



Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Fernando Pessoa, Praça 9 de Abril, 4249-004 Porto, Portugal, E-mail: 18585@ufp.edu.pt

Miguel Filipe Nobre Neto

Qualidade do ar interior e os requisitos de ar novo numa unidade hospitalar: O caso do Hospital Escola Fernando Pessoa

Porto, 2015





Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Fernando Pessoa, Praça 9 de Abril, 4249-004 Porto, Portugal, E-mail: 18585@ufp.edu.pt

Miguel Filipe Nobre Neto

Qualidade do ar interior e os requisitos de ar novo numa unidade hospitalar: O caso do Hospital Escola Fernando Pessoa

Porto, 2014

Miguel Filipe Nobre Neto

Qualidade do ar interior e os requisitos de ar novo numa unidade hospitalar: O caso do Hospital Escola Fernando Pessoa

---

Trabalho apresentado à Universidade Fernando Pessoa como parte dos requisitos para  
obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Ambiental.

## **Resumo**

Atualmente a Qualidade do Ar é uma matéria de investigação primordial, procurando-se estabelecer uma sintonia entre o conforto das pessoas, a eficiência energética, e o cumprimento da legislação em vigor com vista à proteção da saúde humana. A Qualidade do Ar pode ser dividida em duas vertentes, uma exterior, isto é, em espaços abertos ao meio ambiente, e uma interior, em espaços fechados e confinados a um perímetro restrito. Nesta dissertação aborda-se a situação atual da Qualidade do Ar, direcionando a pesquisa para a Qualidade do Ar Interior (QAI), em particular a sua dependência da ventilação por ar novo. Como caso de estudo foi usado o Hospital Escola Fernando Pessoa. Foram medidos, em diversos espaços, os níveis de CO<sub>2</sub>, bem como os caudais de ventilação associados, testando a hipótese de os níveis de CO<sub>2</sub> verificados estariam em conformidade quando associados aos caudais de ventilação impostos pela legislação vigente. Foi possível obter dados indicativos da desadequação da legislação, em particular do modelo de apoio proposto, à realidade observada. Esta situação indicia potenciais perdas significativas de energia ao impor níveis de ventilação bastante superiores aos necessários para o cumprimento dos níveis de CO<sub>2</sub> legalmente estabelecidos.

*Palavras-chave:* Qualidade do Ar, Qualidade do Ar Interior, Caudais de ventilação, Concentração de CO<sub>2</sub>

## **Abstract**

Currently the Air Quality its a important subject to research, and his aims are the Comfort of people, energy efficiency, compliance with legislation and to protect human health. The Air Quality can be divided into two parts, Outdoor Air Quality (OAQ), the environment in open spaces, and Indoor Air Quality (IAQ), indoors and confined to a limited area. This thesis approaches the current situation of Air Quality, directing the search for the Indoor Air Quality (IAQ), in particular its dependence on ventilation for fresh air. As a case study we used the Hospital Escola Fernando Pessoa. In different spaces, CO<sub>2</sub> levels and flows associated ventilation were measured by testing the hypothesis that CO<sub>2</sub> levels would be checked accordingly when associated with the flow of ventilation imposed by law. It was possible to obtain data indicative of the inadequacy of the legislation, in particular the support proposed model to the observed reality. This suggests potential significant energy losses by imposing ventilation levels well above those required for compliance with legally established levels of CO<sub>2</sub>.

*Key-words:* Air Quality, Indoor Air Quality, Ventilation Flows, CO<sub>2</sub> Concentration.

## *Agradecimentos*

Na realização desta dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Ambiental, foram ultrapassadas várias dificuldades e algumas incertezas. Para isso, contribuiu com todo empenho o Prof. Doutor Nelson Barros, orientador deste trabalho de dissertação, a quem devo o sucesso da mesma, contribuindo sempre de bom agrado, dando soluções e alternativas, mostrando sempre disponibilidade apesar das adversidades. Na parte de trabalho de campo, no Hospital-Escola Fernando Pessoa, contribuiu com uma preciosa ajuda e inteira disponibilidade, o Sr. Bruno Almeida, assim como a Engenheira Maria João Castro e o Sr. Paulo Ribeiro. Não poderia deixar de agradecer à minha família, e namorada Sara Barbosa, pelo apoio incondicional dado. Em suma, quero agradecer aos familiares, amigos, orientador e outros intervenientes, que de uma forma mais ou menos direta, me ajudaram na conclusão desta dissertação de mestrado.

## Índice

<i>Símbolos e acrónimos:</i> .....	xi
<b>1. Introdução</b> .....	12
1.1 <i>Evolução legislativa sobre a Qualidade do Ar</i> .....	13
1.1.1 <i>Qualidade do Ar Exterior</i> .....	13
1.1.2 <i>Qualidade do Ar Interior</i> .....	14
1.2 <i>As preocupações e os principais poluentes de Qualidade do Ar Interior</i> .....	16
1.3 <i>Caso de estudo</i> .....	16
1.4 <i>Objetivos e métodos de estudo</i> .....	17
1.5 <i>Principais resultados obtidos no caso de estudo e adversidades</i> .....	19
<b>2. A Qualidade do ar interior</b> .....	17
2.1 <i>Evolução histórica</i> .....	17
2.2 <i>Principais elementos forçadores</i> .....	19
2.3 <i>Qualidade do ar e Saúde Humana</i> .....	26
2.4 <i>Resposta legislativa ao problema da QAI</i> .....	30
2.5 <i>Objeto de investigação</i> .....	31
2.6 <i>Síntese conclusiva</i> .....	33
<b>3. Caso de Estudo: A qualidade do ar interior no Hospital – Escola Fernando Pessoa</b> .....	34
3.1 <i>Descrição do local de estudo</i> .....	34
3.2 <i>Metodologia da investigação</i> .....	36
3.2.1 <i>Locais de amostragem</i> .....	37
3.2.2 <i>Metodologia de amostragem</i> .....	38
3.3 <i>Síntese conclusiva</i> .....	41
<b>4. Apresentação e análise de resultados</b> .....	42
4.1 <i>Apresentação de resultados</i> .....	42
4.2 <i>Análise e discussão de resultados</i> .....	43
4.2.1 <i>Ginásio de Fisioterapia</i> .....	43
4.2.2 <i>Quarto duplo 413</i> .....	46
4.2.3 <i>Sala pedagógica</i> .....	49
4.3 <i>Síntese conclusiva</i> .....	51
<b>5. Conclusões</b> .....	52
<b>Referências bibliográficas</b> .....	54
<b>Anexos</b> .....	61
<i>Anexo I</i> .....	61
<i>Anexo II</i> .....	69
<i>Anexo III</i> .....	71
<i>Anexo IV</i> .....	76

## **Índice de Figuras**

<i>Figura 1: Principais inter-relações dos poluentes atmosféricos e os seus impactes ambientais (EEA, 2012).</i>	14
<i>Figura 2: Átrio do Hospital – Escola Fernando Pessoa</i>	17
<i>Figura 3: Vista do Hospital-Escola Fernando Pessoa, ao lado da IC29</i>	35
<i>Figura 4: Localização dos espaços em estudo – perímetros a vermelho (Piso 0, o Ginásio de fisioterapia; Piso 4 o Quarto duplo e a Sala pedagógica (canto inferior esquerdo).</i>	35
<i>Figura 5: Um dos sensores no ginásio de fisioterapia.</i>	37
<i>Figura 6: Sensor no centro do Quarto, entre as duas camas</i>	37
<i>Figura 7: Sensor na Sala pedagógica</i>	38
<i>Figura 8: Aparelho KIMO AMI300, com o sensor de CO<sub>2</sub>, Temperatura e Humidade.</i>	38
<i>Figura 9: Localização dos sensores nos diferentes espaços em análise.</i>	40
<i>Figura 10: Diferentes adaptadores de medição do aparelho AMI300 da KIMO (o adaptador com ventoinha, mede o caudal) (Direct Industry, s.d.).</i>	41
<i>Figura AI11: Dados de entrada do Método Analítico do LNEC.</i>	63
<i>Figura AI12: Cálculo de caudal de ar novo e valores associados às opções de entrada.</i>	64

## **Índice de Gráficos**

<i>Gráfico 1: Variação diária da Concentração média de CO<sub>2</sub>, em função da ocupação. Valores estimados pelo modelo LNEC.</i>	45
<i>Gráfico 2: Variação diária da Concentração média de CO<sub>2</sub>, em função da ocupação. Valores observados.</i>	45
<i>Gráfico 3: Variação diária da Concentração média de CO<sub>2</sub>, em função da ocupação. Valores estimados pelo modelo LNEC.</i>	48
<i>Gráfico 4: Variação diária da Concentração média de CO<sub>2</sub>, em função da ocupação. Valores observados</i>	48
<i>Gráfico 5: Variação diária da Concentração média de CO<sub>2</sub>, em função da ocupação. Valores estimados pelo modelo LNEC.</i>	50
<i>Gráfico 6: Variação diária da Concentração média de CO<sub>2</sub>, em função da ocupação. Valores observados.</i>	50

## **Índice de Tabelas**

<i>Tabela 1: Diferentes poluentes e as suas principais fontes de emissão (Jones, 1999).</i> .....	21
<i>Tabela 2: Evolução dos poluentes e a sua tendência entre 1950 e 2005 (Weschler, 2009).</i> .....	25
<i>Tabela 3: Níveis de CO, CO<sub>2</sub> e COVs medidos no laboratório Central e nas clínicas da Faculdade de Medicina de Istambul (Erdogan, et al., 2010).</i> .....	32
<i>Tabela 4: Cálculo para definir quantos pontos de amostragem se deve fazer.</i> .....	39
<i>Tabela 5: Dados de projeto vs dados reais.</i> .....	42
<i>Tabela 6: Média dos resultados da concentração de CO<sub>2</sub>, humidade e temperatura nos diferentes espaços em estudo (Ver em detalhe Anexo II, III e IV).</i> .....	43
<i>Tabela 7: Opções escolhidas no modelo LNEC para o Ginásio de Fisioterapia</i> .....	44
<i>Tabela 8: Opções escolhidas no modelo LNEC para o Quarto 413</i> .....	46
<i>Tabela 9: Opções escolhidas no modelo LNEC para a Sala pedagógica.</i> .....	49
<i>Tabela AI10: Caraterísticas com diferentes opções dos dados de entrada (Portaria 353-A/2013).</i> .....	61
<i>Tabela AI11: Taxa de metabolismo consoante o tipo de atividade (Portaria 353-A/2013).</i> .....	64
<i>Tabela AI12: Valores da Área de Dubois em função da idade dos ocupantes (Portaria 353-A/2013).</i> .....	65
<i>Tabela AI13: Valores de eficácia para diferentes métodos de ventilação (Portaria 353-A/2013).</i> .....	65
<i>Tabela AI14: Caudal mínimo de ar novo determinado em função da carga poluente devida ao edifício (Portaria 353-A/2013).</i> .....	66
<i>Tabela AI15: Resultados obtidos nas medições no Ginásio de fisioterapia</i> .....	69
<i>Tabela AI16: Resultados obtidos nas medições no Quarto duplo (diurno).</i> .....	72
<i>Tabela AI17: Resultados obtidos nas medições no Quarto duplo (noturno).</i> .....	75
<i>Tabela IV18: Resultados obtidos nas medições na Sala pedagógica.</i> .....	77

***Símbolos e acrónimos:***

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

CO – Monóxido de Carbono

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono

COVs – Compostos Orgânicos Voláteis

DL – Decreto-Lei

he+ – Hospital Escola Fernando Pessoa

L – litro

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

m – metro

m<sup>2</sup> – metro quadrado

m<sup>3</sup> – metro cúbico

min – minuto

NO – Óxido de azoto

NO<sub>2</sub> – Dióxido de Azoto

NO<sub>x</sub> – NO<sub>2</sub>+ NO

O<sub>3</sub> – Ozono

OMS – Organização Mundial de Saúde

OSHA – Occupational Safety and Health Administration

ppm – partes por milhão

QAE – Qualidade do Ar Exterior

QAI – Qualidade do Ar Interior

RECS – Regulamento de Edifícios de Comercio e de Serviços

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

s – segundo

SO<sub>2</sub> – Dióxido de Enxofre

UTAN – Unidade de Tratamento de Ar Novo

## ***1. Introdução***

A Qualidade do Ar Interior (QAI) tem vindo a tornar-se um dos principais focos de investigação nos últimos anos, face à constatação da sua importância na saúde humana. Esta preocupação é justificada, em particular, nas áreas urbanas dos países mais desenvolvidos, pelo tempo de permanência em locais fechados, que se estima que seja superior a 90% do tempo diário (ECA, 2003).

Os edifícios hospitalares são caracterizados pela elevada sensibilidade dos seus utentes e pelo nível acrescido das emissões para o meio ambiente decorrentes da sua normal atividade. Sendo assim, torna-se especialmente relevante garantir uma boa qualidade do ar interior neste tipo de unidades de saúde.

A legislação vigente obriga a determinados níveis de ventilação, função de diversos métodos de cálculo, partindo do princípio que, garantida a ventilação prescrita, estará acautelada uma boa qualidade do ar nos espaços em avaliação, desde que, de forma complementar, seja verificada a observância dos níveis de proteção à saúde humana de determinados poluentes físico-químicos e microbiológicos.

Neste primeiro capítulo, pretende-se fazer um enquadramento, fazendo uma breve referência ao objeto de estudo nesta dissertação. É feita uma abordagem à evolução legislativa no que diz respeito à Qualidade do Ar (interior e exterior), os principais focos de preocupações em relação à QAI, definindo posteriormente os objetivos do trabalho, e apresentando os resultados mais relevantes.

Em termos de estrutura geral, a dissertação está dividida em 5 capítulos principais, a saber, a presente introdução, o estado do conhecimento relativo à QAI, o Caso de Estudo, apresentação e análise de resultados e, por fim, as conclusões e futuras linhas de investigação.

## *1.1 Evolução legislativa sobre a Qualidade do Ar*

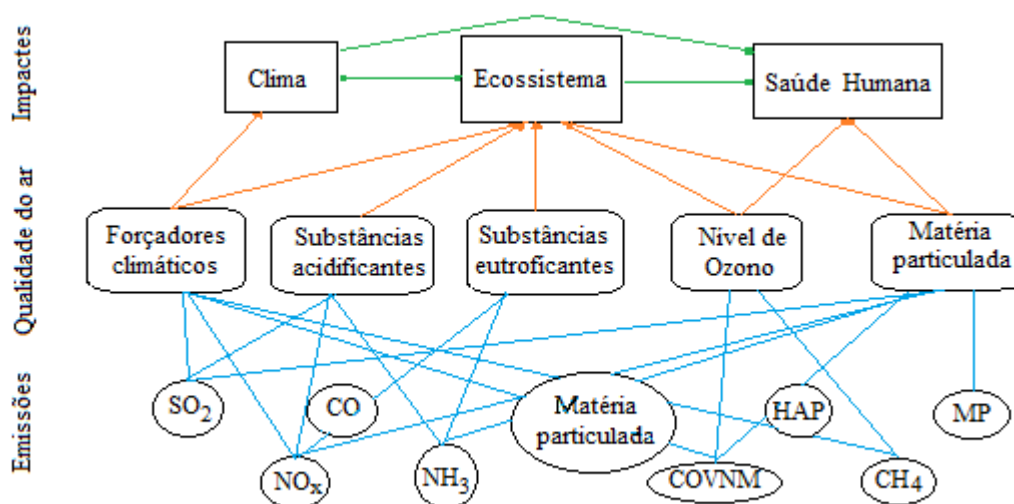
### *1.1.1 Qualidade do Ar Exterior*

A Qualidade do Ar Exterior (QAE) influencia a QAI e também afeta de forma direta e adversa a saúde humana. Assim sendo, em 1996 foi estabelecida a primeira Diretiva face à Qualidade do Ar (Diretiva 96/62/EC), designada como a Diretiva Quadro da Qualidade do Ar, que definia os princípios básicos para avaliar e gerir a qualidade do ar na Europa. Posteriormente foi adotada pelo Conselho Europeu a Decisão 97/101/EC, com o objetivo de normalizar os procedimentos de monitorização e facilitar o intercâmbio de informação na Europa.

Da Diretiva 96/62/EC resultaram quatro diretivas complementares, a saber: (i) Diretiva 1999/30/EC, que definia valores-limite para o dióxido de enxofre, dióxido de azoto e óxidos de azoto, partículas em suspensão e chumbo no ar ambiente, (ii) Diretiva 2000/69/EC, que definia valores-limite para as concentrações de benzeno e monóxido de carbono, (iii) Diretiva 2002/3/EC relativa ao ozono no ar ambiente e (iv) Diretiva 2004/107/EC que procurava estabelecer valores-limite para o arsénio, cádmio, mercúrio, níquel e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos no ar ambiente. Em 2004, através de Decisão 2004/461/EC, foi estabelecida a comunicação anual de informações sobre a avaliação da qualidade do ar ambiente ao abrigo das Diretivas anteriormente referidas.

Em 2008, com o objetivo de melhorar e simplificar a antiga Diretiva e estabelecer novos limites e metas de redução dos poluentes, foi implementada a Diretiva 2008/50/EC, que procura implementar reduções nos níveis de poluição para diminuir os riscos para a saúde humana, melhorando a Qualidade do Ar na Europa (EC, 1996; EC, 1997; EC, 1999; EC, 2000; EC, 2002; EC, 2004; EU, 2004; EU, 2008).

Na Figura 1 pode observar-se as diferentes inter-relações entre os principais poluentes atmosféricos e os seus impactes no ambiente.



Legenda: SO<sub>2</sub> (dióxido de enxofre), CO (monóxido de carbono), MP (matéria particulada), HAP (hidrocarbonetos aromáticos policíclicos), MP (metais pesados), NO<sub>x</sub> (óxidos de azoto), NH<sub>3</sub> (amónia), COVNM (compostos orgânicos voláteis não-metânicos), CH<sub>4</sub> (metano).

Figura 1: Principais inter-relações dos poluentes atmosféricos e os seus impactos ambientais (EEA, 2012).

### 1.1.2 Qualidade do Ar Interior

A evolução histórica das preocupações com a qualidade do ar no interior dos edifícios, em particular no que concerne à legislação portuguesa, é relativamente recente. Em 1990, com a aprovação do Decreto-lei (DL) n.º 40/90 de 6 de fevereiro, surge de forma indireta, a primeira abordagem a esta temática, contudo tinha apenas preocupações térmicas e energéticas. Mais tarde, associada à preocupação da racionalização energética e estabilização da temperatura, surge a preocupação com a qualidade do ambiente interior, nos edifícios. A primeira referência à qualidade do ar interior surge apenas em 1992 aquando da elaboração do Decreto-lei (DL) n.º 156/92, de 29 de julho. Este DL redefinia o Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios, e tinha também o objetivo de satisfazer as necessidades da qualidade do ar, no interior dos edifícios. Eram tomadas medidas de forma a haver meios de ventilação satisfatórios, tendo em conta o dimensionamento dos sistemas energéticos e de ventilação. Porém o DL n.º 156/92, de 29 de julho nunca entrou em vigor, sendo substituído mais tarde pelo

DL n.º 118/98, de 7 de maio, que aprovava o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE).

Com a evolução da qualidade de vida das populações, foram cada vez mais procurados sistemas de climatização para as empresas e para os novos edifícios de comércio e serviços. No entanto, a falta de manutenção dos equipamentos; e a falta de requisitos legais, entre outros, a ausência de definição clara de valores mínimos de renovação do ar, levou à existência de problemas com a qualidade no ar interior e um eventual impacto negativo na saúde humana, assim como um excessivo consumo energético. Assim, com o advento do Protocolo de Quioto e a crescente reocupação com as CO<sub>2</sub>, em 2003 foi publicada a Diretiva n.º 2002/91/CE que visava melhorar o desempenho energético dos edifícios, melhorando a sua eficiência e monitorização. Para dar resposta aos problemas existentes com a falta de orientação na monitorização dos sistemas de ventilação e com o excesso de consumo energético, em Portugal é aprovado o DL n.º 78/2006, de 4 de abril, implementando o Sistema de Certificação Energética (SCE), e ainda no mesmo dia é implementado o DL n.º 79/2006, a fim de melhorar o conforto térmico, a eficiência energética e dos sistemas de climatização, e ainda promover a monitorização e manutenção dos sistemas de climatização, tendo em conta a preocupação da qualidade de ar interior, revendo o RSECE (este regulamento procurava evitar investimentos desnecessários, e gastos energéticos excessivos, definindo limites à potência máxima dos equipamentos, e sugerindo boas práticas de manutenção e uso dos mesmos), e o DL n.º 80/2006 que aprovou o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios.

A 19 de maio de 2010 foi aprovada a Diretiva n.º 2010/31/EU do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa ao Desempenho Energético dos Edifícios, reformulando a Diretiva n.º 2002/91/CE. A Diretiva n.º 2010/31/EU foi transposta para o direito interno pelo Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, que aprova o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços. Esta legislação encontra-se explicada com mais detalhe no capítulo 2, no ponto 2.4 referente à *Resposta legislativa ao problema da QAI*.

## *1.2 As preocupações e os principais poluentes de Qualidade do Ar Interior*

A QAI depende da interação de vários fatores que determinam a tipologia e o nível dos diferentes poluentes. Estes fatores podem ser as alterações feitas no edifício (obras por exemplo), as atividades dos ocupantes e outras fontes emissoras internas (materiais de construção e/ou mobiliário, p.e.), os sistemas de ventilação e o nível de poluentes exteriores, que se relaciona com os níveis interiores atuais (Amissah, 2005; APA, 2009). Como se estima que as pessoas passem a maior parte do seu tempo em locais fechados, e muitos deles poluídos, a preocupação com a QAI é cada vez maior, tendo vindo a ser cada vez mais objeto de estudo desde os anos 80. Os poluentes mais comuns que afetam a qualidade do ar interior são o fumo do tabaco, monóxido de carbono, dióxido de carbono, compostos orgânicos voláteis (COV's), dióxido de azoto (NO<sub>2</sub>), formaldeído, benzeno, naftaleno, radão, compostos halogenados, agentes biológicos e a matéria particulada (Viegi, et al. 2005; APA, 2009). Para ser alcançado um nível ideal de QAI é necessário haver uma entrada de ar limpo do exterior, sendo que o ar não pode conter concentrações consideradas elevadas de contaminantes, havendo assim uma ventilação suficiente para manter um ambiente saudável para os ocupantes. A saúde das pessoas e o seu conforto é uma das preocupações por parte das empresas, funcionários, entre outros, de forma a manter uma QAI satisfatória para o ser humano, uma vez que vários problemas com a QAI são reconhecidos como fatores importantes de risco para a saúde humana (APA, 2009). Para isso foi elaborado uma lista da concentração e tempos de exposição máximos para diferentes poluentes, como a OSHA 2011 que ajuda a manter uma boa QAI, promovendo a saúde dos ocupantes dos edifícios (Amissah, 2005; WHO, 2000).

