



UNIVERSIDADE DO ALGARVE
INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA

Análise da Qualidade do Ar Interior em Edifícios Escolares

Mestrado em Energia e Climatização de Edifícios

Setembro 2011

UNIVERSIDADE DO ALGARVE
INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA

Análise da Qualidade do Ar Interior em Edifícios Escolares

Carlos António Gonçalves Nascimento

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Energia e Climatização de Edifícios

Orientadores:

Prof. Dr. António Manuel de Sousa Baltazar Mortal

Prof. João Vicente Madeira Lopes

Setembro 2011

Agradecimentos

Aos orientadores Prof. Doutor António Mortal e Prof. João Lopes expresso os mais sinceros agradecimentos pela valiosa e indispensável orientação, apoio, dedicação e por todo o conhecimento transmitido.

Gostaria de agradecer aos professores Armando Inverno, Paula Cabral e Sérgio Anastácio pela inteira disponibilidade que sempre demonstraram para que durante as suas aulas se pudesse efectuar as medições.

Também agradeço aos colegas da turma do 2º Mestrado de Energia e Climatização de Edifícios, turma do 1º e 2º ano de Engenharia Alimentar 2010/2011, turma do Curso de Especialização Tecnológica em Instalações Solares 2010/2011, pela disponibilidade para participar como “ocupantes” nas medições, algumas delas em condições de desconforto.

Ao concluir este trabalho quero manifestar a todas as pessoas, nomeadamente os amigos Graça Nascimento, Paula Duarte, António Barras e Bruno Carmo, que de diferentes formas contribuíram para a realização do trabalho, o meu agradecimento.

Dedico este trabalho aos meus filhos e esposa, pelo apoio, compreensão e pela força que me deram para ultrapassar alguns momentos mais difíceis.

Resumo

Com este trabalho pretende-se aprofundar os conhecimentos da forma como evoluem alguns dos parâmetros físicos e químicos, analisados no âmbito da qualidade do ar interior, em salas de aula com diferentes sistemas de ventilação.

As salas de aula são espaços com elevado índice de concentração de ocupantes, com ciclos de utilização não uniformes.

O nível de concentrações de CO₂ neste tipo de espaços é revelador da qualidade da ventilação, pelo que normalmente se assume, que se os níveis de CO₂ estiverem dentro dos limites recomendados os restantes poluentes que dependem directamente da ventilação, muito provavelmente o estarão.

Este estudo analisa quatro tipos de salas de aula existentes no Campus da Penha em Faro, com e sem sistemas de ventilação mecânicos, procurando simular a utilização normal das salas.

Com os resultados das medições e com equações matemáticas conhecidas, foi estabelecido um conjunto de cálculos numa folha de cálculo, comparando-a com a evolução da situação real, e deste modo testar um modelo que possa permitir a simulação de outros tipos de utilização, alterar caudais de ar novo, números de ocupantes, volume da sala, nível de actividade e dados antropométricos dos ocupantes.

Verificou-se que nas salas sem sistemas de ventilação, só com as janelas abertas será possível manter os poluentes abaixo dos valores indicados no RSECE, mesmo assim nunca com o máximo de ocupantes.

Nas salas de aula com sistemas de ventilação mecânica os caudais ar novo indicados no projecto estão abaixo dos níveis actualmente definidos pelo RSECE. A manutenção dos sistemas de AVAC é inexistente, os filtros de ar estão totalmente colmatados, pondo em perigo as condições de higiene do ar. Em algumas das salas de aula, também foi verificado que alguns dos contaminantes têm valores acima dos valores definidos pelo RSECE, com especial atenção para o CO₂, compostos orgânicos voláteis e partículas PM₁₀.

Palavras chave

qualidade do ar interior, QAI, poluentes AVAC, ventilação, escolas

Abstract

The aim of this work is to study and analyze the behavior of some of the physical and chemical parameters related with the indoor air quality, in classrooms with different ventilation systems.

