

Caracterização do Ambiente Interior na Casa-Forte da Biblioteca Geral da Universidade de Coimbra

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

Autor

Maria de La-Salette Gomes de Sousa

Orientador

Professor Doutor António Rui de Almeida Figueiredo

Professor Associado com Agregação da Universidade de Coimbra

Júri

Presidente

Professor Doutor José Joaquim da Costa

Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Vogal

Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar

Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Coimbra, Setembro de 2011

“Nada se obtém sem esforço; tudo se pode conseguir com ele.”

Ralph Emerson

À minha família,
namorado
e amigos.

AGRADECIMENTOS

O trabalho que aqui se apresenta só foi possível graças à colaboração e apoio de algumas pessoas, às quais não posso deixar de prestar o meu reconhecimento.

Ao Professor Doutor António Rui de Almeida Figueiredo por partilhar comigo todo o seu conhecimento e experiência, pela disponibilidade, apoio, confiança, motivação e conselhos na orientação da dissertação, pois sem ele a elaboração deste trabalho não seria possível, o meu mais profundo agradecimento.

Ao Doutor Jorge Pais de Sousa agradeço a disponibilidade, interesse demonstrado na visita à Biblioteca Geral da Universidade de Coimbra e por toda a informação cedida.

Ao Engenheiro Vitor Silva, doutorando do DEM, pela disponibilidade e atenção que me prestou, sem a sua preciosa ajuda tudo se tornaria mais difícil, um muito obrigado.

Ao Doutor João Gonçalves, docente do Instituto Politécnico de Viseu, pela ajuda prestada e por se mostrar disponível a colaborar sempre que necessário.

Aos meus Pais, irmã e restante família, por todo o apoio e disponibilidade demonstrada, não só neste momento, mas em todos estes anos de vida académica que só foram possíveis de serem vividos graças a eles. Um obrigado muito especial.

Ao meu namorado Tiago Matias, pelo amor, carinho, companheirismo e incentivo, por ter estado sempre presente nesta fase tão importante da minha vida, por me ter apoiado quando mais precisei. És a pessoa mais especial do mundo. Não há palavras para descrever o meu agradecimento.

A todos os meus amigos e colegas de curso que me acompanharam ao longo da minha vida académica e em especial durante a elaboração desta tese, por todo o apoio, estímulo, amizade, compreensão, motivação e paciência, o meu muito obrigado.

RESUMO

Esta dissertação foi realizada no âmbito de um protocolo criado entre a Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial (ADAI) e a Biblioteca Geral da Universidade de Coimbra (BGUC), com o objectivo de analisar as condições higrotérmicas existentes na Casa-Forte da BGUC.

A conservação dos acervos bibliográficos no interior da Casa-Forte, devido ao seu valor histórico, tem preocupado os responsáveis pela BGUC. A sua constante deterioração e instabilidade incentivaram a realização de um estudo aos parâmetros ambientais deste local, tais como humidade relativa e temperatura, pois sabe-se que esses parâmetros são os principais responsáveis pela deterioração dos arquivos em papel, propiciando também o desenvolvimento de microrganismos e o surgimento de insectos e até roedores.

Nos últimos anos têm existido alguns estudos para determinar os principais factores de degradação do papel e para definir quais as condições óptimas para a sua preservação. Quanto à temperatura e humidade relativa existe alguma concordância entre a gama de valores favoráveis à conservação dos acervos. Sendo assim, os níveis de temperatura devem situar-se entre os 18 e os 22 °C e a humidade relativa entre 50 a 60%.

Após a conclusão do estudo realizado, verificou-se que as condições no interior da Casa-Forte não são boas para a preservação uma vez que foram detectados valores altos de humidade relativa durante o período de observação, quando comparados com os valores tidos como referência. Quanto à temperatura, esta apresenta um comportamento térmico razoável tanto com o equipamento AVAC ligado como desligado.

Palavras-chave: Condições Higrotérmicas, Conservação, Humidade Relativa, Preservação, Temperatura.

ABSTRACT

This dissertation was performed in the frame of a protocol established between the Association for the Development of Industrial Aerodynamics (ADAI) and the General Library of the University of Coimbra (BGUC), with the aim of analyzing the hygrothermal conditions existing in the Strong-Box of the BGUC.

The conservation of library collections inside the Strong-Box, due to its historical value, has preoccupied BGUC managers. Its continuous deterioration and instability encouraged a study of local environmental parameters such as humidity and temperature, because it is known that these parameters are the main responsible by the deterioration of paper files, providing also the development of microorganisms and the emergence of insects and even rodents.

In recent years there have been some studies to determine the main factors of degradation of paper and to define the optimal conditions for its preservation. For the temperature and relative humidity there is some agreement about the range of values favorable to conservation of collections. Thus, temperature levels should be between 18 and 22 ° C and relative humidity between 50 to 60%.

At the end of this study it was found that the indoor conditions of the Strong-Box do not match good conditions of preservation, since high values of relative humidity were detected during the period of observation, when compared with the values taken as reference. With regard to temperature, this presents a reasonable thermal behavior both with the HVAC equipment on as off.

Keywords: Hygrothermal Conditions, Conservation, Relative Humidity, Preservation, Temperature.

ÍNDICE

Índice de Figuras	vi
Índice de Tabelas	viii
Simbologia e Siglas	ix
Simbologia.....	ix
Siglas	ix
Definição de Conceitos.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1. Breves Considerações.....	11
1.2. Motivação e Objectivos	12
1.3. Estado da Arte	13
1.4. Estrutura do Documento.....	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1. Principais Agentes de Destruição dos Acervos	15
2.1.1. Factores de Degradação Internos (Intrínsecos)	15
2.1.2. Factores de Degradação Externos (Extrínsecos)	15
2.2. Humidade Relativa	19
2.3. Temperatura.....	21
2.4. Efeitos das Variações da Temperatura e da Humidade Relativa nos Acervos.....	22
2.5. Níveis Recomendados de Temperatura e de Humidade Relativa.....	23
2.6. Técnicas de Monitorização de Temperatura e Humidade	23
2.6.1. Monitorização Pontual.....	23
2.6.2. Monitorização Contínua	24
2.7. Determinação da taxa de renovação de ar	25
2.7.1. Técnica do decaimento	26
3. DESCRIÇÃO DO ESPAÇO	28
3.1. Caracterização da Casa-Forte	28
4. METODOLOGIAS E RESULTADOS	31
4.1. Estudo Higrométrico do Interior da Casa-Forte	31
4.1.1. Metodologia.....	31

4.1.2. Resultados.....	33
4.1.3. Discussão.....	36
4.2. Caracterização da Sensibilidade Interna do Edifício às Variações de Temperatura e Humidade Exteriores.....	39
4.2.1. Metodologia.....	39
4.2.2. Resultados e Discussão.....	40
4.3. Determinação da Taxa de Renovação do Ar no Interior da Casa-Forte.....	41
4.3.1. Metodologia.....	41
4.3.2. Resultados e Discussão.....	42
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES FUTURAS.....	46
5.1. Conclusões.....	46
5.2. Sugestões Futuras.....	47
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
ANEXO A. EQUIPAMENTOS DE MEDIDA.....	52
A.1. <i>Datalogger</i>	52
A.2. Medidor de CO ₂	53
ANEXO B. CÁLCULO DA HUMIDADE ABSOLUTA.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Manchas de humidade.....	16
Figura 2.2: Inadequado acondicionamento de livros: (a) livros dobrados; (b) livro deformado.....	17
Figura 2.3: Manchas de ferrugem.....	18
Figura 2.4: Livro atacado por insectos.	19
Figura 2.5: Carta Psicrométrica.	20
Figura 2.6: Aparelhos de monitorização pontual: (a) psicrómetro; (b) termohigrómetro. ..	24
Figura 2.7: Aparelhos de monitorização contínua: (a) termohigrógrafo; (b) <i>datalogger</i>	25
Figura 3.1: Grelhas de respiração no interior da Casa-Forte.....	28
Figura 3.2: Interior da Casa Forte: (a) unidades de tratamento de ar; (b) desumidificador. 29	
Figura 3.3: Armazenamento dos acervos no interior da Casa-Forte.	29
Figura 3.4: Localização da Casa-Forte na planta da cave da BGUC.	30
Figura 4.1: Localização dos equipamentos de recolha.....	31
Figura 4.2: Temperaturas e humidades relativas verificadas no interior da Casa-Forte.	33
Figura 4.3: Temperaturas e humidades relativas verificadas na EMA do Aeródromo de Coimbra.	34
Figura 4.4: Comparação entre temperaturas e humidades relativas interiores e exteriores. 35	
Figura 4.5: Humidades absolutas verificadas no interior da Casa-Forte e na EMA do Aeródromo de Coimbra.	36
Figura 4.6: Frequência acumulada e relativa dos valores da temperatura no interior da Casa-Forte, com o equipamento AVAC desligado.	36
Figura 4.7: Frequência acumulada e relativa dos valores da humidade relativa no interior da Casa-Forte, com o equipamento AVAC desligado.....	37
Figura 4.8: Frequência acumulada e relativa dos valores da temperatura no interior da Casa-Forte, com equipamento AVAC ligado.....	37
Figura 4.9: Frequência acumulada e relativa dos valores da humidade relativa no interior da Casa-Forte, com o equipamento AVAC ligado.	37
Figura 4.10: Índice de desempenho global da Casa-Forte, com o equipamento AVAC desligado.....	38

Figura 4.11: Índice de desempenho global da Casa-Forte, com o equipamento AVAC ligado.	39
Figura 4.12: Correlação com o equipamento AVAC desligado: (a) temperaturas interiores e exteriores; (b) humidades absolutas interiores e exteriores.	40
Figura 4.13: Correlação com o equipamento AVAC ligado: (a) temperaturas interiores e exteriores; (b) humidades absolutas interiores e exteriores.	40
Figura 4.14: Decaimento da concentração de CO ₂ no interior da Casa-Forte com o equipamento AVAC ligado.	43
Figura 4.15: Ajustamento linear dos valores de ln(c) medidos pelo equipamento de medição de CO ₂ , no período de decaimento da concentração no interior da Casa-Forte, com o equipamento AVAC ligado.	44
Figura 4.16: Decaimento da concentração de CO ₂ no interior da Casa-Forte com o equipamento AVAC desligado.	44
Figura 4.17: Ajustamento linear dos valores de ln(c) medidos pelo equipamento de medição do CO ₂ , no período de decaimento da concentração no interior da Casa-Forte, com o equipamento AVAC desligado.	45
Figura A.1: <i>Datalogger</i> da marca OMEGA, modelo OM-NOMAD-RH-32.	52
Figura A.2: Analisador de CO ₂ da marca SENSOTRON, modelo PS32.	53

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Período de recolha de dados.	32
Tabela 2: Principais especificações do <i>datalogger</i> da marca OMEGA, modelo OM-NOMAD-RH-32.	53
Tabela 3: Principais especificações do analisador de CO ₂ da marca SENSOTRON, modelo PS32.	53

SIMBOLOGIA E SIGLAS

Simbologia

- c – Concentração de gás traçador [ppm]
 c_0 – Concentração do gás traçador no instante inicial [ppm]
 c_{ext} – Concentração do gás traçador no ar exterior [ppm]
 P_{va} – Pressão do vapor de água [kPa]
 P_{vs} – Pressão de saturação do vapor de água [kPa]
 Q – Caudal de ventilação [m^3/s]
 t – Tempo [s]
 T – Temperatura [$^{\circ}C$]
 V – Volume efectivo do espaço [m^3]
 W – Humidade absoluta [g/m^3]
 W_{sat} – Humidade absoluta de saturação [g/m^3]
 Φ – Humidade relativa [%]
 λ – Taxa de renovação de ar [h^{-1}]

Siglas

- ADAI - Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial
AVAC - Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
BG - Biblioteca Geral
BGUC - Biblioteca Geral da Universidade de Coimbra
EMA - Estação Meteorológica Automática
UC - Universidade de Coimbra

DEFINIÇÃO DE CONCEITOS

Acervo Bibliográfico - É o conteúdo de uma colecção privada ou pública, podendo ser de carácter bibliográfico, artístico, fotográfico, científico, histórico, documental, misto ou qualquer outro [16].

Conservação Preventiva - É a concepção, coordenação e execução de um conjunto de estratégias sistemáticas organizadas no tempo e no espaço, desenvolvidas por uma equipa interdisciplinar com o consenso da comunidade a fim de preservar, resguardar e difundir a memória colectiva no presente e projectá-la para o futuro para reforçar a sua identidade cultural e elevar a qualidade de vida [28].

Índice de Desempenho - Índice que permite medir o desempenho do espaço em relação à humidade relativa e à temperatura simultaneamente.

Inércia Térmica - A inércia térmica de um edifício é a capacidade que o edifício apresenta para contrariar as variações de temperatura no interior face à amplitude térmica ocorrida no exterior [10].

1. INTRODUÇÃO

1.1. Breves Considerações

Arquivos e bibliotecas são instituições estabelecidas pela sociedade, a fim de colectar, preservar e disponibilizar documentos destinados a consulta [24].

A Biblioteca Geral da Universidade de Coimbra (BGUC) guarda verdadeiras preciosidades bibliográficas que nos trazem à memória mais de cinco séculos da história portuguesa e mundial. Trata-se de uma biblioteca pública, que está aberta de manhã à noite não só aos estudantes, docentes e investigadores, mas também aos cidadãos em geral.

Já antes da transferência definitiva da Universidade, fundada inicialmente em Lisboa, para Coimbra em 1537, havia uma biblioteca local chamada Livraria de Estudo. A partir do século XVI, o espólio da Biblioteca foi-se enriquecendo com doações e aquisições de vários conjuntos bibliográficos, destacando-se a compra de valiosos livros em Flandres pelo livreiro e impressor Pedro Mariz.