## *1.3 Caso de estudo*

O caso de estudo foi efetuado no Hospital – Escola Fernando Pessoa (he+), localizado em Gondomar, na Avenida Fernando Pessoa, GPS: 41.14313,-8.544427. Trata-se de uma unidade de saúde polivalente, com cerca de 35 000 m<sup>2</sup>, distribuídos por 5 pisos, dois dos quais subterrâneos, orientados para apoio logístico e garagens. Nos pisos superiores destacam-se três salas cirúrgicas, três unidades de recobro, uma unidade de cuidados

intensivos, uma área de internamento médico e cirúrgico, gabinetes médicos e de diagnóstico, urgências, laboratórios, salas de espera, ginásio e sala de fisioterapia, refeitórios, jardim infantil e espaços comuns, dos quais se destaca o átrio central com 375 m<sup>2</sup> e um pé direito de cinco pisos (Figura 2).



Figura 2: Átrio do Hospital – Escola Fernando Pessoa

Como referido anteriormente, as unidades de saúde são e estão especialmente vulneráveis à QAI, quer pela sensibilidade dos seus utilizadores, quer pelas emissões decorrentes da sua normal laboração. Sendo assim, constitui-se um ótimo “caso” para avaliação das condições de ventilação e de QAI.

Como adiante é especificado (ver capítulo 3), o trabalho decorreu em apenas alguns espaços expostos a diferentes ocupações e atividades, tendo sido avaliadas as condições de ventilação e de níveis de CO<sub>2</sub> dos mesmos.

#### *1.4 Objetivos e métodos de estudo*

Este trabalho de investigação tem por objetivo geral verificar se as técnicas previstas a legislação são eficazes, constituindo-se, portanto, como o garante de uma boa QAI quando devidamente cumpridas. Para tal, foi executado um estudo de caso baseado na análise das condições de ventilação em alguns espaços do Hospital Escola (*he+*) da Universidade Fernando Pessoa, usando-se os níveis de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) como indicador da QAI.

Em termos específicos pretende-se responder às seguintes questões:

- i. Qual a situação atual, em termos de ventilação, do *he+*?
- ii. Quais os níveis de CO<sub>2</sub> na situação atual?
- iii. Impondo os níveis de ventilação legalmente estabelecidos na legislação portuguesa, os níveis de CO<sub>2</sub> observados estão abaixo do valor-limite legal?
- iv. Os níveis de CO<sub>2</sub> observados comparam com os níveis simulados?

Para encontrar resposta a estas questões, foram verificados os níveis de concentração de CO<sub>2</sub> no edifício (em determinados espaços), medindo ou impondo os caudais de insuflação de ar novo e a extração de ar em diferentes condições. Por outro lado, usando a ferramenta numérica disponível (Aplicação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC), foram comparados os resultados simulados com os valores observados e com os requisitos da legislação portuguesa (Portaria nº 353 A - 2013). Neste caso, foi verificado até que ponto o regulamento legalmente em vigor é assertivo no sentido de garantir uma boa QAI aos ocupantes dos espaços (níveis de CO<sub>2</sub> abaixo do valor limite da Portaria), quando se impõem os caudais de ventilação sugeridos na legislação pelo modelo do LNEC.

Para além da concentração de CO<sub>2</sub>, a temperatura e a humidade relativa também são fatores a ter em conta no que diz respeito à QAI e ao conforto e bem-estar dos ocupantes dos edifícios. A temperatura é um fator que pode variar, para satisfazer o conforto dos ocupantes, isto é a temperatura exterior poderá influenciar a temperatura interior ideal. Em dias mais calorentos, a temperatura desejada no interior dos espaços, será mais baixa do que em dias mais frios. Relativamente à humidade, o ideal será estar entre os 40 e 70%. A humidade quando atinge valores demasiado baixos, menores que 25% interfere diretamente no bem-estar dos ocupantes, secando as membranas mucosas e a pele, assim como causando irritação.

Outras causas, estas fora da saúde humana, são o excesso de eletricidade estática causado pela baixa humidade, interferindo no funcionamento de computadores, fotocopiadoras por exemplo.

Por outro lado, quando a humidade atinge valores muito elevados, acima de 75%, torna o espaço propício à proliferação de microrganismos, podendo vir a causar inflamações e

infecções nos ocupantes do espaço. Com o excesso de humidade não só se formam ambientes propícios para o desenvolvimento dos microrganismos, como também provoca o desgaste dos materiais, aumentando a poluição interior, libertando alguns COVs dos materiais por exemplo (APA, 2009). Tendo em conta estas razões, quer a temperatura, quer a humidade também foram registadas.

### *1.5 Principais resultados obtidos no caso de estudo e adversidades*

No trabalho de campo, com as medições efetuadas, e as comparações face à legislação, pode-se constatar que os três espaços em estudo cumprem os limites impostos pela lei (no Ginásio obteve-se uma concentração de CO<sub>2</sub> máxima das médias observadas de 954 ppm, no Quarto duplo obteve-se uma concentração máxima das médias observadas de CO<sub>2</sub> de 571 ppm e na Sala pedagógica obteve-se uma concentração máxima das médias observadas de CO<sub>2</sub> de 534 ppm; sendo o limite imposto pela Portaria 353-A/2013 de 1250 ppm ou 2250 mg.m<sup>-3</sup>).

Contudo foram encontradas algumas adversidades durante o estudo, prejudicando a fluência do mesmo. Não houve tempo suficiente, nem para fazer um número de réplicas que tornassem estatisticamente significativas as observações efetuadas, nem foram feitas observações num maior número de espaços e/ou condições. Por outro lado, também existiram alguns contratemplos com a disponibilidade do aparelho de medição de CO<sub>2</sub>, temperatura e humidade relativa, assim como alterações dos espaços de estudo, uma vez que é necessário obter pelo menos 50% de ocupação em parte da análise, para tornar os resultados credíveis e válidos, o que não se verificou em todos os espaços de he+. Por esta razão foi necessário optar posteriormente apenas pelos três espaços anteriormente citados.

## **2. A Qualidade do ar interior**

Fazendo uma abordagem mais específica, no que diz respeito à QAI, é possível verificar as mudanças e aumento de preocupações face aos poluentes, assim como os riscos associados à saúde humana, quando o ambiente interior não tem a qualidade necessária.

Existe a interação de vários fatores que determinarão a quantidade e o nível dos diferentes poluentes. Estes fatores podem estar associados a alterações feitas no edifício (obras por exemplo), às atividades dos ocupantes, ao sistema de ventilação e o nível de poluentes exteriores, que se relaciona com os níveis interiores atuais. Acrescem ainda as emissões provenientes dos materiais de construção e do mobiliário usado, bem como a própria arquitetura do edifício (Amissah, 2005; APA, 2009).

Contudo, por ventilação, as concentrações elevadas de poluentes no exterior influenciam a concentração dentro dos edifícios e habitações, principalmente nas zonas de maior tráfego (Erdogan, et al. 2010). As partículas existentes no ar, bem como o dióxido de azoto ( $\text{NO}_2$ ), monóxido de carbono (CO), ozono ( $\text{O}_3$ ) e os Compostos orgânicos voláteis (COVs) são os poluentes existentes na atmosfera, que mais poderão influenciar a QAI dum espaço fechado, principalmente em zonas industriais, ou urbanas com um tráfego elevado (Jones, 1999). Acresce a estes poluentes físico-químicos, a contaminação microbiológica, de importância capital em meio hospitalar.

### *2.1. Evolução histórica*

A nível histórico, existem provas que a poluição do ar interior não vem de agora, mas sim desde sempre. Exemplo disso é a fuligem dos tetos das grutas, originada pelas fogueiras feitas nestes locais, ou o caso das madeiras mais escurecidas dos tetos de alguns edifícios antigos, devido às atividades quotidianas caseiras. As casas medievais tinham lareiras no centro da casa, que era ventilada por uma grelha no centro do teto, sendo posteriormente no século XVI, substituída ou complementada pela construção de lareiras encostadas à parede (Jones, 1999).

Ao fazer-se uma retrospectiva histórica pode-se verificar que a noção da qualidade do ar, já vem de há muitos séculos, contudo, nunca foi alvo de grande preocupação. Por

exemplo, os Gregos e os Romanos tinham conhecimento dos efeitos negativos da poluição causada nas cidades com excesso de população ou com a exposição dos trabalhadores ao ar contaminado nas minas.

Por outro lado, numa vertente mais religiosa, vem descrito na Bíblia o reconhecimento dos problemas causados pela humidade nos edifícios, e a praga da lepra (Levítico 14, 34-57). Com casos ao longo da história como a lepra, as mortes de pessoas presas em quartos de tamanho reduzido, e pouco ventilados, assim como jovens limpadores de chaminés, e os escravos asfixiados nos barcos, durante travessias, alertaram para a importância e extrema necessidade de ventilação dos espaços fechados, poluídos pelo Homem. Até 1800, os investigadores, embora suspeitassem os efeitos negativos do ar poluído, sabiam apenas que o ar tinha que ser renovado para não afetar a respiração e a saúde humana. Priestley descobriu a existência do oxigénio, e Von Scheele, em conjunto com Lavoisier, descobriram que o ar era constituído pelo menos, por dois gases (oxigénio e dióxido de carbono). Mais tarde, em 1781, Lavoisier apontou o papel crucial do oxigénio na respiração, dando a conhecer o metabolismo humano, e a relação do consumo de  $O_2$  e a libertação de  $CO_2$  na respiração, sendo a concentração de  $CO_2$  um indicador da “frescura” do ar na altura (Sundell, 2004).

Em 1970 começa a perceber-se melhor a interligação entre a saúde e a qualidade do ar dentro dos espaços fechados, tendo como objetivo melhorar definitivamente a QAI (Jones, A., 1999). Na época da Revolução Industrial e com as preocupações da QAI, Thomas Tredgold foi um dos primeiros a escrever sobre questões relacionadas sobre a ventilação. Com a crescente preocupação e estudos feitos para avaliar a QAI, e melhorar os aspetos negativos, e definir limites, em 1970 foi implementada a EPA nos Estados Unidos, e em 1974 Agência do Ambiente na Alemanha Federal. Por volta de 1975 começaram a ser implementadas algumas medidas de controlo e preocupação com a QAI, tendo algumas delas, bases científicas que vinham já do século XIX. Foram tomadas medidas para otimizar a circulação do ar, restringir o excesso de poluição e foram também definidos parâmetros e valores de referência que não deveriam ser ultrapassados, para melhorar a QAI e não prejudicar a saúde humana. A primeira Conferência Internacional teve lugar em Copenhaga, em 1978, organizada por Fanger e Valbjorn, sendo até hoje feita de três em três anos (Salthammer, 2010).

Esta preocupação com o ar interior tem vindo a crescer desde 1850 (em 1847, Pettenkofer começou a dar palestras sobre higiene, e vê o CO<sub>2</sub> como um indicador de poluição exercida pelo Homem, definindo já na altura como limite máximo uma concentração de 1000 ppm de CO<sub>2</sub>), quando se iniciou a Revolução Higiénica, tendo em atenção a potabilidade da água e o tratamento das águas residuais também. Com as primeiras noções de ventilação, era necessário também ter em atenção a dispersão dos poluentes, assim como possíveis pontos de acumulação de humidade (Sundell, 2004).

As preocupações do século XX face ao impacto da poluição na saúde humana derivam de dois casos de excesso de fumo no ar, em Londres (1952) e nos Estados Unidos da América (1958). Em Londres, com análises realizadas entre 1958-1971, conclui-se que a poluição atmosférica contribuíra para o aumento da taxa de mortalidade (Ostro, 2004). O caso do *smog* em Londres foi um episódio muito marcante, que desencadeou o aumento das preocupações com a qualidade do ar, procurando minimizar a poluição atmosférica. Sendo notória a relação entre a grande exposição à poluição atmosférica (excessiva), e o número de casos de problemas respiratórios, ou até mesmo morte (Bell, et al. 2004). Davis et al. (2002) constataram que passados 50 anos, a poluição em Londres está muito mais controlada, sendo que no que diz respeito a matéria particulada, em 1952 era de 300µg/m<sup>3</sup> e após 50 anos, está com níveis de 30µg/m<sup>3</sup>. É de realçar que em Dezembro de 1952 a poluição atmosférica chegou aos 3000µg/m<sup>3</sup> em matéria particulada.

## 2.2. Principais elementos forçadores

Com a intensificação dos estudos na área da qualidade do ar, veio a comprovar-se cientificamente os perigos para a saúde humana das substâncias emitidas no tráfego rodoviário. É então possível perceber a relação entre o nível elevado dos poluentes atmosféricos, e os casos de entrada nos hospitais de população com problemas respiratórios. Os poluentes que mais estão relacionados são: hidrocarbonetos, O<sub>3</sub>, CO, NO<sub>x</sub> e as partículas. Em detalhe, no que diz respeito aos hidrocarbonetos, os que não são queimados, são emitidos sob a forma de vapor, ou libertados por fugas de óleo, tais como o benzeno, o etano ou etileno. O CO (espécie considerada inerte, que quando é libertado não reage facilmente com outros compostos) resulta da má combustão do combustível, sendo que esta produz ainda uma mistura de NO<sub>2</sub> e NO em abundância (o NO<sub>2</sub> é uma

espécie de rápida atividade, dissociando-se facilmente em NO, e reage rapidamente com o O<sub>3</sub>). Está provado em laboratório, que pequenas variações nos níveis de O<sub>3</sub> podem influenciar o desempenho do sistema respiratório, sendo que perturbação dependerá da duração da exposição, assim como da concentração de O<sub>3</sub> e a ventilação existente.

As partículas que se condensam a partir da má combustão são libertadas sob a forma de material particulado para a atmosfera. O tempo de residência dos poluentes dentro das cidades dependerá das reações que poderão haver entre compostos, da ventilação e do tipo de edificação, características da cidade. Quando a população está sob a influência de vários poluentes atmosféricos, a combinação deles (por exemplo: o SO<sub>2</sub>, o NO<sub>2</sub>, os Compostos Orgânicos Voláteis interagem e formam matéria particulada (Ostro, 2004)) poderá ser ainda mais perigosa para o sistema respiratório, e conseqüentemente para a saúde humana (Vardoulakis, et al., 2002; Jenkins, et al., 1999).

Quando a QAI é de fraca qualidade, existem dois tipos de percepção sensorial que se pode manifestar, a percepção ambiental e a percepção corporal. No que diz respeito à percepção ambiental, quando o ambiente não é propício e desconfortável, havendo por exemplo odores, ou excesso de fumo/gases, haverá uma insatisfação notória por parte dos ocupantes. Por outro lado, a percepção corporal, poderá manifestar-se através de irritação do aparelho respiratório, na pele ou até mesmo nos olhos. A má QAI pode levar ao aparecimento de doenças, consoante o poluente, e o tempo de exposição, podendo estas ser agudas ou crónicas. Os ocupantes, para além dos poluentes físico-químicos, poderão também ser alvo de poluentes microbiológicos, que podem proliferar por exemplo em sistemas de ventilação com deficiente manutenção, ou em zonas onde se acumule humidade (ECA, 2003).

Quando se aborda o tema da QAI, não se pode restringir a sua origem aos poluentes físico-químicos, uma vez que também podem haver poluentes biológicos, a causar de igual forma danos na saúde humana. Nos tapetes, sofás, animais e nas condutas de ar, existem diferentes microrganismos que podem causar irritações e infeções nos ocupantes do edifício (rinite alérgica, asma, pequenas alergias, são alguns exemplos). Na Tabela 1 é possível encontrar alguns tipos de poluentes e as suas principais fontes de emissão (Jones, 1999).

Tabela 1: Diferentes poluentes e as suas principais fontes de emissão (Jones, 1999).

<b>Poluente</b>	<b>Principais fontes de emissão</b>
Alergénicos	Pó doméstico, animais domésticos, insetos
Asbestos	Materiais corta-fogos, isolamento
Dióxido de Carbono	Atividade metabólica, atividades com combustão, veículos motorizados em garagens
Monóxido de Carbono	Combustível queimado, caldeiras, fogões, aquecedores a gás e querosne, fumo de tabaco
Formaldeído	Painéis de partículas, isolamento e mobiliário
Microrganismos	Pessoas, animais, plantas, sistemas AVAC
Dióxido de Azoto	Ar exterior, combustível queimado, veículos motorizados em garagens
Substâncias orgânicas	Adesivos, solventes, materiais de construção, volatilização e combustão de tintas, fumo de tabaco
Ozono	Reações fotoquímicas
Partículas	Re-suspensão, fumo de tabaco, produtos de combustão
Hidrocarbonatos policíclicos aromáticos	Combustão de combustível, fumo de tabaco
Pólenes	Ar exterior, árvores, relva, ervas, plantas
Radão	Solo, materiais de construção
Esporos de fungos	Solo, plantas, restos de comida, superfícies internas
Dióxido de Enxofre	Ar exterior, combustão de gasóleo

Ainda segundo Jones (1999) no ar interior são particularmente relevantes os seguintes poluentes:

- O *CO* é um gás invisível e inodoro, resultando normalmente da combustão incompleta. O padrão da qualidade do ar nos EUA limita a 35ppm (média horária)

de CO em zonas exteriores, sendo que para espaços interiores ainda não está regulamentado. Quando as concentrações medidas são superiores a 5ppm, será necessário analisar a presença de CO em excesso no espaço (Erdogan, M. et al., 2010). Embora a concentração de CO seja, por norma, baixa em espaços fechados, quando existe alguma fonte de CO relevante e ocupantes expostos, a sua inalação pode afetar os órgãos que mais carecem de O<sub>2</sub>, levando em casos extremos à morte;

- Os *asbestos* normalmente encontram-se no ar sob a forma de fibras, e quando incide de forma intensiva no quotidiano das pessoas, pode causar irritação na pele, chegando até mesmo a causar cancro dos pulmões. Estas fibras são resistentes às chamas, podendo chegar a causar a morte em casos de exposição excessiva (Tweedale, 2001);
- O aldeído mais presente no meio ambiente, e muito volátil, é o *formaldeído*, sendo passível de ser encontrado nos aglutinantes de painéis de madeira prensada, resinas, adesivos, tapetes e em alguns materiais de construção. A sua inalação ou contato direto pode causar espirros, tosse, irritação da pele e ocular, e no sistema respiratório. Segundo o guia técnico da OMS (2010), pode ainda ter efeitos cancerígenos e com baixas concentrações já tem um efeito notável (com 0,36mg/m<sup>3</sup> durante quatro horas, pode causar irritação sensorial dos olhos, e com concentrações inferiores a 0,1mg/m<sup>3</sup> pode ser perceptível o seu odor);
- A combustão pode originar o NO<sub>2</sub>, sendo uma fonte de poluição em espaços interiores. O NO<sub>2</sub> pode causar irritação nos pulmões, podendo, quando em combinação com a água, formar ácido nítrico ou nitroso, levando a infeções pulmonares e danos nas suas funções;
- Compostos que contêm enxofre, como por exemplo o carvão, quando em combustão incompleta, podem originar SO<sub>2</sub>, com odor forte e característico. Embora as concentrações deste gás sejam normalmente baixas, em espaços fechados, a sua exposição contínua ao longo do tempo, pode provocar problemas respiratórios crónicos;
- Os *Compostos orgânicos voláteis* têm influência negativa na saúde humana, aparecendo sob a forma vaporizada com o aumento da temperatura. A sua concentração é superior no interior dos edifícios, e pode ter diversas origens, tais como: materiais de construção e/ou de limpeza, o metabolismo humano, pinturas

e decapagens. O *limite máximo aceitável* segundo a EPA e a OMS é de 3 ppm (Erdogan, et al., 2010). Existem diferentes materiais com baixa emissão de COVs, para os diferentes tipos de construções, e é cada vez mais necessário especificar e regulamentar, quais os ideais, para cada tipo de ambiente. Assim, a preocupação no *design* dos materiais, e o critério na sua escolha, deve ter uma especial atenção ecológica, melhorando a qualidade dos edifícios, tendo então uma menor influência negativa na saúde dos seus ocupantes (EPA, 2007). Existem muitos COVs possíveis de encontrar no meio ambiente, e em caso particular, em ambientes *fechados*.

- Estes compostos podem ter origem em tintas, adesivos, materiais de construção, combustões, etc., e quando há variações de temperatura, a sua volatilização varia, podendo aumentar o risco de exposição dos ocupantes dos edifícios.

Analisando o *Dióxido de Carbono* em particular, podemos verificar que é um gás inodoro, inerte, e incolor, não inflamável, resultante da combustão completa ou dos processos metabólicos. No interior dos edifícios, grande parte da sua origem, é de atividade metabólica. A produção de CO<sub>2</sub> estará dependente da estrutura física da pessoa, e da atividade da mesma, se acelerada, produzirá maior quantidade de CO<sub>2</sub> (Persily, 1996).

Em 1996, Myhrvold, et al. verificaram que a concentração de CO<sub>2</sub> nos espaços era um bom indicador da ventilação dos mesmos, havendo uma correlação negativa entre o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> e o tempo de reação das pessoas na execução das tarefas. Não sendo um gás tóxico, serve como indicador da QAI de um espaço restrito, que pode estar sujeito a análise.

Analisando a concentração de CO<sub>2</sub> no espaço o ideal é esta concentração estar na zona de conforto das pessoas, gastando o mínimo de energia possível na ventilação (Wang, and Wang, 2012). Segundo Norback et al. (1990), numa análise a uma publicação de Berglund et al. em 1984, o limite máximo de concentração de CO<sub>2</sub> não deveria ultrapassar os 800 ppm, valores que ao longo dos anos tem vindo a ser maior, tendo também os edifícios melhores condições e equipamentos.