The classrooms are spaces with a high occupant density and non-uniform cycles of use.

The CO₂ concentration level is a good indicator of the quality of the ventilation, so it can be assumed that if the CO₂ concentration level is in the recommended concentration limits, the other pollutants that are directly dependent on the ventilation are probably in the limits too.

This study analyzes four types of classrooms at the Universidade of Algarve in Campus da Penha in Faro, with and without mechanical ventilation systems, in common use of the classrooms.

With the measurement results and mathematical equations, it was established a model in a spreadsheet, that allows the simulation with different use conditions, like to change the outside airflows, the occupancy, the room volume, the level of activity and the anthropometric data of the occupants.

It can be concluded that in the classrooms without mechanical ventilation it is possible to maintain the pollutants below the values define by RSECE, if the windows are open, and the number of occupants are inferior to the maximum.

In the classrooms with mechanical ventilation the outdoor air considered in the project are below the levels defined by RSECE. The maintenance of the HVAC systems is inexistent, and the air filters are very dirty, to endanger the hygienic conditions of the air. In some classrooms, it was also verified that some contaminants have values above values defined by RSECE, with special attention to the CO₂, VOCs and PM₁₀ particles.

Keywords

Indoor air quality, IAQ, pollutants, HVAC, ventilation, schools

ÍNDICE GERAL

Página

Resumo.....	iv
Abstract.....	v
ÍNDICE GERAL.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABELAS.....	xi
Lista de abreviaturas	xii
1 - Introdução.....	1
1.1 - Enquadramento	3
1.2 - Objectivo.....	5
1.3 - Organização	6
1.4 - Metodologias.....	7
2 - Qualidade do ar interior.....	9
2.1 - Poluentes	9
2.1.1 - Poluentes físico-químicos	9
2.1.1.1 - Partículas em suspensão no ar	9
2.1.1.2 - Dióxido de Carbono (CO ₂)	11
2.1.1.3 - Monóxido de Carbono	11
2.1.1.4 - Ozono.....	11
2.1.1.5 - Compostos orgânicos voláteis (COVs).....	13
2.1.1.6 - Formaldeído	14
2.1.1.7 - Radão	14
2.1.2 - Amianto.....	15
2.1.3 - Poluentes microbiológicos	18
2.1.3.1 - Bactérias.....	18
2.1.3.2 - Fungos.....	19
2.1.3.3 - Legionella	21
2.1.4 - Alergenos de ácaros	22
2.2 - Legislação, normas e regulamentos da QAI	23
2.2.1 - Legislação Portuguesa	25
2.2.1.1 - Concentrações máximas de referência (RSECE):	26
2.2.1.2 - Nota técnica NT-SCE-02	26
2.2.2 - Resumo das normas utilizadas no cálculo da ventilação	26
2.2.2.1 - Standard 62.1, ANSI/ASHRAE.....	27
2.2.2.2 - EN 13779 - requisitos do desempenho da ventilação para sistemas de ventilação e ar condicionado	28