No reinado de D. João V procedeu-se à construção da Biblioteca Joanina, sendo esta, pela sua riqueza arquitectónica e decorativa, monumento nacional.

No século XX, durante as obras da Cidade Universitária, as instalações da antiga Faculdade de Letras foram adaptadas para uma nova biblioteca designada por Edifício Novo, que passou a funcionar em 1962 [19].

Deste modo, a BGUC encontra-se repartida por dois edifícios, a Biblioteca Joanina que alberga um acervo de livros e documentos anteriores ao ano de 1800, e o chamado Edifício Novo, situado no Largo da Porta Férrea, que reúne aproximadamente um milhão de títulos em 7 mil m².

O edifício onde se irá proceder à recolha de dados necessários ao estudo pretendido, será no Edifício Novo, mais propriamente na Casa-Forte (a descrição deste espaço será abordada no capítulo 4).

A conservação dos acervos em suporte de papel tem preocupado as bibliotecas devido à sua constante deterioração e instabilidade. Certos parâmetros ambientais, tais

como humidade relativa do ar, temperatura ambiente, bem como a poluição atmosférica e a iluminação têm um grande impacto sobre a sua adequada preservação.

Para que o espólio bibliográfico existente nas bibliotecas seja preservado, é importante a caracterização das condições higrotérmicas, humidade e temperatura, tanto no interior do edifício, como no seu exterior. Estudando estas variáveis, é possível verificar se as condições são as ideais para a preservação destes acervos e, caso não sejam, estudar possíveis melhorias.

O controlo das condições ambientais permite não só diminuir os problemas de degradação, mas também evitar o seu agravamento [20].

1.2. Motivação e Objectivos

Esta dissertação adquire um grande interesse pelo facto da preservação dos bens culturais em bibliotecas ser actualmente um tema de grande destaque, e também porque permite conhecer e avaliar quais as condições higrotérmicas que a Casa-Forte da BGUC ostenta para a preservação do seu espólio bibliográfico.

Sabe-se que as condições higrotérmicas, mais propriamente a temperatura e a humidade relativa, são factores climáticos cujas oscilações são responsáveis, em grande parte, pela deterioração do arquivo em papel, propiciando também o desenvolvimento e a propagação de microrganismos, insectos e até roedores, sendo que por esses motivos, é deveras importante a realização de um estudo que permita analisar o comportamento e a capacidade que a Casa-Forte apresenta face à sua função de preservação dos acervos bibliográficos. As medições dos valores de temperatura e humidade relativa permitirão verificar se os valores estão de acordo, ou não, com os valores referidos na literatura como sendo os ideais para a preservação do seu espólio bibliográfico.

O principal objectivo desta dissertação é analisar as condições higrotérmicas no interior da Casa-Forte da BGUC.

Especificamente os objectivos desta dissertação são:

1. Analisar as condições higrotérmicas no interior da Casa-Forte;
2. Verificar se há desvios das condições de referência de temperatura e humidade relativa;

3. Avaliar a relação existente entre as variações internas e externas de humidade relativa e temperatura, pretendendo assim, através da análise desta relação, conhecer também que tipo de inércia o edifício possui;

4. Avaliar, a capacidade de preservação apresentada pela Casa-Forte;

5. Indicar melhorias, se necessário, para o desempenho do interior da Casa-Forte na preservação do seu espólio bibliográfico.

Sendo assim, e tendo em conta que a preservação dos bens culturais em bibliotecas é, actualmente, um tema de grande importância, todos estes objectivos convergem para objectivo final de mitigar os possíveis problemas existentes na Casa-Forte.

1.3. Estado da Arte

O controlo do ambiente interno em simultâneo com o uso eficiente da energia para efectuar esse controlo, pode representar uma ferramenta importante para a protecção e conservação do património cultural [29].

Como referido anteriormente a humidade relativa e a temperatura são os principais factores de degradação do espólio bibliográfico. Em [7] é analisado o comportamento higrotérmico do interior de uma biblioteca construída no séc. XVIII, sendo que o principal enfoque deste artigo centra-se na obtenção da melhor relação entre os parâmetros de conservação dos acervos e do consumo de energia para obtenção desses parâmetros. As principais conclusões foram que a imposição da temperatura e da humidade relativa iguais a 18°C e 55% respectivamente, principalmente no verão, exigem um grande esforço energético e que, devido à grande inércia térmica do edifício, energeticamente é muito mais vantajoso apenas controlar a humidade relativa.

Em [5] é apresentado um estudo das condições microclimáticas de uma exposição temporária num museu, de forma a preservar o espólio mesmo neste tipo de exposições. É apresentado um novo índice de desempenho global onde é possível analisar diferentes parâmetros microclimáticos em conjunto (por exemplo, temperatura e humidade relativa). O estudo destaca que o período crítico em termos de qualidade térmica coincide com o início da exposição temporária, quando as condições climáticas externas incomuns ocorreram. A problemática do controlo climático no interior de museus é abordada também em [8]. Neste artigo foram revistos os parâmetros óptimos para a conservação de obras de arte para actualizar os padrões italianos.

Em [34] são apresentados os principais parâmetros que influenciam a preservação de acervos em papel em bibliotecas e arquivos. Procedimentos e valores para os diversos parâmetros são apresentados. Em [6] o autor conclui que a vida útil do papel depende, entre outros factores, da sua acidez, do seu teor de humidade e da temperatura de armazenamento. Inserindo várias amostras de papel com pH seis e nove em tubos selados com diferentes níveis de humidade e temperatura, concluiu-se que o tempo de vida de ambos os tipos de papel aumentará cerca de seis vezes quando conservado a uma temperatura de 15 °C e 30% de humidade relativa, quando comparado com o papel arquivado com uma temperatura de 20 °C e 50% de humidade relativa.

As condições higrotérmicas no interior da Casa-Forte já foram analisadas em [4]. Contudo este estudo não foi realizado de uma forma exaustiva, tendo sido apenas verificadas as condições higrotérmicas para um curto período de tempo e apenas numa estação do ano. Em [27] e [3] foram também realizados estudos no interior da Casa-Forte, contudo estes, apesar de terem detectado valores não conformes com os valores ideais de armazenamento em relação à humidade relativa, não conseguiram concluir quais as causas para esses valores.

O presente estudo distingue-se-á dos anteriores, visto que será um estudo intensivo, realizado durante um longo período de tempo. Inicialmente com as unidades de tratamento do ar desligadas e posteriormente ligadas, pretendeu-se estudar o comportamento higrotérmico da sala e qual a importância destas unidades na manutenção de uma atmosfera favorável à conservação dos acervos.

1.4. Estrutura do Documento

O presente documento divide-se em 5 capítulos. No primeiro capítulo, no qual se inclui esta secção, é feita a introdução ao tema, são definidos os objectivos do estudo e é apresentado o estado da arte. No segundo capítulo é apresentada a fundamentação teórica, a qual inclui os principais agentes de destruição dos acervos. O terceiro capítulo inclui a descrição do local onde se procede à caracterização da Casa-Forte, local este onde incidirá o presente estudo. O quarto capítulo inclui as metodologias utilizadas, bem como os resultados obtidos. As conclusões deste estudo e as sugestões futuras são apresentadas no quinto e último capítulo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Ao longo dos últimos anos as condições ambientais que se têm verificado em locais como bibliotecas e arquivos, tais como temperatura e humidade relativa, têm demonstrado ser factores ponderantes no que diz respeito à conservação de acervos bibliográficos. As condições higrotérmicas no interior desses locais variam de acordo com a sua posição geográfica e o meio ambiente envolvente.

2.1. Principais Agentes de Destruição dos Acervos

A conservação dos acervos bibliográficos tem preocupado os responsáveis de bibliotecas devido aos seus constantes problemas de deterioração [35]. Através de uma conservação preventiva pretende-se estudar e controlar as principais fontes de degradação do papel.

Em termos gerais, os principais agentes de destruição de acervos bibliográficos podem ser divididos em duas categorias [28]:

- Factores de degradação internos (Intrínsecos);
- Factores de degradação externos (Extrínsecos);

2.1.1. Factores de Degradação Internos (Intrínsecos)

Os factores de degradação intrínsecos dos acervos estão relacionados com a constituição do papel e com a qualidade dos elementos que constituem o mesmo [28]. Dependem basicamente do tipo de fibras do papel e de colagem utilizados, resíduos químicos e partículas metálicas presentes na sua confecção.

2.1.2. Factores de Degradação Externos (Extrínsecos)

Os factores de degradação extrínsecos estão ligados ao meio ambiente em que esse papel se encontra.

Segundo [28] os principais factores de degradação extrínsecos podem ser divididos em agentes físicos, físico-mecânicos, químicos e biológicos.

2.1.2.1. Agentes Físicos: Iluminação, Temperatura e Humidade

Consideram-se como agentes físicos os factores ambientais e climáticos que incidem sobre os suportes em papel causando danos nos mesmos. Nestes destacam-se os efeitos da luz (natural ou artificial), da temperatura e da humidade, que podem ocorrer isoladamente ou de forma combinada.

A radiação ultravioleta emitida pela luz solar e pelas lâmpadas fluorescentes é nociva para os materiais dos acervos, provocando assim consideráveis danos através da oxidação.

Por sua vez, a presença de oscilações dos níveis de humidade relativa pode provocar o aparecimento de manchas de humidade devido à condensação na superfície do papel (Figura 2.1). As variações de humidade e temperatura submetem também os materiais bibliográficos a movimentos de estiramento e de contracção, e ao conseqüente aparecimento de tensões mecânicas, de acordo com o maior ou menor nível de humidade e temperatura, que esses materiais possuam.

Além disso, esses parâmetros são responsáveis pelo desenvolvimento de microrganismos, pragas e insectos, e por vezes proporcionam até o surgimento de roedores. Devido aos perigos a que muitos dos acervos bibliográficos estão sujeitos, enquanto armazenados e expostos em bibliotecas, recomenda-se que os mesmos sejam guardados em locais onde a humidade e a temperatura possam ser devidamente controladas [20].



Figura 2.1: Manchas de humidade.

2.1.2.2. Agentes Físico-mecânicos: Armazenamento e Acondicionamento, Manuseio, Acessibilidade e Desastres (Inundações, Incêndios e Furtos)

Os agentes físico-mecânicos são aqueles que advêm da forma como os materiais são armazenados e manuseados, de sinistros causados pela natureza e acção do homem, tais como a água (cheias ou derramamentos), o fogo (incêndios involuntários ou por negligência) e furtos.

Os critérios para manusear um documento, bem como o seu acondicionamento (Figura 2.2) são determinantes para um maior tempo de vida útil. O ideal para armazenar as colecções bibliográficas são estantes em aço com tratamento antiferruginoso. Os livros devem ser acondicionados nas estantes em posição vertical, nunca com a lombada voltada para cima e o corte lateral voltado para baixo, pois esta posição conduz ao enfraquecimento das costuras.

Os incêndios e as inundações estão entre as primeiras causas dos desastres em bibliotecas. Estes danos podem ser evitados ou minimizados dotando as bibliotecas de um plano adequado de protecção contra incêndios e inundações.



Figura 2.2: Inadequado acondicionamento de livros: (a) livros dobrados; (b) livro deformado.

2.1.2.3. Agentes Químicos: Poluentes Atmosféricos, Poeiras e Materiais Instáveis

Entre os poluentes mais reactivos e agressivos para os acervos em papel, estão as poeiras e os gases provenientes da combustão de combustíveis fósseis.

Para além de prejudicar a estética sobre os documentos, as poeiras favorecem o aparecimento de microorganismos como os fungos, o que pode causar a aceleração da

deterioração dos documentos. Como medida preventiva, a colocação de filtros nos sistemas de ventilação é recomendada [28].

São também considerados como agentes químicos os agentes empregues sobre os acervos e que são constituintes dos mesmos (clipes, insecticidas, colas, etc.). Estes poderão sofrer reacções químicas provocando alterações no papel. Relativamente ao papel, as principais causas de deterioração química são a oxidação e a hidrólise da celulose.

A hidrólise ácida e a oxidação da celulose são provocadas pela presença de factores de natureza química, tais como substâncias libertadas no processo de combustão, e traduz-se num encurtamento das cadeias moleculares do polímero celulósico e no consequente amarelecimento do papel. Em virtude deste facto, o papel torna-se também quebradiço e perde a sua resistência mecânica [18].

A oxidação de partículas e elementos metálicos presentes na polpa do papel, ou nos elementos sustentados (como, por exemplo, pigmentos à base de cobre), vai provocar o aparecimento de manchas de ferrugem (Figura 2.3). Elementos metálicos como agrafos, clips e pregos, face a elevados níveis de humidade relativa, tendem a oxidar, provocando manchas de corrosão irreversíveis e, consequentemente, degradando o papel ao qual estão aplicados [18].



Figura 2.3: Manchas de ferrugem.

2.1.2.4. Agentes biológicos: Microrganismos (Fungos, Bactérias), Insectos (Traças, Baratas) e Roedores

O florescimento de fungos e a proliferação de insectos e roedores vai provocar o aparecimento de um conjunto de fenómenos degenerativos denominados biodeterioração. A existência de actividade biológica deve-se fundamentalmente à presença de alimento nos

principais componentes do papel (celulose, glucose, etc...) e às condições de humidade relativa e temperatura ideais à sua maturação e reprodução.

Os fungos, usualmente conhecidos como “mofo” ou “bolor”, são microorganismos que se alimentam de substâncias orgânicas presentes no papel, nas colas, no pergaminho e no couro. A sua actividade pode levar ao total decaimento dos objectos.