O CO<sub>2</sub> em espaços interiores é maioritariamente de origem humana, pela sua atividade metabólica. É um indicador da densidade de ocupação do espaço e da atividade

metabólica existente, relacionando com a nível de ventilação exterior. Em espaços interiores os níveis de CO<sub>2</sub> podem variar de 350-2500ppm. Em Portugal o limite máximo admissível é de 1250ppm (Diário da República, 2013). Por outro lado segundo a OMS e a EPA, quando se excede os 1000ppm já se deve ter em atenção a ventilação, que não será satisfatória (Erdogan, et al. 2010). Um exemplo de estudo, que se enquadra com esta pesquisa, foi um estudo efetuado por Wang e Wang (2012) com um modelo preditivo de CO<sub>2</sub>. Este estudo tinha como objetivo ter os níveis de concentração de CO<sub>2</sub> máximo, não excedendo a zona de conforto, procurando obter uma eficiência energética mais elevada.

Posteriormente conclui-se no estudo que havia uma boa ventilação dos espaços, obtendo também uma melhor eficiência energética. É então necessário ponderar, a implementação de sistemas energéticos com melhores desempenhos energéticos, nos novos edifícios e também no edificado.

Em espaços interiores, como já referido, a maior parte das emissões de CO<sub>2</sub> tem origem na expiração humana, sendo que a sua concentração poderá variar entre os 700 ppm e os 2000 ppm, podendo chegar aos 3000 ppm quando existe falta ou má ventilação. Quando se verificam excessivas concentrações de CO<sub>2</sub>, pode-se observar algum desconforto dos ocupantes do espaço (Jones, 1999)

Muitos poluentes têm as suas concentrações dependentes das fontes exteriores, assim como os fatores do interior do espaço. Podem ter maior tempo de dispersão, ou serem mais ou menos reativos, embora tudo esteja também dependente da ventilação do espaço.

Na Tabela 2, é possível observar a evolução de alguns poluentes, desde 1950 a 2005, e a sua tendência (Weschler, 2009).

Tabela 2: Evolução dos poluentes e a sua tendência entre 1950 e 2005 (Weschler, 2009).

<b>Poluentes</b>	<b>Tendência</b>	<b>Evolução</b>
<i>Gases Inorgânicos</i>		
CO	↓	Menor fumo de tabaco em interiores, concentração exterior mais reduzida, maior ventilação em espaços com combustão
NO <sub>2</sub>	↓	Menor fumo de tabaco em interiores, maior ventilação em espaços com combustão
NO	↓	Menor fumo de tabaco em interiores, maior ventilação em espaços com combustão
SO <sub>2</sub>	↓	Menor concentração exterior
Radão	↓	Aumentaram as medidas de consciencialização e de mitigação
<i>COVs (muito voláteis)</i>		
Formaldeído	↓	Redução na combustão em ambiente interior e menor emissão nos materiais com grande quantidade do composto
Isopreno	-	Não há grandes alterações nas emissões
<i>COVs (aromáticos)</i>		
Benzeno	↓↓	É usado apenas como solvente: diminuiu muito as suas emissões, fruto de políticas de controlo
Tolueno	↓	Menor emissão no exterior e foi reduzido o seu uso como solvente aromático
Etilbenzeno	↓	Menor emissão no exterior e foi reduzido o seu uso como solvente aromático
Abestos	↓	Uso controlado dos materiais que contêm este tipo de fibras
Alergénicos	↑?	Maior humidade nos edifícios, mais animais e menos limpezas
Bolores/fungos	↑?	Maior humidade nos edifícios, restrições nos produtos para combater os fungos e bolores
Partículas suspensas transportadas	↓	Menor fumo de tabaco em interiores, menores concentração exteriores

Pode-se observar uma melhoria significativa em grande parte dos poluentes, com exceção aos alergénicos e a fontes de microrganismos, devendo-se principalmente à falta de manutenção e cuidados de higiene e limpeza dos sistemas AVAC por exemplo.

### *2.3. Qualidade do ar e Saúde Humana*

Ao longo dos anos, com os estudos efetuados, pode-se concluir que a poluição do ar exterior contribui para o aumento da taxa de mortalidade, quer a curto, quer a longo prazo. Com vários casos analisados, pode-se detetar sintomas respiratórios, redução da função pulmonar ou bronquite crónica, que contribuem consideravelmente para o aumento da mortalidade (Kunzli et al., 2000). É facilmente perceptível o resultado negativo da poluição atmosférica, sendo que os poluentes podem causar desde efeitos secundários, tais como irritações nos olhos ou garganta, até mesmo a morte (Cohen, et al., 2004). Os ambientes urbanos são propícios a uma excessiva poluição atmosférica, sendo que grande parte dessa poluição é originada pela combustão de combustíveis fósseis (cerca de 50% da poluição), resultando numa grande quantidade matéria particulada na atmosfera. Esta matéria particulada pode também ter origem nos processos industriais, ou no transporte advetivo. Por outro lado, em ambiente mais rural, a queima de biomassa, e a manufatura, são os processos que mais poluição originam (Ostro, 2004).

Segundo Sundell (2004), a QAE ganha relevância face à QAI, havendo um aumento da preocupação com a QAE e a sustentabilidade das construções. Contudo, é necessário realçar que nas regiões em desenvolvimento, 2 milhões de mortes/ano se devem à queima de biomassa em espaços interiores, assim como à prática de cozinhar com recurso à biomassa. Já nos países desenvolvidos, alergias, irritações e infeções são originadas pela baixa QAI. As regiões onde existe maior densidade de industrial, por norma têm ambientes interiores mais suscetíveis a contaminações, sendo que a QAE influenciará a QAI. A humidade, a ventilação, os materiais de construção e a existência de poluentes, serão fatores que terão influência da QAI também.

A poluição causada pelo tráfego, associada à atividade rodoviária, é uma conhecida fonte de poluição atmosférica, sendo o NO, CO e as partículas os poluentes mais comuns. Os problemas respiratórios podem ser originados por uma excessiva exposição à poluição,

sendo a asma uma doença possível (Friedman, et al., 2001). Um estudo efetuado em 2000, com a intervenção da Organização Mundial de Saúde (OMS), feito à poluição atmosférica em catorze regiões no Mundo, analisando em particular, a matéria particulada existe no ar, avaliando só os casos mortais, concluiu que 3% das doenças mortais cardiopulmonares nos adultos, cerca de 5% do cancro da traqueia, brônquios e pulmão, e por volta de 1% das mortes por infeções agudas respiratórias em crianças, se devem à poluição atmosférica a que a população está sujeita (Cohen, et al., 2004; Ostro, 2004).

O aumento do risco de saúde também é relacionado com a exposição da população e da sua localização, sendo que, por norma, locais fortemente povoados, tendem a ter mais tráfego, o que origina mais poluição (Kunzli, et al. 2000).

Há muito anos que é reconhecida a importância da QAI, bem como a necessidade de que haja uma ventilação adequada, e uma baixa concentração de CO<sub>2</sub>, este que é um gás indicador de excesso de carga poluente. É de consenso científico, que cerca de 90% do tempo de vida útil das pessoas nos países mais desenvolvidos, é passado dentro de espaços fechados (Salthammer, 2010).

Assim sendo, grande parte da vida das pessoas passada em espaços interiores, é essencial assegurar o conforto das pessoas (que é influenciado principalmente pela Temperatura, luminosidade e QAI), melhorando, no caso dos trabalhadores, o seu desempenho. Com melhorias a nível da ventilação, e também necessário assegurar o gasto racional de energia, compensando um possível aumento na ventilação (Wang, and Wang, 2012). A elevada concentração de alguns poluentes em espaços interiores, é superior à concentração no exterior, e com o número elevado de horas diárias que as pessoas passam em locais fechados, é preciso tomar medidas face ao conforto das pessoas, e à ventilação dos espaços. Porém, o volume de ar, a taxa de formação ou libertação do poluente e a ventilação, determinarão a sua intensidade e tempo de remoção (Jones, 1999).

A saúde humana, no que diz respeito à poluição atmosférica, é influenciada pela poluição interior e exterior, tendo mais influência a poluição interior em países mais desenvolvidos, uma vez que, tal como referido, 90% do tempo diário é gasto em espaços fechados, sendo estes afetados por poluentes químicos e/ou biológicos. Para isso a ventilação será uma grande ajuda na diluição ambiente dos poluentes. Os poluentes existentes no espaço interior estão dependentes da concentração de poluentes no exterior, do nível de ventilação e das emissões poluentes interiores (ECA, 2003).

Os edifícios que tenham excesso de poluentes, ou condições desfavoráveis de ventilação, são considerados edifícios com o “Síndrome do edifício doente”. A temperatura interior e a idade do edifício podem condicionar a QAI, porém esta também dependerá de fatores como a concentração do formaldeído, CO<sub>2</sub> ou CO por exemplo (Norback, et al., 1990). Existem diferentes poluentes, químicos ou não, que podem influenciar a QAI, tais como alguns contaminantes microbiais, a concentração de diferentes gases, sendo o CO<sub>2</sub> um forte indicador, e algumas partículas existentes no ar (Wang, and Wang, 2012). Uma ventilação pouco eficaz traduzirá no Síndrome do edifício doente, e prejudicará a saúde das pessoas, assim como a nível de trabalho, influenciará a produção e execução de tarefas (Jones, 1999). Os edifícios “doentes”, que não têm uma QAI ideal, podem aumentar o *stress* no trabalho, assim como o conforto dos ocupantes. Sintomas da falta de QAI são por exemplo irritações na pele e/ou olhos e/ou garganta, assim como dores de cabeça e náuseas (Norback, et al., 1990).

Contudo, a poluição exterior deriva em grande parte do tráfego e da indústria, e sendo este ar afetado, contribuirá para a má qualidade do ar, que entrará em espaços fechados pela ventilação, pertos dos locais de maior fonte de poluição exterior.

Com a evolução das civilizações, os aspetos ambientais a serem cada vez mais foco de atenção e a saúde humana sempre um aspeto a ser considerado com uma atenção redobrada, têm vindo a ser tomadas medidas para melhorar a QAE, a QAI e o conforto das pessoas e o seu bem-estar. A sustentabilidade das cidades leva a melhorias da saúde humana, diminui os consumos energéticos, economizando dinheiro, energia e minimizando a poluição (ECA, 2003).

Os materiais de construção dos edifícios podem influenciar a qualidade do ar interior, tendo como consequência a afetação da saúde humana. Os projetos atuais procuram introduzir nas construções materiais menos poluentes, com menor libertação de COVs (EPA, 2007). Os poluentes emitidos pelos materiais de construção, produtos do mobiliário e de limpeza, contribuem para a degradação da qualidade do ar, afetando negativamente a saúde dos ocupantes, e em caso de trabalho, o desempenho dos mesmos (Wargocki, et al., 1999). Através da melhoria do *design* interior de edifícios, estabelecendo um critério Europeu comum, definido pelo CEN CR 1752 (1998), começaram as construções com menos materiais poluentes, diminuindo a carga poluente no ar interior.

Os sistemas AVAC poderão solucionar alguns dos problemas de QAI dos espaços, contudo, terão um gasto de energia que tem que ser o menor possível, e extrairão ar com carga poluente para o exterior, afetando a QAE perto das zonas de extração. Ainda há a agravante da má manutenção dos aparelhos, que os pode tornar um problema de poluição para os edifícios (ECA, 2003).

Aumentar as taxas de ventilação acima dos níveis mínimos regulamentados, pode aumentar a produtividade, sendo necessário uma boa recuperação de energia, para minimizar consumo de energia originado pelo aumento da ventilação. Contudo, os sistemas AVAC têm que ter uma boa manutenção, para não reter humidade e possíveis fungos e bactérias, tornando-se então mais um ponto que afetará a saúde humana. Cumprindo-se as normas de uso dos sistemas AVAC, e obtendo uma boa ventilação, a qualidade do ar interior é melhorada, assim como os trabalhadores têm melhores capacidades psicológicas para trabalhar, e menos preocupações com a saúde, uma vez que as fontes de poluição (odores humanos, fumo de tabaco, materiais de construção) serão rapidamente dispersas/extraídas (Wargocki, et al., 2000).

São cada vez mais feitos esforços, para tornar compatível a diminuição do gasto energético e a melhoria e eficácia de ventilação. É necessário o conforto em cada espaço fechado, para isso procura-se a construção de edifícios sustentáveis, os quais têm que estar em sintonia em termos de temperatura, a acústica (ruídos intensos ou contínuos) e aspetos visuais (intensidade luminosa, dispersão das cores por exemplo) (ECA, 2003).

Quanto melhor for a eficiência energética dos edifícios, e menor for a poluição externa, melhor será o ambiente no interior e exterior dos espaços, levando a um espaço sustentável e “amigo do ambiente”, em linha com a definição de Stanners, and Bourdeau, (1995) *“Cidades sustentáveis são aquelas cidades que fornecem um ambiente habitável e saudável para os seus habitantes e satisfazem as suas necessidades sem comprometer a capacidade dos sistemas ambientais locais, regionais e globais para satisfazer as necessidades das gerações futuras”*.

De modo a melhorar a QAI, que pode ser influenciada pelos materiais de construção, em casos de estudo nos EUA observa-se a preocupação de certificar alguns materiais (adesivos, material de acabamento, revestimento, e tintas por exemplo) com o LEED (Leadership in Energy & Environmental Design, é um programa de certificação de construções eco-eficientes, tendo em conta boas praticas e estratégias face ao ambiente

(US Green Building Council, 2014), diminuindo então os COVs, assim como eliminar compostos químicos nocivos, dos produtos que possam ser usados em construção (EPA, 2007).

#### *2.4. Resposta legislativa ao problema da QAI*

No capítulo introdutório desta dissertação, no ponto 1.1 é feita uma abordagem histórica da evolução legislativa face à Qualidade do ar, quer exterior, quer interior. Focando a atenção na QAI, e na legislação mais atual, podemos observar algumas respostas legislativas para colmatar o excesso de poluição interior.

Em 2010 foi aprovada a Diretiva n.º 2010/31/UE, relativa ao Desempenho Energético dos Edifícios, reformulando a Diretiva n.º 2002/91/CE, tendo em conta as condições climáticas externas e as condições locais, nunca esquecendo a rentabilização dos processos. Posteriormente a Diretiva n.º 2010/31/EU foi transposta para o direito interno pelo Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, que aprova o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços. Este Decreto foi regulamentado por diversas Portarias, entre as quais a Portaria 353-A/2013, que define atualmente os valores mínimos de caudal de ar novo por espaço, bem como os limiares de proteção e as condições de referência para os poluentes do ar interior dos edifícios de comércio e serviços novos, sujeitos a grande intervenção, bem com os existentes e a respetiva metodologia de avaliação.

A portaria 353-A/2013 é o grande instrumento legislativo de apoio, para a verificação os limites legais das concentrações de CO<sub>2</sub> encontradas nos diferentes espaços de estudo.

A implementação da Portaria 353-A/2013, referente ao DL n.º 118/2013 tem como dois objetivos, o estabelecimento dos valores mínimos de caudal de ar novo por espaço, assim como os valores-limite dos poluentes do ar interior. O caudal de ar novo pode ser calculado pelo método analítico e pelo método prescritivo. No *Anexo I*, na alínea *a)* e *b)*, encontra-se em detalhe o cálculo individual de cada método, segundo a legislação. Como referido anteriormente, o CO<sub>2</sub> serve como indicador da QAI, sendo estipulado, nesta

Portaria, o limiar de proteção da concentração de CO<sub>2</sub> de 1250 ppm, o equivalente a 2250 mg.m<sup>-3</sup>.

### *2.5. Objeto de investigação*

Na bibliografia pesquisada, não foi possível encontrar qualquer estudo com objetivos semelhantes aos propostos nesta dissertação (ver ponto 1.4). No entanto, foram encontrados trabalhos efetuados sobre a QAI em unidades de saúde, em particular hospitais.

No que diz respeito a estudos e análises em hospitais, o maior alvo de preocupação são as salas do bloco operatório, como seria de esperar, uma vez que têm que ter condições e materiais estéreis, tendo também uma atenção redobrada nos aparelhos de renovação e tratamento do ar. Por outro lado, o ar interior destes locais, também terá contaminantes inexistentes noutros locais, tais como gases libertados com as anestésias e produtos de esterilização e desinfeção, ou até mesmo partículas e vapores libertados pelos pacientes. A inalação destes gases pode causar irritações, dores de cabeça e náuseas, sendo a longo prazo, possíveis causadores de doenças crónicas (bronquites, laringites, por exemplo). Para isso existem os sistemas de tratamento dos gases de anestesia, que fazem a exaustão dos gases para o exterior ou para um local com descarga segura. Um aspeto importante na qualidade do ar em salas de operações e cirurgias é a possível existência de partículas, uma vez que podem conter microrganismos de rápida expansão, e proliferar-se rapidamente, causando infeções e até mesmo doenças nos pacientes. O limite de unidades formadoras de colónias é <10 UFC.m<sup>-3</sup>. Entre as operações, as salas devem ser devidamente ventiladas e esterilizadas, assim como os materiais de operação e as roupas usadas devem ser trocadas e desinfetadas, sendo então diminuído o risco de infeções. Porém é também necessário uma manutenção adequada nos aparelhos AVAC, assim como nos aparelhos destinados ao tratamento dos gases específicos dos blocos operatórios. É necessário ter em atenção os COVs que possam estar presentes no ar interior, oriundos de anestésias e produtos desinfetantes, que possam afetar negativamente a QAI (Dascalaki, et al., 2007).

No que diz respeito a microrganismos, a sua prevenção deve ser assegurada, de forma a impedir a sua proliferação, e conseqüente impacte na saúde humana. Um exemplo de estudo, que mostra o risco a que os pacientes, visitantes e trabalhadores estão expostos, é um estudo efetuado no Irão, chegando-se a verificar concentrações desde os 20 aos 220 UFC.m<sup>-3</sup> aproximadamente. A média em todo hospital foi de 55 UFC.m<sup>-3</sup>, o que ultrapassa bastante o limite máximo descrito anteriormente (<10 UFC.m<sup>-3</sup>) (Azimi et al., 2013).

Num caso de estudo na Turquia, em que foram analisadas as concentrações de CO, CO<sub>2</sub> e COVs, no Hospital da Faculdade de Medicina de Istambul, constatou-se que apenas os limites de CO<sub>2</sub> (Tabela 3), não eram cumpridos. O limite máximo seria de 1000ppm, que embora em Portugal seja ligeiramente superior (1250ppm segundo a Portaria 353-A/2013), a concentração de CO<sub>2</sub> permitida foi muito ultrapassada. (Erdogan, et al., 2010).

Tabela 3: Níveis de CO, CO<sub>2</sub> e COVs medidos no laboratório Central e nas clínicas da Faculdade de Medicina de Istambul (Erdogan, et al., 2010).

Sampling sites	COVTs (ppm)			CO (ppm)			CO <sub>2</sub> (ppm)			Humidade (%)	Temperatura (°C)
	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.		
Sala de espera do laboratório central	1,97	1,79	2,17	3,25	2,81	3,84	3069	2894	3221	59.3	24,1
Sala com um trabalhador	0,45	0,38	0,57	0,85	0,75	0,97	1355	1324	1386	58.5	23,5
Sala com dois trabalhadores	0,24	0,14	0,39	0,39	0,3	0,48	1158	1106	1215	58.5	22,9
Sala com quatro trabalhadores	0,18	0,11	0,25	0,62	0,48	0,75	1363	1304	1417	61.5	23,7
Sala de espera de várias clínicas	1,72	1,55	1,92	0,98	0,77	1,18	2061	1989	2124	56.7	21,1
Geriatria <50 pacientes	0,39	0,32	0,48	0,67	0,55	0,8	1203	1124	1274	58.2	24,1
Nefrologia 51-500 pacientes	0,65	0,52	0,75	0,99	0,86	1,12	1362	1296	1458	56.5	23,3
Cardiologia >500 pacientes	1,09	0,94	1,24	1,95	1,72	2,16	3016	2910	3128	60.4	24,3

Nos Estados Unidos da América, na cidade de Oklahoma, a empresa Governair desenvolveu um projeto de melhoramento da QAI, usando um hospital como caso de estudo e experimentação. A empresa procurou implementar uma nova forma de tratar e renovar o ar, usando como método, um sistema de recuperação do ar interior, e introduzindo no edifício Ar novo 100% do exterior. O sistema aproveita a energia do ar interior já existente, para o tratamento do ar novo exterior, que é introduzido por um pistão de fluxo de ar e motores de ventilação. Não só melhora a QAI, diminuindo a sua humidade também, como são estimadas reduções a nível energético (tratamento de ar, manutenção e insuflação de ar) de cerca de 160.000€ por ano (Governair, 2013).

### *2.6. Síntese conclusiva*

A evolução da QAI ao longo dos anos teve sempre em conta os poluentes mais perigosos, como os gases inorgânicos e os COVs. As fontes de emissão dos poluentes podem ser externas aos espaços, assim como podem ser produzidas no interior dos mesmos. Sendo que grande parte do tempo diário das pessoas é vivido em espaços fechados, a preocupação é proporcionar a melhor qualidade de ar em locais fechados. Sabendo que o CO<sub>2</sub> serve como indicador da qualidade do ar, e tendo como objeto de estudo um Hospital, a QAI necessita de cumprir de forma rigorosa a legislação vigente, tendo-se efetuado medições da concentração de CO<sub>2</sub> nos espaços de estudo.

### **3. Caso de Estudo: A qualidade do ar interior no Hospital – Escola Fernando Pessoa**

Com a construção do Hospital – Escola Fernando Pessoa (he+), e o seu crescente número de ocupantes (alunos, funcionários, pacientes e visitantes), torna-se necessário avaliar a QAI. É necessário verificar até que ponto a QAI poderá influenciar a saúde dos seus ocupantes, e se os níveis de poluição cumprem os requisitos legais. Para isso é importante fazer uma avaliação local, de forma a constatar se os valores legais são ou não cumpridos. Por outro lado, dada a possibilidade de acesso a toda a informação necessária, bem como ao controlo das unidades de tratamento de ar, este é também um espaço interessante para verificar e confirmar/testar o desempenho do modelo disponibilizado pelo LNEC como apoio à legislação aplicável, nomeadamente se os valores de caudal de ar novo e os níveis de CO<sub>2</sub> simulados, em determinadas circunstâncias, são efetivamente observados na realidade.

#### *3.1. Descrição do local de estudo*

O caso de estudo foi efetuado no Hospital – Escola Fernando Pessoa (he+). Como referido anteriormente, o he+ está localizado em Gondomar, na Avenida Fernando Pessoa, GPS: 41.14313,-8.544427. Trata-se de uma unidade de saúde polivalente, com cerca de 35 000 m<sup>2</sup>, distribuídos por 7 pisos, dois dos quais subterrâneos, orientados para apoio logístico e garagens. Nos pisos superiores destacam-se três salas cirúrgicas, três unidades de recobro, uma unidade de cuidados intensivos, uma área de internamento médico e cirúrgico, gabinetes médicos e de diagnóstico, urgências, laboratórios, salas de espera, ginásio e sala de fisioterapia, refeitórios, jardim infantil e espaços comuns (Figura 3).