2.3 - Equipamentos de medição usados na campanha.....	31
2.3.1 - Sonda multi-gas	31
2.3.2 - Contador de partículas	32
3 - Sistemas climatização e ventilação, seu impacto da QAI	34
3.1 - Introdução	34
3.2 - Objectivos da ventilação	35
3.3 - Especificações dos tipo de ar	38
3.4 - Sistemas de climatização	38
3.4.1 - Classificação em função do fluido térmico.....	39
3.4.1.1 - Sistemas tudo ar	39
3.4.1.2 - Sistemas ar água.....	39
3.4.1.3 - Sistemas tudo água.....	40
3.4.1.4 - Sistemas tudo refrigerante	40
3.4.2 - Classificação em função da área que o sistema irá climatizar	41
3.4.3 - Classificação em função do nível de segurança.....	42
3.5 - Tipos de ventilação	42
3.5.1 - Ventilação natural	42
3.5.2 - Ventilação mecânica	44
3.5.2.1 - Sistema por deslocamento “Displacement”	45
3.5.2.2 - Sistema por mistura	47
3.5.3 - Sistemas híbridos	47
3.6 - Recuperadores de calor	48
3.6.1 - Roda térmica	48
3.6.2 - Roda térmica higroscópica.....	49
3.6.3 - Fluxos cruzados	49
3.6.4 - Sistema tubos de calor “Heat Pipes”	50
3.6.5 - Sistema “run around coil”	51
3.7 - Free cooling.....	51
3.8 - Filtros	52
3.9 - Manutenção e operação dos sistemas da QAI.....	53
3.9.1 - Introdução	53
3.9.2 - Manutenção preventiva.....	54
3.9.3 - Manutenção correctiva.....	55
3.9.4 - Manutenção melhorativa.....	55
4 - Modelação numérica dos parâmetros da QAI	56
4.1 - Conforto térmico	56
4.1.1 - Cálculo do índice PMV.....	59
4.1.2 - Percentagem de pessoas insatisfeitas - PPD:	61
4.2 - Simulação evidenciando a relação entre a emissão de CO ₂ e caudal de renovação	62

4.3 - Cálculo da evolução temporal do CO ₂	65
4.3.1 - Simulação da evolução temporal da concentração de CO ₂	67
4.4 - Critério de conformidade NT-SCE-02.....	68
5 - Caracterização do espaço escolar em estudo	70
5.1 - Salas sem sistema de ventilação mecânica	72
5.1.1 - Sala nº 165	72
5.1.2 - Sala nº 136	73
5.2 - Salas e auditório com ar condicionado e renovação de ar	73
5.2.1 - Auditório 0.4	73
5.2.2 - Sala nº 2.13	76
5.2.3 - Sala nº 6	77
5.3 - Melhorias dos actuais sistemas	78
6 - Campanha de medições	80
6.1 - Salas sem sistemas de ventilação	81
6.2 - Auditório com ar condicionado e renovação de ar	87
6.3 - Salas aula com ar condicionado e renovação de ar	90
7 - Análise dos resultados.....	97
7.1 - Salas aula sem renovação de ar.....	97
7.1.1 - Propostas para melhorias da QAI nas salas 136 e 165.....	103
7.2 - Auditório com ar condicionado e renovação de ar	104
7.2.1 - Propostas para melhorias da QAI no auditório 0.04.....	108
7.3 - Salas aula com ar condicionado e renovação de ar.....	108
7.3.1 - Propostas para melhorias da QAI na sala 2.13	113
7.3.2 - Propostas para melhorias da QAI na sala 6	115
8 - Conclusão	116
8.1 - Sugestões para trabalhos futuros.....	118
9 - Bibliografia	119
Anexos	123
9.1 - Anexo 1 – tabela comparativa de vários poluentes da QAI, com os limites admitidos em várias normas.....	124
9.2 - Anexo 2 – Apresentação dos dados da folha cálculo da concentração de equilíbrio de CO ₂ em função do caudal de ar novo e idade dos ocupantes.....	125
9.3 - Anexo 3 – Apresentação dos dados da folha de cálculo da simulação da evolução temporal da concentração de CO ₂	127

