



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Estudo das Condições Higrotérmicas do Museu da Ciência da Universidade de Coimbra

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Ambiente na Especialidade de Tecnologias e Gestão do Ambiente

Study of the hygrothermal conditions of the Museum of Science of the University of Coimbra

Autor

António Pedro Santos Costa

Orientadores

Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar

Doutora Luísa Maria Dias Pereira

Júri

Presidente Professor Doutor José Joaquim da Costa
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Vogais Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar
Professor da Universidade de Coimbra

Mestre Gilberto Gonçalves Pereira
Conservador do Museu da Ciência da Universidade de Coimbra

Coimbra, Setembro, 2017

Agradecimentos

Gostaria de expressar o meu agradecimento a todos os que contribuíram para a realização desta dissertação.

Aos meus orientadores, Professor Doutor Adélio Rodrigues Gaspar e Doutora Luísa Dias Pereira, por toda a dedicação, apoio e disponibilidade patenteadas, pelo desafio complexo que me colocaram na realização deste trabalho e pela confiança, estímulo e exigência que impuseram até à sua conclusão.

Ao Mestre Gilberto Gonçalves Pereira agradeço a disponibilidade, toda a informação cedida e interesse demonstrado nas várias visitas ao Museu da Ciência da Universidade de Coimbra.

À minha família, especialmente aos meus pais e à minha irmã, um enorme obrigado por sempre acreditarem em mim, pelo apoio incondicional durante a elaboração desta dissertação e, sobretudo, ao longo da minha vida, pelo constante incentivo e por estarem sempre presentes.

A todos os meus amigos que me vieram a incentivar ao longo deste percurso, fazendo-me sempre acreditar nas minhas capacidades e estando sempre disponíveis para momentos de companheirismo e enriquecimento pessoal.

RESUMO

O Museu da Ciência da Universidade de Coimbra (MCUC) está inserido num edifício construído em meados do século XVI. Sendo um edifício antigo, desprovido de sistemas de climatização, apresenta um microclima específico que nem sempre é o ideal para uma adequada preservação dos acervos presentes. Deste modo, um controlo efetivo das condições higrotérmicas (valores de humidade relativa e temperatura) no museu revela-se de extrema importância. É neste contexto que se enquadra a presente dissertação, tendo como principal objetivo a análise e avaliação das condições higrotérmicas em dez espaços do MCUC, assim como o estudo relativo à concentração de dióxido de carbono presente num espaço.

De forma a avaliar o desempenho higrotérmico que o museu apresenta para a preservação do seu acervo, ao longo de um período de monitorização de aproximadamente seis meses, procedeu-se à recolha e subsequente tratamento de dados de humidade relativa, temperatura e dióxido de carbono, através, respetivamente, de sensores higrotérmicos e ferramentas informáticas. Esta avaliação foi feita com base em metodologias de três normas: EN 15757:2010, UNI 10829:1999 e ASHRAE:2015.

Observou-se pelos resultados obtidos que o museu apresenta um clima muito instável, sendo influenciado pelas solicitações exteriores. Como consequência, os limites impostos pelas diferentes normas, de uma forma geral, não são cumpridos, sendo este, à partida, um fator prejudicial para a conservação do acervo museológico. Neste sentido, foram apresentadas algumas sugestões metodológicas que podem ser aplicadas com o objetivo de melhorar as atuais condições de preservação e conservação.

Palavras-chave: Ambiente interior em Museus, condições higrotérmicas, conservação coleções.

ABSTRACT

The Museum of Science of the University of Coimbra (MCUC) is housed in a building built in the mid-16th century. Being an old building that does not have air conditioning systems, it presents a specific microclimate that is not always the ideal for an adequate preservation of the present collections. In this way, an effective control of the hygrothermal conditions (values of relative humidity and temperature) in the museum proves to be of extreme importance. It is in this context that the present dissertation is framed, having as main objective the analysis and evaluation of the hygrothermal conditions in ten rooms of the MCUC, as well as the study concerning the concentration of carbon dioxide present in one room.

In order to evaluate the hygrothermal performance of the museum for the preservation of its collection during a monitoring period of approximately six months, data were collected and subsequently processed for relative humidity, temperature and carbon dioxide. This evaluation was based on methodologies of three standards: EN 15757:2010, UNI 10829:1999 and ASHRAE:2015.

It was observed from the results obtained that the museum presents a very unstable climate, being influenced by external requests. As a consequence, the limits imposed by the different standards, in a general way, are not fulfilled, being this, a negative factor for the conservation of the museum collection. In this sense, some methodological suggestions have been presented that can be applied in order to improve the current conditions of preservation and conservation.

Keywords: Museums indoor environment, hygrothermal conditions, collections conservation

Índice

Resumo	ii
Abstract.....	iii
Índice de Figuras	v
Índice de Tabelas	vii
Siglas	viii
1. Introdução.....	1
2. Estado da Arte	3
2.1. Parâmetros ambientais relevantes em Museus.....	3
2.1.1. Humidade e Temperatura	3
2.1.2. Concentração de Dióxido de Carbono.....	4
2.1.3. Radiação	5
2.2. Normas e documentação técnica referentes à conservação de acervos museológicos	6
2.2.1. EN 15757 (2010)	6
2.2.2. UNI 10829 (1999)	7
2.2.3. Documentação técnica da ASHRAE (2015)	8
2.3. Reflexão sobre as condições higrotérmicas adequadas para espaços museológicos..	9
3. Caso de estudo e metodologias de análise.....	12
3.1. Descrição geral do MCUC.....	12
3.2. Espaços monitorizados	14
3.3. Metodologias e materiais de análise	16
4. Resultados e Discussão.....	20
4.1. Definição de valores higrotérmicos representativos do MCUC	20
4.2. Dados representativos de pontos críticos.....	26
4.3. Comparação de resultados entre sala HN2 e HN7.....	32
4.4. Comparação de resultados considerando a variação de altura.....	38
4.5. Condições de preservação de animais embalsamados	39
4.6. Concentração de Dióxido de Carbono	41
5. Conclusão	42
6. Referências Bibliográficas.....	44
ANEXO A – UNI 10829:1999 – Tabela Síntese.....	46
ANEXO B – ASHRAE:2015 – Tabela Síntese	48
ANEXO C – Características higrotérmicas gerais	49
ANEXO D – ASHRAE: 2015 – Análise Global	50
ANEXO E – UNI 10829:1999 – Tabela Geral.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 – Fachada principal do Museu da Ciência da Universidade de Coimbra	12
Figura 3.2 - Sala Vandelli.....	14
Figura 3.3 - Planta do museu com localização das salas	15
Figura 3.4 – a) Hobo UX100-003 colocado dentro de uma vitrine; b) Hobo MX 1102 Data Logger	16
Figura 3.5 - Localização dos sensores no interior do MCUC	17
Figura 3.6 - Performance Index – Índice de Desempenho	19
Figura 4.1 - Registos de temperatura, relativos ao período de monitorização, obtidos na EM do LAI e na sala HN 6.....	21
Figura 4.2 - Registos de humidade relativa, relativos ao período de monitorização, obtidos na EM do LAI e na sala HN 6	21
Figura 4.3 - Aplicação da metodologia EN 15757 nos dados recolhidos do sensor DEM 24 : a) Ciclos Sazonais; b) Flutuações de curta duração; c) Limites sustentáveis	23
Figura 4.4 - Desempenho do clima interior da sala HN 6	24
Figura 4.5 - Distribuição (%) dos dados recolhidos pelos intervalos impostos pela categoria B na sala HN6 : a) Análise global ; b) Análise sazonal	25
Figura 4.6 - Variações diárias de temperatura e humidade relativa e respetivos limites na sala HN6.....	26
Figura 4.7 - Registos de temperatura, relativos ao período de monitorização, obtidos na EM do LAI e na sala SM1	27
Figura 4.8 - Registos de humidade relativa, relativos ao período de monitorização, obtidos na EM do LAI e na sala SM1	27
Figura 4.9 - Aplicação da metodologia EN 15757:2010 nos dados recolhidos do sensor DEM 27 : a) Ciclos Sazonais; b) Flutuações de curta duração; c) Limites sustentáveis.....	29
Figura 4.10 - Desempenho do clima interior da sala SM1	30
Figura 4.11 - Distribuição (%) dos dados recolhidos pelos intervalos impostos pela categoria B na sala SM1 : a) Análise global ; b) Análise sazonal.....	31
Figura 4.12 - Variações diárias de temperatura e humidade relativa e respetivos limites na sala SM1	32
Figura 4.13 - Registos de temperatura, relativos ao período de monitorização, obtidos na EM do LAI e nas salas HN2 e HN7	33
Figura 4.14 - Registos de humidade relativa, relativos ao período de monitorização, obtidos na EM do LAI e nas salas HN2 e HN7	33

Figura 4.15 - Aplicação da metodologia EN 15757:2010 nos dados recolhidos do sensor DEM 17 (esquerda) e DEM 25 (direita) : a) Limites sustentáveis de temperatura ; b) Limites sustentáveis de humidade relativa.....	34
Figura 4.16 - Desempenho do clima interior da sala HN2	35
Figura 4.17 - Desempenho do clima interior da sala HN7.	35
Figura 4.18 - Distribuição (%) dos dados recolhidos pelos intervalos impostos pela categoria B nas salas HN2 e HN7 : a) Análise sazonal ; b) Análise global	37
Figura 4.19- Variações diárias de temperatura e humidade relativa e respetivos limites nas salas HN2 e HN7.....	38
Figura 4.20 - Desempenho do clima interior da sala HN5 segundo os limites estabelecidos para este estudo.	40
Figura 4.21 - Desempenho do clima interior da sala HN5 segundo os limites estabelecidos pela UNI 10829:1999 para coleções de animais embalsamados.....	40
Figura 4.22 - Concentrações de CO2 registadas na sala HN2.....	41

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Agentes e tipos de deterioração	4
Tabela 2.2 – Limites máximos recomendados de iluminação e radiação UV consoante o tipo de material e respetiva sensibilidade.....	5
Tabela 2.3 - Especificações estabelecidas pela EN 15757:2010.....	7
Tabela 2.4 - Intervalos adequados de temperatura e humidade relativa para alguns dos materiais presentes no museu , segundo a norma UNI 10829:1999	8
Tabela 2.5 - Temperatura e humidade relativa especificadas pela ASHRAE:2015	9
Tabela 2.6 - Requisitos higrotérmicos sugeridos	11
Tabela 3.1 - Características das salas em estudo	15
Tabela 3.2- Localização e designação atribuída aos aparelhos utilizados.....	17
Tabela 3.3 - Períodos Sazonais.....	18
Tabela 4.1- Valores gerais de temperatura e humidade relativa registados na sala HN6 e no exterior, de 4 Janeiro a 28 Junho	21
Tabela 4.2 - Valores gerais de temperatura e humidade relativa registados na sala SM1 e no exterior, de 4 Janeiro a 28 Junho	27
Tabela 4.3 - Valores gerais de temperatura e humidade relativa registados na sala HN2, HN7 e no exterior, de 4 Janeiro a 28 Junho	33
Tabela 4.4 - Distribuição (%) dos dados recolhidos pelos intervalos sugeridos pela EN 15757:2010 e UNI 10829:1999 nos sensores DEM 20 e DEM 21.	39
Tabela 4.5 - Distribuição (%) dos dados recolhidos pelos intervalos impostos pela categoria B nos sensores DEM 20 e DEM 21.....	39

Siglas

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

CEN – European Committee for Standardization

CTI – Comitato Termotecnico Italiano

EM – Estação Meteorológica

LAI - Laboratório de Aerodinâmica Industrial

MCUC – Museu da Ciência da Universidade de Coimbra

PI – Performance Index

QAI – Qualidade do Ar Interior

UC – Universidade de Coimbra

UNESCO – United Nations Educational Scientific and Cultural Organization

1. Introdução

Ao longo dos últimos anos, as preocupações com as condições higrotérmicas em museus têm vindo a aumentar e a ser progressivamente mais exigentes. Estas decorrem do objetivo de melhorar o desempenho energético dos edifícios, de forma a garantir uma longa e adequada preservação dos acervos museológicos, podendo as gerações futuras usufruir assim, nas melhores condições possíveis, da autenticidade e riqueza cultural que os acervos exibem. No entanto, esta tarefa não é de todo linear nem de fácil concretização.

Os diferentes processos de degradação de materiais estão relacionados, direta ou indiretamente, com o ambiente em que se encontram. A construção do edifício, as condições ambientais exteriores, a tipologia das coleções, entre outros, são fatores que têm influência na conservação dos acervos museológicos e que são necessários ter em conta no estabelecimento de parâmetros higrotérmicos propícios para essa conservação.

O Museu da Ciência da Universidade de Coimbra (MCUC) foi o primeiro museu universitário português a ser criado. Alberga no seu interior um diverso conjunto de coleções científicas de enorme relevância histórico-cultural, algumas delas de extrema raridade. Localizado na Alta da cidade de Coimbra, esta tornou-se património mundial em 2013, pela *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* (UNESCO), circunstância que incrementou fortemente o número de visitantes de toda esta zona histórica, incluindo o próprio museu. Face à nova realidade resultante dos fatores descritos acima, medidas de conservação e manutenção do acervo museológico devem ser tomadas.

Sendo assim, o principal objetivo desta dissertação passa por avaliar se as atuais condições ambientais no interior do MCUC são as adequadas para a conservação do seu espólio.

Como referido anteriormente, a obtenção de um ambiente propício à conservação do acervo presente não é linear e depende de vários fatores. Como tal, procedeu-se à caracterização detalhada das coleções existentes, dos fatores e dos processos que levam à degradação dos materiais que as constituem. Nesse sentido, no Capítulo 2 desta dissertação procurou-se identificar e discutir as recomendações para as condições ambientais interiores de museus.

Seguidamente, aprofundou-se o conhecimento do espaço físico do caso de estudo. Esta descrição, as metodologias adotadas e materiais de análise utilizados são apresentados no Capítulo 3.

No Capítulo 4 são apresentados e discutidos os resultados obtidos. Este último é preponderante de forma a apresentar no Capítulo 5 a conclusão, soluções ou medidas metodológicas com o objetivo de melhorar as condições ambientais no interior do museu, garantindo a preservação do seu acervo.

2. Estado da Arte

Neste capítulo apresentam-se os parâmetros ambientais que têm impacto na conservação de acervos museológicos, de modo a avaliar a sua influência na degradação dos materiais constituintes das coleções existentes no MCUC. Define-se ainda a gama de valores desses parâmetros que se considera aceitável para uma ótima conservação do espólio.

2.1. Parâmetros ambientais relevantes em Museus

2.1.1. Humidade e Temperatura

Na perspetiva de análise higrotérmica, o ar atmosférico comporta-se como uma mistura de gases e vapor de água que formam a atmosfera. O vapor de água pode variar no ar entre 0 (ar seco) até a um valor máximo denominado de ponto de saturação (100%). Este valor máximo está diretamente relacionado a fatores como a pressão e a temperatura: a uma pressão constante, um aumento da temperatura leva a que o ar contenha uma maior quantidade de vapor de água sem que ocorra condensação. Atinge-se o valor máximo quando o ar não pode conter mais vapor de água a uma certa temperatura, designando-se assim por ar saturado [1].

A quantidade de vapor de água existente no ar atmosférica pode ser traduzida pelo conceito de humidade relativa, definindo-se como a relação entre a quantidade de vapor de água que o ar contém (humidade absoluta) e a quantidade máxima de vapor que esse ar pode conter (ponto de saturação), à mesma temperatura. A humidade relativa (HR) e temperatura (T) são inversamente relacionados, pois valores elevados de HR correspondem, normalmente, a reduzidos valores de T e vice-versa.

No que respeita aos diferentes objetos que constituem os acervos museológicos, os parâmetros ambientais T (expressa em °C) e HR (expressa em %) apresentam-se como dois dos principais agentes da sua degradação. Quando sujeitos às mesmas solicitações higrotérmicas, os materiais podem sofrer danos irreversíveis, pois apresentam comportamentos diferentes: há materiais que se comportam bem quando expostos, por exemplo, a humidades muito elevadas, há outros que, quando a humidade

relativa e conseqüentemente o teor de humidade diminuem, contraem-se e deformam-se. A par deste tipo de deterioração dimensional, ainda se verificam outros tipos como reações químicas (a velocidade de degradação através de uma reação química pode duplicar com um aumento de 10°C) e biodeterioração [2] [3].

Na tabela 2.1 estabelece-se uma relação entre as causas e as deteriorações provocadas pela temperatura e humidade relativa.

Tabela 2.1 – Agentes e tipos de deterioração (adaptado de [2])

Agente de degradação		Deterioração	Causas
Temperatura (T°C)	Valores elevados; Valores baixos	Aumento da deterioração; Diminuição da capacidade resistente	✓ Mudança do tempo/clima ✓ Iluminação
	Flutuações Bruscas	Fraturas; Dobras; Deformações	✓ Insuficiente isolamento do edifício
Humidade Relativa (HR%)	Valores elevados; Valores baixos	Bolores; Corrosão (valores elevados); Diminuição da capacidade resistente (valores baixos)	✓ Mudança do tempo/clima ✓ Humidade de condensação, de infiltração e ascensional
	Flutuações Bruscas	Fraturas; Dobras; Deformações	✓ Limpeza ✓ Ventilação Insuficiente

2.1.2. Concentração de Dióxido de Carbono

As atividades inerentes à utilização corrente dos edifícios, em particular dos museus, produzem substâncias poluentes cuja remoção é necessária para a existência de um ambiente adequado à permanência das suas coleções e dos seus utilizadores [2]. Exemplo dessas substâncias é o dióxido carbono, gás incolor e inodoro presente na atmosfera terrestre.

O CO₂ originado, de entre outras formas, pela atividade humana assume-se como um bom indicador da necessidade de renovação do ar no interior de edifícios, pois associado à presença deste composto poderá resultar na origem de outros tipos de substâncias com impacto direto na qualidade do ar interior (QAI), tais como partículas em suspensão ou compostos orgânicos voláteis.