Figura 3: Vista do Hospital-Escola Fernando Pessoa, ao lado da IC29

Por razões associadas, em particular à representatividade e ao nível de ocupação, os locais de análise dentro do Hospital-Escola foram o Ginásio de Fisioterapia, a Sala pedagógica e o Quarto duplo 413. Na Figura 4 podemos ver a localização dos diferentes espaços de estudo, dentro do *he+*.

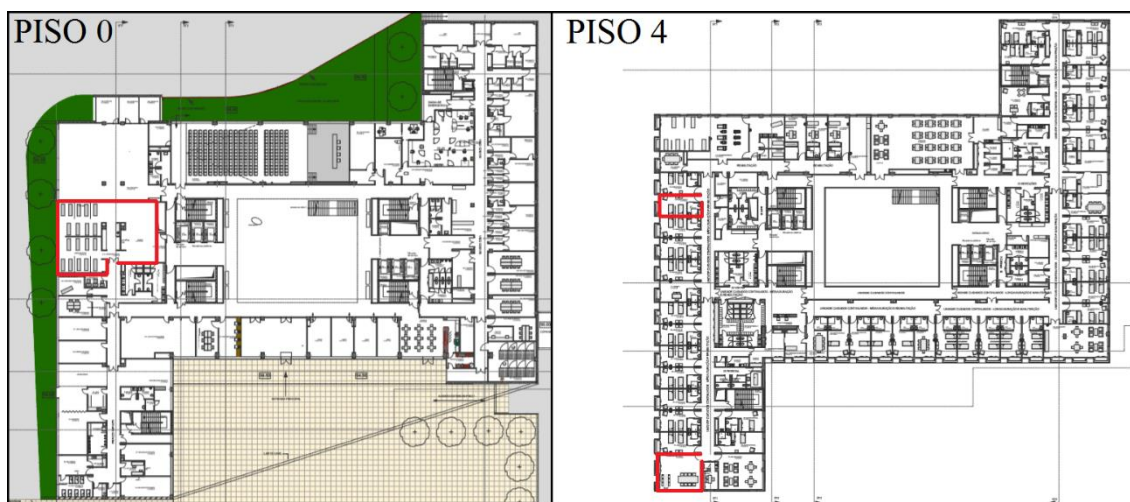


Figura 4: Localização dos espaços em estudo – perímetros a vermelho (Piso 0, o Ginásio de fisioterapia; Piso 4 o Quarto duplo e a Sala pedagógica (canto inferior esquerdo)).

### 3.2. Metodologia da investigação

Como referido, no estudo de campo efetuado no *he+* foram estudados três espaços com características e funcionalidades diversas, a saber, o Ginásio de Fisioterapia, a Sala pedagógica e um quarto de internamento (Quarto duplo 413). Nestes espaços, foram observados os caudais de insuflação e de extração de ar, os níveis de CO<sub>2</sub>, a temperatura e a humidade. No *he+* existe diferentes Unidades de Tratamento de Ar Novo (UTAN), sendo que cada uma fornece ar novo para diferentes zonas do Hospital. No caso presente, o Ginásio de fisioterapia é servido pela UTAN 6.3. O Quarto 413 e a Sala pedagógica são servidos pela UTAN 6.1.

Tendo em conta as perguntas formuladas nos objetivos desta dissertação (ponto 1.4), seguiram-se os seguintes passos no desenvolvimento do trabalho de campo:

- (i) Quantificação dos níveis de ventilação (caudais de insuflação e extração) atuais;
- (ii) Quantificação dos níveis de CO<sub>2</sub> associados, bem como de temperatura e humidade;
- (iii) Variação dos caudais de insuflação e extração para níveis pré-determinados (cumprimento dos requisitos legais de acordo com o modelo de simulação do LNEC)
- (iv) Quantificação dos níveis de CO<sub>2</sub> associados à nova situação, bem como de temperatura e humidade.

Ainda durante o trabalho de campo, houve o cuidado de registar a ocupação nos diferentes espaços ao longo do tempo de amostragem, bem como outros aspetos particulares como a entrada ou saída de elementos e se as portas e/ou janelas estavam abertas ou fechadas.

### 3.2.1. Locais de amostragem

#### i) *Ginásio de Fisioterapia*

O Ginásio de Fisioterapia, que se encontra no Piso 0 tem uma capacidade máxima de 22 pessoas, e uma área de 147 m<sup>2</sup>. Tem apenas um porta de entrada (com a frequência de movimentação do staff e pacientes, está muitas vezes aberta), e não tem janelas, porém, uma das paredes é envidraçada, e em dias de maior calor, as persianas são fechadas, para evitar o sobreaquecimento do espaço. O espaço tem 18 camas, 4 máquinas de exercícios, e ainda alguns acessórios para exercícios mais específicos e funcionais. Como referido, este espaço é servido pela Unidade de Tratamento de Ar Novo (UTAN) 6.3.



Figura 5: Um dos sensores no ginásio de fisioterapia.

#### ii) *Quarto duplo 413*

O Quarto duplo, que se encontra no Piso 4 tem uma capacidade máxima de 3 pessoas e uma área de 20,50 m<sup>2</sup>. Tem apenas uma porta de entrada, tem uma casa de banho, e possui uma janela que pode ser aberta. Tem duas camas e pode ter um enfermeiro ou visitas, podendo então ter três ocupantes. A Unidade de Tratamento de Ar Novo (UTA) é a 6.1 do Hospital-Escola.



Figura 6: Sensor no centro do Quarto, entre as duas camas

iii) *Sala pedagógica*

Na Sala pedagógica encontra-se no Piso 4, tem uma capacidade máxima de 15 pessoas e uma área de 41,10 m<sup>2</sup>. A porta de entrada encontra-se permanentemente aberta, e possui várias janelas, que apenas em dias de maior calor são abertas. Tem uma grande capacidade de ventilação, sendo um espaço propício a uma boa e constante renovação do ar. A sala tem dois cadeirões e uma mesa de convívio. Alguns dos pacientes, vêm nas suas próprias camas ou cadeiras de rodas. A Unidade de Tratamento de Ar Novo (UTA) é a 6.1 do Hospital-Escola.



Figura 7: Sensor na Sala pedagógica

3.2.2. *Metodologia de amostragem*

No trabalho de campo foi usado um sensor KIMO AMI300 (Figura 8) que mede a concentração de CO<sub>2</sub>, a Temperatura e a Humidade, sendo que nos espaços de maior área, foram usados dois sensores, conforme vem explicado na Tabela 4.



Figura 8: Aparelho KIMO AMI300, com o sensor de CO<sub>2</sub>, Temperatura e Humidade.

Para definir quantos pontos de amostragem se teria que fazer em cada espaço, e a especificidade da localização do sensor, foi consultado o Guia Técnico da APA (2009).

No Guia Técnico da APA é dada a seguinte fórmula para o cálculo do número de pontos de amostragem no local, que são necessárias fazer:

$$N_i = 0,15\sqrt{A_i}$$

$N_i$  – Número de pontos de amostragens

$A_i$  – Área do local

Assim sendo, seguindo a fórmula anterior, e analisando a Tabela 4, verificamos que a zona de maior área, o ginásio, precisa de dois pontos de amostragem, e a sala de pedagógica, e o quarto, precisam apenas de um ponto de amostragem.

Tabela 4: Cálculo para definir quantos pontos de amostragem se deve fazer.

Local	A (m <sup>2</sup> )	N <sub>i</sub>	N <sub>i</sub> ≈
Ginásio	185	2,04	2
Quarto 413	21,4	0,69	1
Sala Pedagógica	41,1	0,96	1

Definidos quantos pontos de amostragem são precisos fazer, é necessário definir onde serão colocados os sensores. Servindo de apoio para situações específicas, o Guia técnico também dá a informação sobre a altura a que deve estar o sensor, e os pontos onde deve ou não ser colocado o mesmo. Na Figura 9 é possível observar a localização dos pontos de amostragem, bem como o detalhe do espaço em termos de arquitetura, incluindo os pontos de insuflação e extração de ar.

Nos diferentes locais de amostragem os sensores foram colocados de acordo com as normas (ponto 3.2.2).

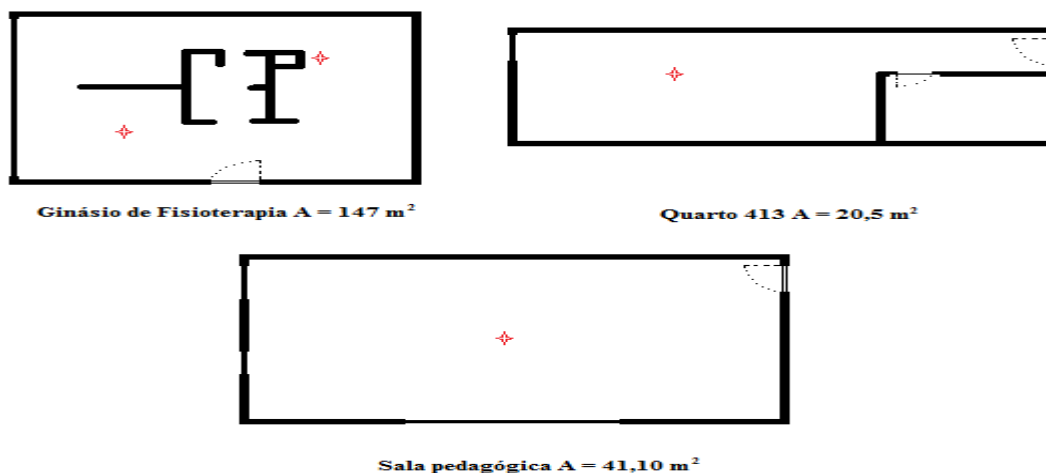


Figura 9: Localização dos sensores nos diferentes espaços em análise.

As amostragens devem ser no mínimo de 8h, e os pontos deverão estar no centro do espaço. Os sensores devem estar no mínimo a 0,50cm dos cantos, e paredes divisórias, assim como de possíveis fontes diretas (fotocopiadoras por exemplo, o que não é o caso).

No caso concreto do presente estudo, no Ginásio, local onde foi usado mais que um ponto de observação, optou-se por colocar um sensor no centro, e outro na parte de maior risco de elevadas concentrações de CO<sub>2</sub>. As medições foram contínuas durante 8h, e foram retirados valores de 15min em 15min a cada hora, fazendo um média horária e diária.

Relativamente aos caudais de insuflação e extração foi usado um caudalímetro também KIMO AMI300 (Figura 10). Os caudais foram medidos antes dos períodos de amostragem e garantiu-se que a UTAN que servia o espaço se mantinha com um caudal constante durante a amostragem.



Figura 10: Diferentes adaptadores de medição do aparelho AMI300 da KIMO (o adaptador com ventoinha, mede o caudal) (Direct Industry, s.d.).

Os valores obtidos foram introduzidos num Modelo Excel do LNEC, que está descrito no *Anexo I*, dando o valor do caudal e da evolução da concentração de CO<sub>2</sub> nos espaços.

### *3.3. Síntese conclusiva*

No estudo, efetuado nesta dissertação, foram analisados três espaços diferentes (o Ginásio de fisioterapia, o Quarto 413 e a Sala pedagógica). Foi estudado cada espaço individualmente, procurando saber a área, ocupação, e caudal insuflado em cada um. Posteriormente foram medidas a temperatura, humidade e concentração de servindo esta concentração como indicador do bom nível de ventilação para garantia de qualidade do ar nos espaços. Com a legislação vigente, foi efetuada uma comparação face aos valores observados, verificando o cumprimento ou não da legislação. Foi usado o aparelho AMI 300 da KIMO, para medir as condições internas dos espaços, e para complementar o estudo, usou-se como instrumento de apoio o modelo do LNEC, que prevê caudais e concentrações de CO<sub>2</sub>, para cada espaço, segundo dados específicos de cada espaço. Foram ainda efetuadas comparações entre os resultados observados e previstos pelo modelo do LNEC.

#### 4. Apresentação e análise de resultados

##### 4.1. Apresentação de resultados

Com a análise dos espaços em estudo, pretendia-se verificar a situação atual da ventilação e, em específico, os níveis de CO<sub>2</sub> do *he+*, estabelecendo uma relação com os valores-limite impostos pela legislação, e o seu cumprimento, ou não, face à legislação em vigor. Para cada espaço (Ginásio de fisioterapia, Quarto 413 e Sala pedagógica) foram observados os requisitos previstos em projeto (caudal, área e ocupação), e foram medidos os requisitos reais do *he+* (Tabela 5). Com os dados reais, foi efetuada uma comparação do caudal real com o caudal de ar novo previsto pelo modelo LNEC, e verificou-se o seu cumprimento face à Portaria 353-A (legislação atualmente em vigor). Na Tabela 6, pode-se verificar os resultados médios que se verificaram nas análises, fazendo medidas com caudais atuais e condicionados (caudais alterados em função dos objetivos em análise). A medição com caudal condicionado apenas se fez nos espaços em que o caudal sugerido pelo modelo LNEC era inferior ao caudal medido na realidade (apenas se condicionou o caudal de ar novo no Quarto 413).

Tabela 5: Dados de projeto vs dados reais.

	Ginásio de fisioterapia			Quarto 413			Sala pedagógica		
Área (m <sup>2</sup> )	147			20,50			41,10		
	<i>Projeto</i>	<i>Atual</i>	<i>Modelo</i>	<i>Projeto</i>	<i>Atual</i>	<i>Modelo</i>	<i>Projeto</i>	<i>Atual</i>	<i>Modelo</i>
Caudal (m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	2800	150 + 10*	534	200	73	41	700	80	334
CO <sub>2</sub> máximo (ppm)	–	954	1506	–	612	1639	–	534	1487

\*10 motores de recirculação de ar

Com o condicionamento do caudal do Quarto 413, de 73 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> para 45 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> (aproximação dos 41 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> sugeridos pelo modelo LNEC) obteve-se uma concentração média de CO<sub>2</sub> de 490,7 ppm.

Tabela 6: Média dos resultados da concentração de CO<sub>2</sub>, humidade e temperatura nos diferentes espaços em estudo (Ver em detalhe Anexo II, III e IV).

	Ocupação (%)		[CO <sub>2</sub> ] média (ppm)		Humidade (%)		Temperatura (C°)	
	Atual	Condicionado	Atual	Condicionado	Atual	Condicionado	Atual	Condicionado
Ginásio	46,4	—	629,3	—	65,5	—	23,4	—
Sala pedagógica	38,5	—	461,6	—	66,2	—	24,6	—
Quarto 413 (diurno)	42,7	44,4	449,8	490,7	63,2	64,1	22,4	23,4
Quarto 413 (noturno)	47,6	47,6	525,8	588	64,67	64,95	23,7	24

## 4.2. Análise e discussão de resultados

### 4.2.1 Ginásio de Fisioterapia

O ginásio de fisioterapia é um dos espaços mais movimentados no Hospital – Escola Fernando Pessoa, tendo uma média de dois a três fisioterapeutas permanentes, mais um ou dois assistentes. O número máximo de ocupantes é de 22 pessoas. Grande parte dos pacientes deste espaço não têm uma atividade metabólica muito elevada como seria de esperar. Muitos exercícios são apenas funcionais, procurando a reabilitação dos doentes, portanto apenas uma pequena percentagem dos ocupantes pessoas têm uma atividade metabólica mais acelerada, usando aparelhos como a passadeira de corrida, ou algumas máquinas de musculação, aumentando então a taxa de emissão de CO<sub>2</sub>. Foram analisadas a concentração de CO<sub>2</sub>, a humidade relativa e a temperatura do espaço. A porta de entrada é sistematicamente aberta com a entrada e saída dos pacientes e acompanhantes, terapeutas e assistentes, sendo uma fonte de ventilação e entrada de ar de transferência. Uma das laterais do ginásio é toda em vidro, sendo que em dias de maior exposição solar, e de maior calor, as persianas são fechadas, de modo a não elevar a temperatura interior. Neste espaço, foi previsto em projeto um caudal de ar novo de 2800 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> e, na realidade, apenas está a ser insuflado um caudal de 150 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> de ar novo. Para além desta insuflação existem ainda mais dez motores de recirculação do ar.

O modelo LNEC foi aplicado seguindo as seguintes opções (Tabela 7). O modelo do LNEC calcula os gráficos e as concentrações de CO<sub>2</sub> em função do método analítico, em detrimento do método prescritivo e da condição de equilíbrio.

O método analítico atende à evolução temporal da taxa de ocupação do espaço, por outro lado o método prescritivo baseia-se numa aproximação correspondente a condições de regime estacionário (condição de equilíbrio). Como o estudo foi efetuado com a movimentação dos pacientes, e trabalhadores, foi escolhido o modelo analítico, retirando os dados fornecidos do modelo LNEC. Este modelo do LNEC, procura avaliar o desempenho dos sistemas de ventilação, regendo-se pela legislação atual (LNEC, 2014).

Tabela 7: Opções escolhidas no modelo LNEC para o Ginásio de Fisioterapia

Espaço	Área (m <sup>2</sup> )	Pé direito (m)	Nº ocupantes	Faixa etária	Tipo de atividade (metabólica)	Limiar de proteção CO <sub>2</sub> (ppm)	Perfil de ocupação	Tipo de espaço	Método de ventilação
Ginásio	183	3,5	22	Até 18 anos e adultos	Moderada	1250	Sala recreio	*	**4.

\* Predominância (superior a 75%) de materiais de baixa emissão poluente

\*\*4. – Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto desde que o jato de ar de insuflação tenha velocidade superior a 0,8 m.s<sup>-1</sup> e alcance até 1,4m do pavimento, ventilação mecânica e híbrida.

Seguindo o modelo do LNEC, para este espaço específico, seriam necessários, através do modelo analítico, 374 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> de ar novo, ao qual corresponderia um nível máximo de CO<sub>2</sub> de 1399ppm (Gráfico 1).

A análise dos níveis reais de CO<sub>2</sub> para uma ocupação máxima de 22 e um caudal de ar m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> ar novo, ficou abaixo do limite legal (ver detalhes no *Anexo II*). Na verdade, a concentração máxima de CO<sub>2</sub> encontrada no ginásio foi de 954ppm para uma ocupação de 82%.

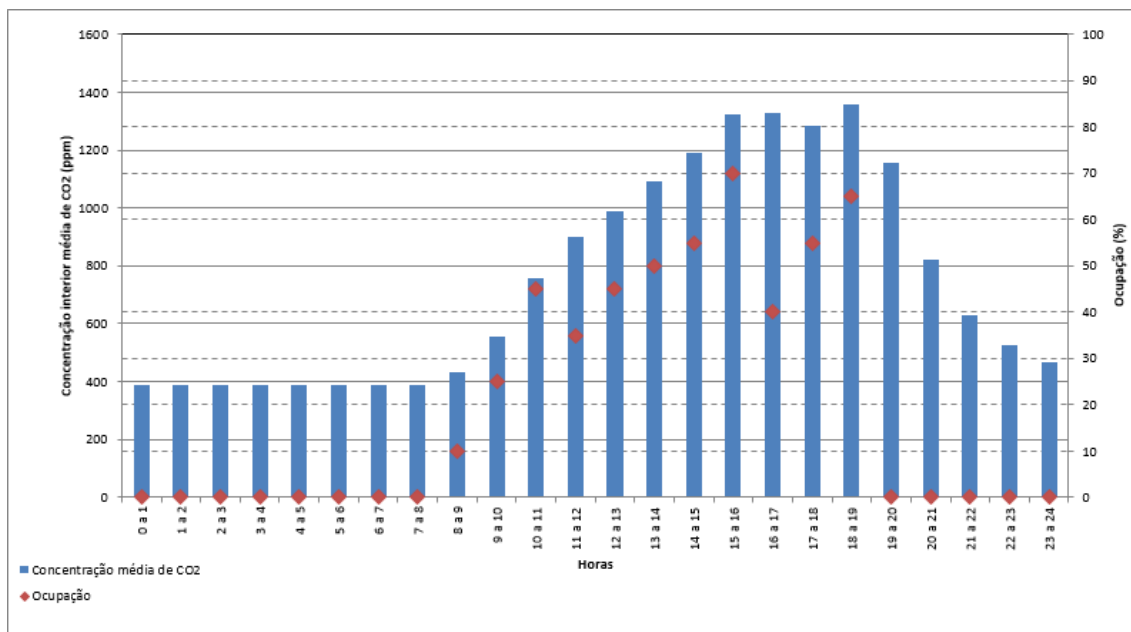


Gráfico 1: Variação diária da Concentração média de CO<sub>2</sub>, em função da ocupação. Valores estimados pelo modelo LNEC.

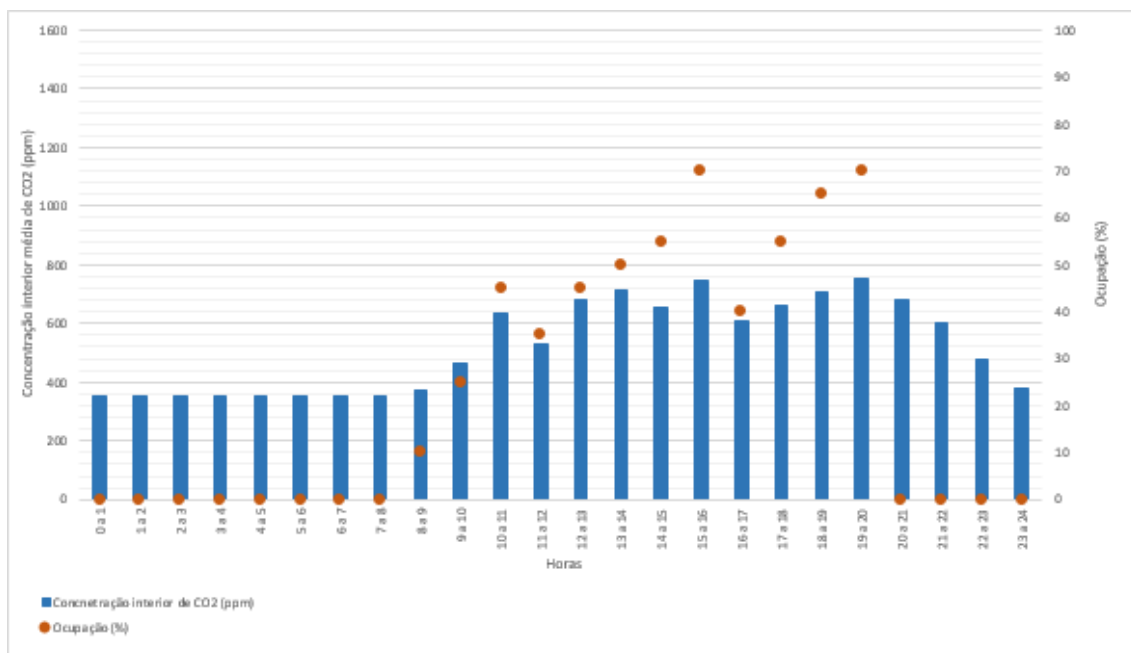


Gráfico 2: Variação diária da Concentração média de CO<sub>2</sub>, em função da ocupação. Valores observados.