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - deposição de partículas no aparelho respiratório (Leila S. R. Brickus, 1999).....	10
Figura 2 - mineral bruto	16
Figura 3 - fibras de amianto ao microscópio electrónico	16
Figura 4 - remoção de telha de fibrocimento	17
Figura 5 - evolução dos requisitos da ASHRAE 62, (European Collaborative Action, 2003).....	24
Figura 6 - concentrações máximas de referência do RSECE.....	26
Figura 7 - fontes poluidoras com efeitos na saúde, adaptado (European Collaborative Action, 2003) ...	27
Figura 8 - multi-sonda IQ-610	32
Figura 9 - medidor de partículas, modelo 3016 IAQ	33
Figura 10 - tipos de ar segundo EN 13779.....	38
Figura 11 – esquema principio sistema difusão por deslocamento	46
Figura 12 – esquema principio sistema difusão por mistura	47
Figura 13 – recuperador de calor com roda térmica.....	48
Figura 14 – recuperador de calor de fluxos cruzados.....	49
Figura 15 – recuperador de calor tipo tubos de calor “Heat Pipes	50
Figura 16 – recuperador de calor tipo “run around coil”	51
Figura 17- tipos de manutenção	54
Figura 18 - escala de sensação térmica usada pelo índice PMV	58
Figura 19 – categorias de ambiente térmico, índices PPD	58
Figura 20 - relação entre o PMV e o PPD, adaptado (ASHRAE Standard 55P)	61
Figura 21 – relação PMV e PPD.....	62
Figura 22 - concentração equilíbrio CO ₂ , em função do caudal de ar novo.....	64
Figura 23 - equação geral da evolução temporal da concentração média de um poluente num espaço unizona (Alfano, 2010)	66
Figura 24 – simulação da evolução temporal da concentração de CO ₂ , durante um dia de aulas.....	68
Figura 25 – localização do Campus da Penha em Faro.....	71
Figura 26 – edifício do Instituto Superior Engenharia.....	71
Figura 27 - edifícios complexo pedagógico.....	72
Figura 28 - sala 165	73
Figura 29 - projecto rede condutas, auditórios piso 0	74
Figura 30 - auditório 0.04	75
Figura 31 - filtro unidade insuflação de ar novo, auditório 0.04.....	75
Figura 32 - projecto rede condutas, 2º piso (parcial)	76
Figura 33 - sala 2.13	77
Figura 34 - sala 6	78
Figura 35– evolução do CO ₂ campanha medições do dia 27 Setembro 2010, sala 165.....	82
Figura 36 - evolução do COV _s campanha medições do dia 27 Setembro 2010, sala 165.....	82
Figura 37 – evolução do CO ₂ campanha medições do dia 18 Outubro 2010, sala 136.....	84

Figura 38 - evolução do COV _s campanha medições do dia 18 Outubro 2010, sala 136.....	84
Figura 39 – evolução do CO ₂ campanha medições do dia 19 Outubro 2010, sala 136.....	86
Figura 40 - evolução do COV _s campanha medições do dia 19 Outubro 2010, sala 136.....	86
Figura 41 - evolução da concentração CO ₂ campanha medições do dia 15 Março 2011, auditório 0.4 ..	88
Figura 42 - evolução da concentração COVs campanha medições do dia 15 Março 2011, auditório 0.488	
Figura 43 – evolução da concentração CO ₂ campanha medições do dia 22 Março 2011, auditório 0.4..	89
Figura 44 - evolução da concentração COVs campanha medições do dia 22 Março 2011, auditório 0.490	
Figura 45 – evolução da concentração CO ₂ campanha medições do dia 24 Março 2011, sala 2.13.....	91
Figura 46 - evolução da concentração COVs campanha medições do dia 24 Março 2011, sala 2.13	91
Figura 47 – evolução da concentração CO ₂ campanha medições do dia 31 Março 2011, sala 2.13.....	92
Figura 48 – evolução da concentração COVs campanha medições do dia 31 Março 2011, sala 2.13.....	93
Figura 49 – evolução da concentração CO ₂ campanha medições do dia 7 Abril 2011, sala 2.13.....	94
Figura 50 – evolução da concentração COVs campanha medições do dia 7 Abril 2011, sala 2.13.....	94
Figura 51 – evolução da concentração CO ₂ campanha medições do dia 2 Maio 2011, sala 6.....	95
Figura 52 – evolução da concentração COVs campanha medições do dia 2 Maio 2011, sala 6.....	96
Figura 53 – campanha medição do dia 27/9/2010, sala 165	98
Figura 54 - campanha medição do dia 18/10/2010, sala 136.....	99
Figura 55 - campanha medição do dia 19/10/2010, sala 136.....	102
Figura 56 – resumo evolução CO ₂ nos vários ensaios, sala 136	103
Figura 57 - campanha medição do dia 15/3/2011, auditório 0.4.....	105
Figura 58 - campanha medição do dia 22/3/2011, auditório 0.4.....	107
Figura 59 - campanha medição do dia 24/3/2011, sala 2.13	109
Figura 60 - campanha medição do dia 31/3/ 2011, sala 2.13	110
Figura 61 - campanha medição do dia 7/4/2011, sala 2.13	111
Figura 62 – evoluções da concentração CO ₂ , medido nas várias campanhas da sala 2.13.....	112
Figura 63 - campanha medição do dia 2/5/2011, sala 6.....	114

