



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Aplicação do Método dos Gases Traçadores para avaliar a taxa de renovação de ar em Bibliotecas do Pólo II

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

Autor

Ana Patrícia Marques Gonçalves

Júri

Presidente	Professor Doutor António Rui de Almeida Figueiredo
Orientador	Professor Doutor José Joaquim Costa
Co-Orientador	Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar
Vogal	Professor Doutor Manuel Carlos Gameiro da Silva

Coimbra, Setembro, 2011

“O degrau da escada não foi inventado para repousar, mas apenas para sustentar o pé o tempo necessário para que o homem coloque o outro pé um pouco mais alto.”

Aldous Huxley

Aos meus pais.

Agradecimentos

O desenvolvimento do trabalho que aqui se apresenta só foi possível graças à colaboração de algumas pessoas, as quais por diferentes razões quero agradecer, passando a citar:

- O Professor José Costa, meu orientador, que sempre se mostrou disponível para a realização de todas as tarefas inerentes ao trabalho, mesmo quando estava bastante ocupado;
- O Professor Adélio Gaspar, que, sempre que o solicitei, me ajudou de forma rápida;
- A Ana Rodrigues e a Sara Francisco, que de formas diferentes me apoiaram sempre que necessitei;
- Aos funcionários dos departamentos de Engenharia Civil e de Engenharia Mecânica com quem tive de cooperar para a realização deste trabalho;
- A todos os meus amigos que estiveram comigo durante toda a minha vida académica, e principalmente, os que me acompanharam durante esta fase final, que de uma forma ou de outra, me apoiaram, deram força, e tiveram muita paciência pela minha ausência;
- A toda a minha família, que sempre me apoiou, essencialmente aos meus pais e irmão, que sempre estiveram ao meu lado e me deram alento para alcançar mais este feito na minha vida académica, a quem dedico, por isso, esta dissertação.

Resumo

A qualidade do ar interior em edifícios tem-se tornado um tema ambiental de grande relevância, devido ao facto de hoje em dia as pessoas passarem grande parte do tempo em espaços fechados. Em Portugal, foram publicados três Decretos-Lei que configuram, simultaneamente, os requisitos mínimos e as medidas correctivas para a QAI (Qualidade do Ar Interior), e a eficiência energética em edifícios novos e existentes, sendo eles: o Decreto-Lei nº 78/2006, de 4 de Abril; o Decreto-Lei nº 79/2006, de 4 de Abril; e o Decreto-Lei nº 80/2006, de 4 de Abril.

Esta dissertação tem como principal objectivo avaliar a taxa de renovação de ar nas Bibliotecas de Engenharia Civil e de Engenharia Mecânica através da aplicação do Método dos Gases Traçadores, utilizando como gás traçador o dióxido de carbono libertado pelos ocupantes das salas de leitura (CO_2 metabólico), de forma a reduzir os gastos energéticos consoante essa mesma ocupação. Para alcançar este objectivo foi essencial ter analisado as memórias descritivas e plantas do sistema de AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado), assim como a realização de visitas de inspecção a cada uma das Bibliotecas.

Foram realizadas duas medições em condições diferentes em cada uma das Salas de Leitura das Bibliotecas: a primeira com a duração de 24 horas, em que a UTA (Unidade de Tratamento de Ar) permaneceu ligada de forma contínua, e a última durante 27 horas estando a UTA ligada apenas durante o horário de funcionamento de cada uma das Bibliotecas. Com estas medições foi possível averiguar o nível de dióxido de carbono libertado pelos ocupantes das salas de leitura, podendo, *a posteriori*, calcular o caudal de ar novo correspondente à taxa de renovação de ar obtida pelo Método dos Gases Traçadores. Foi ainda possível calcular a ocupação máxima para os caudais de ar novo determinados e respectiva taxa de renovação de ar, por forma a respeitar os limites de concentração de CO_2 estipulados na legislação em vigor para edifícios existentes (Nota Técnica NT-SCE-02).

Por fim, concluiu-se que ambas as Bibliotecas podem reduzir os seus gastos energéticos ao nível da QAI, uma vez que os caudais de ar novo são bastante superiores ao necessário, relativamente à ocupação existente nas respectivas salas de leitura.

Palavras-chave: Qualidade do Ar Interior, Método dos Gases Traçadores, Dióxido de Carbono, Unidade de Tratamento de Ar, Ocupação.

Abstract

The indoor air quality in buildings has become an environmental issue of great relevance due to the fact that people today spend much of their time indoors. In Portugal, three Decrees were published that set both minimum and corrective measures for IAQ (Indoor Air Quality) and energy efficiency in new and existing buildings, namely: Decree-Law 78/2006 of 4 April; Decree-Law No. 79/2006 of 4 April; and Decree-Law No. 80/2006 of 4 April.

The main objective of this work is to assess the air exchange rate in the Libraries of Civil Engineering and Mechanical Engineering of the University of Coimbra through the application of the Tracer Gas Method, using as tracer gas the carbon dioxide released by the occupants of the reading rooms (metabolic CO₂). To achieve this it was essential to examine the descriptive drawings and the project of the HVAC system, as well as to perform inspections to each of the libraries.

Two measurements were performed under different conditions in the readings room of each of the libraries: the first lasted 24 hours with the Air Handling Unit (AHU) continuously turned on, and the second one ran for 27 hours with the AHU turned on only during the opening hours of each of the libraries. With these measurements it was possible to ascertain the level of carbon dioxide released by the occupants of the reading rooms, and subsequently calculate the corresponding fresh air flow rate obtained by the Tracer Gas Method. It was also possible to calculate the maximum occupancy allowed by the determined air exchange rate, according to the compliance limits of the legislation (Technical Note NT-SCE-02).

Finally, it was concluded that both libraries can reduce their energy consumption at IAQ level, since the fresh air flow rates are quite higher than necessary, regarding the space occupation.

Keywords: Indoor Air Quality, Tracer Gas Method, Carbon Dioxide, Air Handling Unit, Occupation.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE TABELAS	viii
SIGLAS	ix
1. INTRODUÇÃO	10
1.1. Enquadramento do tema	10
1.2. Enquadramento legislativo	11
1.3. Objectivos e Motivação	13
1.4. Estrutura da dissertação	14
2. METODOLOGIA E EQUIPAMENTOS	15
2.1. Princípios de Ventilação	15
2.2. Método dos Gases Traçadores	18
2.2.1. Equações gerais para a evolução temporal da concentração de poluentes	19
2.2.2. Caracterização da fonte de CO ₂	23
2.3. Equipamentos	24
3. CARACTERIZAÇÃO DAS BIBLIOTECAS	27
3.1. Biblioteca de Engenharia Civil (BEC)	27
3.1.1. Descrição geral	27
3.1.2. Descrição geral do sistema de AVAC	28
3.1.3. Visita de inspecção	30
3.2. Biblioteca de Engenharia Mecânica (BEM)	33
3.2.1. Descrição geral	33
3.2.2. Descrição geral do sistema de AVAC	33
3.2.3. Visita de inspecção	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1. Biblioteca de Engenharia Civil (BEC)	39
4.1.1. Unidade de Tratamento de Ar (UTA) ligada continuamente – Medição de 24 horas	40
4.1.2. Unidade de Tratamento de Ar (UTA) ligada durante o horário de funcionamento – Medição de 27 horas	46
4.2. Biblioteca de Engenharia Mecânica (BEM)	51
4.2.1. Unidade de Tratamento de Ar (UTA) ligada continuamente – Medição de 24 horas	52
4.2.2. Unidade de Tratamento de Ar (UTA) ligada durante o horário de funcionamento – Medição de 27 horas	58
5. CONCLUSÕES	63
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
7. ANEXO A (PLANTA DA BEC)	68
8. ANEXO B (PLANTA DA BEM)	69
9. ANEXO C (BEC)	70
10. ANEXO D (BEM)	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema ilustrativo da ventilação natural. (Construir Portugal, 2011)	16
Figura 2. Esquema ilustrativo da Ventilação Mecânica Controlada (VMC). (Costa, 2011a)	16
Figura 3. Esquema ilustrativo da ventilação mecânica por mistura.	17
Figura 4. Esquema ilustrativo da ventilação mecânica por deslocamento. (Costa, 2011a). 18	
Figura 5. Esquema ilustrativo da equação geral para a concentração média de um poluente num espaço interior unizona. (ADENE, 2009).	20
Figura 6. Anemómetro HHF81.	26
Figura 7. Anemómetro de molinete com sonda telescópio e <i>datalogger</i> Testo 400.	26
Figura 8. <i>Fluke 975 Air Meter</i> TM . (Fluke, 2011)	26
Figura 9. <i>Indoor Air Quality Monitor</i> PS32.	26
Figura 10. <i>GrayWolf DirectSense</i> IQ-610.	26
Figura 11. Medidor laser de distâncias DLE 70 Professional.	26
Figura 12. Sala de leitura da BEC com iluminação natural (clarabóias).	28
Figura 13. Difusores circulares de insuflação e grelhas de extracção da sala de leitura da BEC.	29
Figura 14. Tomada de ar novo da UC1 com divisão dos pontos de medição da velocidade do ar.	31
Figura 15. Secção da grelha de extracção da sala de leitura da BEC.	32
Figura 16. Grelhas de insuflação e de extracção da sala de leitura da BEM.	34
Figura 17. Filtro da UTA da BEM.	35
Figura 18. Tomada de ar novo da BEM.	36
Figura 19. Grelha de insuflação da BEM com divisão da secção correspondente aos pontos de medição.	37
Figura 20. Disposição dos equipamentos de medição na sala de leitura da BEC.	40
Figura 21. Evolução temporal da concentração de CO ₂ e da ocupação real, onde (A) diz respeito ao intervalo de tempo das 12h45 às 13h25, e (B) ao período das 19h45 às 22h00.	41
Figura 22. Decaimento da concentração de CO ₂ após o fecho para a “hora de almoço”, isto é, no intervalo (A), das 12h45 às 13h25, com respectivo ajustamento linear.	42
Figura 23. Decaimento da concentração de CO ₂ depois do encerramento “após o horário de funcionamento”, isto é, no intervalo (B), das 19h45 às 22h00, com respectivo ajustamento linear.	43
Figura 24. Evolução temporal da concentração de CO ₂ , consoante a percentagem de ocupação nominal, comparando com os critérios de conformidade (NT-SCE-02).	45
Figura 25. Evolução temporal da concentração de CO ₂ e da ocupação real, onde (C) diz respeito ao intervalo de tempo das 12h45 às 13h25, e (D) ao intervalo de tempo das 20h30 às 23h30.	47
Figura 26. Decaimento da concentração de CO ₂ após o fecho para a “hora de almoço”, isto é, no intervalo (C), das 12h45 às 13h25, com respectivo ajustamento linear.	48
Figura 27. Decaimento da concentração de CO ₂ depois do encerramento “após o horário de funcionamento”, isto é, no intervalo (D), das 20h30 às 23h30, com respectivo ajustamento linear.	48

Figura 28. Evolução temporal da concentração de CO ₂ , consoante a percentagem de ocupação nominal, comparando com os critérios de conformidade (NT-SCE-02).....	50
Figura 29. Disposição dos equipamentos de medição na sala de leitura da BEM.	52
Figura 30. Evolução temporal da concentração de CO ₂ e da ocupação real, onde (E) diz respeito ao intervalo de tempo das 13h00 às 13h30, e (F) ao período das 20h15 às 21h30.53	
Figura 31. Decaimento da concentração de CO ₂ na “hora de almoço”, isto é, no intervalo (E), das 13h00 às 13h30, com respectivo ajustamento linear.....	54
Figura 32. Decaimento da concentração de CO ₂ depois do encerramento “após o horário de funcionamento”, isto é, no intervalo (F), das 20h15 às 21h30, com respectivo ajustamento linear.	55
Figura 33. Evolução temporal da concentração de CO ₂ , consoante a percentagem de ocupação nominal, comparando com os critérios de conformidade (NT-SCE-02).....	57
Figura 34. Evolução temporal da concentração de CO ₂ e da ocupação real, onde (G) diz respeito ao intervalo de tempo das 20h15 às 22h30.	59
Figura 35. Decaimento da concentração de CO ₂ depois do encerramento “após o horário de funcionamento”, isto é, no intervalo (G), das 20h15 às 22h30, com respectivo ajustamento linear.	60
Figura 36. Evolução temporal da concentração de CO ₂ , consoante a percentagem de ocupação nominal, comparando com os critérios de conformidade (NT-SCE-02).....	62
Figura 37. Evolução temporal da Temperatura (°C) e da Humidade relativa (%), no dia 13 de Junho de 2011, na Sala de leitura da BEC.	70
Figura 38. Evolução temporal da Temperatura (°C) e da Humidade relativa (%), no dia 30 de Junho de 2011, na Sala de leitura da BEC.	71
Figura 39. Evolução temporal da Temperatura (°C) e da Humidade relativa (%), no dia 16 de Junho de 2011, na Sala de leitura da BEM.	72
Figura 40. Evolução temporal da Temperatura (°C) e da Humidade relativa (%), no dia 28 de Junho de 2011, na Sala de leitura da BEM.	73

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Equipamentos de medição.	25
Tabela 2. Características do sistema de climatização da sala de leitura da BEC.	30
Tabela 3. Características do sistema de climatização da sala de leitura da BEM.	34
Tabela 4. Taxa de renovação de ar (λ_v) e caudal de ar novo ($Q_{AR\ NOVO}$) para os intervalos de tempo (A) e (B) do decaimento da concentração de CO_2	44
Tabela 5. Valores obtidos para as diferentes percentagens de ocupação, com a λ_v e o $Q_{AR\ NOVO}$, obtidos no intervalo de tempo (B).	45
Tabela 6. Taxa de renovação de ar (λ_v) e caudal de ar novo ($Q_{AR\ NOVO}$) para os diferentes intervalos de tempo do decaimento da concentração de CO_2	49
Tabela 7. Valores obtidos para as diferentes percentagens de ocupação, com a λ_v e o $Q_{AR\ NOVO}$, obtidos no intervalo de tempo (C).	50
Tabela 8. Taxa de renovação de ar (λ_v) e caudal de ar novo ($Q_{AR\ NOVO}$) para os diferentes intervalos de tempo do decaimento da concentração de CO_2	56
Tabela 9. Valores obtidos para as diferentes percentagens de ocupação, com a λ_v e o $Q_{AR\ NOVO}$, obtidos no intervalo de tempo (E).	57
Tabela 10. Taxa de renovação de ar (λ_v) e caudal de ar novo ($Q_{AR\ NOVO}$) para o intervalo de tempo do decaimento da concentração de CO_2	60
Tabela 11. Valores obtidos para as diferentes percentagens de ocupação, com a λ_v e o $Q_{AR\ NOVO}$, obtidos no intervalo de tempo (G).	61

SIGLAS

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

BEC – Biblioteca de Engenharia Civil

BEM – Biblioteca de Engenharia Mecânica

DEC – Departamento de Engenharia Civil

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

PAC-QAI – Plano de Acções Correctivas para a Qualidade do Ar Interior

QAI – Qualidade do Ar Interior

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos
Edifícios

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em
Edifícios

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

SED – Síndrome do Edifício Doente

UTA – Unidade de Tratamento de Ar

VMC – Ventilação Mecânica Controlada

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento do tema

Actualmente, existe no sector dos edifícios uma crescente preocupação com a qualidade do ar interior (QAI), reflectindo-se essencialmente na escolha dos materiais de construção, na decoração, no mobiliário, nos equipamentos utilizados, nos sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC), na sua manutenção e limpeza. Pode ainda ter alguma influência na QAI, fontes internas relacionadas com o uso/ocupação do edifício, o tipo de solo onde este se encontra implantado, e o ar exterior na envolvente.

Segundo Tippayawong, et al (2009), a maioria das pessoas gastam quase 90% do seu tempo em ambientes fechados e apenas um pouco mais de 10 % ao ar livre. De facto, hoje em dia, as pessoas passam grande parte do seu tempo no interior dos edifícios, desempenhando diversas funções e expostas aos mais variados poluentes, sendo de algum modo afectado o seu bem-estar e conforto, influenciando em grande escala o seu desempenho e produtividade. Assim sendo, é da máxima importância efectuar-se avaliações aos edifícios de modo a que estes não coloquem em risco a saúde dos seus ocupantes. Tendo em conta Alfano et al., (2010), a exposição a uma má qualidade do ar pode resultar imediatamente em desconforto olfactivo (cheiro desagradável) e queixas sobre o facto de o ar estar viciado ou bafiento, podendo afectar a saúde no curto prazo, com efeitos, como sejam:

- irritação dos olhos/olhos vermelhos;
- queixas de garganta seca/garganta irritada;
- nariz entupido ou defluxo nasal;
- dores de cabeça;
- fadiga injustificada;
- tonturas.

No entanto, os requisitos de ventilação de espaços interiores dependem não só da taxa de renovação de ar, como também, e não com menos importância, do conforto térmico, do conforto acústico e do conforto visual, tendo estes factores influência quer na

eficiência energética, quer nos gastos de energia, desmistificando a ideia de que quanto melhor a QAI mais energia os sistemas consomem, o que nem sempre se traduz numa verdade inquestionável, pois tal melhoria na QAI conduz a uma maior eficiência energética.

1.2. Enquadramento legislativo

Na Europa, os edifícios são responsáveis por cerca de 40% do consumo total de energia. A nível nacional, esta percentagem actualmente diz respeito a cerca de 27%, apresentando um crescimento assinalável nos últimos anos, o que levou a um aumento das emissões de dióxido de carbono (CO₂) (Gameiro, 2011a). Relativamente ao sector terciário, o consumo de energia recai, essencialmente, sobre o aquecimento do espaço e iluminação, enquanto que nas habitações incide sobre a climatização e aquecimento de águas.

Foi criada a Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2002 relativa ao desempenho energético dos edifícios, com o objectivo de promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios na Comunidade, tendo em conta as condições climáticas externas e as condições locais, bem como as exigências em matéria de clima interior e a rentabilidade económica. Neste âmbito, foram publicados em Portugal três Decretos-Lei que configuram, simultaneamente, os requisitos mínimos e as medidas correctivas para a QAI, e a eficiência energética em edifícios novos e existentes, sendo eles:

- Decreto-Lei nº 78/2006, de 4 de Abril;
- Decreto-Lei nº 79/2006, de 4 de Abril;
- Decreto-Lei nº 80/2006, de 4 de Abril.

O Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) – D.L. nº 78/2006, de 4 de Abril -, foi criado com o objectivo de assegurar a aplicação regulamentar, nomeadamente no que respeita às condições de eficiência energética, à utilização de sistemas de energias renováveis e, ainda, às condições de garantia da qualidade do ar interior, de acordo com as exigências e disposições contidas no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e

no Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização em Edifícios (RSECE); certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios; identificar as medidas correctivas ou de melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e respectivos sistemas energéticos, nomeadamente caldeiras e equipamentos de ar condicionado, quer no que respeita ao desempenho energético, quer no que respeita à qualidade do ar interior.

Relativamente ao D.L. nº 79/2006, de 4 de Abril, que diz respeito ao Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), foi aprovado pelo Decreto-Lei nº 118/98, de 7 de Maio, e tem como quádruplo objectivo:

- definir as condições de conforto térmico e de higiene que devem ser requeridas (requisitos exigenciais) nos diferentes espaços dos edifícios em consonância com as respectivas funções;
- melhorar a eficiência energética global dos edifícios, não só nos consumos para climatização mas em todos os tipos de consumos de energia que neles têm lugar, promovendo a sua limitação efectiva para padrões aceitáveis, quer nos edifícios existentes, quer nos edifícios a construir ou nas intervenções de reabilitação de edifícios existentes;
- impor regras de eficiência aos sistemas de climatização que permitam melhorar o seu desempenho energético efectivo e garantir os meios para manutenção de uma boa qualidade do ar interior, quer a nível do projecto, quer a nível da sua instalação, quer durante o seu funcionamento, através de uma manutenção adequada;
- monitorizar com regularidade as práticas da manutenção dos sistemas de climatização como condição da eficiência energética e da qualidade do ar interior dos edifícios.

Por fim, o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) – D.L. nº 80/2006, de 4 de Abril -, aprovado pelo D.L. nº 40/90, de 6 de Fevereiro, foi o primeiro instrumento legal que em Portugal impôs requisitos ao projecto de novos edifícios e de grandes remodelações por forma a salvaguardar a satisfação das condições de conforto térmico nesses edifícios sem necessidades excessivas de energia quer no Inverno quer no Verão. Este Decreto-Lei visava também garantir a

minimização de efeitos patológicos na construção derivados das condensações superficiais e no interior dos elementos da envolvente.

1.3. Objectivos e Motivação

A qualidade do ar interior (QAI) tem-se tornado um tema ambiental de grande relevância. O número de queixas relacionadas com a QAI tem crescido nos últimos anos com o aumento da densidade de edifícios, o crescente uso de materiais sintéticos, e as medidas de conservação da energia que reduzem a quantidade de ar exterior fornecido. Os equipamentos dos edifícios (por exemplo, fotocopiadores, impressoras a laser, computadores), produtos de limpeza, e a poluição do ar exterior, podem também levar ao aumento dos níveis de contaminação do ar interior. As reacções a estes agentes podem conduzir ao fenómeno conhecido como Síndrome do Edifício Doente (SED) (Matos et al., 2010). No entanto, tal como qualquer outro problema da sociedade, o controlo das fontes de contaminação, é o meio mais eficiente para melhorar a QAI.