Numa análise dos resultados obtidos pelo modelo (Gráfico 1) e as observações reais (Gráfico 2), podemos ver que têm uma evolução semelhante, mas os resultados sugerido pelo modelo do LNEC atingem níveis de concentração de CO<sub>2</sub> muito elevados face aos valores observados. É ainda de enfatizar que, como referido, o modelo sugere um caudal de insuflação de ar novo de 372 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> e, mesmo para este caudal, estima concentrações

máximas de CO<sub>2</sub> muito superiores às observadas (concentração máxima observada de 954 ppm) para um caudal real de ar novo de 150 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>.

#### 4.2.2 Quarto duplo 413

Na análise da qualidade do ar do Quarto duplo, foram tidas em conta as saídas dos quartos por parte dos pacientes, as entradas dos enfermeiros, assim como algumas visitas efetuadas. Estimou-se um número máximo de três ocupantes no quarto, efetuando as medições tendo em conta a rotina diurna dos ocupantes. O quarto duplo é um espaço destinado a pacientes internados, que necessitam de cuidados diários. Grande parte do dia, a porta de entrada do quarto encontra-se aberta, sendo fechada à noite nas horas de sono. Dentro do quarto a extração de ar encontra-se dentro do quarto de banho, sendo que a porta do mesmo foi deixada aberta, para não haver interferência na extração do ar, e circulação do mesmo. Foram feitas medições da concentração de CO<sub>2</sub>, humidade relativa, temperatura, e taxa de ocupação do quarto. Como a grande maioria dos quartos não se encontra com a ventilação ligada na sua potência máxima, foram feitas análises com a ventilação ligada no máximo, o que corresponde a um caudal de 73 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>, inferior ao estimado em projeto que seria de 200 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>. Os parâmetros que seriam de maior preocupação, os níveis de CO<sub>2</sub> e humidade, cumpriam os respetivos parâmetros legais (concentração de CO<sub>2</sub> ≤ 1250 ppm; Humidade deve-se encontrar entre 40% a 70%), cumpriam a legislação.

O modelo LNEC foi aplicado seguindo as seguintes opções (Tabela 8).

Tabela 8: Opções escolhidas no modelo LNEC para o Quarto 413

Espaço	Área (m <sup>2</sup> )	Pé direito (m)	Nº ocupantes	Faixa etária	Tipo de atividade (metabólica)	Limiar de proteção CO <sub>2</sub> (ppm)	Perfil de ocupação	Tipo de espaço	Método de ventilação
Quarto 413	20,5	3	3	Até 18 anos e adultos	Descanso	1250	Quarto	*	**4.

\* Predominância (superior a 75%) de materiais de baixa emissão poluente

\*\*4. – Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto desde que o jato de ar de insuflação tenha velocidade superior a 0,8 m.s<sup>-1</sup> e alcance até 1,4m do pavimento, ventilação mecânica e híbrida.

Aplicando o modelo do LNEC, que define os caudais necessários para uma boa qualidade do ar, para cada espaço específico, era necessário um caudal de ar novo de  $41 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , através do modelo analítico. Foram então posteriormente feitas medições no quarto, nas mesmas condições, mudando o caudal para  $45 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , tentando aproximar ao caudal sugerido pelo LNEC. O caudal de  $45 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  corresponde à ventilação mínima que se pode efetuar no quarto, sendo também a ventilação comum que se encontra ligada nos quartos em geral. Para os dois caudais foram medidas concentrações de  $\text{CO}_2$  que cumprem a lei, sendo no Anexo I descritos os valores da análise ( $\text{CO}_2$  máximo para o caudal de  $73 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  foi de 502 ppm [os primeiros valores obtidos não são relevantes porque a máquina tinha acabado de ser ligada], e o  $\text{CO}_2$  máximo para o caudal de  $45 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  foi de 571 ppm). Em ambas as situações (caudal de  $73 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  e  $45 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ) foram efetuadas as análises com a porta principal aberta, uma vez que representa a realidade do dia dos utentes. Contudo, foram efetuadas também amostras com a porta fechada, representativas das horas de sono, sendo que nestas horas, a ventilação mostrou-se uma vez mais eficaz (ver detalhes no *Anexo III*). Pode-se concluir que o caudal de  $45 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  (o mínimo possível no aparelho) é suficientemente eficaz para a ventilação do espaço, enquadrando-se com o estipulado no modelo. Contudo o modelo do LNEC prevê uma concentração máxima de  $\text{CO}_2$  muito superior ao observado. Na verdade, a concentração de  $\text{CO}_2$  (com a porta fechada) obtida para um caudal de  $73 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  foram 578 ppm e para o caudal de  $45 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  [aproximado ao modelo] = 678 ppm; no caso do modelo LNEC, a concentração máxima de  $\text{CO}_2$  prevista para  $41 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  é de 1424 ppm.

Para a mesma percentagem de ocupação diária, podemos ver a variação da concentração média, estimada pelo modelo LNEC (Gráfico 3), e a que foi obtida pelas medições reais para um caudal de  $45 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , mais aproximado do caudal previsto pelo modelo LNEC,  $41 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  (Gráfico 4).

Embora haja variação na ocupação, a taxa de concentração de  $\text{CO}_2$  mantém-se quase constante, verificando uma boa ventilação e renovação do ar.

O gráfico real foi feito com os resultados obtidos das medições com um caudal de  $45 \text{ m}^3/\text{h}$ , para se aproximar ao do modelo de sugere  $41 \text{ m}^3/\text{h}$ .

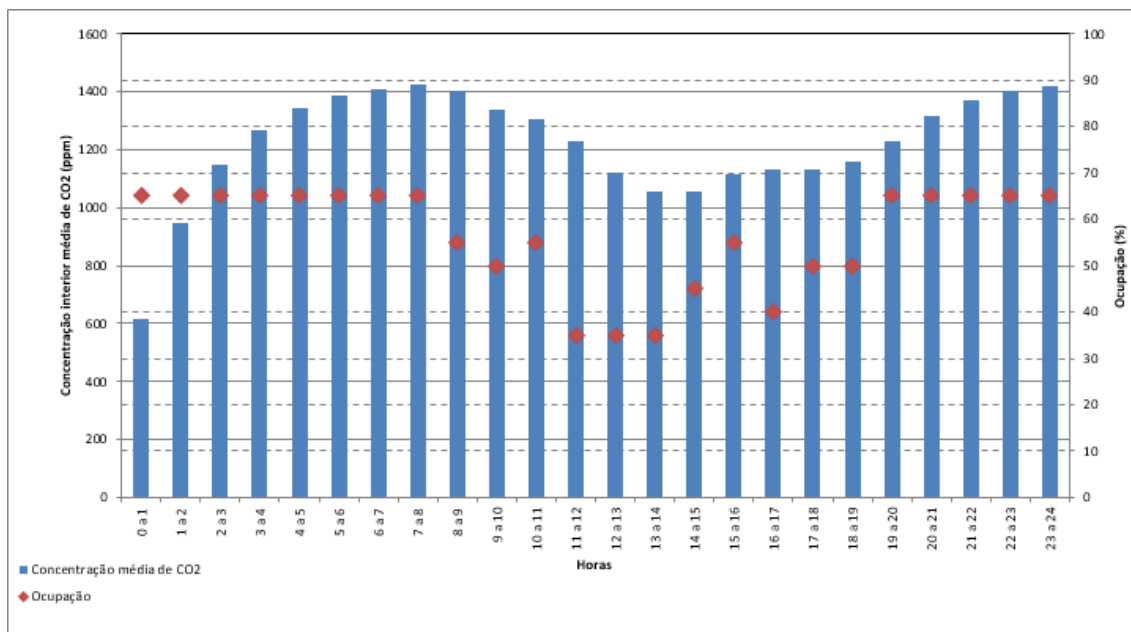


Gráfico 3: Variação diária da Concentração média de CO<sub>2</sub>, em função da ocupação. Valores estimados pelo modelo LNEC.

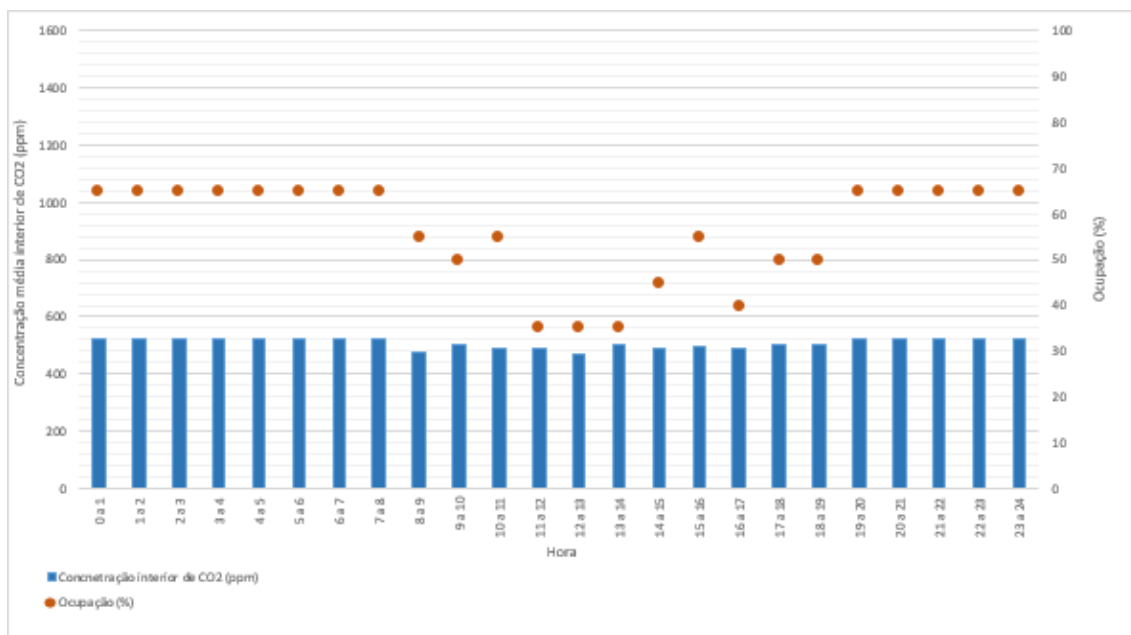


Gráfico 4: Variação diária da Concentração média de CO<sub>2</sub>, em função da ocupação. Valores observados

No caso dos resultados observados (embora haja variação na ocupação), a concentração de CO<sub>2</sub> mantém-se quase constante e abaixo dos requisitos de conformidade legal, o que sugere uma boa ventilação e renovação do ar.

### 4.2.3 Sala pedagógica

A sala pedagógica é um espaço de convívio e lazer dos pacientes internados. A maior parte pertence à 3ª idade, está em repouso, e podem ver televisão, assim como realizar algumas atividades de raciocínio e memória. É uma sala onde alguns pacientes estão em cadeiras de rodas e sofás-camas, não havendo muita atividade física. É estimado um número máximo de quinze ocupantes, em que os pacientes estão regularmente acompanhados e vigiados por enfermeiros, tendo alguns as próprias refeições nesta sala.

Este espaço está permanentemente com ar novo, uma vez que a porta está totalmente aberta o dia todo. Para este espaço o modelo do LNEC, através do método analítico, estima um caudal necessário de  $214 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , sendo atualmente de  $80 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ .

O modelo LNEC foi aplicado seguindo as seguintes opções (Tabela 9).

Tabela 9: Opções escolhidas no modelo LNEC para a Sala pedagógica.

Espaço	Área (m <sup>2</sup> )	Pé direito (m)	Nº ocupantes	Faixa etária	Tipo de atividade (metabólica)	Limiar de proteção CO <sub>2</sub> (ppm)	Perfil de ocupação	Tipo de espaço	Método de ventilação
Sala pedagógica	41,1	3	22	Até 18 anos e adultos	Descanso	1250	Sala recreio	*	**4.

\* Predominância (superior a 75%) de materiais de baixa emissão poluente

\*\*4. – Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto desde que o jato de ar de insuflação tenha velocidade superior a  $0,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  e alcance até 1,4m do pavimento, ventilação mecânica e híbrida.

Tal como no Ginásio de fisioterapia, e como no Quarto duplo, a ventilação existente é suficiente para a renovação do ar (detalhes no *Anexo IV*).

A concentração de CO<sub>2</sub> máxima verificada durante o período em análise foi de 534 ppm, sendo que o modelo apontava para um máximo de 1402 ppm.

Nos Gráfico 5 e Gráfico 6 é possível observar a evolução da concentração de CO<sub>2</sub>, estimados e observados na Sala pedagógica.

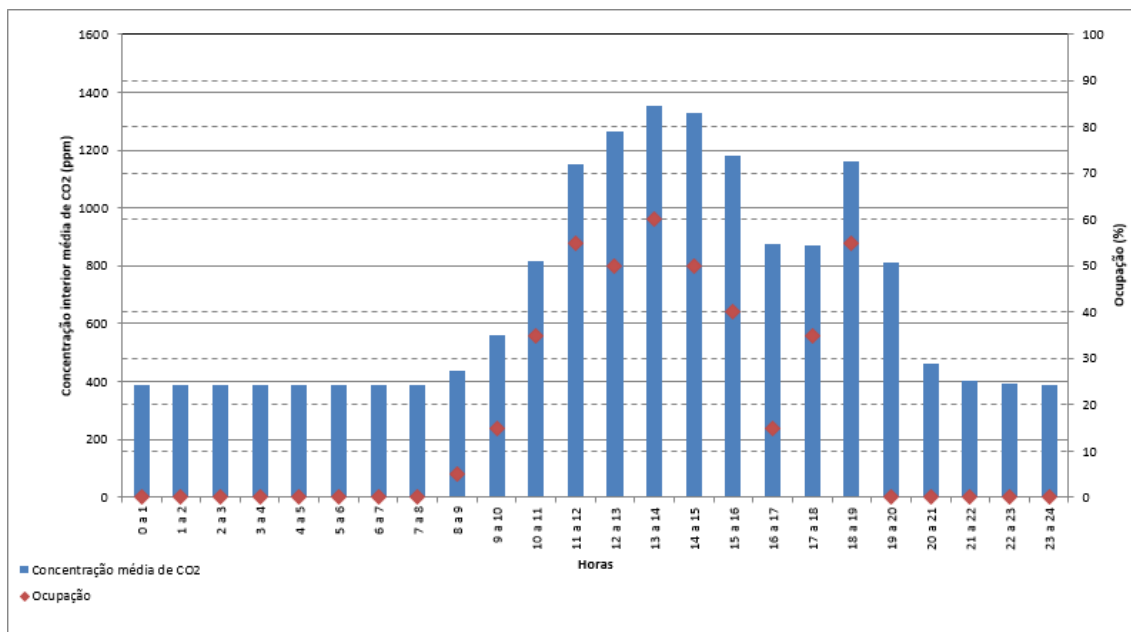


Gráfico 5: Variação diária da Concentração média de CO<sub>2</sub>, em função da ocupação. Valores estimados pelo modelo LNEC.

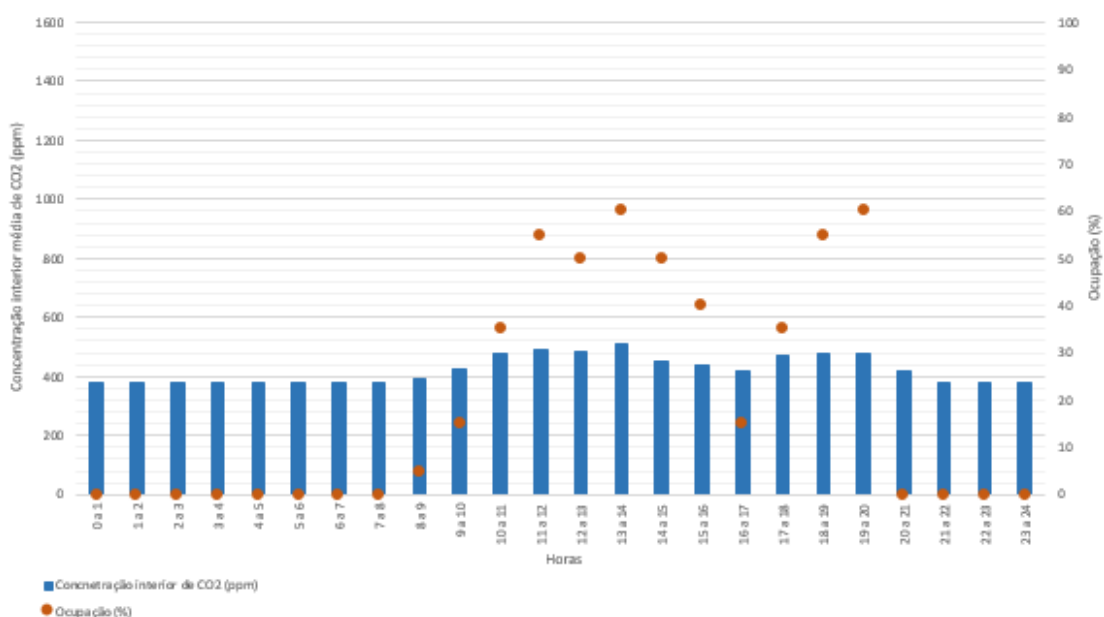


Gráfico 6: Variação diária da Concentração média de CO<sub>2</sub>, em função da ocupação. Valores observados.

Na análise aos gráficos obtidos, o do modelo (Gráfico 5) e o real (Gráfico 6), podemos ver que têm uma evolução semelhante, mas mais uma vez, o gráfico sugerido pelo modelo do LNEC atinge resultados de concentração CO<sub>2</sub> muito elevados e, na realidade, nunca foram ultrapassados os limites máximos permitidos por lei (1250 ppm). Ainda de realçar

o fato de o modelo sugerir um caudal de  $214 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , havendo uma maior ventilação e renovação de ar, contrariando os valores elevados da concentração de  $\text{CO}_2$ .

#### 4.3. Síntese conclusiva

No estudo de campo desta dissertação, verificou-se que a QAI nos espaços avaliados do *he+* se encontra dentro dos limites legais segundo a Portaria 353-A. Os valores máximos de  $\text{CO}_2$  obtidos individualmente nos espaços encontram-se todos inferiores ao limite máximo legal, tendo em conta a taxa ocupacional, e as variações de ventilação (abertura e fecho de portas/janelas, variação na intensidade do caudal de insuflação). Contudo, o modelo do LNEC mostrou-se incoerente com os dados medidos, uma vez que dá caudais elevados face ao que se observa na realidade, situação com eventual impacte ao nível de gastos energéticos em ventilação. No que diz respeito à concentração de  $\text{CO}_2$ , o modelo do LNEC assume sempre uma média de 1250 ppm (valor máximo segundo a legislação), e os valores máximos obtidos na realidade são quase metade dos valores calculados pelo modelo. Em anexo (*Anexo I*) encontra-se explicado em detalhe o modelo do LNEC, sendo referidas, na Figura AI12 (*Anexo I*), as opções dos dados de saída do modelo. Foi possível verificar que este modelo não nos dá os dados semelhantes aos medidos na realidade, sendo demasiado elevados, tendo que se ponderar alterações a fazer, com objetivo de aprimorar este modelo do LNEC.

Com a redução do caudal nos espaços em estudo, e noutros possíveis locais a analisar, poderá ser verificada uma significativa redução energética, e consequentes poupanças a nível monetário.

## 5. Conclusões

Atualmente, dada a crescente permanência da população em espaços confinados, procura-se estabelecer um equilíbrio entre o conforto, a eficiência energética, e a proteção da saúde dos ocupantes. Este equilíbrio depende, em larga medida, das taxas de renovação do ar no edifício. Por esta razão, nesta dissertação foi abordada a dependência da QAI da ventilação por ar novo, usando como indicador os níveis de CO<sub>2</sub> em diversos espaços avaliados no Hospital Escola Fernando Pessoa, edifício usado como *Caso de Estudo*. Foram medidos, em diversos espaços, os níveis de CO<sub>2</sub>, bem como os caudais de ventilação associados, testando a hipótese se os níveis de CO<sub>2</sub> verificados estariam em conformidade quando associados aos caudais de ventilação impostos pela legislação vigente.

Neste contexto, foram analisados três espaços diferentes, avaliando o caudal de insuflação, a temperatura, a humidade, a taxa de ocupação e respetiva variação da concentração de CO<sub>2</sub> de cada espaço. Tendo o CO<sub>2</sub> como um indicador do bom nível de ventilação, e seguindo a legislação vigente (Portaria 353-A/2013), foi possível constatar a situação atual existente no hospital. A aplicação do modelo do LNEC (modelo usado como *suporte oficial* à aplicação da Portaria 353-A/2013), em situações controladas, permitiu aferir o seu desempenho enquanto ferramenta de apoio.

No estudo de campo desta dissertação, verificou-se que a QAI nos espaços do *he+* avaliados se encontra dentro dos limites legais segundo a Portaria 353-A. Assim, os valores observados de CO<sub>2</sub> obtidos individualmente nos espaços encontram-se todos conforme os requisitos legais, tendo em conta a taxa ocupacional, e as variações de ventilação (abertura e fecho de portas/janelas, variação na intensidade do caudal de insuflação). No Ginásio de fisioterapia foi observado um máximo de 954 ppm, no Quarto duplo, um máximo de 678 ppm e na Sala pedagógica, um máximo de 534 ppm. Contudo, o modelo do LNEC mostrou-se incoerente com os dados medidos, uma vez que sugere a aplicação de caudais mais elevados face ao que se observa na realidade, onde já se cumpre os níveis de CO<sub>2</sub> impostos por lei. Estes resultados do modelo, enquanto ferramenta de suporte ao projeto, podem induzir que sejam previstos caudais de ar novo muito acima do necessário, com previsíveis gastos energéticos (económicos) para lá do necessário.