Os insectos, tal como os fungos, também encontram alimento nas substâncias que constituem o papel, nomeadamente a celulose. O seu ataque manifesta-se com a presença de perfurações e lacunas irregulares no suporte, acumulação de excrementos, colagem das folhas e endurecimento do suporte, originando perdas importantes dos bens patrimoniais (Figura 2.4).

Os roedores preferem os ambientes quentes, húmidos e escuros causando grandes estragos nos acervos e transmitindo doenças fatais ao homem [28].

Uma limpeza constante dos documentos, bem como o controlo da humidade e temperatura impossibilitam o acesso destes organismos, garantindo uma maior vida útil aos acervos bibliográficos.



Figura 2.4: Livro atacado por insectos.

2.2. Humidade Relativa

Um dos factores mais importantes a ser controlado em bibliotecas é a humidade. Valores altos de humidade são responsáveis pela proliferação de organismos e pelo aparecimento de manchas de humidade, enquanto que valores demasiado baixos provocam a secagem do papel.

A humidade relativa é a relação, em percentagem, entre a quantidade de vapor de água que existe no ar e a quantidade máxima que o ar poderia conter para uma mesma temperatura [12]. No caso de saturação, a humidade relativa do ar será 100% e no caso de

o ar estar absolutamente seco, a humidade relativa será 0%. Esta depende não só da quantidade de vapor de água contida no ar, mas também da temperatura deste. Se a quantidade de vapor de água contida no ar permanecer constante, a humidade relativa aumenta se a temperatura descer. Deste modo, mantendo-se a pressão constante e a mesma massa de ar, os valores da humidade relativa são mais elevados de madrugada, visto as temperaturas serem mais baixas [12].

As propriedades de misturas ar-vapor de água podem ser apresentadas de forma gráfica através de cartas psicrométricas.

Uma carta psicrométrica [9] é mostrada na Figura 2.5. As temperaturas do bolbo seco, ou seja, as temperaturas do ar obtidas com um termómetro comum, são mostradas no eixo horizontal e a humidade absoluta no eixo vertical. A humidade absoluta é a massa de vapor de água contida num dado volume de ar. A carta é construída para uma pressão total de 101,325 kPa, que corresponde à pressão ao nível do mar.

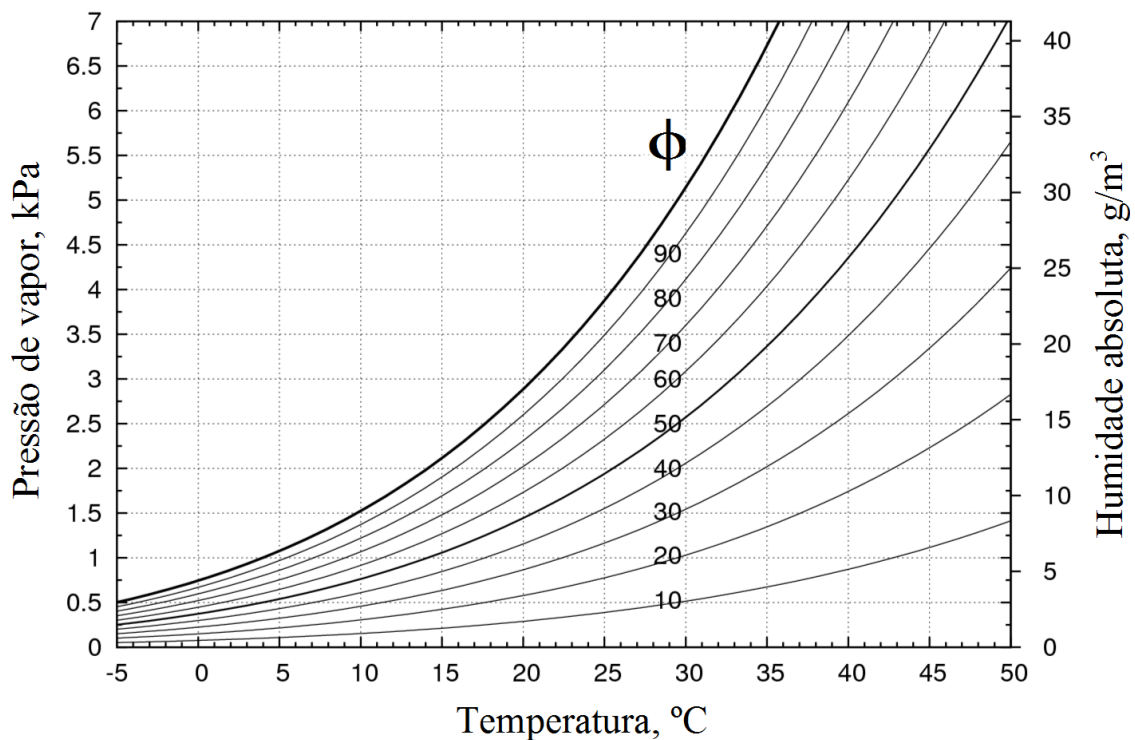


Figura 2.5: Carta Psicrométrica.

Analisando o gráfico verificamos que à temperatura de 10 °C, o ar não pode conter mais de 9 g de vapor de água por m³. Quando o ar atinge o seu máximo de humidade absoluta, diz-se que este está saturado.

Se num recipiente fechado estiver 1 m^3 de ar a uma temperatura de $10 \text{ }^\circ\text{C}$ e este contiver 1 g de vapor de água, a humidade absoluta é de 1 g/m^3 . Se adicionarmos mais 10 g de água, 2 g condensar-se-ão, uma vez que o ar à temperatura de $10 \text{ }^\circ\text{C}$ só pode suportar 9 g/m^3 . Formar-se-iam gotículas de água nas paredes laterais do recipiente, uma vez que o ar perde parte da humidade sob a forma de condensação. Um caso semelhante acontece no Inverno quando no interior de uma casa, o ar interior ao dirigir-se para as vidraças das janelas, normalmente frias, é arrefecido até temperaturas abaixo do seu ponto de condensação, formando gotas de água na janela.

A humidade relativa (Φ) pode ser calculada a partir da seguinte equação:

$$\Phi = \frac{W}{W_{sat}} \times 100\%, \quad (2.1)$$

sendo que W representa a humidade absoluta da amostra de ar e W_{sat} representa a humidade absoluta máxima que o ar pode conter para uma determinada temperatura.

A humidade relativa do ar no recipiente a $10 \text{ }^\circ\text{C}$, quando este contém 1 g de vapor de água, é então dada por:

$$\Phi = \frac{1}{9} \times 100\% = 11,1\%. \quad (2.2)$$

Como é possível verificar a partir da análise da Figura 2.5 para uma humidade absoluta do ar uniforme, a humidade relativa vai diminuir à medida que a temperatura do ar aumenta e vice-versa.

Sendo assim, se o ar contido no recipiente for aquecido até atingir os $20 \text{ }^\circ\text{C}$, a humidade relativa registaria um decréscimo visto que o gráfico higrométrico indica que a esta temperatura 1 m^3 de ar pode conter 17 g/m^3 de vapor de água.

$$\Phi = \frac{1}{17} \times 100\% = 5,9\%. \quad (2.3)$$

2.3. Temperatura

A preocupação com o local de armazenamento das colecções bibliográficas é um factor prioritário. A temperatura do local deve ser relativamente baixa e com poucas flutuações. Sabe-se que temperaturas baixas aumentam a estabilidade química do papel (a diminuição de $2 \text{ }^\circ\text{C}$ na temperatura ambiente, resulta numa longevidade dos livros sete vezes maior [26]) e que um acervo bibliográfico armazenado a uma temperatura constante

irá ter uma longevidade maior do que um acervo armazenado com uma temperatura com flutuações.

No caso especial da celulose, testes artificiais de envelhecimento indicam que um aumento de 5 °C da temperatura provoca quase a duplicação da taxa de deterioração, mesmo na ausência de luz, poluentes ou outros factores [25].

Deste modo a instalação de aparelhos de ar condicionado deve ser adequada para equilibrar a temperatura e não haver oscilações.

2.4. Efeitos das Variações da Temperatura e da Humidade Relativa nos Acervos

Como descrito anteriormente, a humidade relativa depende da temperatura do ar. Se não for adicionada ou retirada água intencionalmente do ar num espaço fechado, a humidade poderá migrar de um acervo para o ar, quando a temperatura subir. Caso a temperatura baixe, pode acontecer o fenómeno inverso, ou seja, a humidade poderá retornar ao acervo e, provavelmente, provocará o aparecimento de fungos e de outros problemas associados ao excesso de humidade. Consequentemente, o teor de humidade dos materiais em bibliotecas e arquivos muda continuamente em resposta às mudanças no ambiente. A presença de grandes humidades vai também facilitar a formação de ácidos, contribuindo assim para uma mais rápida degradação dos acervos [25].

Rápidas flutuações na temperatura e na humidade relativa aceleram também a deterioração devido à expansão e ao encolhimento das fibras do papel com as mudanças do nível de humidade. Contrariamente, alterações moderadas, durante um vasto período de tempo, produzem uma tensão mínima sobre os materiais, que assim ficam protegidos dos fenómenos prejudiciais de expansão e contracção [1].

Para proceder ao controlo da temperatura e da humidade poderá ser necessário recorrer a equipamentos de climatização, ar condicionado, humidificadores ou desumidificadores e aquecedores. A ventilação natural ou forçada pode ser também um recurso a ser usado.

2.5. Níveis Recomendados de Temperatura e de Humidade Relativa

Uma questão à qual ainda é um pouco difícil de responder é quais são os níveis considerados como ideais ou os mais convenientes à conservação de acervos bibliográficos. Na norma ISO-11799 de 15 de Setembro de 2003 [24] são apresentadas as normas para o armazenamento de materiais em arquivos e bibliotecas. Para acervos em papel é indicado que a temperatura deve manter-se entre os 2 e os 18 °C, com tolerância de 1 °C, e a humidade relativa entre 30 e os 45%, com tolerância de 3%.

No entanto, na literatura encontram-se também algumas sugestões de diversos autores que, através de estudos ou experiências, determinaram quais os níveis de temperatura e humidade ideais à conservação dos bens culturais.

Apesar de haver várias sugestões, existe alguma coerência entre a gama de valores de temperatura e humidade relativa que são favoráveis à conservação dos acervos. Segundo [31], os níveis de temperatura devem situar-se entre os 18 e os 22 °C e uma humidade relativa entre 45 a 55% e segundo [23] os níveis devem situar-se entre os 19 e os 23 °C para a temperatura e, para a humidade relativa, entre os 50 e os 60%. Valores idênticos são ainda sugeridos em [22].

Neste estudo, os intervalos considerados como sendo os ideais, serão respectivamente entre os 18 e os 22 °C para a temperatura e os 50 e os 60% para a humidade relativa.

2.6. Técnicas de Monitorização de Temperatura e Humidade

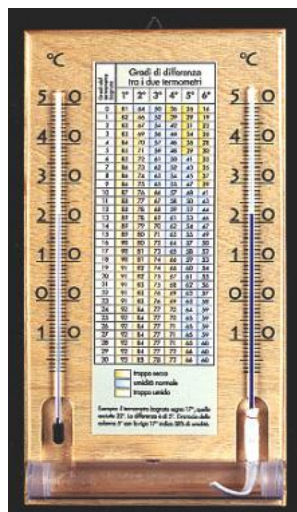
A monitorização da temperatura e da humidade relativa do ar é indispensável para a verificação das condições estabelecidas e detecção de eventuais valores desadequados. Essa monitorização pode ser realizada de forma pontual ou contínua [15].

2.6.1. Monitorização Pontual

A monitorização pontual consiste na medição da temperatura e da humidade com aparelhos que só registam valores pontuais, como por exemplo psicrómetros ou termohigrómetros. Um psicrómetro [17] (ver Figura 2.6 (a)) é um aparelho constituído por

dois termómetros idênticos colocados um ao lado do outro. Para além de permitir a medição da temperatura ambiente, a utilização de dois termómetros, um de bolbo seco e outro de bolbo húmido, permite a medição da quantidade de vapor de água contido no ar. O termómetro de bolbo seco é um termómetro vulgar e o termómetro de bolbo húmido é um termómetro com o bolbo envolvido por uma gaze húmida. A temperatura deste último vai ser proporcional à evaporação da água, que por sua vez vai ser proporcional à quantidade de vapor de água presente na atmosfera.

Um termohigrómetro (ver Figura 2.6 (b)) é um instrumento que serve para medir a temperatura e humidade relativa na atmosfera. Este utiliza, por exemplo, um termopar ou um termístor para medir a temperatura e um sensor capacitivo para medir a humidade.



(a)



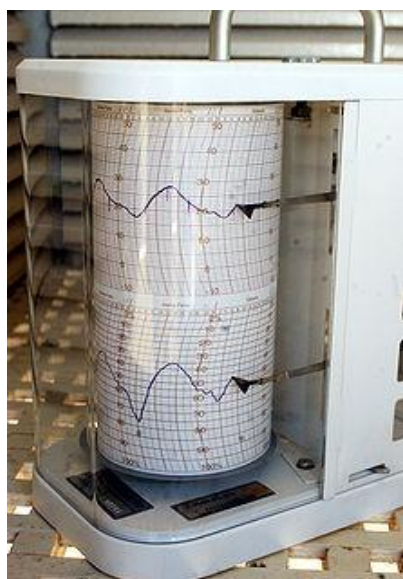
(b)

Figura 2.6: Aparelhos de monitorização pontual: (a) psicrómetro; (b) termohigrómetro.

