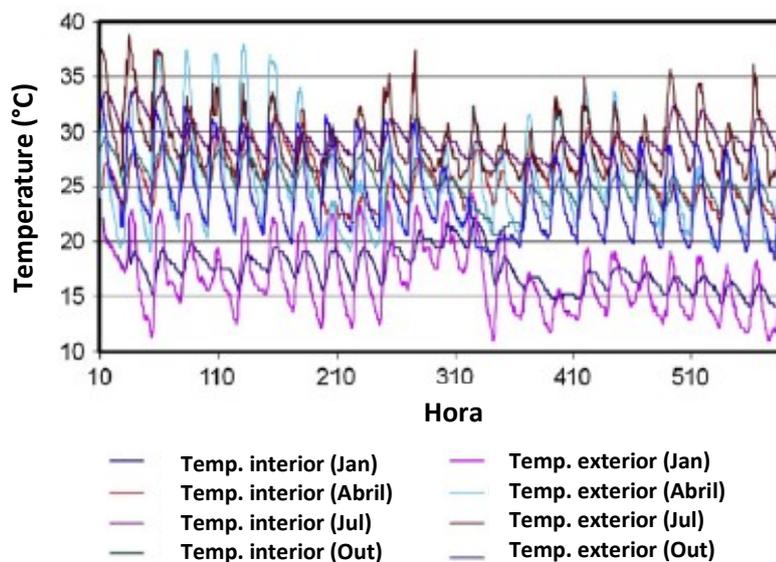


Figura 6 – Perfis de temperatura de um dos casos de estudo (fonte: Singh, Mahapatra, Atreya et al., 2010)

Com objetivos similares, o estudo desenvolvido por Priya et al. (2011) teve o objetivo de analisar quantitativamente e qualitativamente o ambiente interior de edifícios vernaculares residenciais, da região costeira de Nagapattinam, na Índia. Com este estudo os autores visavam a preservação do património vernáculo da região e a identificação das técnicas utilizadas nos edifícios, de modo a definir o potencial de adaptação ao contexto atual da construção.

Este estudo envolveu uma caracterização da geografia e do clima da região, e um levantamento extensivo das técnicas (Figura 7) e dos materiais utilizados. A análise quantitativa foi realizada através da monitorização dos parâmetros ambientais, recorrendo, entre vários aparelhos, a uma mini estação meteorológica.

Através dos dados recolhidos, os autores concluíram que as estratégias naturais e passivas utilizadas nos edifícios desta região são muito eficazes na promoção do conforto térmico, providenciando um espaço quente durante o inverno e fresco durante o verão. O estudo também conclui que os princípios utilizados são ainda válidos, sendo possível aos projetistas e arquitetos a incorporação em edifícios modernos, adaptando-se às necessidades atuais de poupança de energia, reduzindo a dependência de meios artificiais de conforto.

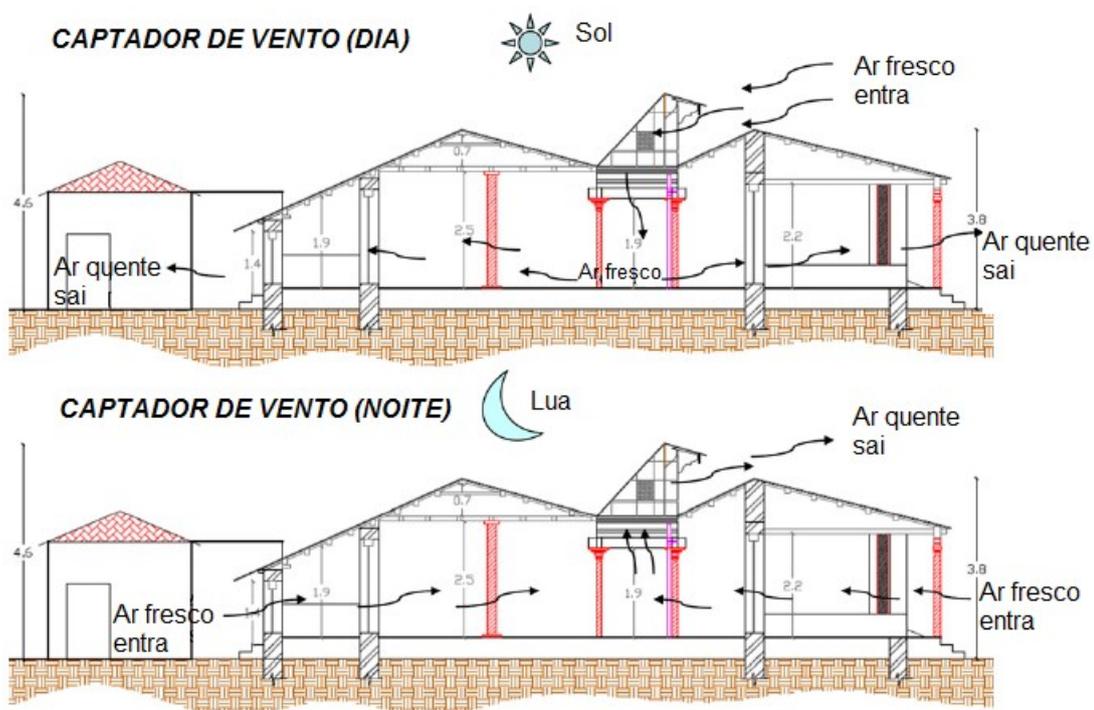


Figura 7 – Estudo das estratégias passivas de ventilação natural (fonte: Priya et al., 2012)

Direcionado para o reconhecimento do património vernáculo vietnamita, o estudo desenvolvido por Nguyen et al. (2011) apresenta um levantamento fotográfico detalhado, dando um ênfase especial à cultura enraizada nos edifícios. Em adição, o estudo é completo com a análise a três regiões climáticas, sendo monitorizados dois edifícios por cada região. A análise englobou a caracterização das regiões e dos edifícios em estudo, o levantamento das técnicas passivas utilizadas nos edifícios, incluindo uma investigação criteriosa sobre o seu funcionamento, e monitorizações *in-situ* do nível de iluminação, temperatura, humidade, velocidade do ar e temperatura média radiante.

Embora o método de cálculo utilizado para o cálculo do PMV e PPD tenha por base as normas internacionais ISO 7730 e ASHRAE 55, estas foram consideradas inadequadas para prever a sensação térmica de ocupantes de edifícios naturalmente ventilados, em clima quente e húmido, uma vez que negligencia a fisiologia humana, o comportamento e as adaptações psicológicas. De forma a realizar uma análise mais rigorosa, os autores realizaram a simulação do comportamento dos edifícios através de ferramentas informáticas (Figura 8).

Da análise realizada aos resultados obtidos, os autores indicam que as monitorizações *in-situ*, realizadas durante um curto espaço de tempo, não dão uma visão precisa do comportamento dos edifícios, e que para tal, as monitorizações deverão ser combinadas com ferramentas que permitam fazer previsões a longo prazo. O estudo conclui que os edifícios vernaculares vietnamitas se adaptam relativamente bem com as estratégias passivas utilizadas, apesar de o comportamento poder ser melhorado, uma vez que nenhum dos casos estudados recorre ao isolamento térmico. Por fim, o estudo acrescenta que, em condições de clima relativamente severo, os edifícios beneficiariam de um sistema mecânico.



Figura 8 – Estudo das estratégias passivas de sombreamento solar (Nguyen, Tran, Tran & Reiter, 2011)

O estudo desenvolvido por Dili et al. (2010) apresenta uma abordagem diferente das anteriores, tendo o intuito de comparar os edifícios tradicionais de Kerala, no sudoeste da Índia, com edifícios modernos, de modo a verificar a eficácia dos sistemas de controlo passivo. A monitorização dos parâmetros ambientais foi realizada *in-situ*, nos edifícios tradicionais e modernos.

O estudo conclui que, a variação da temperatura interior durante o dia é menor nos edifícios tradicionais em comparação com os edifícios modernos, indicando também que o fluxo de ar, proporcionado pelas estratégias utilizadas na ventilação dos edifícios tradicionais, mantém as temperaturas a um nível mais baixo, contribuindo para o conforto dos ocupantes. O estudo é finalizado citando que, durante o verão, os edifícios modernos são muito quentes e desconfortáveis, ao contrário dos edifícios tradicionais que promovem um ambiente confortável, provando a eficácia das estratégias passivas utilizadas.

### 2.3.3. Métodos de avaliação

A análise dos estudos supracitados permite constatar que vários autores têm adotado métodos de investigação análogos. Desta forma, a linha de investigação da presente dissertação irá basear-se nestas metodologias, que comprovadamente permitem alcançar os objetivos delineados. A revisão da literatura existente constitui um suporte precioso na prevenção de possíveis equívocos e permite uma visão geral sobre as diferentes análises e conclusões deste estudo. No modo geral, a metodologia de investigação adotada, para avaliação do comportamento e condições de conforto de edifícios vernaculares, está estruturada da seguinte forma:

- Análise e recolha de dados relativa ao edifício vernáculo em estudo e à sua relação com as condições específicas do local. A recolha de dados incide sobre as características gerais do edifício, nomeadamente a orientação solar, os materiais e técnicas passivas utilizadas, a organização interna dos espaços, etc.;
- Realização de monitorizações *in-situ* dos parâmetros ambientais e pessoais, nível de iluminação e concentração de poluentes que influenciam as condições de conforto (temperatura, humidade relativa, velocidade do ar, concentração de dióxido de carbono, níveis de atividade (met), etc.);

- Complemento da etapa anterior através da avaliação subjetiva do nível de conforto (tendo por base os questionários das normas internacionais, como por exemplo os da ASHRAE 55);
- Avaliação do comportamento e do conforto do edifício em estudo tendo por base os métodos ilustrados nas normas vigentes e os dados recolhidos nas monitorizações.

### **3. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO E DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO DA ARQUITETURA VERNACULAR**

#### **3.1. Enquadramento**

O presente trabalho tem como principal objetivo a avaliação *in-situ* do comportamento térmico e das condições de conforto de um edifício vernáculo. As condições de conforto de um edifício são difíceis de determinar, uma vez que dependem de vários parâmetros ambientais, da adaptabilidade e percepção humana, entre outros fatores. Para o efeito, a metodologia de avaliação será baseada, simultaneamente, em avaliações objetivas e subjetivas.

As avaliações objetivas são destinadas à caracterização dos parâmetros físicos que influenciam os indicadores de conforto, nomeadamente o ambiente térmico, a luminosidade e a qualidade do ar. As avaliações subjetivas têm como finalidade conhecer a sensação dos ocupantes, relativamente às condições de conforto do edifício. Para estabelecer mais facilmente a correlação entre os resultados das diferentes avaliações foram recolhidos dados adicionais com o intuito de caracterizar o edifício e o ambiente envolvente.

Na secção 2.1 foi apresentado o atual estado de arte relativo aos métodos de avaliação dos parâmetros mencionados. Nas secções seguintes explica-se a metodologia geral de ensaio e o modo como foram efetuadas as diferentes avaliações.

#### **3.2. Avaliações objetivas**

Na presente secção serão apresentados os métodos a utilizar na obtenção das grandezas físicas que caracterizam cada um dos referidos parâmetros, tendo por base as indicações consagradas nas diferentes normas da especialidade. De acordo com os parâmetros a monitorizar serão apresentados, de forma breve e objetiva, os diferentes equipamentos de medição habilitados para o efeito e os principais cuidados a ter durante as medições.

### 3.2.1. Ambiente térmico

A caracterização do comportamento térmico foi realizada através da monitorização dos parâmetros temperatura do ar e humidade relativa, no exterior e no interior de todos os compartimentos do edifício. O equipamento que permite monitorizar em simultâneo a temperatura e a humidade relativa do ar, de todos os espaços interiores, é o *data logger* com os respetivos transmissores independentes, da marca TFA, modelo KlimaLogg Pro. Na Figura 9 encontram-se representados os referidos equipamentos.



Figura 9 – (esquerda) *Data logger* (modelo da marca TFA); (direita) Transmissor independente (modelo da marca TFA)

Este equipamento possui uma precisão de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  de temperatura e de  $\pm 3\%$  de humidade relativa, entre os 35% e os 75%. Fora deste intervalo, a precisão é de  $\pm 5\%$ . A monitorização dos dados é feita de forma ativa, permitindo a qualquer momento a transferência de dados, sem a interrupção do período de medições, através de um transmissor USB. Os transmissores externos comunicam com o registador através de sinais de rádio, até uma distância de 100 metros e um número máximo de 8 transmissores. Os equipamentos foram colocados em locais protegidos da radiação solar direta e aonde não representavam um obstáculo às atividades quotidianas dos ocupantes.

De forma a monitorizar a temperatura e a humidade relativa no exterior do edifício foi utilizado o equipamento da marca Testo, modelo testostor 175 Logger. Na Figura 10 encontra-se apresentado o equipamento utilizado.



Figura 10 – Testostor (modelo da marca Testo)

Os testostors funcionam de forma individual, sendo necessária a prévia programação, recorrendo para tal ao programa informático que acompanha o equipamento. O equipamento permite até 4000 medições, permite medir a temperatura no intervalo  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $70^{\circ}\text{C}$ , a precisão de  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  de temperatura e entre  $\pm 1,2\%$  a  $\pm 3\%$  de humidade relativa. O equipamento foi colocado em locais protegidos da água da chuva e da radiação solar direta.

A caracterização do comportamento térmico do edifício estendeu-se por um período mínimo de 25 dias em cada estação do ano. Os dados foram registados em intervalos de 30 minutos.

O equipamento utilizado na caracterização do ambiente térmico dos espaços interiores, segundo as normas internacionais ISO 7730 e ISO 7726, foi a estação de conforto, da marca Delta Ohm, modelo HD32.1 *Thermal Microclimate*. Este equipamento está preparado para a avaliação de ambientes de temperatura moderada e será equipado com as seguintes sondas: sensor de temperatura de bolbo negro ( $\text{Ø}150\text{mm}$ ), que permite obter a temperatura de radiação; sensor omnidirecional de fio quente, que mede a velocidade do ar; sensor combinado de temperatura do ar e de humidade relativa; e duplo sensor para medição de temperatura de bolbo seco e de bolbo húmido. Na Figura 11 encontra-se apresentado o equipamento utilizado.



Figura 11 – Estação de conforto (equipamento da marca Delta Ohm, modelo HD32.1 Thermal Microclimate)

Segundo as normas de avaliação do ambiente térmico, as medições de conforto deverão ser realizadas nos locais ocupados do edifício, onde é esperado que os ocupantes despendam o seu tempo. Os locais habilitados para o efeito são os locais de trabalho. As monitorizações foram realizadas no centro dos compartimentos ou a 1 metro a partir do centro de cada uma das paredes do compartimento. Os sensores do equipamento foram colocados a 1,0m de altura (aproximadamente a 0,6m de altura em relação ao plano do assento das cadeiras), tal como indicado pela norma ISO 7730 para a avaliação do conforto térmico de um indivíduo sentado. O período de monitorização foi no mínimo de 1 hora, em cada compartimento avaliado, e o intervalo entre registos de 5 minutos.

Em complemento ao equipamento, foi utilizado o programa informático *CBE Program Comfort Tool* (Hoyt, Schiavon, Piccioli, Moon, & Steinfeld, 2013), cuja página de apresentação dos resultados se encontra representada na Figura 12. Esta ferramenta tem por base o modelo apresentado na norma *ASHRAE Standard 55:2010*, sendo possível a introdução dos valores dos índices *clo* (resistência térmica da roupa) e *met* (atividade metabólica) dos ocupantes e obter assim os índices PMV e PPD. Os valores referentes à resistência térmica da roupa e atividade metabólica são obtidos através do preenchimento dos inquéritos de conforto (secção 3.3).

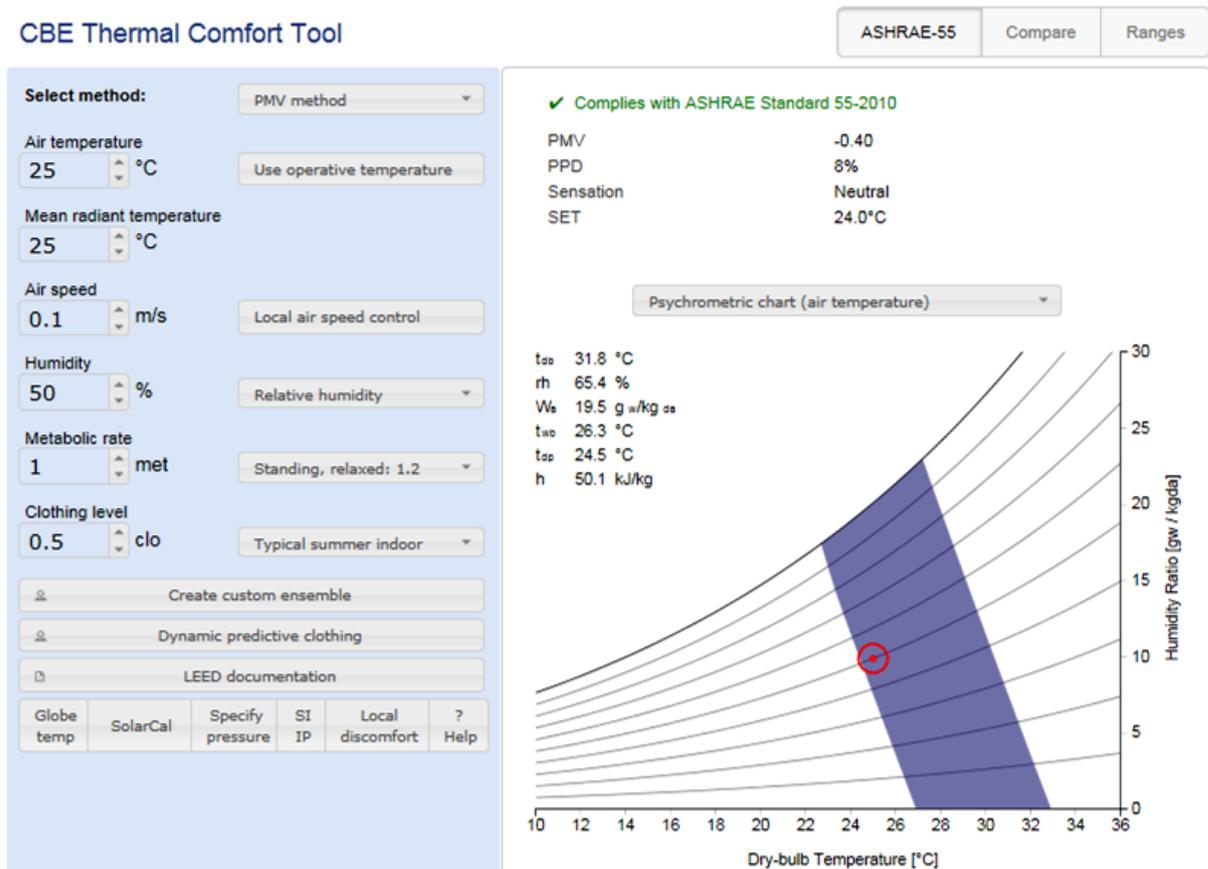


Figura 12 – Ferramenta CBE Thermal Comfort Tool (Hoyt et al., 2013)

### 3.2.2. Iluminação

A caracterização da luminosidade baseia-se na medição das iluminâncias nos planos de trabalho dos espaços em estudo. Para o efeito, o equipamento utilizado foi o foto-radiómetro, da marca Delta Ohm, modelo HD 2302.0, equipado com a sonda LP 471 PHOT para medição das iluminâncias (lux). Na Figura 13 encontra-se representado o referido equipamento.

O foto-radiómetro é um instrumento de medição portátil que permite a leitura instantânea das iluminâncias. É recomendado para a avaliação da luminosidade em espaços com temperatura ambiente entre -5°C e os 50°C, efetuando medições numa gama compreendida entre 0,01 lux e 200.000 lux. O registo das iluminâncias foi efetuado de forma manual e posteriormente introduzido numa folha de cálculo Excel, uma vez que o equipamento não possui memória para o registo dos dados.

O período de medição foi no mínimo de 10 minutos, para cada um dos postos de trabalho, sendo posteriormente adotado o valor médio.



Figura 13 – Foto-radiómetro e sonda de medição da iluminância (equipamentos da marca Delta Ohm, modelo HD 2302.0)

### 3.2.3. *Qualidade do ar*

A concentração de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), em partes por milhão (ppm), foi a grandeza utilizada na caracterização da qualidade do ar dos espaços interiores. Este é um dos parâmetros mais utilizados na caracterização da qualidade do ar interior de um edifício por existir uma boa correlação entre a concentração deste gás e a taxa de renovação de ar e também com a produtividade dos ocupantes.

A concentração  $\text{CO}_2$ , ao ser um bom indicador da ventilação de um espaço, poderá também indicar a existência de outros poluentes em concentrações superiores às recomendadas (Mateus, 2009). Os níveis de dióxido de carbono acima de 1000 partes por milhão (ppm) indicam que a taxa de ventilação é baixa e que há possivelmente a acumulação de outros poluentes transportados pelo ar (APA, 2009).

O equipamento de medição utilizado para a monitorização da concentração de dióxido de carbono é o aparelho de medição multifunções da marca Testo, modelo 435. Na Figura 14 são apresentados o equipamento de medição e a sonda de avaliação da qualidade do ar.



Figura 14 – Equipamento de medição multifunções testo 435 e sonda de avaliação da qualidade do ar (equipamentos da marca testo)

Este aparelho de medição portátil possibilita a leitura direta através da sonda de avaliação da qualidade do ar. A sonda permite o registo das concentrações de CO<sub>2</sub> compreendidas no intervalo entre 0 e 10000 ppm, podendo ser utilizada numa gama de temperaturas entre os -20°C e os 50°C. Segundo dados do fabricante, o erro máximo da sonda corresponde ao maior dos seguintes valores:  $\pm 75$  ppm ou  $\pm 3\%$  dos valores medidos entre 0 e os 5000 ppm; e  $\pm 150$  ppm ou  $\pm 5\%$  dos valores medidos entre os 5001 e os 10000 ppm.

De acordo com a norma internacional EN 15251, as medições da concentração de CO<sub>2</sub> são realizadas nos espaços onde é esperado que os ocupantes passem o seu tempo. Recomenda-se, para cada leitura, um período mínimo de 5 minutos para sistemas de medição portáteis de leitura em tempo real. O tempo de medição nos pontos de amostragem foi representativo do período de ocupação, tendo em vista a verificação de conformidade das concentrações máximas de referência. Na utilização de equipamentos de leitura portáteis, o operador esteve afastado do amostrador, de modo a prevenir a contaminação do ar com o CO<sub>2</sub> da própria respiração.

Nas medições da concentração de radão é recomendado que se avalie as divisões da habitação, nas quais se despende mais tempo. Uma vez que são esperadas concentrações mais elevadas de radão em espaços pouco ventilados, as medições em caves podem ser representativas para a avaliação da situação de radão em espaços interiores. Considerando que os níveis de radão variam significativamente durante o ano, aconselham-se medições a longo prazo. As medições de radão podem ser baseadas em detetores passivos, ou por um método de

referência com recolha e análise. No caso da recolha do radão por detetores passivos, é recomendável que a amostragem seja calendarizada durante 2 a 3 meses. O equipamento de medição utilizado foi o ATMOS 12 DPX da marca Gammadata. Este equipamento permite a medição das concentrações de gás radão entre o intervalo 1 a 100000 Bq/m<sup>3</sup>. Na Figura 15 é apresentado o equipamento utilizado.



Figura 15 – Equipamento ATMOS 12 DPX (equipamento da marca Gammadata)

### 3.3. Avaliações subjetivas

Com o intuito de conhecer a opinião dos ocupantes, relativa aos parâmetros de conforto dos compartimentos avaliados, foi desenvolvido o inquérito sobre a perceção da qualidade do ambiente interior, tendo por base o inquérito de avaliação do conforto térmico *Thermal Environment Survey* da norma internacional ASHRAE 55 e as recomendações para as avaliações subjetivas apresentadas na norma EN 15251. O inquérito sobre a perceção da qualidade do ambiente interior pode ser consultado no Anexo I.