Os principais causadores de tensão ambiental (stress) associados a uma deficiente qualidade do ar, são:

- Presença de odores;
- Ruído;
- Sobrelotação do espaço;
- Locais de trabalho mal projectados;
- Deficiente iluminação.

Grande parte destes aspectos influenciaram a escolha deste tema, tendo sido o ponto de partida e de motivação para desenvolver este projecto. Relativamente à escolha específica das Bibliotecas de Engenharia Civil (BEC) e de Engenharia Mecânica (BEM), prendeu-se ao facto de serem as Bibliotecas mais recente e mais antiga do Pólo II, respectivamente, por ambas estarem equipadas com sistema de climatização específicos, e por apresentarem em alguns períodos do ano lectivo uma taxa de ocupação relevante por longos períodos de permanência. A partir destes parâmetros reconhece-se a importância de garantir uma boa QAI nestas duas Bibliotecas.

O principal objectivo desta dissertação, tendo em conta que o ar interior de um edifício resulta da interacção da sua localização, do clima, do sistema de ventilação do edifício, das fontes de contaminação e do número de ocupantes, consiste em avaliar a taxa de renovação de ar em cada uma das Bibliotecas através da aplicação do Método dos Gases Traçadores, utilizando como gás traçador o dióxido de carbono libertado pelos ocupantes das salas de leitura (CO₂ metabólico), de forma a reduzir os gastos energéticos consoante essa mesma ocupação. Foi ainda possível calcular a ocupação máxima para os caudais de ar novo determinados e respectiva taxa de renovação de ar, tendo em conta os limites de concentração de CO₂ de acordo com a legislação em vigor para edifícios existentes (Nota Técnica NT-SCE-02).

1.4. Estrutura da dissertação

A dissertação encontra-se dividida em 5 capítulos, os quais incidem sobre as várias fases do estudo.

O primeiro capítulo procura fazer a título introdutório, um enquadramento geral do tema, onde apresenta alguns dos vários problemas que podem ser causados pela débil QAI. Posteriormente, ainda neste capítulo, foi feito um enquadramento a nível legislativo com o intuito de averiguar as várias directrizes em vigor, no campo da QAI. Por fim, são apresentados os objectivos desta dissertação e os aspectos motivadores.

No segundo capítulo é contemplada a metodologia utilizada, assim como os equipamentos usados durante as medições.

O terceiro capítulo incide sobre a caracterização das Bibliotecas em estudo (BEC e BEM), onde foi feita uma descrição geral das mesmas, dos sistemas de AVAC e por fim a descrição das visitas de inspecção realizadas a cada uma das Bibliotecas.

No quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos a partir das medições efectuadas nas Bibliotecas em questão, assim como a sua discussão.

Por último, no quinto capítulo, expõem-se as principais conclusões resultantes desta dissertação.

2. METODOLOGIA E EQUIPAMENTOS

Ao longo deste capítulo é feita uma abordagem, de forma simplificada, aos diferentes tipos de ventilação, ao método utilizado para avaliar a taxa de renovação de ar nas Bibliotecas (Método dos Gases Traçadores), e por fim a apresentação de todos os equipamentos utilizados na fase de medições.

2.1. Princípios de Ventilação

Num sistema de AVAC temos de ter em atenção as condições essenciais que permitam o conforto ao nível da QAI. Deste modo, existem três parâmetros relevantes a ter em conta: temperatura, humidade relativa e velocidade do ar. A temperatura do local varia consoante a estação do ano em que nos encontramos, isto é, no Inverno teremos uma temperatura interior entre os 20°C e os 24°C, por sua vez, no Verão estabeleceu-se que estará entre os 23°C e os 26°C. Quanto à humidade relativa, esta será óptima se estiver entre os 30% e os 70%. No que diz respeito à velocidade do ar terá de ser inferior a 0,2 m/s, na zona ocupada (Costa, 2011a).

Aquando da existência de um sistema de AVAC, a ventilação será o processo destinado a fornecer o ar fresco e a extrair o ar viciado de um espaço com determinada ocupação humana, de modo a garantir a qualidade do ar interior e o conforto dos ocupantes. A ventilação é então dividida em dois tipos diferentes: a natural e a mecânica/forçada. A ventilação natural (Figura 1), tal como o nome indica, não utiliza qualquer tipo de equipamento, é essencialmente usada nas habitações, onde a admissão e a extracção de ar de um edifício são feitas sob acção das forças naturais do vento e das pressões derivadas de diferenças de temperatura, por meio de aberturas intencionais na envolvente (janelas, grelhas de arejamento, chaminés) (Costa, 2011a).

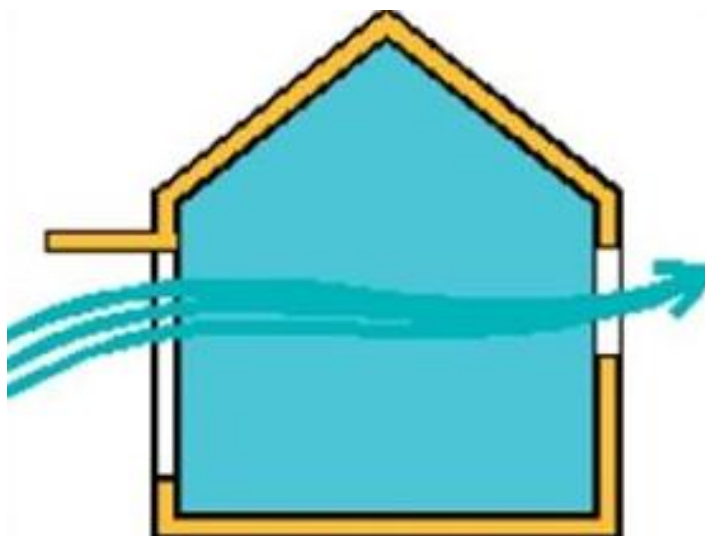


Figura 1. Esquema ilustrativo da ventilação natural. (Construir Portugal, 2011)

Porém, nos edifícios de habitação, deve existir de forma geral e permanente a entrada de ar pelos compartimentos principais, e saída pelos compartimentos de serviço (instalações sanitárias, cozinhas e dispensas), tendo deste modo uma Ventilação Mecânica Controlada (VMC), tal como mostra a Figura 2, que apresenta como vantagens, a eliminação de condensações, cheiros, fumos e renovação de ar viciado.

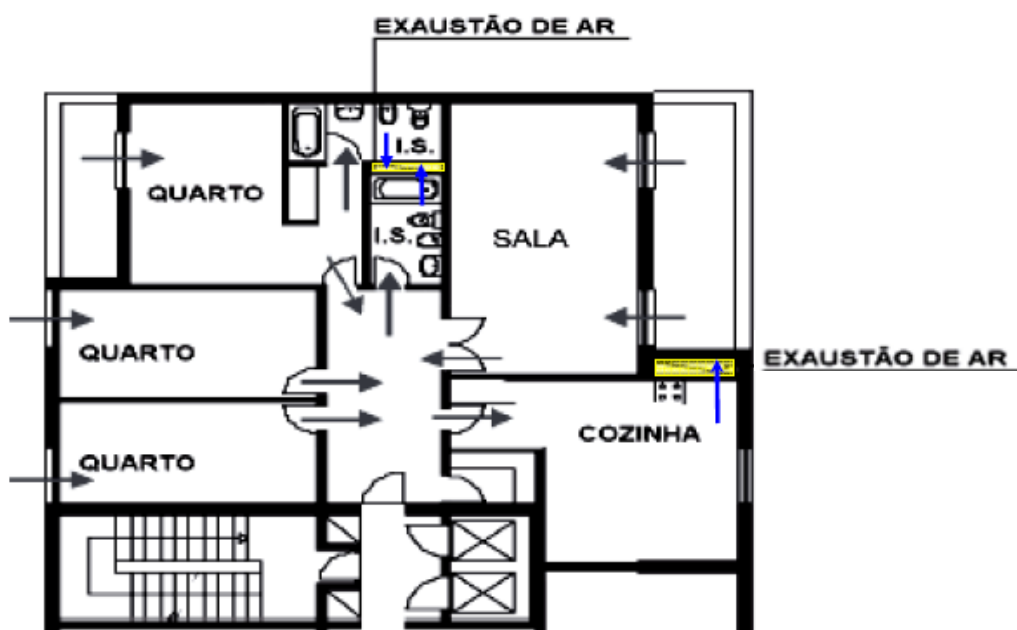


Figura 2. Esquema ilustrativo da Ventilação Mecânica Controlada (VMC). (Costa, 2011a)

Relativamente à ventilação mecânica/forçada, esta é promovida por meios mecânicos (ventiladores), podendo ser feita por insuflação, por extracção ou balanceada.

Existem então, essencialmente, dois tipos de ventilação mecânica, sendo eles, a ventilação por mistura (também designada por ventilação por diluição de poluentes), e a ventilação por deslocamento. A ventilação por mistura (Figura 3) diz respeito ao tipo de ventilação em que o ar novo é insuflado por aberturas (grelhas de insuflação) consideravelmente pequenas situadas no tecto ou próximo dele, com velocidade relativamente elevada. O princípio de renovação de ar baseia-se na diluição dos poluentes no ar, ocorrendo então uma mistura tão completa quanto possível, promovendo um escoamento circulatório que não só mantém a temperatura como as concentrações uniformes em todo o espaço.

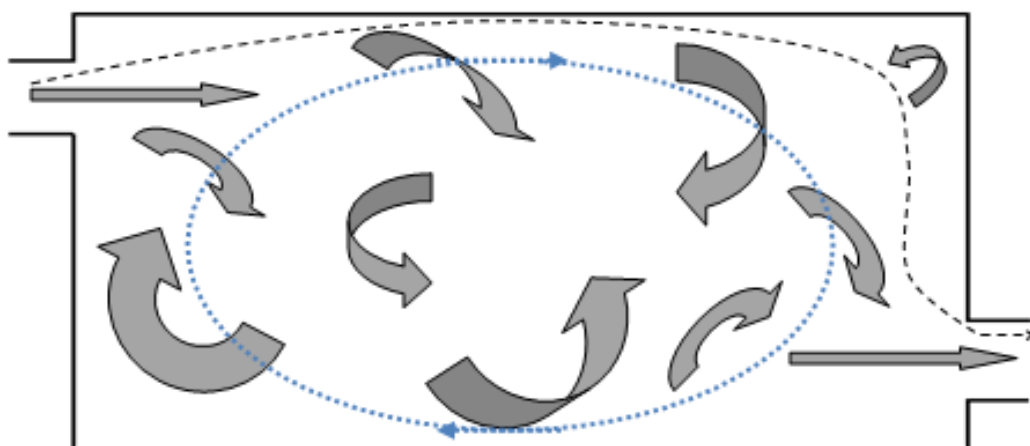


Figura 3. Esquema ilustrativo da ventilação mecânica por mistura.

Quanto à ventilação por deslocamento (Figura 4), o ar novo é fornecido ao nível do chão, a baixa velocidade, e a extracção é feita ao nível do tecto, de tal modo que o ar de ventilação é obrigado a atravessar o espaço num movimento essencialmente de translação. O princípio de renovação de ar consiste em isolar os poluentes, deslocando-os para cima da zona ocupada, permanecendo esta em condições semelhantes às do ar fornecido.

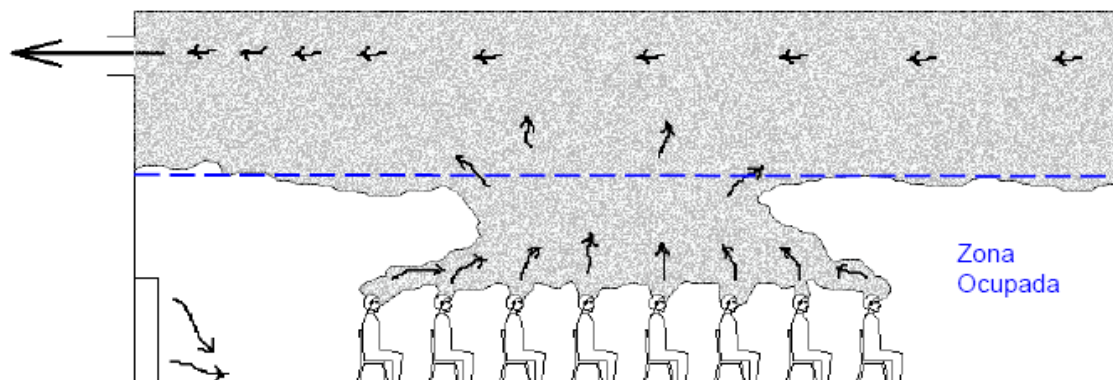


Figura 4. Esquema ilustrativo da ventilação mecânica por deslocamento. (Costa, 2011a)

Para além do tipo de ventilação, é necessário ter em conta a sua eficiência, que em termos práticos consiste na percentagem de ar novo insuflado que é útil, isto é, que efectivamente vai contribuir para a remoção dos poluentes. No que diz respeito aos sistemas de ventilação por mistura, podemos considerar dois tipos de eficiências de ventilação (η_v), sendo uma de 80%, quando os espaços apresentam uma boa estratégia de distribuição do ar insuflado (risco reduzido de ocorrência de “curto-circuito”), e outra de 60%, nos casos em que a insuflação e a extracção sejam ambas feitas pelo tecto falso, ou junto deste, relativamente próximas e/ou sem medidas específicas para reduzir o risco de “curto-circuito” do ar entre elas. Relativamente aos sistemas de ventilação por deslocamento considera-se uma eficiência de ventilação (η_v) de 100%, ou seja, a qualidade do ar na zona ocupada é aproximadamente igual à do ar insuflado (Costa, 2011a).

Com o exposto anteriormente, verificamos que um dos aspectos a ter em conta é a eficiência do sistema de ventilação, uma vez que quanto mais elevada esta for, menor é a necessidade de insuflar grandes caudais de ar novo para atingir os requisitos mínimos, o que levará consequentemente a um menor consumo.

2.2. Método dos Gases Traçadores

Com a necessidade de se conhecerem todos os caudais de ar em jogo, tanto por razões de âmbito energético como de qualidade do ar interior, notou-se uma crescente utilização dos métodos existentes, sendo que a maior parte destes se destina às medições

do caudal de ar entre o edifício e o exterior através da envolvente, ou seja, através das infiltrações. No entanto, a utilização do Método dos Gases Traçadores possibilita a determinação dos caudais de ar entre as zonas de um determinado edifício e entre este e o exterior.

O Método dos Gases Traçadores consiste na introdução de um gás que habitualmente não está presente no ar do compartimento ou escoamento, registando-se a evolução temporal da sua concentração (Gameiro, 2011b). No caso das Bibliotecas foi utilizado o método da concentração decrescente, ou seja, decaimento (havendo também o método da emissão constante e da concentração constante), visto ser o que melhor se adequa para atingir o objectivo proposto. Este gás tem de ser incolor, inodoro e insípido, com uma densidade próxima da do ar, e não tóxico, de modo a que não prejudique a QAI do local, nem a saúde dos seus ocupantes (Gameiro, 2011b). No caso da Biblioteca de Engenharia Civil (BEC) e da Biblioteca de Engenharia Mecânica (BEM), o gás traçador utilizado foi o dióxido de carbono (CO_2), uma vez que foi aproveitado o que é libertado pelos ocupantes do local (CO_2 metabólico).

2.2.1. Equações gerais para a evolução temporal da concentração de poluentes

Segundo Silva et al., (2011), um compartimento unizona é um local onde existe uma fonte de poluição e que efectua trocas gasosas com o ar exterior e onde pode funcionar um elemento purificador de ar. Admitindo a possibilidade de deposição ou de absorção do poluente nas paredes e restantes superfícies, pode formular-se a evolução temporal da concentração de um poluente através da seguinte equação diferencial, representada posteriormente, de uma forma esquemática, na Figura 5 :

$$\frac{dC}{dt} = \frac{G}{V} + \lambda_v C_{ext} - \lambda_v C - v_d \frac{S}{C} - \frac{Q_{ac}}{V} C \epsilon_{ac} \quad (1)$$

sendo:

C, a concentração média instantânea do poluente (mg/m^3)

G, a geração de poluente no interior do compartimento (mg/h)

V, o volume da sala (m^3)

λ_v , a taxa de renovação de ar (h^{-1}), i.e., o caudal de ar novo a dividir pelo volume da sala

C_{ext} , a concentração do poluente no ar exterior (mg/m^3)

v_d , a taxa de deposição do poluente ($\text{mg}/\text{h}/\text{m}^2$)

S , a superfície de deposição (m^2)

Q_{ac} , o caudal através do purificador de ar (m^3/h)

ε_{ac} , a eficiência do purificador de ar (adimensional)

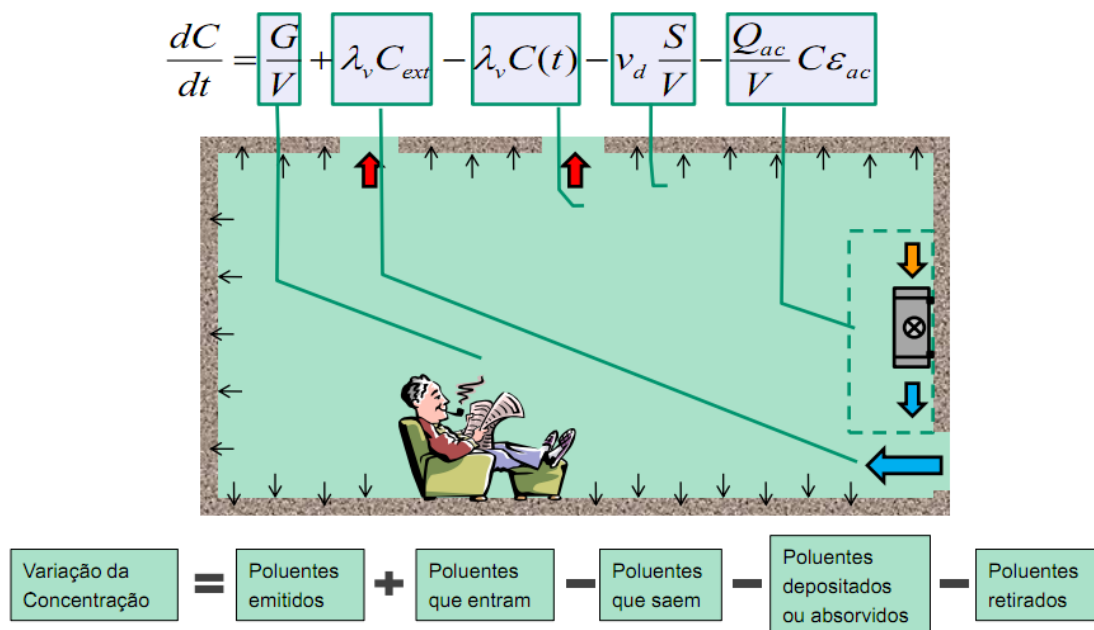


Figura 5. Esquema ilustrativo da equação geral para a concentração média de um poluente num espaço interior unizona. (ADENE, 2009)

Os efeitos de absorção ou deposição do poluente no interior do compartimento, bem como os de remoção através de filtragem num sistema purificador, podem ser considerados de forma simplificada, atenuando a intensidade da fonte emissora do valor que lhes corresponde. Assim, para efeitos de simplificação, desprezam-se esses mesmos termos, vindo:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{G}{V} + \lambda_v C_{ext} - \lambda_v C \quad (2)$$

ao integrar, para uma situação em que V , G , C_{ext} e Q se mantêm constantes, desde um instante inicial $t=0$, em que a concentração inicial $C_0=C_{ext}$, até ao instante genérico t , obtêm-se:

$$C(t) = C_{equi} + (C_0 - C_{equi}) \cdot e^{-\lambda_v \cdot t} \quad (3)$$

A concentração de equilíbrio C_{equi} , na equação anterior, consiste no valor da concentração que ocorre quando é atingido o regime permanente, isto é, quando cessa a variação da concentração. Assim, obtêm-se a partir da equação (2) e considerando nulo o primeiro membro:

$$C_{equi} = C_{ext} + \frac{G}{V\lambda_v} \quad (4)$$

que, tendo em atenção que $\lambda_v = \frac{Q}{V}$, vem:

$$C_{equi} = C_{ext} + \frac{G}{Q} \quad (5)$$

A equação (3) pode ser utilizada tanto para situações de decaimento da concentração como para situações de aumento da concentração, alterando C_0 e C_{equi} , de acordo com a situação. Importa referir que em situações reais, há períodos em que a avaliação temporal das concentrações de poluentes interiores são difíceis de modelar devido aos parâmetros envolvidos (taxa de emissão da fonte, taxa de vazão de ar fresco, concentração no ar exterior, etc.) que podem ter um carácter flutuante. No entanto, na maioria das situações, é possível encontrar alguns períodos de tempo ao longo das avaliações de concentrações de contaminantes que são apropriados para aplicar as técnicas de regressão e obter informações relevantes sobre a infiltração/exfiltração dos edifícios e a taxa de ventilação fornecida pelos sistemas de AVAC.