Com base na relação entre a concentração de CO₂ e a quantidade de ar exterior que é necessária insuflar para garantir a QAI de um espaço, foi estabelecido em Portugal, pelo *Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços*, que

existindo um sistema de ventilação mecânico, “o caudal mínimo de ar novo será aquele para o qual se verifique que a concentração média de CO₂ é inferior aos limiares de proteção para aquele parâmetro no ar interior [1250 ppm], durante o período de ocupação” [4].

2.1.3. Radiação

As diferentes fontes de luz (natural, fluorescente, incandescente, etc) emitem radiações em proporções variáveis, na gama do espectro eletromagnético. Radiações como a ultravioleta (UV) - mais energéticas - ou infravermelha (IV) - responsáveis pela transmissão de calor - provocam danos irreversíveis em objetos museológicos, pois podem desencadear e acelerar reações fotoquímicas que contribuem para a sua degradação [3].

Ao longo do tempo foram desenvolvidos estudos que permitiram estabelecer limites máximos recomendados de iluminação (lúmen/m²) e de radiação UV (μW/lúmen) para diferentes materiais (Tabela 2.2), considerando uma exposição diária de 7 horas.

Tabela 2.2 – Limites máximos recomendados de iluminação e radiação UV consoante o tipo de material e respetiva sensibilidade (adaptado de [3])

Sensibilidade	Materiais	Lux (lm/m ²)	UV (μW/lm)
Alta	Têxteis, aguarelas, guaches, obras em papel, pergaminhos, couro pintado, coleções etnográficas e de história culturas	< 50	< 30
Moderada	Pinturas a óleo e têmpera, mobiliário, osso, marfim, fotografia a preto e branco	< 200	< 75
Reduzida	Metais, pedra, cerâmica, vidro	< 300	< 75

De forma a respeitar os limites acima referidos, é aconselhável a colocação de películas UV, filtrando o mais possível as radiações, e de lâmpadas LED, onde as emissões UV e IV são muitíssimo baixas.

2.2. Normas e documentação técnica referentes à conservação de acervos museológicos

2.2.1. EN 15757 (2010)

Em 2010 foi publicada pelo *Comité Européen de Normalização* (CEN) a norma técnica EN 15757 intitulada *Conservation of Cultural Property – Specifications for temperature and relative humidity to limit climate – induced mechanical damage in organic hygroscopic materials* [5]. Esta norma, ao contrário de outras, não estabelece valores concretos e universais de temperatura e humidade relativa para a conservação, optando por uma metodologia dinâmica de intervalos mais flexíveis adaptados a cada clima. Tem como base o conceito de aclimatização, em que um determinado material higroscópico, quando exposto, durante um longo período (mais de um ano), a condições de temperatura e humidade relativa que não são as ideais para a sua conservação, tem tendência para se adaptar e alcançar um novo equilíbrio, sofrendo deformações irreversíveis durante o processo. O material ao adaptar-se não deve ser exposto a uma nova alteração, sob risco de perda total [5] [6].

A metodologia associada a esta norma está centrada na variação da temperatura e humidade relativa e na definição de bandas de valores que são calculadas com base na média móvel sazonal e nas diferenças entre os dados registados e a média móvel sazonal. A banda que permite obter os limites sustentáveis de temperatura e humidade relativa é obtida pela adição do 7º e 93º percentis das flutuações de curta duração ao ciclo sazonal correspondente. Na tabela seguinte é possível observar as especificações estabelecidas pela EN 15757:2010.

Tabela 2.3 - Especificações estabelecidas pela EN 15757:2010 (adaptado de [7]).

Valor ideal	Ciclos sazonais	Flutuações de curta duração	Observações
T: sem especificação HR: média anual	Ciclos sazonais históricos ⁽¹⁾	T: intervalo alvo calculado a partir do clima histórico ⁽²⁾ HR: $\pm 10\%$ ou intervalo alvo calculado a partir do clima histórico ⁽²⁾	⁽¹⁾ Este ciclo é obtido pelo cálculo para cada leitura de temperatura e humidade relativa, da média móvel com leituras de 15 dias antes e após o momento em que a média é calculada (média móvel a 30 dias, centrada no valor desejado). ⁽²⁾ Os limites superiores e inferiores do intervalo de T e HR são determinados com 7º e 93º percentis das variações registadas durante o período de monitorização As flutuações de curta duração que são calculadas a partir da média móvel correspondem à diferença entre o valor registado e o valor da média móvel

2.2.2. UNI 10829 (1999)

A norma italiana UNI 10829 – *Beni di interesse storico e artistico – Condizioni ambientali di conservazione – Misurazione ed analisi* foi publicada em 1999 pelo *Comité Termotécnico Italiano* (CTI) [8]. Esta norma tem como objetivo a conservação de acervos situados especificamente em museus. Tem uma abordagem bastante prática, pelo que define de maneira clara e inequívoca o que medir, como realizar as medições, técnicas específicas de instrumentação, modo de tratamento de dados e também indicadores de desvio [9]. Considera parâmetros higrotérmicos, de iluminação e quantidade de radiação ultravioleta para 34 categorias diferentes de materiais e objetos que constituem o acervo (consultar Anexo A). Com base em estudos laboratoriais, a norma sugere os intervalos sustentáveis para esses parâmetros que se consideram aceitáveis para uma ótima conservação, resumindo-se os principais valores na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Intervalos adequados de temperatura e humidade relativa para alguns dos materiais presentes no museu , segundo a norma UNI 10829:1999 (adaptado de [8])

Material	T [°C]	HR [%]
Artefactos artísticos de papel, papel de seda e de parede	18 – 22	40 – 55
Tecidos, tapeçarias, sedas	19 – 24	30 – 50
Herbários e coleções	21 – 23	45 – 55
Coleções entomológicas	19 – 24	40 – 60
Animais conservados em formaldeído	15 – 25	Não relevante
Peles, penas, animais e pássaros embalsamados	4 – 10	30 – 50
Desenhos, aguarelas, pasteis sobre pergaminho	19 – 24	45 – 60
Documentos de arquivo em papel, pergaminho, papiro e manuscritos	13 – 18	50 – 60
Coleções etnográficas, máscaras, couro	19 – 24	45 – 60
Pinturas a óleo sobre tela e pano	19 – 24	40 – 55
Materiais madeira	19 – 24	50 – 60
Marfins, chifres	19 – 24	40 – 60
Pedras, rochas, minerais	19 – 24	40 – 60
Lombadas de livros em pele ou pergaminho	19 – 24	45 – 55
Metais, ligas metálicas, objetos de cobre	Não relevante	<50

No tratamento de dados no contexto desta norma foi utilizada uma metodologia complementar desenvolvida por Corgnati *et al.* [10], que será alvo de explicação detalhada no subcapítulo 3.3.

2.2.3. Documentação técnica da ASHRAE (2015)

No manual de apoio a projetos de sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) criado pela *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) é dedicado um capítulo a museus, galerias, arquivos e bibliotecas.

Neste documento estão definidas várias classes climáticas com o objetivo de reduzir os riscos de degradação dos materiais constituintes do acervo museológico [11]. Essas classes (Tabela 2.5) apresentam diferentes especificações no que respeita a parâmetros de temperatura e humidade relativa, conforme o grau de exigência da conservação da coleção (consultar Anexo B). A classe AA é a mais exigente no controlo das condições higrotérmicas, apresentando um menor risco de deterioração, enquanto que a classe D se apresenta como a menos exigente e, portanto, com maior risco de deterioração associado.

Tabela 2.5 - Temperatura e humidade relativa especificadas pela ASHRAE:2015 (adaptado de [12])

Classe	Temperatura			Humidade		
	Valor Médio	Variação Diária	Variação Sazonal	Valor Médio	Variação Diária	Variação Sazonal
AA	Entre 15°C e 25°C	+/- 2°C	+/- 5°C	50%	+/- 5%	Sem variação
A1		+/- 2°C	+5°C / -10°C		+/- 5%	+/- 10%
A2		+/- 2°C	+5°C / -10°C		+/- 10%	Sem variação
B		+/- 5°C	T: +10°C; <30°C		+/- 10%	+/- 10%
C		Raramente > 30°C; Geralmente < 25°C			Entre 25% e 75 %	
D		Sem especificação			< 75%	

2.3. Reflexão sobre as condições higrotérmicas adequadas para espaços museológicos

A definição de valores higrotérmicos adequados em museus não é tarefa fácil. Ao longo do tempo, e apesar de existir um maior conhecimento face à quantidade de estudos já realizados, o paradigma de obtenção de valores adequados acabou por ser substituído por intervalos sustentáveis para a conservação. O cumprimento destes limites, embora dependente da coleção, é também influenciado pelas condições climáticas

exteriores e pelo próprio tipo de edifício. Neste caso concreto, a coleção, sendo constituída por diversos materiais requer condições higrotérmicas diferentes, tornando este processo dispendioso e complexo.

Pese embora o facto da coleção do MCUC ser de enorme relevância histórico-cultural e bastante diversificada, o edifício é desprovido de qualquer sistema de climatização tornando inexequível um controlo efetivo das condições higrotérmicas.

Numa situação hipotética e indo de encontro às normas consideradas neste trabalho, para uma adequada conservação do acervo, à partida, optar-se-ia por cumprir os limites impostos pela norma UNI 10829:1999 - relativa especificamente a museus – ou pela classe climática AA da ASHRAE:2015, por apresentar menores riscos de deterioração; no entanto isto não será aplicável pelos motivos referidos acima.

Tendo em conta que a definição de valores adequados de temperatura e humidade relativa constitui o principal objetivo deste trabalho e que este é o primeiro estudo alguma vez realizado no MCUC neste âmbito, recorre-se às metodologias e limites estabelecidos nas normas, de forma a avaliar as condições higrotérmicas interiores do museu, mas também como primeira abordagem à definição de intervalos sustentáveis que sirvam de base a um futuro trabalho a desenvolver nesta área.

Em conclusão, foram adotados os parâmetros ambientais de cada norma que se consideraram mais indicados para a conservação do presente acervo. Assim, optou-se por utilizar a classe B da ASHRAE:2015 e o estabelecimento de intervalos de temperatura e humidade relativa, de 19°C-24°C e 45%-55% respetivamente, no que diz respeito à norma italiana UNI 10829:1999. A escolha da classe B da ASHRAE:2015 - risco moderado de deterioração - é justificável por se tratar de um edifício antigo. Já os intervalos que se adotaram da norma italiana, são justificáveis pelo facto de não existirem sistemas de climatização no museu e por todas as salas serem comunicantes entre si. Optou-se, portanto, pela maioria dos valores indicados na Tabela 2.4 presente na secção 2.2.2.

Na Tabela 2.6 apresenta-se uma síntese das recomendações sugeridas por estes dois documentos normativos.

Tabela 2.6 - Requisitos higrotérmicos sugeridos

Norma	Temperatura			Humidade		
	Valor Médio	Variação Diária	Variação Sazonal	Valor Médio	Variação Diária	Variação Sazonal
ASHRAE:2015 Classe B	15°C– 25°C	+/- 5°C	+ 10°C ; < 30 °C	50 %	+/- 10 %	
UNI 10829:1999	19°C – 24°C			45% - 55%		

O conceito de sazonalidade introduzido pela ASHRAE(2015) e utilizado neste trabalho está diretamente relacionado com os períodos entre recolhas de dados e respetivas estações do ano. A definição concreta deste ponto é apresentada no subcapítulo 3.3.

Relativamente à norma europeia EN 15757:2010, não existem valores limite ou intervalos estabelecidos, pelo que, a análise de dados recolhidos é apresentada, de acordo com a respetiva metodologia, no capítulo respeitante aos resultados.

3. Caso de estudo e metodologias de análise

3.1. Descrição geral do MCUC

De acordo com os registos históricos, a partir de meados do século XVI, a Universidade de Coimbra tornou-se, logo a seguir à Coroa, na instituição portuguesa que mais procurou enriquecer e promover a herança cultural, nos domínios artístico e científico. Ao longo das gerações, o seu património foi-se acumulando, dando origem a um acervo notável de testemunhos históricos e estéticos do passado que sobressai nos contextos nacional e internacional, nos mais variados domínios [13].

O Museu da Ciência da Universidade de Coimbra (MCUC), cuja fachada principal se apresenta na Figura 3.1, contribuiu significativamente para este reconhecimento.



Figura 3.1 – Fachada principal do Museu da Ciência da Universidade de Coimbra

O MCUC, inicialmente denominado por Gabinete de História Natural, teve origem no século XVIII onde foi enquadrado no plano de Obras de Reforma da

Universidade de Coimbra levada a cabo por Marquês de Pombal, entre 1773 e 1775. A par da criação do primeiro museu universitário português, foram também criadas novas instalações como as faculdades de Filosofia e Matemática, o Gabinete de Física, o Laboratório Chímico, o Observatório Astronómico, o Jardim Botânico, entre outras [14].

Este museu, localizado a nordeste da alta da Universidade de Coimbra, resultou da reconstrução do antigo Colégio de Jesus estabelecido em 1542 pela Companhia de Jesus. Com a extinção da mesma em 1759, a intervenção pombalina adaptou o colégio de modo a tornar-se num edifício universitário, passando a albergar equipamentos base para o ensino e investigação científica moderna em Portugal, destacando-se as coleções de física, história natural, astronomia e química [14].

O vasto espólio científico da UC, considerado o mais antigo e significativo do país, é constituído por cerca de 240 mil objetos e por mais de 2 mil obras em papel [15]. Grande parte desta coleção científica encontra-se no museu, incluindo peças de extrema raridade e importância. São exemplos disto, os objetos etnográficos recolhidos no Brasil, entre 1783 e 1792, por Alexandre Rodrigues Ferreira, ou a coleção de História Natural das antigas Colónias Portuguesas em África. Os objetos presentes no museu são muito variados e podem ser compostos por mais do que um tipo de material. Nele estão exibidos fósseis, insetos, rochas e minerais, esqueletos, animais embalsamados, pinturas, entre outros. Estes podem ser constituídos por diversos materiais, como madeira, marfim, penas, couro, papel, pedra, vidro, etc.

Alguns dos factos referidos anteriormente conferem ao MCUC uma enorme relevância para o património histórico e cultural português, motivo pelo qual se tem tornado uma atração turística de grande apetência. Esta tendência foi ainda mais reforçada após a classificação como Património Mundial da Humanidade, atribuída pela UNESCO em 2013 à zona histórica da Universidade de Coimbra [16].

O museu é visitável 7 dias por semana entre os meses de Junho e Setembro; nos restantes meses encontra-se fechado à segunda-feira.

3.2. Espaços monitorizados

O edifício é composto por dois pisos: Piso Inferior onde se encontra a entrada principal, e o Piso Superior onde está localizado o museu propriamente dito. É um edifício de grandes dimensões, com aproximadamente 10.000 m² de área e uma altura de 18 m.

Relativamente ao caso de estudo, foram monitorizados 10 espaços, nomeadamente: *Sala Dalla Bella*, *Sala Figueiredo Freire*, *Átrio*, *Sala Vandelli* (Figura 3.2), *Sala das Viagens*, *Sala do Mar*, *Sala África*, *Sala das Avestruzes*, *Sala Portugal* e a *Sala Paul Choffat*. Para uma melhor compreensão, foi adotada uma designação específica para cada uma delas (Tabela 3.1).



Figura 3.2 - Sala Vandelli

Os espaços estão todos diretamente englobados na envolvente exterior, à exceção da *Sala Paul Choffat* que, estando localizada mais interiormente, confina com um pátio interior a poente. Todos os espaços apresentam janelas, sendo que 5 deles estão orientados a Este, 4 a Norte e 3 a Oeste. De seguida, é apresentada uma planta e tabela representativas do museu e das principais características das salas monitorizadas (Figura 3.3 e Tabela 3.1).

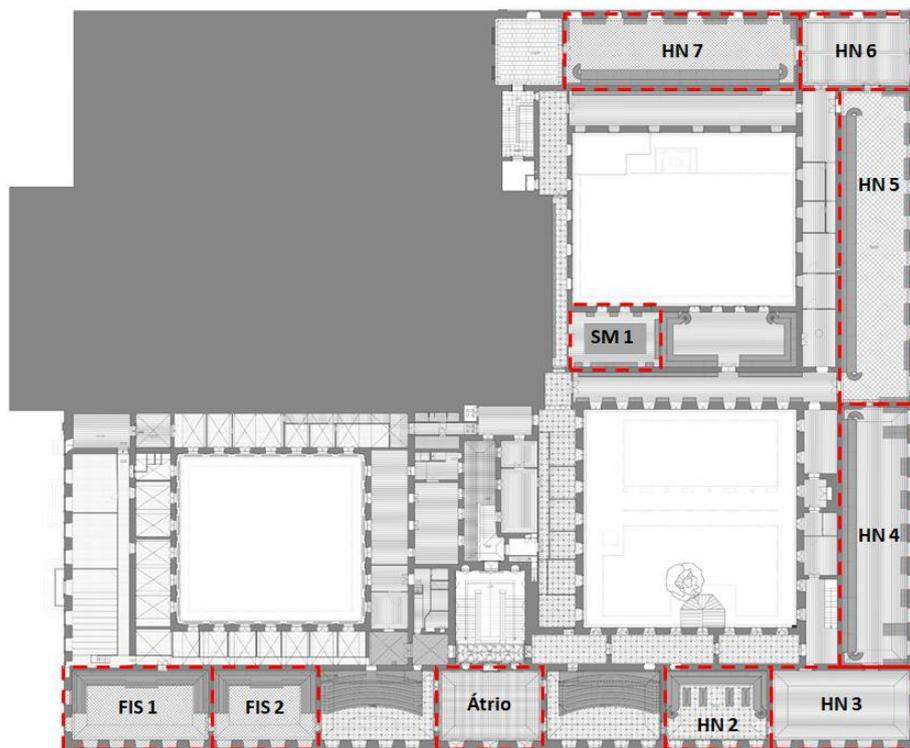


Figura 3.3 - Planta do museu com localização das salas

Tabela 3.1 - Características das salas em estudo

Sala	Designação	Área (m ²)	Volume (m ³)	Orientação	Nº Janelas
Dalla Bella	FIS 1	174	1307	Este	6
Figueiredo Freire	FIS 2	125	936	Este	4
Átrio	Átrio	119	893	Este	3
Vandelli	HN 2	119	908	Este	4
Viagens	HN 3	160	1065	Norte/Este	6
Mar	HN 4	287	2143	Norte	8
África	HN 5	358	2362	Norte	8
Avestruzes	HN 6	123	791	Norte/Oeste	5
Portugal	HN 7	264	1652	Oeste	6
Paul Choffat	SM 1	86	416	Oeste	2

3.3. Metodologias e materiais de análise

No âmbito desta dissertação foram realizadas monitorizações durante um período de aproximadamente 6 meses. Este teve início no dia 4 de Janeiro de 2017, tendo a última recolha de dados sido realizada no dia 28 de Junho do presente ano. Colocaram-se 17 dispositivos, distribuídos pelos 10 espaços, em locais inacessíveis aos visitantes. Todos os aparelhos foram definidos para iniciarem a monitorização no mesmo momento, sendo o intervalo de registo de 10 minutos. Realizaram-se 3 recolhas de dados em alturas distintas. A primeira recolha, durante o Inverno, foi efetuada no dia 17 de Fevereiro; a segunda correspondeu ao dia 27 de Abril; a terceira, já no Verão, no dia 28 de Junho.