Face aos resultados preliminares obtidos, desde que consolidados por um maior número de réplicas e medidas em novos espaços para garantir uma representatividade mais alargada, poderá ser equacionada a redução dos níveis de ar novo nos diferentes espaços de  $he+$ , com óbvios ganhos na respetiva fatura energética.

O presente trabalho deverá no futuro ser complementado, analisando outros espaços do Hospital (aumento da representatividade), efetuando um maior número de réplicas das medições de caudais de ar novo,  $CO_2$ , temperatura e humidade (aumento da significância estatística), a fim de melhorar a credibilidade dos resultados. Para complemento, seria relevante fazer um estudo de eficiência energética, adaptando os caudais de ar novo para o mínimo possível, suficientes para cumprir os requisitos de conformidade legal, verificando o nível de poupança energética e financeira. Por outro lado, o modelo LNEC poderá ser avaliado de forma mais profunda, por forma a sugerir melhorias, na sua formulação, conducentes a melhor representatividade da realidade.

## Referências bibliográficas

- Agência Portuguesa do Ambiente. (2009). Qualidade do Ar em Espaços Interiores -Um Guia Técnico. [Em linha]. Disponível em [http://www.apambiente.pt/zdata/Divulgacao/Publicacoes/Guias%20e%20Manuais/manual%20QArI nt\\_standard.pdf](http://www.apambiente.pt/zdata/Divulgacao/Publicacoes/Guias%20e%20Manuais/manual%20QArI nt_standard.pdf). [Consultado em 02.05.2014]
- Amissah, P. (2005). Indoor Air Quality: Combining Air Humidity with Construction Moisture. [On-line]. Available on [http://www.esru.strath.ac.uk/Documents/PhD/amissah\\_thesis.pdf](http://www.esru.strath.ac.uk/Documents/PhD/amissah_thesis.pdf). [Accessed in 20.02.2014]
- Azimi, F., Naddafi, K., Nabizadeh, R., Hassanvand, M., Alimohammadi, M., Afhami, and Musavi, S. (2013). Fungal air quality in hospital rooms: a case study in Tehran, Iran. [On-line]. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3891997/>. [Accessed in 21.05.2014].
- Bell, M., Davis, D., and Fletcher, T. (2004). A retrospective assessment of mortality from the London smog episode of 1952: the role of influenza and pollution. [On-line]. Available on <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1241789/>. [Accessed in 21.05.2014]
- CEN CR 1752. (1998). Ventilation for buildings: Design criteria for the indoor environment, Brussels, European Committee for Standardization. [On-line]. Available on <http://legacy.library.ucsf.edu/documentStore/1/r/y/lry61a99/Sly61a99.pdf>. [Accessed in 20.05.2014]
- Cohen, A., Anderson, H., Ostro, B., Pandey, K., Krzyzanowski, M., Kunzli, N., Guschmidt, K., Pope, A., Romieu, I., Samet, J., and Smith, K. (2006). The global burden of disease due to Outdoor Air Pollution. [On-line]. Available on <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15287390590936166#.U5x2WvldXhs>. [Accessed in 11.05.2014]
- Dascalaki, E., Lagoudi, A., Balaras, A., and Gaglia, A. (2007). Air quality in hospital operating rooms. [On-line]. Available on <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132307002375>. [Accessed in 10.05.2014]
- Davis, D. (2002). A Look Back at the London Smog of 1952 and the Half Century Since. [On-line]. Available on <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1241116/>. [Accessed in 21.5.2014]

- Diário da República. (1992). Decreto-Lei n.º 156/92 – Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios. [Em linha]. Disponível em <http://www.dre.pt/pdf1s/1992/07/173A00/35343548.pdf>. [Consultado em 02.05.2014]
- Diário da República. (1998). Decreto-Lei n.º 118/98 – Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios. [Em linha]. Disponível em <http://www.dre.pt/pdf1s/1998/05/105A00/21142129.pdf>. [Consultado em 02.05.2014]
- Diário da República. (2006). Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de abril – Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios. [Em linha]. Disponível em <https://dre.pt/application/dir/pdf1sdip/2006/04/067A00/24112415.pdf>. [Consultado em 02.05.2014]
- Diário da República. (2006). Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de abril – Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios. [Em linha]. Disponível em <http://www.dre.pt/pdf1s/2006/04/067A00/24162468.pdf>. [Consultado em 02.05.2014]
- Diário da República. (2006). Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de abril – Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios. [Em linha]. Disponível em [http://www.oasrn.org/pdf\\_upload/decretolei\\_80\\_2006.pdf](http://www.oasrn.org/pdf_upload/decretolei_80_2006.pdf). [Consultado em 02.05.2014]
- Diário da República. (2013). Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto. [Em linha]. Disponível em <http://dre.pt/pdf1s/2013/08/15900/0498805005.pdf>. [Consultado em 02.05.2014]
- Diário da República. (2013). Portaria n.º 353-A/2013 de 4 de Dezembro - Regulamento de desempenho energético dos edifícios de comércio e serviços (RECS) – Requisitos de ventilação e qualidade do ar interior.. [Em linha]. Disponível em <http://www.dre.pt/pdf1s/1998/05/105A00/21142129.pdf>. [Consultado em 02.05.2014]
- Direct Industry. (s.d.). KIMO Aparato de medición de velocidad / temperatura / de aire / multifunción. [On-line]. Retrieved from <http://www.directindustry.es/prod/kimo/aparatos-medicion-velocidad-temperaturas-aire-multifuncion-11846-56231.html>. [Accessed in 10.07.2014]
- Environmental Protection Agency (EPA). (2007). Indoor Air Quality: Materials Selection. [On-line]. Retrieved from <http://www.epa.gov/region9/waste/p2/pdf/IAQFinalOct12.pdf>. [Accessed in 11.02.2012]

- Erdogan, M., Yurtseven, E., Erginoz, E., Vehid, S., Koksall, S. and Yuceokur, A. (2010). Total volatile organic compounds (TVOC), Carbon monoxide (CO), Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), Concentrations in the Hospital building of a medical faculty in Istanbul, Turkey. [On-line]. Available on <http://web.a.ebscohost.com/ehost/detail?sid=6877ceb1-ad3d-43df-b8b9-f5a96e51ed3a%40sessionmgr4004&vid=1&hid=4207&bdata=JnNpdGU9ZWZWhvc3QtbGl2ZSZzY29wZT1zaXRI#db=a9h&AN=58686641>. [Accessed in 03.05.2014]
- Eurofound. (2010). Working conditions in healthcare professions. [On-line]. Retrieved from <http://www.eurofound.europa.eu/ewco/2010/05/AT10050211.htm>. [Accessed in 12.02.2012]
- European Collaborative Action (ECA). (2003). Urban Air, Indoor Environment and Human Exposure – Ventilation, Good Indoor Air Quality and Rational Use of Energy, Report No 23. [On-line]. Available on [http://ihcp.jrc.ec.europa.eu/our\\_activities/public-health/indoor\\_air\\_quality/eca/eca\\_report\\_23](http://ihcp.jrc.ec.europa.eu/our_activities/public-health/indoor_air_quality/eca/eca_report_23). [Accessed in 20.05.2014]
- European Commission (EC). (1996). Council Directive 96/62/EC of 27 September 1996 on ambient air quality assessment and management. [On-line]. Available on <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31996L0062&from=EN>. [Accessed in 25.05.2014]
- European Commission (EC). (1997). Council decision of 27 January 1997 establishing a reciprocal exchange of information and data from networks and individual stations measuring ambient air pollution within the Member States. [On-line]. Available on <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31997D0101&from=EN>. [Accessed in 25.05.2014]
- European Commission (EC). (1999). Council Directive 1999/30/EC of 22 April 1999 relating to limit values for sulphur dioxide, nitrogen dioxide and oxides of nitrogen, particulate matter and lead in ambient air. [On-line]. Available on <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31999L0030&from=EN>. [Accessed in 25.05.2014]
- European Commission (EC). (2000). Directive 2000/69/EC of the European Parliament and of the Council of 16 November 2000, relating to limit values for benzene and carbon monoxide in ambient air. [On-line]. Available on <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32000L0069&from=EN>. [Accessed in 25.05.2014]
- European Commission (EC). (2002). Directive 2002/3/EC of the European Parliament and of the Council of 12 February 2002 relating to ozone in ambient air. [On-line]. Available on <http://eur->

[lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002L0003&from=EN](http://lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002L0003&from=EN). [Accessed in 25.05.2014]

- European Commission (EC). (2004). Commission Decision of 29 April 2004 laying down a questionnaire to be used for annual reporting on ambient air quality assessment under Council Directives 96/62/EC and 1999/30/EC and under Directives 2000/69/EC and 2002/3/EC of the European Parliament and of the Council [On-line]. Available on <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32004D0461&from=EN>. [Accessed in 25.05.2014]
- European Commission (EC). (2010). Air Quality Standards. [On-line]. Available on <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>. [Accessed in 25.05.2014]
- European Environment Agency (EEA). (2012). Air quality in Europe — 2012 report [On-line]. Available on [www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2012/download](http://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2012/download). [Accessed in 14.05.2014]
- European Environment Agency (EEA). (2012). Europe to exceed air pollutant emission limits – NO<sub>x</sub> in particular. [On-line]. Available on <http://www.eea.europa.eu/highlights/europe-to-exceed-air-pollutant>. [Accessed in 25.05.2014].
- European Union (EU). (2008). Directive 2008/50/EC of European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. [On-line]. Available on <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0050&from=en>. [Accessed in 25.05.2014]
- European Union (EU). (2004). Directive 2004/107/EC of the European Parliament and of the Council of 15 December 2004 relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air [On-line]. Available on <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2005:023:0003:0016:EN:PDF>. [Accessed in 25.05.2014]
- Friedman, M., Powell, K., Hutwagner, L., Graham, L. and Teague, G. (2001). [On-line]. Impact of Changes in Transportation and Commuting Behaviors During the 1996 Summer Olympic Games in Atlanta on Air Quality and Childhood Asthma. Available on <http://jama.jamanetwork.com/article.aspx?articleid=193572>. [Accessed in 08.08.2013]

- Governair. (2013). Striving for Air Quality Perfection Case Study. [On-line]. Retrieved from [http://www.healthcarefacilitiestoday.com/media/graphics/2013/Governair\\_Study\\_Striving\\_for\\_air\\_quality\\_perfection.pdf](http://www.healthcarefacilitiestoday.com/media/graphics/2013/Governair_Study_Striving_for_air_quality_perfection.pdf). [Accessed in 21.05.2014]
- Jenkins, H., Devalia, J., Mister, R., Bevan, A., Rusznak, C., and Davies, R. (1999). The effect of exposure to Ozone and Nitrogen Dioxide on the airway response of atopic asthmatics to inhaled allergen. [On-line]. Available on <http://www.atsjournals.org/doi/pdf/10.1164/ajrccm.160.1.9808119>. [Accessed in 10.05.2014]
- Jones, A. (1999). [On-line]. Indoor air quality and health. Available on <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231099002721>. [Accessed in 08.08.2013]
- Jornal Oficial da União Europeia. (2010). Directiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu do Conselho de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios. [Em linha]. Disponível em <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:PT:PDF>. <http://www.dre.pt/pdf1s/1998/05/105A00/21142129.pdf> [Consultado em 02.05.2014]
- Kunzli, N., Kaiser, R., Medina, S., Studnicka, M., Chanel, O., Filliger, P., Herry, M., Horak Jr, F., Puybonnieux-Textier, V., Quénel, P., Schneider, J., Seethaler, R., Vergnaud, J-C., and Sommer, H. (2000). [On-line]. Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. Available on <http://www.higher-solutions-for-your-health.com/support-files/studieabgasegesundheit.pdf>. [Accessed in 28.12.2012]
- Lesli, G. (2000). Health Risks from Indoor Air Pollutants: Public Alarm and Toxicological Reality [On-line]. Retrieved from <http://ibe.sagepub.com/content/9/1/5.abstract>. [Accessed in 08.02.2014]
- LNEC. (2014). Eficiência energética. [Em linha]. Disponível em [http://www.lnec.pt/servicos/Eficiencia\\_Energetica](http://www.lnec.pt/servicos/Eficiencia_Energetica). [Consultado a 12.05.2014]
- Myhrvold, A., Olsen, E., and Lauridsen O. (1996). Indoor environment in schools – pupils health and performance in regard to CO<sub>2</sub> concentrations. [On-line]. Available on [http://gammelweb.iris.no/internet/student.nsf/199f312efd2a0cacc125680e00635b85/5620dc0e13696990c1257b2b002c6991/\\$FILE/1996-353.pdf](http://gammelweb.iris.no/internet/student.nsf/199f312efd2a0cacc125680e00635b85/5620dc0e13696990c1257b2b002c6991/$FILE/1996-353.pdf). [Accessed in 20.05.2014]

- Norback, D., Michel, I., and Widstrom, J. (1990). Indoor air quality and personal factors related to the sick building syndrome. [On-line]. Retrieved from [www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2353195](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2353195). [Accessed in 11.02.2012]
- OSHA. (2011). Indoor Air Quality in commercial and institutional buildings. [On-line]. Available on <https://www.osha.gov/Publications/3430indoor-air-quality-sm.pdf>. [Accessed in 20.02.2014]
- Ostro, B. (2004). Outdoor air pollution. [On-line] Available on [http://www.who.int/quantifying\\_ehimpacts/publications/ebd5.pdf](http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/ebd5.pdf). [Accessed in 11.05.2014]
- Persly, A. (1996). The relationship between Indoor Air Quality and Carbon. Dioxide [On-line]. Available on <http://fire.nist.gov/bfrlpubs/build96/PDF/b96103.pdf>. [Accessed in 24.05.2014]
- Salthammer, T. (2010). Critical evaluation of approaches in setting indoor air quality guidelines and reference values. [On-line]. Available on <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653510013056#>. [Accessed in 10.05.2014]
- Spengler, J. and Sexton, K. (1983). [On-line]. Poluição do ar interior: uma perspectiva de saúde pública. Available on <http://www.sciencemag.org/content/221/4605/9.short>. [Accessed in 07.08.2013]
- Sundell, J. (2004). On the history of indoor air quality and health. [On-line]. Available on <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1600-0668.2004.00273.x/pdf>. [Accessed in 12.05.2014]
- Tweedale, G. (2001). Magic mineral to killer dust: Turner & Newall and the asbestos hazard. [On-line]. Available on <http://e-space.mmu.ac.uk/e-space/handle/2173/92899>. [Accessed in 13.05.2014]
- United States Green Building Council. (USGBC). (2014). LEED. [On-line]. Available on <http://www.usgbc.org/leed>. [Accessed in 22.05.2014]
- Vardoulakis, S., Fisher, B., Pericleous, K., and Gonzalez-Flesca, N. (2002). [On-line]. Modelling air quality in street canyons: a review. Available on <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231002008579>. [Accessed in 08.08.2013]

- Viegi, G., Simoni, M., Scognamiglio, A., Baldacci, S., Pistelli, F., Carrozi, L. and Annesi-Maesano, I. (2004). Indoor Air Quality and Airway Disease. [On-line]. Available on <http://medind.nic.in/iae/t05/i2/iaet05i2p137.pdf>. [Accessed in 20.02.2014]
- Wadden, R. and Scheff, P. (1983). [On-line]. Environmental sciences and Indoor Air Pollution. Available on [http://www.osti.gov/energycitations/product.biblio.jsp?osti\\_id=6083827](http://www.osti.gov/energycitations/product.biblio.jsp?osti_id=6083827). [Accessed in 28.12.2012]
- Wang, Z. and Wang, L. (2012). Indoor Air Quality Control for Energy-Efficient Buildings Using CO2 Predictive Model. [On-line]. Available on <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6300925>. [Accessed in 03.05.2014]
- Wargocki, P., Wyon, D., Baik, Y., Clausen, G., and Fanger, P. (2004). [On-line]. Perceived Air Quality, Sick Building Syndrome (SBS) Symptoms and Productivity in an Office with Two Different Pollution Loads. Available on <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1600-0668.1999.t01-1-00003.x/abstract;jsessionid=F881FBF878648B3370883EBFF856F656.d03t03?deniedAccessCustomisedMessage=&userIsAuthenticated=false>. [Accessed in 08.08.2013]
- Wargocki, P., Wyon, D., Sundell, J., Clausen, G., and Fanger, P. (2001). [On-line]. The Effects of Outdoor Air Supply Rate in an Office on Perceived Air Quality, Sick Building Syndrome (SBS) Symptoms and Productivity. Available on <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1034/j.1600-0668.2000.010004222.x/abstract>. [Accessed in 28.12.2012]
- Weschler, C. (2009). Changes in indoor pollutants since the 1950s. [On-line]. Available on <http://faculty.rmu.edu/~short/research/formaldehyde/formaldehyde-papers/Weschler-CJ-2009.pdf>. [Accessed in 12.05.2014]
- World Health Organization. (2000). Air Quality Guidelines for Europe – Second Edition. [On-line]. Available on [http://www.euro.who.int/\\_data/assets/pdf\\_file/0005/74732/E71922.pdf](http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0005/74732/E71922.pdf). [Accessed in 20.02.2014]
- World Health Organization. (2005). Air Quality Guidelines – Global Update 2005. [On-line]. Available on [http://www.euro.who.int/\\_data/assets/pdf\\_file/0005/78638/E90038.pdf](http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf). [Accessed in 13.05.2014]
- World Health Organization. (2010). WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. [On-line]. Available on [http://www.euro.who.int/\\_data/assets/pdf\\_file/0009/128169/e94535.pdf](http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0009/128169/e94535.pdf). [Accessed in 13.05.2014]

## **Anexos**

### **Anexo I**

#### **Modelo Excel**

Este trabalho procura enquadrar os problemas atuais da QAE e da QAI, fazendo referência às descobertas e investigações em séculos passados. Procura-se analisar a evolução das preocupações face ao ambiente, assim como a progressão das medidas preventivas e alternativas tomadas. Em caso particular, foram analisados quatro espaços no Hospital Escola Fernando Pessoa, nos quais foram medidos caudais e concentrações de CO<sub>2</sub>. O objetivo fulcral desta investigação é ver até que ponto os caudais teóricos coincidem com o estipulado na legislação, no que diz respeito à concentração de CO<sub>2</sub>, e seguindo o Modelo fornecido pelo LNEC, e os seus dados, verificar a coerência dos resultados, fazendo medições de caudal e CO<sub>2</sub>, e verificar se se enquadram com os valores dados pelo modelo.

No âmbito deste estudo, foi usado um Modelo Analítico existente em lei, para analisar a concentração de CO<sub>2</sub> nos espaços em estudo, previamente definidos.

Numa primeira parte do modelo, é necessário introduzir os dados de entrada, que dizem respeito às características específicas do espaço em estudo. Algumas das características, têm mais que uma opção, sendo necessário selecionar a que mais se adequa. Na Tabela AI10 temos as características, com as possíveis escolhas:

Tabela AI10: Características com diferentes opções dos dados de entrada (Portaria 353-A/2013).

<b><i>Faixa etária</i></b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- 3 anos;</li><li>- até 6 anos;</li><li>- até 9 anos;</li><li>- até 11 anos;</li><li>- até 14 anos;</li><li>- Até aos 18 anos e adultos</li></ul>
<b><i>Tipo de atividade (Metabólica)</i></b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Sono;</li><li>- Descanso;</li><li>- Sedentária;</li></ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sedentária – Salas de Jardim de infância e Pré-escolar;</li> <li>- Moderada;</li> <li>- Ligeiramente alta;</li> <li>- Alta</li> </ul>
<b><i>Limiar de proteção de CO<sub>2</sub></i></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1250 ppm (2250 mg/m<sup>3</sup>);</li> <li>- 1625 ppm (2925 mg/m<sup>3</sup>)</li> </ul>
<b><i>Tipo de espaço (Carga poluente do edifício)</i></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Predominância (superior a 75%) de materiais de baixa emissão poluente;</li> <li>- Sem atividades que envolvam a emissão de poluentes específicos;</li> <li>- Com atividades que envolvam a emissão de poluentes específicos;</li> <li>- Piscinas (área de referência será a área do plano de água)</li> </ul>
<b><i>Método de ventilação (Eficácia de remoção dos poluentes)</i></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Insuflação pelo teto, ar frio (ventilação mecânica e híbrida);</li> <li>- Insuflação pelo teto e extração junto ao pavimento, ar quente (ventilação mecânica e híbrida);</li> <li>- Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto (ventilação mecânica e híbrida);</li> <li>- Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto desde que o jato de ar de insuflação tenha velocidade superior a 0,8m/s e alcance até de 1,4 m do pavimento. (ventilação mecânica e híbrida);</li> <li>- Insuflação de ar frio junto ao pavimento e extração ou retorno junto ao teto, desde que o jato de ar de insuflação, com uma velocidade de 0,8m/s, tenha um alcance de 1,4 m ou mais, em relação ao pavimento. (ventilação mecânica e híbrida);</li> <li>- Insuflação de ar frio a baixa velocidade junto ao pavimento e extração junto ao teto, numa estratégia de ventilação do tipo deslocamento, proporcione um fluxo unidirecional e estratificação térmica (ventilação mecânica e híbrida);</li> <li>- Insuflação de ar quente junto ao pavimento e extração junto ao pavimento, no lado oposto do compartimento (ventilação mecânica e híbrida);</li> <li>- Insuflação de ar quente junto ao pavimento e extração/retorno junto ao teto (ventilação mecânica e híbrida);</li> <li>- Admissão natural de ar no lado oposto do compartimento em relação ao ponto de extração/retorno mecânica (ventilação mecânica e híbrida);</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Admissão natural de ar junto ao ponto de extração/retorno mecânica (ventilação mecânica e híbrida);</li> <li>- Insuflação de ar quente junto ao pavimento e extração/retorno junto ao teto, no mesmo lado do compartimento ou em localização próxima (ventilação mecânica e híbrida);</li> <li>- Insuflação de ar frio junto ao teto e extração/retorno junto ao pavimento, do mesmo lado do compartimento ou em localização próxima (ventilação mecânica e híbrida)</li> </ul>
--	--

Em suma, consoante as características do espaço, seleciona-se a opção que mais se adequa, como se pode ver os exemplos na Figura AI11. A área do pavimento, o pé direito e o nº de ocupantes, também terão de ser analisados consoante o espaço. No que diz respeito ao perfil de ocupação, terá que se ter a informação face à ocupação do espaço, fazendo um perfil de ocupação diário do espaço para efeitos de determinação do caudal mínimo de ar novo.