Se as condições sobre a taxa de ventilação de ar fresco e sobre a intensidade das emissões de origem permanecem constantes, as séries temporais de dados experimentais podem ser usadas para determinar a taxa de ventilação e a idade média do ar local. Remodelando a equação (3), obtêm-se:

$$\frac{C(t)-C_{equi}}{C_0-C_{equi}} = e^{-\lambda_v \cdot t} \quad (6)$$

Assim, usando o método dos mínimos quadrados, a evolução temporal da concentração de um poluente num ambiente interno pode ser facilmente ajustada por uma equação exponencial, onde a taxa de ventilação (λ_v) é o simétrico da constante numérica no expoente. A equação acima também pode ser considerada como a resposta de um sistema de primeira ordem, onde o tempo constante do sistema, τ , corresponde ao inverso da taxa de ventilação ($\tau = \frac{1}{\lambda}$). Em termos físicos, τ é conhecido como a idade média do ar local, sendo um parâmetro de ventilação que descreve o período de tempo que o ar permanece num determinado local [ISO 16000-8].

Uma possibilidade alternativa é dada pela logaritmização da equação anterior:

$$\ln\left(\frac{C(t)-C_{equi}}{C_0-C_{equi}}\right) = -\lambda_v \cdot t \quad (7)$$

que poderá tomar a seguinte forma:

$$\ln(C(t) - C_{equi}) = \ln(C_0 - C_{equi}) - \lambda_v \cdot t \quad (8)$$

Este tipo de representação apresenta, relativamente à anterior, a vantagem de permitir uma identificação mais simples das ocorrências de mudança de regime ao longo das séries temporais dado que uma alteração de declive numa recta do tipo ($y = mx + b$) é mais fácil de identificar do que a alteração do expoente de uma equação exponencial.

A partir das equações apresentadas anteriormente, obtém-se directamente o caudal de ar novo *efectivo* que, em média, atravessa a zona ocupada da sala. Então,

$$Q_{A.N.} = \lambda_v \cdot V \quad (9)$$

No caso das Bibliotecas, segundo o estipulado no Anexo VI do RSECE, o caudal mínimo de ar novo *efectivo* terá de ser superior ou igual a $30 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{ocupante})$.

2.2.2. Caracterização da fonte de CO₂

Uma Qualidade do Ar Interior (QAI) aceitável é definida como o ar onde não existem contaminantes conhecidos em concentrações perigosas, de acordo com o determinado pelas autoridades reconhecidas e onde a maioria (80% ou mais) dos ocupantes expostos não expressem insatisfação (Alfano et al., 2010).

Atendendo a que numa Biblioteca as principais fontes de poluição estarão associadas à ocupação humana, o dióxido de carbono (CO₂) é então utilizado como contaminante de referência pois permite a avaliação da eficácia do sistema de ventilação. O dióxido de carbono resulta da respiração humana, logo a sua produção está estreitamente relacionada com o volume de oxigénio consumido, como se descreve de seguida, segundo Alfano et al. (2010):

$$\dot{V}_{O_2} = \frac{0,00276A_{Du}M}{0,23RQ + 0,77} \quad (10)$$

onde,

\dot{V}_{O_2} , é o volume de oxigénio consumido (l/s);

A_{Du} , a Área de *DuBois*, é a área de superfície do corpo humano da pessoa analisada (m²);

M, é o nível de actividade metabólica (met), sendo um 1 met = 58,15 W/m²;

RQ, é a razão entre o volume produzido de CO₂ e o volume consumido de O₂, que normalmente toma o valor de 0,83.

O valor da Área de *DuBois* pode ser calculado a partir de:

$$A_D = 0,202 \times w^{0,425} \times h^{0,725} \quad (11)$$

sendo,

w, a massa corporal (kg);

h, a altura do corpo (m).

Tipicamente, para uma pessoa normal, com $1,8 \text{ m}^2$ de área corporal e um nível de actividade de 1,2 met, obtém-se através da equação (10):

$$\dot{V}_{O_2} = \frac{0,00276 \times 1,8 \times 1,2}{0,23 \times 0,83 + 0,77} = 0,0062 \text{ l/s}$$

logo,

$$\dot{V}_{CO_2} = 0,83 \times 0,0062 = 0,0052 \text{ l/s} \quad (12)$$

que convertido para as unidades utilizadas para expressar os caudais volúmicos em edifícios, dará $0,0187 \text{ m}^3/\text{h}$.

Atendendo a que o CO_2 tem uma densidade, à temperatura de 298 K, de $1,98 \text{ kg/m}^3$, a massa emitida por uma pessoa normal, com actividade moderada será de:

$$G_{CO_2} = 1,98 \times 0,0187 = 0,037 \text{ kg/h} = 37000 \text{ mg/h} \quad (13)$$

Assim, substituindo o valor de G na equação (5), obtém-se a concentração de equilíbrio C_{equi} , em mg/m^3 , de um poluente num dado espaço, tendo em conta a concentração do ar exterior, C_{ext} , e o caudal de ar novo, Q.

2.3. Equipamentos

Os equipamentos utilizados para a realização das medições efectuadas na BEC e na BEM, foram escolhidos conforme os parâmetros a ser avaliados, sendo estes: a velocidade do ar, o ruído, a iluminância, a temperatura do ar interior, a humidade relativa e a concentração de CO_2 (dióxido de carbono). Foi ainda utilizado um medidor laser de distâncias, para calcular o volume das Bibliotecas. Na Tabela 1 estão apresentados todos os equipamentos utilizados assim como os respectivos parâmetros sujeitos a medição. É de referir que em ambas as Bibliotecas foram realizadas medições aos mesmos parâmetros e com os mesmos intervalos de tempo.

Tabela 1. Equipamentos de medição.

Equipamento	Modelo	Marca	Parâmetros sujeitos a medição
Anemómetro	HHF81	<i>Ómega</i>	Velocidade do ar; ruído; iluminância.
Anemómetro de molinete com sonda telescópico	<i>Datalogger</i> compatível (Testo 400)	<i>Testo</i>	Velocidade do ar.
<i>Fluke</i>	<i>975 Air Meter™</i>	<i>FLUKE</i>	Temperatura do ar interior; Humidade relativa; Concentração de CO ₂ .
<i>Indoor Air Quality Monitor</i>	PS32	<i>SENSOTRON</i>	Temperatura do ar interior; Humidade relativa; Concentração de CO ₂ .
<i>GrayWolf DirectSense</i>	IQ-610	<i>GrayWolf</i>	Temperatura do ar interior; Humidade relativa; Concentração de CO ₂ .
Medidor laser de distâncias	DLE 70 Professional	<i>BOSCH</i>	Distâncias.

As Figuras 6, 7, 8, 9, 10 e 11 dizem respeito aos equipamentos anteriormente referidos, respectivamente.



Figura 6. Anemômetro HHF81.



Figura 7. Anemômetro de molinete com sonda telescópica e datalogger Testo 400.



Figura 8. Fluke 975 Air Meter TM. (Fluke, 2011)



Figura 9. Indoor Air Quality Monitor PS32.

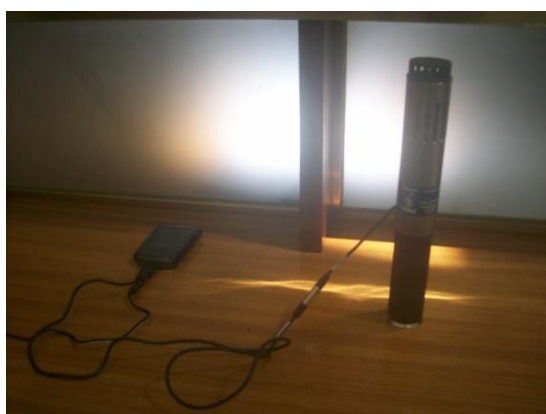


Figura 10. GrayWolf DirectSense IQ-610.



Figura 11. Medidor laser de distâncias DLE 70 Professional.

3. CARACTERIZAÇÃO DAS BIBLIOTECAS

Neste capítulo é feita uma breve descrição da Biblioteca de Engenharia Civil (BEC) e da Biblioteca de Engenharia Mecânica (BEM), da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (FCTUC). Para tal foi efectuada a recolha do historial de informação disponível para uma melhor compreensão dos edifícios em questão, ou seja:

- Memórias descritivas dos projectos;
- Plantas dos edifícios e dos sistemas de AVAC (Anexos A e B);
- Realização de visitas de inspecção;
- Pré-avaliação das condições de higiene e de manutenção do sistema de AVAC.

3.1. Biblioteca de Engenharia Civil (BEC)

3.1.1. Descrição geral

A Biblioteca de Engenharia Civil (BEC) localiza-se no departamento mais recente do Pólo II da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, sendo este o Departamento de Engenharia Civil (DEC), datado de 1999.

A Biblioteca, situada no 3º piso do DEC, possui uma ocupação máxima de 252 lugares e encontra-se dividida em vários espaços com diferentes ocupações, sendo eles: uma sala de leitura com capacidade para 120 lugares, uma sala de estudo lateral com lotação de 29 lugares, um anfiteatro com uma capacidade para 100 lugares, dois gabinetes estando um deles ocupado pela bibliotecária, a recepção onde se encontram 2 funcionários, e por fim uma sala de arquivo.

Uma particularidade desta Biblioteca é o facto de possuir 60 clarabóias (abertura no alto das edificações destinada a permitir a entrada de luz natural), de 90 cm de diâmetro cada, uniformemente distribuídas, excepto na sala de arquivo e no anfiteatro, tal

como mostra a Figura 12. Este tipo de iluminação natural não só torna os espaços mais agradáveis como reduz significativamente os gastos de energia com a iluminação do local.

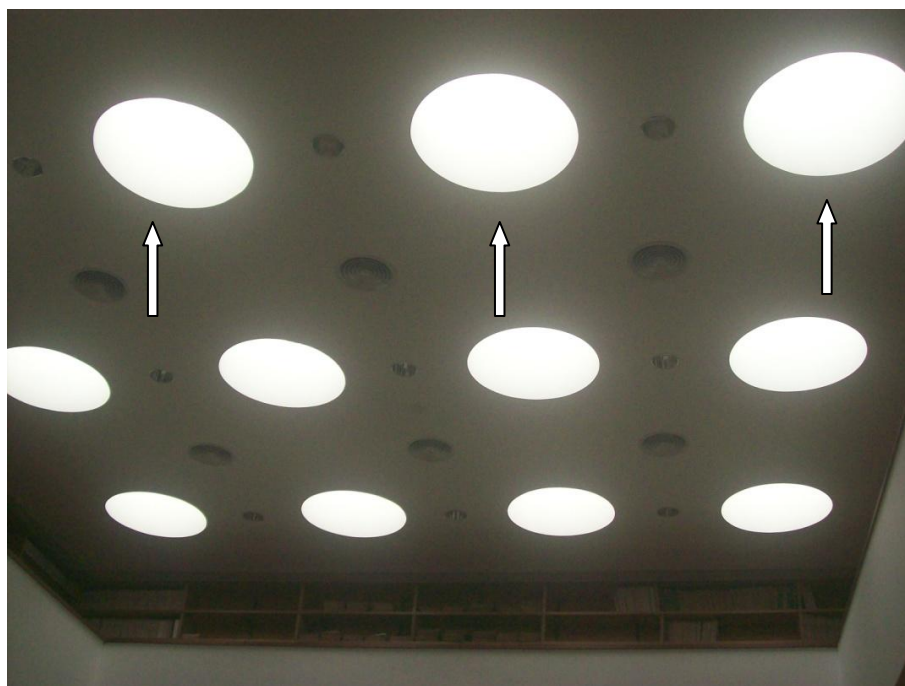


Figura 12. Sala de leitura da BEC com iluminação natural (clarabóias).

3.1.2. Descrição geral do sistema de AVAC

O sistema de climatização da BEC é composto por duas unidades de expansão directa do tipo *ROOF-TOP* “tudo-ar”, UC1 e UC2, equipadas com um sistema de humidificação associado ao ventilador de extracção. O gabinete da bibliotecária, a sala de estudo lateral e a sala de arquivo não possuem ventilação mecânica, com a possibilidade de nos dois primeiros espaços mencionados existir ventilação natural por meio da abertura manual de janelas. Uma vez que o local de interesse é a sala de leitura desta Biblioteca, será apenas descrito os constituintes do sistema de climatização desta, até porque o anfiteatro apenas possui um ventilador de extracção com um caudal nominal de 3000 m³/h.

As UTA's (Unidades de Tratamento de Ar) que abastecem a BEC situam-se na cobertura do edifício, sendo que a UC1 é responsável pela climatização da ala esquerda e a UC2 pela climatização da ala direita, ambas da marca *Carrier* e do modelo 50RU 012. A insuflação de ar na sala de leitura é efectuada pelo tecto através de 24 difusores circulares

com um caudal nominal de 500 m³/h cada, e o ar de retorno é captado por grelhas de extracção, situados por baixo das estantes, em cada um dos 3 níveis de altura da Biblioteca perfazendo um total de 12 grelhas, com um caudal nominal de 750 m³/h cada. Estes aspectos podem ser visualizados na Figura 13.

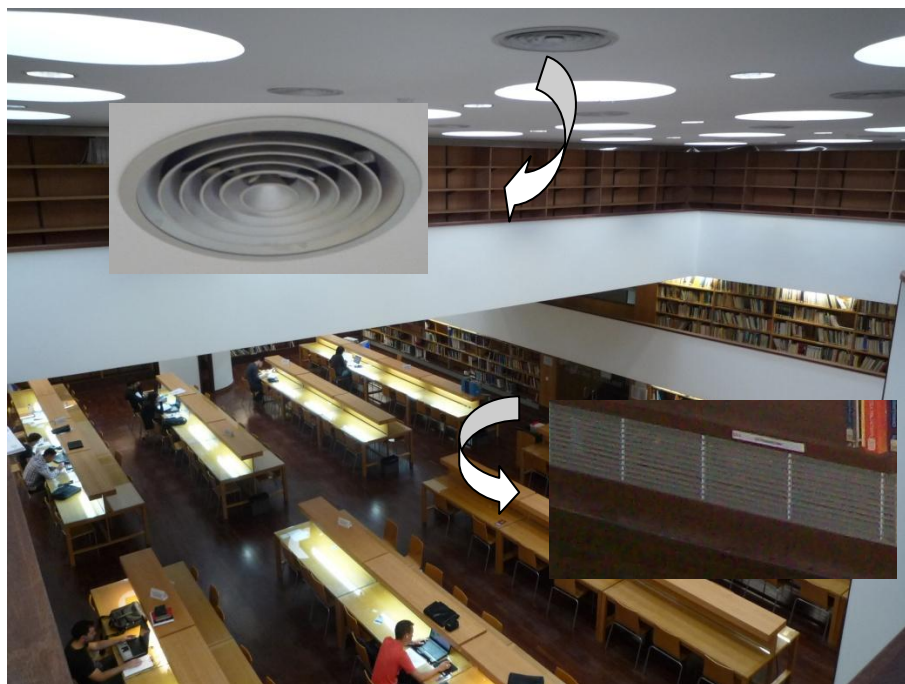


Figura 13. Difusores circulares de insuflação e grelhas de extracção da sala de leitura da BEC.

Globalmente cada uma das UTA's tem um caudal de insuflação de 6000 m³/h, incorporando 1500 m³/h de ar novo, e um caudal de extracção de 4500 m³/h, o qual é recirculado, ou seja, será posteriormente misturado com o ar novo. Perante os valores de projecto, verifica-se que a sala de leitura se encontra em condições de sobrepressão (Tabela 2).

Tabela 2. Características do sistema de climatização da sala de leitura da BEC.

Piso	Área (m ²)	Ocupação Máxima	Caudal (m ³ /h)			Fracção de Ar Novo	Condições de pressão
			de Insuflação	de Extracção	de Ar Novo		
3	272	120	6000	4500	1500	0,25	Sobrepresão (≈30%)

Pode constatar-se que a BEC possui uma ventilação por mistura, isto é, o ar novo é insuflado ao nível do tecto, promovendo uma diluição o mais completa possível dos poluentes, sendo a extracção efectuada ao nível do chão.

3.1.3. Visita de inspecção

A visita de inspecção destina-se a complementar a informação recolhida através das memórias descritivas dos projectos, das plantas dos edifícios e dos sistemas de AVAC. Esta visita decorreu no dia 18 de Maio de 2011, com o acompanhamento do funcionário responsável pelo sistema de climatização.

Iniciou-se a visita com a inspecção às UTA's que se localizam na cobertura, verificando que apenas a UC1 se encontrava em funcionamento, visto que a UC2 avariou, não tendo sido possível reparar-la até ao momento. Efectuou-se a medição da velocidade do ar na tomada de ar novo que abastece a ala esquerda da BEC (UC1), através da divisão da tomada de ar novo em nove pontos iguais, fazendo a sua média, e multiplicando pela respectiva área (Figura 14), resultando um caudal de ar novo, $Q_{AR\ NOVO}$, de 1516,32 m³/h. Esta medição foi realizada com o anemómetro de molinete com sonda telescópio e *datalogger* Testo 400.

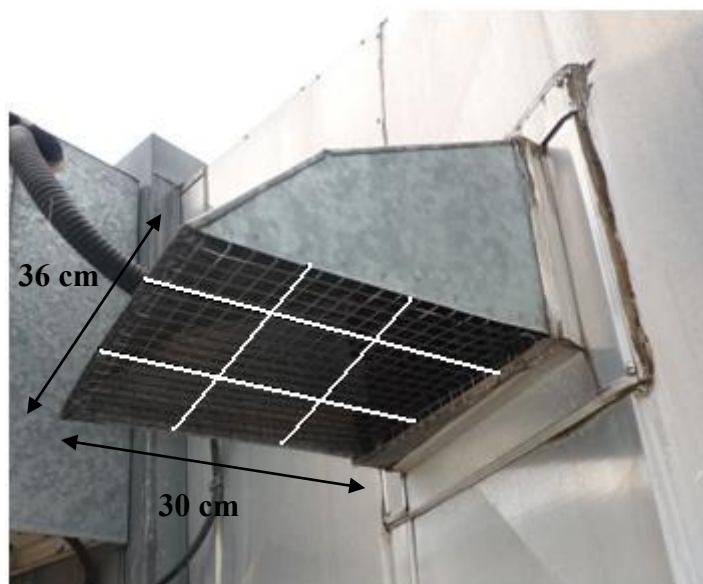


Figura 14. Tomada de ar novo da UC1 com divisão dos pontos de medição da velocidade do ar.

De seguida efectuou-se a visita à sala de leitura, onde se verificou que estando a UC1 ligada não há ruído proveniente do sistema de climatização, não sendo necessário deste modo realizar qualquer tipo de medição a este nível. Relativamente às grelhas de insuflação não foi possível executar nenhuma medição visto que os difusores se encontram no tecto a cerca de 6,5 m de altura. Quanto às grelhas de extracção, com o auxílio do anemómetro HHF81, foi possível medir a velocidade do ar, dividindo uma secção da grelha em três partes iguais, fazendo a sua média, e multiplicando pela respectiva área, como demonstra a Figura 15, obtendo-se um caudal de ar extraído de 216 m³/h.



Figura 15. Secção da grelha de extracção da sala de leitura da BEC.

Antes de terminar a visita de inspecção à BEC, verificou-se que mesmo sendo um dia com céu nublado e períodos de chuva, a iluminância na sala de leitura era excessiva. Então efectuou-se medições à iluminância em quatro pontos distintos, com as luzes do tecto acesas e com as luzes do tecto apagadas, resultando respectivamente em, 440 lux e 363 lux, o que significa que segundo os valores estipulados para uma sala de aula (comparativamente à sala de leitura) se encontram um pouco acima, visto que o limite é de 300 lux (Alfano et al., 2010), logo poderiam ser reduzidos os gastos energéticos ao permanecer com as luzes do tecto desligadas, continuando com uma iluminância aceitável. Esta medição foi realizada com o anemómetro HHF81.

3.2. Biblioteca de Engenharia Mecânica (BEM)

3.2.1. Descrição geral

Em 1994/1995 foi construído o primeiro departamento no Pólo II, sendo este o Departamento de Engenharia Mecânica (DEM), onde se localiza a Biblioteca de Engenharia Mecânica (BEM), no 3º piso do edifício.

A BEM possui uma ocupação máxima de 159 ocupantes, sendo que esta ocupação se distribui por vários espaços integrados na biblioteca, nomeadamente: uma sala de leitura com capacidade para 98 lugares, uma sala de computadores com 18 lugares de lotação, duas salas de grupo com capacidade para 17 e 24 lugares, um gabinete para a bibliotecária, a recepção onde se encontra 1 funcionário, uma sala de expurgo, uma sala de arquivo, instalações sanitárias e uma sala de máquinas (onde se encontra a UTA).

À excepção das instalações sanitárias e da sala das máquinas, toda a biblioteca apresenta uma boa iluminação natural, através de janelas.

3.2.2. Descrição geral do sistema de AVAC

O sistema de climatização da BEM é constituído por uma UTA, da marca *Wolf* e do modelo KG 160 *Standard casing*, que se encontra na sala das máquinas. Esta UTA, funciona com arrefecimento, aquecimento e ventilação, segundo uma solução “tudo-ar”, servindo todos os espaços da biblioteca (as instalações sanitárias apenas possuem grelhas de extracção).