2.6.2. Monitorização Contínua

Como o próprio nome indica na monitorização contínua, a monitorização é realizada de uma forma contínua, permitindo assim verificar a variação da temperatura ambiente e da humidade relativa ao longo do tempo. Para esse efeito pode ser usado, por exemplo, um termohigrógrafo ou um *datalogger*. Um termohigrógrafo [13] (ver Figura 2.7 (a)) é um instrumento que regista, através de uma lâmina metálica especial, a temperatura e, através de um feixe de cabelos ou de uma fibra sintética, a humidade do ar. As alterações da temperatura e da humidade vão provocar a distensão e contracção da lâmina metálica e dos fios de cabelo, respectivamente. Contudo, apesar de o termohigrógrafo ser

extremamente preciso e útil, os resultados são apresentados graficamente, não podendo, assim, ser tratados estatisticamente, a não ser que isso se faça manualmente. Por sua vez, um *datalogger* (ver Figura 2.7 (b)) é um equipamento destinado a executar a medição, por exemplo, da temperatura e da humidade do ar. Recorrendo a sensores internos ou externos, estes aparelhos executam a medição das variáveis pretendidas e, através de memória interna, esses dados são guardados para mais tarde poderem ser descarregados para um computador.



(a)



(b)

Figura 2.7: Aparelhos de monitorização contínua: (a) termohigrógrafo; (b) *datalogger*.

2.7. Determinação da taxa de renovação de ar

A quantificação da taxa de renovação de ar foi realizada através da técnica dos gases traçadores. Esta consiste basicamente na injeção de um gás conhecido no espaço a ensaiar, monitorizando-se a sua concentração ao longo do tempo. Normalmente, a técnica utilizada é a técnica do decaimento [2]. Nesta, a injeção é realizada no início e de seguida é registado o decréscimo da concentração do gás traçador no tempo devido à sua mistura com o ar.

De modo a que a determinação da renovação do ar possa ser efectuada com sucesso, o gás traçador deve, em primeiro lugar, ser fácil de detectar e constituir uma mistura homogénea com o ar num intervalo muito curto de tempo depois de libertado. Para

além desses requisitos fundamentais, a escolha do gás traçador deve basear-se também no seguinte conjunto de características [30]:

- Não ser tóxico e não apresentar risco para a saúde com os valores de concentração usados;
- Ser inerte;
- Estar de preferência ausente (ou presente em concentrações muito baixas) no ar interior e exterior;
- Ter um valor de massa molar não muito diferente do valor médio do ar ($29 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$);
- Não ser inflamável nem explosivo;
- Não ser dispendioso;
- Não sofrer decomposição ou reagir com o ar ou com componentes do edifício.

Como é evidente, nenhum gás satisfaz todos os requisitos. Teoricamente é indiferente a utilização de qualquer gás [21], mas condicionismos, tais como a medição das concentrações, levam à utilização de certos gases em detrimento de outros.

Os gases mais frequentemente utilizados como gases traçadores são:

- Hexafluoreto de enxofre, SF_6 ;
- Dióxido de carbono, CO_2 ;
- Peróxido de azoto (óxido nitroso), N_2O ;
- Perfluorbenzeno (PB), C_6F_6 ;
- Perfluormetilbenzeno (PMB), C_7F_8 .

2.7.1. Técnica do decaimento

Na técnica do decaimento, uma determinada quantidade de gás traçador é libertada no espaço a ser estudado de modo a obter-se uma concentração inicial uniforme. A partir desse instante, o decaimento da concentração do gás é medido ao longo do tempo e a taxa de renovação horária é determinada com base nos valores registados.

Para uma zona em que se supõe que o regime é permanente, em que não há produção nem absorção do gás traçador e em que a concentração deste gás no exterior é nula, a equação de balanço de massa é traduzida em caudais volúmicos pela seguinte expressão matemática [30]:

$$V \times \frac{dc(t)}{dt} + Q \times c(t) = 0, \quad (2.4)$$

sendo que V é o volume efectivo do espaço [m^3], Q é caudal de ventilação [m^3/s], $c(t)$ é a concentração do gás e t é o tempo [s].

A solução desta equação diferencial em ordem ao tempo é obtida por:

$$c(t) = c_0 \times e^{\left(-\frac{Q}{V} \times t\right)}, \quad (2.5)$$

sendo que c_0 é a concentração do gás traçador no instante inicial.

Se a concentração do gás traçador no ar exterior (c_{ext}) não for nula, a solução da equação (2.4) é dada pela equação:

$$c(t) = c_{ext} - c_{ext} \times e^{\left(-\frac{Q}{V} \times t\right)} + c_0 \times e^{\left(-\frac{Q}{V} \times t\right)}. \quad (2.6)$$

Reescrevendo a equação (2.6) obtém-se:

$$c(t) - c_{ext} = (c_0 - c_{ext}) \times e^{\left(-\frac{Q}{V} \times t\right)}, \quad (2.7)$$

ou de modo equivalente:

$$\ln\left(\frac{c(t) - c_{ext}}{c_0 - c_{ext}}\right) = -\frac{Q}{V} \times t. \quad (2.8)$$

Considerando que a taxa de renovação por hora (λ) é dada por:

$$\lambda = \frac{Q}{V}, \quad (2.9)$$

a equação (2.8) pode escrever-se da seguinte forma:

$$\ln(c(t) - c_{ext}) = \ln(c_0 - c_{ext}) - \lambda \times t. \quad (2.10)$$

Com base na equações (2.9) e (2.10) é possível determinar a taxa de renovação de ar e o caudal de ar novo que, em média, atravessa a sala.

3. DESCRIÇÃO DO ESPAÇO

3.1. Caracterização da Casa-Forte

A Casa-Forte é constituída pelo espaço interior e exterior, mas o presente estudo centra-se apenas no interior da Casa-Forte. O espaço em análise contém uma grande colecção de acervos únicos e valiosos, entre os quais se destaca uma Bíblia da escola de Gutenberg e uma primeira edição d'Os Lusíadas [11]. Devido à importância dos documentos nele depositados, o acesso ao espaço é restrito.

Este espaço localiza-se na cave do edifício e não partilha nenhuma parede com o exterior, estando localizado no interior do edifício. Está praticamente isolado, verificando-se apenas a existência de pequenas grelhas que funcionaram no passado como respiradouros (Figura 3.1), não se sabendo se estão ainda activos. A área deste espaço é de 83,2 m² e tem uma altura de 4,44 m.

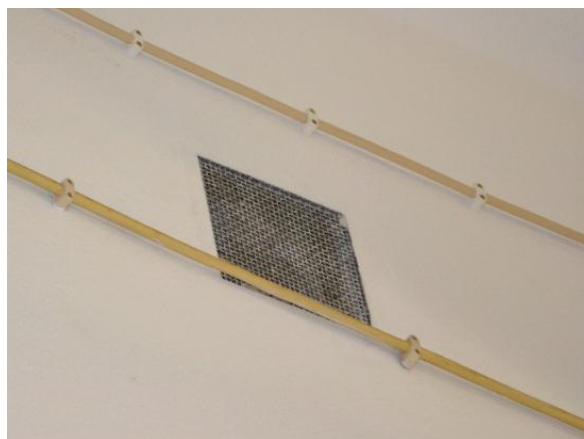


Figura 3.1: Grelhas de respiração no interior da Casa-Forte.

Este espaço tem instalado um equipamento de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC) destinado ao controlo da temperatura e humidade relativa (Figura 4.2 (a)). Este está programado para manter os valores de temperatura e humidade no interior do espaço relativamente constantes, sendo esses valores de 20,5 °C e 55%

respectivamente. No mesmo espaço encontra-se também instalado um desumidificador (Figura 3.2 (b)).

As estantes, utilizadas para o armazenamento do material, são constituídas essencialmente por metal (Figura 3.3).



(a)

(b)

Figura 3.2: Interior da Casa Forte: (a) unidades de tratamento de ar; (b) desumidificador.



Figura 3.3: Armazenamento dos acervos no interior da Casa-Forte.

A localização da Casa-Forte na planta da cave da BGUC é apresentada na Figura 3.4.

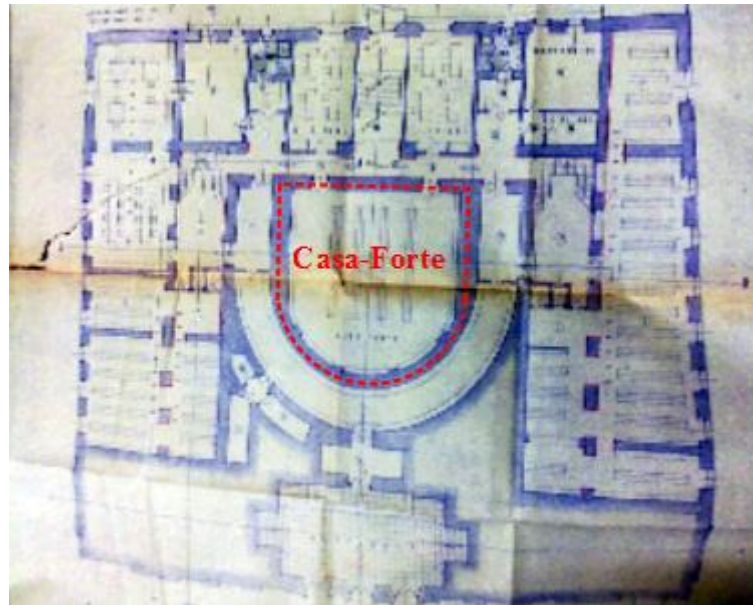


Figura 3.4: Localização da Casa-Forte na planta da cave da BGUC.

4. METODOLOGIAS E RESULTADOS

4.1. Estudo Higrométrico do Interior da Casa-Forte

4.1.1. Metodologia

A metodologia utilizada baseou-se, essencialmente, na recolha de dados internos (interior da Casa-Forte) e externos (ambiente exterior do edifício), tratamento e análise dos dados.

Quanto à recolha dos dados internos, foi utilizado um equipamento apropriado que torna possível a colecta dos dados de temperatura e humidade relativa simultaneamente, que no nosso caso foi o *datalogger* da marca OMEGA, modelo OM-NOMAD-RH-32 (Anexo A.1).

O *datalogger* foi colocado no interior da Casa-Forte a fim de colectar os dados higrotérmicos, no local indicado na Figura 4.1. Os períodos de recolha estão indicados na Tabela 1.



Figura 4.1: Localização dos equipamentos de recolha.

Tabela 1: Período de recolha de dados.

<i>Período</i>	<i>Data e Hora</i>		<i>Notas</i>
	<i>Início</i>	<i>Fim</i>	
1º Período	16 de Fevereiro de 2011 às 23h00	9 de Junho de 2011 às 9h00	Equipamento AVAC desligado.
2º Período	9 de Junho de 2011 às 10h24	4 de Agosto de 2011 às 14h00	Equipamento AVAC desligado.
3º Período	4 de Agosto de 2011 às 14h00	20 de Setembro de 2011 às 15h04	Equipamento AVAC ligado.

O *datalogger* foi programado para efectuar registos de 10 em 10 minutos, num período de tempo compreendido entre o dia 16 de Fevereiro de 2011 e o dia 20 de Setembro de 2011. Como referido na Tabela 1, durante o 1º e 2º período o equipamento AVAC encontrava-se desligado e, sendo assim, não existia regulação da temperatura e da humidade relativa. No 3º período o referido equipamento foi ligado. Durante estes três períodos existia na sala um desumidificador, como já referido anteriormente. Contudo, a sua utilização não é muito eficaz uma vez que este não permite a especificação do nível de humidade pretendida e o seu reservatório encontra-se muitas vezes cheio (normalmente só é esvaziado uma vez por semana). A recolha de dados foi efectuada no final do 1º e 3º período. A primeira recolha foi efectuada devido às limitações de memória do equipamento.

A partir dos dados colectados e utilizando o Excel, foi possível obter os perfis dos parâmetros higrotérmicos da Casa-Forte. Estes perfis permitiram a visualização do comportamento da temperatura e humidade relativa ao longo do tempo, possibilitando assim a avaliação da qualidade ambiental do espaço estudado.

Os dados externos (de temperatura e humidade relativa) foram recolhidos do portal do Instituto de Meteorologia [14], através da análise dos gráficos disponíveis na secção Gráficos de Observação, relativos ao período de recolha de dados referido anteriormente (16 de Fevereiro a 20 de Setembro). Estes dados irão ser utilizados para realizar uma comparação com os dados interiores medidos através do *datalogger*.

Os dados foram recolhidos de uma estação meteorológica automática (EMA), mais propriamente pela estação localizada no Aeródromo de Coimbra e encontram-se segundo

uma variação horária. Foi escolhida esta EMA por ser a estação activa mais próxima do local a analisar neste estudo.

4.1.2. Resultados

As Figuras 4.2 e 4.3 descrevem separadamente o comportamento da temperatura e humidade relativa no interior da Casa-Forte e o comportamento dos valores desses mesmos parâmetros registados na EMA, respectivamente. Os valores interiores foram recolhidos nos períodos referidos na secção anterior (Tabela 1), perfazendo um total de aproximadamente 5176 horas. A apresentação dos dados em separado deve-se ao facto de os períodos de aquisição serem diferentes em cada figura (de 10 em 10 minutos na Figura 4.2 e de hora a hora na Figura 4.3).