Os dispositivos utilizados foram os seguintes: dezasseis *HOBO UX100-003* colocados nas 10 salas e, um *HOBO MX 1102* localizado na *Sala Vandelli* (HN2, pela designação adotada), tendo sido apenas colocado no dia 19 de Abril. O modelo *UX100-003* regista apenas valores de temperatura e humidade relativa, enquanto que o modelo *MX 1102*, para além desses dois parâmetros, também regista concentrações de CO₂.

a)



b)



Figura 3.4 – a) Hobo UX100-003 colocado dentro de uma vitrine; b) Hobo MX 1102 Data Logger

A monitorização de dados de CO₂ foi realizada em 2 períodos distintos (19 Abril a 7 Maio; 12 Julho a 17 Julho) e não totalmente coincidentes com os dos restantes aparelhos (nomeadamente no período de 12 a 17 de Julho), pois esteve dependente da disponibilidade do respetivo dispositivo de monitorização. À semelhança do anterior, os dados do aparelho DEM 14 localizado na sala FIS 2 também foram recolhidos em 2 períodos distintos; para além disto verificou-se que os resultados obtidos não foram coerentes, pelo que os mesmos foram descartados.

Tabela 3.2- Localização e designação atribuída aos aparelhos utilizados

Sala	Aparelhos	Designação Utilizada
FIS 1	1 UX100-003	DEM 12
FIS 2	2 UX100-003	DEM 13; DEM 14
Átrio	1 UX100-003	DEM 15
HN 2	2 UX100-003; 1 MX1102	DEM 16; DEM 17; DEM CO ₂
HN 3	2 UX100-003	DEM 18; DEM 19
HN 4	2 UX100-003	DEM 20; DEM 21
HN 5	2 UX100-003	DEM 22; DEM 23
HN 6	1 UX100-003	DEM 24
HN 7	2 UX100-003	DEM 25; DEM 26
SM 1	1 UX100-003	DEM 27



Figura 3.5 - Localização dos sensores no interior do MCUC

Atendendo a que não foram monitorizadas as condições climáticas exteriores, para este efeito, recorreu-se à informação disponibilizada pela estação meteorológica que pertence à Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial, localizada no Laboratório de Aerodinâmica Industrial (LAI), a menos de 3 km do MCUC [17].

Relativamente às metodologias utilizadas no tratamento de dados, é necessário esclarecer previamente um aspeto teórico para uma melhor compreensão da abordagem efetuada:

- O conceito de sazonalidade indicado na norma EN 15757:2010 e no documento técnico da ASHRAE:2015 é diferente. A primeira, tratando-se de uma metodologia dinâmica onde é, preferencialmente, realizada uma análise de dados recolhidos a longo prazo (tipicamente mais de um ano), considerou-se o período total de monitorização (6 meses) como aplicável ao tipo de análise efetuada sob esta norma. Relativamente à metodologia da ASHRAE:2015, apesar de também poder ser considerada como uma análise a nível anual, o conceito de sazonalidade ainda não se encontra bem definido, existindo assim diferentes abordagens ao seu significado. Aproveitando este facto, foram considerados como sazonais os períodos entre cada recolha de dados, tendo em conta a respetiva estação de ano em que se encontravam. Assim sendo, estabeleceram-se 3 períodos sazonais distintos: 1º - “Período Frio” onde se registaram temperaturas exteriores relativamente baixas; 2º - “Período de Transição” de baixas temperaturas para moderadamente altas e por fim considerou-se o “Período Quente” (3º), sendo o período onde se verificaram temperaturas exteriores mais elevadas durante os 6 meses de monitorização.

Tabela 3.3 - Períodos Sazonais

	Ciclos Sazonais		
ASHRAE:2015	Período Frio 4 Jan. – 17 Fev.	Período Transição 17 Fev. – 27 Abril	Período Quente 27 Abril – 28 Junho
EN 15757:2010	Total Período de Monitorização: 4 Janeiro – 28 Junho		

Como referido na secção 2.2.2 – UNI 10829:1999, a metodologia utilizada para o tratamento dos dados recolhidos, com base nesta norma, foi desenvolvida por Corgnati *et al.* [10]. Nesta são apenas considerados os parâmetros de temperatura e humidade, não tendo em conta os de iluminação e radiação ultravioleta.

De acordo com esta metodologia, para avaliar o cumprimento dos intervalos higrotérmicos recomendados, definiu-se um “Performance Index” (Índice de

Desempenho), que consiste em determinar a percentagem de tempo em que os parâmetros medidos se encontram dentro desse intervalo de referência. Para uma melhor compreensão, recorre-se a um gráfico (Figura 3.6) que combina a temperatura e a humidade relativa, no eixo das abcissas e ordenadas, respetivamente. Consoante o tipo de combinação, o clima interior irá situar-se num dos cenários apresentados na seguinte figura.

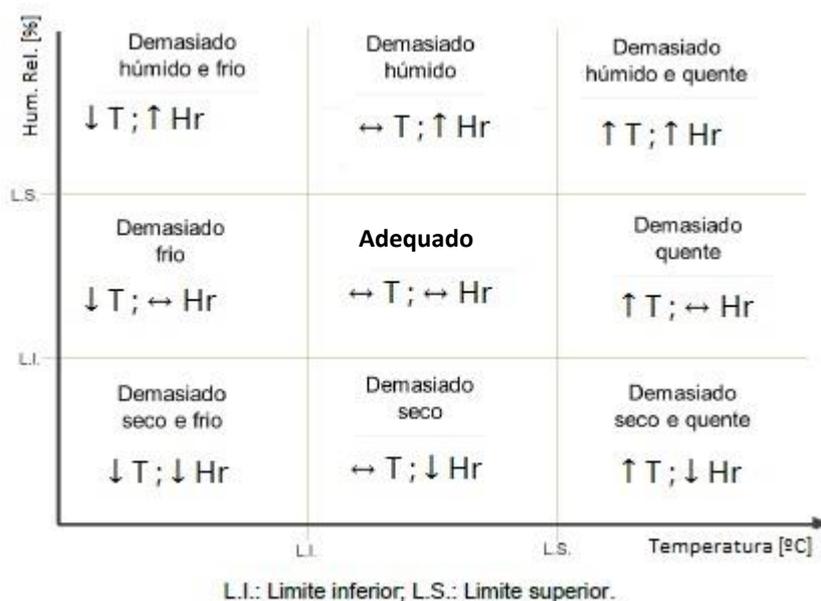


Figura 3.6 - *Performance Index* – Índice de Desempenho (adaptado de[18])

São cumpridos os requisitos caso a temperatura e humidade relativa estejam entre os valores mínimos e máximos exigidos (intervalo definido como “**Adequado**”). Por exemplo, se tanto os valores de temperatura como de humidade relativa superarem os limites superiores, então o clima é considerado “Demasiado húmido e quente” [7].

4. Resultados e Discussão

No presente capítulo apresentam-se e analisam-se os dados obtidos durante o período de monitorização, abordando os diferentes parâmetros ambientais para este estudo: temperatura, humidade relativa e concentração de dióxido de carbono.

Os resultados e sua discussão foram divididos em 6 secções, correspondentes às diferentes análises realizadas.

Relembrando os requisitos definidos no final do capítulo 2, os valores de referência são os que se encontram na Tabela 2.6 – Subcapítulo 2.3 .

Para efeitos de auxílio à interpretação dos resultados apresentados ao longo deste capítulo, são disponibilizados os anexos C, D e E, contendo características e resultados gerais, com base na informação recolhida de cada sensor higrotérmico.

4.1. Definição de valores higrotérmicos representativos do MCUC

Numa fase inicial, foi efetuado o tratamento global de todos os dados recolhidos nos diferentes aparelhos, sendo os resultados significativos resumidos nas tabelas apresentadas nos anexos C, D e E. A análise crítica dos valores obtidos permitiu concluir que a média das condições higrotérmicas se enquadrava dentro dos resultados obtidos pelo sensor DEM 24, motivo pelo qual se optou por desenvolver a análise, neste subcapítulo, com base na informação recolhida deste dispositivo.

O sensor DEM 24 está localizado na sala HN6, orientada a noroeste.

Nesta análise particular procedeu-se, primeiramente, à comparação das condições higrotérmicas da sala com as do clima exterior, com o objetivo de perceber a influência direta que estas últimas têm no clima interior do museu.

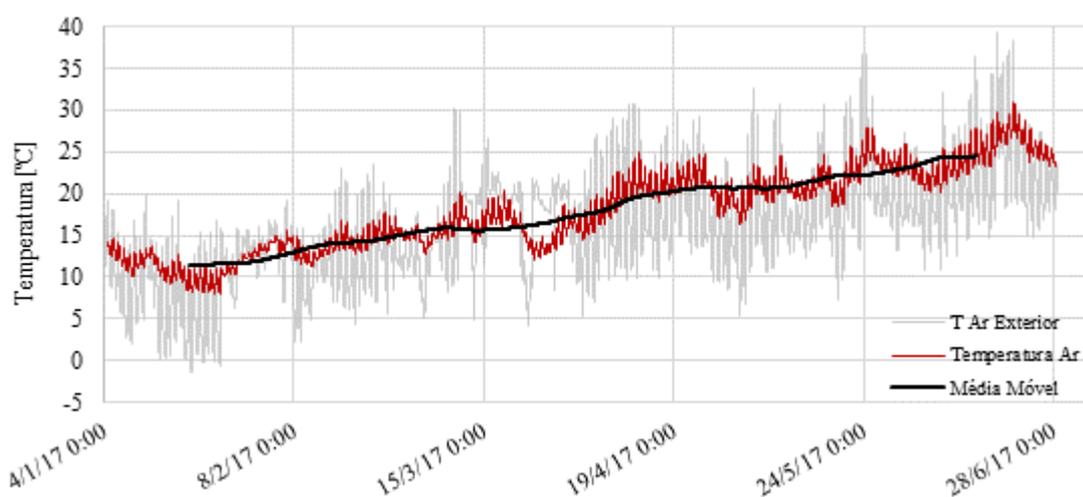


Figura 4.1 - Registos de temperatura, relativos ao período de monitorização, obtidos na EM do LAI e na sala HN 6

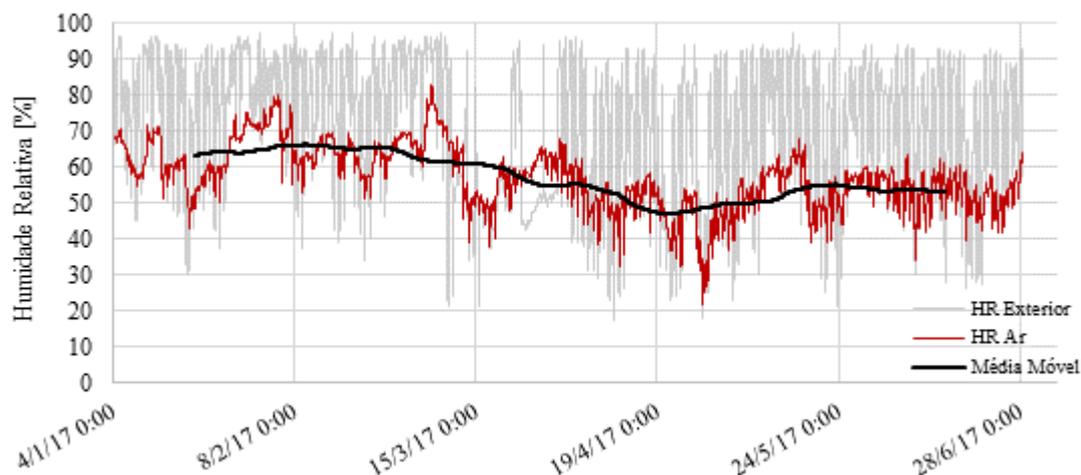


Figura 4.2 - Registos de humidade relativa, relativos ao período de monitorização, obtidos na EM do LAI e na sala HN 6

Tabela 4.1- Valores gerais de temperatura e humidade relativa registados na sala HN6 e no exterior, de 4 Janeiro a 28 Junho

	Sala HN6 (DEM 24)		Exterior (EM-LAI)	
	T [°C]	HR [%]	T [°C]	HR [%]
Média	17,9	57,1	16,1	70,7
Desvio Padrão	4,9	8,9	6,6	18,8
Mínimo	8,0	21,7	-1,3	17,0
Máximo	31,0	82,8	39,3	97,0
Mediana	17,5	57,2	16,0	75,0
$\Delta T / \Delta HR$	23,0	61,1	40,6	80,0

Da análise efetuada às figuras 4.1 e 4.2 e tabela 4.1 verifica-se que, embora as variações das condições higrotérmicas interiores acompanhem as variações exteriores, a temperatura e humidade relativa interior apresentam um intervalo de variação mais reduzido: $\Delta T_{ext} = 40,6^{\circ}\text{C}$ para um $\Delta T_{HN6} = 23^{\circ}\text{C}$ e o $\Delta HR_{ext} = 80\%$ para um $\Delta HR_{HN6} = 61,1\%$. Paralelamente, verifica-se que, em geral, a temperatura no interior do museu é superior à temperatura exterior (reflete-se principalmente durante os períodos mais quentes) e que a humidade relativa interior é inferior à exterior.

Apesar de existir uma menor variação das condições higrotérmicas interiores face às exteriores, os valores de temperatura e humidade relativa registados na sala apresentam, ainda assim, amplitudes consideráveis. Neste aspeto, prevê-se que a orientação da sala a noroeste constitua a principal razão para este acontecimento. Durante o Período Frio, as baixas temperaturas exteriores e a pouca radiação direta incidente (apenas em reduzidos períodos da tarde) que se faz sentir na sala, faz com que as condições climáticas interiores sejam relativamente frias e húmidas. Em sentido inverso, durante os períodos mais quentes, a crescente exposição solar a que a sala está sujeita, associada um aumento das temperaturas exteriores, torna o clima interior do espaço, geralmente, mais quente e menos húmido.

Feita uma análise e discussão gerais das condições higrotérmicas, efetua-se agora uma abordagem mais específica, com base nas normas consideradas para o caso em estudo.

Começou-se por aplicar a metodologia da norma EN 15757:2010 com o objetivo de definir uma faixa de valores higrotérmicos adequados com base no clima histórico.

Os resultados obtidos, reproduzidos na figura 4.3, indicam que os valores de temperatura do ar podem oscilar entre um mínimo de 9°C e um máximo de, aproximadamente, 27°C . No que respeita à humidade relativa, a variação é mais acentuada, sendo que os valores podem variar entre os 37% e os 76%.

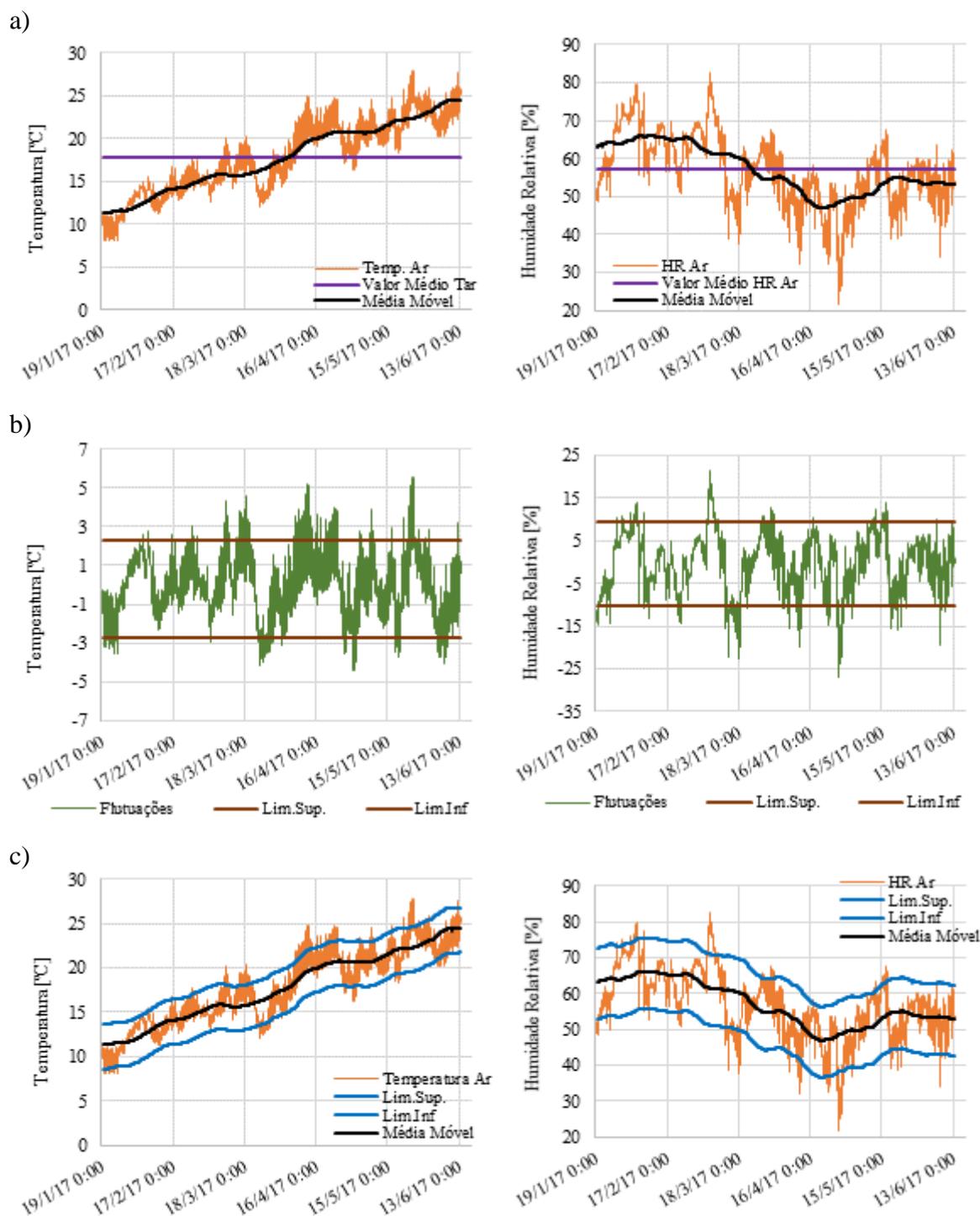


Figura 4.3 - Aplicação da metodologia EN 15757 nos dados recolhidos do sensor DEM 24 : a) Ciclos Sazonais; b) Flutuações de curta duração; c) Limites sustentáveis

A percentagem de dados registados que se encontra dentro da gama de valores determinada (Figura 4.3 – alínea c) é de 86% para T(°C) e 85,5% para HR(%).