O inquérito, de quatro páginas, encontra-se dividido em quatro partes e apresenta a seguinte estrutura: a primeira parte compõe uma breve explanação dos objetivos do inquérito, onde são tecidas algumas considerações acerca do seu preenchimento; na segunda parte é pedido ao inquirido que preencha os diversos campos destinados a obter o contexto cronológico da medição (data e hora), alguns dados pessoais (nome, género, peso, idade, altura e a existência,

ou não, de algum motivo de ordem psicológica e/ou fisiológica que possa condicionar a sensação de conforto), as condições do ambiente envolvente (temperatura, estação climática, estado do tempo e equipamentos que possam estar a interferir com as condições do ambiente interior) e indicação do nível de atividade que o inquirido esteve a efetuar no momento de realização das avaliações objetivas; a terceira parte destina-se à caracterização do vestuário do inquirido e à obtenção do voto médio da sensação de conforto térmico; na quarta parte pretende-se que o inquirido avalie a sensação de conforto global e dos restantes parâmetros em estudo. Por último, dirigido ao auditor, as colunas laterais de cor cinzenta, presentes em algumas partes do inquérito, tem como objetivo facilitar o tratamento de dados.

Segundo a norma internacional ASHRAE 55, um sujeito previamente exposto a um determinado ambiente térmico e/ou nível de atividade poderá encontrar as condições, do espaço em estudo, fora do seu padrão de conforto. O efeito desta exposição e/ou atividade poderá afetar a sensação de conforto por um período aproximado de uma hora. Para o efeito, os intervenientes estiveram expostos às condições de conforto dos espaços em estudo, por um período aproximado de uma hora, antes da distribuição dos inquéritos. Deste modo foi proporcionado ao sistema termorregulador o tempo necessário para se adaptar ao ambiente envolvente.

Os ocupantes procederam à votação da sensação de conforto, relativo ao ambiente térmico, através da atribuição de um patamar da escala de conforto térmico, apresentada nas normas ISO 7730 e ASHRAE 55. A escala é constituída por sete patamares, em que os extremos (1 e 7) representam os patamares máximos de conforto (respetivamente muito quente e muito frio) e o patamar intermédio (0) representa a condição plena de conforto (neutro). Na Tabela 8 encontra-se representada a escala utilizada.

Tabela 8 – Escala utilizada na avaliação subjetiva do nível de conforto provocado pelo ambiente térmico

Sensação de conforto térmico no espaço onde se encontra o ocupante (indique o que é mais apropriado)
1. Muito quente
2. Quente
3. Ligeiramente quente
4. Neutro (confortável)
5. Ligeiramente frio
6. Frio
7. Muito frio

A votação da sensação de conforto dos restantes parâmetros (iluminação, qualidade do ar e conforto global) foi efetuada através da colocação de uma cruz (X) sobre uma escala graduada. A escala utilizada na avaliação da luminosidade permite identificar se o conforto advém da luminosidade excessiva ou insuficiente e é constituída por quatro patamares de desconforto: neutro (confortável), ligeiramente desconfortável, desconfortável e muito desconfortável. Na Figura 16 encontra-se representada a escala utilizada na avaliação subjetiva do nível de iluminação.

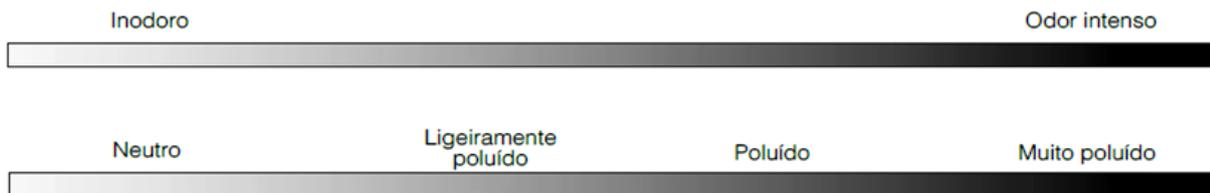


Figura 16 – Escala utilizada na avaliação subjetiva do nível de conforto provocado pela luminosidade

A avaliação subjetiva dos níveis de conforto relativos à qualidade do ar foi efetuada através de duas escalas, representadas na Figura 17. A primeira escala remete-se à presença, ou não, de odores dentro do espaço em análise, em que o extremo esquerdo representa uma situação de neutralidade (inodoro) e o extremo direito representa uma situação de desconforto (odor intenso). A segunda escala permite avaliar a sensação de conforto, relativa à presença de poluentes no interior dos espaços, sendo constituída por quatro patamares: neutro (confortável), ligeiramente poluído, poluído e muito poluído.



Figura 17 – Escala utilizada na avaliação subjetiva do nível de conforto provocado pela qualidade do ar

No final solicita-se aos inquiridos que classifiquem o nível de conforto global, utilizando para o efeito a escala de avaliação apresentada na Figura 18. A escala é constituída por quatro zonas de conforto, correspondendo cada uma aos seguintes níveis de conforto: neutro (confortável), ligeiramente desconfortável, desconfortável e muito desconfortável.



Figura 18 – Escala utilizada na avaliação subjetiva do nível de conforto global

A avaliação subjetiva dos níveis de conforto causado pelo ruído foi incluída neste inquérito, contudo a sua análise não faz parte do âmbito deste estudo. A escala é constituída por quatro zonas de conforto, correspondendo cada uma aos seguintes níveis de conforto: neutro (confortável), ligeiramente ruidoso, ruidoso e muito ruidoso.



## **4. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO E DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO A UM EDIFÍCIO VERNÁCULO**

### **4.1. Contextualização**

O estudo dos princípios de sustentabilidade da arquitetura vernacular portuguesa apresenta-se ainda em fase inicial e com grande potencial de desenvolvimento. Neste sentido, este trabalho de investigação pretende facultar uma base de estudo sólida, focada nos aspetos técnicos desta construção, proporcionando uma ferramenta útil para o desenvolvimento de investigações futuras.

Tal como se referiu anteriormente, este estudo tem como objetivo principal analisar o comportamento térmico e as condições de conforto de um edifício vernáculo, ao longo das várias estações do ano, procurando perceber se as estratégias adotadas promovem o conforto interior e se coadunam aos atuais requisitos de conforto. Desta forma, espera-se que os resultados obtidos nesta investigação possam ser generalizados a tipos de construção com características semelhantes às estudadas e inseridas na mesma região climática.

A estratégia de investigação assenta sobre um caso de estudo, no qual foram recolhidos uma série de dados relativos aos principais indicadores de conforto no interior de edifícios – ambiente térmico, iluminação e qualidade do ar – que permitirão estudar, de forma objetiva e imparcial, o seu desempenho.

A seleção da área de estudo teve por base as divisões fundamentais do território português definidas por Orlando Ribeiro (1998) – norte Atlântico, norte transmontano e sul. A seleção do caso de estudo baseou-se no contraste entre as diversas áreas ao nível dos diversos fatores locais (Figura 19), as diferenças na arquitetura vernacula dessas zonas e a potencial contribuição para a sustentabilidade da construção, como aponta Fernandes (2012) na sua investigação. Deste modo, a área de estudo foi o interior norte, representada pelo número 2 na Figura 19 (transição entre a Beira Alta e Trás-os-Montes), e os edifícios vernáculos em análise são os edifícios da Beira Alta com varandas envidraçadas (Figura 20).

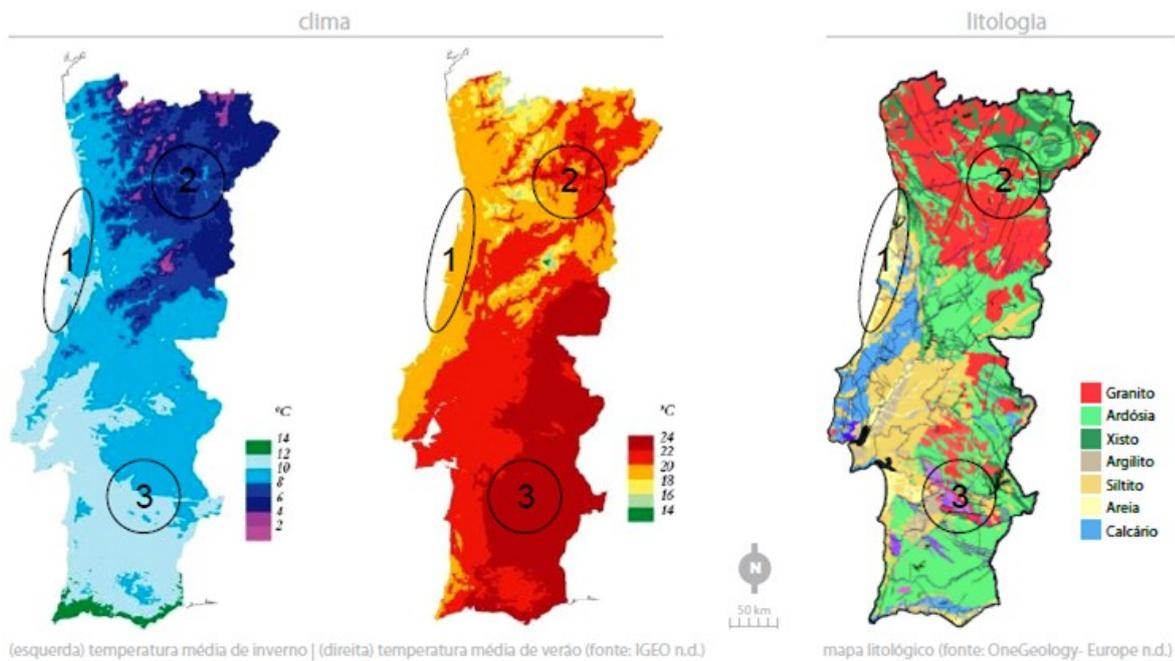


Figura 19 – Contrastes do território português (fonte: Fernandes, 2012)



Figura 20 – Exemplos de varandas envidraçadas da arquitetura vernacular portuguesa (fonte: desconhecida; Carvalho, 2008)

A primeira etapa desta investigação consistiu na recolha de informação referente ao edifício e à sua relação com o meio. Entre as informações recolhidas enumera-se, por exemplo, a orientação do edifício, as estratégias e materiais utilizados, a organização interna dos espaços, dados geográficos e climáticos, etc.. A etapa seguinte teve por base a visita ao local e a realização, em simultâneo, de avaliações objetivas e avaliações subjetivas. No final, com base nos dados recolhidos, estabeleceu-se uma relação entre o comportamento do edifício e as condições de conforto reais, permitindo perceber de que forma as técnicas passivas utilizadas contribuem para o seu desempenho.

Nas secções seguintes apresenta-se o edifício vernáculo estudado, explica-se a metodologia geral de ensaio e o modo como foram conduzidas as medições objetivas e subjetivas.

## 4.2. Descrição do caso de estudo

### 4.2.1. Caracterização do local

#### a) Caracterização geral

A região Beirã é uma das seis regiões em que se divide Portugal continental, situada na região centro/norte do país. É limitada a norte pelo rio Douro e a sul pelo rio Tejo e pela região da Estremadura. O edifício vernáculo em estudo situa-se na aldeia de Granja do Tedo, a 10km da cidade de Tabuaço, distrito de Viseu (Figura 21 e 22). A aldeia deve o seu nome ao cavaleiro D. Thedon Ramires, que conquistou aos mouros diversos territórios e onde lá terá fundado a sua residência no século X, com uma granja e um extenso olival (Monteiro, 1991). A aldeia está situada no vale do rio Tedo, dividida por este em duas, constituindo dois povoados, o Povo de Cima e o Povo de Baixo, que se unem através de uma ponte de estilo românico do séc. XVII. A freguesia de Granja do Tedo estende-se por uma área de 4,67km<sup>2</sup> e possui 203 habitantes, de acordo com os censos realizados em 2011 (J.F. Granja do Tedo, n.d.).

A aldeia apresenta vários edifícios vernáculos de traça original que remontam, na sua maioria, ao séc. XVII e XVIII, sendo o material mais utilizado na zona o granito, com as suas típicas varandas em madeira. Quando os proprietários tinham disponibilidade económica, as varandas eram equipadas com envidraçados. Os edifícios apresentam, de um modo geral, dois a três pisos, sendo o piso térreo reservado às atividades económicas dos moradores, como a agricultura e a pecuária, e os restantes pisos destinados à habitação.



Figura 21 – Aldeia de Granja do Tedo (latitude 41° 04' 02.6"N longitude 7° 36' 43.2"W)

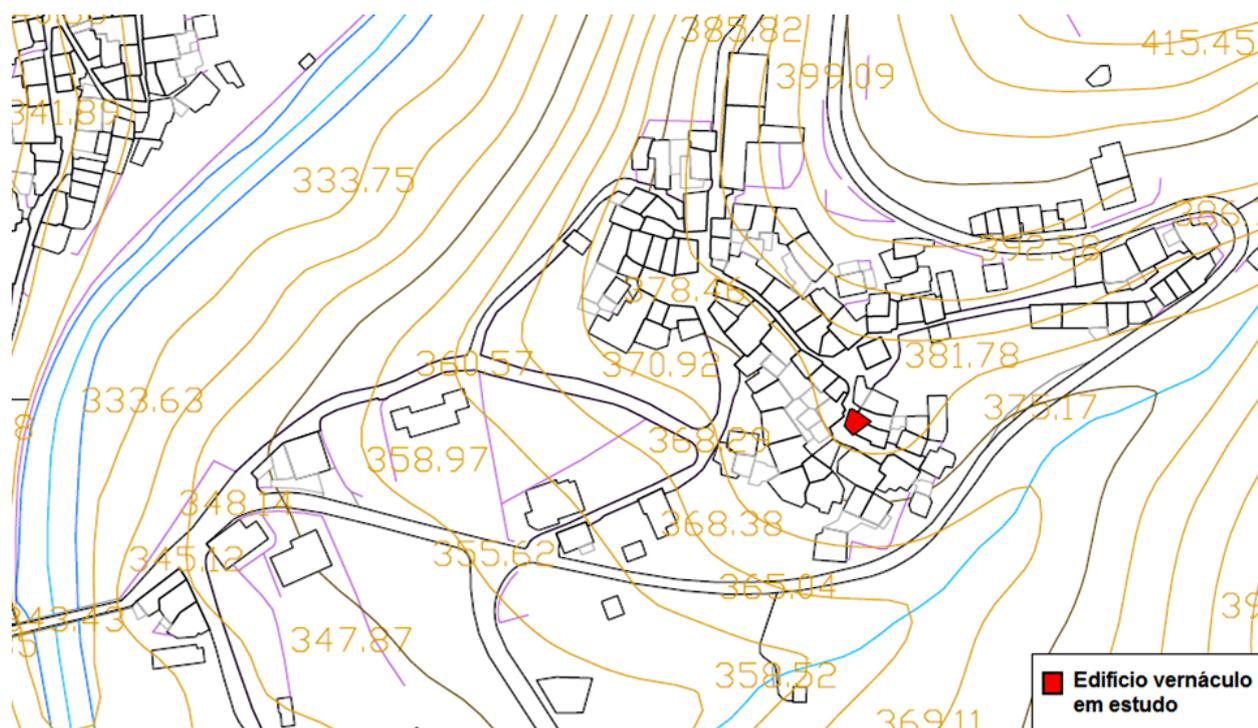


Figura 22 – Cartografia da aldeia de Granja do Tedo (PDM, n.d.)

### ***b) Caracterização geográfica***

A zona Norte e Nordeste do distrito de Viseu são atravessadas pelas serras da Lapa, Leomil e Montemuro, a norte das quais se estende a bacia hidrográfica do rio Douro. O município de Tabuaço situa-se a nordeste do distrito de Viseu e faz a ligação entre o Douro e a Beira Alta (DGT, 2004). A freguesia de Granja do Tedo é delimitada a ocidente pelo concelho de Armamar, a sul pelo concelho de Moimenta da Beira, a leste pela freguesia de Longa e a norte pela freguesia de Pinheiros.

A região apresenta um relevo acidentado, com vales profundos e de encostas íngremes, talhados por inúmeros cursos e linhas de água (DGT, 2004). A rocha predominante no distrito é o granito, que corresponde a mais de 3/4 da sua área. Tal como referido, a aldeia situa-se na encosta do vale do rio Tedo, que apresenta uma elevação no terreno que varia entre os 300 e os 400 metros (Figura 22 e 23). O edifício em estudo pertence ao aglomerado do Povo de Cima, localizado na encosta orientada a sudoeste.

### Hipsometria da Região de Tabuaço (metros)

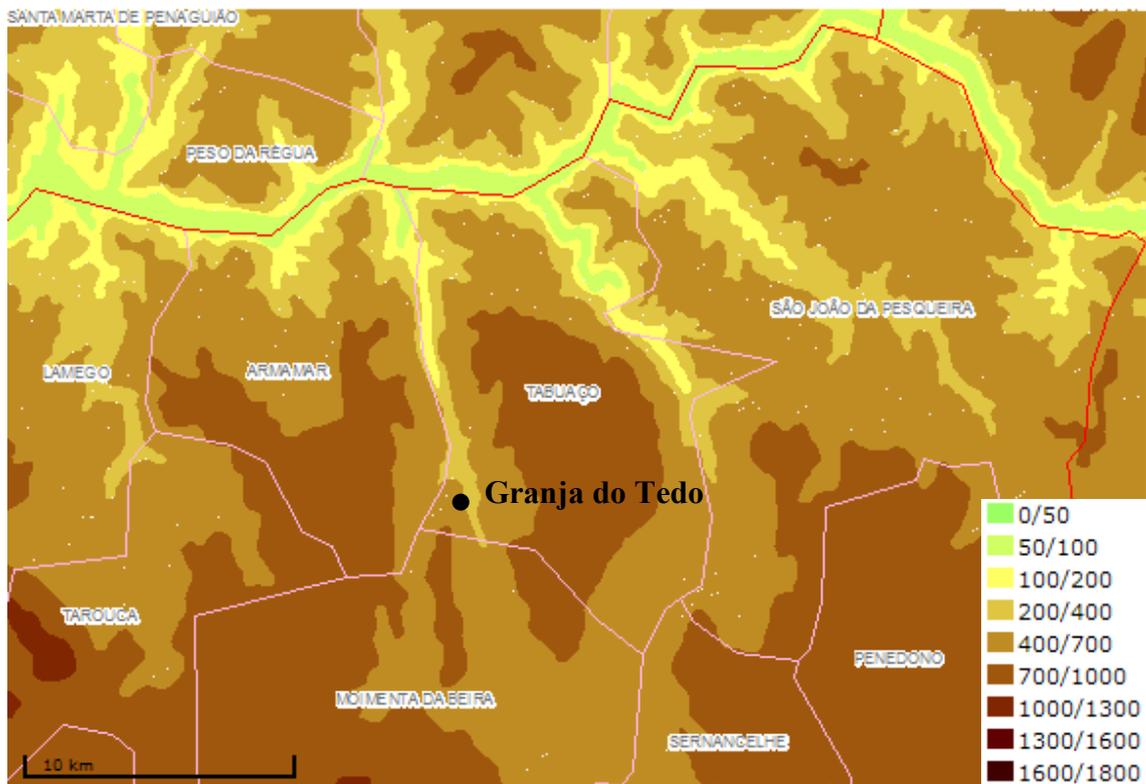


Figura 23 – Hipsometria da região de Tabuaço (fonte: APA, n.d.)

#### c) Caracterização climática

De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, a região centro do país apresenta um clima temperado, com as quatro estações bem definidas, caracterizado por invernos chuvosos e verões quentes e secos (Csa<sup>1</sup>). A região de Viseu apresenta invernos húmidos, onde as temperaturas poderão oscilar, em média, entre os 2,2°C e os 11,9°C no mês mais frio (janeiro), e verões em que as temperaturas poderão oscilar, em média, entre os 13,8°C e os 29,6°C nos meses mais quentes (julho e agosto) (IPMA, n.d.). No concelho de Tabuaço a temperatura média anual oscila entre os 10°C e os 15°C (Figura 24).

Em geral, verificam-se precipitações anuais médias elevadas no distrito de Viseu, na ordem dos 1100 mm, uma vez que, às precipitações características do tempo instável e chuvoso do inverno português, juntam-se as chuvas de relevo características das regiões montanhosas (DGT, 2004; IPMA, n.d.). Os meses de julho e agosto são os mais secos, sendo rara a ocorrência de precipitação. A média anual de humidade relativa no concelho ronda entre os 70 e os 75% (Figura 25) e a insolação cifra-se entre as 2100 e as 2300 horas/ano (Figura 26).

<sup>1</sup> Classificação climática de Köppen-Geiger atribuída ao clima mediterrânico

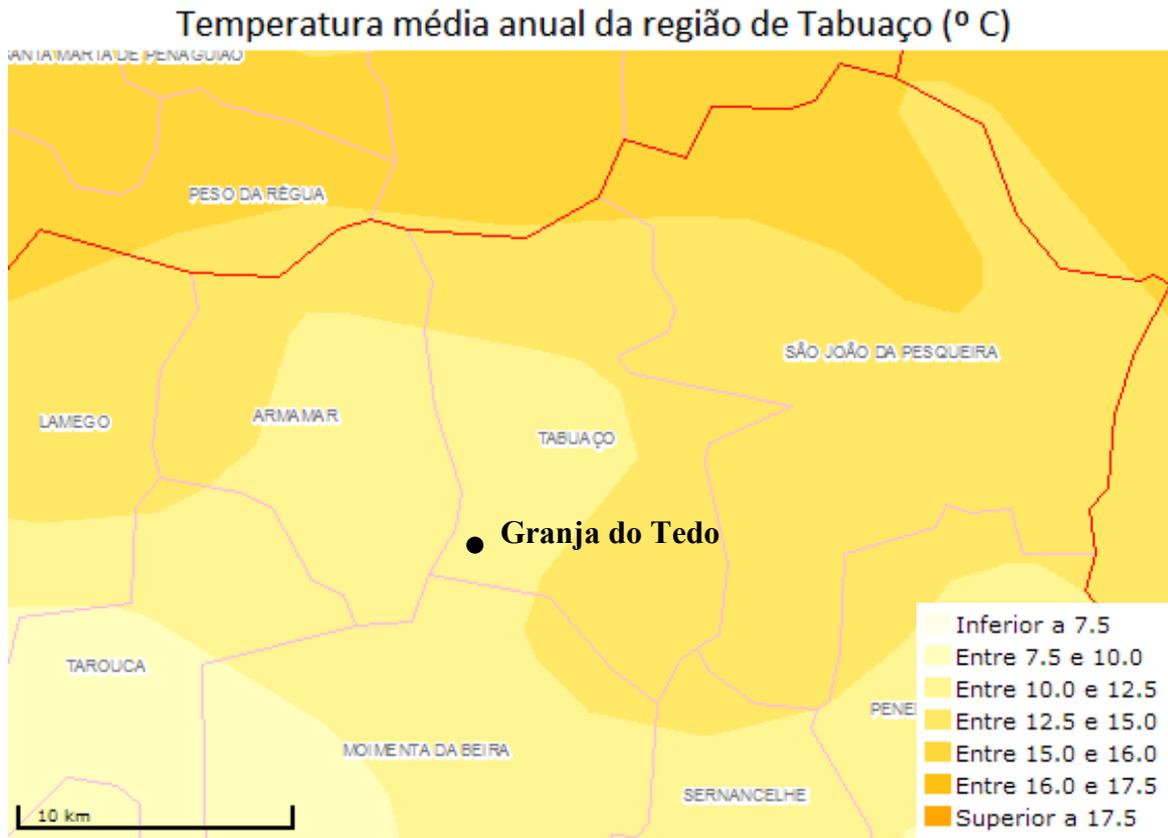


Figura 24 – Temperatura média anual na região de Tabuaço (fonte: APA, n.d.)