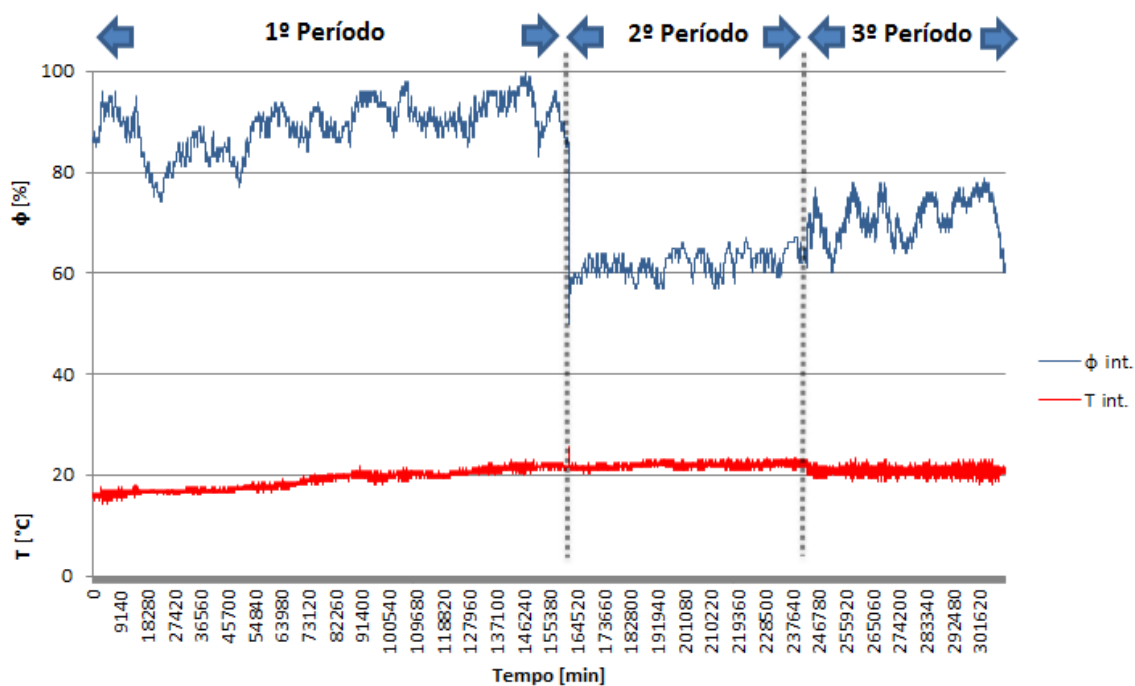


Figura 4.2: Temperaturas e humidades relativas verificadas no interior da Casa-Forte.

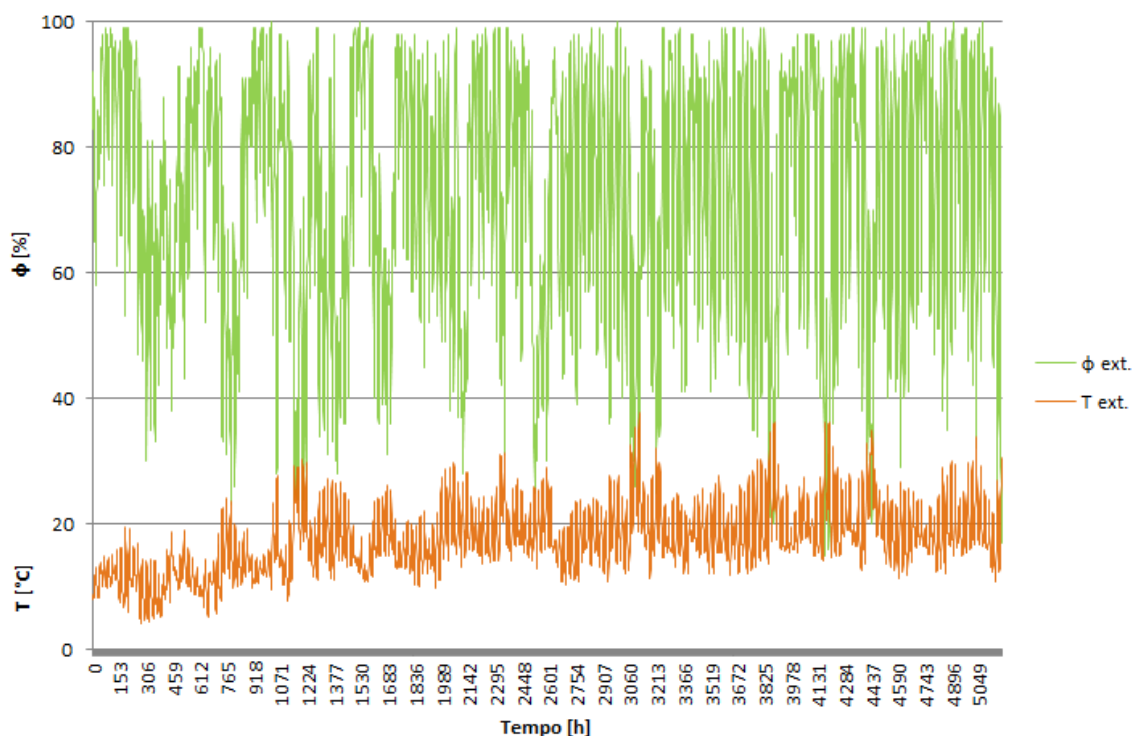


Figura 4.3: Temperaturas e humidades relativas verificadas na EMA do Aeródromo de Coimbra.

A partir da análise da Figura 4.2 é possível verificar, principalmente no 3º período, que existe uma relação entre a temperatura e a humidade relativa, uma vez que a diminuição da temperatura resultou num aumento da humidade relativa. É possível verificar também que, apesar de existirem vários picos associados às variações de temperatura e humidade relativa que se fazem sentir durante o dia, o interior da casa forte é um espaço termicamente estável, uma vez que a temperatura se mantém bem controlada, mesmo com o equipamento AVAC desligado. Relativamente à humidade relativa, verifica-se que esta varia entre os 70 e 100% no primeiro período de recolha e entre os 50 e 80% no segundo e terceiro períodos de recolha.

No terceiro período é observável que a entrada em funcionamento do equipamento AVAC provocou uma diminuição da temperatura interior. Contudo, o equipamento não permitiu a diminuição da humidade relativa para valores recomendados.

Na Figura 4.4 é possível observar as temperaturas e humidades relativas no interior da Casa-Forte e os valores medidos pela EMA. Neste gráfico foram apenas consideradas as temperaturas e humidades relativas interiores observadas no mesmo instante temporal que as temperaturas e humidades relativas verificadas na EMA do Aeródromo de Coimbra, ou seja de hora a hora. A partir da análise da figura é possível verificar que tanto as

temperaturas como as humidades relativas interiores têm um comportamento semelhante às temperaturas e humidades relativas observadas na EMA.

Na Figura 4.5 é possível verificar a relação entre as humidades absolutas verificadas no interior da Casa-Forte e os valores medidos pela EMA, sendo que as humidades absolutas foram calculadas conforme descrito no Anexo B. Através da análise do gráfico é possível observar a diferença de funcionamento do primeiro para o segundo período de recolha do equipamento. Pensa-se que esta diferença se deva à sensibilidade do sensor de humidade do *datalogger*, uma vez que na temperatura não se notou grandes diferenças. Contudo, apesar do *offset* no primeiro período, é ainda possível verificar a dependência entre a humidade absoluta interior e exterior. É possível verificar também que a entrada em funcionamento do equipamento AVAC não provocou grandes alterações na humidade absoluta interior, apenas tendo-se notado um aumento das oscilações.

A análise destas duas últimas figuras leva-nos a crer que a Casa-Forte possui ligação com o exterior através das condutas existentes na mesma ou/e uma fraca inércia térmica.

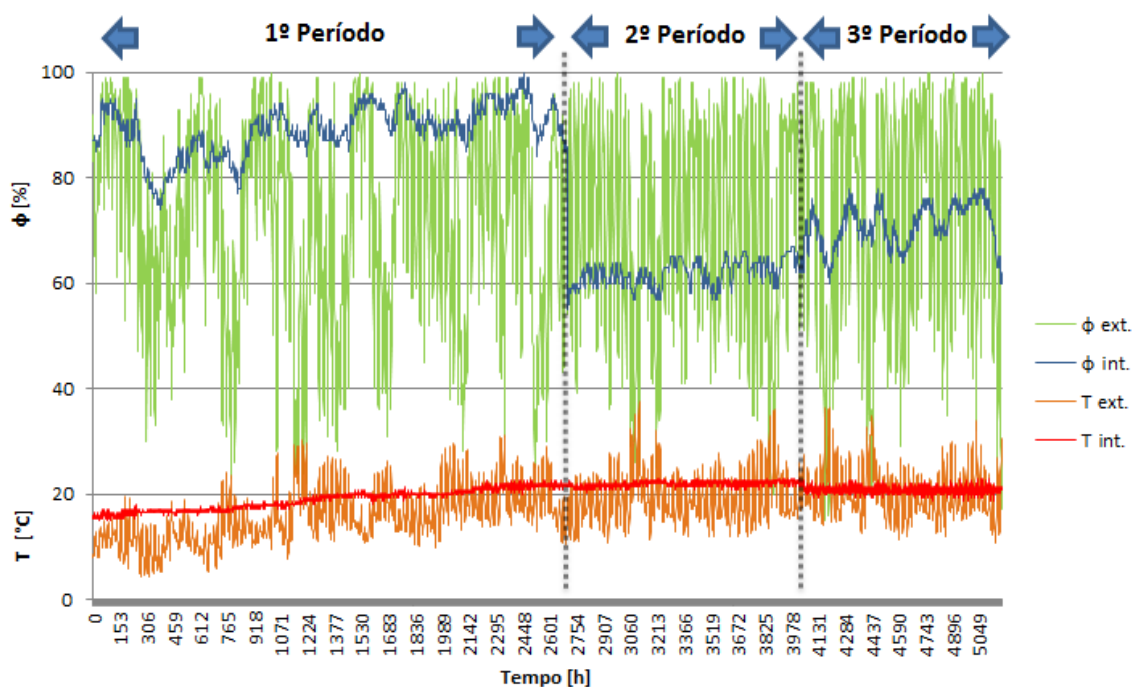


Figura 4.4: Comparação entre temperaturas e humidades relativas interiores e exteriores.

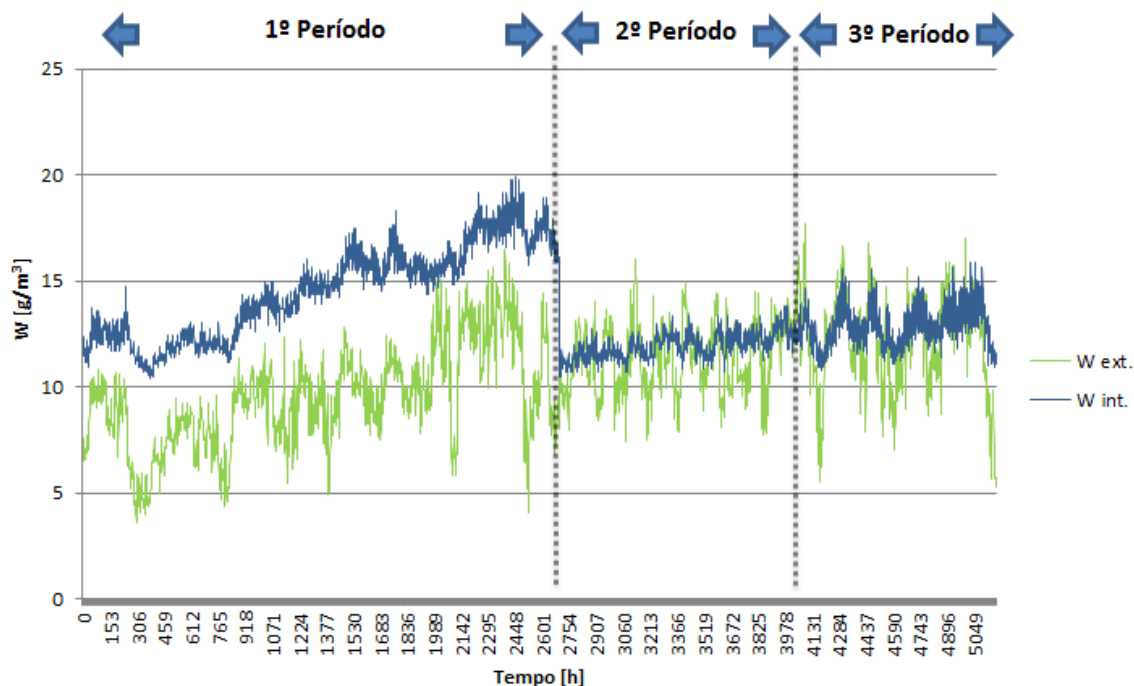


Figura 4.5: Humidades absolutas verificadas no interior da Casa-Forte e na EMA do Aeródromo de Coimbra.

4.1.3. Discussão

Os resultados obtidos mostram que as variações dos parâmetros, principalmente da humidade relativa, estão relacionadas com as variações meteorológicas exteriores.

Para salientar o que acontece com os parâmetros de temperatura e humidade relativa no interior da Casa-Forte, foram determinadas as frequências relativas e acumuladas para cada um dos parâmetros e o índice de desempenho proposto em [5].