Aplicando a metodologia respeitante à norma italiana UNI 10829:1999, foi analisado o desempenho do clima interior da sala HN 6 em termos higrotérmicos. Os resultados obtidos podem ser observados na figura seguinte.

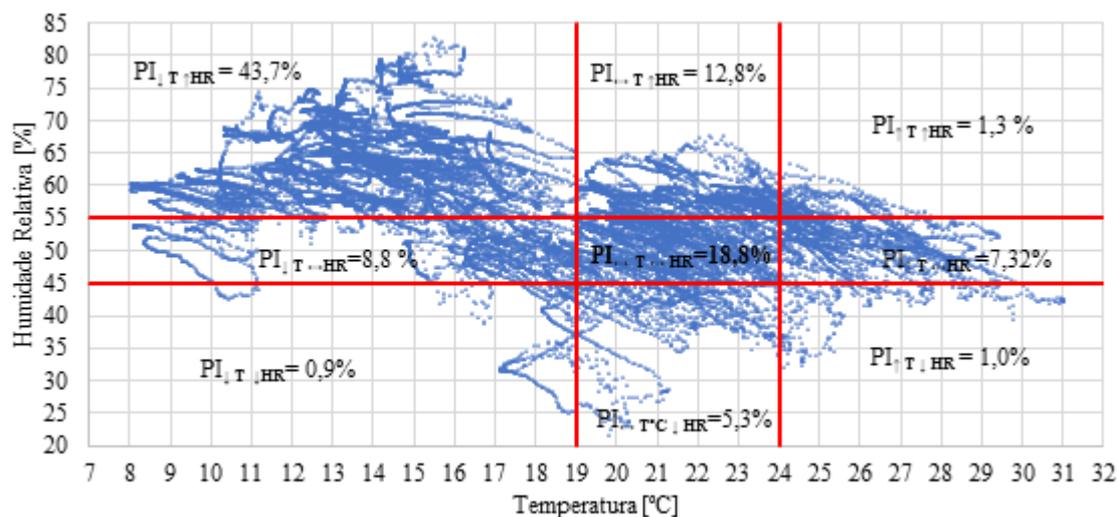
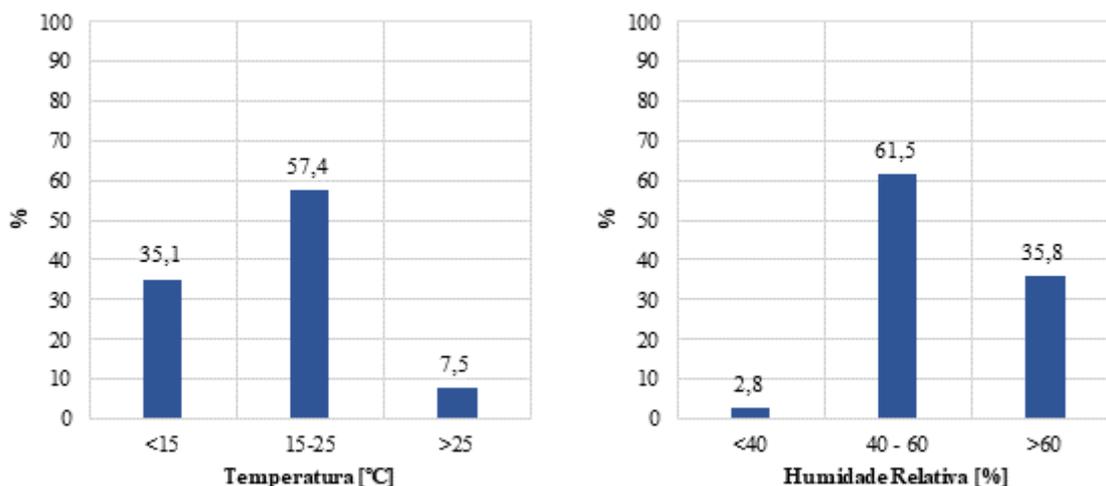


Figura 4.4 - Desempenho do clima interior da sala HN 6

O índice de desempenho (PI) da sala toma o valor de 18,8%. Quer isto dizer que o clima interior deste espaço cumpre simultaneamente os valores impostos para a temperatura e humidade relativa em 18,8% do tempo. Analisando individualmente os parâmetros ambientais, verificou-se que os valores de temperatura e humidade relativa são cumpridos em 37% e 35% do tempo, respetivamente. Ao analisar-se a figura, é importante referir a percentagem significativa de tempo em que a sala se apresenta demasiado húmida e fria – 43,7%. Caso o período de monitorização se prolongasse para alturas do ano mais quentes, é de prever que este valor pudesse diminuir.

Tomando como referência os limites impostos pela classe B da ASHRAE:2015, os resultados obtidos com base nesta metodologia podem ser observados nas figuras 4.5 e 4.6.

a)



b)

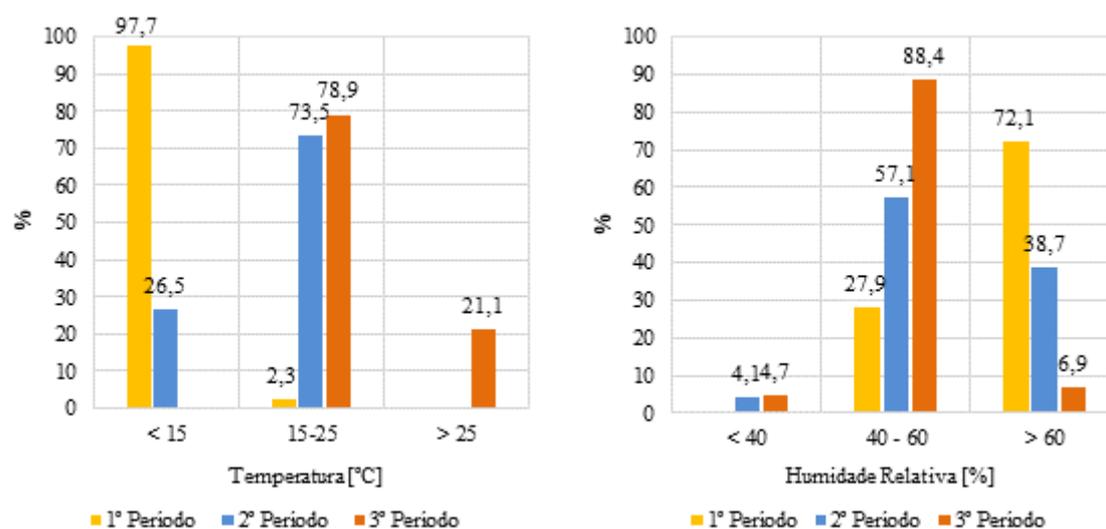


Figura 4.5 - Distribuição (%) dos dados recolhidos pelos intervalos impostos pela categoria B na sala HN6 :
a) Análise global ; b) Análise sazonal

Em termos globais, os intervalos de valores recomendados para a temperatura e humidade relativa (15°C – 25°C; 40% - 60%, respetivamente) são cumpridos em cerca de 60%. Da análise dos gráficos sazonais, conclui-se que o 2º e 3º períodos, denominados “Período Transição” e “Período Quente”, apresentam os resultados mais satisfatórios no que respeita à temperatura. Relativamente à humidade relativa, o 3º período é o que apresenta melhores resultados, contribuindo significativamente para o valor obtido, no intervalo sustentável, a nível global (61,5%).

O Período Frio foi o que apresentou os piores resultados. Para além de uma relevante gama de baixas temperaturas e, conseqüentemente, valores de humidade elevados, este apenas contribuiu em 2,3% e 27,9% para os valores de T(°C) e HR(%) considerados como adequados, em termos globais.

Durante o Período Quente foram atingidas temperaturas superiores a 30°C, condição que não respeita os limites sazonais impostos pela ASHRAE:2015. No entanto, esta situação só se verificou pontualmente, em 0,3% dos dados recolhidos nesse período.

Em termos diários, a classe B permite flutuações de $\pm 5^\circ\text{C}$ para a temperatura e $\pm 10\%$ para a humidade relativa. Cerca de 95% dos dados recolhidos respeitam a primeira condição, enquanto que apenas 66% dos valores de humidade relativa registados cumprem o limite estabelecido.

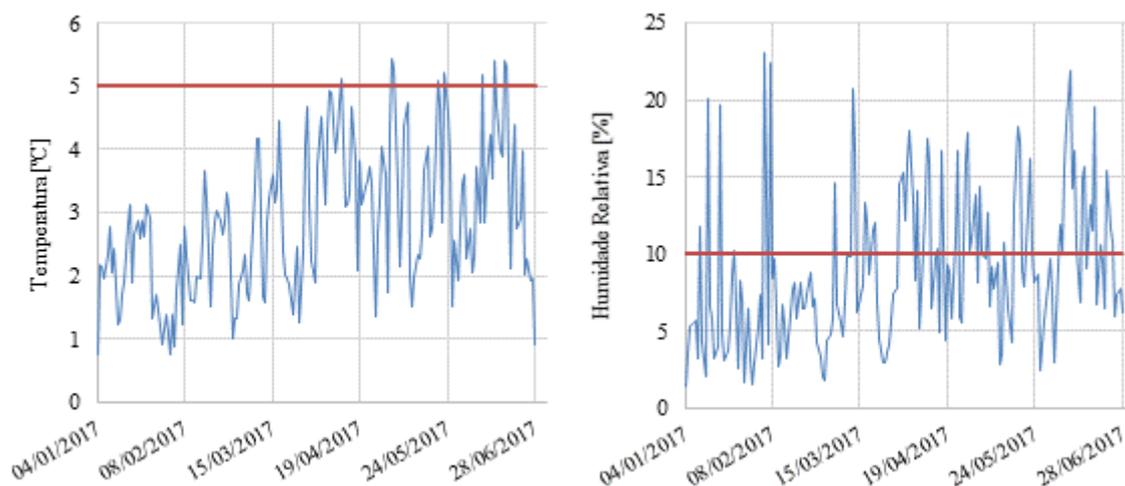


Figura 4.6 - Variações diárias de temperatura e humidade relativa e respetivos limites na sala HN6

4.2. Dados representativos de pontos críticos

Neste subcapítulo procedeu-se à análise da sala que apresentou piores condições higrotérmicas – Sala SM1. Efetivamente, esta sala caracteriza-se, de uma maneira geral, como muito húmida e fria, com baixos índices de desempenho, condições estas que podem ser observadas nos resultados presentes neste subcapítulo e nas tabelas dos anexos C, D e E.

Este espaço está localizado numa zona mais interior do MCUC, apenas em contato com um pátio interior a ponte. A sala tem a particularidade de ser pouco ventilada, devido às poucas infiltrações existentes e por não ser visitável, evitando assim a constante abertura/fecho de porta.

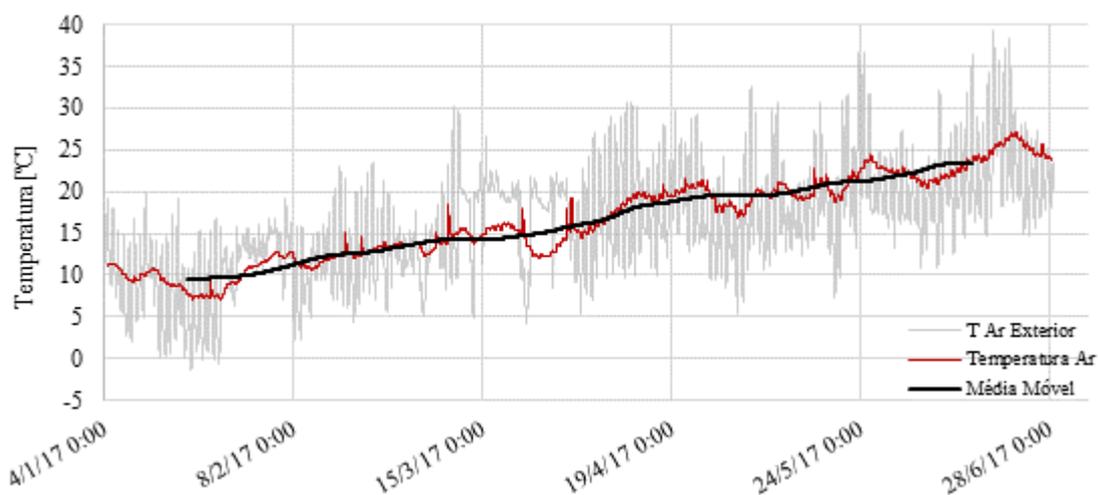


Figura 4.7 - Registos de temperatura, relativos ao período de monitorização, obtidos na EM do LAI e na sala SM1

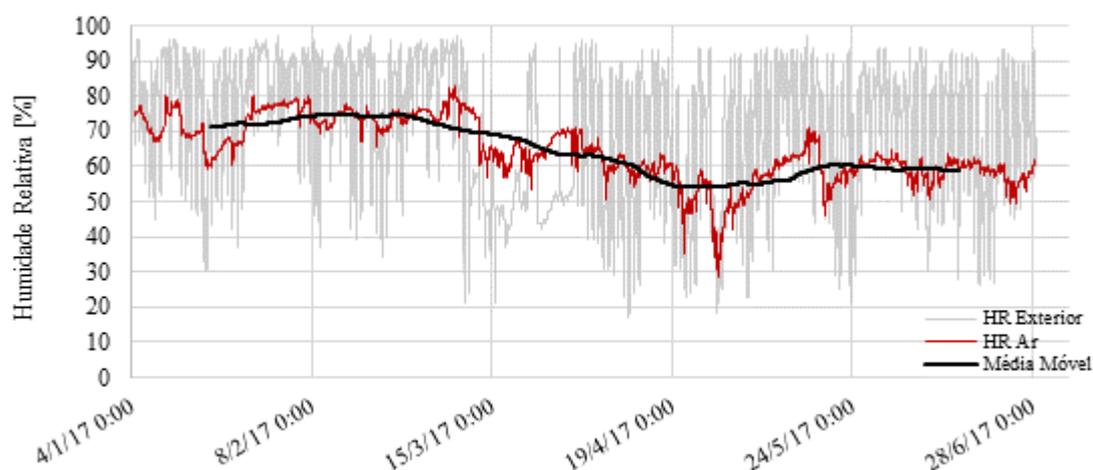


Figura 4.8 - Registos de humidade relativa, relativos ao período de monitorização, obtidos na EM do LAI e na sala SM1

Tabela 4.2 - Valores gerais de temperatura e humidade relativa registados na sala SM1 e no exterior, de 4 Janeiro a 28 Junho

	Sala SM 1 (DEM 27)		Exterior (EM-LAI)	
	T [°C]	HR [%]	T [°C]	HR [%]
Média	16,5	64,6	16,1	70,7
Desvio Padrão	5,1	8,8	6,6	18,8
Mínimo	7,0	28,2	-1,3	17,0
Máximo	27,1	82,8	39,3	97,0
Mediana	15,9	63,0	16,0	75,0
$\Delta T / \Delta HR$	20,0	54,6	40,6	80,0

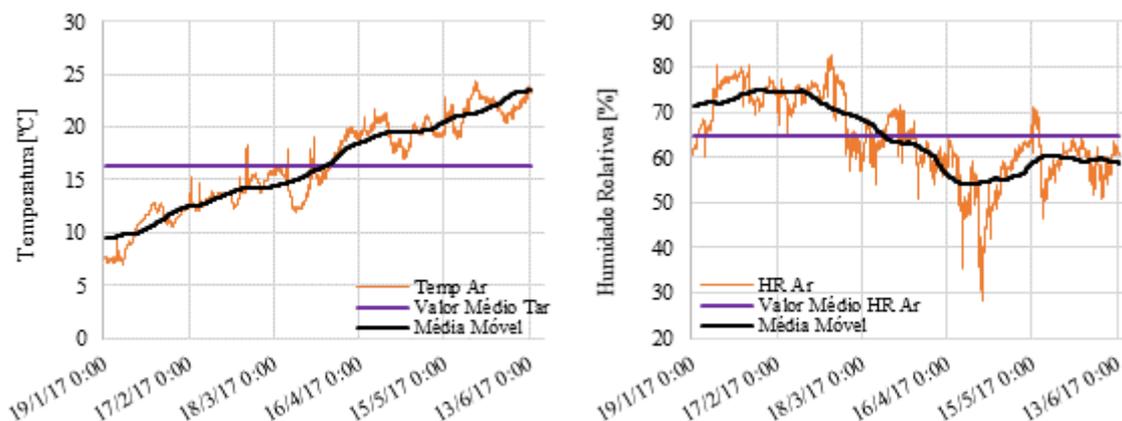
A análise das figuras 4.7 e 4.8 e da tabela 4.2 permite concluir que as variações higrotérmicas da sala, em intervalos mais reduzidos, seguem o perfil climático de variações exteriores, exceto casos pontuais. O espaço, durante o período de monitorização, apresentou uma variação de temperatura $\Delta T_{SM1} = 20^{\circ}\text{C}$ e humidade relativa $\Delta HR_{SM1} = 54,6\%$, enquanto que no exterior se verificou $\Delta T_{ext} = 40,6^{\circ}\text{C}$ e $\Delta HR_{ext} = 80\%$. Em termos gerais, a temperatura no interior da sala SM1 é superior à exterior, ao passo que os valores de humidade relativa interiores são inferiores.