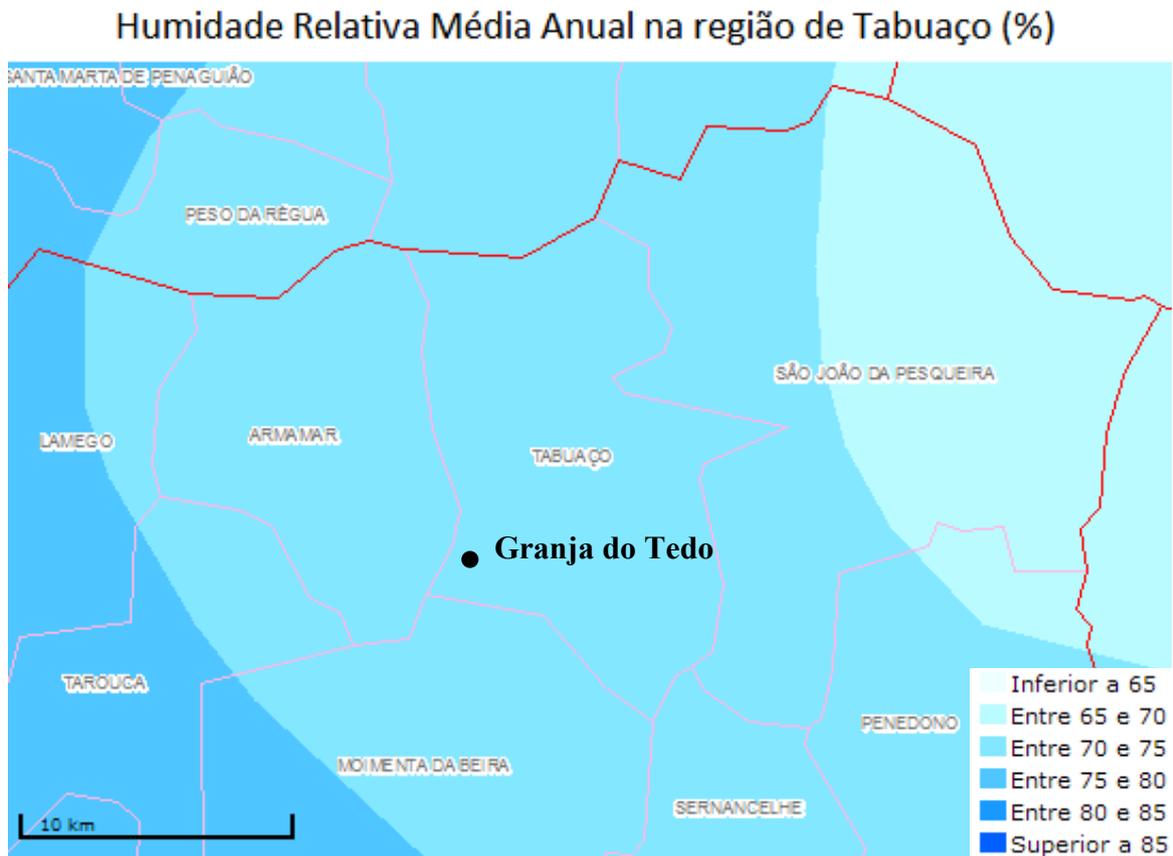


Figura 25 – Humidade relativa média anual na região de Tabuaço (fonte: APA, n.d.)

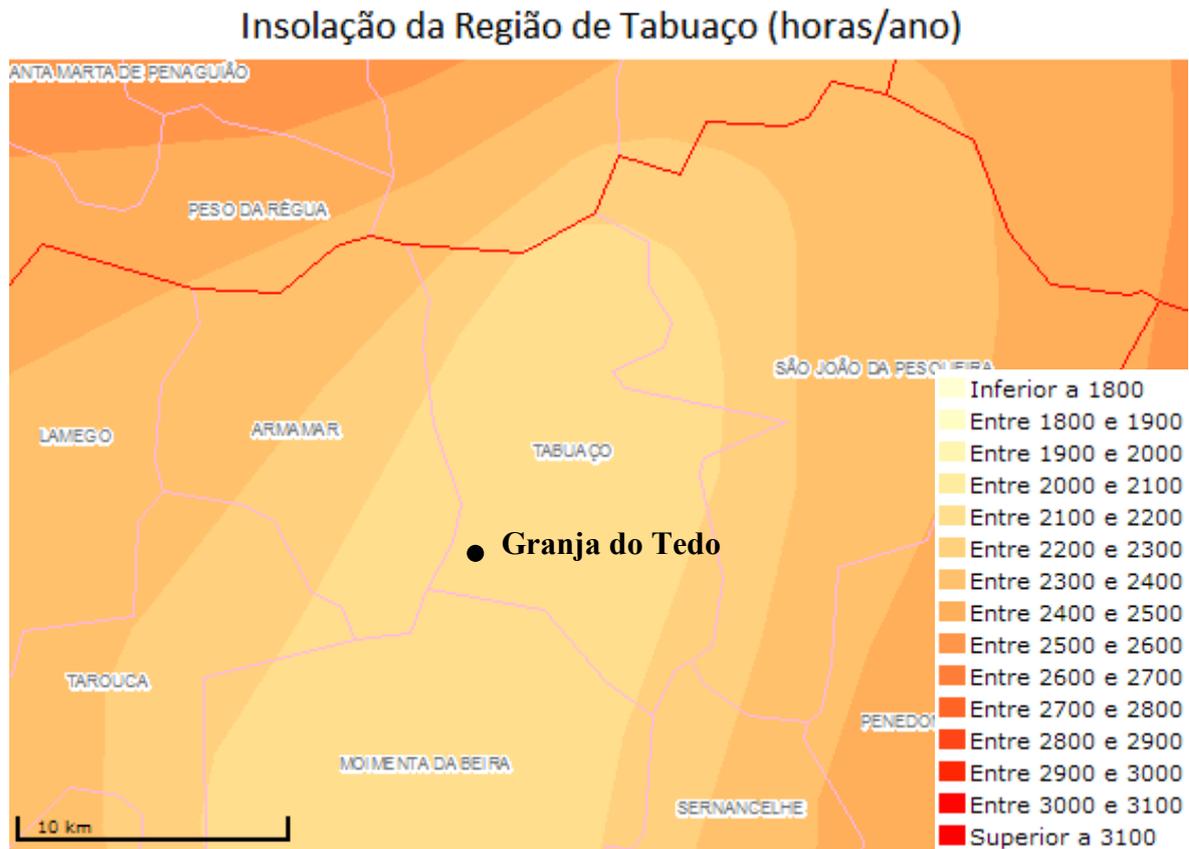


Figura 26 – Insolação da região de Tabuaço (fonte: APA, n.d.)

#### 4.2.2. Principais estratégias da arquitetura vernacular Beirã

As estratégias vernáculas utilizadas na região Beirã apostam, sobretudo, nos ganhos solares e na redução das perdas de calor durante o período de inverno. Sendo esta uma região caracterizada pelos invernos rigorosos, a arquitetura beirã assenta numa boa exposição solar, com vista a aproveitar ao máximo os ganhos de calor. Esta estratégia evidencia-se, desde logo, na escolha do local de implantação do povoado de Granja do Tedo. Em geral, os povoados da Beira Alta encontram-se localizados em vertentes de vales orientados a sul, ou no quadrante sul-oeste, expondo-se assim ao maior número de horas possível ao sol (Fernandes, 2012).

Os edifícios Beirãos possuem, geralmente, vãos de reduzida dimensão e materiais com forte inércia térmica, como o granito. Os vãos de maiores dimensões são orientados a sul e as fachadas a norte possuem apenas as aberturas para o exterior estritamente necessárias, com o intuito de reduzir as perdas de calor. No interior dos edifícios, a localização das cortes dos

animais nos pisos térreos, por baixo da habitação, permitia o aproveitamento do calor gerado pelos animais para aquecer a habitação (Fernandes, 2012).

Um dos elementos característico da arquitetura vernacular da região da Beira Alta são as varandas envidraçadas. Estes elementos operam como um sistema de regulação térmica entre o interior e o exterior, proporcionando uma fonte de luz natural e contribuindo, se necessário, para a ventilação natural dos espaços. Em termos funcionais, estes elementos servem, maioritariamente, como espaços destinados a atividades domésticas como, por exemplo, secagem de roupa ou simplesmente como locais para se estar ao sol (Fernandes, 2012).

Durante a estação de aquecimento, as varandas beirãs beneficiam da orientação, entre sul e poente, recebendo o maior número de horas de sol com a radiação mais intensa, sendo também o quadrante mais abrigado dos ventos dominantes (AAVV, 1980). As varandas equipadas com envidraçados permitem a entrada dos raios solares, sem a intrusão do vento, reduzindo as perdas de calor para o exterior.

Apesar da sua disposição vocacionada para a estação fria, as varandas envidraçadas permitem o funcionamento adequado durante a estação de arrefecimento, através da abertura de janelas e da utilização de dispositivos de sombreamento. Nos dias quentes, a abertura das janelas por parte dos ocupantes promove a ventilação noturna, permitindo remover alguma da carga térmica acumulada durante o dia e reduzir a temperatura dos compartimentos no período da noite. Em algumas varandas envidraçadas, as janelas são dotadas de uma rede de proteção desmontável, que permite a livre circulação de ar, evitando a entrada de insetos para o interior do edifício.

#### *4.2.3. Caracterização do edifício*

O caso de estudo, apresentado na Figura 27, é um edifício residencial unifamiliar, tipologia T2, com uma área total de aproximadamente 50m<sup>2</sup>. O edifício desenvolve-se em dois pisos: o piso térreo que, após reabilitação, foi convertido em cozinha e sala; no piso superior localizam-se os dois quartos e as instalações sanitárias. O edifício, assente sobre um maciço rochoso, apresenta uma planta irregular, numa tentativa de adaptação ao terreno. A fachada principal do edifício encontra-se orientada para sudoeste (SW), assim como a varanda envidraçada, no sentido de maximizar os ganhos solares durante a estação de aquecimento.

As envolventes opacas verticais são em alvenaria de granito, com uma espessura média de cerca de 50 cm ( $U=2,87 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ), e a envolvente horizontal em telha cerâmica sobre suporte de madeira. Os restantes elementos estruturais são em madeira. A porta principal de acesso ao interior do edifício encontra-se localizada na fachada principal do edifício, em contacto direto com a Rua da Laje, e apresenta uma elevação no terreno de 0,6 metros. Contíguo ao edifício encontra-se um edifício térreo devoluto e na retaguarda existe um pequeno beco de acesso à porta das traseiras (Figura 28).



Figura 27 – Edifício vernáculo em estudo



Figura 28 – (esquerda) Fachada contígua ao edifício devoluto; (direita) Beco de acesso à porta das traseiras

O edifício em estudo foi alvo de intervenção e reabilitação que alterou a disposição dos espaços interiores. A Figura 29 apresenta o cariz exterior do edifício antes da sua reabilitação.

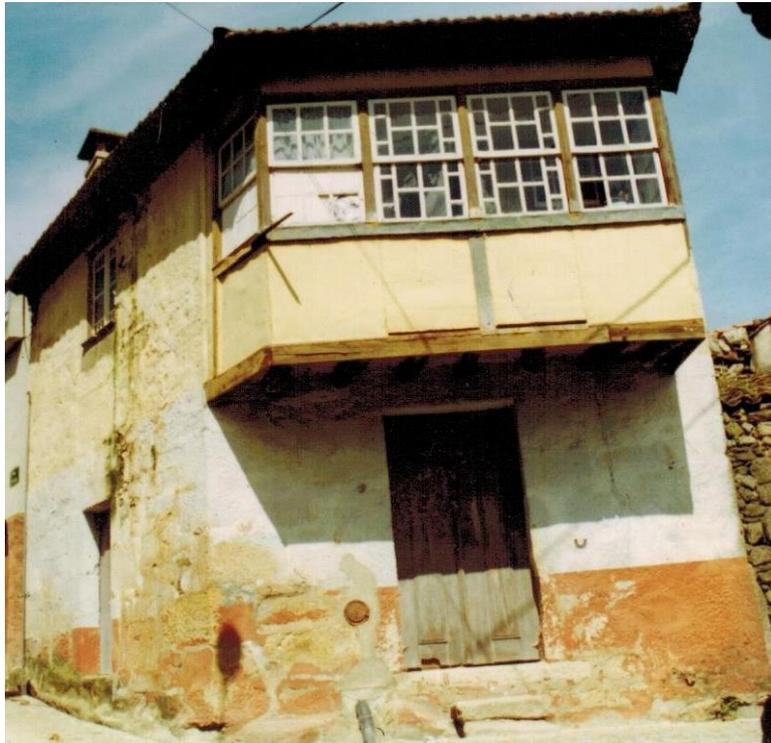


Figura 29 – Edifício vernáculo em estudo antes da reabilitação (foto: © José Pombo)

De seguida enumeram-se as principais alterações e presente disposição dos espaços interiores relativamente à constituição original:

- O piso térreo, originalmente concebido para servir de local de armazenagem e apoio às atividades agrícolas, foi convertido em cozinha e sala de estar/jantar. No processo uma das portas foi parcialmente obstruída para dar lugar à cozinha. No presente trabalho o piso térreo será denominado de sala/cozinha;
- O piso superior, onde se localizavam todas as divisões do edifício (cozinha, sala de estar/jantar e dois quartos) foi convertido em dois quartos, uma instalação sanitária e um pequeno *hall* de acesso às divisões. A maior parte dos edifícios da região não dispunham de instalações sanitárias no seu interior. No entanto, o edifício em estudo possuía uma bacia de retrete de madeira, no piso superior, em que os dejetos caíam no piso térreo, num local previamente preparado para o efeito;

- A varanda envidraçada passou a integrar dois espaços interiores, sendo esta dividida pela casa de banho e pelo quarto principal, denominado neste trabalho como quarto/varanda;
- A intervenção contemplou a introdução de uma lareira e as paredes divisórias foram construídas com placas de gesso cartonado.

O piso térreo e o piso superior apresentam, respetivamente, um pé direito de 2,45m e 2,36m. Na Tabela 9 são apresentadas as áreas dos diferentes espaços interiores. Nas Figuras 30 e 31 apresenta-se, respetivamente, as plantas estruturais do piso térreo e do piso superior. Os elementos apresentados são alusivos à disposição atual dos espaços.

Tabela 9 – Área dos espaços interiores

Compartimentos	Área (m <sup>2</sup> )
Sala/Cozinha	22
Instalações Sanitárias	3,3
Quarto/Varanda	8,5
Quarto	6,7
Vestíbulo	7,1
<b>Total</b>	<b>47,6</b>

O edifício apresenta duas portas de acesso em madeira: a principal de acesso direto ao piso térreo; e a porta das traseiras que dá acesso ao vão de escadas interior. Uma terceira porta foi obstruída pelo mobiliário da cozinha, sendo atualmente utilizada como janela. Cada uma das portas apresenta uma pequena janela com portadas operáveis pelo interior.

As janelas são em madeira, do tipo guilhotina em vidro simples incolor, com as portadas de madeira no interior, à exceção das janelas da varanda que em vez deste dispositivo de oclusão possuem cortinas opacas de cor clara. Segundo o ITE 50 (2006), o coeficiente de transmissão térmica dos envidraçados com caixilharia de madeira é de 5,1 W/(m<sup>2</sup>. °C).

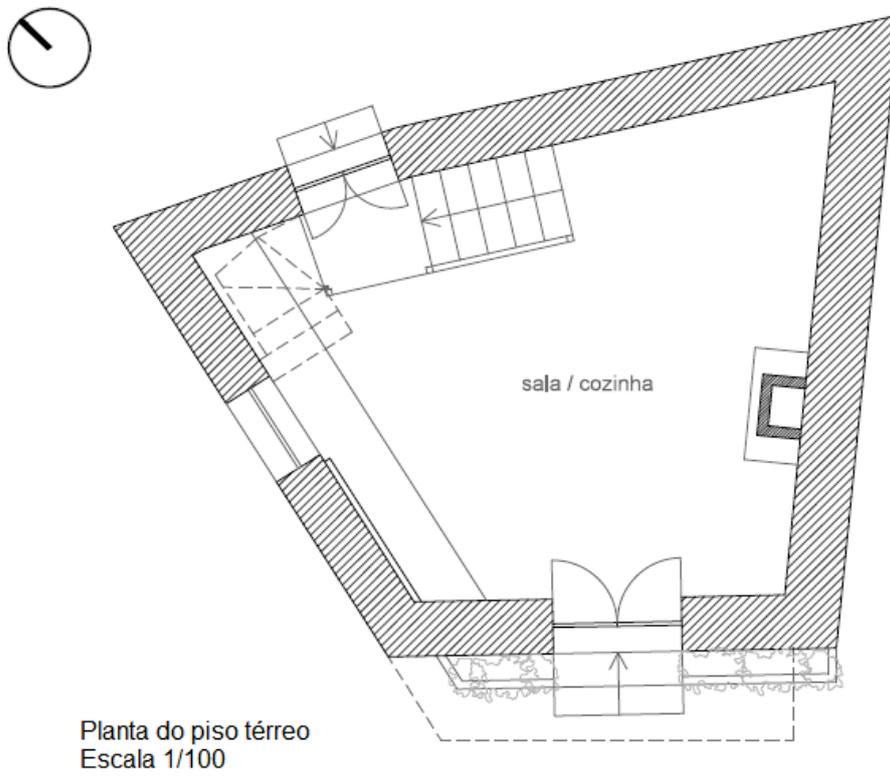


Figura 30 – Planta do piso térreo

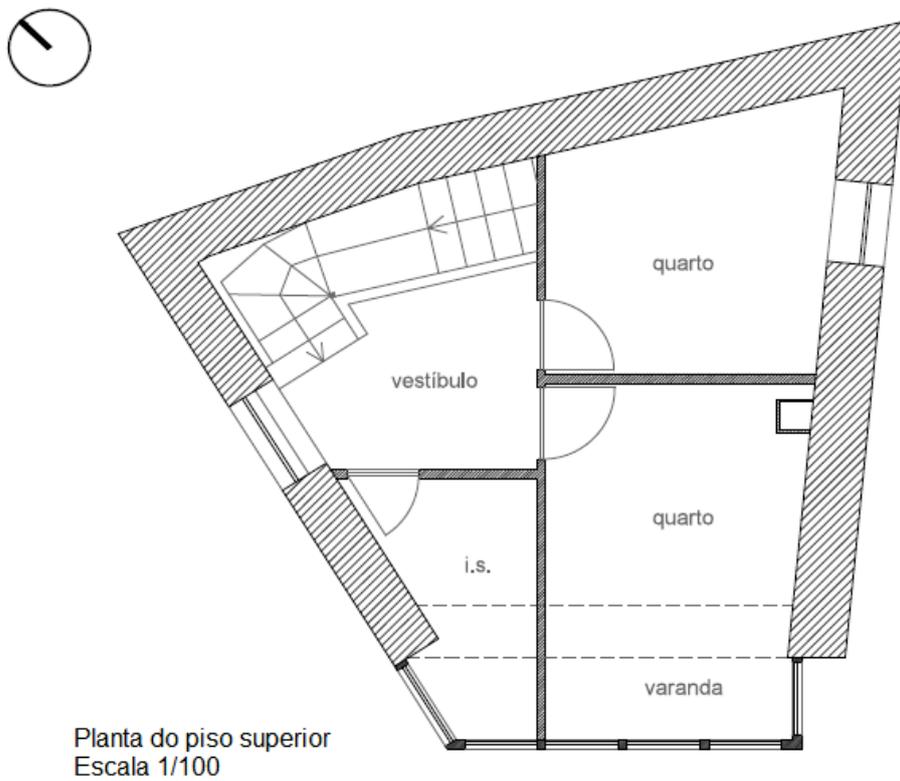


Figura 31 – Planta do piso superior

A varanda envidraçada trata-se da principal estratégia passiva do edifício. Este elemento, totalmente em madeira, é constituído por quatro janelas frontais e duas laterais, de tipo guilhotina e vidro simples incolor ( $U=5.1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ) (Figura 32 e 33). As janelas possuem duas trancas laterais em metal, que permitem a permanência das janelas abertas, sem que estas se fechem devido ao seu próprio peso (Figura 33). Complementarmente, as janelas estão dotadas de uma rede de proteção contra insetos desmontável, que se encaixa nestas através de um sistema simples de patilhas (Figura 34). Este sistema, sendo desmontável e utilizado sazonalmente, requer o seu acondicionamento durante os períodos de não utilização. Mais recentemente, este elemento foi equipado com cortinas opacas, de cor branca, que cobrem a totalidade dos envidraçados. Na Tabela 10 apresentam-se as dimensões das portas e janelas e respetiva áreas de envidraçados.



Figura 32 – Vista exterior e interior da varanda envidraçada



Figura 33 – (esquerda) Janela tipo guilhotina; (direita) Tranca lateral



Figura 34 – (esquerda) Sistema de proteção desmontável; (direita) Rede e sistema de patilha

Tabela 10 – Dimensões das portas e janelas e respetiva área dos envidraçados

	Localização	Dimensões (m <sup>2</sup> )	Área envidraçada (m <sup>2</sup> )
<b>Portas</b>	Entrada principal	1,25×2,2	0,42
	Traseiras	0,98×2,4	0,42
	Obstruída	0,91×1,66	0,3
<b>Janelas</b>	Vestíbulo	0,95×1,3	1,0
	Quarto	0,8×1,0	0,63
	Quarto/Varanda	0,7×1,18(×4)	0,82(×4)
	Instalação sanitária	0,87×1,18/0,7×1,18	0,82+0,84

### **4.3. Procedimentos gerais de avaliação**

As monitorizações foram realizadas nos vários compartimentos interiores do edifício em estudo, em especial na sala/cozinha e no quarto/varanda, uma vez que correspondem, respetivamente, ao espaço principal do edifício e à localização da principal estratégia passiva em estudo (varanda envidraçada).

Os períodos de monitorização decorreram entre 5 de junho e 10 de setembro de 2014, nas estações climáticas de primavera e de verão (estação de arrefecimento). Infelizmente, a monitorização dos restantes períodos do ano, outono e inverno (estação de aquecimento), não foram possíveis de realizar devido à duração permitida para este trabalho de investigação.

As monitorizações foram realizadas nos espaços ocupados do edifício, onde era esperado que os moradores despendessem a maior parte do seu tempo. Durante o decorrer das monitorizações, os ocupantes foram livres de alterar as condições de conforto interior e tentou-se minimizar o impacto dos procedimentos experimentais nas suas atividades quotidianas.

Neste contexto, os resultados obtidos refletem de forma fidedigna o comportamento e as condições de conforto térmico, visual e de qualidade do ar do edifício vernáculo em plena atividade. A fim de traçar o perfil de utilização da habitação e com o intuito de compreender o efeito das alterações potenciadas pelos ocupantes, no ambiente interior e nas condições de conforto do edifício, foi-lhes solicitado que anotassem as principais ações, como por exemplo, a abertura de janelas ou a montagem das redes de proteção desmontáveis.

No modo geral, a avaliação dos ambientes interiores e do nível de conforto teve por base o seguinte procedimento:

- Reconhecimento dos diferentes compartimentos interiores do edifício e definição dos locais de monitorização e colocação dos equipamentos;
- Montagem e instalação dos equipamentos de medição objetiva, instantânea e de longa duração, nos compartimentos a avaliar;
- Monitorização das grandezas físicas em paralelo com as atividades que se realizam normalmente no espaço em avaliação;

- Distribuição dos inquéritos e explicação do método de preenchimento do questionário de conforto aos ocupantes;
- Avaliação subjetiva do nível de conforto em relação a cada um dos parâmetros de conforto e em termos globais, percebidos durante o período de monitorização;
- Recolha e tratamento dos dados;
- Análise e interpretação dos dados.

Nas secções seguintes serão descritos os métodos utilizados na obtenção das grandezas físicas em estudo e a disposição equipamentos de medição nos espaços interiores, tendo por base metodologia de avaliação apresentada no capítulo 3 do presente trabalho. No Anexo II encontra-se uma representação da disposição dos equipamentos em todo o edifício.

#### 4.3.1. Avaliações objetivas

##### a) Ambiente térmico

A monitorização do comportamento térmico no interior e exterior do edifício foi realizada em dois momentos: na estação climática de primavera, entre os dias 6 de junho e 3 de julho de 2014; e na estação climática de verão, entre os dias 7 de agosto e 10 de setembro de 2014.