Dados de entrada									
Designação do espaço ou agrupamento de espaços semelhantes	Área pav (m2)	Pd (m)	n.º Ocup.	Faixa Etária	Tipo de atividade (metabólica)	Limiar de proteção CO2	Perfil Ocupa.	Tipo de espaço (Carga poluente edifício)	Método de Ventilação (Eficácia de remoção de poluentes)
Espaço X				até 18 anos e adultos	Moderada	1250 ppm (2250 mg/m3)	Sala de reunião	Predominância (superior a 75%) de materiais de baixa emissão poluente	4 - Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto desde que o jato de ar de insuflação tenha velocidade superior a 0,8m/s e alcance até 1,4m do pavimento. (ventilação mecânica e híbrida)
			3 anos até 6 anos até 9 anos até 11 anos até 14 anos até 18 anos e adu	Sono Descanso Sedentária Sedentária - Salas d Atividade Ligeiramente Alta Alta		1250 ppm (2250 mg/m3) 1625 ppm (2925 mg/m3)		Predominância (superior a 75%) de materiais de baixa emissão poluente Sem atividades que envolvam a emissão de poluentes esp Com atividades que envolvam a emissão de poluentes esp Piscinas (área de referência será a área do plano de água)	0 - Ventilação Natural 1 - Insuflação pelo teto, ar frio (ventilação mecânica e híbr 2 - Insuflação pelo teto e extração junto ao pavimento, ar 3 - Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acim 4 - Insuflação de ar quente pelo teto e extração/retorno 5 - Insuflação de ar frio junto ao pavimento e extração ou 6 - Insuflação de ar frio a baixa velocidade junto ao pavim 7 - Insuflação de ar quente junto ao pavimento e extração 8 - Insuflação de ar quente junto ao pavimento e extração 9 - Admissão natural de ar no lado oposto do compartim 10 - Admissão natural de ar junto ao ponto de extração/re 11 - Insuflação de ar quente junto ao pavimento e extração 12 - Insuflação de ar frio junto ao teto e extração/retorno

Figura AI11: Dados de entrada do Método Analítico do LNEC.

Na segunda etapa do modelo, são calculados três tipos de caudais, segundo o Método Analítico, o Método Prescritivo e na Condição de equilíbrio. Estes caudais são influenciados pelos valores associados às opções de entrada.

Segundo a Figura AI12, é possível ver as colunas de cálculo para os diferentes métodos de cálculo do caudal de ar novo, sendo influenciados pelos valores associados às opções de entrada.

Dados de saída				Informação		Informação	
Método analítico				Condição equilíbrio		Método Prescritivo	
Caudal de ar/ev, QANf (m3/h)	Caudal de ar QAN (m3/h)	CO2 médio ocupação	CO2 máximo	Caudal de ar/ev, QANf (m3/h)	Caudal de ar QAN (m3/h)	Caudal de ar/ev, QANf (m3/h)	Caudal de ar QAN (m3/h)

Valores associados às opções de entrada				Valor Calculado Analítico	
Taxa metabolismo (met)	Área DuBois Adu (m2)	Eficácia remoção poluentes ev	Caudal unidade área (m3/(h.m2))	Critério Ocupantes (m3/h)	Critério Edifício (m3/h)

Figura AI12: Cálculo de caudal de ar novo e valores associados às opções de entrada.

No que diz respeito aos valores associados às opções de entrada, seguindo a Portaria 353-A/2013, verificando a Tabela AI11, podemos definir os valores para a taxa de metabolismo, consoante o tipo de atividade.

Tabela AI11: Taxa de metabolismo consoante o tipo de atividade (Portaria 353-A/2013).

Tipo de atividade	Taxa de metabolismo dos ocupantes - M (met)	Exemplos de tipo de espaço	Caudal de ar novo [m³/(hora.pessoa)]
Sono	0,8	Quartos, Dormitórios e similares	16
Descanso	1,0	Salas de repouso, Salas de espera, Salas de conferências, Auditórios e similares, Bibliotecas.	20
Sedentária	1,2	Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas de aula, Cinemas, Salas de espetáculo, Salas de Refeições, Lojas e similares, Museus e galerias, Salas de convívio, Salas de atividade de estabelecimentos de geriatria e similares.	24
		Salas de jardim de infância e pré-escolar e Salas de creche.	28
Moderada	1,75 (1,4 a 2,0)	Laboratórios, Ateliers, Salas de Desenho e Trabalhos Oficiais, Cafés, Bares, Salas de Jogos e similares.	35
Ligeiramente Alta	2,5 (2,0 a 3,0)	Pistas de dança, Salas em ginásios, Salas de ballet e similares	49
Alta	5,0 (3,0 a 9,0)	Salas de musculação, Salas em ginásios e pavilhões desportivos e similares	98

Relativamente à Área de DuBois, em função da idade dos ocupantes, também podemos ter os diferentes valores de cálculo, consultando a Tabela AI12 a Área de Dubois é calculada pela seguinte expressão:

Em que:

Wb - Massa corporal típica, [kg]

Hb - Altura típica do corpo humano, [m]

$$A_{Du} = 0,202 \cdot W_b^{0,425} \cdot H_b^{0,725}$$

Tabela AI12: Valores da Área de Dubois em função da idade dos ocupantes (Portaria 353-A/2013).

Idade dos ocupantes	$A_{Du}$ [m <sup>2</sup> ]
3 anos	0,65
até 6 anos	0,80
até 9 anos	1,10
até 11 anos	1,30
até 14 anos	1,60
até 18 anos e adultos	1,80

Para verificar a eficácia da remoção de poluentes, tendo em conta o método de ventilação, pode-se consultar a Tabela AI13 para se escolher qual o valor de eficácia que melhor se adequa ao método de ventilação.

Tabela AI13: Valores de eficácia para diferentes métodos de ventilação (Portaria 353-A/2013).

Configuração da distribuição de ar na zona	$\epsilon_v$
Insuflação pelo teto, ar frio	1
Insuflação pelo teto e extração junto ao pavimento, ar quente	1
Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,8
Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto, desde que o jato de ar de insuflação, tenha velocidade superior a 0,8 m/s e alcance até 1,4m do pavimento (nota: para velocidades mais baixas, $\epsilon_v = 0,8$ )	1
Insuflação de ar frio junto ao pavimento e extração/retorno junto ao teto, desde que o jato de ar de insuflação com uma velocidade de 0,8 m/s, tenha um alcance de 1,4m ou mais, em relação ao pavimento	1

Insuflação de ar frio a baixa velocidade junto ao pavimento e extração junto ao teto, numa estratégia de ventilação do tipo deslocamento, proporcione um fluxo unidirecional e estratificação térmica	1,2
Insuflação de ar quente junto ao pavimento e extração junto ao pavimento, no lado oposto do compartimento	1
Insuflação de ar quente junto ao pavimento e extração/retorno junto ao teto	0,7
Admissão natural de ar no lado oposto do compartimento em relação ao ponto de extração/retorno mecânica	0,8
Admissão natural de ar junto ao ponto de extração/retorno mecânica	0,5
Insuflação de ar quente junto ao pavimento e extração/retorno junto ao teto, no mesmo lado do compartimento ou em localização próxima	0,5
Insuflação de ar frio junto ao teto e extração/retorno junto ao pavimento, do mesmo lado do compartimento ou em localização próxima	0,5

O último valor associado às opções de entrada tem a coluna do Caudal de unidade de área, que é automaticamente definido, consoante o tipo de espaço analisado e a sua carga poluente. Na Tabela AI14 pode-se verificar os diferentes caudais de ar novo, para cada situação específica do edifício.

Tabela AI14: Caudal mínimo de ar novo determinado em função da carga poluente devida ao edifício (Portaria 353-A/2013).

Situação do edifício (Espaço)	Caudal de ar novo [m <sup>3</sup> /(hora.m <sup>2</sup> )]
Predominância (superior a 75%) de materiais de baixa emissão poluente e sem atividades que envolvam a emissão de poluentes específicos	2
Sem atividades que envolvam a emissão de poluentes específicos	3
Com atividades que envolvam a emissão de poluentes específicos <sup>(1)</sup>	5
Piscinas (área de referência será a área do plano de água)	20

Notas:

- (1) Nas atividades que envolvam a emissão de poluentes específicos incluem-se: lavandarias, perfumarias, farmácias, salões de beleza, lojas de animais, salas de aula de artes, laboratórios de escolas, estabelecimentos comerciais de mobiliário e de madeiras.

O Caudal de ar novo tem três opções diferentes de cálculo, podendo ser através do Método Analítico, Método Prescritivo, sendo referida no modelo do LNEC também a Condição

de Equilíbrio. Sendo que todas as opções, podem ter o valor final corrigido da eficácia segundo a seguinte expressão:

$$Q_{ANf} = Q_{AN} / \varepsilon_v$$

Em que:

$Q_{ANf}$  – Valor do caudal de ar novo, [ $m^3 \cdot h^{-1}$ ]

$Q_{AN}$  – Valor do caudal de ar novo final corrigido da eficácia, [ $m^3 \cdot h^{-1}$ ]

$\varepsilon_v$  – Valor da eficácia de remoção de poluentes

#### *A) Método Analítico*

Seguindo a Portaria 353-A/2013 o Método analítico abrange a evolução temporal da concentração de  $CO_2$  que se prevê no espaço, em função do perfil dos ocupantes e do sistema de ventilação. Com o cálculo deste Método, o caudal mínimo de ar novo a considerar, deve corresponder ao menor valor de caudal de ar necessário para cumprir o limiar de proteção do  $CO_2$  (1250 ppm) durante o período de ocupação, diluindo toda a carga poluente derivada dos materiais do edifício ou do uso do espaço.

É calculado pela seguinte expressão:

$$Q_{AN} = G / (C_{ip} - C_{ext})$$

Em que:

$Q_{AN}$  – Valor do caudal de ar novo, [ $m^3 \cdot h^{-1}$ ]

$G$  – Taxa de geração de  $CO_2$  [ $mg \cdot h^{-1}$ ] ou [ $m^3 \cdot h^{-1}$ ]

$C_{ip}$  – Limiar de proteção para a concentração de  $CO_2$  no ar interior, [ $mg \cdot m^{-3}$ ] ou [ $m^3 \cdot m^{-3}$ ]

$C_{ext}$  – Valor médio típico da concentração no ar exterior de  $CO_2$  para a zona onde se insere o edifício, [ $mg \cdot m^{-3}$ ] ou [ $m^3 \cdot m^{-3}$ ]

Calculando a Taxa de geração de CO<sub>2</sub> pela seguinte expressão:

$$G_{CO_2} = (17000 * A_{Du} * M) * N$$

em que:

$$G_{CO_2} = (0,0094 * A_{Du} * M) * N$$

M – Taxa de metabolismo dos ocupantes [met] (1 met = 58,15 w/m<sup>2</sup>), obtida da Tabela 7.2, em função da atividade física desenvolvida no mesmo

N – Número de ocupantes do espaço

### *B) Método Prescritivo*

Por outro lado, numa análise à Portaria 353-A/2013, o método prescritivo determina o caudal de ar novo que garanta a diluição da carga poluente, originada pelos ocupantes e as suas atividades, bem como pelos materiais da construção e de preenchimento do espaço em análise. O Método Prescritivo considera o caudal mínimo de ar novo a ser satisfeito, aquele que for superior para diluir a carga poluente, ou originada pelos ocupantes e atividades, ou originada pelos materiais de construção e de preenchimento do espaço.

É calculado pela seguinte expressão (Portaria 353-A/2013):

$$Q_{AN} = M_{med} * Q_{AN,1met}$$

Sendo que  $Q_{AN,1met}$  o valor indicado na Tabela 7.2 para o caudal mínimo de ar novo para o nível de atividade metabólica igual a 1.

Calculando  $M_{med}$  pela seguinte expressão (Portaria 353-A/2013):

$$M_{med} = \sum_i (N_{Mi} * M_i) / \sum_i N_{Mi}$$

Onde  $N_{Mi}$  representa o número de pessoas no espaço com cada nível de atividade metabólica

### *C) Condição de equilíbrio*

Na condição de equilíbrio, o caudal de ar novo necessário aos espaços, é determinado pelo valor de Caudal de ar novo [m<sup>3</sup>/(hora-pessoa)], consoante o tipo de atividade, dado na Tabela A111, multiplicando pelo número de ocupantes.

## Anexo II

No trabalho de campo foi medida, para cada espaço específico, a variação da concentração de CO<sub>2</sub>, da humidade e da temperatura ao longo de 8h (tempo mínimo exigido por lei) durante dois dias (para haver maior credibilidade de dados) e a variação ocupacional do espaço. No caso do Ginásio de fisioterapia foram analisados dois pontos (a definição do número de pontos de amostragem encontra-se anteriormente explicada no ponto 3.2.2 e os cálculos representados na Tabela 3.1). Os pontos foram medidos alternadamente, devido à existência apenas de um aparelho de medição (na Tabela AII/5 apresenta-se linhas alternando a cor, representativas do ponto 1 [cinzento] e do ponto 2 [branco]).

Na Tabela AII/5 pode-se ver os dados obtidos durante os dias de análise.

Tabela AII/5: Resultados obtidos nas medições no Ginásio de fisioterapia

	Intervalo	Dias		Nº pessoas (máx. 22)		CO <sub>2</sub> ppm		Humidade (%)		Temperatura C°	
		Dia 1	Dia 2	Atual		Atual		Atual		Atual	
		Pessoas (%)	Pessoas (%)	Dia 1	Dia 2	Dia 1	Dia 2	Dia 1	Dia 2	Dia 1	Dia 2
1	9h	18,2	13,6	4	3	396	378	63,8	64,1	23,6	23,5
	9h10	18,2	13,6	4	3	407	376	64	64,1	23,8	23,6
	9h20	18,2	22,7	4	5	423	432	64,1	64	23,8	23,6
	9h30	22,7	22,7	5	5	501	437	64,3	64,3	24	23,6
	9h40	27,3	36,4	6	8	567	489	64,4	64,3	24	23,7
	9h50	54,5	45,5	12	10	616	561	64,5	64,3	24	23,7
<i>Média</i>		26,5	25,6	6	6	483	445	64,2	64,2	23,9	23,6
				<b>6</b>		<b>464</b>		<b>64,2</b>		<b>23,7</b>	
2	10h	45,5	40,1	10	9	692	556	64,4	64,4	23,7	23,8
	10h10	50	45,5	11	10	649	578	64,4	64,4	23,7	23,8
	10h20	50	54,5	11	12	655	64,4	64,4	64,4	23,8	23,8
	10h30	45,5	54,5	10	12	567	876	64,2	64,3	23,2	23,6
	10h40	45,5	36,4	10	8	546	512	64,6	64,5	23,3	23,6
	10h50	45,5	36,4	10	8	563	524	64,6	64,4	23,3	23,6
<i>Média</i>		47	45	10	10	612	656	64,4	64,4	23,5	23,7
				<b>10</b>		<b>634</b>		<b>64,4</b>		<b>23,6</b>	
3	11h	31,8	40,9	7	9	523	567	64,7	64,5	23,1	23,7
	11h10	36,4	45,5	8	10	534	582	64,8	64,5	23,2	23,7
	11h20	31,8	45,5	7	10	501	589	65	64,5	23,2	23,5
	11h30	36,4	45,5	8	10	494	603	65,1	64,7	23,2	23,5
	11h40	22,7	27,3	5	6	481	512	65,1	64,7	23,2	23,5
	11h50	27,3	27,3	6	6	482	495	65,1	64,9	23,2	23,4
<i>Média</i>		31,1	38,6	7	9	503	558	65	64,6	23,2	23,6
				<b>8</b>		<b>530</b>		<b>64,8</b>		<b>23,4</b>	
4	12h	22,7	36,4	5	8	471	523	65,2	65	23,2	23,4
	12h10	36,4	36,4	8	8	563	531	65,4	65	23,3	23,4
	12h20	50	45,5	11	10	835	589	65,6	65	23,5	23,6
	12h30	59,1	54,5	13	12	902	667	65,9	65,2	23,6	23,6

	12h40	59,1	54,5	13	12	918	678	65,5	65,3	23,7	23,6
	12h50	45,5	45,5	10	10	878	601	65,7	65,3	23,7	23,7
<i>Média</i>		45,5	45,5	10	10	761	598	65,6	65,1	23,5	23,6
				<b>10</b>		<b>680</b>		<b>65,3</b>		<b>23,5</b>	
5	13h	45,5	45,5	10	10	656	668	65,9	65,4	23,7	23,6
	13h10	45,5	45,5	10	10	645	697	66,1	65,4	23,6	23,6
	13h20	50	45,5	11	10	661	702	66,4	65,4	23,6	23,6
	13h30	50	63,6	11	14	605	815	66,4	65,5	23,6	23,6
	13h40	68,2	63,6	15	14	735	889	66,4	65,7	23,5	23,4
	13h50	31,8	72,7	7	16	567	945	66,6	65,7	23,5	23,6
<i>Média</i>		48,5	56,01	11	12	649	786	66,3	65,5	23,6	23,6
				<b>12</b>		<b>715</b>		<b>65,9</b>		<b>23,6</b>	
6	14h	318	54,5	7	12	504	867	65,8	65,8	23,4	23,6
	14h10	27,3	36,4	6	8	497	605	66,9	66,1	23,4	23,6
	14h20	72,7	36,4	16	8	619	596	67,2	66,2	23,4	23,6
	14h30	63,6	63,6	14	14	538	786	67,1	66,5	23,6	23,6
	14h40	68,2	63,6	15	14	584	834	66,9	66,4	23,7	23,7
	14h50	77,3	72,7	17	16	602	823	66,8	66,4	23,7	23,7
<i>Média</i>		56,8	54,5	13	12	557	752	67	66,2	23,5	23,6
				<b>12</b>		<b>655</b>		<b>66,6</b>		<b>23,6</b>	
7	15h	72,7	72,7	16	16	610	912	66,6	66,4	23,8	23,7
	15h10	68,2	72,7	15	16	603	918	66,5	66,5	23,8	23,8
	15h20	72,7	81,8	16	18	595	954	6,5	66,5	23,8	23,8
	15h30	72,7	81,8	16	18	589	947	66,4	66,5	23,9	23,8
	15h40	54,5	63,6	12	14	573	889	66,4	66,4	23,8	23,8
	15h50	45,5	63,6	10	14	534	865	66,4	66,4	23,9	23,8
<i>Média</i>		64,4	72,7	14	16	584	914	66,5	66,5	23,8	23,8
				<b>15</b>		<b>749</b>		<b>66,5</b>		<b>23,8</b>	
8	16h	50	54,5	11	12	547	789	66,4	66,3	23,9	23,7
	16h10	45,5	54,5	10	12	536	768	66,4	66,3	23,9	23,9
	16h20	36,4	45,5	8	10	533	712	66,4	66,2	24	23,9
	16h30	36,4	45,5	8	10	568	694	66,3	66,2	24,2	23,9
	16h40	36,4	36,4	8	8	483	602	66,4	66	24,1	23,9
	16h50	27,3	36,4	6	8	467	587	66,4	66,2	24,1	23,9
<i>Média</i>		38,6	45,4	9	10	522	692	66,4	66,2	24,0	23,9
				<b>9</b>		<b>607</b>		<b>66,3</b>		<b>24</b>	
	17h00	31,8	36,4	7	8	472	534	66,5	66,1	24	23,8
<i>Média total</i>		44,8	47,9	10	10	583,4	675,2	65,7	65,3	23,6	23,7
		<b>46,4</b>		<b>10</b>		<b>629,3</b>		<b>65,5</b>		<b>23,6</b>	

### *Anexo III*

No trabalho de campo foi medida, para cada espaço específico, a variação da concentração de CO<sub>2</sub>, da humidade e da temperatura ao longo de 8h (tempo mínimo exigido por lei) durante dois dias (para haver maior credibilidade de dados) e a variação ocupacional do espaço. Porém, como no quarto duplo a permanência dos doentes é diurna (o quarto encontra-se com a porta aberta e por vezes com arejamento através da janela) e noturna (portas e janelas fechadas, assim como a ventilação se encontra ligada na potência mínima), a análise teve que ser particularizada. Foram analisados dois períodos de 8h, durante dois dias, para a ventilação máxima possível (73 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>), existente no quarto, e outros dois períodos de 8h, para a ventilação sugerida pelo modelo LNEC (45 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>) (ponto 4.1 tem os resultados verificados). Posteriormente foi feita uma análise noturna, um período de 8h para a ventilação máxima (73 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>) e outro período de 8h para a ventilação sugerida pelo modelo (45 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>) (ponto 4.1 tem os resultados verificados).

Na Tabela AIII/6 e Tabela AIII/7 pode-se ver os dados obtidos durante os dias de análise.

Tabela AIII16: Resultados obtidos nas medições no Quarto duplo (diurno).