Em relação aos restantes espaços estudados, a SM1 apresenta-se como sendo a sala mais fria e húmida. Tal pode ser explicado pela localização da sala e pela quantidade de radiação solar que incidiu durante o período de monitorização. Confinada apenas com um pátio interior localizado a poente, o clima interior do espaço está totalmente relacionado com as condições exteriores e respetiva estação do ano. No Período Frio, o facto da sala estar sujeita a uma reduzida exposição do sol, faz com que permaneça muito fria e húmida, devido às baixas temperaturas exteriores verificadas durante esse período. Durante o Período Transição e Período Quente, um aumento da temperatura exterior e os crescentes ganhos solares tornam-a mais quente e relativamente menos húmida.

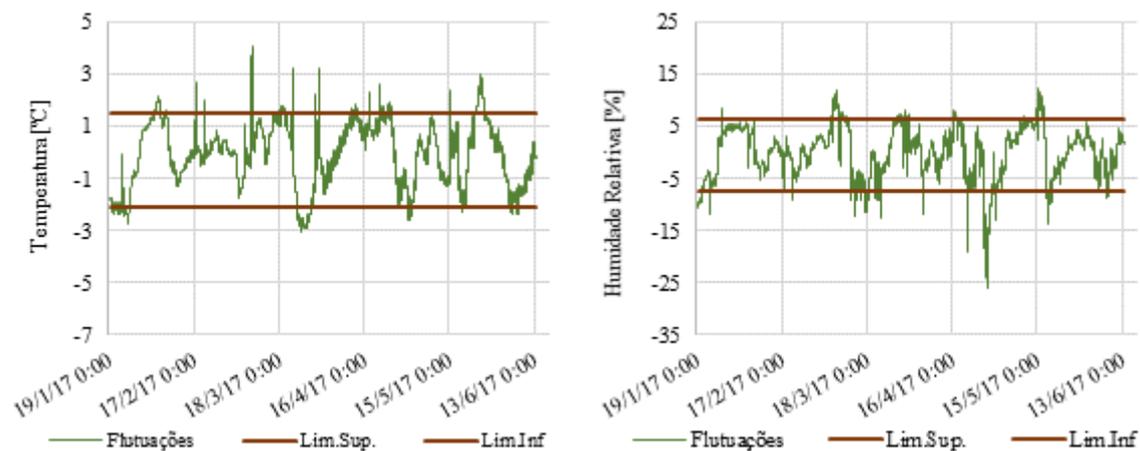
De seguida apresenta-se o estudo detalhado sobre esta sala com base nas diferentes metodologias.

Relativamente à norma EN 15757:2010, os resultados obtidos para o período em análise indicam que a temperatura pode oscilar entre os 7°C e os 25°C e para a humidade relativa entre os 47 % e 81%.

a)



b)



c)

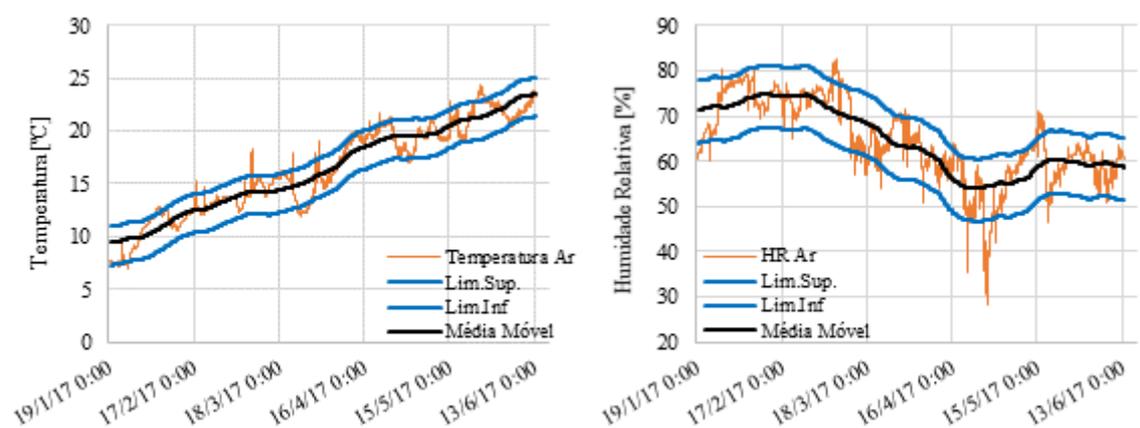


Figura 4.9 - Aplicação da metodologia EN 15757:2010 nos dados recolhidos do sensor DEM 27 : a) Ciclos Sazonais; b) Flutuações de curta duração; c) Limites sustentáveis

A percentagem de dados recolhidos que está dentro da faixa sustentável definida, é de 86% tanto para T(°C) como para HR(%).

O índice de desempenho higrotérmico no interior da sala SM1 é o que apresenta piores resultados de todos os aparelhos analisados (consultar Anexo E).

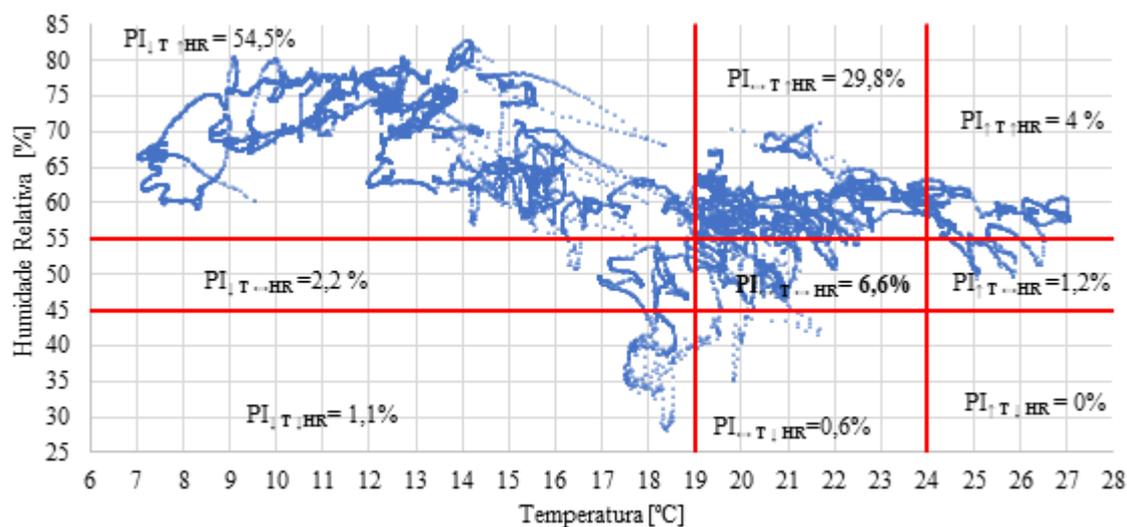
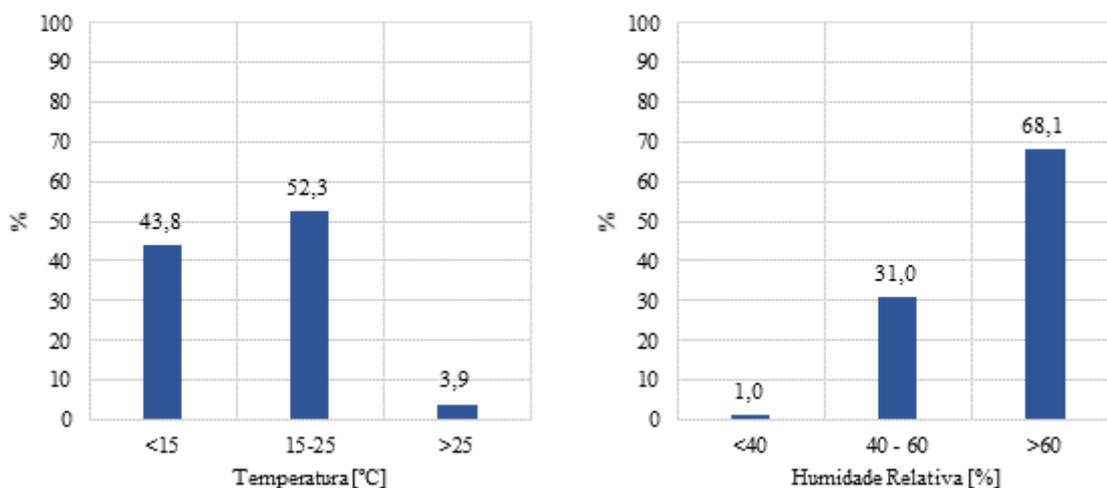


Figura 4.10 - Desempenho do clima interior da sala SM1

Como se pode verificar na figura 4.10, o clima interior da sala apresenta-se demasiado húmido e frio em 54,5% do tempo e demasiado húmido em 29,8%. Os requisitos impostos são apenas cumpridos em 6,6% do tempo. Analisando individualmente os parâmetros ambientais, os limites impostos para a temperatura são satisfeitos em 37% do tempo, enquanto que para a humidade relativa, este valor é somente 10%.

a)



b)

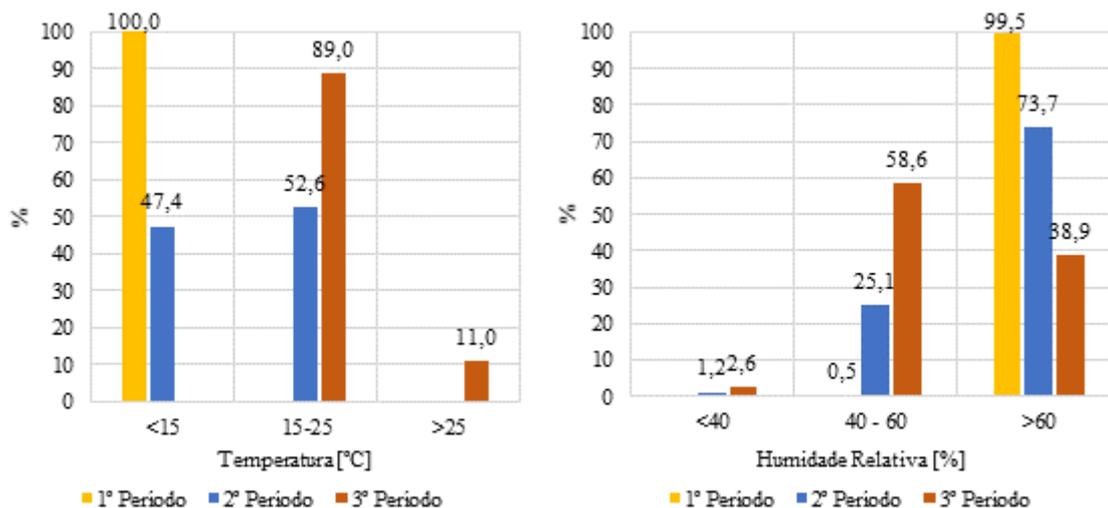


Figura 4.11 - Distribuição (%) dos dados recolhidos pelos intervalos impostos pela categoria B na sala SM1 : a) Análise global ; b) Análise sazonal

A análise dos resultados obtidos (Figura 4.11 e 4.12) aplicando a metodologia da ASHRAE:2015, permite mais uma vez constatar que as condições higrotérmicas existentes na sala SM1 são inadequadas. Os valores médios impostos pela norma são apenas respeitados em pouco mais de 50% para a temperatura e apenas 31% para a humidade relativa. As consideráveis percentagens, a nível global, de temperatura baixa (43,8%) e humidade relativa alta (68,1%) confirmam a tendência de um clima interior frio e muito húmido. Neste aspeto, o denominado Período Frio é preponderante, apresentando sempre valores na ordem dos 100% de humidade relativa alta e temperatura baixa.

À medida que as temperaturas exteriores aumentam, ao longo do período de monitorização, a sala SM1 vai apresentando condições higrotérmicas mais favoráveis, provavelmente devido ao aumento da temperatura exterior e da crescente radiação solar incidente que provém das janelas orientadas a poente. Consequentemente, o Período Quente é o que apresenta resultados mais satisfatórios higrotermicamente, cumprindo os limites sazonais para a temperatura em 89%, embora permaneça um pouco húmido, sendo que apenas 58,6% dos dados recolhidos se encontram dentro do intervalo sustentável. Durante o período de monitorização, as temperaturas nunca se aproximaram dos 30°C, pelo que o limite sazonal imposto foi sempre respeitado

Em termos diários, a classe B permite flutuações de $\pm 5^{\circ}\text{C}$ para $T(^{\circ}\text{C})$ e $\pm 10\%$ para $\text{HR}(\%)$. Todos os dados recolhidos encontram-se da faixa sustentável de temperatura,

enquanto que 91% dos valores de humidade relativa registados cumprem o limite estabelecido.

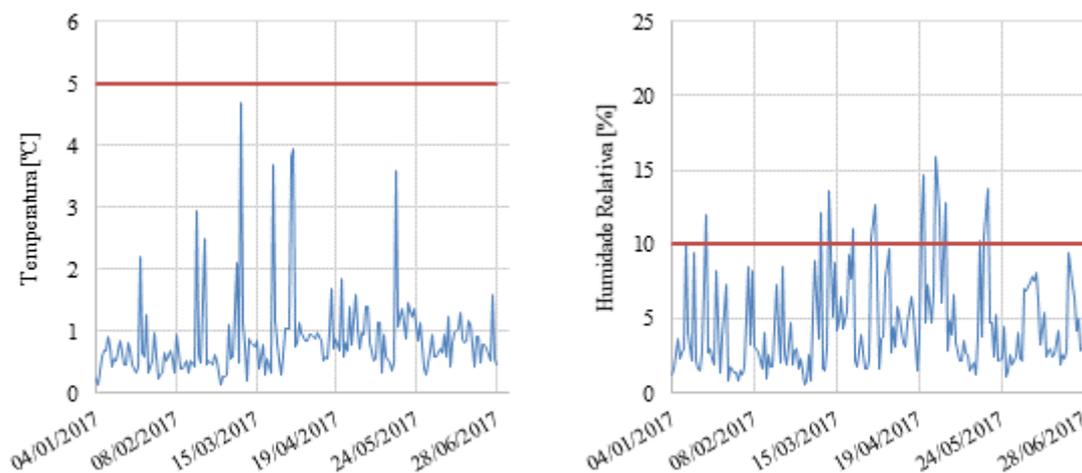


Figura 4.12 - Variações diárias de temperatura e humidade relativa e respetivos limites na sala SM1

4.3. Comparação de resultados entre sala HN2 e HN7

Neste subcapítulo, procedeu-se à análise comparativa entre as salas HN2 e HN7, orientadas a Este e Oeste respetivamente. Para além da diferente orientação, acresce ainda que ao longo dos tempos estes espaços foram sujeitos a distintas intervenções, conferindo-lhes diferentes propriedades construtivas à envolvente de cada um deles. Assim, a análise destes dois espaços torna este estudo interessante, de forma a perceber a influência dos diferentes fatores no respetivo comportamento higrotérmico.