A monitorização de todos os espaços interiores do edifício foi realizada através do registador (*data logger*) de temperatura e humidade relativa e dos respetivos transmissores independentes. Para tal, o *data logger* foi colocado na sala/cozinha e os transmissores foram colocados na casa de banho e nos dois quartos do edifício, fazendo um total de três transmissores externos. Os equipamentos estiveram protegidos da radiação solar direta e em locais onde não perturbavam as normais atividades dos ocupantes.

Na Figura 35 estão representados os locais de colocação do *data logger* e de um dos transmissores, colocado no quarto/varanda, com a respetiva proteção solar criada para o efeito.



Figura 35 – (esquerda) *Data logger* colocado na sala/cozinha; (direita) Transmissor colocado no quarto/varanda com a proteção da radiação solar

Os testostors utilizados na caracterização do comportamento térmico exterior foram colocados na fachada principal do edifício, protegidos da radiação solar direta pelo beiral, na parte superior da varanda envidraçada (ver Figura 36).



Figura 36 – Local de instalação dos testostors

A transferência dos dados recolhidos pelos testostors para computador foi efetuada através do *software* do equipamento, após a finalização dos períodos de monitorização, sendo posteriormente convertidos para uma folha de cálculo Excel.

A avaliação objetiva das condições de conforto foram efetuadas em dois momentos: a 5 de junho na estação climática de primavera; e a 10 de setembro na estação climática de verão. A estação de conforto foi utilizada nos compartimentos sala/cozinha e quarto/varanda, por um período mínimo de 1 hora em cada compartimento, e numa posição próxima do centro, uma vez que os condicionamentos dos espaços não permitiam a sua exatidão.

Tal como foi referido anteriormente, a escolha destes espaços deveu-se à sua importância no edifício e para o estudo, representando os espaços ocupados do mesmo, sendo também os locais onde os valores extremos dos parâmetros térmicos são esperados. A Figura 37 apresenta a disposição da estação de conforto nos compartimentos mencionados.



Figura 37 – (esquerda) Disposição da estação de conforto no espaço sala/cozinha;  
(direita) Disposição da estação de conforto no espaço quarto/varanda

### ***b) Iluminação***

A caracterização da luminosidade ocorreu sob três condições de céu distintas. Durante a estação climática de primavera, as medições do nível de iluminação foram levadas a cabo sob condições de céu nublado (Figura 38), tal como indica a norma EN 12464-1, para a avaliação da luminosidade de espaços interiores.

As medições ocorreram a 5 de junho de 2014 na sala/cozinha e no quarto/varanda em três planos de trabalho distintos e sem quaisquer obstruções à entrada de luz como, por exemplo, cortinas. As medições na sala/cozinha ocorreram sobre a mesa de jantar e sobre uma mesa de apoio. A medição realizada no quarto/varanda ocorreu sobre a mesa de apoio adjacente à cama.



Figura 38 – Condições atmosféricas no período de medições de 05/06/2014

Na estação climática de verão, o método de avaliação adotado para caracterização da luminosidade divergiu do utilizado na estação de primavera. Optou-se pela realização de monitorizações mais rápidas e expeditas, com a adoção do valor médio das iluminâncias em cada posição de estudo.

As medições foram realizadas no exterior e nos principais planos de trabalho no interior do edifício, em dois momentos: a 6 de agosto sob condições de céu limpo e a 10 de setembro sob condições de céu encoberto. Nas Figuras 39 e 40 estão representadas, respetivamente, as condições atmosféricas verificadas nos momentos de avaliação mencionados.



Figura 39 – Condições atmosféricas no período de medições de 06/08/2014



Figura 40 – Condições atmosféricas no período de medições de 10/09/2014

Na Figura 41 está representada a medição da luminosidade realizada no compartimento quarto/varanda, sobre a mesa de apoio adjacente à cama.



Figura 41 – Medição da luminosidade no compartimento quarto/varanda

*c) Qualidade do ar*

As monitorizações da qualidade do ar ocorreram no exterior e nos vários compartimentos interiores do edifício. A concentração de CO<sub>2</sub> resultou da média dos valores obtidos durante o período de medição (5 minutos). Durante o decorrer das medições, o operador manteve-se afastado da sonda, prevenindo assim a contaminação do ar com o CO<sub>2</sub> da própria respiração. A Figura 42 apresenta a utilização do equipamento de medição no compartimento quarto/varanda.

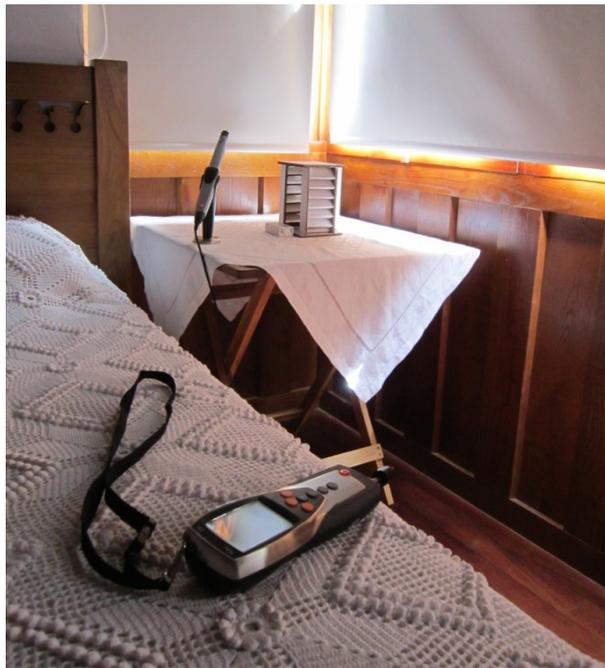


Figura 42 – Medição da concentração de CO<sub>2</sub> no compartimento quarto/varanda

A localização do edifício numa região rochosa granítica (distrito de Viseu) indica a necessidade de caracterização da qualidade do ar relativamente à concentração de gás radão. No entanto, em edifícios de ventilação natural, e durante o período de verão, no qual este estudo foi realizado, os ocupantes tendem a modificar o ambiente interior através da abertura de portas e janelas.

Esta medida de arrefecimento passiva potencia a ventilação natural e por consequente diminuição das concentrações de poluentes no interior do edifício. De modo a evitar a indução de erros durante o longo período de medições, necessário à caracterização do gás radão (1 a 3 meses), numa perspetiva de continuação deste estudo, optou-se por adiar o registo de dados para o período de inverno, quando a ventilação do edifício é menor e a concentração deste poluente deverá ser consequentemente maior.

#### *4.3.2. Avaliações subjetivas*

Os inquéritos sobre a percepção da qualidade do ambiente interior foram realizados nos compartimentos sala/cozinha e quarto/varanda, nas duas estações climáticas em estudo. De modo a influenciar o menos possível a opinião dos inquiridos e para garantir que os ocupantes tivessem o tempo necessário para se adaptar às condições do ambiente interior, os inquéritos foram distribuídos no período final das medições objetivas. Nessa altura, reportando-se ao período das medições, os ocupantes procederam à votação da sensação de conforto dos parâmetros ambientais em análise. A distribuição dos inquéritos foi acompanhada de uma breve explicação do método de preenchimento dos questionários, com intuito de evitar possíveis erros.

## **5. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO E DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO DE UM EDIFÍCIO VERNÁCULO**

No presente capítulo serão apresentados os resultados obtidos da aplicação das avaliações, objetiva e subjetiva, ao edifício em estudo e aos respetivos ocupantes. A análise dos resultados visa o tratamento das grandezas físicas, obtidas a partir das monitorizações, a fim de caracterizar o comportamento e as condições de conforto do edifício. Com base nessa informação pretende-se ainda estabelecer a ligação com as respostas subjetivas, obtidas através do preenchimento do inquérito sobre a perceção da qualidade do ambiente interior.

Numa primeira abordagem será realizada a análise preliminar dos dados obtidos. Esta análise tem o intuito de caracterizar a amostra de respostas subjetivas, a fim de validar a informação fornecida pelos ocupantes, e perceber o perfil de utilização dos espaços e das técnicas passivas do edifício. Na fase seguinte serão analisados os resultados das avaliações objetivas, para cada parâmetro de conforto analisado (ambiente térmico, iluminação e qualidade do ar) e estabelecida a correlação entre as grandezas objetiva e subjetiva. No final serão apresentados os resultados das avaliações subjetivas relativas ao nível de conforto global.

### **5.1. Análise preliminar de dados**

#### *5.1.1. Caracterização das amostras subjetivas*

O resultado das avaliações subjetivas remete-se ao período de monitorizações, ocorrido entre 5 de junho e 10 de setembro de 2014, nos principais espaços do edifício em estudo (sala/cozinha e quarto/varanda). O total de avaliações subjetivas foi de 13 e remetem-se aos ocupantes com um período mínimo de permanência no interior do edifício de aproximadamente 1 hora.

A primeira abordagem às avaliações subjetivas baseou-se na verificação da conformidade das mesmas. A tarefa consistiu na triagem dos inquéritos recolhidos, a fim de excluir aqueles que pudessem estar preenchidos de forma incorreta, ou que tivessem sido respondidos por indivíduos que identificaram a existência de algum fator psicológico e/ou fisiológico que

condicionava o nível de conforto percebido. Neste domínio, todos os inquiridos foram validados, uma vez que não foram detetados erros de preenchimento e os inquiridos não apresentaram nenhum condicionante que pudesse afetar a sua sensação de conforto.

Na Tabela 11 são apresentadas algumas das informações gerais prestadas pelos inquiridos no preenchimento dos inquéritos. Os ocupantes, maioritariamente do sexo masculino, apresentam uma gama de idades que varia entre os 22 e os 68 anos e uma média de idades de 34,5 anos. A amostra de ocupantes apresenta um peso médio de 71,6 kg e uma média de alturas de 1,78 metros.

Tabela 11 – Informação sobre a amostra dos ocupantes

Sexo	Compartimento	Data	Idade	Peso (kg)	Altura (m)
M	Sala/Cozinha	05-06-2014	22	70	1,72
M	Quarto/Varanda	05-06-2014	22	70	1,72
M	Sala/Cozinha	05-06-2014	32	72	1,9
M	Quarto/Varanda	05-06-2014	32	72	1,9
M	Sala/Cozinha	05-06-2014	35	74	1,78
M	Quarto/Varanda	05-06-2014	35	74	1,78
M	Sala/Cozinha	03-07-2014	32	72	1,9
M	Sala/Cozinha	06-08-2014	68	74	1,65
F	Sala/Cozinha	06-08-2014	61	69	1,55
M	Sala/Cozinha	10-09-2014	23	70	1,72
M	Sala/Cozinha	10-09-2014	32	72	1,9
M	Quarto/Varanda	10-09-2014	23	70	1,72
M	Quarto/Varanda	10-09-2014	32	72	1,9
			<b>Média</b>	34,5	71,6
				71,6	1,78

Nos vários momentos de avaliação, os inquiridos reportaram temperaturas aproximadas do ar exterior entre os 20°C e os 25°C. Nenhum dos inquiridos reportou a existência de equipamentos, presentes nos compartimentos, que ligados pudessem contribuir para o aumento ou redução do calor. Durante os períodos de monitorização os inquiridos exerciam níveis de atividade sedentárias ou próximas de trabalhos típicos de escritório (entre 1 e 1,2 met), e a resistência térmica da roupa, tendo por base as peças que os ocupantes utilizavam, foi em geral de 0,5 clo (roupa leve de verão).

### 5.1.2. Perfil de utilização do edifício

O edifício vernáculo em estudo trata-se de uma residência unifamiliar, utilizado maioritariamente como residência de férias e ocasionalmente como local de pernoitada, pelo que no decorrer das medições de primavera, o edifício não foi utilizado pelos proprietários, encontrando-se encerrado. Pelo contrário, o período de medições da estação climática de verão coincidiu com o período de ocupação do edifício (entre 6 e 30 de agosto), pelo que foi possível traçar o perfil de utilização durante este período. O perfil de utilização da varanda envidraçada está presente no Anexo III.

Um gesto patente dos ocupantes foi a constante permanência das portadas das janelas e da porta de entrada principal abertas. Os ocupantes recorreram a estas medidas como forma de proporcionar uma fonte de luz natural nos compartimentos, em especial no piso térreo, reduzindo a utilização de luz artificial.

A abertura de todas as portadas, apesar do uso corrente, foi a forma que os ocupantes encontraram, no passado, para obter a luz natural necessária às suas atividades, ainda antes da existência de luz elétrica no edifício. De igual modo, o simples gesto de deixar a porta de acesso à rua aberta apresenta-se relevante para este estudo. Esta medida é comum nas aldeias, aonde permanece um estilo de vida pacato e sem a agitação dos meios urbanos. A sensação de segurança que permanece nos meios pequenos e o cultivo de uma relação de confiança entre a população representa alguns dos motivos para utilização desta medida passiva. A abertura de portas e janelas foi também utilizada como medida passiva de arrefecimento e ventilação natural dos espaços, sendo que na porta de entrada foi colocada uma cortina transparente de modo a evitar a entrada de insetos no edifício.

No quarto/varanda, a varanda envidraçada foi utilizada como sistema passivo de arrefecimento. Para o efeito, os ocupantes apresentaram, em geral, o seguinte padrão de utilização deste elemento:

- Abertura das cortinas durante o período da manhã (entre as 8h30 e as 10h-14h);
- Encerramento das cortinas durante o resto do dia ou até ao final da tarde (entre as 10h-14h e as 20h);
- Abertura das cortinas durante o período de final de tarde e início da noite (entre as 20h e as 23h);
- As redes de proteção estiveram instaladas durante todo o período de ocupação do edifício, à exceção do dia 11 de agosto, entre as 19h45 e as 22h00.

## 5.2. Apresentação e análise dos resultados obtidos para o ambiente térmico

### 5.2.1. Análise dos resultados obtidos nas medições efetuadas na primavera

Na Figura 43 são apresentados os perfis de temperatura e humidade relativa, interior e exterior, obtidos nas monitorizações de primavera, no período compreendido entre 6 de junho e 3 de julho do ano 2014. De modo a facilitar a sua interpretação a Tabela 12 apresenta as médias de temperatura e humidade, para todos os compartimentos e exterior do edifício.

Durante este período verifica-se que as temperaturas exteriores rondaram em média os 20°C, apresentando uma média de amplitudes térmicas diárias de 16°C. Em termos gerais, as temperaturas registadas no interior do edifício apresentam alguns períodos de maior oscilação, em especial nos compartimentos do piso superior, ocasionados pelas fortes variações na temperatura exterior. No entanto, durante a noite, as temperaturas interiores mantiveram-se sempre acima das registadas no exterior. É de salientar que durante todo o período de monitorização o edifício não esteve ocupado, pelo que a ausência de ocupantes poderá ter influenciado o comportamento térmico do edifício.

Tabela 12 – Médias de temperatura e humidade relativa na monitorização de primavera

	Estatística	Exterior 1	Sala/ Cozinha	Casa de Banho	Quarto/ Varanda	Quarto
Temperatura (°C)	Máxima	28,3	20	27,8	26,7	23,3
	Mínima	13,9	19,2	21,3	20	21,4
	Média	20,4	19,6	23,5	22,9	22,4
Humidade Relativa (%)	Máxima	88	67,4	56,5	54,2	61,3
	Mínima	34,9	63,7	46,1	47,5	58,4
	Média	63	65,5	52,3	51,1	59,9

Da análise aos perfis de temperatura, dos vários compartimentos, verifica-se que o espaço sala/cozinha manteve um comportamento relativamente estável, apresentando uma média de amplitudes térmicas diárias inferiores a 1°C e pouco suscetíveis às variações de temperatura exterior. A média de temperaturas máximas e mínimas foi respetivamente de 20°C e 19,2°C e a média de temperaturas rondou os 19,6°C, valor inferior à temperatura média exterior. Este comportamento demonstra a forte inércia térmica proporcionada pelas paredes de alvenaria em granito, que concede a este espaço uma capacidade de estabilização da temperatura interior.

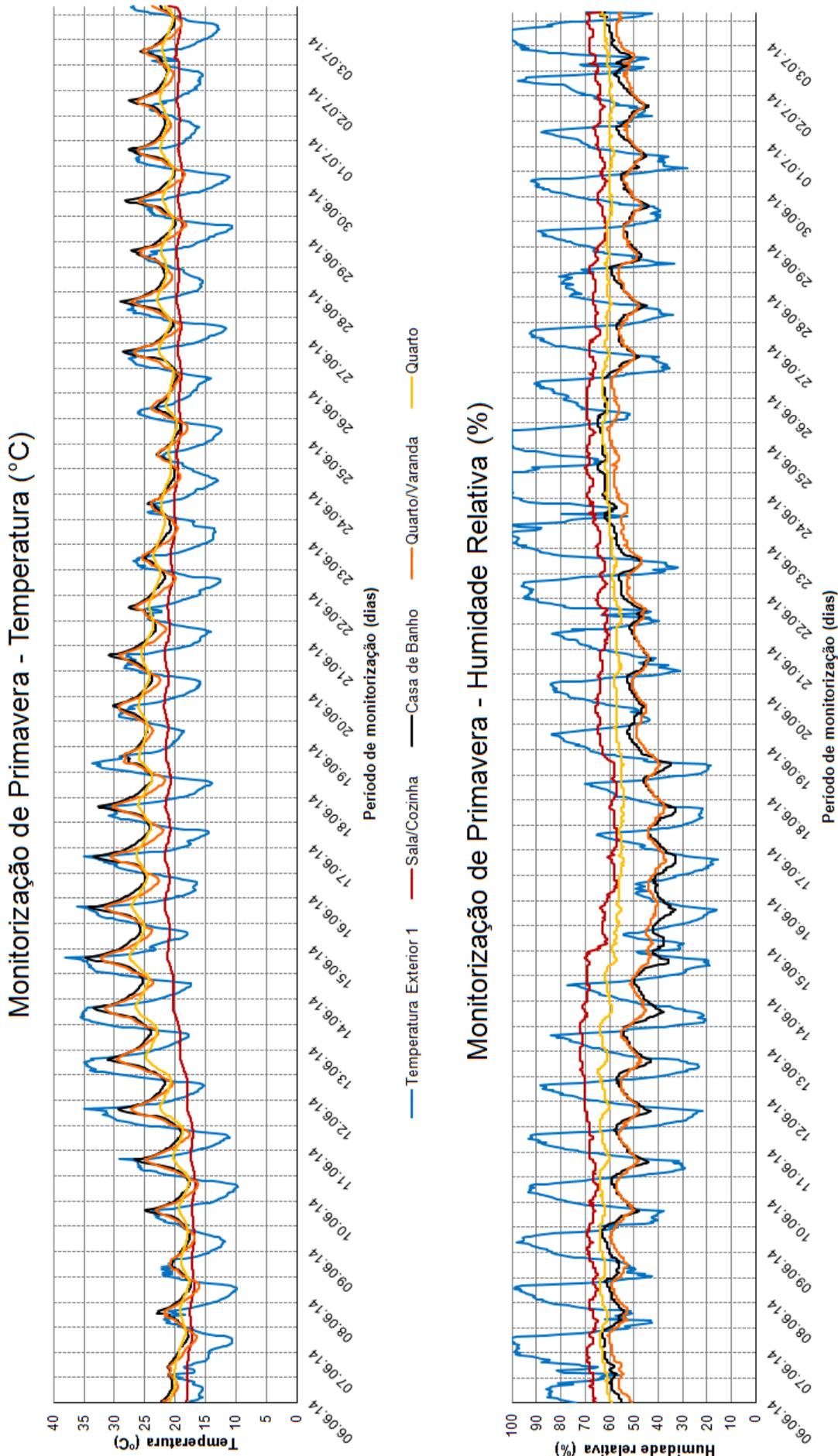


Figura 43 – Gráficos dos perfis de temperatura e humidade relativa: monitorização de primavera

Os compartimentos quarto/varanda e casa de banho registaram as variações diárias de temperatura mais acentuadas e suscetíveis às oscilações de temperatura exterior. A média de amplitudes térmicas foram superiores a 6°C. Os perfis de temperatura destes espaços apresentam comportamentos semelhantes, influenciados pela presença da varanda envidraçada.

A grande área envidraçada da varanda que abrange os dois espaços, o elevado coeficiente de transmissão térmica das janelas de vidro simples e a ausência de dispositivos de sombreamento exterior são a razão mais plausível para a relativa suscetibilidade às variações de temperatura exterior. Nas instalações sanitárias verifica-se a média de temperaturas mais elevada, registada em todo o edifício. A reduzida área deste compartimento, comparativamente aos restantes espaços, e a integração da varanda envidraçada orientada a poente são as razões para que este espaço registre maiores ganhos durante o dia. O compartimento quarto/varanda e casa de banho apresentam, respetivamente, uma média aproximada de temperaturas de 23°C e 24°C.

O outro quarto apresenta um comportamento intermédio com a temperatura média a rondar os 22,4°C e uma média de amplitudes térmicas diárias de cerca de 2°C. O facto de as envolventes exteriores deste compartimento estarem orientadas para norte e nascente, possuindo apenas uma janela em contacto com exterior, é provavelmente a razão deste compartimento exibir um perfil de temperaturas mais ameno que os restantes compartimentos do piso superior.

Nas monitorizações apresentadas verificou-se um pico de temperatura exterior elevada, no qual se registaram as temperaturas máximas verificadas em todos os compartimentos do edifício e exterior. Neste sentido, salienta-se o aumento lento e gradual de temperatura registado no compartimento sala/cozinha, em função do número de dias com temperaturas exteriores elevadas. Esta situação poderá dever-se à falta de maior capacidade de armazenamento térmico das envolventes do edifício. Após a vaga de calor, as temperaturas permaneceram estáveis, voltando a descer lenta e gradualmente, ao fim de alguns dias, para temperaturas próximas das registadas previamente.

No decorrer da monitorização, os equipamentos exteriores, nomeadamente os testostors, estiveram sob incidência direta do sol, num período de tempo compreendido entre as 18h00 e as 19h30. Esta incidência solar influenciou as medições deste equipamento que deste modo

exibiu, durante este intervalo de tempo, temperaturas superiores às reais. Uma situação inesperada e à qual se tentou minimizar o impacto nas monitorizações de verão.

No que concerne a humidade relativa, no exterior, este parâmetro exhibe um comportamento inverso ao da temperatura, apresentando os picos máximos nos dias de temperaturas mais baixas e picos mínimos nos dias de temperaturas mais elevadas. Manifesta períodos irregulares de grandes oscilações diárias, com a média a rondar os 60%. Durante o período de medições verificou-se a ocorrência de precipitação, que coincide com os valores máximos de humidade relativa registados. Segundo dados do Boletim Climatológico (IPMA, 2014), no mês de junho, os períodos de chuva ocorreram no dia 6, período inicial de medições, e nos dias 22 a 24, que coincide com o segundo momento de registo de valores máximos.

No interior do edifício, os compartimentos casa de banho e quarto/varanda apresentam pequenas oscilações diárias, enquanto os espaços sala/cozinha e quarto apresentam um comportamento relativamente estável. A capacidade de absorção de humidade dos elementos interiores em madeira pode ser um dos motivos para este comportamento, uma vez que o aumento de temperatura é acompanhado por uma eliminação da humidade e vice-versa. A humidade relativa média, em todos os espaços, variou entre os 50% e os 65%.

A avaliação objetiva das condições de conforto térmico foi realizada a partir do cálculo dos índices PMV e PPD, para os compartimentos sala/cozinha e quarto/varanda. Os compartimentos foram monitorizados através da estação de conforto, no dia 5 de Junho de 2014, a fim de determinar as seguintes grandezas: temperatura do ar ( $T_a$ ), temperatura radiante média ( $T_r$ ), velocidade do ar ( $V_a$ ) e humidade relativa (HR).