Uma vez que o espaço de interesse é a sala de leitura da BEM, apenas serão apresentados os constituintes do sistema de climatização desta. A insuflação de ar é feita ao nível do tecto, a cerca de 2,6 m de altura, a partir de 8 grelhas de insuflação com um caudal nominal de 100 m³/h cada, sendo feita também ao nível das paredes, a cerca de 3 m de altura, a partir de 10 grelhas de insuflação com um caudal nominal de 500 m³/h cada. Quanto ao ar de retorno, este é captado por 10 grelhas de extracção, localizadas por baixo das estantes, com um caudal nominal de 490 m³/h cada. Os aspectos apresentados anteriormente podem ser observados na Figura 16.



Figura 16. Grelhas de insuflação e de extracção da sala de leitura da BEM.

Globalmente a UTA tem um caudal de insuflação de $9770 \text{ m}^3/\text{h}$, sendo que $2400 \text{ m}^3/\text{h}$ dizem respeito ao caudal de ar novo, $Q_{\text{AR NOVO}}$, e $7370 \text{ m}^3/\text{h}$ ao caudal de ar recirculado para o abastecimento de toda a biblioteca. Tendo em conta os valores de projecto, a sala de leitura da BEM encontra-se em condições de sobrepressão (Tabela 3).

Tabela 3. Características do sistema de climatização da sala de leitura da BEM.

Piso	Área (m^2)	Ocupação Máxima	Caudal (m^3/h)			Fracção de Ar Novo	Condições de pressão
			de Insuflação	de Extracção	de Ar Novo		
3	219	98	5800	4900	1425	0,25	Sobrepressão ($\approx 18\%$)

A sala de leitura da BEM possui uma ventilação por mistura, também designada por ventilação por diluição de poluentes, promovendo uma boa distribuição do ar na zona ocupada.

3.2.3. Visita de inspecção

Com o objectivo de completar a informação recolhida até ao momento, consumaram-se duas visitas de inspecção à BEM.

A primeira visita realizou-se no dia 6 de Maio de 2011, e teve início na sala das máquinas onde se encontra a UTA, verificando que esta apresenta um filtro de gama baixa (G2), normalmente utilizado como pré-filtro, visto que é um filtro grosso, sendo recomendado no mínimo um filtro médio (F5). Ainda relativamente à UTA conferiu-se que não está garantido um acesso fácil para manutenção e limpeza (Figura 17).



Figura 17. Filtro da UTA da BEM.

De seguida continuou-se a visita para a sala de leitura, onde se efectuou medições ao nível do ruído, encontrando-se a mesma com o sistema de climatização ligado e sem ocupação, definindo-se 3 pontos de medição, obtendo uma média de 55,2 dB (A) durante 1 minuto e 30 segundos (tempo de medição), o que segundo o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, não cumpre o limite de 38 dB (A) (se o funcionamento do equipamento for contínuo) estipulado na alínea f) do ponto 1, no artigo 7º do Decreto-

Lei nº 129/2002, de 11 de Maio. Quanto à iluminância, sendo um dia com o céu limpo, obteve-se uma média de 525 lux através dos mesmos pontos de medição, estando este muito acima do valor limite para salas de aula (300 lux). Estas medições foram feitas recorrendo ao anemómetro HHF81.

A segunda visita de inspecção teve lugar no dia 18 de Maio de 2011, começando por realizar uma medição do caudal de ar na tomada de ar novo, situada do lado esquerdo da biblioteca antes da entrada para a sala de computadores. Esta medição foi algo dúbia, uma vez que o valor obtido era bastante superior ao de projecto, daí terem sido realizadas duas medições: uma com divisão em 9 pontos iguais, onde se mediu a velocidade do ar, obtendo uma velocidade do ar média que multiplicando pela respectiva área resultou num caudal de ar novo, $Q_{AR\ NOVO}$, de 3393,57 m³/h; e a outra com uma divisão em 12 pontos iguais, que calculando de igual forma, se obteve um caudal de ar novo, $Q_{AR\ NOVO}$, de 3331,25 m³/h (Figura 18). Estas medições foram efectuadas com o auxílio do anemómetro de molinete com sonda telescópico e *datalogger* Testo 400.

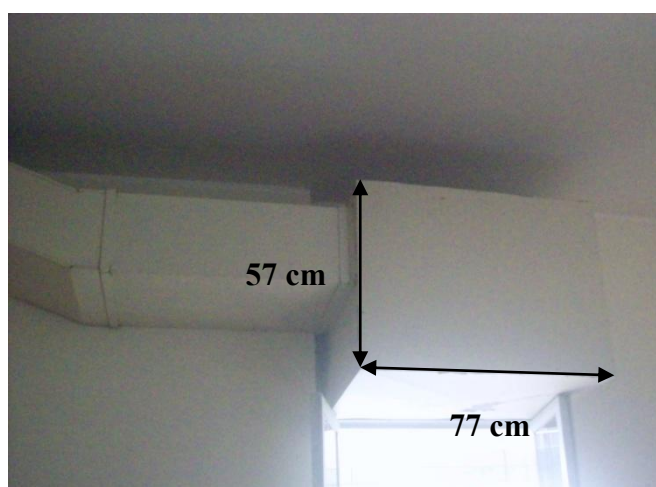


Figura 18. Tomada de ar novo da BEM.

Por fim, já na sala de leitura da BEM, realizaram-se medições nas 10 grelhas de insuflação situadas nas paredes (a cerca de 3 m de altura). Cada uma das grelhas foi dividida em 18 pontos iguais, nos quais se mediu a velocidade do ar. De seguida, foi calculada a velocidade do ar média sendo posteriormente multiplicada pela área das grelhas de insuflação, resultando um caudal de ar médio insuflado de 975,30 m³/h, como

se pode observar na Figura 19. Estas medições foram realizadas através da utilização do anemómetro de molinete com sonda telescópico e *datalogger* Testo 400.

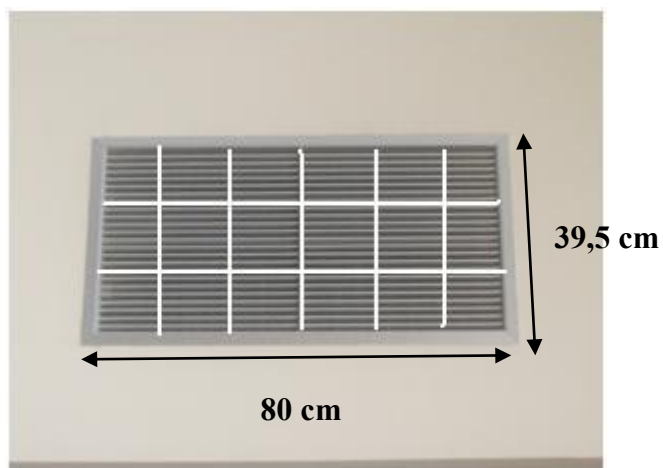


Figura 19. Grelha de insuflação da BEM com divisão da secção correspondente aos pontos de medição.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos nas medições efectuadas na Biblioteca de Engenharia Civil (BEC) e na Biblioteca de Engenharia Mecânica (BEM). Foram então realizadas duas medições, quer na BEC quer na BEM, em diferentes condições e com períodos de amostragem distintos: a primeira teve uma duração de 24 horas, com a Unidade de Tratamento de Ar (UTA) permanentemente ligada, e a segunda teve uma duração de 27 horas, em que a UTA apenas permaneceu ligada durante o horário de funcionamento de cada uma das Bibliotecas. Em cada uma das medições foi feito um registo do número de ocupantes, em intervalos de 15 minutos, durante todo o horário de funcionamento. O intuito destas medições foi, através da aplicação do Método dos Gases Traçadores (método do decaimento), calcular a taxa de renovação de ar das salas de leitura de cada uma das Bibliotecas e posteriormente calcular o caudal de ar novo. Seguidamente foi efectuado o cálculo da concentração de CO₂ para 100, 75 e 50% da ocupação das salas de leitura para verificar o 1º ou 2º critérios de conformidade, dispostos na Nota Técnica NT-SCE-02:

- **Critério de conformidade (1):**

$$([\text{CO}_2]_{\text{MedT}} - [\text{CO}_2]_{\text{Ext}}) \times \frac{N_{\text{ocup.max}}}{N_{\text{ocup}}} + [\text{CO}_2]_{\text{Ext}} \leq [\text{CO}_2]_{\text{MR}} \quad (14)$$

- **Critério de conformidade (2):**

$$([\text{CO}_2]_{\text{MedT}} - [\text{CO}_2]_{\text{Ext}}) \times \frac{N_{\text{ocup.max}}}{N_{\text{ocup}}} + [\text{CO}_2]_{\text{Ext}} \leq [\text{CO}_2]_{\text{MR}} \times 1,5 \quad (15)$$

onde,

$[\text{CO}_2]_{\text{MedT}}$, é a concentração média temporal em cada ponto de medição;

$[\text{CO}_2]_{\text{Ext}}$, é a concentração média temporal medida no exterior;

$[\text{CO}_2]_{\text{MR}}$, é a concentração máxima de referência.

Para o 1º critério de conformidade, o limite regulamentar, segundo o disposto no Anexo VII do RSECE, é 1800 mg/m³. Logo para o 2º critério de conformidade será 2700 mg/m³.

Por fim, e com o objectivo de reduzir os gastos energéticos, calculou-se a ocupação máxima possível, utilizando a taxa de renovação de ar e o caudal de ar novo obtidos, de forma a cumprir os valores da concentração de CO₂ dispostos na Nota Técnica NT-SCE-02.

Os equipamentos utilizados nas medições na BEC e na BEM foram os a seguir mencionados: *Fluke 975 Air Meter*TM, *Indoor Air Quality Monitor PS32* e *GrayWolf DirectSense IQ-610*. Os dois primeiros equipamentos foram utilizados na totalidade do tempo, enquanto que o último apenas serviu por pequenos períodos de tempo, para comparação.

4.1. Biblioteca de Engenharia Civil (BEC)

Nesta Biblioteca as medições tiveram lugar no dia 13 de Junho de 2011, estando um dia com céu pouco nublado, e no dia 30 de Junho de 2011, um dia com Sol. O horário de funcionamento da BEC encontra-se estabelecido das 09h00 às 12h30 e das 13h30 às 19h30.

Em ambas as medições, os equipamentos foram dispostos na sala de leitura conforme mostra a Figura 20.

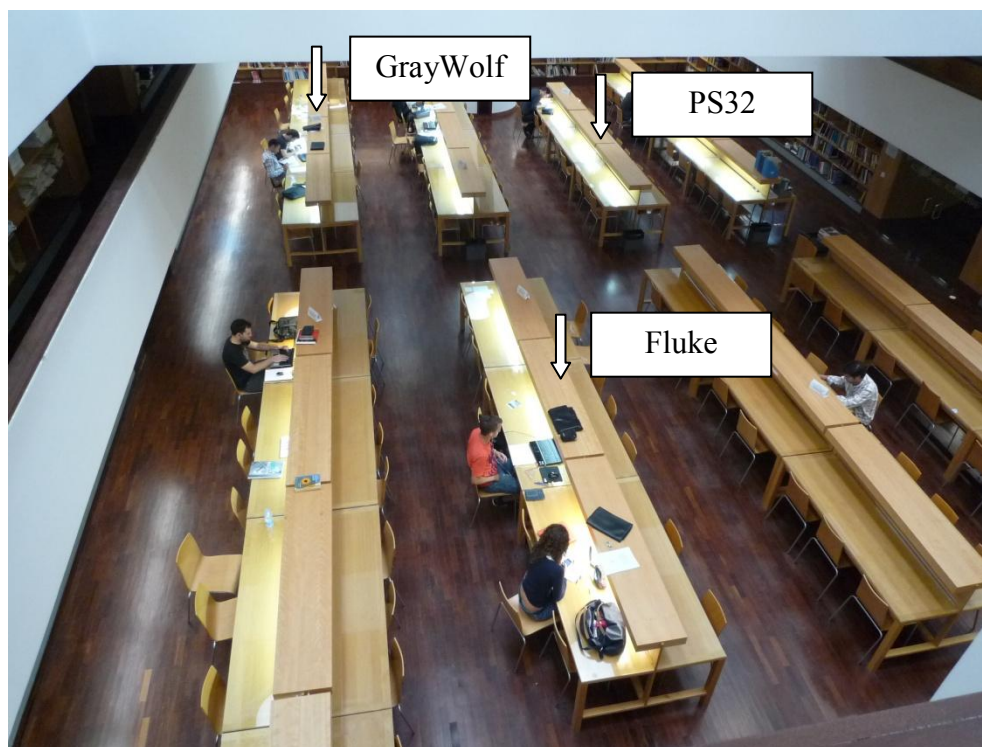


Figura 20. Disposição dos equipamentos de medição na sala de leitura da BEC.

4.1.1. Unidade de Tratamento de Ar (UTA) ligada continuamente – Medição de 24 horas

No dia 13 de Junho de 2011, a UTA foi ligada aquando da abertura da Biblioteca, permanecendo assim durante as 24 horas seguintes. As medições tiveram início às 09h e 07min, registando-se o número de ocupantes a partir desse momento.

Uma vez que a temperatura interior e a humidade relativa são parâmetros que podem influenciar a QAI, apresenta-se a evolução temporal destes mesmos parâmetros, medidos com o auxílio do *Fluke 975 Air Meter™*, tal como se mostra no Anexo C (1), onde se excluiu a primeira hora de medição, pois o equipamento estava em período de adaptação.

A Figura 21 apresenta os valores medidos pelos três equipamentos durante as 24 horas de medição, assim como a respectiva ocupação, evidenciando os períodos que melhor representam o decaimento da concentração de CO₂, ou seja, o período depois do fecho da Biblioteca para a “hora de almoço” (A), e o encerramento “após o horário de funcionamento” (B).

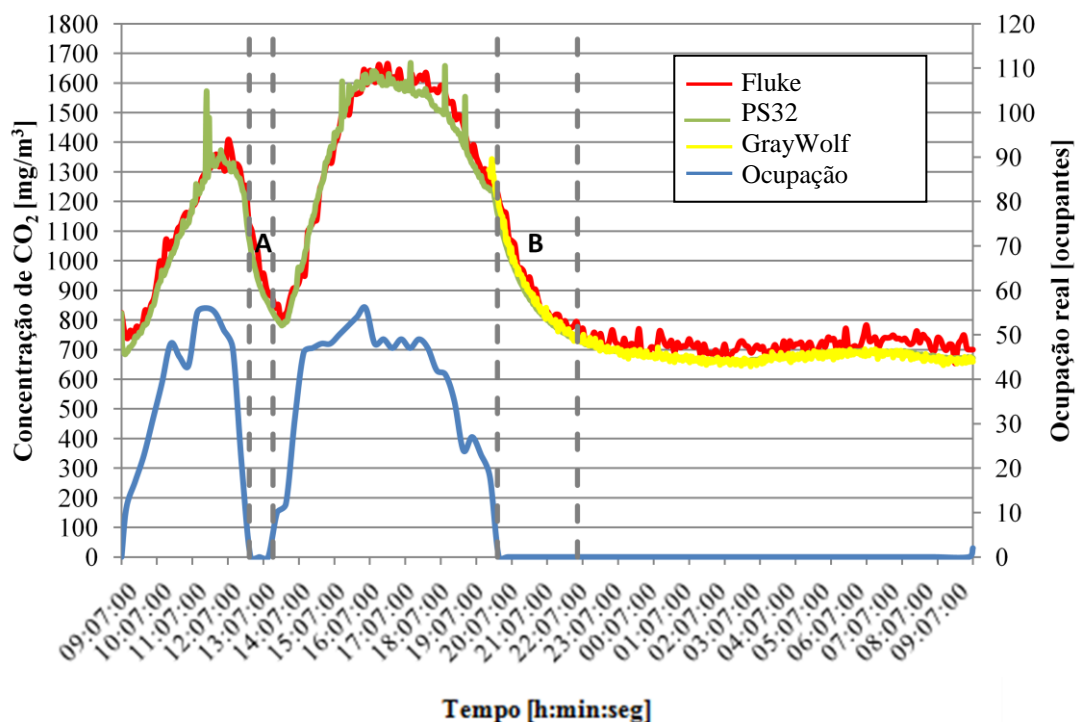


Figura 21. Evolução temporal da concentração de CO₂ e da ocupação real, onde (A) diz respeito ao intervalo de tempo das 12h45 às 13h25, e (B) ao período das 19h45 às 22h00.

Para a aplicação do método do decaimento, são necessárias condições específicas, isto é:

- Concentração inicial do gás traçador no ar interior uniforme em todo o espaço (C_0 , no instante inicial $t=0$);
- Condições de fronteira constantes durante o período de medição (ou seja, caudal de ar novo, $Q_{AR\ NOVO}$, e portanto, taxa de renovação de ar, λ_v ; a concentração do gás traçador no ar exterior admitido para o espaço, C_{ext});
- Ausência de fontes de emissão, isto é, a taxa de emissão, G , tem de ser nula (ou pelo menos, constante e conhecida).

Recorrendo às equações apresentadas na Sub-secção 2.2.1., e considerando uma taxa de emissão nula, $G = 0\ mg/h$ (isto é, sem ocupação), e uma concentração de equilíbrio correspondente à concentração do gás traçador medido no exterior, $C_{equi} = C_{ext} = 630\ mg/m^3$, obtém-se a partir da equação (7) a taxa de renovação de ar (λ_v), para os períodos (A) e (B), tal como mostram as Figuras 22 e 23, respectivamente. Nestes

gráficos estão apenas representados os valores medidos pelo *Indoor Air Quality Monitor* PS32, uma vez que este foi programado para registar os valores medidos em intervalos de 1 minuto, enquanto que o *Fluke 975 Air Meter*TM foi programado para intervalos de 5 minutos, não sendo, deste modo, tão rigoroso.

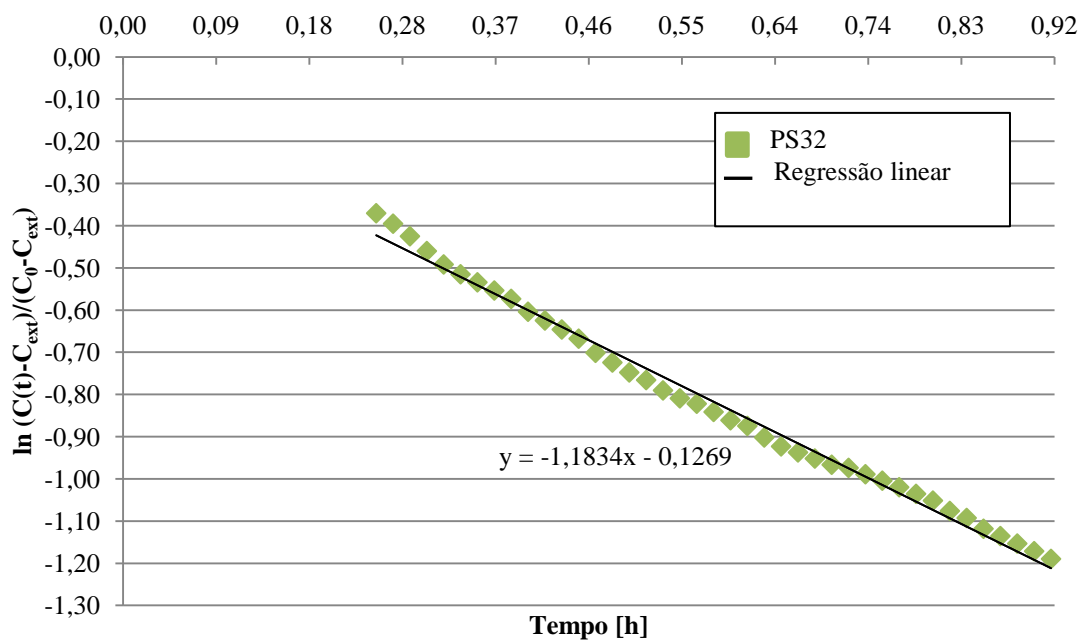


Figura 22. Decaimento da concentração de CO₂ após o fecho para a “hora de almoço”, isto é, no intervalo (A), das 12h45 às 13h25, com respectivo ajustamento linear.

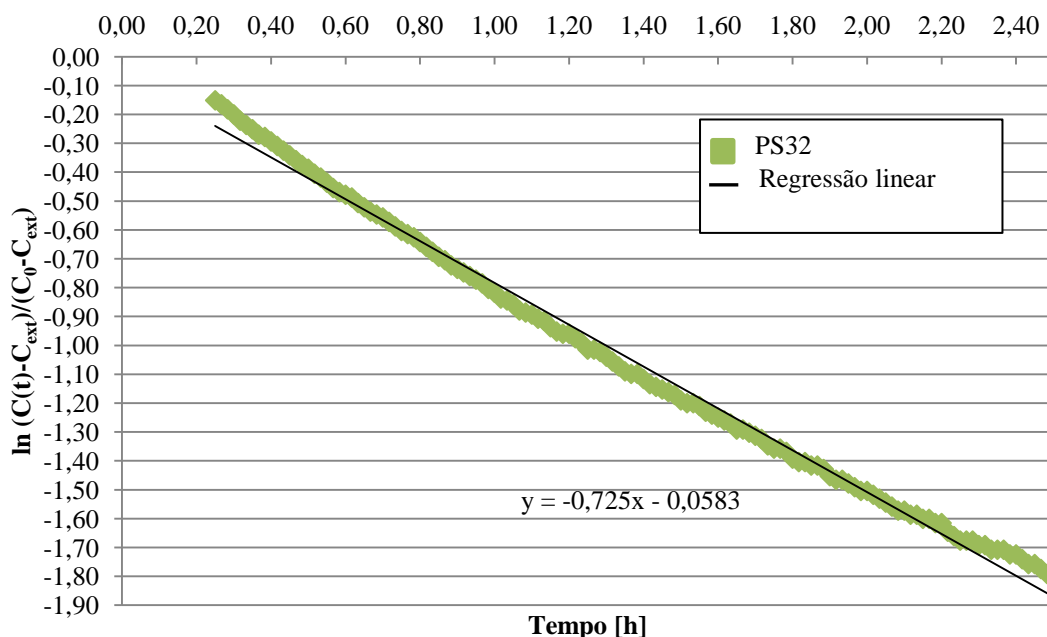


Figura 23. Decaimento da concentração de CO₂ depois do encerramento “após o horário de funcionamento”, isto é, no intervalo (B), das 19h45 às 22h00, com respectivo ajustamento linear.