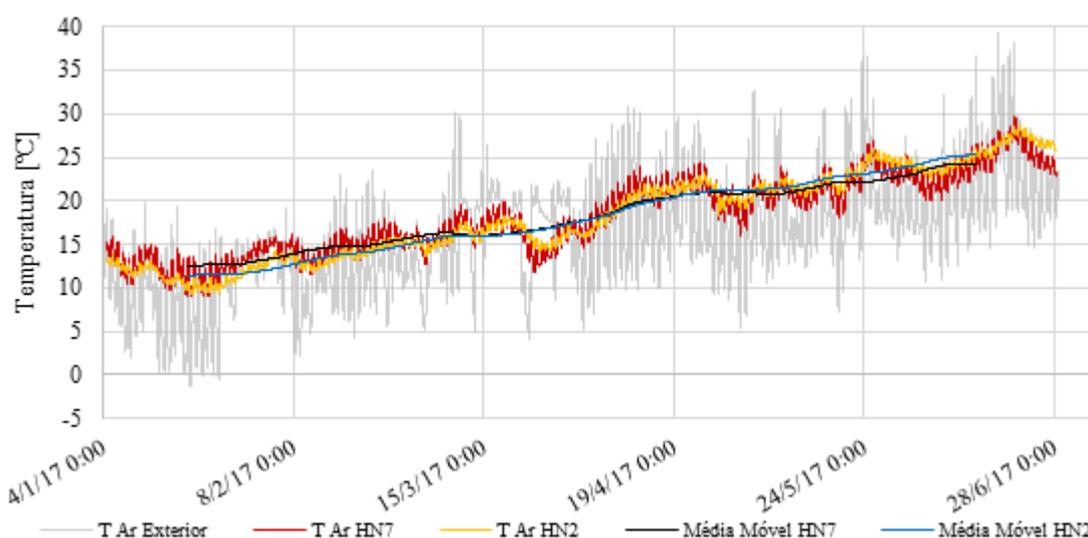


Figura 4.13 - Registos de temperatura, relativos ao período de monitorização, obtidos na EM do LAI e nas salas HN2 e HN7

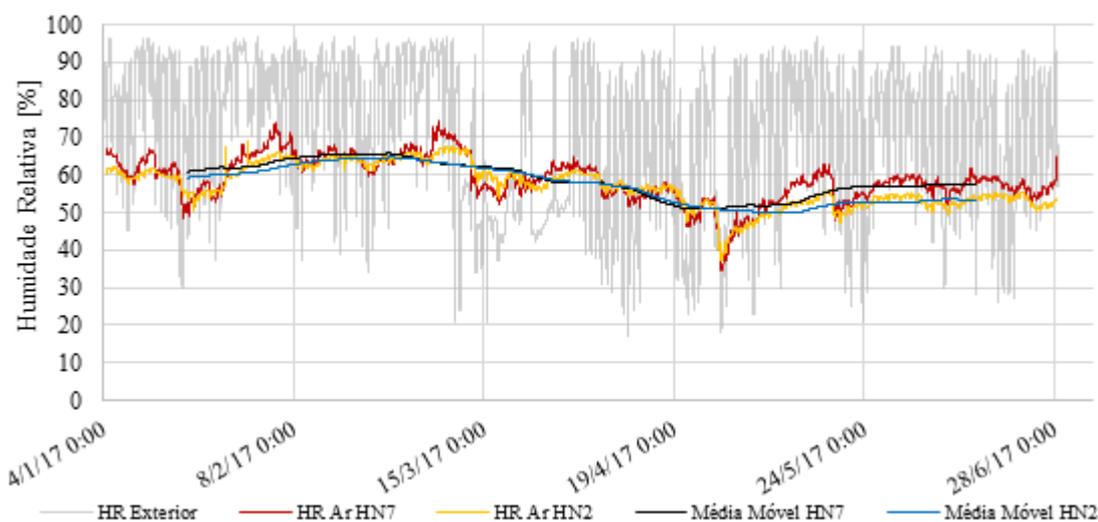


Figura 4.14 - Registos de humidade relativa, relativos ao período de monitorização, obtidos na EM do LAI e nas salas HN2 e HN7

Tabela 4.3 - Valores gerais de temperatura e humidade relativa registados na sala HN2, HN7 e no exterior, de 4 Janeiro a 28 Junho

	Sala HN2 (DEM 17)		Sala HN7 (DEM 25)		Exterior (EM-LAI)	
	T [°C]	HR [%]	T [°C]	HR [%]	T [°C]	HR [%]
Média	18,2	57,2	18,3	58,8	16,1	70,7
Desvio Padrão	5,0	5,6	4,5	6,0	6,6	18,8
Mínimo	9,3	37,3	9,0	34,4	-1,3	17,0
Máximo	28,7	69,1	29,7	74,6	39,3	97,0
Mediana	17,4	56,7	17,9	58,5	16,0	75,0
$\Delta T / \Delta HR$	19,4	31,8	20,7	40,2	40,6	80,0

Pela análise das figuras 4.13 e 4.14 e tabela 4.3, verifica-se que ambas as salas apresentam perfis higrotérmicos semelhantes entre si e com o exterior. Como se pode constatar na tabela, as variações higrotérmicas na sala orientada a Oeste (HN7) são superiores às verificadas na sala orientada a Este (HN2), principalmente no que diz respeito à humidade relativa: $\Delta T_{HN7} = 20,7^{\circ}\text{C}$ para um $\Delta T_{HN2} = 19,4^{\circ}\text{C}$; $\Delta HR_{HN7} = 40,2\%$ para um $\Delta HR_{HN2} = 31,8\%$. A temperatura média das duas salas é superior à média exterior, enquanto que a humidade relativa é menor em cerca de 12%.

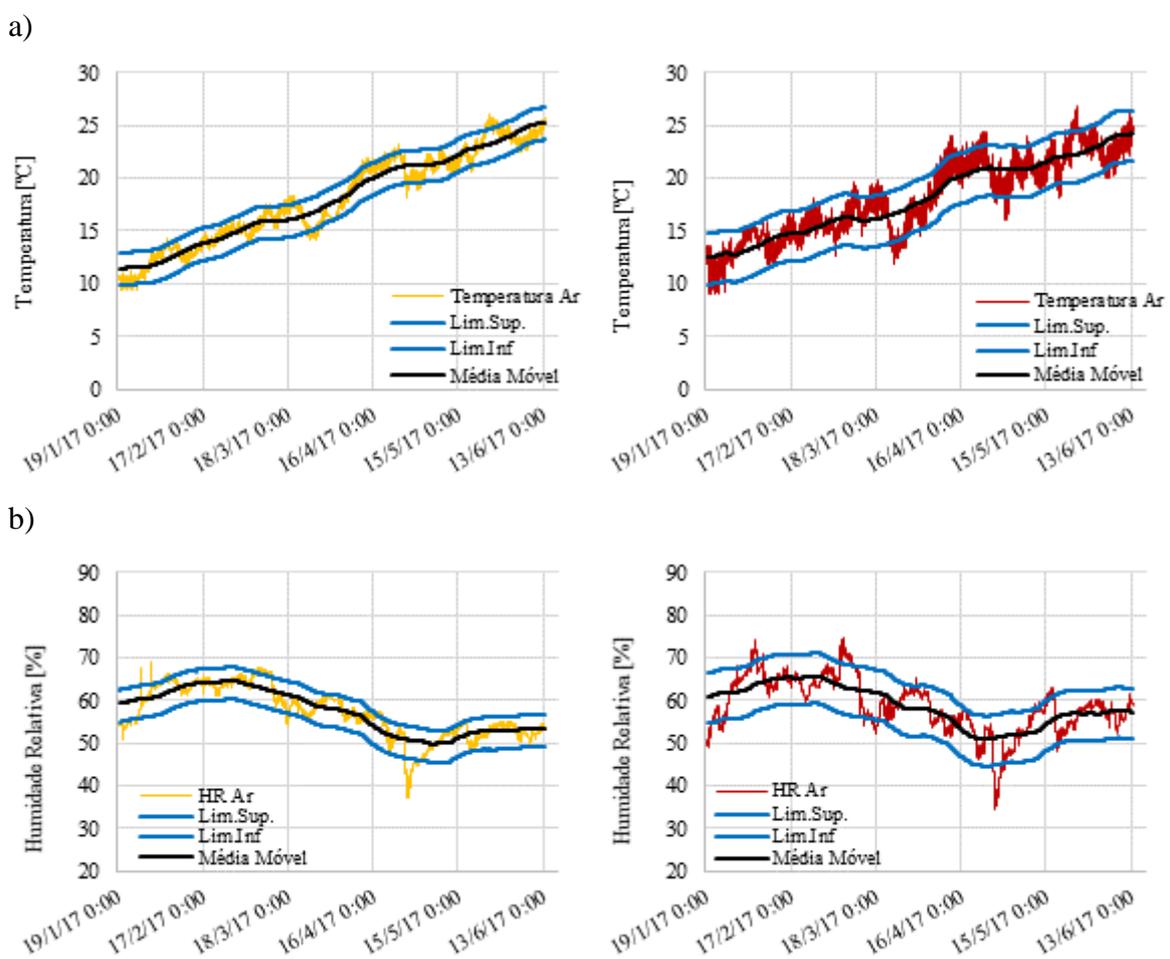


Figura 4.15 - Aplicação da metodologia EN 15757:2010 nos dados recolhidos do sensor DEM 17 (esquerda) e DEM 25 (direita) : a) Limites sustentáveis de temperatura ; b) Limites sustentáveis de humidade relativa.

Por aplicação da norma europeia EN 15757:2010, determinaram-se os intervalos sustentáveis de temperatura entre 10°C e 27°C na sala HN2 e de 10°C a 26°C na sala HN7. No que concerne à humidade relativa, os limites superiores obtidos também

foram ligeiramente diferentes, podendo variar entre 45% e 68% na sala HN2 e entre 45% e 71% na sala HN7.

A percentagem de dados registados que se encontram dentro das bandas adequadas de T(°C) e HR(%) é de 86% para os dois parâmetros, em ambas as salas.

Nas figuras 4.16 e 4.17 são reproduzidos os resultados que se obtiveram, aplicando a metodologia referente à norma UNI 10829:1999.

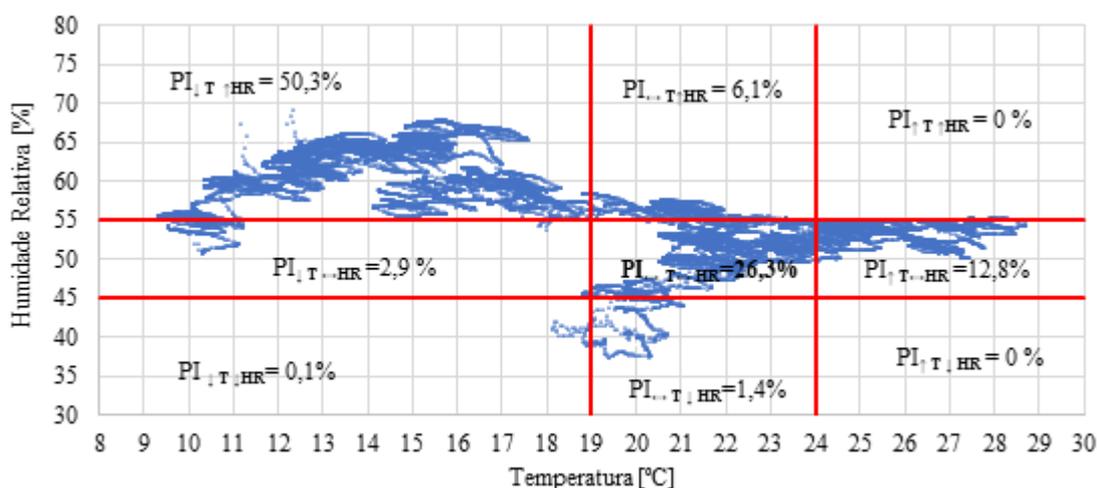


Figura 4.16 - Desempenho do clima interior da sala HN2

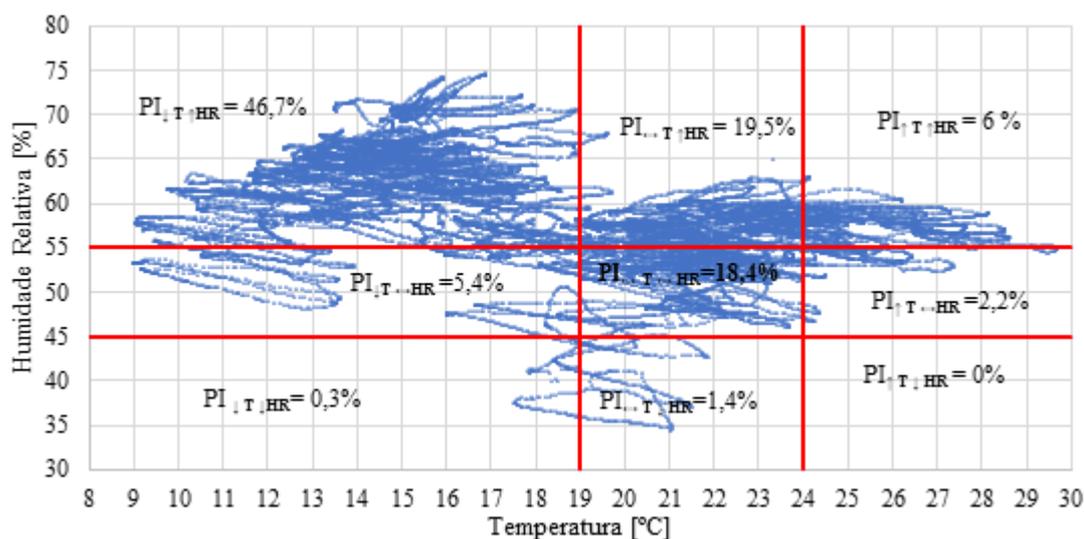
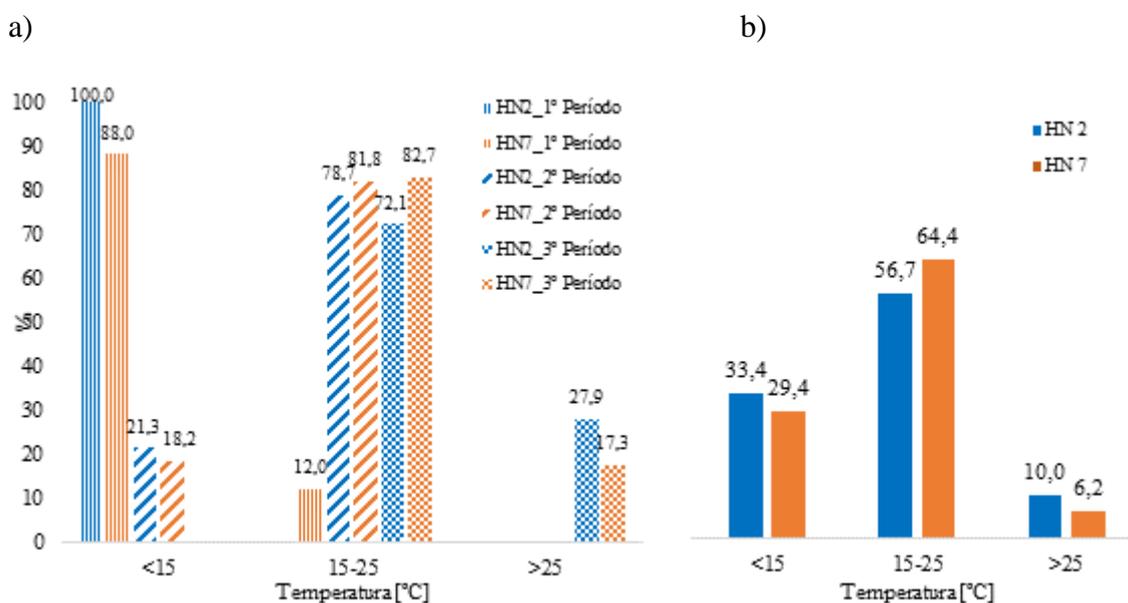


Figura 4.17 - Desempenho do clima interior da sala HN7.

Como se pode verificar, ambas as salas apresentam índices de desempenho higrotérmico muito baixos. O clima interior das salas HN2 e HN7, cumpre simultaneamente os requisitos impostos para a temperatura e humidade relativa em 26,3% e 18,4% do tempo, respetivamente. Os dois espaços apresentam-se demasiado húmidos e frios em, aproximadamente, 50% do tempo, sendo que a sala HN7 está demasiado húmida em 19,5% do tempo, enquanto que a sala HN2 encontra-se nas mesmas condições apenas em 6,1% do tempo. De salientar a diferença que existe no quadrante “Demasiado húmido e quente”, onde a sala HN7, orientada a Oeste, apresenta registos na ordem dos 6%, sendo que na sala HN2, orientada a Este, não se verifica qualquer registo nessas condições higrotérmicas.

Individualmente, a sala HN2 cumpre os limites impostos para a temperatura e humidade relativa em 34% e 42% do tempo, respetivamente. Por seu vez, a sala HN7 cumpre-os em 39% e 26% do tempo.

De seguida, apresentam-se os resultados obtidos aplicando a metodologia referente à categoria B da ASHRAE:2015.



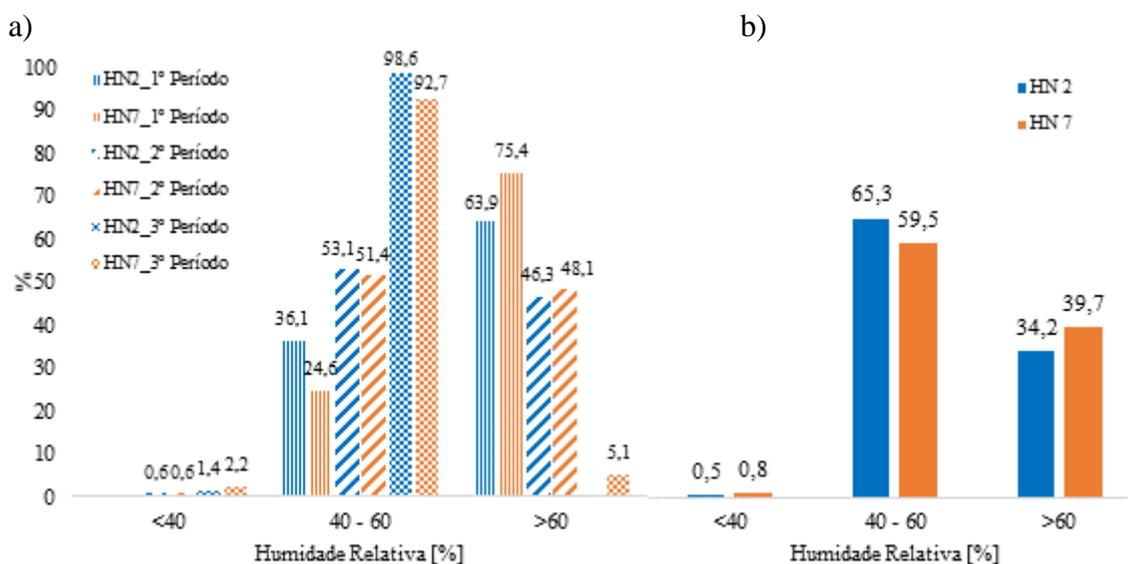


Figura 4.18 - Distribuição (%) dos dados recolhidos pelos intervalos impostos pela categoria B nas salas HN2 e HN7 : a) Análise sazonal ; b) Análise global

É possível verificar, na figura 4.18, que o comportamento higrotérmico das duas salas é semelhante, sendo bastante influenciado pelas condições climáticas exteriores.

Em termos globais, os intervalos de valores recomendados para a $T(^{\circ}\text{C})$ e $\text{HR}(\%)$ são cumpridos na sala HN2 em 56,7% e 65,3%, respetivamente, enquanto que na sala HN7 se registaram valores sustentáveis na ordem dos 64,4% e 59,5%. De uma forma geral, durante os 6 meses de monitorização, as salas apresentaram-se relativamente húmidas, com uma gama considerável de valores acima do limite recomendável (34,2% na sala HN2 e 39,7% na sala HN7).

Em termos sazonais, os resultados obtidos no 2º e 3º períodos, denominados de “Período Transição” e “Período Quente”, podem ser considerados como satisfatórios, apresentando valores sustentáveis de temperatura na ordem dos 80%. É de destacar que 98,6% e 92,7% dos dados de humidade recolhidos, durante o 3º período, se encontram no intervalo que é definido como adequado (40% - 60%).