De acordo com os inquéritos sobre a perceção da qualidade do ambiente interior, o ritmo metabólico e o nível de vestuário foram definidos, respetivamente, em 1,0 met e 0,5 clo. Posteriormente, os índices foram calculados através da ferramenta CBE *Thermal Comfort Tool* (Hoyt et al., 2013). Nas Figuras 44 e 46 são apresentados os perfis de temperatura e humidade relativa dos espaços avaliados e nas Figuras 45 e 47 a variação dos índices PMV.

Na Tabela 13 são apresentados os resultados da avaliação das condições de conforto, no interior dos compartimentos em estudo. Nesta tabela encontram-se representados: os valores máximos e mínimos registados de cada grandeza monitorizada; a média dos valores registados; os índices PMV e PPD calculados e a respetiva sensação resultante. Os valores registados para todo o período de medição podem ser consultados no Anexo IV.

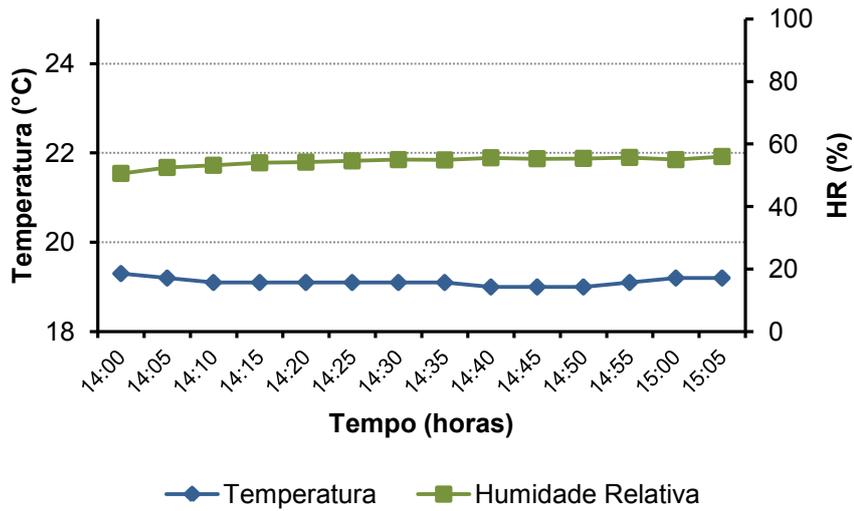


Figura 44 – Perfis de temperatura e humidade relativa do espaço sala/cozinha

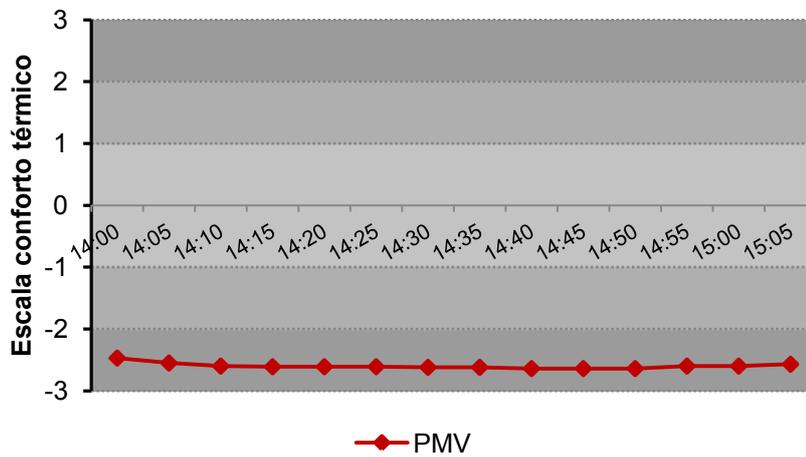


Figura 45 – Variação do índice PMV do espaço sala/cozinha

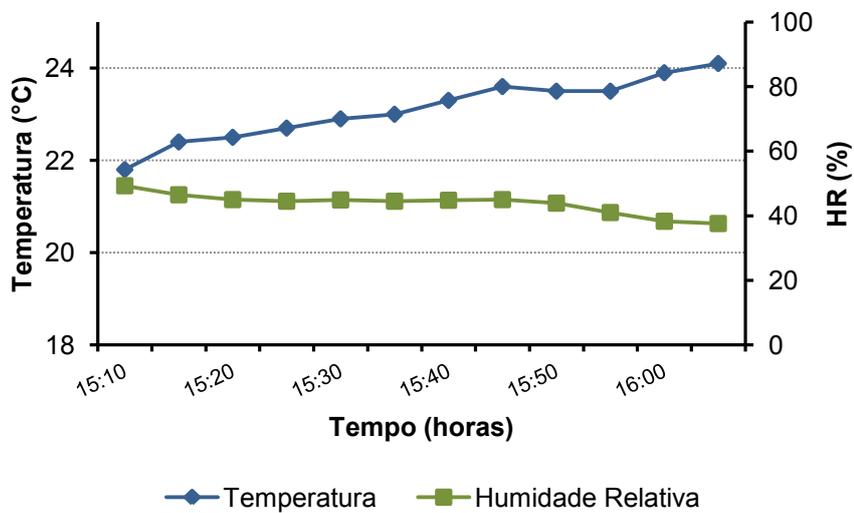


Figura 46 – Perfis de temperatura e humidade relativa do espaço quarto/varanda

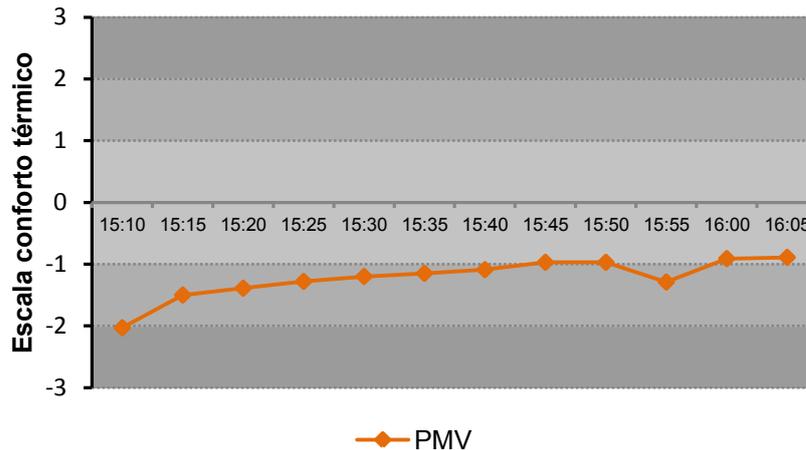


Figura 47 – Variação do índice PMV do espaço quarto/varanda

Tabela 13 – Avaliação das condições de conforto

	Estadística	Ta (°C)	Tr (°C)	Va (m/s)	HR (%)	PMV	PPD	Sensação geral
Sala/Cozinha	Valor máximo	19,3	19,8	0,07	56	-2,47	96	Muito Desconfortável (Muito frio)
	Valor mínimo	19	19	0	50,6	-2,64	93	
	Valor médio	19,1	19,1	0,006	54,4	-2,6	95	
Quarto/Varanda	Valor máximo	24,1	24,5	0,19	49,3	-0,89	78	Desconfortável (Frio)
	Valor mínimo	21,8	19,1	0	37,6	-2,03	22	
	Valor médio	23,1	22,8	0,03	43,8	-1,22	37	

Na análise dos resultados verifica-se que as condições patentes no compartimento sala/cozinha representam um ambiente térmico muito desconfortável (muito frio), com a percentagem de insatisfeitos (índice PPD) a rondar os 95%. O compartimento quarto/varanda apresenta um ambiente térmico desconfortável (frio), com a percentagem de insatisfeitos a rondar os 37%, ainda que o ambiente térmico tenha apresentado condições ligeiramente desconfortáveis. Deste modo, segundo o modelo de Fanger apresentado na norma ASHRAE 55, as condições avaliadas, em ambos os compartimentos, representam situações de desconforto térmico para os ocupantes.

No entanto, em análise às avaliações subjetivas, realizadas em simultâneo, os inquiridos classificaram a sensação de conforto térmico como: neutro (confortável) ou ligeiramente frio, no compartimento sala/cozinha; e neutro (confortável) ou ligeiramente quente, no compartimento quarto/varanda. Deste modo, as avaliações prestadas pelos ocupantes expressam condições aceitáveis de conforto ou de inteira satisfação com o ambiente térmico.

Os resultados das avaliações objetiva e subjetiva manifestam uma clara divergência, que torna difícil a apreciação das condições de conforto térmico nos compartimentos avaliados. Segundo a escala de conforto térmico, apresentada na norma ISO 7730 (Tabela 3), as avaliações objetivas do compartimento sala/cozinha situam-se próximas do patamar -3 (muito frio) e as avaliações subjetivas próximas do patamar 0 (confortável). Esta diferença de quase 3 unidades na escala de conforto térmico sustenta que o modelo desenvolvido por Fanger não se adequa à avaliação das condições de conforto do edifício vernáculo em estudo. A causa para esta disparidade entre avaliações deve-se à adaptação dos ocupantes ao ambiente térmico do edifício, à influência da temperatura exterior e à inadequação do modelo utilizado a condições de ambiente não controlado.

Tal como foi referido, no levantamento do atual estado de arte (secção 2.1), a situação analisada anteriormente era prevista e como tal foi acautelada. O modelo desenvolvido por Fanger não apresenta resultados coesos na aplicação a edifícios naturalmente ventilados. Neste contexto, a aplicação de um modelo adaptado à natureza deste edifício e à realidade portuguesa afigura-se necessário. Na Figura 48 está representado o gráfico que relaciona os limites de temperatura operativa interna, do compartimento sala/cozinha, em função da temperatura exterior média exponencialmente ponderada, segundo o modelo desenvolvido por Matias (2010).

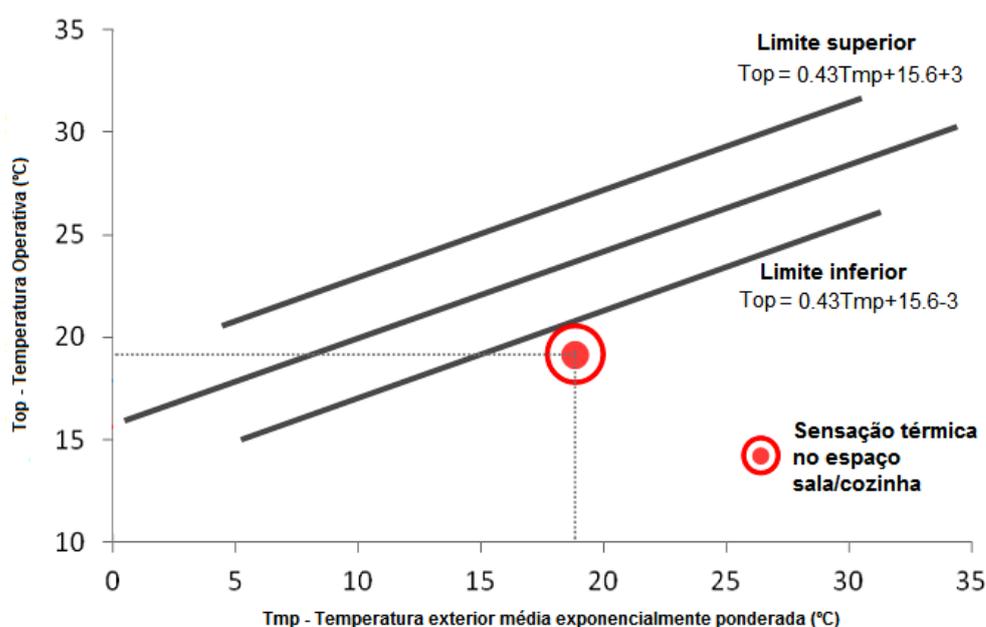


Figura 48 – Gráfico da relação entre os limites da temperatura operativa interna, do compartimento sala/cozinha, em função da temperatura exterior média exponencialmente ponderada: estação climática de primavera

A temperatura média operativa, do compartimento sala/cozinha, foi de 19,34°C e a temperatura exterior média exponencialmente ponderada, dos últimos sete dias, foi de 19,74°C. Através da relação entre estas duas grandezas obtém-se a sensação térmica deste compartimento. Na análise do gráfico verifica-se que a sensação térmica se situa abaixo do limite inferior de temperaturas que definem a zona de conforto.

Assim sendo, de acordo com o modelo adaptativo, o compartimento sala/cozinha apresenta um ambiente térmico desconfortável, ainda que próximo do limite inferior de condições aceitáveis de conforto térmico. Uma vez que os ocupantes classificaram o nível de conforto como neutro (confortável) ou ligeiramente frio verifica-se que uma correlação próxima entre as duas avaliações.

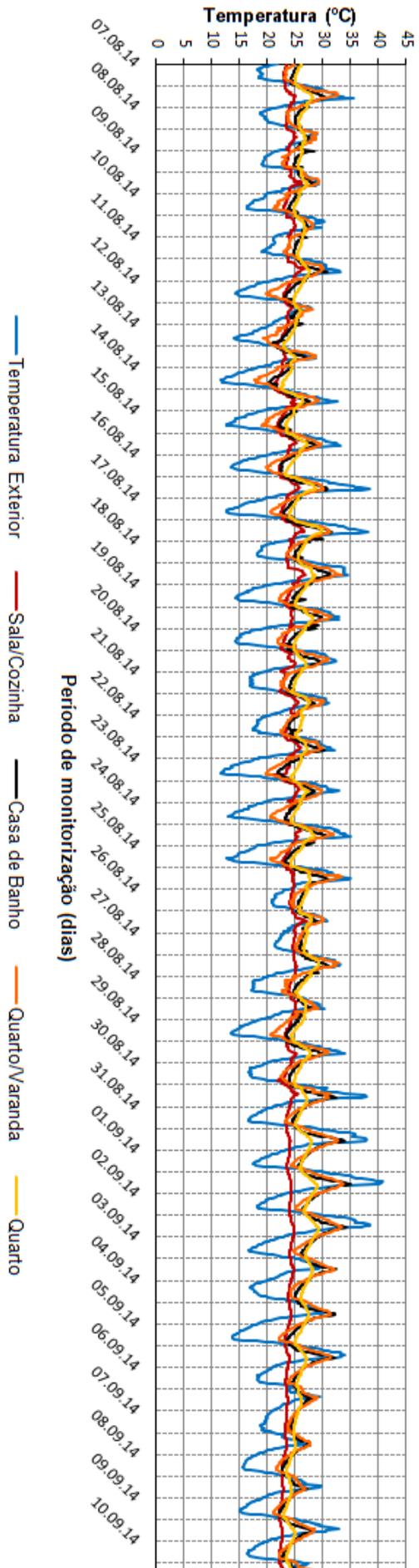
No compartimento quarto/varanda uma anomalia num dos sensores da estação de conforto inviabilizou os dados recolhidos. Uma situação inesperada, que impossibilitou a avaliação das condições de conforto térmico deste espaço. Porém, em resposta aos inquéritos de avaliação do ambiente interior, os inquiridos classificaram a sensação de conforto térmico como neutro (confortável) ou ligeiramente quente.

### *5.2.2. Análise dos resultados obtidos nas medições efetuadas no verão*

Na Figura 49 são apresentados os perfis de temperatura e humidade relativa, interior e exterior, obtidos nas monitorizações de verão, no período compreendido entre 7 de agosto e 10 de setembro do ano 2014. De modo a facilitar a sua interpretação a Tabela 14 apresenta os valores médios de temperatura e humidade relativa registados, para todos os compartimentos e exterior do edifício.

Durante este período verifica-se que as temperaturas exteriores rondaram em média os 23°C (3°C superior à média de primavera), apresentando uma média de amplitudes térmicas diárias de aproximadamente 17°C. As medições de verão foram marcadas pela presença dos ocupantes no interior do edifício, que influenciaram os perfis de temperatura e humidade relativa através da utilização de estratégias passivas de controlo do ambiente interior. Uma vez mais, durante o período da noite, as temperaturas registadas em todos os compartimentos avaliados mantiveram-se superiores às temperaturas exteriores.

### Monitorização de Verão - Temperatura (°C)



### Monitorização de Verão - Humidade Relativa (%)

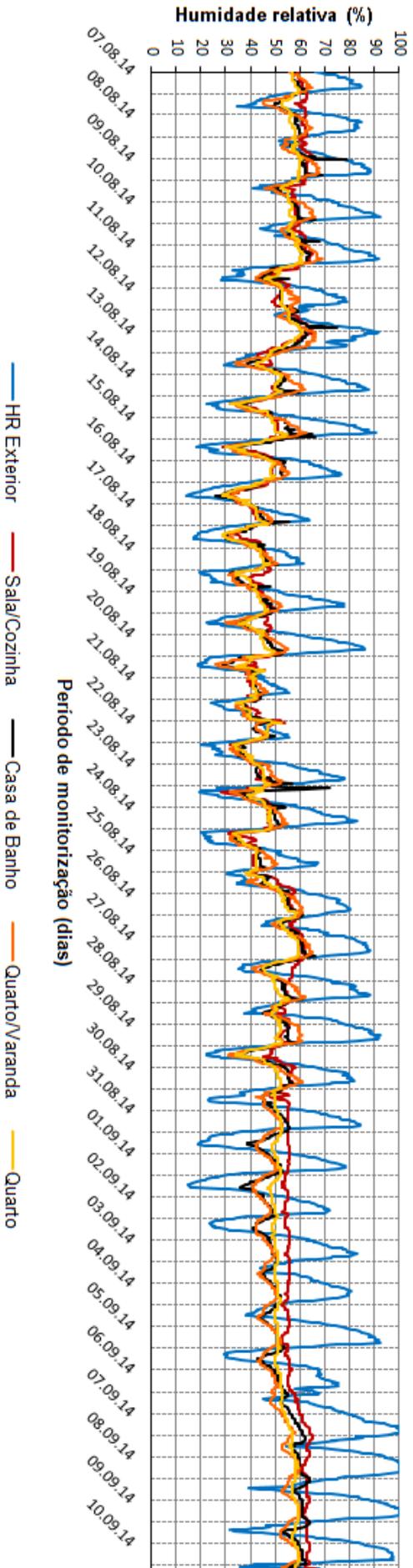


Figura 49 – Gráficos dos perfis de temperatura e humidade relativa: monitorização de verão

Tabela 14 – Médias de temperatura e humidade relativa da monitorização de verão

	Estatística	Exterior	Sala/ Cozinha	Casa de Banho	Quarto/ Varanda	Quarto
<b>Temperatura (°C)</b>	Máxima	32,8	25,1	29,9	30,6	27,4
	Mínima	16	22,9	23,8	22,1	24,8
	Média	23,1	23,9	26	25,8	26
<b>Humidade Relativa (%)</b>	Máxima	83	57,9	59,4	57,6	54,5
	Mínima	30	47,1	42	40,9	44,5
	Média	58,8	53	50,6	50	50

Ao contrário do que se verifica nas medições de primavera, as temperaturas registadas no compartimento sala/cozinha apresentam oscilações diárias mais acentuadas, exibindo um comportamento pouco uniforme. Esta diferença de comportamento resulta da utilização das portas e janelas deste espaço abertas, que tornou o ambiente térmico mais propenso às condições de temperatura exterior.

De facto, a influência da ocupação humana é perceptível na transição entre o período de ocupação e de saída dos ocupantes. Após a saída dos ocupantes (a 30 de agosto) este compartimento voltou a exibir um comportamento estável e de relativa uniformidade, tal como tinha sido observado nas medições de primavera. A temperatura média deste compartimento foi de aproximadamente 24°C, valor superior à média de temperatura exterior.

No período de verão, os compartimentos do piso superior apresentaram, novamente, as maiores amplitudes térmicas diárias, em especial os espaços quarto/varanda e casa de banho. Apesar da constante adaptação do sistema de sombreamento e da abertura das janelas da varanda envidraçada, o elevado coeficiente de transmissão térmica deste elemento manteve a forte influência nos perfis de temperatura destes espaços.

Ao inverso do que aconteceu na estação de primavera, as temperaturas médias máximas (30,6°C) e mínimas (22,1°C) registadas em todo o edifício ocorreram no compartimento quarto/varanda e não nos espaços casa de banho e sala/cozinha, respetivamente. Esta situação deve-se às alterações no ambiente térmico, proporcionadas pela abertura das janelas e pela colocação das redes de proteção desmontável, que permitiram assim a livre circulação de ar e potenciaram o arrefecimento noturno deste espaço. As temperaturas médias dos compartimentos que constituem o piso superior foram de 26°C (incremento de 3°C relativamente à estação climática de primavera).

Na análise dos perfis de humidade verifica-se que a humidade relativa exterior exhibe, novamente, um comportamento irregular, com a média a rondar os 60%. Salienta-se a ocorrência de precipitação no período final das medições de verão.

No interior do edifício, a humidade relativa apresenta dois momentos distintos: i) no período de ocupação do edifício, as humidades relativas dos vários espaços exibem um comportamento análogo. Durante o dia acompanham o perfil de humidade relativa exterior e no período da noite apresentam oscilações médias entre os 50% e os 60%; ii) após a saída dos ocupantes (a 30 de agosto) assinala-se uma mudança nos perfis de humidade relativa interior, com os compartimentos quarto/varanda e casa de banho a apresentarem oscilações mais reduzidas e os compartimentos quarto e sala/cozinha um perfil mais uniforme, em tudo semelhante à estação climática de primavera.

Deste modo, verifica-se que a presença dos ocupantes e as medidas passivas utilizadas, nomeadamente a abertura de portas e janelas, influenciaram a humidade relativa no interior do edifício. A humidade relativa média interior foi de 50%.

A avaliação das condições de conforto da estação de verão foi realizada a 10 de setembro de 2014, nos compartimentos sala/cozinha e quarto/varanda. Na realização das avaliações objetivas do compartimento sala/cozinha, o cálculo da temperatura operativa média e da temperatura exterior média exponencialmente ponderada foi respetivamente de 23,1°C e de 22,3°C. O gráfico apresentado na Figura 50 representa a relação entre as duas grandezas mencionadas e a temperatura de conforto do compartimento resultante.

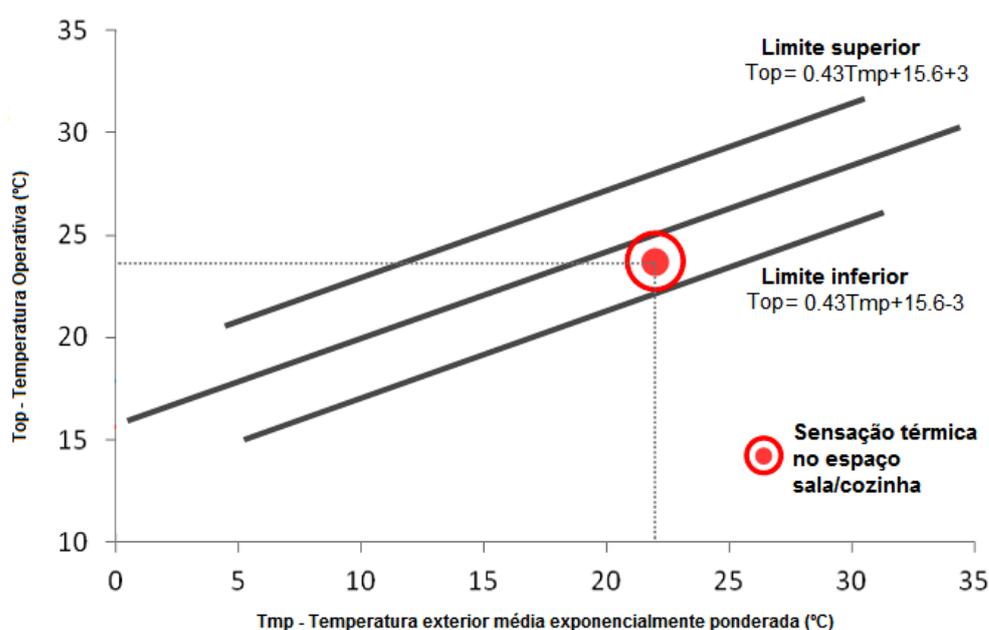


Figura 50 – Gráfico da relação entre os limites da temperatura operativa interna, do compartimento sala/cozinha, em função da temperatura exterior média exponencialmente ponderada: estação climática de verão

Na análise do gráfico verifica-se que a sensação térmica do espaço sala/cozinha situa-se na zona de temperaturas de conforto aceitáveis, ou seja, este compartimento apresentou um ambiente térmico confortável para a maioria dos ocupantes. Em resposta às avaliações subjetivas, realizadas em simultâneo, os ocupantes classificam unanimemente as condições de conforto térmico como neutras (confortáveis). Verifica-se então que, as avaliações subjetivas corroboram as avaliações objetivas e expressam as condições de conforto aceitáveis que este espaço proporciona.