Contudo, para se obter e seleccionar os intervalos (A) e (B) como os que melhor representam o decaimento da concentração de CO₂ no dia 13 de Junho de 2011, efectuaram-se cálculos para outros intervalos de tempo. Na Tabela 4 apresentam-se os valores obtidos da taxa de renovação de ar (λ_v) e respectivo caudal de ar novo ($Q_{AR\ NOVO}$), para os intervalos de tempo (A) e (B), aquando do decaimento da concentração de CO₂. Utilizando o medidor laser de distâncias DLE 70 Professional, foi possível calcular o volume da sala de leitura (1764,04 m³), e, tendo conhecimento do caudal de ar novo de projecto, $Q_{AR\ NOVO\ (PROJECTO)}$, 1500 m³/h para cada UTA (apenas a UC1 se encontrava em funcionamento), tal como já foi referido, obteve-se a taxa de renovação de ar de projecto, $\lambda_v\ (PROJECTO)$, de 0,85 h⁻¹.

Tabela 4. Taxa de renovação de ar (λ_v) e caudal de ar novo ($Q_{AR\ NOVO}$) para os intervalos de tempo (A) e (B) do decaimento da concentração de CO_2 .

Intervalo de tempo/Equipamentos		Hora de almoço			
		Fluke	PS32		
Das 12h45 às 13h25 (A)	$\lambda_v =$	1,16	1,18		h^{-1}
	$Q_{AR\ NOVO} =$	2050,35	2087,57		m^3/h
Após o horário de funcionamento					
Intervalo de tempo/Equipamentos		Fluke	PS32	GrayWolf	
Das 19h45 às 22h00 (B)	$\lambda_v =$	0,65	0,73	0,73	h^{-1}
	$Q_{AR\ NOVO} =$	1153,51	1278,93	1290,75	m^3/h

Analisando a tabela anterior verifica-se que, no geral, os valores obtidos durante a “hora de almoço”, para além de serem mais elevados em relação aos valores obtidos “após o horário de funcionamento”, ultrapassam bastante os valores de projecto, devido ao facto de, durante a “hora de almoço”, terem muito provavelmente sido deixado abertas algumas das janelas existentes na sala de estudo lateral, bem como as portas de acesso da sala de leitura à recepção. Assim sendo, utilizaram-se os valores obtidos “após o horário de funcionamento”, mais propriamente, do intervalo de tempo, das 19h45 às 22h00 (B), para verificar se a sala de leitura da BEC cumpre os limites regulamentares, estipulados na Nota Técnica NT-SCE-02 para uma ocupação de 100, 75 e 50%. Por fim, com a taxa de renovação de ar, λ_v , e o caudal de ar novo determinado no intervalo de tempo (B), $Q_{AR\ NOVO} = 1241,06\ m^3/h$, procurou-se determinar, por via de cálculo iterativo, qual o maior número de ocupantes da sala de leitura que, num período contínuo de 4 horas, se enquadra dentro do 2º critério de conformidade ($C_{Med, 4h} \leq 2700\ mg/m^3$). Para obter estes valores recorreu-se às equações (3) e (5) apresentadas na Sub-secção 2.2.1. Os valores da λ_v e do $Q_{AR\ NOVO}$ apresentados na Tabela 5, representam as médias calculadas a partir dos valores obtidos pelos três equipamentos (ver Tabela 4), no intervalo de tempo (B), das 19h45 às 22h00.

Tabela 5. Valores obtidos para as diferentes percentagens de ocupação, com a λ_v e o $Q_{AR\ NOVO}$, obtidos no intervalo de tempo (B).

Ocupação	100	87	75	50	%
Nº de ocupantes	120	104	90	60	ocupantes
G_{CO_2}	37000				mg/h/ocup
G	4440000	3862800	3330000	2220000	mg/h
$Q_{AR\ NOVO}$	1241,06				m ³ /h
C_{ext}	630				mg/m ³
λ_v	0,70				h ⁻¹
C_{equi}	4208	3742	3313	2419	mg/m ³
$C_{Med, 4h}$	2998	2690	2406	1814	mg/m ³

A Figura 24 diz respeito à representação gráfica da evolução temporal da concentração de CO₂, consoante a ocupação, para uma duração de 4 horas, em comparação com os limites regulamentares.

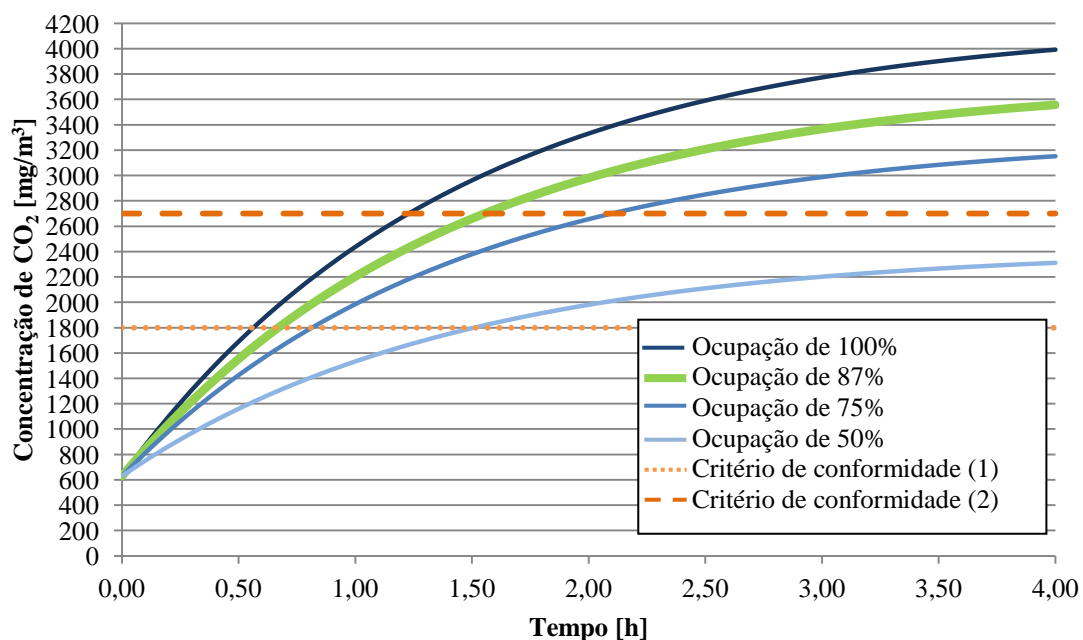


Figura 24. Evolução temporal da concentração de CO₂, consoante a percentagem de ocupação nominal, comparando com os critérios de conformidade (NT-SCE-02).

Das curvas representadas na Figura 24, verificou-se que, com uma taxa de renovação de ar, λ_v , de $0,70 \text{ h}^{-1}$ e um caudal de ar novo, $Q_{\text{AR NOVO}}$, de $1241,06 \text{ m}^3/\text{h}$, apenas a de 50% da ocupação da sala de leitura permitiria não ultrapassar o limite da concentração de CO_2 de $2700 \text{ mg}/\text{m}^3$, mesmo em períodos contínuos mais alargados, pois $C_{\text{equi}} = 2419 \text{ mg}/\text{m}^3$, cumprindo deste modo o 2º critério de conformidade. No entanto, ao considerar a concentração média nesse período, $C_{\text{Med, 4h}}$ (ver Tabela 5), constatou-se que apenas para uma ocupação de 100% não seriam aceitáveis estes valores de taxa de renovação de ar e de caudal de ar novo, pois $C_{\text{Med, 4h}} > 2700 \text{ mg}/\text{m}^3$.

Por fim, averiguou-se que a taxa de renovação de ar e o caudal de ar novo obtidos seriam suficientes para garantir ar novo na sala de leitura para uma ocupação máxima de 87%, uma vez que $C_{\text{Med, 4h}}$, seria de $2690 \text{ mg}/\text{m}^3$, cumprindo o 2º critério de conformidade.

4.1.2. Unidade de Tratamento de Ar (UTA) ligada durante o horário de funcionamento – Medição de 27 horas

A 30 de Junho de 2011, a UTA foi ligada aquando da abertura da Biblioteca, permanecendo assim durante todo o horário de funcionamento, sendo desligada após o fecho da mesma, isto é, às 19h30. O número de ocupantes foi registado a partir das 09h e 13min, hora em que se iniciaram as medições.

No Anexo C (2) encontram-se os valores da temperatura interior ($^{\circ}\text{C}$) e da humidade relativa (%), durante todo o período de medição, excluindo a primeira hora pela razão apresentada anteriormente.

A Figura 25 apresenta os valores medidos pelos três equipamentos durante as 27 horas de medição, assim como a respectiva ocupação, evidenciando os períodos que melhor representam o decaimento da concentração de CO_2 , ou seja, o período depois do fecho da Biblioteca para a “hora de almoço” (C), e o encerramento “após o horário de funcionamento” (D).

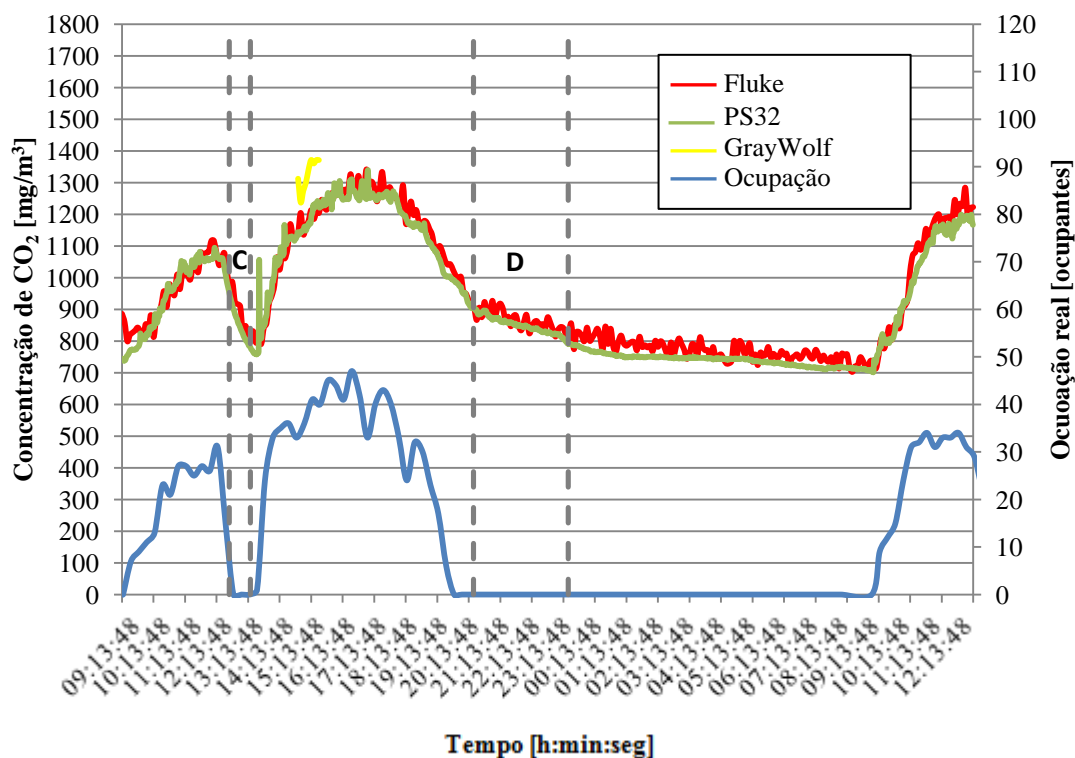


Figura 25. Evolução temporal da concentração de CO₂ e da ocupação real, onde (C) diz respeito ao intervalo de tempo das 12h45 às 13h25, e (D) ao intervalo de tempo das 20h30 às 23h30.

Com as condições para a aplicação do método do decaimento apresentadas na Sub-seção 4.4.1., recorrendo às equações da Sub-seção 2.2.1., com a mesma taxa de emissão de poluente ($G = 0 \text{ mg/h}$), com uma concentração de equilíbrio igual à concentração do gás traçador medido no exterior, $C_{\text{equi}} = C_{\text{ext}} = 630 \text{ mg/m}^3$, e tendo em conta que os equipamentos utilizados foram os mesmos e programados de igual forma, obteve-se a taxa de renovação de ar (λ_v), para os intervalos (C) e (D), tal como mostram as Figuras 26 e 27, respectivamente.

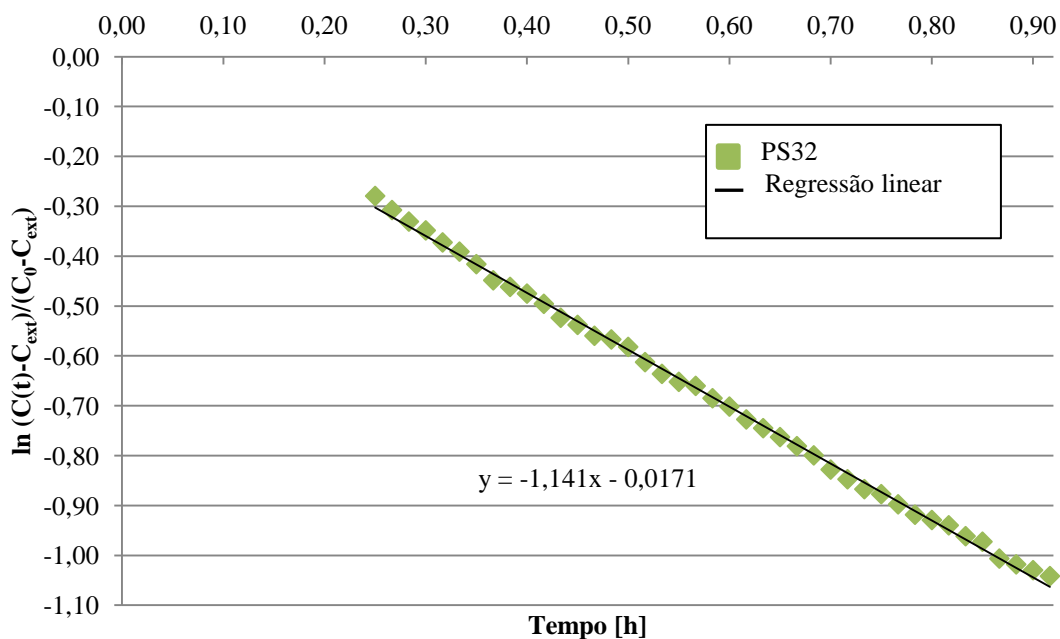


Figura 26. Decaimento da concentração de CO₂ após o fecho para a "hora de almoço", isto é, no intervalo (C), das 12h45 às 13h25, com respectivo ajustamento linear.

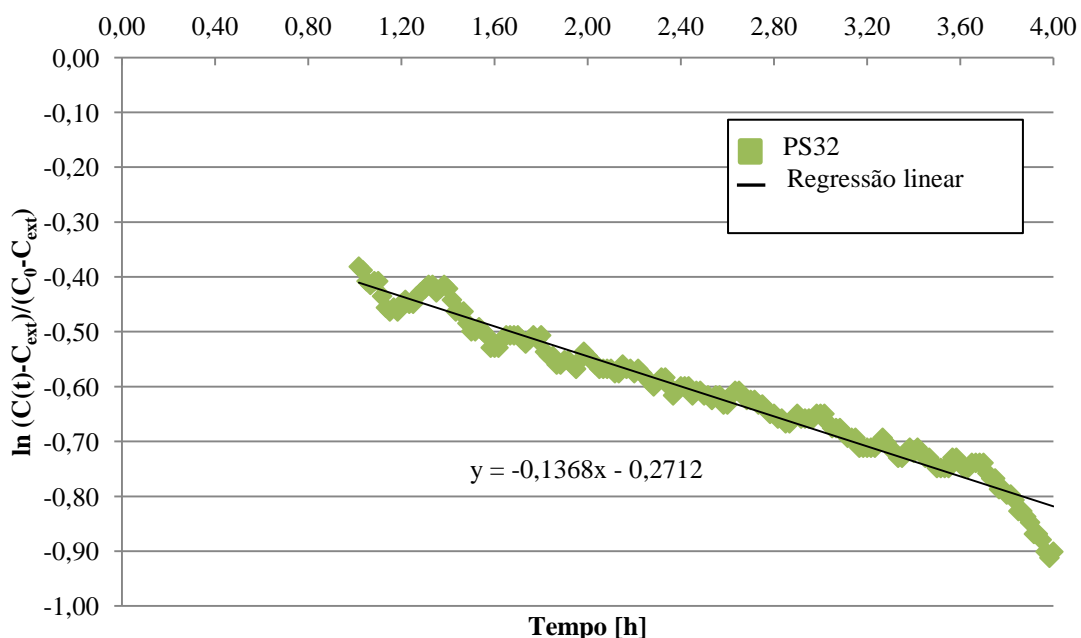


Figura 27. Decaimento da concentração de CO₂ depois do encerramento "após o horário de funcionamento", isto é, no intervalo (D), das 20h30 às 23h30, com respectivo ajustamento linear.

À semelhança do que foi feito na Sub-secção anterior, para se obter e seleccionar os intervalos (C) e (D), tal como mostra a Tabela 6, como os que melhor representam o decaimento da concentração de CO₂, no dia 30 de Junho de 2011, efectuaram-se cálculos para outros intervalos de tempo. Os valores do caudal de ar novo de projecto, Q_{AR NOVO (PROJECTO)}, e da taxa de renovação de ar de projecto, λ_{v (PROJECTO)}, são os mesmos da secção anterior, 1500 m³/h e 0,85 h⁻¹ respectivamente, assim como o volume da sala de leitura 1764, 04 m³.

Tabela 6. Taxa de renovação de ar (λ_v) e caudal de ar novo (Q_{AR NOVO}) para os diferentes intervalos de tempo do decaimento da concentração de CO₂.

Intervalo de tempo/Equipamentos		Hora de almoço		
		Fluke	PS32	
Das 12h45 às 13h25 (C)	λ _v =	0,79	1,14	h ⁻¹
	Q _{AR NOVO} =	1401,53	2012,77	m ³ /h
Após o horário de funcionamento				
Intervalo de tempo/Equipamentos		Fluke	PS32	
Das 20h30 às 23h30 (D)	λ _v =	0,11	0,14	h ⁻¹
	Q _{AR NOVO} =	194,04	241,32	m ³ /h

Fazendo a análise da tabela anterior, verifica-se que, durante a “hora de almoço”, os valores são relativamente próximos dos de projecto, enquanto que, “após o horário de funcionamento” os valores são bastante baixos, uma vez que a UTA se encontra desligada, havendo apenas ventilação natural devido às infiltrações ocorridas no próprio edifício. Deste modo, utilizaram-se os valores da “hora de almoço”, especificamente, do intervalo das 12h45 às 13h25 (C), para verificar se a sala de leitura da BEC cumpre os limites regulamentares, estipulados na Nota Técnica NT-SCE-02, para uma ocupação de 100, 75 e 50%. Por fim, e de igual modo, calculou-se para que ocupação seria possível fornecer ar novo na sala de leitura, com a taxa de renovação de ar, λ_v, e o caudal de ar novo obtido, Q_{AR NOVO}, no intervalo de tempo (C), como mostra a Tabela 7. Os valores da λ_v e do Q_{AR NOVO} apresentados na tabela seguinte, representam os valores médios calculados a partir dos valores obtidos pelos dois equipamentos (ver Tabela 6), no intervalo de tempo (C), das 12h45 às 13h25.

Tabela 7. Valores obtidos para as diferentes percentagens de ocupação, com a λ_v e o $Q_{AR\ NOVO}$, obtidos no intervalo de tempo (C).

Ocupação	100	75	50	%
Nº de ocupantes	120	90	60	ocupantes
G_{CO_2}	37000			mg/h/ocup
G	4440000	3330000	2220000	mg/h
$Q_{AR\ NOVO}$	1707,15			m ³ /h
C_{ext}	630			mg/m ³
λ_v	0,97			h ⁻¹
C_{equi}	3231	2581	1930	mg/m ³
$C_{med, 4h}$	2559	2077	1594	mg/m ³

A Figura 28 diz respeito à representação gráfica da evolução temporal da concentração de CO₂, consoante a ocupação, para uma duração de 4 horas, tendo em conta os limites regulamentares.