Sendo uma característica extensível a todo o museu, durante o Período Frio foram registados dados higrotérmicos inadequados, apresentando sempre temperaturas muito baixas e humidades relativas elevadas.

Em ambas as salas não se registaram temperaturas superiores a 30°C , cumprindo assim o limite sazonal imposto pela categoria B.

Em termos de flutuações diárias dos parâmetros higrotérmicos, os dados recolhidos encontram-se todos dentro dos intervalos exigidos, exceto casos pontuais muito próximos dos limites superiores estabelecidos.

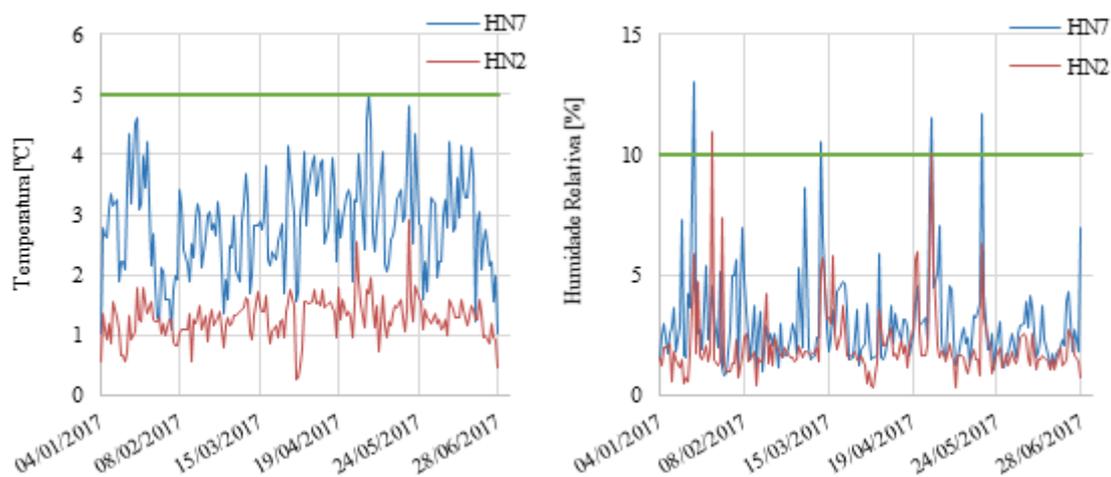


Figura 4.19- Variações diárias de temperatura e humidade relativa e respetivos limites nas salas HN2 e HN7.

4.4. Comparação de resultados considerando a variação de altura

Durante a elaboração do trabalho, considerou-se pertinente realizar uma análise altimétrica comparativa da distribuição dos parâmetros higrotérmicos, instalando-se para esse efeito sensores a diferentes alturas, no mesmo espaço. Com esse objetivo, optou-se pela sala HN4, orientada a Norte e com um pé direito de 7,5 m. Os aparelhos DEM 20 e DEM 21 foram colocados a cerca de 60 cm e 5,5 m de altura, respetivamente.

No entanto, as diferenças com base nesta variação não foram muito significativas, pelo que se apresenta apenas duas tabelas síntese (Tabela 4.4 e 4.5) com os resultados obtidos.

Tabela 4.4 - Distribuição (%) dos dados recolhidos pelos intervalos sugeridos pela EN 15757:2010 e UNI 10829:1999 nos sensores DEM 20 e DEM 21.

	EN 15757:2010		UNI 10829:1999		
	T(7°C-27°C)	HR (36%-78%)	T (19°C-24°C)	HR (45%--55%)	Índice de Desempenho (T&HR)
DEM 20	86,0%	92,0%	38,0%	40,0%	20,0%
DEM 21	86,0%	92,8%	36,0%	47,0%	25,1%

Tabela 4.5 - Distribuição (%) dos dados recolhidos pelos intervalos impostos pela categoria B nos sensores DEM 20 e DEM 21.

	ASHRAE:2015									
	Temperatura [°C]					Humidade Relativa [%]				
	Média (15°C-25°C)	Sazonal (+10°C ; <30°C)			Diária	Média (40%-60%)	Sazonal (± 10%)			Diária (± 10%)
		1°P	2°P	3°P			1°P	2°P	3°P	
DEM 20	57,0%	100%	100%	100%	100%	68,3%	41,4%	64,1%	90,1%	85,2%
DEM 21	54,9%	100%	100%	100%	100%	66,3%	36,5%	60,7%	91,7%	90,9%

4.5. Condições de preservação de animais embalsamados

A sala HN5 caracteriza-se por apresentar uma extensa quantidade de animais embalsamados. A norma italiana UNI 10829:1999 define limites higrotérmicos específicos para este tipo de coleções. Assim, neste subcapítulo avaliou-se o desempenho do clima interior da sala com base nas condições impostas para este trabalho (19°C-24°C ; 45% - 55%) e, hipoteticamente, se fossem respeitados os valores de temperatura (4°C-10°C) e humidade relativa (30%-50%) impostos pela norma. Para tal, recorreu-se ao sensor DEM 22.

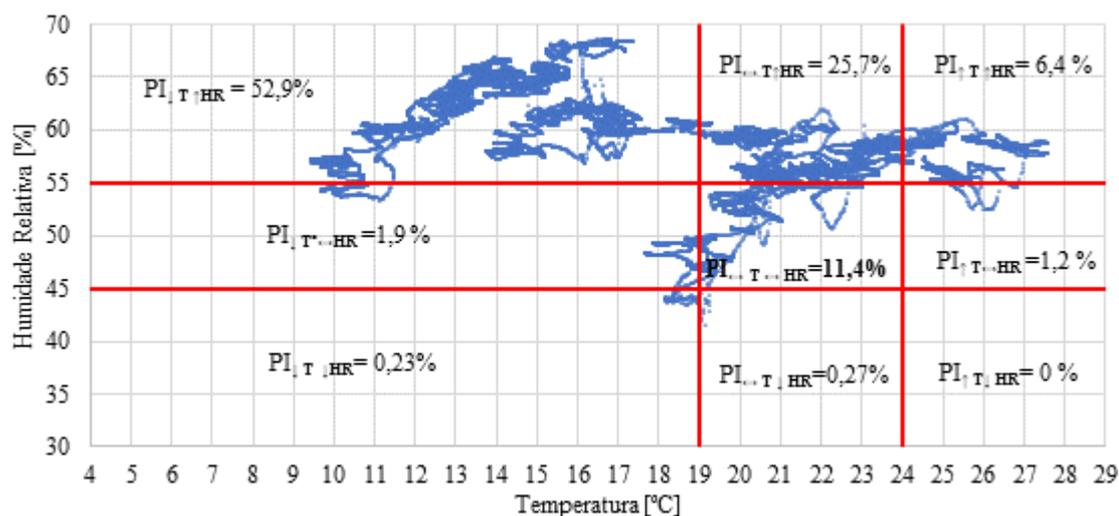


Figura 4.20 - Desempenho do clima interior da sala HN5 segundo os limites estabelecidos para este estudo.

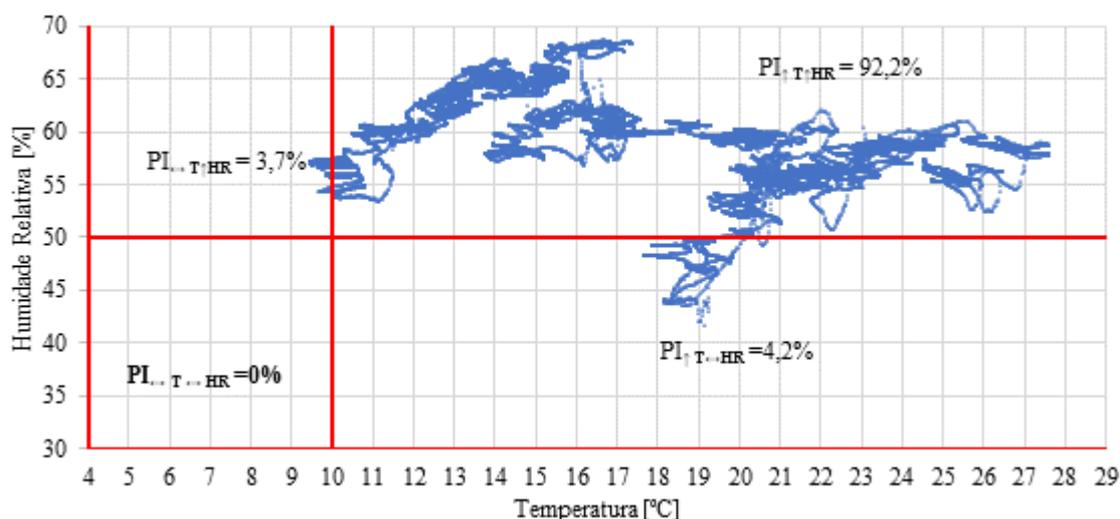


Figura 4.21 - Desempenho do clima interior da sala HN5 segundo os limites estabelecidos pela UNI 10829:1999 para coleções de animais embalsamados

Como se pode verificar nas figuras acima apresentadas, o desempenho higrotérmico da sala HN5 cumpre em 11,4% os limites definidos para este estudo. Numa situação hipotética, se fossem impostos os intervalos específicos para coleções de animais embalsamados, o índice de desempenho higrotérmico neste espaço seria nulo (quadrante do canto inferior esquerdo da figura 4.21), constituindo assim mais um aspeto negativo no que respeita às condições ambientais no interior do museu.

4.6. Concentração de Dióxido de Carbono

A monitorização da concentração de CO₂ na sala HN2 decorreu entre 19 de Abril a 7 de Maio, tendo sido retomada no dia 12 de Julho até 17 de Julho. À exceção de situações pontuais ocorridas no último período, os níveis de CO₂ mantiveram-se sempre abaixo do limite legal de 1250 ppm, apresentando valores médios de 783 ppm e 1111 ppm, durante o período de ocupação, no 1º e 2º períodos respetivamente. Nestes períodos estiveram, em média, 198 pessoas e 1542 pessoas (aproximadamente 8 vezes mais pessoas relativamente ao 1º período) respetivamente, durante o período de ocupação. O enorme volume da sala (908 m³), “diluindo” a concentração de CO₂, associado ao facto das suas portas estarem sempre abertas, possibilitando uma constante renovação do ar interior, permitem obter níveis satisfatórios de dióxido de carbono.

Os casos pontuais em que o nível ultrapassou o limite referido, foram devidos a uma maior quantidade de pessoas presentes no interior da sala e correspondem apenas a 0,07% dos dados recolhidos durante o período total de monitorização (sensivelmente 1 mês), sendo assim pouco relevantes.

Os resultados obtidos podem ser verificados na figura 4.22. De referir que, sob perda de informação, se optou por seleccionar a totalidade dos dados registados, ao invés de valores médios.

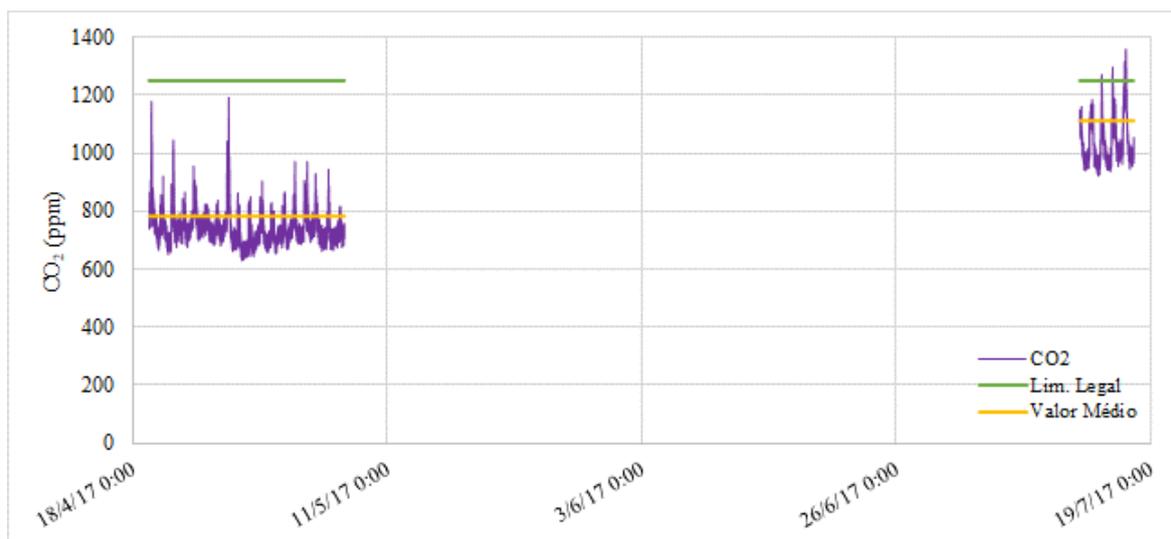


Figura 4.22 - Concentrações de CO₂ registadas na sala HN2

5. Conclusão

Este trabalho teve como principal objetivo analisar e avaliar as condições higrotérmicas no interior do Museu da Ciência da Universidade de Coimbra de forma a garantir uma adequada conservação do acervo presente.

Para esta avaliação foram aplicadas três metodologias sugeridas em três normas diferentes: EN 15757:2010, UNI 10829:1999 e ASHRAE:2015. A opção pelas mesmas e, conseqüente determinação de intervalos higrotérmicos considerados como apropriados dependeu, essencialmente, de aspetos como a variedade de objetos existentes, os diversos fatores e processos de degradação dos diferentes materiais que os constituem, e as características do próprio edifício.

Remetendo para a primeira norma estudada e tendo em conta que esta não estabelece, previamente, intervalos higrotérmicos apropriados para a conservação, os resultados obtidos foram relativamente satisfatórios, prevendo-se que, caso os acervos presentes nos diferentes espaços tenham permanecido nas mesmas condições durante um longo período de tempo, estes já se encontrem adaptados e aclimatizados ao local onde estão inseridos, estando portanto em equilíbrio. No entanto, é de referir que os dados analisados correspondem apenas a 6 meses de monitorização, quando a norma sugere, pelo menos, 13 meses.

Os índices de desempenho do clima interior das salas monitorizadas, de acordo com a norma UNI 10829:1999, mostraram-se sempre bastante insatisfatórios. De uma forma individual, os intervalos definidos para $T(^{\circ}C)$ e $HR(\%)$, apenas em 36% e 35% do tempo foram cumpridos, respetivamente. A nível global, a média do índice de desempenho higrotérmico registou-se em somente 20% do tempo dentro dos limites impostos para o caso em estudo.

Relativamente à norma ASHRAE:2015 e, mais especificamente, aos limites da classe B, foi possível verificar que, apesar dos valores médios de $T(^{\circ}C)$ e $HR(\%)$ poderem ser considerados satisfatórios, estes dependem bastante das condições higrotérmicas exteriores, como se pôde observar através da análise sazonal. Desta última, concluiu-se que o museu, durante o denominado Período Frio, se apresenta constantemente com temperaturas muito baixas e humidades relativas elevadas (apenas 33,7% dos valores

respeitam o limite sazonal definido pela classe B para a HR(%)). Em sentido inverso, durante os períodos mais quentes, o museu apresenta melhorias no que respeita ao cumprimento das condições higrotérmicas recomendadas, sendo no 3º período onde se verificam condições mais propícias a uma adequada conservação do acervo (95% e 88% dos dados recolhidos cumprem os limites sazonais para T(°C) e HR(%) respetivamente). No que se refere a flutuações diárias, de uma forma geral, os limites foram cumpridos exceto casos pontuais, principalmente nas salas orientadas a poente.

Em síntese, feita uma análise global dos resultados obtidos, conclui-se que as condições higrotérmicas presentes no Museu da Ciência, embora possam não ser totalmente ideais para a conservação do seu acervo (pois são muito dependentes das solicitações exteriores), à luz da norma europeia EN 15757:2010, apresentam um comportamento muito aceitável. Estes resultados levam a prever que o acervo se encontre aclimatizado ao respetivo espaço, não sendo, à primeira vista, absolutamente justificável a introdução de sistemas AVAC, pois pode-se correr o risco de provocar deformações irreversíveis nos objetos, resultantes de uma necessidade de readaptação às novas condições.

Contudo, dado que o período de monitorização foi bastante inferior ao que é sugerido pela norma, esta conclusão carece de confirmação em futuros trabalhos nesta área, que abranjam um período de análise mais alargado (igual ou superior ao sugerido pela norma EN 15757:2010).

6. Referências Bibliográficas

- [1] Y. A. Çengel and M. A. Boles, *Termodinâmica*, 5ª Edição. 2006.
- [2] C. S. F. M. Ferreira, “Inércia higroscópica em museus instalados em edifícios antigos - utilização de técnicas passivas no controlo da humidade relativa interior,” Universidade do Porto, 2015.
- [3] I. dos M. e da C. IMC, *Plano de Conservação Preventiva*. Clara Camacho, 2007.
- [4] M. D. E. E. Do Emprego, “Portaria n.º 353-A/2013 : valores mínimos de caudal de ar novo,” *Diário da República*, no. 2, 2013.
- [5] European Committee for Standardization (CEN) - EN 15757:2010, “Conservation of Cultural Property Specifications for temperature and relative humidity to limit climate-induced mechanical damage in organic hygroscopic materials.” Itália CEN, Itália, 2010.
- [6] H. E. Silva and F. M. A. Henriques, “Microclimatic analysis of historic buildings : A new methodology for temperate climates,” *Build. Environ.*, vol. 82, pp. 381–387, 2014.
- [7] T. Alexandra and S. Henriques, “Avaliação do Clima Interior no Museu Nacional de Arte Antiga,” Universidade Nova de Lisboa, 2015.
- [8] C. T. I. (CTI), “Beni di interesse storico e artistico – Condizioni ambientali di conservazione - Misurazione ed analisi - UNI 10829.” 1999.
- [9] V. D’Agostino, “Conservazione integrata dei beni culturali ed ambientali,” Università degli Studi di Napoli Federico II, 2005.
- [10] S. P. Corgnati, V. Fabi, and M. Filippi, “A methodology for microclimatic quality evaluation in museums : Application to a temporary exhibit,” *Build. Environ.*, vol. 44, no. 6, pp. 1253–1260, 2009.
- [11] R. and A.-C. E. American Society of Heating, “Chapter 23 - Museums, Galleries, Archives and Libraries,” in *ASHRAE Handbook*, 2015.
- [12] H. E. Silva and F. M. A. Henriques, “Análise microclimática de um edifício histórico em clima temperado: limites sustentáveis para a correta conservação dos materiais,” *Construção Mag.*, pp. 65–77, 2015.
- [13] U. de Coimbra, “Museu da Ciência,” 2009. Página consultada em 10 de Junho de 2017, e disponível em: <https://www.uc.pt/museudaciencia>.
- [14] U. de Coimbra, “O Laboratório Chimico e o Colégio de Jesus,” 2014. Página consultada em 10 de Junho de 2017, e disponível em: https://www.uc.pt/org/historia_ciencia_na_uc/Textos/museu/labchimico.
- [15] MCUC, “Descrição MCUC,” 2017. Página consultada em 10 de Junho de 2017, e disponível em: <http://www.museudaciencia.org/index.php?module=content&option=collections&action=description>.
- [16] UNESCO, “University of Coimbra – Alta and Sofia,” 2013. Página consultada em 16 de Junho de 2017, e disponível em: <http://whc.unesco.org/en/list/1387>.
- [17] A. ICOIMBRA27, “ADAI@LAI ICOIMBRA27,” 2017. Página consultada em 7 de Março de 2017, e disponível em: <https://www.wunderground.com/weatherstation/WXDailyHistory.asp?ID=ICOIMBRA14&day=25&month=10&year=2016&graphspan=month&format=1>.