		Amostra com caudal de 73 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>									
	Intervalo			Nº pessoas (máx. 3)		CO <sub>2</sub> ppm		Humidade (%)		Temperatura C°	
		Dia 1	Dia 2	Atual		Atual		Atual		Atual	
		Pessoas (%)	Pessoas (%)	Dia 1	Dia 2	Dia 1	Dia 2	Dia 1	Dia 2	Dia 1	Dia 2
1	9h	66,7	0	2	0	612	510	68,2	67,2	20,7	21,6
	9h10	66,7	33,3	2	1	587	489	67,9	66	20,8	22,2
	9h20	66,7	33,3	2	1	564	467	67,5	65	20,9	22,4
	9h30	66,7	33,3	2	1	523	456	67,2	64,3	21,2	22,4
	9h40	66,7	33,3	2	1	502	445	66,8	63,6	21,4	22,6
	9h50	66,7	33,3	2	1	499	423	66,7	63,1	21,5	22,7
<i>Média</i>		66,7	27,8	2	1	548	465	67,4	66,5	21,1	22,3
				<i>1</i>		<i>506</i>		<i>66,1</i>		<i>21,7</i>	
2	10h	66,7	33,3	2	1	496	433	66,4	62,8	21,7	22,7
	10h10	66,7	33,3	2	1	480	428	66,3	62,2	21,8	22,7
	10h20	66,7	33,3	2	1	479	412	66,2	61,9	21,8	22,6
	10h30	66,7	33,3	2	1	453	426	66,2	61,7	21,9	22,6
	10h40	66,7	33,3	2	1	467	419	66,1	61,4	22	22,6
	10h50	66,7	66,7	2	2	455	439	66	61,4	22,3	22,7
<i>Média</i>		66,7	38,9	2	1	472	426	66,2	61,9	21,9	22,7
				<i>2</i>		<i>449</i>		<i>64,1</i>		<i>22,3</i>	
3	11h	33,3	33,3	1	1	437	427	66	61,4	21,9	22,6
	11h10	33,3	33,3	1	1	435	409	66	60,9	21,8	22,6
	11h20	33,3	33,3	1	1	427	421	66	60,8	21,8	22,6
	11h30	33,3	33,3	1	1	423	423	65,9	60,5	21,7	22,8
	11h40	33,3	33,3	1	1	438	435	65,9	60,5	21,8	22,8
	11h50	33,3	33,3	1	1	444	438	65,9	60,2	21,8	22,8
<i>Média</i>		33,3	33,3	1	1	434	426	66	60,7	21,8	22,7
				<i>1</i>		<i>430</i>		<i>63,3</i>		<i>22,3</i>	
4	12h	33,3	33,3	1	1	428	426	65,7	60,2	21,9	22,8
	12h10	33,3	33,3	1	1	435	432	65,6	60	22	22,8
	12h20	33,3	33,3	1	1	422	419	65,6	60	22	22,9
	12h30	33,3	33,3	1	1	433	428	65,4	60	22,1	22,8
	12h40	33,3	33,3	1	1	435	435	65,2	60	22,1	22,8
	12h50	33,3	33,3	1	1	418	433	65	60	22,2	22,8
<i>Média</i>		33,3	33,3	1	1	429	429	65,4	60	22,1	22,8
				<i>1</i>		<i>429</i>		<i>62,7</i>		<i>22,4</i>	
5	13h	33,3	33,3	1	1	416	445	65	60	22,2	22,8
	13h10	33,3	33,3	1	1	425	436	64,9	60	22,3	22,8
	13h20	33,3	33,3	1	1	431	428	64,9	60	22,3	22,8
	13h30	33,3	33,3	1	1	438	456	64,8	59,9	22,3	22,8
	13h40	33,3	33,3	1	1	467	447	64,5	60	22,3	22,8
	13h50	33,3	33,3	1	1	437	431	64,5	60	22,3	22,8
<i>Média</i>		33,3	33,3	1	1	436	440	64,8	60	22,3	22,8
				<i>1</i>		<i>438</i>		<i>62,4</i>		<i>22,5</i>	
6	14h	33,	33,3	1	1	423	427	64,4	60	22,4	22,9
	14h10	33,3	33,3	1	1	436	438	64,4	60	22,3	22,8
	14h20	0	33,3	0	1	415	433	64,4	60	22,2	22,8
	14h30	0	100	0	3	402	456	64,4	60	22,2	22,8
	14h40	33,3	100	1	3	421	487	64,4	60	22,2	22,8
	14h50	33,3	100	1	3	432	495	64,4	60	22,2	22,8
<i>Média</i>		22,2	66,7	1	2	422	456	64,4	60	22,3	22,8
				<i>1</i>		<i>439</i>		<i>62,2</i>		<i>22,5</i>	

7	15h	33,3	100	1	3	447	502	64,4	60	22,2	23
	15h10	33,3	100	1	3	434	505	64,4	60	22,2	23
	15h20	33,3	100	1	3	428	503	64,4	60	22,1	23
	15h30	33,3	33,3	1	1	432	476	64,4	60	22,1	23
	15h40	33,3	33,3	1	1	443	456	64,4	60	22,1	23
	15h50	100	33,3	3	1	468	443	64,4	60	22,4	22,9
Média		44,4		1	2	442	481	64,4	60	22,2	23
				2		461		62,2		22,6	
8	16h	100	33,3	3	1	487	432	64,4	60,1	22,4	22,9
	16h10	66,7	33,3	2	1	482	437	64,4	60,1	22,4	22,9
	16h20	33,3	33,3	1	1	465	435	64,4	60,1	22,2	22,9
	16h30	33,3	33,3	1	1	445	428	64,4	60	22,1	22,9
	16h40	33,3	33,3	1	1	435	446	64,4	60	22,1	22,9
	16h50	33,3	33,3	1	1	432	429	64,4	60	22,1	22,9
Média		50	33,3	2	1	458	435	64,4	60,1	22,2	22,9
				1		446		62,2		22,6	
	17h00	33,3	33,3	1	1	436	432	64,4	60	22,1	22,9
Média total		43,8	41,7	1	1	455	445	65,4	60,9	22	22,7
		42,7		1		449,8		63,2		22,4	
Amostra com caudal de 45 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>											
	Intervalo			Nº pessoas (máx. 3)		CO <sub>2</sub> ppm		Humidade (%)		Temperatura C°	
		Dia 1	Dia 2	Condicionado		Condicionado		Condicionado		Condicionado	
		Pessoas (%)	Pessoas (%)	Dia 1	Dia 2	Dia 1	Dia 2	Dia 1	Dia 2	Dia 1	Dia 2
1	9h	66,7	66,7	2	2	505	512	66,8	65,5	23,6	22,5
	9h10	66,7	66,7	2	2	508	518	66,5	65,2	23,6	22,6
	9h20	66,7	66,7	2	2	508	524	66,4	64,9	23,7	22,6
	9h30	33,3	66,7	1	2	44	521	66,4	64,6	23,7	22,7
	9h40	33,3	33,3	1	1	480	501	66,3	64,5	23,7	22,7
	9h50	33,3	33,3	1	1	47	498	66,3	64,3	23,7	22,7
Média		50	55,6	1	2	494	512	66,5	64,8	23,7	22,6
				1		503,1		65,6		23,2	
2	10h	33,3	33,3	1	1	462	483	66,2	64,2	23,7	22,7
	10h10	33,3	33,3	1	1	457	476	66,1	64	23,7	22,7
	10h20	33,3	100	1	3	460	523	66	63,9	23,7	22,7
	10h30	33,3	100	1	3	455	535	65,9	63,8	23,7	22,7
	10h40	66,7	100	2	3	492	541	65,7	63,8	23,8	22,7
	10h50	33,3	66,7	1	2	467	527	65,5	63,8	23,8	22,7
Média		38,9	72,2	1	2	466	514	65,9	63,9	23,7	22,7
				2		490		64,9		23,2	
3	11h	66,7	66,7	2	2	5001	518	65,4	63,7	23,8	22,7
	11h10	33,3	66,7	1	2	498	523	65,4	63,6	23,8	22,7
	11h20	33,3	33,3	1	1	487	512	65,3	63,6	23,8	22,8
	11h30	33,3	33,3	1	1	482	499	65,2	63,6	23,9	22,8
	11h40	0	33,3	0	1	453	478	65,2	63,6	23,9	22,8
	11h50	0	33,3	0	1	439	467	65	63,5	23,9	22,8
Média		27,8	44,4	1	1	477	500	65,3	63,6	23,9	22,8
				1		488		64,4		23,3	
4	12h	0	66,7	0	2	433	498	64,9	63,4	23,7	22,9
	12h10	0	66,7	0	2	421	507	64,8	63,3	23,7	22,8
	12h20	0	66,7	0	2	419	512	64,9	63,2	23,7	22,8
	12h30	33,3	33,3	1	1	445	489	64,8	63,2	23,7	22,8
	12h40	33,3	33,3	1	1	468	478	64,7	63,2	23,8	22,8
	12h50	33,3	33,3	1	1	474	480	64,6	63,2	23,8	22,8
Média		16,7	50	1	2	443	494	64,8	63,3	23,7	22,8
				1		469		64,1		23,3	

5	13h	66,7	33,3	2	1	496	482	64,5	63,1	23,9	22,8
	13h10	0	100	0	3	465	525	64,5	63,1	23,9	22,8
	13h20	33,3	66,7	1	2	476	532	64,4	62,9	24	22,8
	13h30	33,3	66,7	1	2	42	521	64,4	63	24	22,8
	13h40	33,3	66,7	1	2	502	529	64,3	63	24	23
	13h50	66,7	66,7	2	2	521	541	64,3	63	24	23
Média		38,9	66,7	1	2	490	522	64,4	63	24	22,9
				2		506		63,7		23,4	
6	14h	33,3	33,3	1	1	500	504	64,3	63	24	22,9
	14h10	33,3	33,3	1	1	487	487	64,3	62,9	24	22,9
	14h20	33,3	33,3	1	1	47	468	64,2	62,9	23,9	22,9
	14h30	33,3	33,3	1	1	480	473	64,1	62,8	23,9	22,9
	14h40	33,3	33,3	1	1	483	487	64,1	62,8	23,9	22,9
	14h50	100	33,3	3	1	528	479	64,1	62,7	23,9	22,9
Média		44,4	33,3	1	1	493	482	64,2	62,9	23,9	22,9
				1		487		63,5		23,4	
7	15h	100	0	3	0	545	454	64,2	62,8	24	23
	15h10	100	0	3	0	571	435	64,1	62,7	24	23,2
	15h20	66,7	33,3	2	1	546	447	64,1	62,6	24	23,1
	15h30	66,7	33,3	2	1	534	465	64,2	62,6	23,9	23,1
	15h40	33,3	33,3	1	1	508	469	64,1	62,5	23,9	23,1
	15h50	33,3	33,3	1	1	489	474	64,1	62,5	23,9	23,1
Média		66,7	22,2	2	1	532	457	64,1	62,6	24	23,1
				1		495		63,4		23,5	
8	16h	33,3	66,7	1	2	474	502	64,1	62,4	23,8	23,2
	16h10	33,3	66,7	1	2	478	513	64,1	62,4	23,8	23,2
	16h20	33,3	33,3	1	1	481	501	64,1	62,4	23,8	23,2
	16h30	33,3	33,3	1	1	469	487	64	62,4	23,8	23,2
	16h40	33,3	66,7	1	2	476	499	64	62,3	23,8	23,2
	16h50	33,3	33,3	1	1	489	486	64	62,4	23,8	23,2
Média		33,3	50	1	2	478	498	64,1	62,4	23,8	23,2
				2		488		63,2		23,5	
	17h00	66,7	33,3	2	1	499	480	64,1	62,4	23,8	23,2
Média total		39,6	49,3	1	1	484	497	64,9	63,3	23,8	22,8
		44,4		1		490		64,1		23,4	

Tabela AIII17: Resultados obtidos nas medições no Quarto duplo (noturno).

	Intervalo	Pessoas (%)	Nº pessoas (máx. 3)		CO <sub>2</sub> ppm		Humidade (%)		Temperatura C°	
			Atual		Atual		Atual		Atual	
			73m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>	45m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>	73m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>	45m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>	73m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>	45m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>	73m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>	45m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>
1	9h	66,7	2	2	601	637	66,2	66,4	23,2	23,6
	9h10	50	2	1	578	615	65,9	66,2	23,3	23,6
	9h20	33,3	2	0	545	598	65,8	66,1	23,3	23,7
	9h30	0	0	0	512	545	65,8	65,9	23,3	23,7
	9h40	33,3	0	2	489	589	65,7	65,9	23,4	23,7
	9h50	50	1	2	494	607	65,7	65,9	23,4	23,7
<i>Média</i>		38,9	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>537</i>	<i>599</i>	<i>65,9</i>	<i>66,1</i>	<i>23,3</i>	<i>23,7</i>
			<i>1</i>		<i>568</i>		<i>66</i>		<i>23,5</i>	
2	10h	33,3	1	1	503	578	65,6	65,8	23,5	23,8
	10h10	33,3	1	1	510	550	65,5	65,7	23,5	23,8
	10h20	50	2	1	53	538	65,5	65,8	23,6	23,8
	10h30	66,7	2	2	564	601	65,4	65,7	23,6	23,7
	10h40	66,7	2	2	553	645	65,3	65,7	23,6	23,8
	10h50	50	1	2	527	657	65,3	65,5	23,7	23,8
<i>Média</i>		50	2	2	532	595	65,4	65,7	23,6	23,8
			<i>2</i>		<i>563</i>		<i>65,6</i>		<i>23,7</i>	
3	11h	83,3	3	2	578	678	65,3	65,5	23,7	23,8
	11h10	66,7	2	2	562	659	65,2	65,5	23,8	23,9
	11h20	50	2	1	539	606	65	65,4	23,8	23,9
	11h30	50	1	2	491	634	64,9	65,4	23,8	23,9
	11h40	50	1	2	502	652	64,9	65,4	23,9	23,9
	11h50	50	1	2	512	661	64,8	65,3	23,9	23,9
<i>Média</i>		58,3	2	2	531	648	65	65,4	23,8	23,9
			<i>2</i>		<i>590</i>		<i>65,2</i>		<i>23,9</i>	
4	12h	33,3	1	1	508	542	64,8	65,1	24	24
	12h10	33,3	1	1	513	548	64,7	65,1	23,9	24,1
	12h20	33,3	1	1	504	546	64,7	64,9	24	24,1
	12h30	50	2	1	517	557	64,6	64,9	23,9	24
	12h40	66,7	2	2	534	662	64,5	64,8	23,9	24,1
	12h50	50	1	2	507	675	64,5	64,7	23,9	24,2
<i>Média</i>		44,4	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>514</i>	<i>588</i>	<i>64,6</i>	<i>64,9</i>	<i>23,9</i>	<i>24,1</i>
			<i>1</i>		<i>551</i>		<i>64,8</i>		<i>24</i>	
5	13h	50	2	1	545	564	64,6	64,7	23,9	24,2
	13h10	50	2	1	569	562	64,5	64,7	23,9	24,3
	13h20	66,7	2	2	576	589	64,4	64,6	23,8	24,3
	13h30	50	1	2	545	602	64,4	64,6	23,8	24,3
	13h40	66,7	2	2	564	635	64,4	64,6	23,7	24,2
	13h50	50	1	2	537	658	64,3	64,5	23,8	24,2
<i>Média</i>		55,6	2	2	556	602	64,4	64,6	23,8	24,3
			<i>2</i>		<i>579</i>		<i>64,5</i>		<i>24</i>	
6	14h	16,7	1	0	518	603	64,2	64,5	23,8	24,2
	14h10	33,3	1	1	510	576	64,3	64,5	23,9	24,2
	14h20	33,3	1	1	512	565	64,2	64,4	23,7	24,1
	14h30	66,7	2	2	538	589	64,2	64,5	23,8	24,1
	14h40	66,7	2	2	565	612	64,1	64,5	23,8	24
	14h50	16,7	0	1	498	591	64,1	64,4	23,8	24
<i>Média</i>		38,9	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>524</i>	<i>589</i>	<i>64,2</i>	<i>64,5</i>	<i>23,8</i>	<i>24,1</i>
			<i>1</i>		<i>556</i>		<i>64,3</i>		<i>24</i>	
7	15h	16,7	0	1	456	576	64	64,3	23,9	24
	15h10	83,3	3	2	489	621	64,1	64,3	23,8	24
	15h20	33,3	2	0	524	576	64	64,3	23,8	24

	15h30	33,3	1	1	506	567	63,9	64,2	23,8	24,1
	15h40	50	1	2	496	598	63,9	64,2	23,8	24,1
	15h50	83,3	2	3	509	637	63,9	64,3	23,8	24,2
<i>Média</i>		50	2	2	497	596	64	64,2	23,8	24
			<b>2</b>		<b>546</b>		<b>64,1</b>		<b>23,9</b>	
8	16h	50	2	1	532	607	63,9	64,2	23,7	24,1
	16h10	50	2	1	537	587	63,8	64,1	23,8	24,1
	16h20	50	1	2	522	614	63,8	64,2	23,8	24,1
	16h30	33,3	1	1	505	598	63,8	64,1	23,8	24,1
	16h40	33,3	1	1	506	576	63,8	64,1	23,8	24,1
	16h50	50	1	2	502	601	63,7	64	23,8	24,1
<i>Média</i>		44,4	1	1	517	597	63,8	64,1	23,8	24,1
			<b>1</b>		<b>557</b>		<b>64</b>		<b>23,9</b>	
	17h00	66,7	2	2	535	636	63,7	64	23,8	24,1
<b><i>Média total</i></b>		<b>47,6</b>	<b>1</b>		<b>526</b>	<b>602</b>	<b>64,7</b>	<b>64,9</b>	<b>23,7</b>	<b>24</b>

#### *Anexo IV*

No trabalho de campo foi medida, para cada espaço específico, a variação da concentração de CO<sub>2</sub>, da humidade e da temperatura ao longo de 8h (tempo mínimo exigido por lei) durante dois dias (para haver maior credibilidade de dados) e a variação ocupacional do espaço. Na Tabela IV/8 pode-se ver os dados obtidos durante os dias de análise.

Tabela IV18: Resultados obtidos nas medições na Sala pedagógica.

	Intervalo			Nº pessoas (máx. 15)		CO <sub>2</sub> ppm		Humidade (%)		Temperatura C°	
		Dia 1	Dia 2	Atual		Atual		Atual		Atual	
		Pessoas (%)	Pessoas (%)	Dia 1	Dia 2	Dia 1	Dia 2	Dia 1	Dia 2	Dia 1	Dia 2
1	9h	0	0	0	0	398	402	66,4	68,9	23,5	23,5
	9h10	6,7	0	1	0	405	399	66,2	68,9	23,5	23,5
	9h20	6,7	6,7	1	1	409	412	65,9	68,8	23,5	23,6
	9h30	20	13,3	3	2	432	423	65,7	68,8	23,6	23,7
	9h40	26,7	33,3	4	5	456	449	65,6	68,8	23,7	23,7
	9h50	26,7	20	4	3	452	438	65,5	68,8	23,7	23,7
<i>Média</i>		14,4	12,2	2	2	425	421	65,9	68,8	23,6	23,6
2	10h	20	20	3	3	449	452	65,4	68,7	23,7	23,7
	10h10	20	33,3	3	5	451	478	65,5	68,7	23,7	23,8
	10h20	26,7	26,7	4	4	468	469	65,4	68,7	23,8	23,9
	10h30	33,3	26,7	5	4	480	463	65,4	68,7	23,9	24,1
	10h40	40	53,3	6	8	509	507	65,1	68,7	24,1	24,2
	10h50	33,3	66,7	5	10	493	512	65,3	68,6	24,2	24,3
<i>Média</i>		28,9	37,8	4	6	475	480	65,4	68,7	23,9	24
3	11h	33,3	46,7	5	7	479	501	65,3	68,2	24,3	24,8
	11h10	26,7	46,7	4	7	470	503	65,3	67,9	24,4	25,1
	11h20	33,3	46,7	5	7	488	487	65,2	67,8	24,5	25
	11h30	46,7	60	7	9	491	497	65,2	67,8	24,5	24,9
	11h40	53,3	53,3	8	8	508	490	65,3	67,8	24,5	24,8
	11h50	53,3	60	8	9	512	478	65,4	68,2	24,5	24,4
<i>Média</i>		41,1	52,2	6	8	491	493	65,3	68	24,5	24,8
4	12h	53,3	60	8	9	523	492	65,4	68,1	24,4	24,7
	12h10	33,3	53,3	5	8	487	507	65,5	68	24,5	25
	12h20	26,7	46,7	4	7	432	492	65,6	67,7	24,4	25,1
	12h30	26,7	46,7	4	7	413	490	65,6	67,5	24,5	25,3
	12h40	33,3	60	5	9	438	515	65,5	67,5	24,6	25,2
	12h50	40	60	6	9	446	552	65,4	67,7	24,8	25,1
<i>Média</i>		35,6	54,4	5	8	457	508	65,5	67,8	24,5	25,1
5	13h	46,7	60	7	9	467	565	65,1	67,7	25	25,1
	13h10	60	53,3	9	8	478	516	64,9	67,7	24,9	25,1
	13h20	60	60	9	9	502	543	64,6	67,7	25,3	25,2
	13h30	53,3	66,7	8	10	50	557	64,3	67,6	25,2	25,3
	13h40	66,7	53,3	10	8	523	481	63,8	67,4	25,2	25,3
	13h50	73,3	66,7	11	10	534	475	63,5	67,4	25,6	25,2
<i>Média</i>		60	60	9	9	502	523	64,4	67,6	25,2	25,2
6	14h	46,7	60	7	9	467	490	63,3	67,4	25,7	25,1
	14h10	60	46,7	9	7	459	456	63,1	67,5	25,5	24,8
	14h20	60	40	9	6	429	442	63,2	67,7	25,3	24,5
	14h30	80	26,7	12	4	483	438	63,1	67,7	25	24,4
	14h40	66,7	26,7	10	4	444	427	63,3	67,7	25,3	24,1
	14h50	66,7	33,3	10	5	427	425	63,3	67,8	25,3	24,2
<i>Média</i>		63,3	38,9	10	6	452	446	63,2	67,6	25,4	24,5
7	15h	66,4	26,7	10	4	431	418	63,3	67,7	25,3	24,1

	15h10	73,3	33,3	11	5	473	424	63,2	67,6	25,4	24,3
	15h20	53,3	40	8	6	450	440	63,4	67,3	25,4	24,5
	15h30	53,3	33,3	8	5	447	438	63,4	67,1	25,3	24,7
	15h40	53,3	26,7	8	4	477	429	63,4	67,3	25,3	24,6
	15h50	20	26,7	3	4	435	432	63,5	67,2	25,2	24,6
<i>Média</i>		53,3	31,1	8	5	452	430	63,4	67,4	25,3	24,5
				<b>6</b>		<b>441</b>		<b>65,4</b>		<b>24,9</b>	
8	16h	13,3	26,7	2	4	412	438	63,5	67	25	24,5
	16h10	13,3	26,7	2	4	408	422	63,5	66,9	24,9	24,5
	16h20	13,3	26,7	2	4	402	428	63,4	66,9	24,9	24,5
	16h30	0	20	0	3	398	419	63,4	66,9	24,9	24,5
	16h40	6,6	13,3	1	2	407	408	63,4	66,9	24,9	24,5
	16h50	20	13,3	3	2	436	415	63,4	67,1	24,8	24,4
<i>Média</i>		11,1	21,1	2	3	411	422	63,4	67	24,9	24,5
				<b>2</b>		<b>416</b>		<b>65,2</b>		<b>24,7</b>	
	17h00	6,7	6,7	1	1	413	402	63,4	67	24,8	24,4
<i>Média total</i>		38,5	38,5	5,8	5,7	458	465	64,6	67,8	24,7	24,5
		<b>38,5</b>		<b>5,7</b>		<b>462</b>		<b>66,2</b>		<b>24,6</b>	