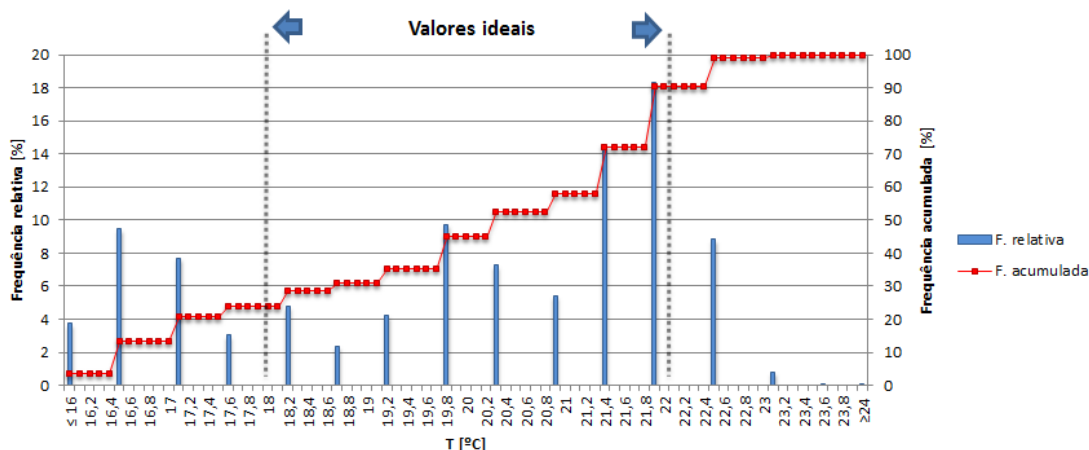


Figura 4.6: Frequência acumulada e relativa dos valores da temperatura no interior da Casa-Forte, com o equipamento AVAC desligado.

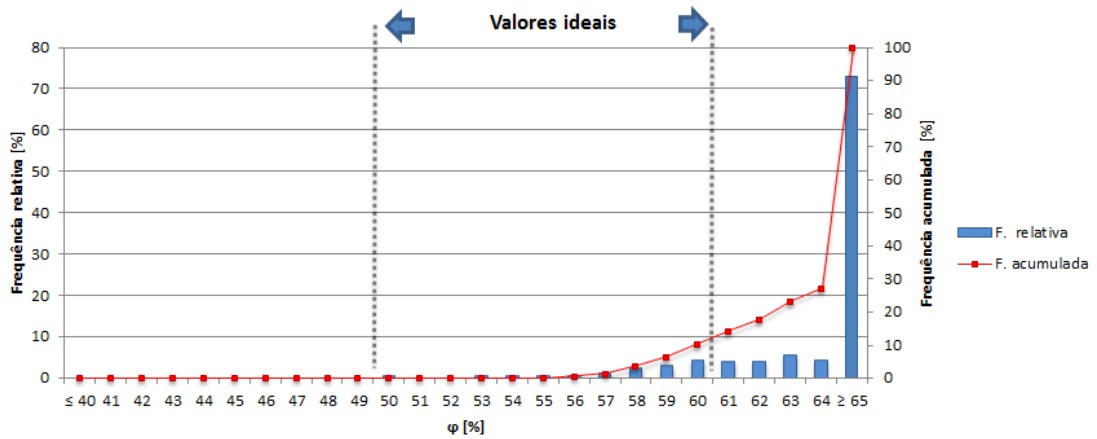


Figura 4.7: Frequência acumulada e relativa dos valores da humidade relativa no interior da Casa-Forte, com o equipamento AVAC desligado.

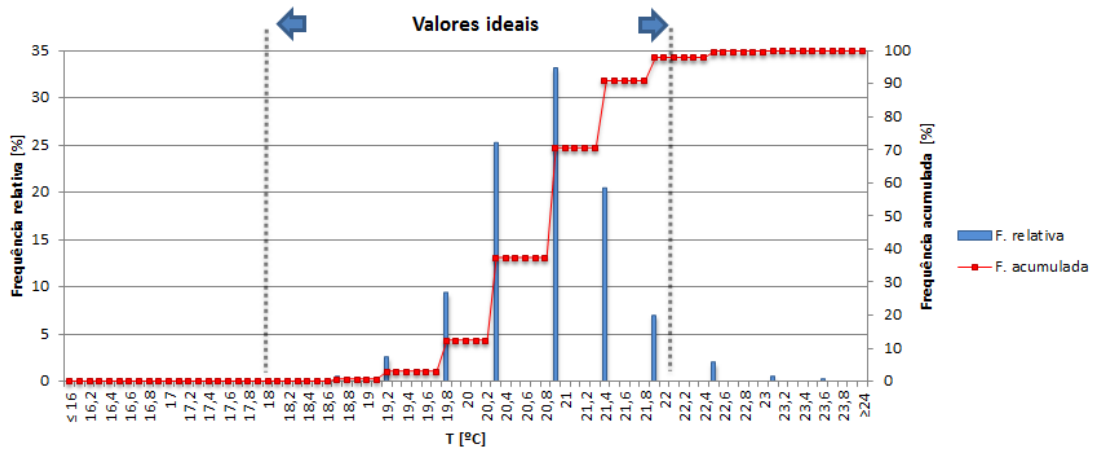


Figura 4.8: Frequência acumulada e relativa dos valores da temperatura no interior da Casa-Forte, com equipamento AVAC ligado.

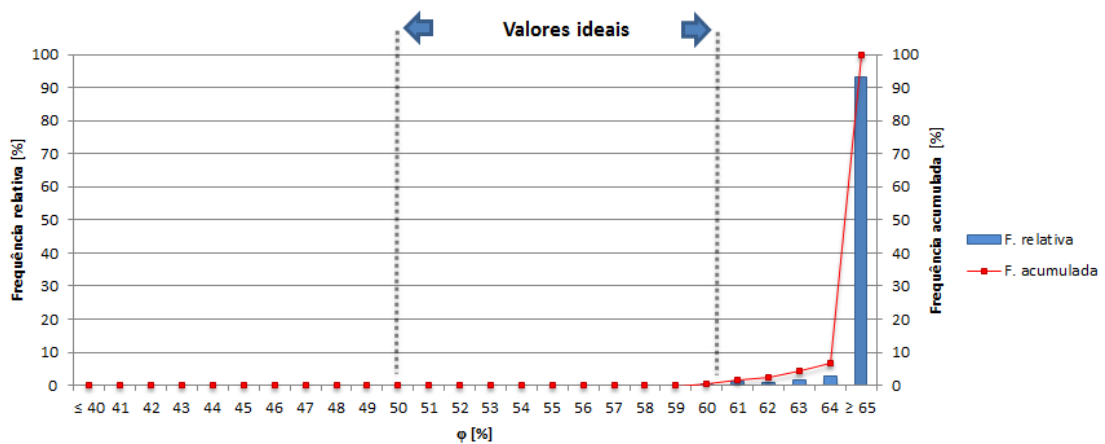


Figura 4.9: Frequência acumulada e relativa dos valores da humidade relativa no interior da Casa-Forte, com o equipamento AVAC ligado.

A partir da análise das Figura 4.6 é possível verificar que, mesmo com o equipamento AVAC desligado, os valores de temperatura estão, na sua grande maioria, dentro dos valores ideais. Com este mesmo equipamento desligado, é possível verificar também que apenas 9% dos valores de humidade relativa (Figura 4.7) estão no intervalo de valores desejados.

Na Figura 4.8 é possível verificar que a entrada em funcionamento do equipamento AVAC originou a que a grande maioria dos valores de temperatura ficasse entre a gama de valores desejados. Contudo, a diminuição da temperatura vai provocar um aumento da humidade relativa, originando assim a que apenas uma pequena quantidade de valores esteja de acordo com o desejado (Figura 4.9). Este comportamento seria de esperar se o equipamento AVAC estivesse desligado, contudo não é o que acontece, levando a crer que o controlo de humidade relativa não está a ser efectuado.

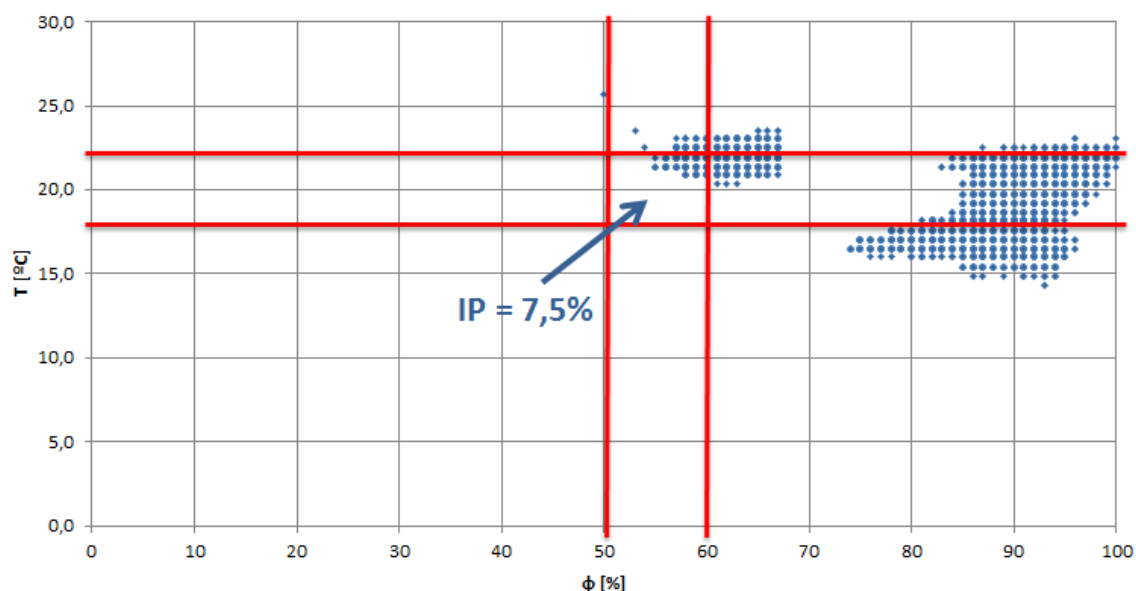


Figura 4.10: Índice de desempenho global da Casa-Forte, com o equipamento AVAC desligado.

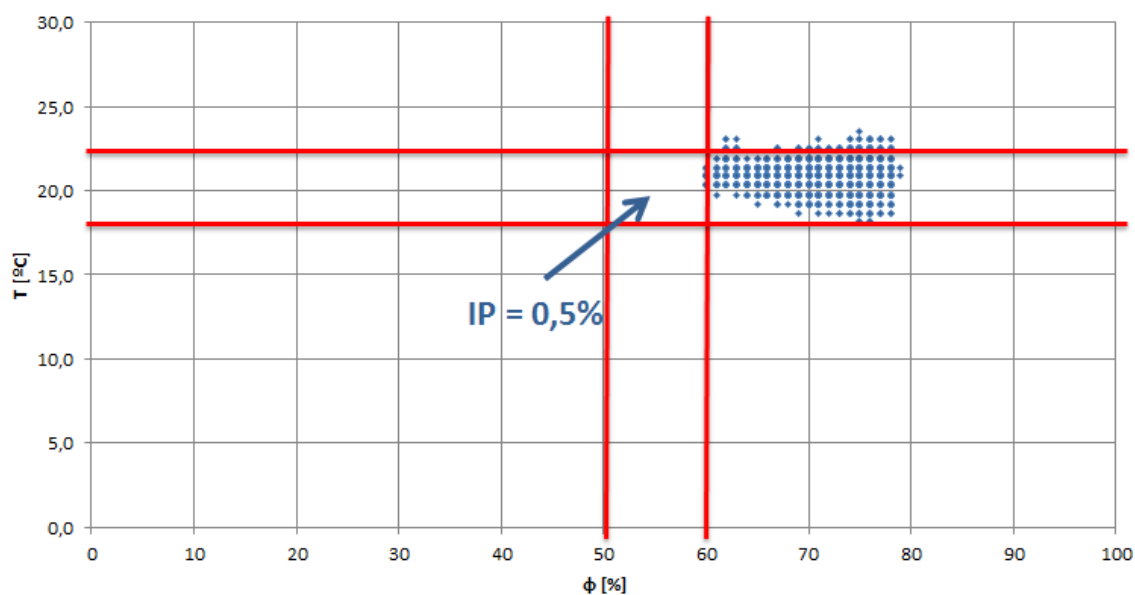


Figura 4.11: Índice de desempenho global da Casa-Forte, com o equipamento AVAC ligado.

O índice de desempenho proposto em [5] consiste basicamente em determinar quais as amostras que estão de acordo com intervalos desejados para a temperatura e humidade relativa simultaneamente.

A partir da análise das Figuras 4.10 e 4.11 é possível verificar que o índice de desempenho, tanto com o equipamento AVAC ligado como desligado, é bastante baixo. Sendo este o local de armazenamento dos acervos mais importantes e valiosos da BGUC, é grave este local apresentar um índice de desempenho de 0,5%, considerando que normalmente o equipamento AVAC se encontra ligado.

4.2. Caracterização da Sensibilidade Interna do Edifício às Variações de Temperatura e Humidade Exteriores

4.2.1. Metodologia

Para a caracterização da sensibilidade interna do edifício às variações de temperatura e humidade exteriores, aqui tomada no sentido do tempo de resposta que o edifício apresenta face às variações meteorológicas exteriores, recorreu-se à seguinte função de correlação:

$$g_X(\Delta t) = \frac{1}{n_j} \sum_{j=1}^{n_j} X_{int}(j) \times X_{ext}(j - \Delta t). \quad (4.1)$$

Esta função permite caracterizar o grau de dependência ou correlação entre dois sinais. Considerando que a X pode ser a temperatura ou a humidade absoluta, através do máximo desta função é possível determinar o tempo (Δt) que as variáveis ambientais exteriores demoram a influenciar as variáveis ambientais interiores.

4.2.2. Resultados e Discussão

Utilizando as temperaturas e humidades absolutas interiores e exteriores como parâmetros correlacionáveis, foram calculadas as correlações para cada um dos parâmetros ambientais utilizando a função de correlação (4.1).