O gráfico apresentado na Figura 51 apresenta a avaliação objetiva das condições de conforto térmico do compartimento quarto/varanda. As temperaturas, operativa e exterior média exponencialmente ponderada foram, respetivamente, de 25,9°C e 22,3°C.

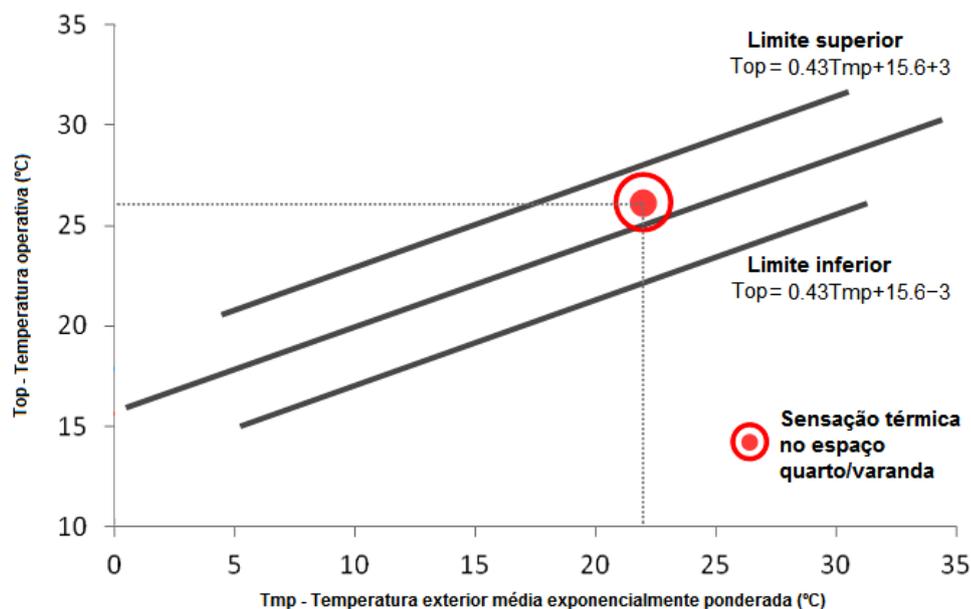


Figura 51 – Gráfico da relação entre os limites da temperatura operativa interna, do compartimento quarto/varanda, em função da temperatura exterior média exponencialmente ponderada: estação climática de verão

Na análise do gráfico constata-se que o compartimento quarto/varanda apresenta um ambiente térmico confortável, com a sensação térmica situada no interior da zona de conforto, acima da gama de temperaturas ótimas. Na avaliação subjetiva das condições de conforto, os ocupantes classificaram o nível de conforto térmico deste espaço como ligeiramente quente. Conclui-se então que, o compartimento em análise proporciona condições dentro do limiar de conforto, ainda que os ocupantes expressem algum nível de desagrado com as condições do ambiente térmico.

### 5.2.3. *Discussão dos resultados*

O período de medições abrangido por este estudo coincidiu, segundo dados do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), com uma estação atípica. O verão de 2014 (junho, julho e agosto) em Portugal Continental foi caracterizado por valores de temperatura média do ar inferiores aos normais, sendo este o 2º mais baixo desde 1989 (IPMA, 2014). O número de dias com temperatura máxima superior a 30°C e a 35°C observados no verão foi muito inferior ao valor normal em todo o território (IPMA, 2014).

Em todo o caso, nas análises supracitadas verifica-se que foi possível atingir condições de conforto térmico interior, durante a maior parte do período de monitorização, recorrendo apenas a meios passivos. As avaliações subjetivas realizadas através dos inquéritos de conforto corroboram as análises objetivas, tendo a maior parte das respostas correspondido à situação de conforto.

A forte inércia dos materiais que constituem a envolvente, a correta orientação do edifício e a organização interna dos espaços afiguram-se, desde logo, como algumas das medidas passivas de maior influência no comportamento e condições de conforto térmico no interior do edifício. Estas estratégias manifestam-se de forma distinta entre os diferentes espaços, sendo o seu efeito perceptível nos perfis de temperatura e de humidade relativa apresentados.

No piso térreo constata-se que a forte inércia térmica do material utilizado nas envolventes permite que a temperatura interior seja relativamente estável e uniforme. Esta condição manteve-se válida, mesmo nos períodos em que a temperatura exterior registou variações acentuadas. As espessas paredes em granito reduzem o calor transferido entre o ambiente exterior e interior, retendo-o. Posteriormente, quando as temperaturas são mais baixas, esse calor é gradualmente libertado, mantendo as temperaturas interiores constantes. No caso de estudo é possível verificar que a utilização deste material permite otimizar as condições de conforto térmico. Neste contexto, a temperatura média da sala/cozinha foi inferior aos restantes compartimentos, estando esta mais próxima da média de temperaturas exteriores.

No piso superior, os ganhos de calor pela cobertura, faz com que os diferentes espaços apresentem temperaturas mais elevadas, comparativamente ao piso superior. No entanto, o material isolante utilizado no teto falso permite que os ganhos de calor não sejam excessivos.

Os espaços que ocupam a varanda envidraçada, nomeadamente a casa de banho e o quarto/varanda, devido à sua orientação e ao elevado coeficiente de transmissão térmica dos envidraçados apresentam perfis de temperatura e humidade relativa mais suscetíveis às oscilações exteriores. Derivado à sua natureza, estas medidas constituem um inconveniente durante o período de verão, uma vez que não permitem o controlo eficaz dos ganhos solares diretos. A solução para este problema passaria pela redução da área de envidraçados ou pela introdução de um dispositivo de sombreamento exterior. Contudo, estas alterações obrigariam forçosamente a uma intervenção, que iria alterar o cariz de um elemento que se pretende preservar.

Na análise dos dados de verão é possível constatar que a ação dos ocupantes influencia diretamente os perfis de temperatura e humidade relativa no interior do edifício. No piso térreo, a utilização da porta de entrada e das janelas abertas permite que a temperatura interna seja a ideal para ocupantes, além dos consequentes benefícios para os restantes parâmetros em análise.

No espaço quarto/varanda, segundo os perfis de utilização da varanda envidraçada (Anexo III), os ocupantes mantiveram as janelas abertas, a rede de proteção instalada e uma constante regulação das cortinas. Durante o dia os efeitos poderão não ser os mais desejados, uma vez que a temperatura máxima rondou em média os 30 °C. A aplicação das soluções anteriormente mencionadas seria desejável. No período da noite, as medidas passivas utilizadas promovem a ventilação natural, permitindo reduzir a temperatura dos compartimentos. Desta última, é possível constatar que a ação dos ocupantes influenciou positivamente os perfis da temperatura e humidade no interior do edifício, o que demonstra a importância destes na regulação das suas próprias condições de conforto.

No que diz respeito à humidade relativa, verifica-se que esta apresenta variações ligeiras ao longo do dia, apresentando uma média que ronda próxima dos 50%, a mais adequada para o conforto humano (Mateus, 2009). Os vários perfis exibem comportamentos análogos entre si, com os espaços quarto/varanda e casa de banho apresentam pequenas oscilações diárias e os espaços sala/cozinha e quarto, perfis mais estáveis e uniformes. É de salientar, uma vez mais que, os vários elementos interiores em madeira, nomeadamente o soalho, o teto falso, o mobiliário, entre outros, poderão contribuir para este comportamento. A madeira é um material poroso que absorve a humidade facilmente devido à sua natureza celulósica.

### 5.3. Apresentação e análise dos resultados obtidos para a luminosidade

A luminosidade dos compartimentos foi caracterizada através do registo das iluminâncias nos principais planos de trabalho. A luminosidade está diretamente ligada à sensação de conforto visual, na medida em que influencia a capacidade dos ocupantes em desempenhar determinadas atividades. Os resultados obtidos expressam as condições de iluminação proporcionadas pela luz natural, sendo que em nenhum momento se recorreu à iluminação artificial.

#### 5.3.1. Análise dos resultados obtidos nas medições efetuadas na primavera

Na Tabela 15 encontram-se apresentados os resultados das medições objetivas da luminosidade realizadas na primavera. A tabela apresenta para as medições dos três planos de trabalho estudados: o período de tempo de cada medição; as leituras registadas; e o respetivo valor médio das iluminâncias em cada plano de trabalho.

Tabela 15 – Resultados obtidos nas medições objetivas da luminosidade na primavera

Medição 1 Sala/Cozinha (mesa de jantar)		Medição 2 Sala/Cozinha (mesa de apoio)		Medição 3 Quarto/Varanda	
Hora	Iluminância (lux)	Hora	Iluminância (lux)	Hora	Iluminância (lux)
14:45	7,83	15:05	13,32	15:35	4200
14:46	6,42	15:06	13,15	15:36	3876
14:47	6,08	15:07	13,31	15:37	3598
14:48	5,77	15:08	13,70	15:38	4200
14:49	6,04	15:09	13,59	15:39	4366
14:50	7,91	15:10	13,81	15:40	4259
14:51	8,60	15:11	14,11	15:41	5005
14:52	5,91	15:12	13,78	15:42	4382
14:53	6,11	15:13	13,92	15:43	4149
14:54	5,75	15:14	13,80	15:44	2677
14:55	5,11	15:15	13,46	15:45	3500
<b>Valor Médio</b>	6,50	<b>Valor Médio</b>	13,63	<b>Valor Médio</b>	4019,27

Durante o período de medições, a luminosidade no compartimento sala/cozinha foi proporcionada pelas janelas da porta de entrada e pela luz proveniente de uma das janelas do piso superior, através da ligação entre pisos (vão de escadas) (ver Figura 52). Numa primeira análise verifica-se que no compartimento sala/cozinha existe uma pequena discrepância entre os valores médios das medições 1 e 2. Esta diferença deve-se à proximidade dos planos de trabalho aos pontos de entrada de luz, que no caso da mesa de apoio está mais próxima.

Em todo o caso, a luminosidade deste compartimento, em ambos os planos de trabalho, foi reduzida em relação aos valores recomendáveis para as iluminâncias, no plano de trabalho de edifícios residenciais, apresentados na Tabela 4. Uma vez que este compartimento serve várias funções, tais como cozinha, sala de estar, sala de jantar e zona de estudo é recomendável que as iluminâncias neste espaço sejam, no mínimo, superiores a 100 lux (iluminância recomendada para uma sala de jantar), condição que não se verificou.

Da análise às respostas subjetivas, relativas a este parâmetro, verifica-se que todos os inquiridos classificaram a luminosidade deste compartimento como insuficiente, classificando o nível de conforto como desconfortável ou muito desconfortável. Deste modo, o conforto sentido pelos ocupantes sustenta os resultados obtidos, evidenciando as deficientes condições de luminosidade neste compartimento.

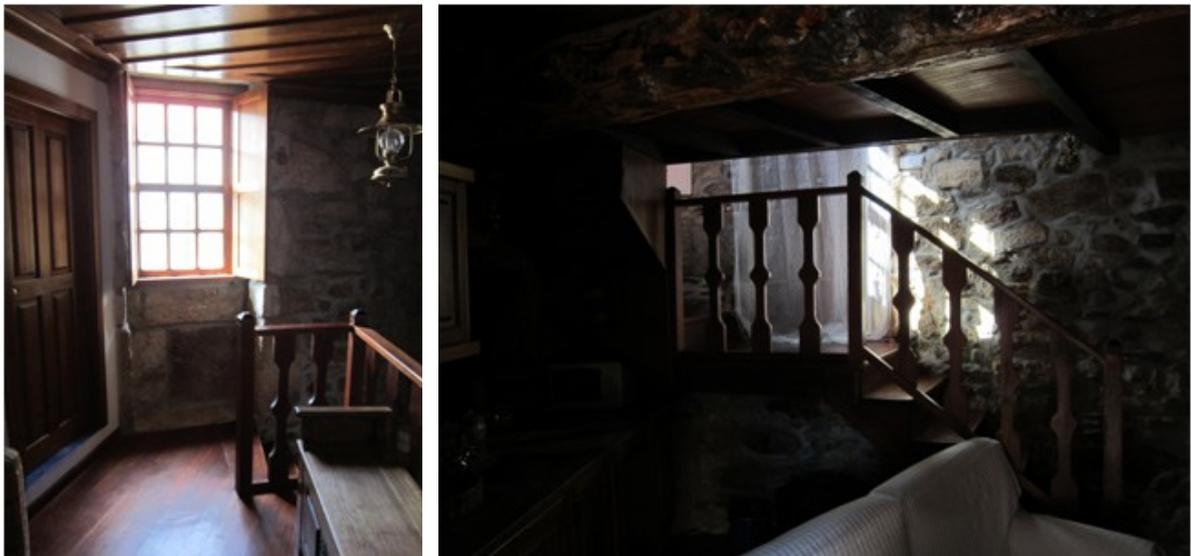


Figura 52 – (esquerda) Luminosidade proporcionada pela janela do piso superior; (direita) Condições de luminosidade do compartimento sala/cozinha na primavera

No quarto/varanda, a luminosidade proporcionada pela varanda envidraçada é claramente muito superior à luminosidade do compartimento sala/cozinha. Este elemento concedeu uma boa luminosidade do espaço, não sendo utilizado, no momento das avaliações, qualquer entrave à entrada de luz.

Ao comparar o valor médio obtido neste compartimento (4019,27 lux), com as iluminâncias recomendadas pela CIE, para edifícios residenciais (Tabela 4), constata-se que a luminosidade registada foi elevada comparativamente aos 100 lux recomendados para um quarto de dormir ou os 500 lux recomendados para uma zona de estudo. Efetivamente, isto é mais do que seria desejado para um quarto de dormir que porventura poderia servir de zona de estudo.

Na análise das avaliações subjetivas verifica-se que os inquiridos sentiram-se satisfeitos com as condições de luminosidade, estando as qualificações do nível de conforto próximas de neutro, ou seja, ausência de desconforto.

### 5.3.2. Análise dos resultados obtidos nas medições efetuadas no verão

Na Tabela 16 encontram-se representados os resultados das medições das iluminâncias realizadas no período de verão, nos diferentes compartimentos e planos de trabalho. Tal como foi referido anteriormente, as monitorizações de verão ocorreram em dois momentos, sob condições de céu limpo e nublado. No decorrer das monitorizações de 6 de agosto, o edifício esteve habitado e os ocupantes foram livres de adaptar o ambiente interior ao cenário que melhor correspondia às suas condições de conforto.

Tabela 16 – Resultados obtidos nas medições objetivas da luminosidade no verão

Local de medição	Medição de 06/08/2014 Céu limpo		Medição de 10/09/2014 Céu nublado	
	Hora	Iluminância (lux)	Hora	Iluminância (lux)
Exterior	14:52	88800	14:30	8600
Sala/ cozinha (mesa de jantar)	14:50	14,24	14:49	6,75
Sala/cozinha (sofá)	14:51	37,30	14:56	24,00
Quarto/varanda (cama)	15:10	647	14:42	2130 / 60*
Quarto/varanda (mesa de apoio)	15:10	1217	14:46	5000 / 41*

\* Medição com as cortinas da varanda envidraçada fechadas

No período de ocupação do compartimento sala/cozinha (medição de 6 de agosto), os ocupantes sentiram a necessidade de modificar as condições interiores de luminosidade, utilizando para o efeito a porta de entrada e todas as portadas das janelas abertas. Comparativamente aos restantes períodos de medição, esta adaptação melhorou, ainda que de forma ténue, as condições de luminosidade interior, contudo, esta tentativa de melhoria não reverteu no efeito desejado pelos ocupantes.

O compartimento sala/cozinha continuou a apresentar iluminâncias reduzidas, todas elas inferiores aos 100 lux recomendados pela CIE para salas de jantar (Tabela 4). Nas medições de 10 de setembro, as condições de luminosidade afirmaram-se novamente insuficientes, em tudo semelhante às condições verificadas nas medições de primavera, uma vez que a únicas diferenças a assinalar foram as condições climatéricas distintas e a abertura das portadas da janela da porta obstruída pela cozinha.

Em resposta às avaliações subjetivas, os ocupantes classificam a luminosidade deste compartimento como insuficiente. No entanto, as alterações introduzidas pelos ocupantes indicam uma melhoria nos níveis de conforto, comparativamente às medições de primavera, que deste modo o classificaram como ligeiramente desconfortável. Nas Figuras 53 e 54 são apresentadas as condições de luminosidade registadas no compartimento sala/cozinha na estação climática de verão.



Figura 53 – Condições de luminosidade do compartimento sala/cozinha 06/08/2014



Figura 54 – Condições de luminosidade do compartimento sala/cozinha 10/09/2014

Na análise dos resultados de 6 de agosto, para o compartimento quarto/varanda, verificam-se luminosidades mais reduzidas, comparativamente aos valores registados na medição de 10 de setembro (Tabela 15). Igualmente neste compartimento, os ocupantes sentiram a necessidade de alterar as condições do ambiente interior, utilizando para o efeito cortinas opacas, com o intuito de reduzir os ganhos solares dos envidraçados e controlar a luminosidade neste espaço. No lado nascente da varanda envidraçada, as cortinas estiveram totalmente corridas e nas restantes a  $\frac{1}{4}$  das janelas (ver Figura 55).

As iluminâncias neste espaço, apesar das alterações, permaneceram superiores às recomendáveis pela CIE, para quartos de dormir (100 lux), sendo que os valores na mesa de apoio são mais elevados devido à sua proximidade à varanda envidraçada. Nas medições de 10 de setembro registaram-se luminosidades elevadas, próximas das previamente registadas na estação de primavera (Figura 56). Estes valores foram registados sem qualquer entrave à entrada de luz.

No entanto, de forma a averiguar a veracidade das estratégias de sombreamento, as cortinas da varanda envidraçada foram fechadas na totalidade. Os dados registados apresentam iluminâncias reduzidas, indicando que os ocupantes podem controlar a luminosidade do espaço através do manuseio das cortinas.

No que concerne as avaliações subjetivas, os ocupantes apresentaram-se novamente satisfeitos com as condições de luminosidade deste compartimento, classificando os níveis de conforto como neutro.



Figura 55 – Condições de luminosidade do compartimento quarto/varanda  
06/08/2014



Figura 56 – Condições de luminosidade do compartimento quarto/varanda  
10/09/2014

### 5.3.3. *Discussão dos resultados*

A partir das análises realizadas verificou-se que o compartimento sala/cozinha apresentou níveis de iluminação insuficientes. Neste compartimento, as medidas passivas foram incapazes de proporcionar as condições mínimas recomendáveis de luminosidade natural, que se reverteu numa sensação de desconforto geral nos ocupantes.

A explicação mais plausível para esta situação recai sobre as alterações realizadas no edifício após a sua reabilitação. O piso térreo (atualmente a cozinha, sala de estar e de jantar) foi originalmente concebida para servir várias funções de outra natureza. No passado, este compartimento serviu de adega, local de armazenagem de bens e alimentos, corte dos animais, entre outras funções. Uma vez que este espaço não era destinado à habitação e as suas funções não exigiam níveis de luminosidade elevados, a conceção do mesmo não teve em conta esta questão, sendo edificado apenas com duas portas com ligação para o exterior.

Após a conversão deste compartimento num espaço habitacional, uma das duas aberturas para o exterior foi parcialmente obstruída e a única medida introduzida para melhoria das condições de luminosidade foi a luz elétrica. Deste modo, na realização de uma simples atividade visual, como ler ou escrever, os ocupantes sentem a necessidade de encontrar condições propícias a essa atividade, recorrendo para tal a meios artificiais de iluminação. Do ponto de vista energético e económico, as estratégias utilizadas (abrir a porta e as portadas das janelas) não apresentam qualquer vantagem para os ocupantes.

No compartimento quarto/varanda, a união do quarto com a varanda envidraçada permite obter todas as vantagens, relativas à luminosidade, deste elemento, assim como as desvantagens. Tal como se constatou nas análises supracitadas, a varanda envidraçada proporcionou ótimas condições de luminosidade, recorrendo apenas à luz natural, permitindo desenvolver variadas tarefas com a acuidade e precisão visual necessárias, sem que estas representem uma situação de desconforto para os ocupantes.

No entanto, estando perante um quarto de dormir e na eventualidade de um ocupante pretender repousar ou dormir durante o dia, o nível de luminosidade deste espaço poderá ser excessivo. Para tal, a presença de cortinas opacas neste elemento permite aos ocupantes um maior controlo da luminosidade do espaço, permitindo adapta-lo ao seu nível de conforto visual.

Deste modo, comprova-se que as técnicas passivas utilizadas são capazes de promover e controlar a luminosidade deste espaço, utilizando medidas simples e de baixo perfil tecnológico, sem o recurso a meios artificiais dependentes de energia.

#### **5.4. Apresentação e análise dos resultados obtidos para a qualidade do ar**

A avaliação objetiva da qualidade do ar, no interior dos compartimentos, foi realizada através da medição da concentração de CO<sub>2</sub>. A presença de elevadas concentrações de dióxido de carbono, em espaços com presença humana, é um indício de ventilação deficiente, fator que poderá resultar na presença de concentrações elevadas de outro tipo de poluentes. A concentração de CO<sub>2</sub> foi registada no centro dos compartimentos avaliados, tendo sido adotado o valor que resultou da média dos valores obtidos durante o período de medição.

##### *5.4.1. Análise dos resultados obtidos nas medições efetuadas na primavera*

Na Tabela 17 encontram-se os resultados das medições objetivas da concentração de CO<sub>2</sub> nos compartimentos sala/cozinha e quarto/varanda. Nesta tabela encontram-se representados: o período de registo; o registo das concentrações de CO<sub>2</sub>; e a média dos valores obtidos durante o período de medição.

Tabela 17 – Resultados obtidos nas medições objetivas do CO<sub>2</sub> na primavera

Medição 1 Sala/Cozinha		Medição 2 Quarto/Varanda	
Hora	Concentração (ppm)	Hora	Concentração (ppm)
16:15	797	16:25	736
16:16	797	16:26	724
16:17	807	16:27	725
16:18	810	16:28	721
16:19	810	16:29	723
16:20	818	16:30	738
<b>Valor Médio</b>	806,5	<b>Valor Médio</b>	727,83

Segundo a Nota Técnica NT-SCE-02, as concentrações máximas de referência de CO<sub>2</sub> no interior de edifícios (Tabela 6), deverão ser inferiores a 1800 mg/m<sup>3</sup> (= 1000 ppm). Numa primeira análise verifica-se que as concentrações, em ambos os compartimentos do edifício, mantiveram-se dentro dos níveis recomendáveis, isto é, inferiores ao valor máximo de referência.

Sendo o compartimento sala/cozinha um espaço comum do edifício, com menores aberturas para o exterior e aonde se situam elementos que recorrem a processos de combustão (fogão e esquentador), estimava-se que as concentrações fossem mais elevadas neste compartimento, situação que se verifica.

As grandezas registadas refletem o período em que o edifício esteve encerrado, aspeto que poderá ter influenciado as concentrações deste poluente, uma vez que a ocupação humana e o metabolismo dos ocupantes representam umas das principais fontes de degradação da qualidade do ar interior.

Em resposta às avaliações subjetivas, os ocupantes não reportaram a presença de odores nos compartimentos em estudo, classificando a sensação de conforto, em ambos os compartimentos, como próxima de neutra, ou seja, estiveram confortáveis com a qualidade do ar.

### 5.4.2. Análise dos resultados obtidos nas medições efetuadas no verão

Na Tabela 18 encontram-se apresentados os resultados obtidos nas medições da concentração de dióxido de carbono, no período de verão, nos vários compartimentos do edifício e exterior.