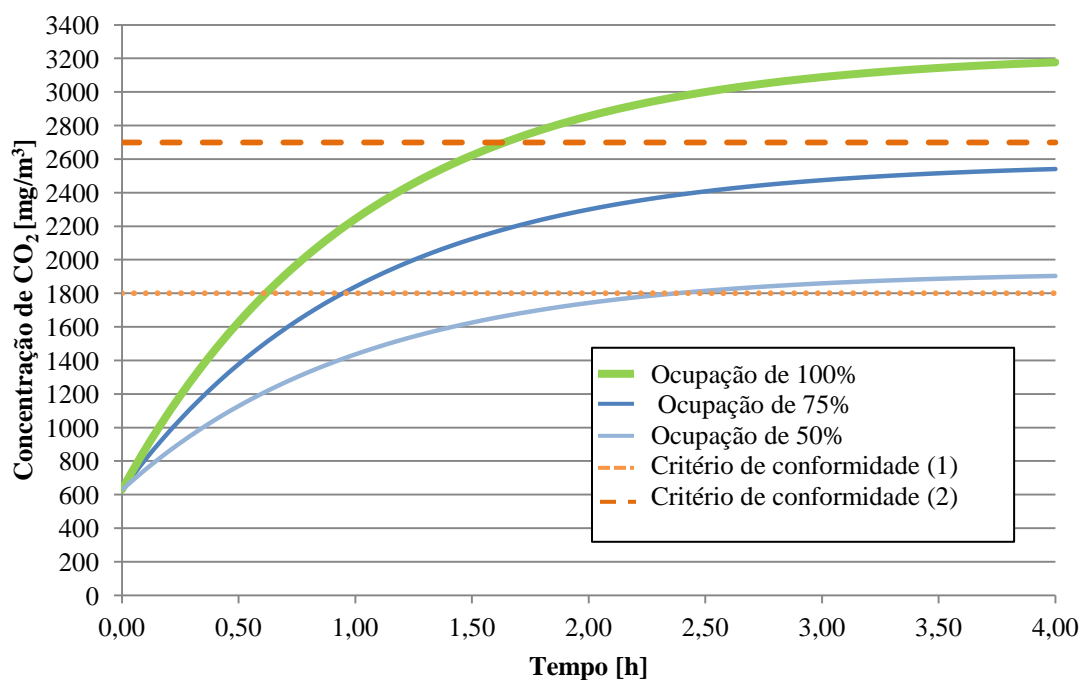


Figura 28. Evolução temporal da concentração de CO₂, consoante a percentagem de ocupação nominal, comparando com os critérios de conformidade (NT-SCE-02).

Verificou-se que, com uma taxa de renovação de ar, λ_v , de $0,97 \text{ h}^{-1}$ e um caudal de ar novo, $Q_{\text{AR NOVO}}$, de $1707,15 \text{ m}^3/\text{h}$ não seria possível fornecer ar novo para ocupações da sala de leitura de 100%, uma vez que ao fim das 4 horas, teria uma concentração de CO_2 superior a 2700 mg/m^3 , não assegurando o cumprimento da legislação em vigor, tal como mostra a Figura 28. No entanto, ao considerar a concentração média de CO_2 ao fim de 4 horas (ver Tabela 7), constatou-se que para qualquer ocupação seriam aceitáveis estes valores de taxa de renovação de ar e de caudal de ar novo, uma vez que $C_{\text{Med}, 4\text{h}}$ para uma ocupação máxima de 100% é de 2559 mg/m^3 .

4.2. Biblioteca de Engenharia Mecânica (BEM)

Na BEM, foram realizadas medições nos dias 16 de Junho de 2011, sendo um dia com Sol, e dia 28 de Junho de 2011, um dia inicialmente com céu nublado, e posteriormente com Sol. Esta Biblioteca tem um horário de funcionamento contínuo, das 09h00 às 20h00.

Em ambas as medições os equipamentos foram dispostos na sala de leitura conforme mostra a Figura 29.

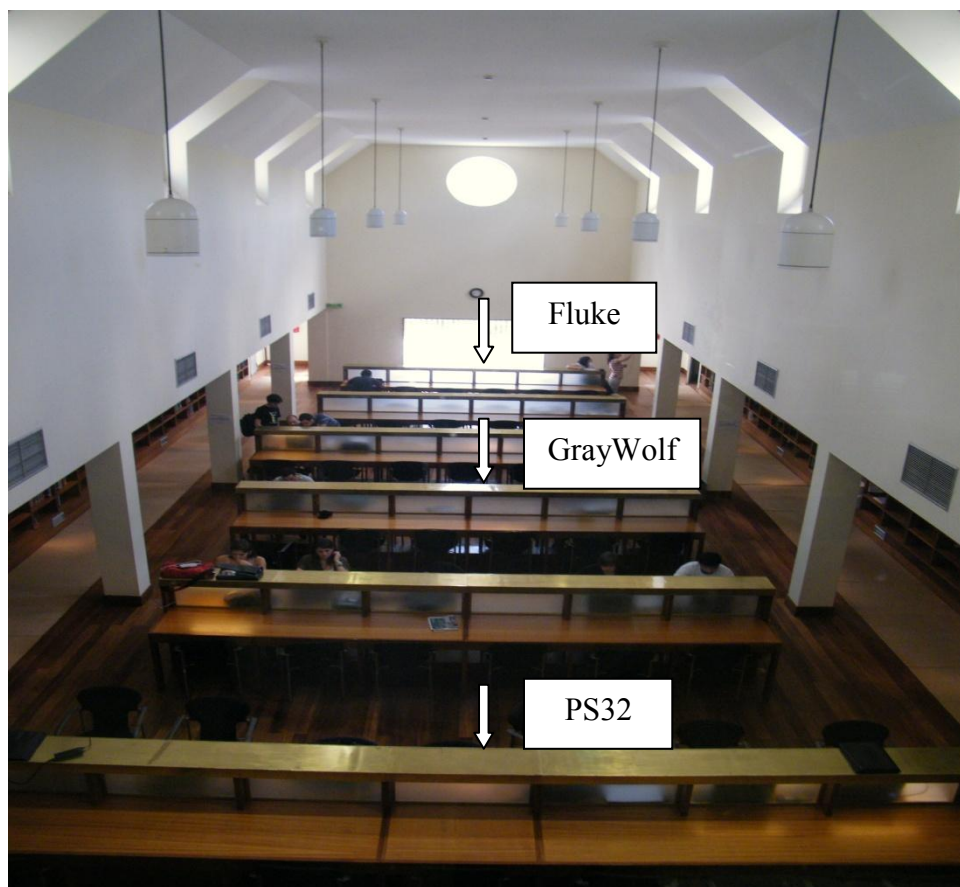


Figura 29. Disposição dos equipamentos de medição na sala de leitura da BEM.

4.2.1. Unidade de Tratamento de Ar (UTA) ligada continuamente – Medição de 24 horas

No dia 16 de Junho de 2011, a UTA foi ligada pouco depois da abertura da Biblioteca, permanecendo assim durante as 24 horas seguintes. As medições tiveram início às 09h e 28min, registando-se o número de ocupantes a partir desse momento.

Para esta Biblioteca, apresenta-se no Anexo D (1) a evolução temporal da temperatura interior e da humidade relativa, medidos com o auxílio do *Fluke 975 Air MeterTM*, onde se excluiu a primeira hora de medição pois o equipamento estava em período de adaptação.

A Figura 30 mostra os valores da concentração de CO₂ medidos pelos três equipamentos durante as 24 horas de medição, assim como a ocupação da sala de leitura, evidenciando os períodos que melhor representam o decaimento da concentração de CO₂,

nomeadamente, o período da “hora de almoço” (E), e o encerramento “após o horário de funcionamento” (F).

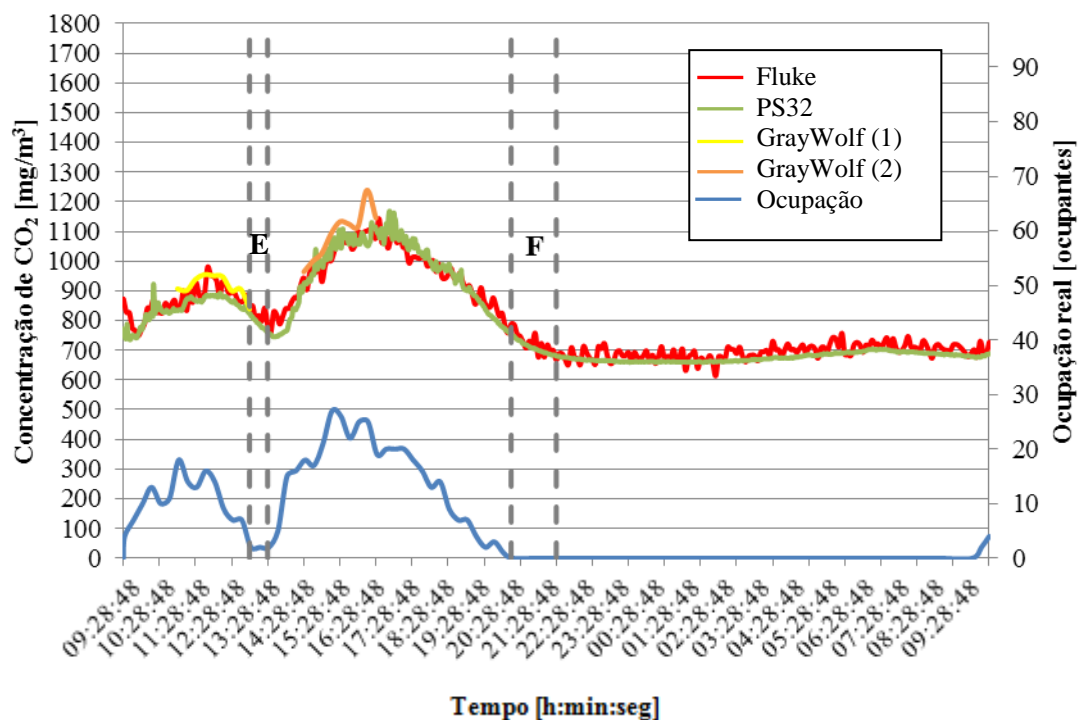


Figura 30. Evolução temporal da concentração de CO₂ e da ocupação real, onde (E) diz respeito ao intervalo de tempo das 13h00 às 13h30, e (F) ao período das 20h15 às 21h30.

Tal como foi referido, a BEM tem um funcionamento contínuo, ou seja, não encerra para hora de almoço, logo a taxa de emissão de poluente não é nula ($G \neq 0 \text{ mg/h}$), o que significa que permanece com ocupação. Deste modo, encontrou-se um período de tempo, em que a ocupação fosse constante, sendo esta uma das condições necessárias para aplicar o Método dos Gases Traçadores. Então, verificou-se que das 13h00 às 13h30 (E), a ocupação manteve-se nos 2 ocupantes, logo a taxa de emissão de poluente resulta em:

$$G = G_{CO_2} \times n^{\circ} \text{ de ocupantes} = 37000 \times 2 = 74000 \text{ mg/h}$$

Assim sendo, para o período da “hora de almoço” (E), o cálculo da taxa de renovação de ar, λ_v , foi feito por meio de um processo iterativo, utilizando as equações (5) e (7). Na primeira iteração estipulou-se um valor inicialmente arbitrado para o caudal de ar novo, Q_{arb} , tendo considerado o de projecto, que equivale a um valor arbitrado para a taxa de renovação de ar, $\lambda_{v, arb}$, calculando o corresponde valor da concentração de equilíbrio,

C_{equi} através da equação (5). Com este último valor, determinou-se um valor actualizado da taxa de renovação de ar, $\lambda_{v,1}$ ajustando os dados experimentais à função linear expressa pela equação (7). Partindo de cada valor actualizado de λ_v , este procedimento foi repetido iterativamente até o erro relativo $\varepsilon = \frac{\lambda_v^n - \lambda_v^{n-1}}{\lambda_v^{n-1}} \times 100\%$ ser inferior a 5%, sendo n o número de ordem da iteração. Neste caso, obteve-se a convergência ao fim de 6 iterações para os valores medidos pelo *Fluke 975 Air Meter*TM, e 5 iterações para os valores medidos pelo *Indoor Air Quality Monitor PS32*, ambos com $\varepsilon < 1\%$. Para o período “após o horário de funcionamento” (F), os cálculos foram efectuados para uma taxa de emissão de poluente nula, $G = 0 \text{ mg/h}$, e uma concentração de equilíbrio igual à concentração do gás traçador medido no exterior, $C_{equi} = C_{ext} = 612 \text{ mg/m}^3$, tal como foi feito para a BEC.

As Figuras 31 e 32 representam os valores medidos pelo *Indoor Air Quality Monitor PS32*, uma vez que os equipamentos utilizados foram programados da forma já descrita.

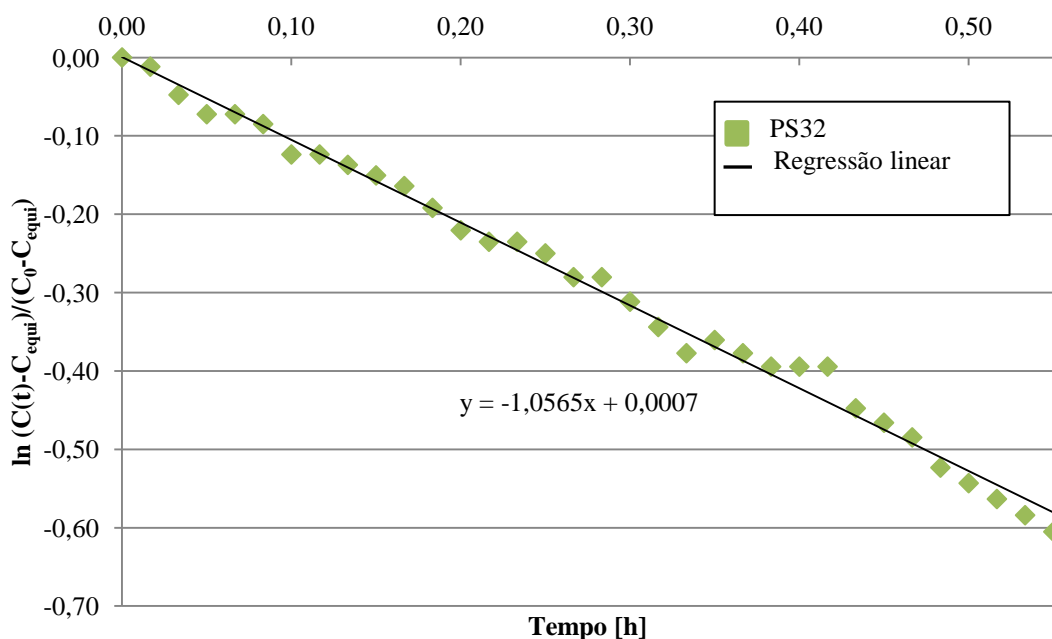


Figura 31. Decaimento da concentração de CO₂ na “hora de almoço”, isto é, no intervalo (E), das 13h00 às 13h30, com respectivo ajustamento linear.

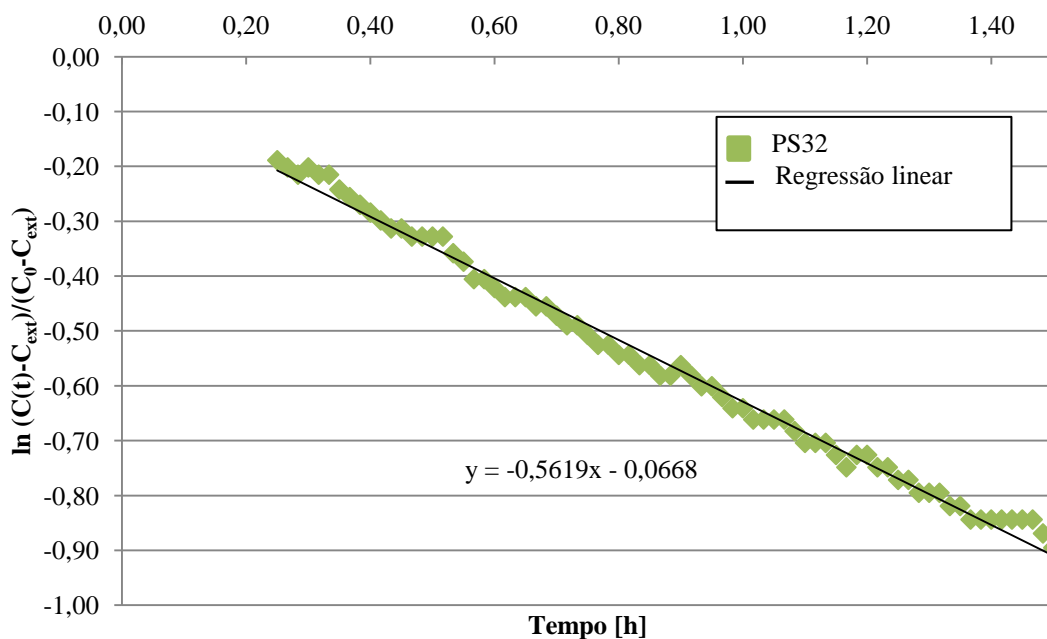


Figura 32. Decaimento da concentração de CO₂ depois do encerramento “após o horário de funcionamento”, isto é, no intervalo (F), das 20h15 às 21h30, com respectivo ajustamento linear.

Na Tabela 8 serão apresentados os valores obtidos da taxa de renovação de ar (λ_v) e respectivo caudal de ar novo ($Q_{AR\ NOVO}$), para os diferentes intervalos de tempo, aquando do decaimento da concentração de CO₂. Utilizando o medidor laser de distâncias DLE 70 Professional, foi possível calcular o volume da sala de leitura (1218,17 m³), e tendo conhecimento do caudal de ar novo de projecto, $Q_{AR\ NOVO\ (PROJECTO)}$, 1425 m³/h para a sala de leitura, tal como já foi referido, obteve-se a taxa de renovação de ar de projecto, $\lambda_{v\ (PROJECTO)}$, de 1,17 h⁻¹.

Tabela 8. Taxa de renovação de ar (λ_v) e caudal de ar novo ($Q_{AR\ NOVO}$) para os diferentes intervalos de tempo do decaimento da concentração de CO_2 .

Intervalo de tempo/Equipamentos		Hora de almoço		
		Fluke	PS32	
Das 13h00 às 13h30 (E)	$\lambda_v =$	1,00	1,05	h^{-1}
	$Q_{AR\ NOVO} =$	1212,20	1280,79	m^3/h
Após o horário de funcionamento				
Intervalo de tempo/Equipamentos		Fluke	PS32	
Das 20h15 às 21h30 (F)	$\lambda_v =$	0,66	0,56	h^{-1}
	$Q_{AR\ NOVO} =$	800,10	684,49	m^3/h

Através da análise da tabela anterior verifica-se que os valores obtidos “após o horário de funcionamento” são bastante baixos, uma vez que a UTA já se encontrava desligada, resultando a taxa de renovação de ar, não só das infiltrações ocorridas no edifício, como da velocidade do vento no exterior. Assim sendo, os valores que melhor reproduzem o decaimento da concentração de CO_2 , são os valores obtidos na “hora de almoço”, mais propriamente, no intervalo (E), das 13h00 às 13h30, para verificar se a sala de leitura da BEM cumpre os limites regulamentares, estipulados na Nota Técnica NT-SCE-02 para uma ocupação de 100, 75 e 50%. Por fim, com a taxa de renovação de ar, λ_v , e o caudal de ar novo obtido, $Q_{AR\ NOVO}$, no intervalo de tempo (E), calculou-se qual o número admissível de ocupantes permanentes de modo a cumprir com o 2º critério de conformidade ($C_{Med, 4h} \leq 2700\ mg/m^3$). Para obter estes valores recorreu-se às equações (3) e (5) apresentadas na Sub-secção 2.2.1. Os valores da λ_v e do $Q_{AR\ NOVO}$ apresentados na Tabela 9, representam os valores médios calculados a partir dos valores obtidos pelos dois equipamentos (ver Tabela 8), no intervalo de tempo (E), das 13h00 às 13h30.

Tabela 9. Valores obtidos para as diferentes percentagens de ocupação, com a λ_v e o $Q_{AR\ NOVO}$, obtidos no intervalo de tempo (E).

Ocupação	100	95	75	50	%
Nº de ocupantes	98	93	74	49	ocupantes
G_{CO_2}	37000				mg/h/ocup
G	3626000	3444700	2719500	1813000	mg/m ³
$Q_{AR\ NOVO}$	1246,50				m ³ /h
C_{ext}	612				mg/m ³
λ_v	1,02				h ⁻¹
C_{equi}	3521	3376	2794	2066	mg/m ³
$C_{Med, 4h}$	2806	2696	2257	1709	mg/m ³

A Figura 33 representa a evolução temporal da concentração de CO₂, consoante a ocupação, para uma duração de 4 horas, tendo em conta os limites regulamentares.