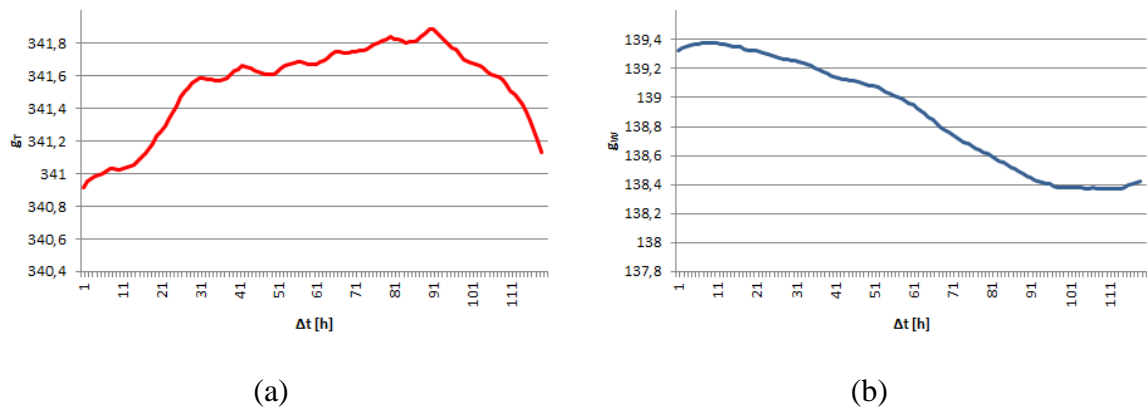


Figura 4.12: Correlação com o equipamento AVAC desligado: (a) temperaturas interiores e exteriores; (b) humidades absolutas interiores e exteriores.

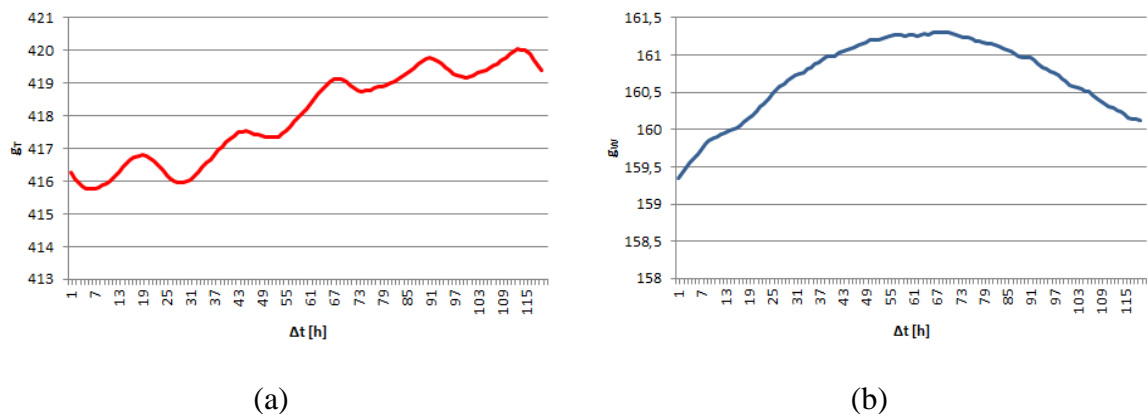


Figura 4.13: Correlação com o equipamento AVAC ligado: (a) temperaturas interiores e exteriores; (b) humidades absolutas interiores e exteriores.

Através da análise da Figura 4.12 (a) é possível verificar que o edifício da BGUC e mais propriamente a Casa-Forte, apresenta uma resposta lenta em relação às variações de temperatura exteriores mesmo com o equipamento AVAC desligado, uma vez que a correlação máxima foi obtida para um intervalo de tempo perto de 90 horas. Quanto à humidade absoluta (Figura 4.12 (b)), é possível verificar que a Casa-Forte responde rapidamente a variações da humidade absoluta exterior, uma vez que a correlação máxima foi obtida para um intervalo de tempo perto de 10 horas.

Uma vez ligado o equipamento AVAC (Figura 4.13) é possível verificar que deixa de existir correlação entre a temperatura interior e exterior. Quanto à humidade relativa o tempo de resposta da Casa-Forte às variações de humidade exteriores aumenta. Apesar de diminuir a influência das humidades exteriores o equipamento não está a funcionar devidamente, uma vez que os valores apresentados estão claramente acima da gama de valores desejados, como verificado anteriormente.

4.3. Determinação da Taxa de Renovação do Ar no Interior da Casa-Forte

4.3.1. Metodologia

Neste estudo pretendeu-se determinar se existia caudal de ar insuflado através de entradas de ar existentes no interior da Casa-Forte.

O caudal de ar novo fornecido ao Interior da Casa Forte foi determinado pelo método dos gases traçadores, mediante a análise de um período de decaimento da concentração, conforme descrito na secção 2.7.

Foram realizados dois ensaios experimentais para a determinação da taxa de renovação de ar, usando o CO₂ como gás traçador.

O CO₂ não pode ser considerado como um gás traçador no sentido estrito do termo, uma vez que está presente na atmosfera. Contudo é muitas vezes utilizado com essa finalidade pois apresenta muitas das características indicadas para um gás traçador [30]. Por ordem decrescente de aspectos positivos, verifica-se em relação ao CO₂ que [30]:

- Não é dispendioso;
- É incolor e inodoro;

- Não é inflamável nem explosivo;
- Possui uma massa molar ($M=44 \text{ g.mol}^{-1}$) relativamente próxima da massa molar média do ar ($M=29 \text{ g.mol}^{-1}$), sendo a sua densidade relativa de 1,53;
- É fácil de analisar – a concentração mínima detectável é de 3 ppm, sendo no entanto aconselhável usar uma concentração mínima 100 vezes superior, com o objectivo de garantir que haja uma proporcionalidade directa entre os valores lidos no aparelho e a concentração;
- Apresenta uma toxicidade baixa, não constituindo risco de saúde para os ocupantes do espaço desde que sejam assegurados os limites recomendados. O valor limite de exposição permitido corresponde a uma concentração máxima média nos locais de trabalho de 5000 ppm.

A sua principal característica negativa prende-se com a sua presença no ar exterior, originando a que esta concentração tenha de ser tomada em conta no processo de detecção.

No primeiro ensaio procedeu-se à inseminação de CO_2 contido numa botija dentro da Casa-Forte, promovendo simultaneamente a sua diluição no ar interior através do equipamento AVAC ligado. Atingida uma concentração de 3572 ppm evacuou-se a sala, mantendo a única porta existente fechada. No segundo ensaio procedeu-se de igual modo, sendo que neste caso desligou-se o equipamento AVAC depois de atingida a concentração inicial de CO_2 de 3286 ppm.

Para a monitorização contínua da concentração de CO_2 foi utilizado o equipamento referido no Anexo A.2, colocado no local anteriormente ocupado pelo *datalogger* (Figura 4.1), estando programado para registar os valores medidos a intervalos regulares de 1 minuto.

4.3.2. Resultados e Discussão

Na Figura 4.14 apresenta-se a evolução temporal da concentração de CO_2 no período de decaimento, com o equipamento AVAC ligado. Segundo as medições efectuadas com o aparelho já referido, que registou um valor médio de 500 ppm para a concentração de CO_2 no ar exterior, pode concluir-se que o sistema demorou cerca de 8 horas a extrair da sala o gás traçador disseminado.

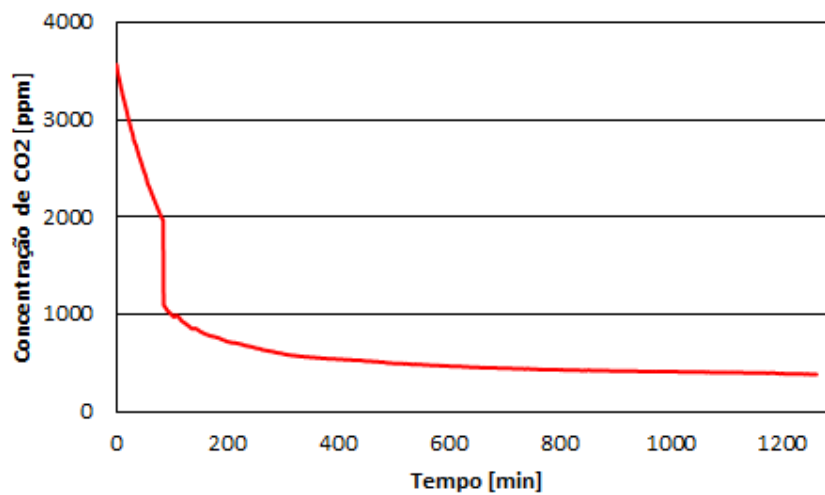


Figura 4.14: Decaimento da concentração de CO₂ no interior da Casa-Forte com o equipamento AVAC ligado.

Pode observar-se que a equação 2.10 descrita na secção 2.7.1, tem a forma funcional da equação de uma recta (do tipo $y = a + b x$), uma vez que $\ln (c_0 - c_{ext})$ terá um valor constante. Por conseguinte, representando graficamente em função do tempo a evolução temporal de $\ln [c(t) - c_{ext}]$ a partir das medições da concentração do gás traçador $[c(t)]$ durante o período de decaimento, e ajustando-lhe uma recta através de uma regressão linear, é possível obter directamente um valor médio da taxa de renovação de ar (λ) que será igual ao simétrico do declive b dessa recta.

A Figura 4.15 mostra a recta ajustada por regressão linear ao conjunto de dados, que permite extrair o valor médio de $\lambda = 0,0156 \text{ s}^{-1} = 0,94 \text{ h}^{-1}$ para a taxa de renovação de ar no interior da sala. Este valor pode ser considerado bastante baixo, para um sistema de ventilação mecânica dedicado à obtenção de condições de conforto, mas não é este o critério que deve ser tido em conta em estudos da natureza do que agora se apresenta.

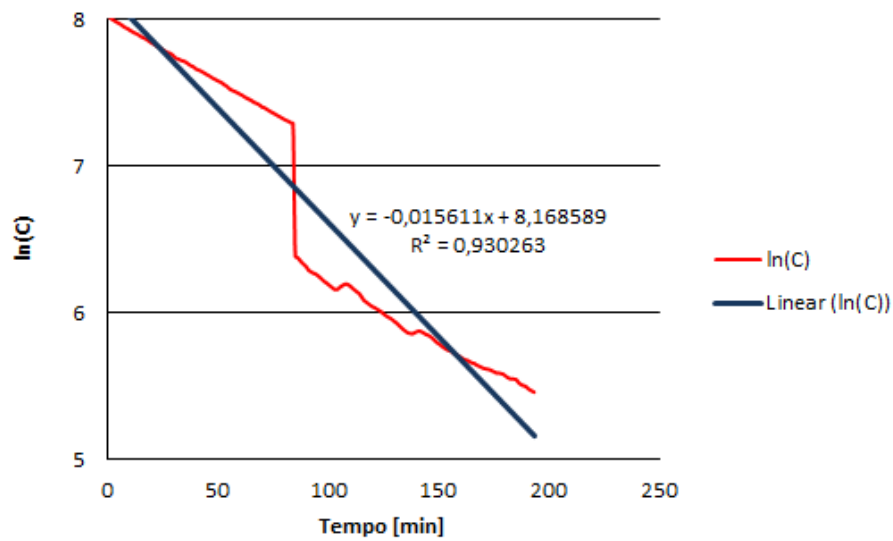


Figura 4.15: Ajustamento linear dos valores de ln(c) medidos pelo equipamento de medição de CO₂, no período de decaimento da concentração no interior da Casa-Forte, com o equipamento AVAC ligado.

Na Figura 4.16 é apresentada a evolução temporal da concentração de CO₂ no período de decaimento. As medições foram realizadas de igual modo à experimentação anterior com a diferença de que o equipamento AVAC se encontrava desligado. Pode concluir-se através da Figura 4.16 que o sistema demorou cerca de 17 horas a extrair da sala o gás traçador disseminado.

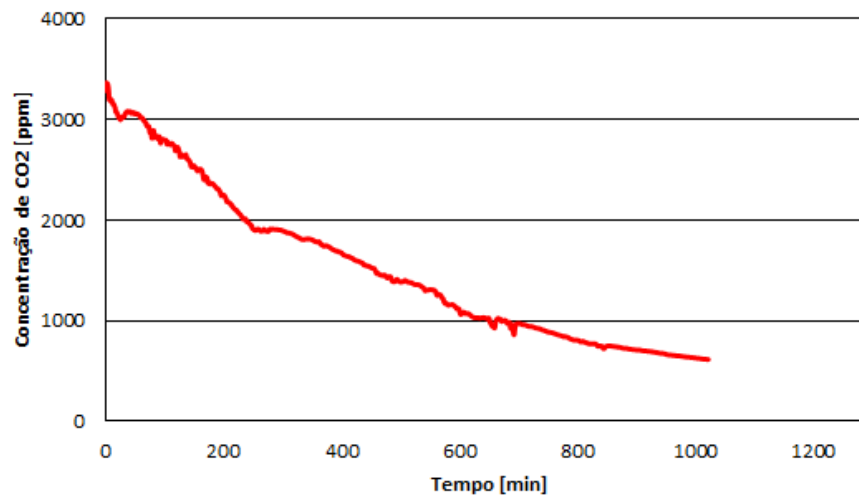


Figura 4.16: Decaimento da concentração de CO₂ no interior da Casa-Forte com o equipamento AVAC desligado.

Na Figura 4.17 é apresentada a recta ajustada por regressão linear ao conjunto de dados. Esta recta permitiu determinar que a taxa de renovação de ar (λ) no interior da sala é $0,16 \text{ h}^{-1}$.