Tabela 18 – Resultados obtidos nas medições objetivas do CO<sub>2</sub> no verão

Local de medição	Medição de 06/08/2014		Medição de 10/09/2014	
	Hora	Concentração (ppm)	Hora	Concentração (ppm)
Exterior	15:00	370	14:10	460
Cozinha	15:05	490	14:13	735
Casa de banho	15:15	510	14:15	645
Quarto/varanda	15:18	600	14:20	590
Quarto	15:21	570	14:24	570

Na análise dos resultados verifica-se que, em ambas as medições, as concentrações de CO<sub>2</sub> mantiveram-se dentro dos níveis recomendáveis, isto é, inferiores à concentração máxima de referência (1000 ppm). Ao contrário das restantes medições realizadas, as concentrações no compartimento quarto/varanda, de 6 de agosto, foram superiores às do compartimento sala/cozinha.

A utilização da porta de entrada principal aberta proporcionou a renovação do ar interior, que por consequente resultou na diminuição das concentrações deste poluente no edifício, em especial no compartimento sala/cozinha, que deste modo esteve em contacto direto com o ar exterior, onde as concentrações foram mais reduzidas.

Na análise das avaliações subjetivas verifica-se que os ocupantes voltaram a não reportar a presença de odores nos compartimentos em estudo, classificando novamente a sensação de conforto como próxima de neutra, isto é, os ocupantes sentiram-se confortáveis com a qualidade do ar interior do edifício.

### 5.4.3. *Discussão dos resultados*

O edifício vernáculo em estudo apresentou, em todos os períodos de monitorização, concentrações de CO<sub>2</sub> inferiores às concentrações máximas de referência. Os resultados manifestam-se dentro dos padrões aceitáveis de qualidade do ar e derivam da interação de vários fatores.

Tal como referido anteriormente, a presença humana em espaços interiores representa uma das principais fontes de degradação do ar. Uma vez que a ocupação do edifício não foi contínua (sazonal), em especial na estação climática de primavera, a ausência de ocupantes poderá ter influenciado positivamente as concentrações deste poluente.

Porém, neste estudo, a restrita relação entre a presença humana e as concentrações de CO<sub>2</sub> é de difícil determinação. Nas medições de primavera, o edifício encontrou-se encerrado e sem ocupantes e no período de verão, os ocupantes utilizaram medidas passivas que potenciaram a redução deste poluente. Deste modo, para melhor se compreender esta analogia seriam necessárias medições que representassem o período de ocupação do edifício, sem a utilização de medidas passivas de renovação de ar.

Em resposta às avaliações subjetivas, os ocupantes afirmaram-se confortáveis com a qualidade do ar interior, não reportando a presença de cheiros ou odores. No entanto, durante o período de ocupação do edifício utilizaram frequentemente a porta de entrada aberta. Embora esta medida promova ativamente a renovação do ar interior, reduzindo a concentração de poluentes, o seu principal propósito foi de melhorar as condições de conforto térmico e de luminosidade dos compartimentos.

Outro fator que terá favorecido a renovação de ar e influenciado as concentrações de CO<sub>2</sub> no edifício foi a sua permeabilidade ao ar (característica comum em edifícios vernáculos). A permeabilidade ao ar de alguns dos elementos construtivos, nomeadamente as portas e as janelas, poderão ter contribuído para a renovação do ar interior, reduzindo a concentração de poluentes e dissipando possíveis odores. No entanto, para melhor se compreender este fenómeno seriam necessárias medições pormenorizadas da taxa de renovação de ar.

## **5.5. Apresentação e análise dos resultados obtidos na avaliação da sensação de conforto global**

A avaliação da sensação de conforto global foi realizada através dos inquéritos sobre a perceção da qualidade do ambiente interior, nos compartimentos sala/cozinha e quarto/varanda.

### *5.5.1. Análise dos resultados obtidos nas medições efetuadas na primavera*

Em geral, nas avaliações subjetivas realizadas no compartimento sala/cozinha, verifica-se que as classificações do conforto global variam entre os parâmetros ligeiramente desconfortável e desconfortável. A razão mais plausível para esta situação encontra-se nas avaliações do nível de conforto dos diferentes parâmetros em estudo, em especial no parâmetro iluminação e ambiente térmico. Ao contrário das restantes avaliações, em que os inquiridos apresentam, em geral, avaliações próximas de neutro (ausência de desconforto), nestes parâmetros existe uma sensação geral de desconforto.

No compartimento quarto/varanda, os ocupantes apresentaram-se, em geral, confortáveis com os diferentes parâmetros analisados. Deste modo, a classificação atribuída à sensação de conforto global foi de neutra, refletindo assim a sensação de conforto com o ambiente interior deste compartimento.

### *5.5.2. Análise dos resultados obtidos nas medições efetuadas no verão*

No período de verão, no compartimento sala/cozinha, as classificações atribuídas aos vários parâmetros em estudo foram, em geral, próximas de neutro, à exceção do parâmetro da iluminação em que os ocupantes atribuíram a classificação de ligeiramente desconfortável ou desconfortável.

Com a utilização de medidas passivas, foi possível melhorar a sensação de conforto dos ocupantes, que se refletiu diretamente nas classificações da sensação de conforto global, definidas entre ligeiramente desconfortável e neutro (confortável). Esta condição reflete a importância que os ocupantes atribuíram, na classificação da sensação de conforto global, à iluminação deste compartimento.

De forma análoga, os ocupantes classificaram a sensação de conforto global, no compartimento quarto/varanda, como neutro (confortável). Em suma, no período de verão, em

ambos os compartimentos analisados, os ocupantes sentiram-se confortáveis com as condições do ambiente interior.

### 5.5.3. *Discussão de resultados*

Nas análises à sensação de conforto global supracitadas identificam-se dois perfis de avaliação distintos: o compartimento sala/cozinha que apresenta classificações variáveis, dependentes da estação climática e do contexto; e o quarto/varanda onde as classificações são em geral satisfatórias, em ambos os períodos de análise.

No compartimento sala/cozinha, o desconforto sentido pelos ocupantes na primavera resulta, em parte, das deficientes condições de iluminação natural e da dificuldade dos inquiridos em se adaptar ao ambiente térmico. No período de verão, as estratégias passivas tiveram um papel ativo, potenciando melhorias significativas no ambiente interior, em especial no ambiente térmico. No entanto, estas foram incapazes de, por si só, conceder as corretas condições de conforto visual. Devido à melhoria no parâmetro do ambiente térmico, as classificações da sensação de conforto global foram mais satisfatórias. Esta situação vem reforçar a importância atribuída ao parâmetro da iluminação, uma vez que foi o único em que os ocupantes apresentaram algum nível de desconforto.

Nitidamente, o espaço sala/cozinha apresenta alguns problemas, que se refletem diretamente na sensação de conforto dos seus ocupantes. A análise do ambiente térmico (secção 5.2) determina que através da utilização de medidas passivas é possível alcançar o conforto térmico. No entanto, no parâmetro iluminação essa tarefa apresentou-se impossível. Desta última, as avaliações do conforto expressam a necessidade de promover e de melhorar a iluminação natural deste espaço.

As avaliações do conforto global do compartimento quarto/varanda foram em geral satisfatórias, em ambos os períodos de medição. A satisfação com o ambiente interior deste compartimento indica que o edifício é capaz de proporcionar, para as estações climáticas de primavera e de verão, condições de conforto para a maioria dos seus ocupantes.



## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 6.1. Conclusões

Os ensinamentos e as estratégias passivas que caracterizam a arquitetura vernacular são exemplos expressivos de simplicidade e carácter funcional na construção. A arquitetura vernácula é um tipo de construção modelada a partir da escassez de recursos e das condições específicas de cada lugar.

Por este motivo, os elementos que constituem o vasto espetro de manifestações vernáculas funcionam segundo princípios básicos, numa sintonia coerente e cuidada. No desenvolvimento deste trabalho constatou-se que a temática tem vindo a suscitar um crescente interesse, com diversas entidades a realçar a importância do estudo e proteção deste património em extinção, e com diversos autores a abordarem as mais variadas vertentes de aplicação deste método construtivo.

A arquitetura tradicional portuguesa oferece uma profusa manifestação de técnicas vernaculares, resultante das múltiplas assimetrias geográficas e climáticas do território português (Fernandes, 2012). No caso particular da Beira Alta, os edifícios apostam nos ganhos solares e na redução das perdas de calor, para fazer face aos rigores do frio do inverno.

Por essa razão, as medidas de mitigação dos efeitos do clima, utilizados na arquitetura vernacular beirã, podem ser um contributo na resposta aos desafios atualmente impostos ao setor da construção. Neste sentido, o trabalho de investigação que agora se conclui baseou-se em estudos de campo que consagram uma visão mais detalhada da eficiência das estratégias utilizadas.

A metodologia adotada permitiu cumprir os objetivos estabelecidos no presente trabalho, o qual visava a avaliação *in-situ* do comportamento térmico e das condições de conforto de um edifício vernáculo, de uma das principais regiões climáticas do país. A avaliação de um edifício vernacular deve empregar métodos objetivos adequados, caso contrário, o processo leva a conclusões incorretas ou imprecisas.

Deste modo, a metodologia baseada em avaliações objetivas revelou ser adequada, visto que, permite uma visão clara e sustentada dos parâmetros ambientais analisados (ambiente térmico, iluminação e qualidade do ar). As avaliações subjetivas, baseadas na realização de inquéritos, revelaram ser uma ferramenta útil, permitindo relacionar a perceção dos ocupantes com as condições ambiente observadas.

Desta última, constatou-se a existência de uma boa correlação entre as avaliações objetivas e subjetivas. Apesar das limitações existentes em trabalhos desta natureza, os resultados obtidos neste estudo vieram ao encontro das expectativas iniciais. As principais dificuldades encontradas no decorrer desta investigação prenderam-se com as limitações de tempo, com a disponibilidade dos equipamentos de medição e com fatores imponderáveis referentes ao seu funcionamento.

O caso selecionado para este estudo está de acordo com os fatores regionais e locais da arquitetura e construção beirã. O edifício recorre a materiais disponíveis no local, designadamente à rocha granítica e à madeira, e utiliza estratégias que permitem o aumento dos ganhos solares e a redução das perdas de calor. Aposta numa correta orientação solar, entre o quadrante sul-oeste, que lhe permite captar o máximo de radiação solar. A varanda envidraçada, disposta na fachada de maior exposição solar, é um elemento privilegiado e eficaz na captação dos ganhos solares. A disposição interior dos espaços apresenta uma organização compacta e estruturada.

Os resultados deste estudo indicam que foi possível atingir condições de conforto térmico interior, durante a maior parte do período de monitorização de primavera e verão, recorrendo apenas a meios passivos. A utilização de medidas passivas influenciou positivamente os perfis de temperatura e humidade relativa no interior do edifício, indicando que os ocupantes têm a capacidade de adaptar o ambiente térmico às suas condições de conforto.

Os espaços interiores apresentam em geral temperaturas mais estáveis e inferiores às externas, resultado da forte inercia térmica proporcionada pelas envolventes. No entanto, nos espaços onde a área de envidraçados é consideravelmente maior, as temperaturas apresentam-se mais suscetíveis às variações de temperatura exterior.

Baseado nestes resultados, são sugeridas algumas alterações com vista a otimizar os níveis de conforto interior. Este estudo permitiu clarificar que, embora o desempenho dos edifícios da Beira Alta esteja concentrado na estação fria, quando devidamente operados, as estratégias de

arrefecimento passivo permitem mitigar o efeito dos ganhos solares excessivos durante o período de verão. A análise das avaliações objetivas permitiu também concluir que, o modelo desenvolvido por Matias (2010) adaptado ao contexto português, apresenta resultados mais fiáveis, quando comparado com o modelo de Fanger para avaliação das condições de conforto térmico.

No que concerne a luminosidade foi possível constatar que, a grande área envidraçada da varanda concede aos espaços intervenientes níveis elevados de luminosidade natural, facilmente controlados através da utilização das cortinas opacas. Deste modo, o estudo conclui que, a varanda envidraçada e a estratégia passiva utilizada no controlo da luminosidade interior permitem aos ocupantes adaptar as condições de luminosidade à sua sensação de conforto visual.

Contudo, no piso térreo as medidas utilizadas na promoção da luminosidade interior provaram-se ineficazes. A abertura de portas e janelas é incapaz de, por si só, conceder os níveis recomendáveis de luminosidade para edifícios residenciais. O principal motivo para as deficientes condições de luminosidade está relacionado com o facto de este espaço ter sido originalmente concebido para servir de local de armazenagem e apoio às atividades agrícolas. Uma vez que estas funções não exigiam níveis de luminosidade elevados, o piso térreo apresenta problemas de conceção, cuja solução reside na utilização de meios artificiais de iluminação ou em medidas mais interventivas.

No que diz respeito à qualidade do ar conclui-se que a concentração de poluentes no interior do edifício mantém-se dentro de valores recomendáveis. A ausência de ocupantes e a permeabilidade do edifício ao ar são as razões mais plausíveis para este bom desempenho. A análise em dois períodos de medição distintos permitiram constatar que as estratégias passivas de ventilação permitem reduzir a carga de poluentes no interior do edifício, provando assim a sua eficácia.

Em sumário, a análise dos diferentes parâmetros ambientais monitorizados permitiu retirar um conjunto importante de ilações, indicando claramente que não existe uma solução universal e perfeita para todo o edifício. O comportamento exibido pelo piso térreo é um exemplo claro desta afirmação. Embora este espaço apresente condições de conforto térmico e de qualidade do ar desejáveis, o parâmetro iluminação carece de uma medida de melhoramento. Condição

que não se verifica nos espaços afetados pela varanda envidraçada, uma vez que promovem a iluminação e a ventilação natural dos espaços.

No caso de estudo, algumas alterações seriam necessárias para que o comportamento térmico, durante o verão, fosse melhorado. Uma melhoria no isolamento térmico deste elemento tornaria possível o controlo das flutuações de temperatura interior e a redução das perdas de calor durante a estação de aquecimento. No entanto, para determinar o desempenho global desta estratégia passiva, bem como de todo o edifício, é necessário uma investigação que englobe os restantes períodos do ano.

A restrição deste trabalho ao período de primavera e de verão, não permite expor conclusões genéricas que abarquem grande parte das estratégias de edifícios vernaculares beirãs. Para tal, seria imprescindível uma investigação mais abrangente, com a análise de vários casos de estudo semelhantes e com a participação de um número considerável de inquiridos.

Mediante os resultados desta investigação, é permitido afirmar que as estratégias passivas utilizadas na arquitetura vernacular beirã possuem potencial de adaptação, contribuindo para uma otimização do comportamento passivo de edifícios e redução das necessidades de energia para climatização. Dados mais detalhados sobre a contribuição destas estratégias passivas serão úteis para que arquitetos e engenheiros possam desenvolver edifícios bioclimáticos e energeticamente eficientes. Por outro lado, a avaliação qualitativa do seu comportamento é um dado essencial ao desenvolvimento de operações de manutenção e reabilitação dos mesmos.

Por fim, este estudo pretende salientar a importância da projeção de um ambiente interior adequado e consciente do seu efeito nos ocupantes. A arquitetura vernácula é a prova que os edifícios poderão coexistir de forma eficiente e harmoniosa com a natureza. Com base nesta afirmação, salienta-se uma vez mais, o apelo à necessidade de preservar os edifícios de arquitetura vernacular portuguesa, que de forma tão marcante caracterizam um povo orgulhoso da sua herança e da sua cultura.

## 6.2. Perspetivas futuras

O estudo da arquitetura e construção tradicional portuguesa apresenta-se ainda em fase preambular. Pelo seu potencial de sustentabilidade e extensa multiplicidade de técnicas e saberes alcançados, subsiste ainda um vasto campo de investigação no qual futuros investigadores poderão enveredar.

A investigação efetivada nesta dissertação caracteriza uma ínfima parcela de um vasto potencial, cujas limitações de tempo não permitiram uma visão integral e completa. Como tarefa futura propõe-se a continuação desta investigação, para que as restantes estações do ano (outono e inverno) possam ser abrangidos por esta investigação. Ainda no ponto de vista de continuidade, salienta-se a necessidade de uma monitorização do gás radão, uma vez que se apresenta como um poluente comum nesta região e em edifícios com as características idênticas às do edifício em estudo.

Tal como foi referido, o estudo da arquitetura vernacular é extenso e dificilmente se consegue abranger todas as suas vertentes. Deste modo aconselha-se o estudo de um número representativo de edifícios, que deste modo possibilitem constatar se as estratégias passivas utilizadas surtem os efeitos aferidos apenas no caso de estudo, ou se é seguro afirmar que os resultados podem ser cingidos a outros casos com características semelhantes.

Desta última, será de grande interesse a análise de um caso de estudo, em que a principal estratégia passiva (varanda envidraçada) não esteja diretamente associada a um espaço útil (ao contrário do que acontece no caso analisado), para que seja possível identificar o efeito das varandas envidraçadas em espaços contíguos.

Uma vez que o período de monitorização coincidiu com uma estação atípica, propõe-se a utilização de um *software* que permita a simulação dinâmica dos edifícios analisados (*DesignBuilder*, *Energy Plus*, entre outros). A utilização destas ferramentas permitirá realizar uma análise mais completa e rigorosa, permitindo estudar vários cenários.

A análise da arquitetura vernacular portuguesa deverá também incluir um estudo de comparação entre edifícios tradicionais e modernos, incluídos na mesma região. Deste modo, os pontos onde a arquitetura vernacula se apresenta mais forte seriam mais facilmente identificados, permitindo colmatar as falhas dos edifícios de construção moderna com as estratégias passivas tradicionais.

Por fim, com base nas tarefas enumeradas anteriormente propõe-se o desenvolvimento de uma varanda envidraçada, adaptada ao contexto atual de construção a fim de determinar o contributo desta estratégia passiva num edifício de construção moderna. Para tal seria necessária a integração desta estratégia num edifício, seguido de um período de análise e investigação do seu comportamento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AAVV. (1980). *Arquitetura Popular em Portugal*. Associação dos Arquitetos Portugueses. Lisboa.
- AAVV. (2000). *Arquitetura Popular dos Açores*. Ordem dos Arquitetos. Lisboa.
- AAVV. (2002). *Arquitetura Popular da Madeira*. Argumentum. Lisboa.
- Andrade, S. (n.d.). *Aldeias de Memória - Piódão*. Retrieved June 12, 2014, from <http://www.aldeiasdememoria.com/piodao/>
- APA. (n.d.). *Atlas do Ambiente*. Retrieved October 06, 2014, from <http://sniamb.apambiente.pt/atlas/>
- APA. (2009). *Qualidade do ar em espaços interiores - Um Guia Técnico*. Amadora: Agência Portuguesa do Ambiente.
- Arboleda, G. (2006). *Vernacular Architecture - Definition*. Retrieved June 08, 2014, from <http://www.vernaculararchitecture.com/>
- ASHRAE 55 (2010). *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Bernardes, Â. (2009). *Análise dos Métodos de Auditoria à Qualidade do ar Interior – RSECE*. Universidade de Aveiro.
- Borong, L., Gang, T., Peng, W., Ling, S., Yingxin, Z., & Guangkui, Z. (2004). *Study on the thermal performance of the Chinese traditional vernacular dwellings in Summer*. *Energy and Buildings*, 36(1), 73–79. doi:10.1016/S0378-7788(03)00090-2
- Botelho. (2011). *Espectro Eletromagnético*. Retrieved October 17, 2014, from <http://professorbotelho.blogspot.pt/2011/01/ficha-de-trabalho-10-interacao-radiacao.html>
- Carvalho, R. (2008). *Varandas envidraçadas portuguesas*. Retrieved June 21, 2014, from [http://arquitecturadouro.blogspot.pt/2008\\_04\\_01\\_archive.html](http://arquitecturadouro.blogspot.pt/2008_04_01_archive.html)
- Charles, K. E. (2003). *Fanger's Thermal Comfort and Draught Models*. *Institute for Research in Construction Research Report, RR-162*.
- CIE. (2001). *Níveis de iluminância recomendados para iluminação interior*. Retrieved July 22, 2014, from [http://www.estgv.ipv.pt/paginaspessoais/vasco/textos/niveis\\_ilum.pdf](http://www.estgv.ipv.pt/paginaspessoais/vasco/textos/niveis_ilum.pdf)
- Coutinho, M. (2009). *Avaliação das condições de iluminação natural através de simulações em modelos virtuais*. Instituto Superior Técnico Universidade Técnica de Lisboa.
- DGEG. (2013). *Planos Nacionais para o Setor Energético*. Retrieved July 12, 2014, from <http://www.dgeg.pt/>
- DGT. (2004). *Cartografia de risco de incêndio florestal - Relatório do distrito de Viseu*. Retrieved July 30, 2014, from [http://www.dgterritorio.pt/cartografia\\_e\\_geodesia/cartografia/cartografia\\_tematica/cartas\\_de\\_risco/](http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/cartografia/cartografia_tematica/cartas_de_risco/)

- Dili, A. S., Naseer, M. a., & Varghese, T. Z. (2010). *Passive environment control system of Kerala vernacular residential architecture for a comfortable indoor environment: A qualitative and quantitative analyses*. *Energy and Buildings*, 42(6), 917–927. doi:10.1016/j.enbuild.2010.01.002
- Dili, A. S., Naseer, M. a., & Zacharia Varghese, T. (2011). *Passive control methods for a comfortable indoor environment: Comparative investigation of traditional and modern architecture of Kerala in summer*. *Energy and Buildings*, 43(2-3), 653–664. doi:10.1016/j.enbuild.2010.11.006
- EN 15251 (2006). *Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lightning and acoustics*.
- EN ISO 7726 (2002). *Ergonomics of the thermal environment — Instruments for measuring physical quantities*.
- EN ISO 7730 (2005). *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*.
- Fernandes, J. (2012). O contributo da arquitectura vernacular portuguesa para a sustentabilidade dos edificios. Dissertação de Mestrado. Universidade do Minho.
- Hoylen, S. (2007). Ksar Ouled Debbab. Retrieved June 07, 2014, from <http://www.hoylen.com/photos/2007-tn3-ksar/pictures.html>
- Hoyt, T., Schiavon, S., Piccioli, A., Moon, D., & Steinfeld, K. (2013). *CBE Thermal Comfort Tool for ASHRAE-55*. Retrieved August 20, 2014, from <http://cbe.berkeley.edu/comforttool/>
- Humphreys, M. A., & Fergus Nicol, J. (2002). *The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments*. In *Energy and Buildings* (Vol. 34, pp. 667–684). doi:10.1016/S0378-7788(02)00018-X
- IPMA. (n.d.). IPMA - Normais Climatológicas. Retrieved August 02, 2014, from <https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/>
- IPMA. (2014). Boletim Climatológico Mensal: Portugal Continental - Junho de 2014. Retrieved from [https://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20140707/CIwvGTLFCTRbtyGmBRhE/cli\\_20140601\\_20140630\\_pcl\\_mm\\_co\\_pt.pdf](https://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20140707/CIwvGTLFCTRbtyGmBRhE/cli_20140601_20140630_pcl_mm_co_pt.pdf)
- IPMA. (2014). Boletim Climatológico Mensal: Portugal Continental - Agosto de 2014. Retrieved from [https://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20140904/OSCIWyJxqEHdEhShpIcn/cli\\_20140801\\_20140831\\_pcl\\_mm\\_co\\_pt.pdf](https://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20140904/OSCIWyJxqEHdEhShpIcn/cli_20140801_20140831_pcl_mm_co_pt.pdf)
- IPMA. (2014). Boletim Climatológico Sazonal: Verão de 2014. Retrieved from [https://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20140909/AwkSnFWQkYCpCpsSyUuU/cli\\_20140601\\_20140831\\_pcl\\_sz\\_co\\_pt.pdf](https://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20140909/AwkSnFWQkYCpCpsSyUuU/cli_20140601_20140831_pcl_sz_co_pt.pdf)