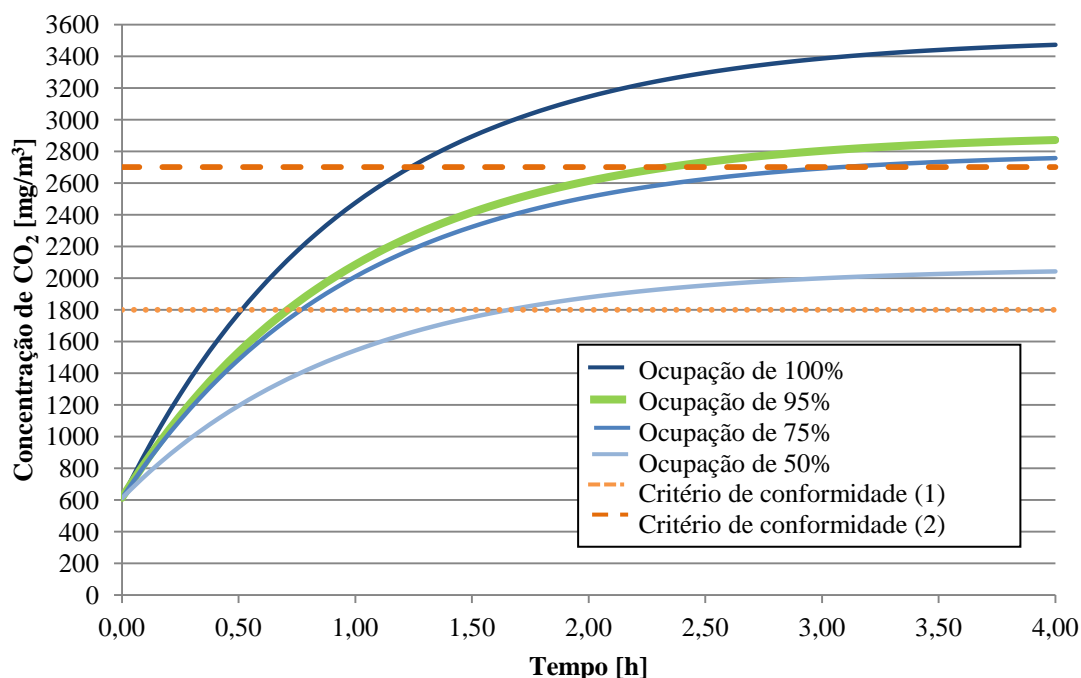


Figura 33. Evolução temporal da concentração de CO₂, consoante a percentagem de ocupação nominal, comparando com os critérios de conformidade (NT-SCE-02).

Constatou-se que, com uma taxa de renovação de ar, λ_v , de $1,02 \text{ h}^{-1}$ e um caudal de ar novo, $Q_{\text{AR NOVO}}$, de $1246,50 \text{ m}^3/\text{h}$, o 2º critério de conformidade para a concentração de CO_2 admite uma ocupação constante de 95% da lotação da sala de leitura, num período contínuo de 4 horas, ou de 79% num período de 11 horas (período total de funcionamento da sala de leitura).

4.2.2. Unidade de Tratamento de Ar (UTA) ligada durante o horário de funcionamento – Medição de 27 horas

A 28 de Junho de 2011, a UTA foi ligada após a abertura da Biblioteca, permanecendo assim durante todo o horário de funcionamento, sendo desligada às 20h00, hora em que esta fecha. O número de ocupantes foi registado a partir das 09h e 15min, hora em que se iniciaram as medições.

O Anexo D (2) mostra os valores da temperatura interior ($^{\circ}\text{C}$) e da humidade relativa (%), durante todo o período de medição, excluindo a primeira hora pela razão já referida.

A Figura 34 apresenta os valores medidos pelos três equipamentos durante as 27 horas de medição, assim como a respectiva ocupação, evidenciando o período que melhor representa o decaimento da concentração de CO_2 , ou seja, o período do encerramento “após o horário de funcionamento” (G). Para esta medição não foi possível representar o decaimento da concentração de CO_2 , no período da “hora de almoço”, uma vez que a ocupação não se manteve constante, sendo esta uma condição necessária para a aplicação do Método dos Gases Traçadores.

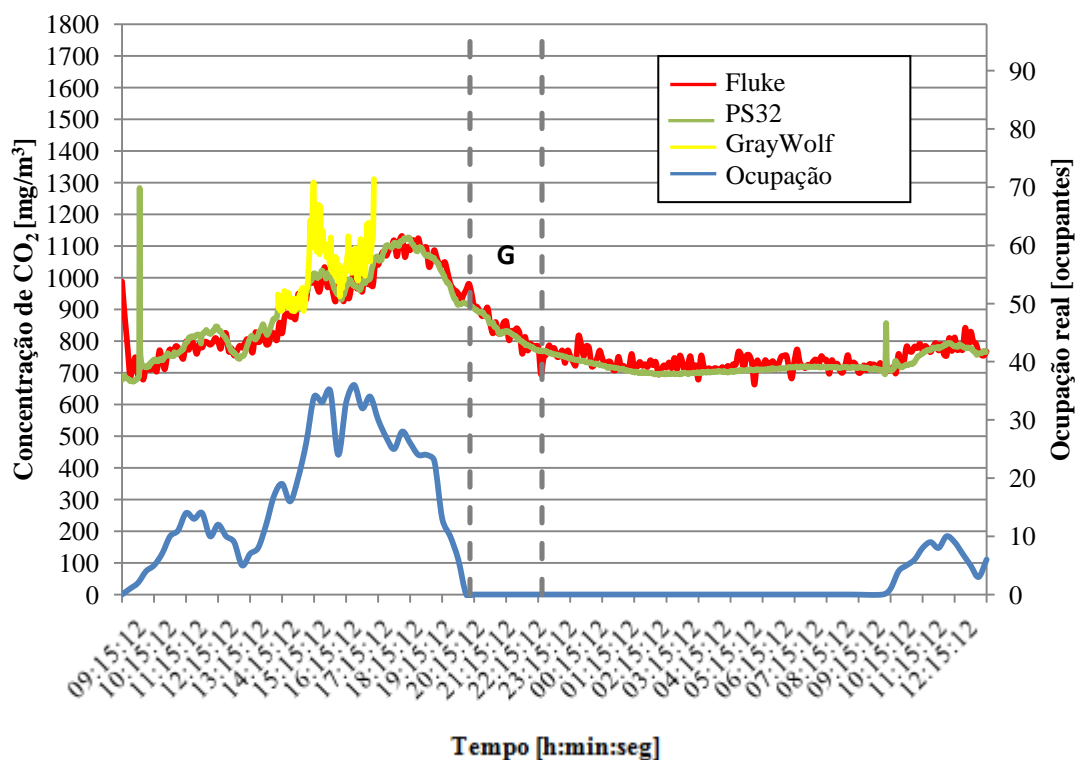


Figura 34. Evolução temporal da concentração de CO₂ e da ocupação real, onde (G) diz respeito ao intervalo de tempo das 20h15 às 22h30.

Com as condições para a aplicação do método do decaimento apresentadas na Sub-seção 4.4.1., recorrendo às equações da Sub-seção 2.2.1., com a mesma taxa de emissão de poluente ($G = 0 \text{ mg/h}$), a concentração de equilíbrio a corresponder à concentração do gás traçador medido no exterior, $C_{equi} = C_{ext} = 612 \text{ mg/m}^3$, e tendo em conta que os equipamentos utilizados foram os mesmos e programados de igual forma, obteve-se a taxa de renovação de ar (λ_v), para o intervalo de tempo (G), tal como mostra o Figura 35.

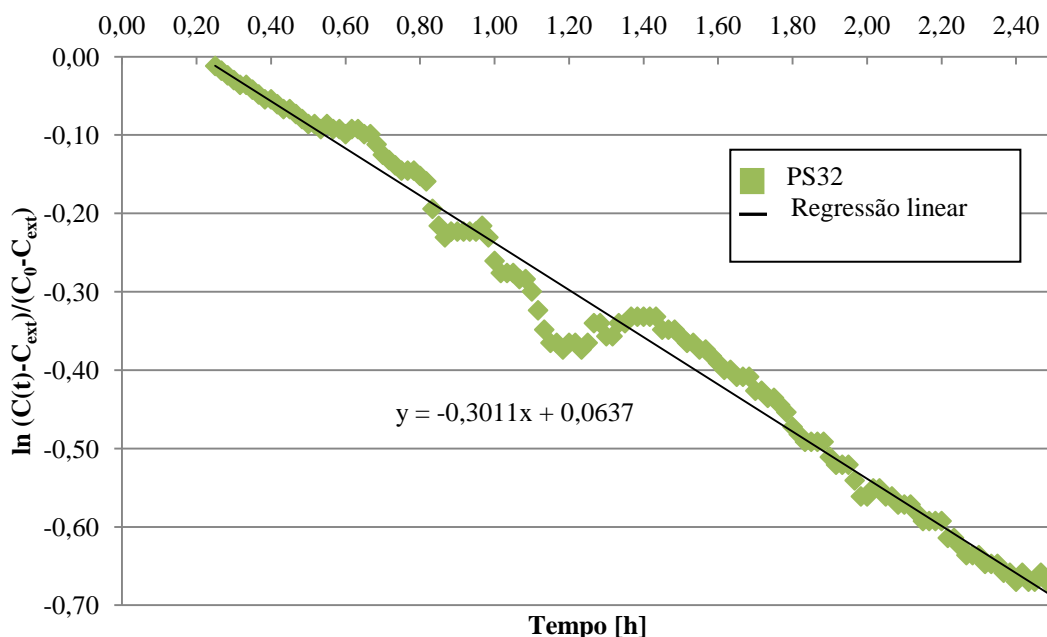


Figura 35. Decaimento da concentração de CO₂ depois do encerramento “após o horário de funcionamento”, isto é, no intervalo (G), das 20h15 às 22h30, com respectivo ajustamento linear.

À semelhança do que foi feito na Sub-secção anterior, para se obter e seleccionar o intervalo (G) (Tabela 10) como o que melhor representa o decaimento da concentração de CO₂, no dia 28 de Junho de 2011, efectuaram-se cálculos para outros intervalos de tempo.

Tabela 10. Taxa de renovação de ar (λ_v) e caudal de ar novo ($Q_{AR\ NOVO}$) para o intervalo de tempo do decaimento da concentração de CO₂.

Intervalo de tempo/Equipamentos		Após o horário de funcionamento		
		Fluke	PS32	
Das 20h15 às 22h30 (G)	$\lambda_v =$	0,36	0,30	h^{-1}
	$Q_{AR\ NOVO} =$	436,23	366,79	m^3/h

Analisando a tabela anterior, verifica-se que, depois do encerramento “após o horário de funcionamento”, os valores são relativamente baixos em comparação com os de projecto, o que se justifica com o facto de a UTA ter sido desligada: a renovação de ar deve-se apenas às infiltrações pelas caixilharias de janelas e portas. Uma vez que, geralmente, a UTA só é ligada quando há necessidade de climatizar o espaço, utilizaram-se

então os valores obtidos para o intervalo das 20h15 às 22h30 (G), para verificar se a sala de leitura da BEM cumpre os limites regulamentares, estipulados na Nota Técnica NT-SCE-02, considerando ocupações de 100, 75 e 50%. Por fim, e de igual modo, calculou-se qual a ocupação admissível pelo 2º critério de conformidade, contando apenas com a taxa de renovação de ar, λ_v , e o caudal de ar novo, $Q_{AR\ NOVO}$, devidos às infiltrações, no período (G), como mostra a Tabela 11. Os valores da λ_v e do $Q_{AR\ NOVO}$ apresentados na tabela seguinte, representam os valores médios calculados a partir dos valores obtidos pelos dois equipamentos (ver Tabela 10), no intervalo de tempo (G), das 20h15 às 22h30.

Tabela 11. Valores obtidos para as diferentes percentagens de ocupação, com a λ_v e o $Q_{AR\ NOVO}$, obtidos no intervalo de tempo (G).

Ocupação	100	75	52	50	%
Nº de ocupantes	98	74	51	49	ocupantes
G_{CO_2}	37000				mg/h/ocup
G	3626000	2719500	1885520	1813000	mg/h
$Q_{AR\ NOVO}$	401,51				m ³ /h
C_{ext}	612				mg/m ³
λ_v	0,33				h ⁻¹
C_{equi}	9643	7385	5308	5127	mg/m ³
$C_{Med, 4h}$	4611	3611	2692	2612	mg/m ³

A Figura 36 diz respeito à representação gráfica da evolução temporal da concentração de CO₂, consoante a ocupação, para uma duração de 4 horas, tendo em conta os limites regulamentares.

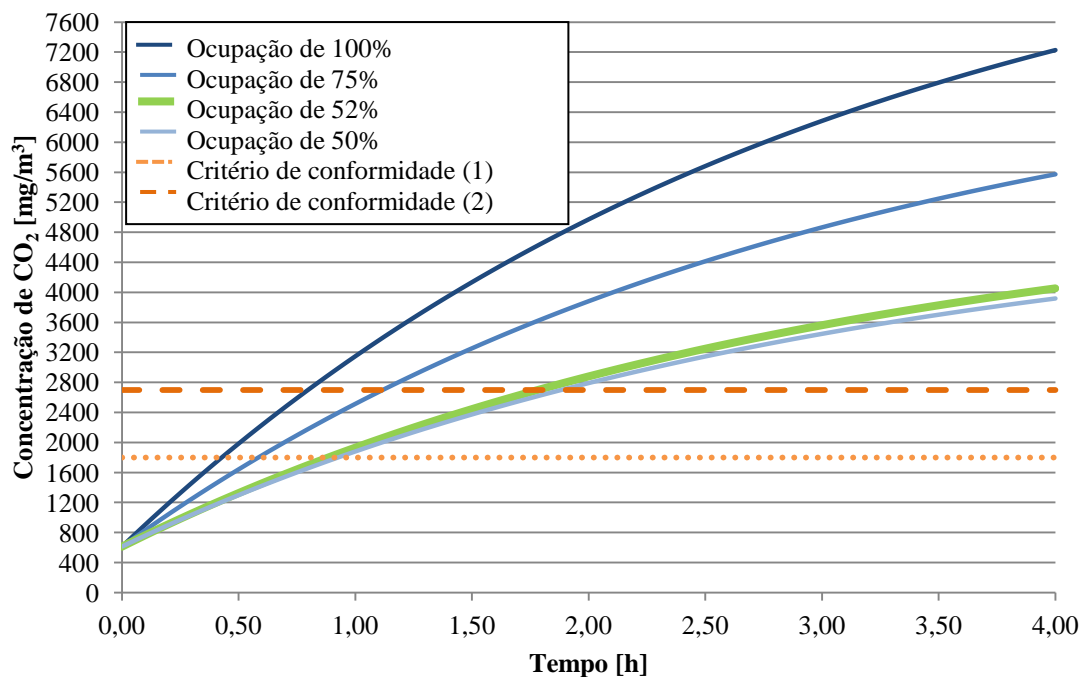


Figura 36. Evolução temporal da concentração de CO₂, consoante a percentagem de ocupação nominal, comparando com os critérios de conformidade (NT-SCE-02).

Verificou-se que, com uma taxa de renovação de ar, λ_v , de $0,33 \text{ h}^{-1}$ e um caudal de ar novo, $Q_{AR \text{ NOVO}}$, de $401,51 \text{ m}^3/\text{h}$, devidos apenas à ventilação natural é possível ter uma ocupação constante de 52% da sala de leitura, garantindo uma concentração média de CO₂ inferior a $2700 \text{ mg}/\text{m}^3$, durante um período de 4 horas.

5. CONCLUSÕES

Com a aplicação do Método dos Gases Traçadores, foi possível determinar a taxa de renovação de ar, e respectivo caudal de ar novo, tendo em conta a ocupação da Sala de Leitura das Bibliotecas em estudo (BEC e BEM). Consoante os resultados obtidos durante esta dissertação podem-se tecer algumas considerações.

Como actualmente os requisitos para uma QAI aceitável encontra-se numa fasquia relativamente elevada, a melhor solução reside num sistema de AVAC bem projectado, construído e mantido, o que nem sempre se verifica. Nos sistemas de AVAC que fornecem ar novo às Salas de Leitura das Bibliotecas objecto de estudo, verificou-se que, no caso da Biblioteca de Engenharia Civil há falta de manutenção e uma má exploração, visto que apenas uma das UTA's se encontrava em funcionamento devido a uma avaria, até então por reparar, e no caso da Biblioteca de Engenharia Mecânica, há falta de acessibilidade para manutenção e uma má selecção de filtros.

Relativamente à BEC, através da aplicação do Método dos Gases Traçadores, constatou-se que a UTA em funcionamento (UC1) é capaz de fornecer ar novo a 87% da ocupação da sala de leitura com um caudal de ar novo de 1241,06 m³/h, permanecendo ligada durante 24 horas. No caso da UTA estar ligada apenas durante o horário de funcionamento (das 09h00 às 19h30), verificou-se que esta pode fornecer ar novo a 100% da ocupação da sala de leitura, com um caudal de ar novo de 1707,15 m³/h. Com estes resultados, e visto que a sala de leitura dificilmente atinge percentagens de ocupação superiores a 50%, a UC1 seria suficiente para garantir o fornecimento de ar novo. No entanto, como cada uma das UTA's abastece uma ala (esquerda e direita), seria benéfico em termos de QAI reduzir o caudal de cada uma das UTA's (UC1 e UC2) para que o abastecimento de ar novo seja mais homogéneo e menos dispendioso em termos energéticos.

No que diz respeito à BEM, recorrendo à aplicação do Método dos Gases Traçadores, verificou-se que a UTA está apta a fornecer ar novo a 95% da ocupação da sala de leitura com um caudal de ar novo de 1246, 50 m³/h, estando ligada durante 24 horas. Já para o caso da UTA se encontrar ligada apenas durante o horário de

funcionamento (das 09h00 às 20h00), o caudal de ar novo de 401,51 m³/h, resultante apenas das infiltrações de ar ocorridas no próprio edifício, é suficiente para 52% da ocupação total da sala de leitura. Porém, como a sala de leitura não apresentou ocupações superiores a 40%, pode-se constatar que o caudal de ar novo é excessivo, podendo deste modo ser reduzido, de forma a diminuir os gastos energéticos, assegurando uma boa QAI.

Como trabalho futuro, sugere-se a realização de uma análise económica dos gastos energéticos inerentes à QAI, com o objectivo de elaborar um plano de acções correctivas (PAC-QAI) para aplicação em cada uma das Bibliotecas em estudo.