- [18] M. H. J. Martens, “Climate risk assessment in museums : degradation risks determined from temperature and relative humidity data.” - PhD Thesis, Eindhoven University of Technology, 2012.

Bibliografia

- L. Dias Pereira, A. Rodrigues Gaspar, G. Pereira, and J. Joaquim Costa, “Assessment of the hygrothermal air conditions of the Science Museum of the University of Coimbra,” in *Intangibility Matters, International Conference on the values of tangible heritage*, 2017.

ANEXO A – UNI 10829:1999 – Tabela Síntese

Tabela – Especificações de temperatura e humidade relativa para cada tipo de material, segundo a UNI 10829:1999 [8]

Bene di interesse storico ed artistico	θ_0	$\Delta\theta_{\max}$	$u_0^{(1)}$	Δu_{\max}	E_{\max}	UV_{\max}	LO_{\max}
MATERIALI/OGGETTI DI NATURA ORGANICA							
Manufatti artistici di carta, cartapesta, veline, tappezzerie ²⁾	da 18 a 22	1,5	da 40 a 55	6	50	75	0,2
Tessuti, velari, tendaggi, tappeti, tappezzerie in stoffa, arazzi, seta, costumi, abiti, paramenti religiosi, materiali in fibra naturale, sisal, juta ³⁾	da 19 a 24	1,5	da 30 a 50	6	50	75	0,2
Cere, cere anatomiche ⁴⁾	< 18	NR ⁵⁾	NR ⁵⁾	NR ⁵⁾	150	75	-
Erbari e collezioni	da 21 a 23	1,5	da 45 a 55	2	50	75	0,2
Collezioni entomologiche	da 19 a 24	1,5	da 40 a 60	6	50	75	0,2
Animali e organi anatomici conservati in formalina	da 15 a 25	-	NR ⁵⁾	NR ⁵⁾	50	75	0,2
Animali, organi anatomici essiccati, mummie	da 21 a 23	1,5	da 20 a 35	-	50	75	0,2
Pellicce, piume, animali ed uccelli impagliati	da 4 a 10	1,5	da 30 a 50	5	50	75	0,2
Disegni, acquerelli, pastelli e simili su supporto cartaceo	da 19 a 24	1,5	da 45 a 60	2	50	75	0,2
Collezioni etnografiche, maschere, cuoio, indumenti di cuoio	da 19 a 24	1,5	da 45 a 60	6	50	75	0,2
Dipinti su tela, pitture a olio su tela e canovaccio, tempera, guazzi	da 19 a 24	1,5	da 40 a 55	6	150	75	0,5
Documenti archivistici su carta o pergamena, papiri, manoscritti, volumi a stampa, collezioni filateliche	da 13 a 18	-	da 50 a 60	5	150 ⁶⁾	75 ⁶⁾	-
Legature di libri con pelle o pergamena	da 19 a 24	1,5	da 45 a 55	6	50	75	0,2

MATERIALI/OGGETTI DI NATURA ORGANICA							
Lacche, mobili intarsiati, decorati o laccati	da 19 a 24	1,5	da 50 a 60	4	50	75	0,2
Sculture policrome di legno, legno dipinto, pitture su legno, icone, pendole di legno, strumenti musicali di legno	da 19 a 24	1,5	da 50 a 60	4	50	75	0,2
Sculture di legno non dipinte, oggetti di vimini, pannelli di legno o corteccia	da 19 a 24	1,5	da 45 a 60	4	150	75	0,5
MATERIALI/OGGETTI DI NATURA INORGANICA							
Porcellane, ceramiche, grès, terracotta, tegole non da scavo e da scavo se demineralizzate	NR ⁵⁾	-	NR ⁵⁾	10	NR ⁵⁾	-	-
Pietre, rocce, minerali, meteoriti (porosi) stabili	da 19 a 24	-	da 40 a 60	6	NR ⁵⁾	-	-
Mosaici di pietre, pietre, rocce, minerali, meteoriti (non porosi), fossili e collezioni di pietre ⁷⁾	da 15 a 25	-	da 20 a 60	10	NR ⁵⁾	-	-
Metalli, metalli levigati, leghe metalliche, argenti, armature, armi, bronzi, monete, oggetti in rame, stagno, ferro, acciaio, piombo, peltri ⁸⁾	NR ⁵⁾	-	< 50	-	NR ⁵⁾	-	-
Metalli con siti di corrosione attivi	NR ⁵⁾	-	< 40	-	NR ⁵⁾	-	-
Ori	NR ⁵⁾	-	NR ⁵⁾	-	NR ⁵⁾	-	-
Gesso	da 21 a 23	1,5	da 45 a 55	2	150	75	0,5
Vetri instabili, iridescenti, sensibili, mosaici di vetro sensibili	da 20 a 24	1,5	da 40 a 45	-	150	75	0,5
OGGETTI MISTI							
Pittura murale, affreschi, sinopie (staccate)	da 10 a 24	-	da 55 a 65	-	NR ⁵⁾	-	-
Pitture murali a secco (staccate)	da 10 a 24	-	da 50 a 45	-	150	75	0,2
Avori, corna, collezioni malacologiche, uova, nidi, coralli	da 19 a 24	1,5	da 40 a 60	6	150	75	0,5
Dischi fonografici	da 10 a 21	-	da 40 a 55	2	-	-	-
Fibre sintetiche	da 19 a 24	-	da 40 a 60	-	50	75	0,2
Film, fotografie a colori ⁹⁾	da 0 a 15	-	da 30 a 45	-	50	75	0,2
Film, fotografie in bianco e nero ⁹⁾	da 0 a 15	-	da 30 a 45	-	150	75	0,2
Nastri magnetici (esclusi nastri per computer e videotape) ⁹⁾	da 5 a 15	-	da 40 a 60	-	-	-	-
Oggetti di materiali organici provenienti da zone di scavo umide (prima del trattamento) ¹⁰⁾	< 4	-	in aria satura	-	-	-	-
Materie plastiche	da 19 a 24	-	da 30 a 50	-	< 300	75	-

1) Adottare un valore possibilmente fisso scelto tra gli estremi.

5) NR = Non rilevante.

7) Valori di umidità relativa molto specifici (dipende dai campioni).

8) Nel caso di oggetti costituiti da parti metalliche diverse tra loro saldate, oscillazioni di temperatura possono produrre effetti dannosi.

9) In mancanza di indicazioni specifiche del produttore.

10) Allo scopo di prevenire attacchi biologici sono necessarie temperature ridotte (dell'ordine di 4 °C), immediati trattamenti antisettici e/o condizioni particolari di conservazione.

Nota - Le condizioni ambientali qui riportate per oggetti di natura organica e misti, tengono conto solo della natura chimico-fisica del materiale costituente. In certi casi mantenere l'oggetto nelle condizioni ambientali riportate, oppure portarlo quando proviene da condizioni diverse, può risultare molto pericoloso. Per proporre un valore di u_0 è indispensabile tenere conto almeno dei seguenti fattori: l'invecchiamento e gli eventuali trattamenti subiti dai materiali prima della lavorazione, le condizioni ambientali alle quali il manufatto è stato sottoposto nel corso del tempo, le eventuali situazioni di sollecitazione meccanica a cui è soggetto.

ANEXO B – ASHRAE:2015 – Tabela Síntese

Tabela – Especificações da ASHRAE para temperatura e humidade relativa[11]

Tipo	Valores de Referência ou Média Anual	Flutuações Máximas e Gradientes em Espaços Controlados			Riscos e Benefícios para as Coleções
		Classe de Controlo	Pequenas Flutuações	Ajustes sazonais dos valores de referência	
Museus em geral, Galerias de Arte, Bibliotecas e Arquivos Salas de consulta e leitura, salas para armazenamento de colecções quimicamente estáveis em particular se forem mecanicamente vulneráveis	50% HR (ou a média anual histórica para as colecções permanentes) Temperatura: um valor entre 15 e 25°C Nota: Nas salas destinadas a exposições temporárias deve ser possível o valor solicitado pela entidade que empresta, tipicamente 50%, 21°C mas por vezes 55 ou 60%.	AA Controle de precisão, sem correcção sazonal	±5% HR, ±2°C	HR sem alteração. T 5°C acima do valor de referência e 10°C abaixo	Nenhum risco de degradação mecânica para a maior parte dos artefactos e da pintura. Alguns metais e minerais poderão degradar-se se um valor da HR de 50% exceder um valor crítico. Objectos quimicamente instáveis estarão inutilizáveis dentro de décadas.
		A Controle de precisão, alguns factores ou alterações sazonais mas não os dois	±5% HR, ±2°C	Aumentar ou reduzir a HR 10%, aumentar a Temperatura 5°C ou reduzi-la 10°C	Risco reduzido de degradação mecânica para artefactos muito sensíveis, nenhum risco para a maior parte dos artefactos, pintura, fotografias e livros.
		B Controle de precisão de alguns factores mais um ajuste da temperatura de Inverno	±10% HR, ±5°C	Mais 10%, menos 10% HR; mais 10°C mas não acima de 30°C, diminuir até um valor suficientemente baixo para manter o controlo da HR	Risco moderado de degradação mecânica em objectos muito sensíveis, risco muito pequeno para a maior parte da pintura e da fotografia, alguns livros e artefactos e risco praticamente nulo para muitos artefactos e a maior parte dos livros. Os objectos quimicamente instáveis ficarão inutilizados dentro de décadas, menos se estiverem regularmente a 30°C, mas os períodos frios do Inverno duplicam a sua vida.
		C Evitar os extremos mais perigosos		HR mantida entre 25% e 75% durante todo o ano, temperatura raramente acima dos 30°C, normalmente inferior a 25°C	Risco elevado de degradação mecânica para artefactos muito vulneráveis, risco moderado para a maior parte da pintura e da fotografia e alguns artefactos e alguns livros e um pequeno risco para muitos artefactos e a maior parte dos livros. Os objectos quimicamente instáveis ficarão inutilizados dentro de décadas, menos se estiverem regularmente a 30°C, mas os períodos frios do Inverno duplicam a sua vida.
		D Evitar a humidade		HR mantida de forma segura a um valor inferior a 75%	Risco elevado de deterioração mecânica brusca ou acumulada para a maior parte devido á fractura por humidade relativa demasiado baixa, mas são evitadas as deformações provocadas por humidade elevada especialmente nos embutidos, pintura, papel e fotografias. Os objectos quimicamente instáveis ficarão inutilizados dentro de décadas, menos se estiverem regularmente a 30°C, mas os períodos frios do Inverno duplicam a sua vida.
Arquivos, Livrarias Salas para armazenamento de colecções quimicamente instáveis	Sala fria -20°C 40% HR	±10% HR, ±2°C			Objectos quimicamente instáveis estarão inutilizados num milénio. Flutuações de HR durante um mês não afectam propriamente os registos do armazenamento a esta temperatura (o tempo fora do armazenamento torna o tempo de vida determinante)
	Sala fria 10°C, 30 a 50% HR	(Mesmo que esta diminuição seja apenas no Inverno, é considerada uma vantagem para as colecções semelhantes desde que não fiquem sujeitas à humidade)			Objectos quimicamente instáveis estarão inutilizados num século ou mais. Materiais como livros e papéis tendem a ter baixa vulnerabilidade mecânica às flutuações.
Colecções de Metais esp.	Sala seca: 0 a 30% HR	A humidade relativa não pode exceder nenhum valor crítico, tipicamente 30% HR			

ANEXO C – Características higrotérmicas gerais

Neste anexo são apresentadas as características higrotérmicas gerais recolhidas dos aparelhos de monitorização, estando também indicado aqueles que se encontram dentro/fora de armários, com/sem iluminação, ou em pisos superiores/inferiores.

Tabela – Valores higrotérmicos gerais com base nos dados recolhidos de cada aparelho

	Temperatura [°C]				HR [%]			
	Máximo	Média + DP	Mínimo	Mediana	Máximo	Média + DP	Mínimo	Mediana
DEM 12	27,9	18,2 ± 4,7	10,0	17,6	78,0	56,0 ± 7,5	22,6	55,3
DEM 13	27,9	18,0 ± 4,8	9,3	17,2	80,5	57,8 ± 8,4	15,5	57,2
DEM 15	27,4	17,2 ± 4,7	8	16,6	87,1	60,6 ± 10,6	15	60,6
DEM 16	28,5	18,0 ± 5,1	8,7	17,2	83,3	55,7 ± 10,2	15	54,3
DEM 17	28,7	18,2 ± 5,0	9,3	17,4	69,1	57,2 ± 5,6	37,3	56,7
DEM 18	28,7	17,9 ± 5,0	8,9	17,3	88,8	57,8 ± 10,2	15	56,7
DEM 19	28,8	18,4 ± 4,8	10,1	17,5	69,9	52,9 ± 6,8	25,9	52
DEM 20	27,6	17,5 ± 4,6	9,2	16,7	81,2	56,7 ± 8,8	15	56
DEM 21	28,7	17,9 ± 5,0	9,3	17	82,7	56,2 ± 9,3	21,6	54,7
DEM 22	27,6	17,7 ± 4,5	9,4	16,9	68,7	59,5 ± 4,4	41,6	59,5
DEM 23	28,3	18,0 ± 4,5	9,3	17,3	65,6	56,5 ± 4,4	38,3	56,5
DEM 24	31	17,9 ± 4,9	8	17,5	82,8	57,1 ± 8,9	21,7	57,2
DEM 25	29,7	18,3 ± 4,5	9	17,9	74,6	58,8 ± 6,0	34,4	58,5
DEM 26	33,5	18,4 ± 5,3	7,5	18,2	82	57,6 ± 9,4	27,3	57,8
DEM 27	27,1	16,5 ± 5,1	7	15,9	82,8	64,6 ± 8,8	28,2	63
Média	28,8	17,9	8,9	17,2	78,5	57,7	25,0	57,1

- Aparelhos dentro de armários: DEM 17, DEM 19, DEM 22 (com iluminação), DEM 23 (sem iluminação), DEM 25; Todos os restantes aparelhos encontram-se fora de armários.

- Os aparelhos DEM 22 e DEM 23 estão localizados na mesma sala (HN5).

- Os aparelhos DEM 20 e DEM 21, localizados na sala HN4, foram colocados a alturas diferentes, sendo que o primeiro se encontra ao nível do pavimento enquanto que o DEM 21 está colocado a um nível superior, sob um armário expositivo.

ANEXO D – ASHRAE: 2015 – Análise Global

Tabela - Distribuição (%) dos dados recolhidos pelos intervalos impostos pela categoria B em todos os sensores, durante o período de monitorização

	ASHRAE:2015 Período Total (4/01 - 28/06)					
	Temperatura [°C]			HR [%]		
	% <15	% 15-25	% >25	% <40	% 40 - 60	% >60
DEM 12	30,0	62,3	7,7	1,9	70,3	27,8
DEM 13	32,8	59,8	7,4	1,8	63,5	34,7
DEM 15	40,7	54,9	4,4	3,1	44,2	52,7
DEM 16	36,0	54,3	9,7	3,7	66,4	29,9
DEM 17	33,4	56,7	10,0	0,5	65,3	34,2
DEM 18	35,1	56,6	8,3	2,7	62,2	35,1
DEM 19	30,3	59,6	10,1	2,8	76,8	20,4
DEM 20	37,0	57,0	5,9	2,3	68,3	29,4
DEM 21	36,5	54,9	8,7	2,3	66,3	31,4
DEM 22	33,5	60,9	5,5	0,0	56,3	43,7
DEM 23	31,1	62,4	6,5	0,0	77,6	22,4
DEM 24	35,1	57,4	7,5	2,8	61,5	35,8
DEM 25	29,4	64,4	6,2	0,8	59,5	39,7
DEM 26	32,8	55,6	11,6	3,2	55,8	41,0
DEM 27	43,8	52,3	3,9	1,0	31,0	68,1
Média	34,5	57,9	7,6	1,9	61,7	36,4

ANEXO E – UNI 10829:1999 – Tabela Geral

Tabela – Índice de desempenho global e individual através dos dados registados de cada aparelho

	UNI 10829:1999		
	T (°C)	HR (%)	PI GLOBAL [%] (T & HR)
	PI [%] (19-24° C)	PI [%] (45-55%)	
DEM 12	37	46	25,3
DEM 13	37	32	18
DEM 15	39	23	10,9
DEM 16	35	46	22,9
DEM 17	34	42	26,3
DEM 18	36	36	19,3
DEM 19	34	58	26,7
DEM 20	38	40	20
DEM 21	36	47	25,1
DEM 22	33	15	11,4
DEM 23	37	37	24,8
DEM 24	37	35	18,8
DEM 25	39	26	18,4
DEM 26	35	32	16,2
DEM 27	37	10	6,6