- ITE 50 (2006). Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Divisão de Edições e Artes Gráficas, Lisboa.
- J. F. de Granja do Tedo (n.d.). Freguesia de Granja do Tedo - Tabuaço. Retrieved June 23, 2014, from <http://www.terralusa.net/?site=78&sec=part3>
- Lueder, R. K. (1983). *Seat comfort: a review of the construct in the office environment*. *Human Factors*, 25, 701–711.
- Mateus, R. (2009). Avaliação da Sustentabilidade da Construção: Propostas para o Desenvolvimento de Edifícios mais Sustentáveis. Universidade do Minho.
- Matias, L. (2010). Desenvolvimento de um modelo adaptativo para definição das condições de conforto térmico em Portugal. (LNEC, Ed.). Instituto Superior Técnico/Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Mestre, V. (2002). *Arquitetura Popular da Madeira*, Argumentum, Edições Estudos e Realizações. Lisboa
- Monteriro, J. G. (1991). Tabuaço. Câmara Municipal de Tabuaço.
- Naturalhomes. (n.d.). *The Karo Rumah of Sumatra*. Retrieved July 10, 2014, from <http://naturalhomes.org/timeline/karo-batak.htm>
- Nematchoua, M. K., Tchinda, R., & Orosa, J. a. (2014). *Thermal comfort and energy consumption in modern versus traditional buildings in Cameroon: A questionnaire-based statistical study*. *Applied Energy*, 114, 687–699. doi:10.1016/j.apenergy.2013.10.036
- Nguyen, A.-T., Tran, Q.-B., Tran, D.-Q., & Reiter, S. (2011). *An investigation on climate responsive design strategies of vernacular housing in Vietnam*. *Building and Environment*, 46(10), 2088–2106. doi:10.1016/j.buildenv.2011.04.019
- Nicol, J. F., & Humphreys, M. A. (2002). *Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings*. In *Energy and Buildings* (Vol. 34, pp. 563–572). doi:10.1016/S0378-7788(02)00006-3
- Oliveira, A. (2008). Avaliação da Incerteza na Determinação dos Índices de Conforto Térmico PMV e PPD. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Oliver, P. (1997). *Encyclopedia of Vernacular Architecture of the World*. Cambridge University Press.
- PDM. (n.d.). PDM do Município de Tabuaço. Retrieved July 28, 2014, from <http://www.cm-tabuaco.pt/index.php?info=YTo0OntzOjQ6Im1lbnUiO3M6MzoiY2FtIjtzOjM6Im1pZCI7YTToyOntpOjA7czozOiIzNjUiO2k6MTtzOjM6IjU2MCI7fXM6MzoiY2lkIjtzOjM6IjU2MCI7czoxMzoidmVyc2FvX3RhYmVsYSI7czo2OiJvbmxpbmUiO30=>
- Priya, R., Sundarraja, M. C., Radhakrishnan, S., & Vijayalakshmi, L. (2012). *Solar passive techniques in the vernacular buildings of coastal regions in Nagapattinam, TamilNadu-India – a qualitative and quantitative analysis*. *Energy and Buildings*, 49, 50–61. doi:10.1016/j.enbuild.2011.09.033

- Rakhimova, N. (2012). *New Year's with the Nenets of the Russian Arctic*. Retrieved October 10, 2014, from <http://gomadnomad.com/2012/01/21/new-years-with-the-nenets-of-the-russian-arctic/>
- Ribeiro, F. (2007). A Matéria do Tempo: Palheiros. Retrieved June 12, 2014, from <http://amateriadotempo.blogspot.pt/2007/04/palheiros.html>
- Ribeiro, O. (1998). *Portugal: o Mediterrâneo e o Atlântico*. (L. S. da C. Editora, Ed.). Lisboa.
- Santos, A. J. (2007). A iluminação nos edifícios - uma abordagem no contexto da sustentabilidade e eficiência energética. (LNEC, Ed.) (p. 34).
- SCE. (2009). Nota Técnica NT-SCE-2012.
- Silva, C. (2012). Olhar da Biosfera. Retrieved from [http://santanamadeirabiosfera.com/documentos/olhar\\_da\\_biosfera\\_n3.pdf](http://santanamadeirabiosfera.com/documentos/olhar_da_biosfera_n3.pdf)
- Singh, M. K., Mahapatra, S., & Atreya, S. K. (2010). *Thermal performance study and evaluation of comfort temperatures in vernacular buildings of North-East India. Building and Environment, 45(2), 320–329*. doi:10.1016/j.buildenv.2009.06.009
- Singh, M. K., Mahapatra, S., Atreya, S. K., & Givoni, B. (2010). *Thermal monitoring and indoor temperature modeling in vernacular buildings of North-East India. Energy and Buildings, 42(10), 1610–1618*. doi:10.1016/j.enbuild.2010.04.003
- Slater, K. (1986). *Discussion paper the assessment of comfort. Journal of the Textile Institute*. doi:10.1080/00405008608658406
- Torgal, F. P., & Jalali, S. (2010). A Sustentabilidade dos Materiais de Construção. TecMinho.
- Uğursal, A., & Culp, C. H. (2013). *The effect of temperature, metabolic rate and dynamic localized airflow on thermal comfort. Applied Energy, 111, 64–73*. doi:10.1016/j.apenergy.2013.04.014
- Van der Linden, J., & Guimarães, L. (2003). O conceito de conforto a partir da opinião de especealistas.
- Zhai, Z. (John), & Previtali, J. M. (2010). *Ancient vernacular architecture: characteristics categorization and energy performance evaluation. Energy and Buildings, 42(3), 357–365*. doi:10.1016/j.enbuild.2009.10.002

## **ANEXOS**



## ANEXO I – INQUÉRITO SOBRE A PERCEÇÃO DA QUALIDADE DO AMBIENTE INTERIOR



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia



Laboratório de Física e  
Tecnologia das Construções

### INQUÉRITO SOBRE: PARÂMETROS DE CONFORTO

Este trabalho enquadra-se num projecto de investigação que se encontra a ser desenvolvido pelo Laboratório de Física e Tecnologia das Construções (LFTC) do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho.

Este inquérito tem como objectivo avaliar a opinião dos ocupantes deste espaço relativamente aos ambientes térmico, lumínico, acústico e de qualidade do ar, com o objectivo de identificar o modo como cada um influencia o conforto global percebido pelos ocupantes.

Os resultados deste inquérito complementarão a avaliação experimental de vários parâmetros ambientais que é efectuada em simultâneo.

A sua participação é fundamental para o desenvolvimento e conclusão deste estudo, pelo que se solicita que responda objectivamente e com franqueza às questões que lhe são apresentadas.

Os dados obtidos no questionário serão apenas usados para fins estatísticos.

Muito obrigado pela sua disponibilidade e colaboração!



Inquérito sobre a percepção da Qualidade do Ambiente Interior

Data:		Inquérito n.º:	
Hora:		Auditor:	
Nome do ocupante:		Posição do ocupante no compartimento	
Idade:	Sexo:		
Peso:	Altura:		
Naturalidade:			
Existe algum motivo de ordem fisiológica que possa condicionar a sua percepção de conforto? Sim:                      Não:			
Temperatura aproximada do ar exterior:                      °C			
Céu		Tipo de compartimento/edifício:	
Limpo:	Sol e nuvens:	Encoberto:	Humidade relativa exterior (%):
Condições sazonais		Temperatura interior (°C):	
Inverno:	Primavera:	Verão:	Humidade (%):
Outono:			
Equipamento (equipamentos presentes no compartimento que ligados contribuam para o aumento ou redução de calor ex: computadores, ventoinhas, TV, etc.)			
Item:	Quantidade:	Total de calor adicionado/subtraído	
Nível de actividade do ocupante:		Metabolismo (met)	
1. Reclinado		1. 0,8 met	
2. Sentado, Quietos		2. 1,0 met	
3. Escritório, Escola		3. 1,2 met	
4. Em pé, relaxado		4. 1,2 met	
5. Em pé, actividade ligeira		5. 1,6 met	
6. Em pé, actividade média		6. 2,0 met	
7. Actividade intensa		7. 3,0 met	
Vestuário do ocupante: Assinale nos quadros da página seguinte <u>todas as peças de vestuário</u> que tem vestidas neste momento.		Isolamento térmico do vestuário	
		Total Icl= _____ clo	

Vire a página por favor.



**Camisa/Blusa**

de verão, manga comprida	(0,15)	<input type="checkbox"/>
de verão, manga curta	(0,20)	<input type="checkbox"/>
de inverno	(0,25)	<input type="checkbox"/>
de flanela	(0,30)	<input type="checkbox"/>
T-shirt	(0,09)	<input type="checkbox"/>
pólo de malha	(0,17)	<input type="checkbox"/>

**Calça**

de verão	(0,20)	<input type="checkbox"/>
de meia estação / ganga	(0,25)	<input type="checkbox"/>
de inverno	(0,28)	<input type="checkbox"/>
calções	(0,08)	<input type="checkbox"/>
macacão	(0,30)	<input type="checkbox"/>

**Saia**

de verão	(0,15)	<input type="checkbox"/>
de inverno	(0,25)	<input type="checkbox"/>

**Sapatos**

sola fina / ténis de pano	(0,02)	<input type="checkbox"/>
sola grossa / ténis desportivos	(0,04)	<input type="checkbox"/>
sandália / chinelo	(0,02)	<input type="checkbox"/>
bota	(0,10)	<input type="checkbox"/>

**Roupa interior**

camisola de alças	(0,04)	<input type="checkbox"/>
camisola de manga curta	(0,09)	<input type="checkbox"/>
camisola de manga comprida	(0,12)	<input type="checkbox"/>
cueca / slip	(0,03)	<input type="checkbox"/>
boxer	(0,04)	<input type="checkbox"/>
sutiã	(0,01)	<input type="checkbox"/>
combinação	(0,15)	<input type="checkbox"/>
ceroula	(0,10)	<input type="checkbox"/>

**Vestido**

de verão	(0,20)	<input type="checkbox"/>
de inverno	(0,40)	<input type="checkbox"/>

**Camisola / Pulóver**

de verão	(0,25)	<input type="checkbox"/>
de inverno	(0,36)	<input type="checkbox"/>
sem mangas	(0,22)	<input type="checkbox"/>
sweat-shirt	(0,30)	<input type="checkbox"/>

**Meias**

finas	(0,02)	<input type="checkbox"/>
grossas, pelo tornozelo	(0,05)	<input type="checkbox"/>
grossas, pelo joelho	(0,10)	<input type="checkbox"/>
de nylon	(0,03)	<input type="checkbox"/>
collants	(0,10)	<input type="checkbox"/>

**Blazer / Blusão**

de verão	(0,25)	<input type="checkbox"/>
de inverno	(0,35)	<input type="checkbox"/>
colete	(0,12)	<input type="checkbox"/>
casaco	(0,60)	<input type="checkbox"/>
parka	(0,70)	<input type="checkbox"/>

**Outras peças de roupa**

_____	<input type="checkbox"/>

Sensação de conforto térmico no espaço onde se encontra o ocupante (indique o que é mais apropriado)	Escala de sensação térmica
1. Muito quente	1. +3
2. Quente	2. +2
3. Ligeiramente quente	3. +1
4. Neutro (confortável)	4. 0
5. Ligeiramente frio	5. -1
6. Frio	6. -2
7. Muito frio	7. -3

Vire a página por favor.



Por favor, assinale nas escalas seguintes (colocando um cruz sobre a escala ) a posição que melhor representa a sua sensação de desconforto no local onde se encontra e no período em que foram executadas as medições experimentais.

Considerando apenas a iluminação, como descreve a sua sensação de desconforto?



Considerando apenas o nível de ruído, como descreve a sua sensação de desconforto?



Considerando apenas a qualidade do ar, como descreve o ambiente e a sua sensação de desconforto?

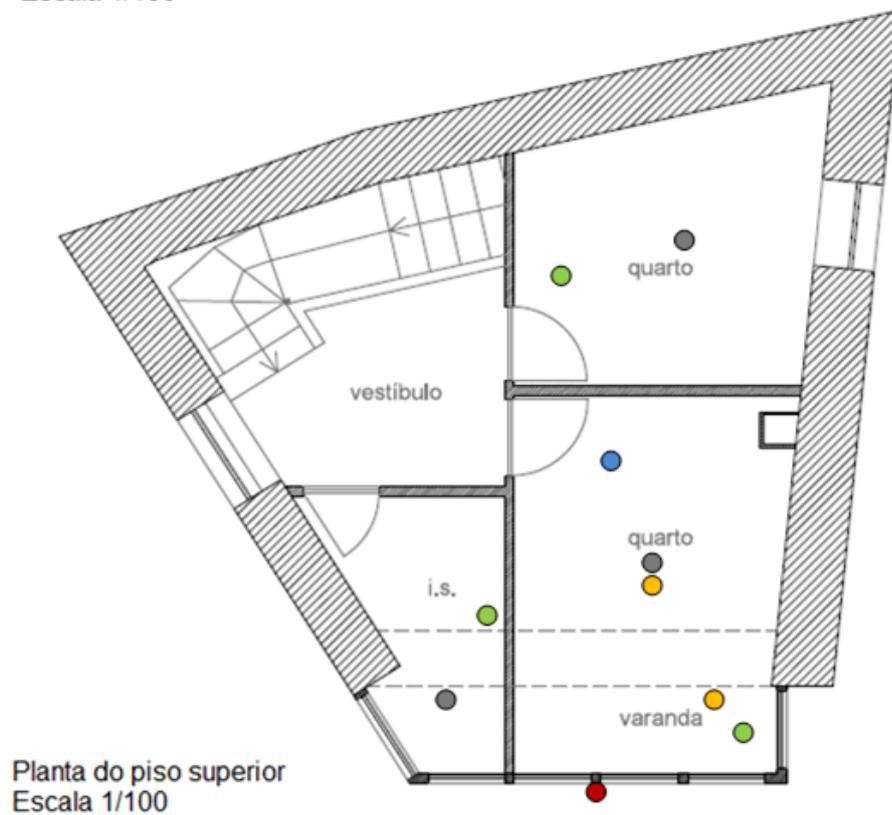
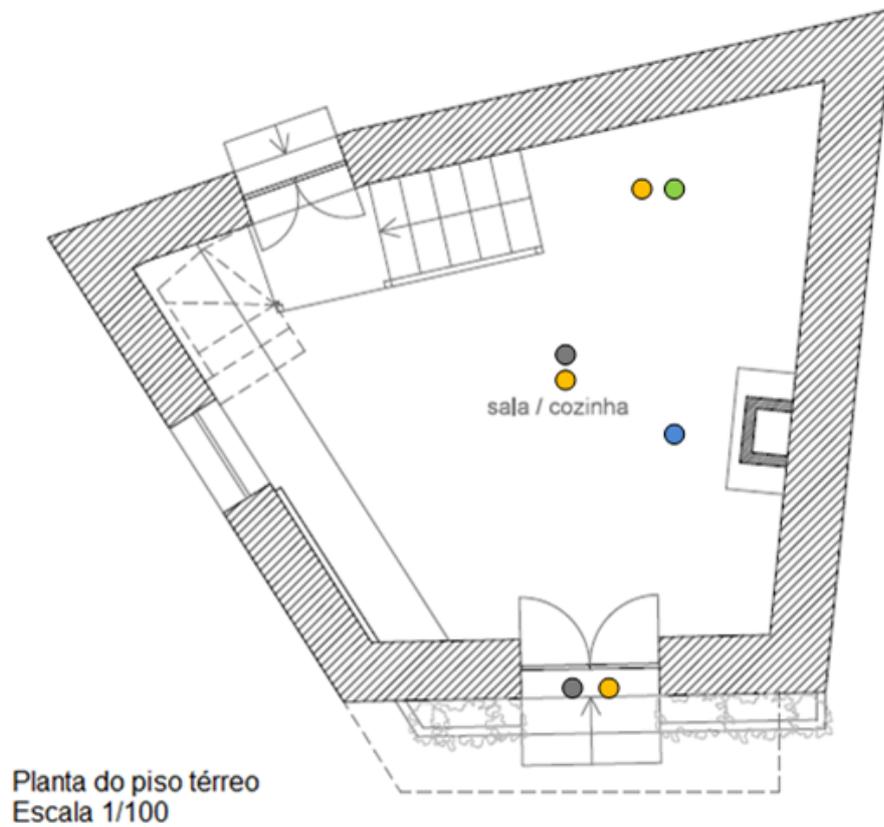


Considerando os parâmetros de conforto avaliados nas respostas anteriores, indique como classifica a sua sensação de desconforto global.



Agradecemos o tempo despendido no preenchimento deste inquérito.

## ANEXO II – DISPOSIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS NO EDIFÍCIO



**Legenda:**

- Registador e sensores de humidade e temperatura
- Testostors (exterior)
- Estação de conforto
- Foto-radiómetro
- Sonda de avaliação da qualidade do ar



### ANEXO III – PERFIL DE UTILIZAÇÃO DA VARANDA ENVIDRAÇADA

Perfil de utilização do edifício				
Data	Uso equipamento de aquecimento? (Qual? Entre que horas?)	Uso equipamento de arrefecimento (Qual? Entre que horas?)	Ventilação natural (ex.abertura de portas ou janelas)(Em que divisão? Entre que horas?)	Sombreamento (Em que divisão? Entre que horas?)
ex: 5 Janeiro 2014	ex: lareira. Das 20h às 23h	ex: Ventoinha. Das 21h às 22h	ex: Quarto. Das 20h às 22h	ex: Cortinas - varanda. Todo o dia.
6 agosto 2014			Abertura das janelas do quarto em direção ao WC e cozinha, das 19h às 20h. Não...	Cortina do quarto Telas Abertura da varanda/ varanda em direção ao 16.45 às 19.50 e fecho às 23.50
7 agosto 2014				Abertura da cozinha/ varanda às 9H00 // fecho às 17H00 (Z) Abertura da cozinha/ varanda às 20H45 fecho às 23H00
8 agosto 2014				Abertura cozinha Novembro 8H30 fecho 11H00 Abertura " " 16.30 até 23H00
9 agosto 2014				Abertura de cozinha/ quarto das 9H00h fecho das 20H00 às 24H00
10 agosto 2014				Abertura da cozinha/ varanda das 9H00h às 19.15
11 agosto 2014			Abertura da cozinha e abertura do quarto em direção ao WC das 22H00	Abertura de cozinha/ varanda das 10H15 às 15.00
12 agosto 2014				Abertura de cozinha/ varanda das 9.30 h às 14.55
13 agosto 2014				Abertura de cozinha/ varanda das 9H 15h às 14H 10
14 agosto 2014				Abertura de cozinha/ varanda das 9H30h às 15H00
15 agosto 2014				Abertura de cozinha/ varanda das 9.40 in 19H00
16 agosto 2014				Abertura de cozinha/ varanda das 7.15h às 15H15
17 agosto 2014				Abertura de cozinha/ varanda das 9H30h às 14.10 " " " " das 20H00h às 23H00
18 agosto 2014				Abertura de cozinha/ varanda das 8H15h às 11H05 " " " " das 19H15h às 23H15

Perfil de utilização do edifício

Data	Usou equipamento de aquecimento? (Qual? Entre que horas?)	Usou equipamento de arrefecimento (Qual? Entre que horas?)	Ventilação natural (ex: abertura de portas ou janelas) (Em que divisão? Entre que horas?)	Sombreamento (Em que divisão? Entre que horas?)
ex: 5 Janeiro 2014	ex: lareira. Das 20h às 23h	ex: Ventoinha. Das 21h às 22h	ex: Quarto. Das 20h às 22h	ex: Cortinas - varanda. Todo o dia.
19 agosto 2014				Curtina/varanda, fechada
20 agosto 2014				Tela o dia.
21 agosto 2014				Abertura de cortina/varanda das 8h30 às 14h30
22 agosto 2014				Abertura de cortina/varanda das 7h30 às 15h30
23 agosto 2014				Abertura de cortina/varanda das 10h00 às 14h15
24 agosto 2014				Abertura de cortina/varanda das 10h20 às 14h20
25 agosto 2014				Abertura de cortina/varanda das 9h30 às 14h
26 agosto 2014				Abertura de cortina/varanda das 8h15 às 13h30
27 agosto 2014				Abertura de cortina/varanda das 9h30 às 13h30
28 agosto 2014				Abertura de cortina/varanda das 8h50 às 10h50
29 agosto 2014				Abertura de cortina/varanda das 8h40 às 10h30
30 agosto 2014	fim da obra	fim da obra	fechada das janelas e portas	Abertura de cortina/varanda das 8h30 às 10h45

## ANEXO IV – RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO INTERIOR

Dados da estação de conforto: Sala/Cozinha								
Registo	Data/Hora	Ta ( C )	RH ( % )	Va ( m/s )	Tr ( C )	PMV	PPD ( % )	Sensação
1	05-06-2014 14:00	19,3	50,6	0	19,8	-2,47	93	Muito frio
2	05-06-2014 14:05	19,2	52,5	0	19,4	-2,55	94	Muito frio
3	05-06-2014 14:10	19,1	53,2	0	19,2	-2,60	95	Muito frio
4	05-06-2014 14:15	19,1	54,0	0	19,1	-2,61	95	Muito frio
5	05-06-2014 14:20	19,1	54,2	0	19,1	-2,61	95	Muito frio
6	05-06-2014 14:25	19,1	54,6	0	19,1	-2,61	95	Muito frio
7	05-06-2014 14:30	19,1	55,0	0,07	19,0	-2,62	96	Muito frio
8	05-06-2014 14:35	19,1	54,9	0	19,0	-2,62	96	Muito frio
9	05-06-2014 14:40	19,0	55,6	0,01	19,0	-2,64	96	Muito frio
10	05-06-2014 14:45	19,0	55,3	0	19,0	-2,64	96	Muito frio
11	05-06-2014 14:50	19,0	55,4	0	19,0	-2,64	96	Muito frio
12	05-06-2014 14:55	19,1	55,7	0,01	19,1	-2,60	95	Muito frio
13	05-06-2014 15:00	19,2	55,0	0	19,0	-2,60	95	Muito frio
14	05-06-2014 15:05	19,2	56,0	0	19,1	-2,57	95	Muito frio

Nota: atividade metabólica = 1met e resistência da roupa = 0,5clo

Estatística	Ta ( C )	RH ( % )	Va ( m/s )	Tr ( C )	PMV	PPD ( % )
Valor Máximo	19,3	56	0,07	19,8	-2,47	96
Valor Mínimo	19,0	50,6	0	19,0	-2,64	93
Valor Médio	19,1	54,4	0,006	19,1	-2,60	95,1

Dados da estação de conforto: Quarto/Varanda								
Registo	Data/Hora	Ta ( C )	RH ( % )	Va ( m/s )	Tr ( C )	PMV	PPD ( % )	Sensação
1	05-06-2014 15:10	21,8	49,3	0,04	19,1	-2,03	78	Muito frio
2	05-06-2014 14:15	22,4	46,5	0	21,7	-1,50	51	Frio
3	05-06-2014 15:20	22,5	45,0	0,01	22,3	-1,39	45	Frio
4	05-06-2014 15:25	22,7	44,5	0,02	22,7	-1,28	39	Frio
5	05-06-2014 15:30	22,9	44,9	0	22,9	-1,20	35	Frio
6	05-06-2014 15:35	23,0	44,5	0	23,1	-1,15	33	Frio
7	05-06-2014 15:40	23,3	44,8	0,01	23,1	-1,09	30	Frio
8	05-06-2014 15:45	23,6	45,0	0	23,4	-0,97	25	Frio
9	05-06-2014 15:50	23,5	43,9	0	23,6	-0,97	25	Frio
10	05-06-2014 15:55	23,5	41,0	0,19	24,5	-1,29	40	Frio
11	05-06-2014 16:00	23,9	38,3	0,03	23,7	-0,91	22	Ligeiramente frio
12	05-06-2014 16:05	24,1	37,6	0,06	23,6	-0,89	22	Ligeiramente frio

Nota: atividade metabólica = 1met e resistência da roupa = 0,5clo

Estatística	Ta ( C )	RH ( % )	Va ( m/s )	Tr ( C )	PMV	PPD ( % )
Valor Máximo	24,1	49,3	0,19	24,5	-0,89	78
Valor Mínimo	21,8	37,6	0	19,1	-2,03	22
Valor Médio	23,1	43,8	0,03	22,8	-1,22	37,1