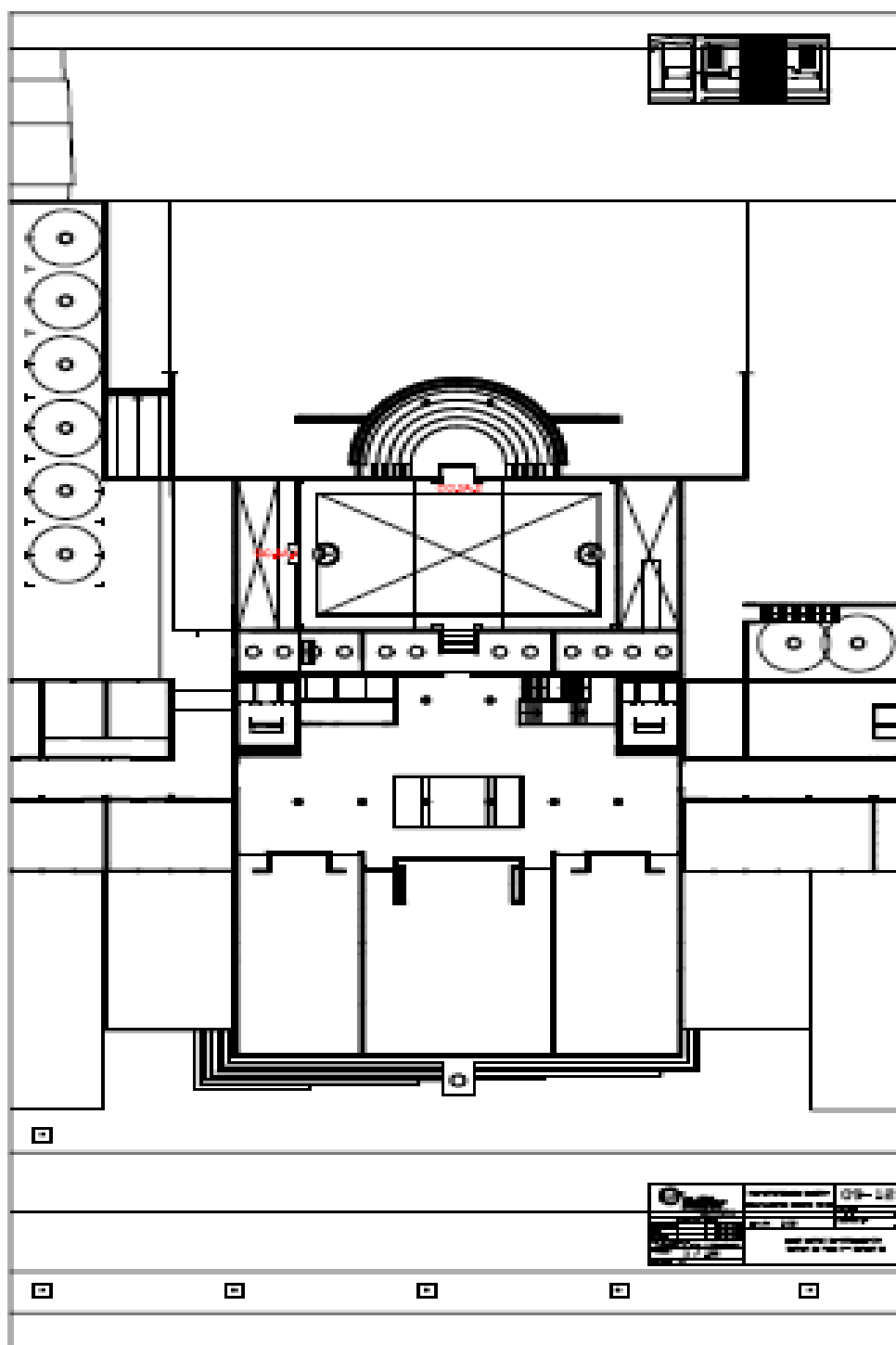
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADENE (2009). Acedido em 5 de Março de 2011, em: http://www.adene.pt/NR/rdonlyres/A9979CD9-32AA-4EEC-96C2-261E2D1C4495/2310/Tema1_MQAI_43e44.pdf
- ADENE (2009). *Nota Técnica NT-SCE-02 – Metodologia para auditorias periódicas de QAI em edifícios de serviços existentes no âmbito do RSECE*. Acedido em 3 de Março de 2011, em: http://www.adene.pt/NR/rdonlyres/039E8147-8487-4303-96DD-6751687486F4/1187/NT_SCE02_Out09.pdf
- Alfano, F., Bellia, L., Dijken, F., Ianniello, E., Lopardo, G., Minichiello, F., Romagnoni, P. e Silva, M. (2010). *Ambiente Interior e Eficiência Energética nas Escolas*. Manual REHVA N°13. Lisboa.
- Asadi, E., Costa, J.J. e Silva, M. G. (2011). Indoor air quality audit implementation in a hotel building in Portugal. *Building and Environment*. 46, 1617-1623.
- Brasil Instrumentos de Medição (2011). Acedido em 29 de Junho de 2011, em: <http://www.brasilinstrumed.com.br/detalhes.asp?id=7>
- Cartaxo, N. (2008). *Auditoria à Qualidade do Ar do DEM-FCTUC - proposta de correcção do sistema de climatização do Anfiteatro I*. Tese de Mestrado em QAI. Departamento de Engenharia Mecânica – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Construir Portugal (2011). *Construção Sustentável*. Acedido em 19 de Abril de 2011: http://www.construlink.com/Homepage/2010_construirportugal.com/?acciao=submenu2&id=34
- Costa, J. J. (2010). Determinação da taxa de renovação de ar usando o CO₂ como gás traçador.
- Costa, J. J. (2011). *Equipamentos e Sistemas AVAC mais relevantes para a QAI*. Cursos SCE, Módulo RSECE – QAI, Capítulo 7.1. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Coimbra.
- Costa, J. J. (2011a). *Caracterização física do ar interior*. Cursos SCE, Módulo RSECE – QAI, Capítulo 4.1. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Coimbra.
- Decreto – Lei n° 129/2002 de 11 de Maio. *Diário da República n° 109/2002 – I Série-A*. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. Lisboa.
- Decreto – Lei n° 71/2008 de 15 de Abril. *Diário da República n° 74/2008 – I Série*. Ministério da Economia e da Inovação. Lisboa.
- Decreto – Lei n° 78/2006 de 4 de Abril. *Diário da República n° 67/2006 – I Série-A*. Ministério da Economia e da Inovação. Lisboa.

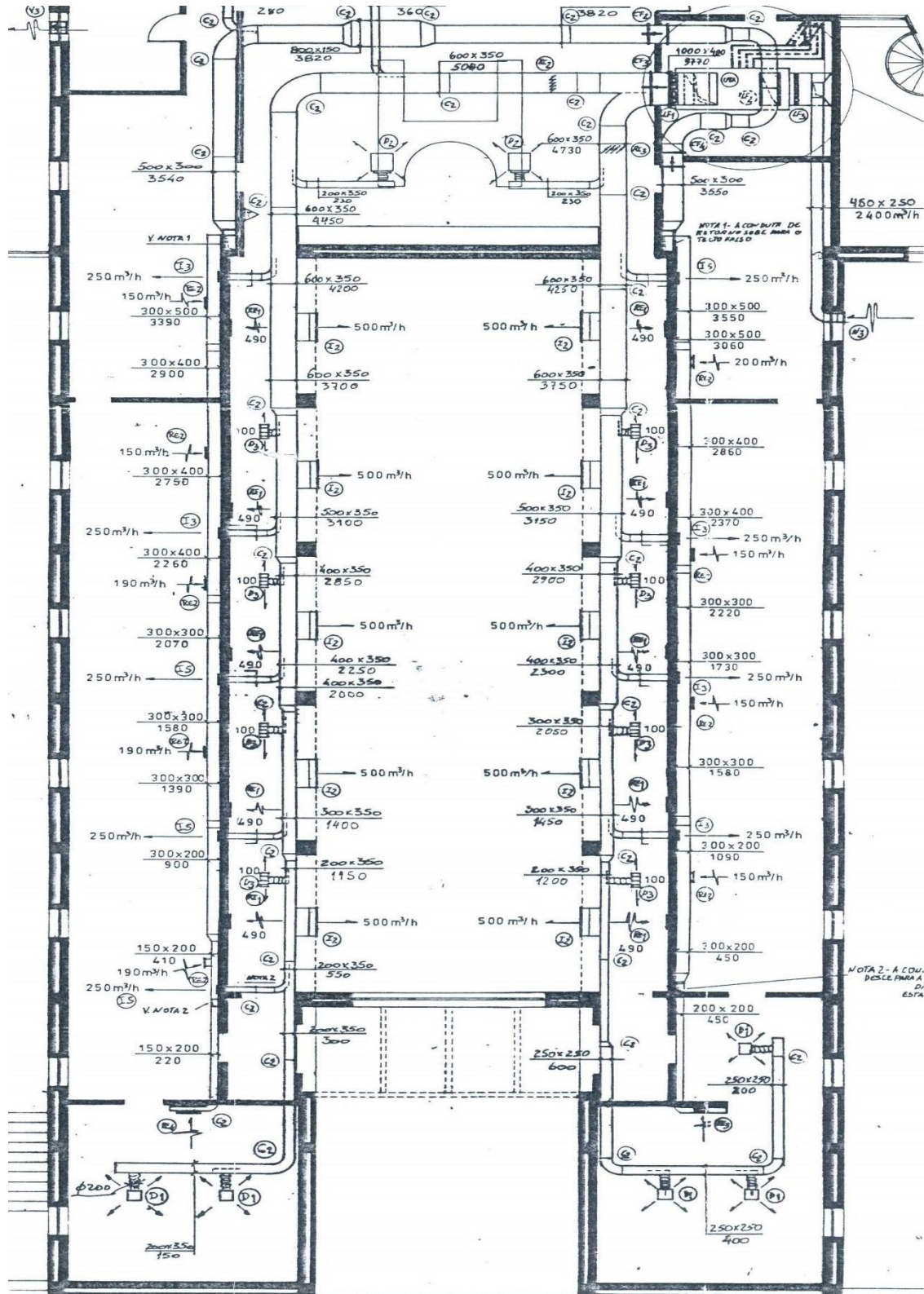
- Decreto – Lei nº 79/2006 de 4 de Abril. *Diário da República nº 67/2006 – I Série-A*. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. Lisboa.
- Decreto – Lei nº 80/2006 de 4 de Abril. *Diário da República nº 67/2006 – I Série-A*. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. Lisboa.
- Desenhos de arquitectura, telas finais e memória descritiva do sistema de AVAC, do Departamento de Engenharia Civil da FCTUC. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Portugal.
- Desenhos de arquitectura, telas finais e memória descritiva do sistema de AVAC, do Departamento de Engenharia Mecânica da FCTUC. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Portugal.
- Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2002.
- Fluke (2011). Acedido em 29 de Junho de 2011, em: <http://www.fluke.com/fluke/usen/hvac-iaq-tools/air-testers/fluke-975.htm?PID=56156>
- Gameiro, M. (2011). *A poluição no ambiente interior*. Cursos SCE, Módulo RSECE – QAI, Capítulo 2. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Coimbra.
- Gameiro, M. (2011a). *Introdução ao novo RSECE*. Cursos SCE, Módulo RSECE – QAI, Capítulo 1. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Coimbra.
- Gameiro, M. (2011b). *Medições de concentrações de gases*. Cursos SCE, Módulo RSECE – QAI, Capítulo 3.2. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Coimbra.
- Jardim, D. (2009). *Municípios e certificação energética de edifícios*. Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior em Edifícios – Qualidade do Ar Interior. Agência Portuguesa do Ambiente. Acedido em 26 de Fevereiro de 2011, em: <http://www.adene.pt/NR/rdonlyres/1B490851-CA38-4A35-935C-A2A0D1178EDD/1005/APAWsTecnofil090618.pdf>
- Matos, J., Brantes, J., Maria, A. E Cunha, A. (2010). *Qualidade do Ar em Espaços Interiores – Um Guia Técnico*. Agência Portuguesa do Ambiente. Amadora.
- Rodrigues, A. (2010). *Análise da Qualidade do Ar Interior nas Bibliotecas do Pólo II da Universidade de Coimbra*. Tese de Mestrado em QAI. Departamento de Engenharia Mecânica – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Sherman, M. H. (1990). Tracer-Gas Techniques For Measuring Ventilation in s Single Zone. *Building and Environment*. 25, (4). 365-374.
- Silva, M. G., Costa, J. J. e Ramos, E. P. On the definition of ventilation requirements in IAQ standards – a method based on emission rates of pollutants.

- Silva, M. G., Costa, J. J., Gaspar, A., Paulino, A., Bento, M. e Botte, G. (2011). The influence of wind on the infiltration rates in a Web-based monitored Office building. *Roomvent*.
- Testo (2011). Acedido em 13 de Abril de 2011, em: <http://www.testo.pt>
- Tippayawong, N., Khuntong, P., Nitatwichit, C., Khunatorn, Y. e Tantakitti, C. (2009). Indoor/outdoor relationships of size-resolved particle concentrations ins naturally ventilated school environments. *Building and Environment*. 44, 188-197.

7. ANEXO A (PLANTA DA BEC)



8. ANEXO B (PLANTA DA BEM)



9. ANEXO C (BEC)

(1) Medição com a UTA ligada durante 24 horas.

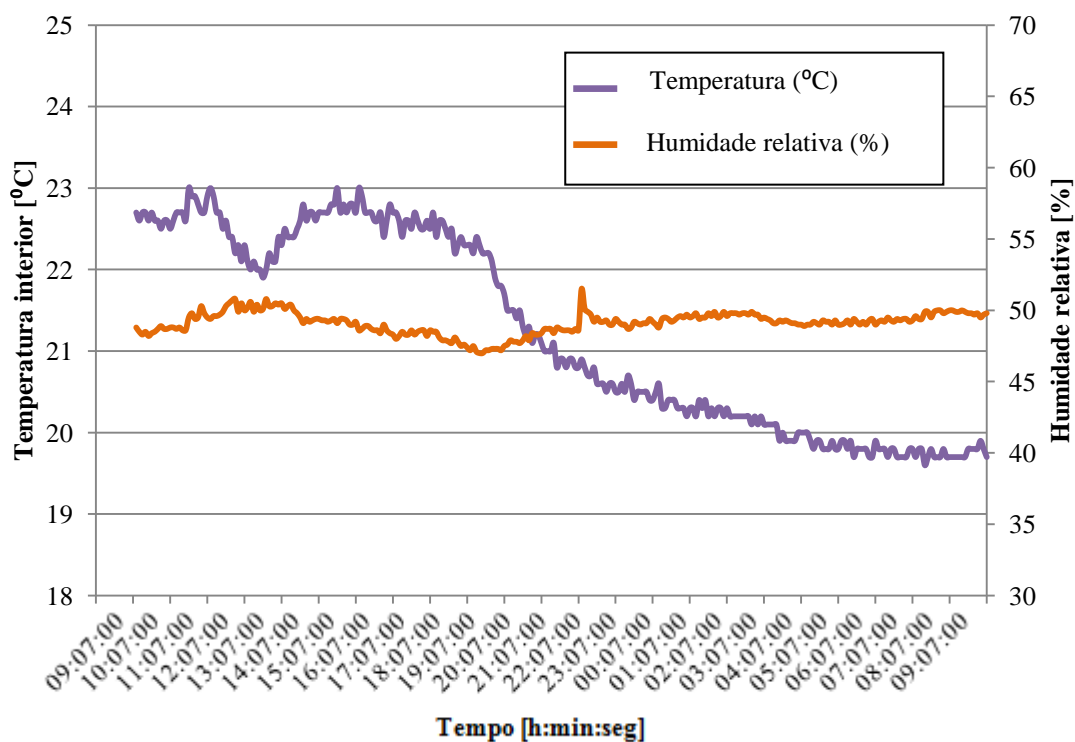


Figura 37. Evolução temporal da Temperatura (°C) e da Humidade relativa (%), no dia 13 de Junho de 2011, na Sala de leitura da BEC.

(2) Medição com a UTA ligada durante o horário de funcionamento.

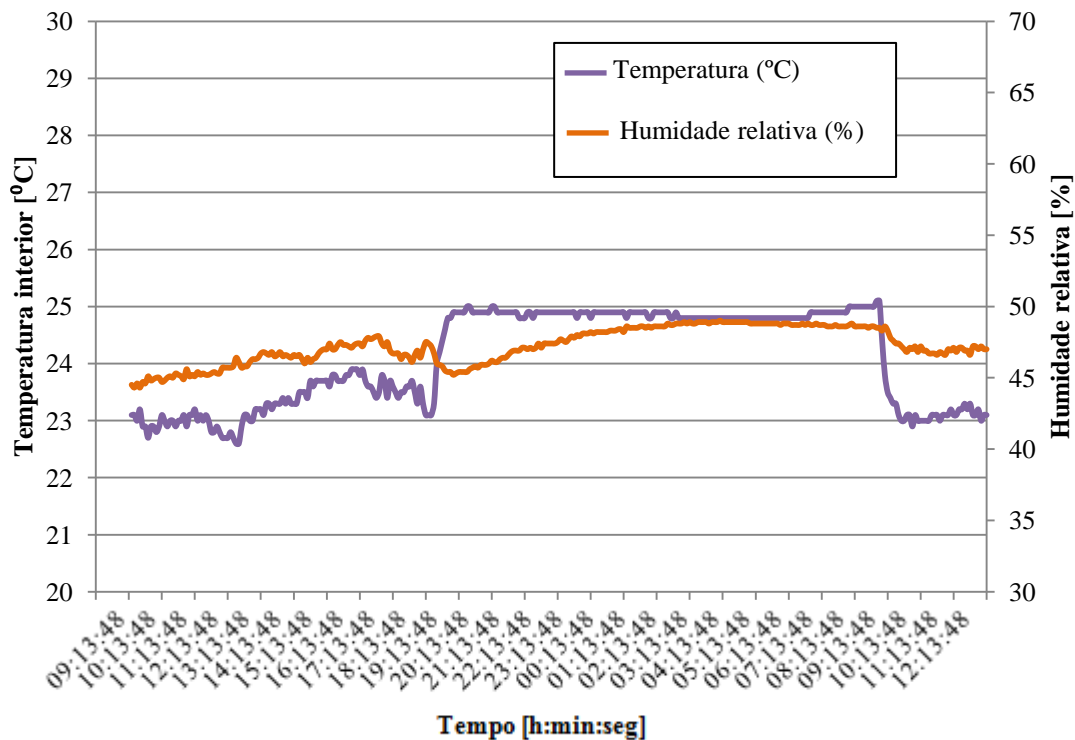


Figura 38. Evolução temporal da Temperatura (°C) e da Humidade relativa (%), no dia 30 de Junho de 2011, na Sala de leitura da BEC.

10. ANEXO D (BEM)

(1) Medição com a UTA ligada durante 24 horas.

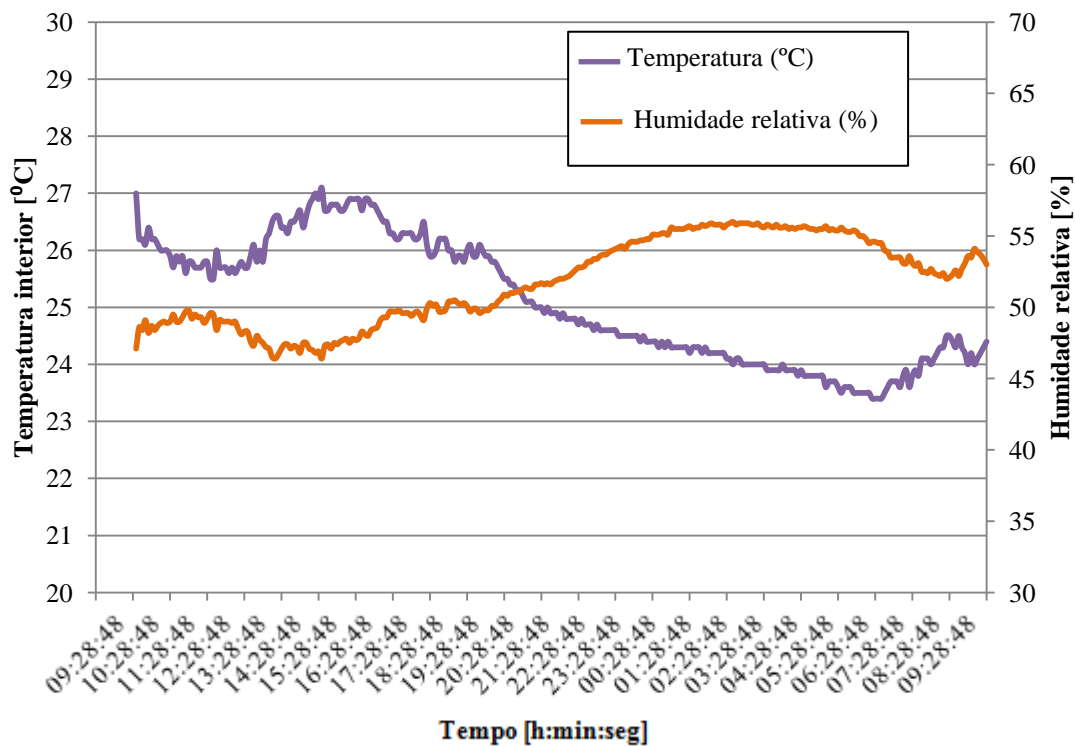


Figura 39. Evolução temporal da Temperatura (°C) e da Humidade relativa (%), no dia 16 de Junho de 2011, na Sala de leitura da BEM.

(2) Medição com a UTA ligada durante o horário de funcionamento.

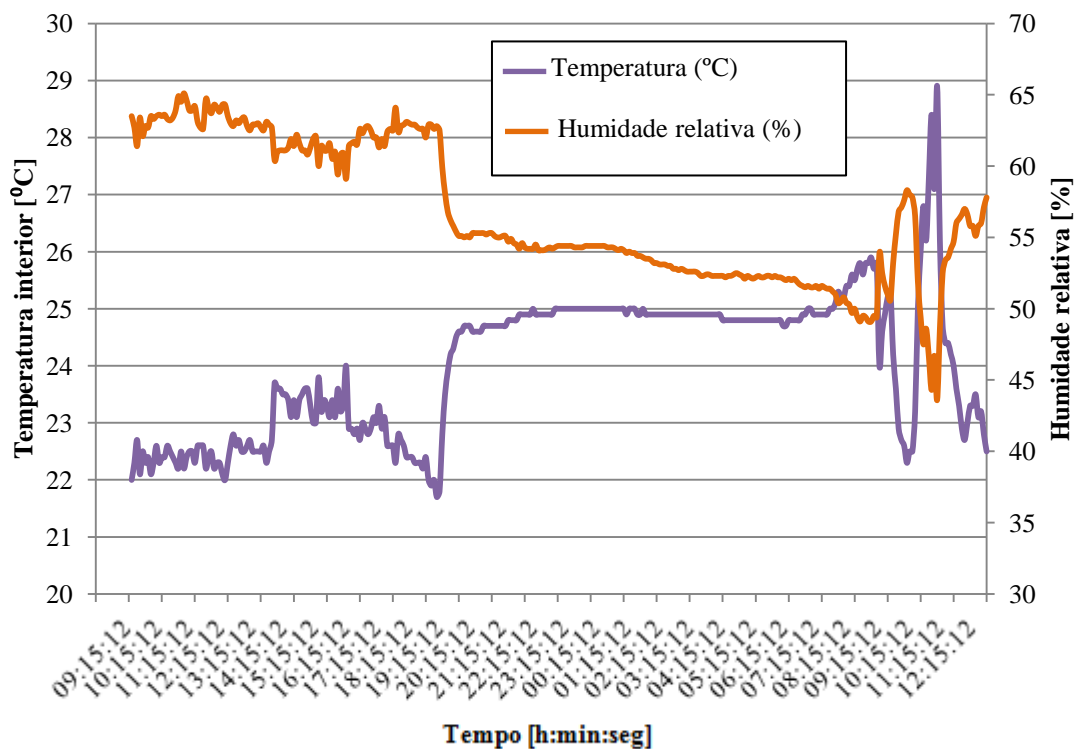


Figura 40. Evolução temporal da Temperatura (°C) e da Humidade relativa (%), no dia 28 de Junho de 2011, na Sala de leitura da BEM.