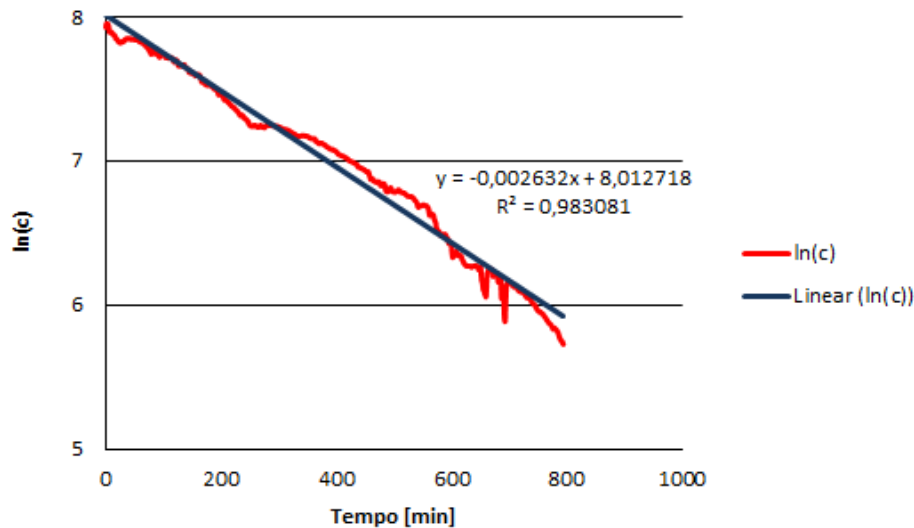


Figura 4.17: Ajustamento linear dos valores de $\ln(c)$ medidos pelo equipamento de medição do CO_2 , no período de decaimento da concentração no interior da Casa-Forte, com o equipamento AVAC desligado.

A realização deste estudo permitiu verificar que a taxa de renovação de ar com o equipamento AVAC desligado é cerca de 17% da taxa verificada com o equipamento AVAC ligado. Este facto leva a crer que existirá caudal de ar insuflado através das entradas de ar.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES FUTURAS

5.1. Conclusões

A maioria das conclusões que retive após a realização deste estudo têm vindo a ser referidas ao longo do mesmo, no entanto, apresenta-se neste capítulo uma perspectiva geral às considerações finais.

A temperatura e a humidade relativa do ar devem ser sistematicamente medidas e registadas. Isto é muito importante, já que os dados produzidos documentam as condições ambientais existentes e indicam se o equipamento disponível de controlo climático está ou não a funcionar adequadamente e a produzir as condições desejadas.

Como referido, uma alteração na temperatura interior vai influenciar a humidade relativa do ar e sendo assim, as medidas a serem tomadas devem ter em conta o ambiente como um todo. Caso contrário, essas medidas podem piorar as condições em vez de as melhorar. É essencial saber quais as condições que prevalecem na realidade através das medições registadas e procurar o aconselhamento de pessoas especializadas em controlo climático, antes de implementar modificações.

O tempo de vida do papel depende fortemente das condições de armazenamento. Portanto, o controlo da temperatura e humidade relativa nas salas de armazenamento vai desacelerar significativamente a degradação dos acervos.

O interior da Casa-Forte apresenta condições de preservação preocupantes no que respeita aos valores observados de humidade relativa, registando-se valores elevados quando comparados com os valores de referência (50 a 60%). Quanto à temperatura, esta apresenta um comportamento térmico razoável tanto com o equipamento AVAC ligado como desligado. Sendo assim, seria importante os responsáveis da BGUC focarem-se principalmente no controlo da humidade relativa. Este controlo poderia passar pela aquisição de outro equipamento que permita um controlo mais efectivo ou a verificação das condições de funcionamento dos equipamentos instalados.

A determinação da taxa de renovação de ar permitiu verificar que existe uma forte possibilidade de os respiradouros (Figura 3.1) estarem ligados ao exterior. Este facto

justificaria a dependência da temperatura e humidade relativa interior em relação aos mesmos parâmetros exteriores.

5.2. Sugestões Futuras

De modo a minimizar os efeitos negativos provocados pela humidade relativa no interior da Casa-Forte, a calibração do equipamento AVAC existente no interior da casa-forte, é indicada como sendo uma medida prioritária a ser tomada por parte dos responsáveis da BG, uma vez que é o único equipamento disponível nas instalações capaz de efectuar o controlo permanente da temperatura e da humidade relativa.

Caso este procedimento não resolva o problema, deverá proceder-se à troca do equipamento, para um equipamento mais eficaz. Posteriormente deverá haver uma manutenção periódica para que este funcione correctamente.

Outro factor a melhorar é o isolamento térmico do edifício e a desactivação das grelhas de entrada de ar, caso se confirme realmente que estas estão activas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Alarcão, C. (2007), “*Prevenir Para Preservar o Património Museológico*”, Revista do Museu Municipal de Faro, Faro.

[2] American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE) – ASHRAE Standard 62-2001 (2001), “*Ventilation for acceptable indoor air quality*”. Atlanta, USA.

[3] Brásio, M. (2009), “*Análise das Condições Higrotérmicas em Espaços da Biblioteca Geral da Universidade de Coimbra*”. Tese de mestrado em Engenharia do Ambiente. Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade de Coimbra, Coimbra.

[4] Catarino, I. (2010), “*Análise das Condições Higrotérmicas na Biblioteca Joanina da Universidade de Coimbra*”, Tese de mestrado em Engenharia do Ambiente. Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade de Coimbra, Coimbra.

[5] Corgnati, S. P., Fabi, V., Filippi, M. (2009), “*A methodology for microclimatic quality evaluation in museums: Application to a temporary exhibit*”, Journal of Building and Environment, 44 (6), 1253–1260.

[6] DePlooy, A. J. J. (1981), “*The influence of moisture content and temperature on the aging rate of paper*”, Austrália.

[7] Gaspar, A. R., Quintela, D. A. e Figueiredo, A. R. (1994). “*Aspectos do comportamento higrotérmico de um edifício de elevada inércia térmica. Caso de uma biblioteca do século XVIII.*”, Faculdade de Ciências da Universidade de Coimbra, Portugal

[8] Gennusa, M. L., Lascari, G., Rizzo, G., Scaccianoce, G. (2008). “*Conflicting needs of the thermal indoor environment of museums: In search of a practical compromise.*” Journal of Cultural Heritage, 9 (2), 125-134.

[9] <<http://www.conservationphysics.org/cpw/Storage/Fundamentals>>, consultada a 16 de Agosto de 2011.

[10] <<http://www.scribd.com/doc/6783288/LNEC-ITE-502006-Coefficientes-deTransmissao-termica-de-Elementos-Da-Envolvente-Dos-Edifícios>>, consultada em 27 de Abril de 2011.

[11] <<http://www.joaojosemarques.net/outrasleituras/items/view/5770>>, consultada a 14 de Junho de 2011.

[12] <http://www.meteo.pt/pt/areaeducativa/interpretar_tempo/grandezas/index.html?page=humidade.xml>, consultada em 21 de Julho de 2011.

[13] <<http://www.meteo.pt/pt/areaeducativa/observar.o.tempo/emc/index.html?page=termo.higrografo.xml>>, consultada em 18 de Agosto de 2011.

[14] <<http://www.meteo.pt/pt/otempo/graficosobservacao/obsHorarios.jsp>>, consultada em 18 de Agosto de 2011.

[15] <http://www.museuvictormeirelles.org.br/agenda/2003/seminario/franciza_tolledo.htm>, consultada em 18 de Agosto de 2011.

[16] <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Acervo>>, consultada em 27 de Abril de 2011.

[17] <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Psic%C3%B3metro>>, consultada em 18 de Agosto de 2011.

[18] <http://sigarra.up.pt/up/web_base.gera_pagina?P_pagina=2322>, consultada em 21 de Julho de 2011.

[19] <<http://www.uc.pt/bguc/BibliotecaGeral/Historia/>>, consultada em 4 de Abril de 2011.

[20] Júnior, J. S. (1997). “*A conservação de acervos Bibliográficos & Documentais*”, Fundação Biblioteca Nacional, Departamento de processos técnicos, Rio de Janeiro, Brasil.

[21] Liddament, M. W. (1996), “*A guide to energy efficient ventilation.*”, Grã-Bretanha, Reino Unido.

[22] Mársico, M. A. V., “*Noções Básicas de preservação de Livros e Documentos*”, Brasil.

[23] Mello, P. M. C. de, Santos e M. J. V. da C. (2004), “*Manual de Conservação de Acervos Bibliotecários da UFRJ*” Serie Manual de Procedimentos nº4, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

[24] Norma ISO 11799. 15/09/3003, Information and documentation — Document storage requirements for archive and library materials. ISO.

[25] Ogden, S. (2001), “*Conservação Preventiva em Bibliotecas e Arquivos*”, Meio Ambiente, 2ª Edição, Rio de Janeiro.

[26] Pereira, A. G., Berto, L. e Barros, R., “*Ventilação, Humidade e Temperatura*”. Disponível em: <http://campus.fortunecity.com/mcat/102/ventila.htm>, consultada em 21 de Julho de 2011.

[27] Pinto, A. (2009), “*Análise das Condições Higrotérmicas em espaços da Biblioteca Geral da Universidade de Coimbra*”. Tese de mestrado em Engenharia do Ambiente. Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade de Coimbra, Coimbra.

[28] Rodrigues, M. S. P. (2007), “*Preservação e Conservação de Acervos Bibliográficos*”, Curitiba, Brasil.

[29] Santoli, L., Filippi, M. e Mariotti, M. (2010), “*IEE Indoor Environment Engineering: in Cultural Heritage*”, Alemanha.

[30] Santos, J. P. C. M. (2008), “*Avaliação Experimental dos Níveis de Qualidade do Ar Interior em Quartos de Dormir – Um Caso de Estudo.*”, Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

[31] Sarmiento, A. G. da S. (2003), “*Preservar para não restaurar*” II CIBERética, Simpósio Internacional de Propriedade intelectual, Informação e Ética, VIII Encontro Nacional de Informação e Documentação Jurídica, 22º Painel Biblioteconomia em Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.

[32] SENSOTRON - Aparatura Elektroniczna (2006), “*The user's guide of the indoor air quality monitor, the PS32 model*”, Mikołów.

[33] Snyder, R. L. (2005), “*Humidity Conversion*”, < <http://biomet.ucdavis.edu/conversions/HumCon.htm>>, consultada em 17 de Agosto de 2011.

[34] Wilson, W. K (1995), “*Environmental Guidelines for the Storage of Paper Records*”, Bethesda, Maryland, USA.

[35] Yamashita, M. M. e Paletta, F. A. C. (2006). “*Preservação do Património Documental e Bibliotecário com ênfase na Higienização de livros e documentos textuais.*” Universidade de São Paulo, Brasil.

ANEXO A. EQUIPAMENTOS DE MEDIDA

A.1. Datalogger

O equipamento utilizado para a recolha de dados foi o *datalogger* da marca OMEGA, modelo OM-NOMAD-RH-32 (ver Figura A.1).

Os *dataloggers* (ver secção 3.6.2) são ferramentas relativamente recentes para a monitorização do clima. Estas unidades, que têm aproximadamente o tamanho de uma cassete de áudio, usam sensores e circuitos electrónicos localizados no seu interior que permite medir e registar a temperatura e a humidade relativa em intervalos determinados pelo utilizador. Este dispositivo é programado usando um computador no qual existe um programa (software) compatível com o *datalogger*. Os dados são, então, transferidos do *datalogger* para o PC por meio de um cabo.



Figura A.1: Datalogger da marca OMEGA, modelo OM-NOMAD-RH-32.

Tabela 2: Principais especificações do *datalogger* da marca OMEGA, modelo OM-NOMAD-RH-32.

<i>Equipamento</i>	<i>OMEGA OM-NOMAD-RH-32</i>
Gama de Temperatura	-10 a 50 °C (sensor interno)
Precisão de Temperatura	± 1,8 °C
Gama de Humidade Relativa	20 a 90 % a 25 °C sem condensação
Precisão de Humidade Relativa	±5 % a 25 °C, 60 % de HR, erro adicional de ±0,3 % de HR/°C, longe de 25 °C
Memória	32 K (16192 amostras para T e HR)

A.2. Medidor de CO₂

O equipamento utilizado para a monitorização de CO₂ foi um analisador da marca SENSOTRON, modelo PS32 (ver Figura A.2). As principais especificações do aparelho encontram-se na Tabela 3 [32].

O Monitor permite a gravação automática dos valores medidos e a sua transmissão para um PC através de uma porta USB.



Figura A.2: Analisador de CO₂ da marca SENSOTRON, modelo PS32.

Tabela 3: Principais especificações do analisador de CO₂ da marca SENSOTRON, modelo PS32.

<i>Equipamento</i>	<i>Sensotron PS32</i>
Poluente Medido	Dióxido de Carbono (CO ₂)
Gama	0 a 5000 ppm
Precisão	± 10 + 3% do valor medido
Resolução	1 ppm
Método	Infra-vermelho não dispersivo (NDIR)
Período Mínimo de Aquisição	10 s

ANEXO B. CÁLCULO DA HUMIDADE ABSOLUTA

O cálculo da humidade absoluta foi feito através da seguinte fórmula [33]:

$$W = 2165 \times \frac{p_{va}}{273,16 + T} \quad (\text{B.1})$$

sendo que W [g/m^3] é a humidade absoluta, T [$^{\circ}\text{C}$] é a temperatura do ar e p_{va} [kPa] é a pressão do vapor de água dada por:

$$p_{va} = \frac{\Phi \times p_{vs}}{100}, \quad (\text{B.2})$$

sendo que p_{vs} [kPa] é o limite para a quantidade de vapor d'água no ar, ou seja é a pressão de saturação do vapor de água, e Φ é a humidade relativa.

A pressão de saturação pode ser calculada através da Fórmula de Tetens:

$$p_{vs} = 0,6108 \times e^{\frac{17,27 \times T}{237,3 + T}}. \quad (\text{B.3})$$