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – categorias do ar exterior em função dos níveis de concentração dos poluentes, EN13779:2003	29
Tabela 2 – tipos de ar interior em função dos níveis de CO ₂ e caudais de ar novo, EN13779:2006.....	29
Tabela 3 – classe de filtro mínima recomendada em função da QAI pretendida, EN13779:2006.....	30
Tabela 4 - resumo campanha medições do dia 27 Setembro 2010, sala 165	81
Tabela 5 - resumo campanha medições do dia 18 Outubro 2010, sala 136	83
Tabela 6 - resumo campanha medições do dia 19 Outubro 2010, sala 136	85
Tabela 7 - resumo campanha medições do dia 15 Março 2011, auditório 0.4	87
Tabela 8 - resumo campanha medições do dia 22 Março 2011, auditório 0.4	89
Tabela 9 - resumo campanha medições do dia 24 Março 2011, sala 2.13	90
Tabela 10 - resumo campanha medições do dia 31 Março 2011, sala 2.13	92
Tabela 11 - resumo campanha medições do dia 7 Abril 2011, sala 2.13	93
Tabela 12 - resumo campanha medições do dia 2 Maio 2011, sala 6	95
Tabela 13 – quadro resumo de verificação de conformidade com RSECE, dia 27/09/2010, sala 165	98
Tabela 14 - quadro resumo de verificação de conformidade com RSECE, dia 18/10/ 2010, sala 136 ..	100
Tabela 15 - quadro resumo de verificação de conformidade com RSECE, dia 19/10/2010, sala 136 ...	102
Tabela 16 - quadro resumo de verificação de conformidade com RSECE, dia 15/3/ 2011, auditório 0.4	106
Tabela 17 - quadro resumo de verificação de conformidade com RSECE, dia 22/3/2011, auditório 0.4	107
Tabela 18 - quadro resumo de verificação de conformidade com RSECE, dia 24/3/2011, sala 2.13	109
Tabela 19 - quadro resumo de verificação de conformidade com RSECE, dia 31/3/2011, sala 2.13	110
Tabela 20 - quadro resumo de verificação de conformidade com RSECE, dia 7/4/2011, sala 2.13	111
Tabela 21 - quadro resumo de verificação de conformidade com RSECE, dia 2/5/2011, sala 6	114

Lista de abreviaturas

ADENE	Agência para a Energia
APA :	Agência Portuguesa do Ambiente
ASHRAE :	American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
AVAC :	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
CEN :	Comité Europeu de Normalização
CO :	monóxido de carbono
CO₂ :	dióxido de carbono
COV's :	Compostos Orgânicos Voláteis
EPA :	Environmental Protection Agency
EUA :	Estados Unidos da América
ISO :	International Organization for Standardization
OMS :	Organização Mundial de Saúde
PM :	Partícula (particulate matter)
PMV :	Predicted Mean Vote (voto médio estimado)
PPD :	Predicted Percentage of Dissatisfied
ppm :	partes por milhão
QAI :	qualidade do ar interior
RCCTE :	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RPH :	Renovações por hora
RSECE :	Regulamento dos Sistemas Energético e de Climatização dos Edifícios
SCE :	Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios
µg/m³ :	Micrograma por metro cúbico
UFC :	unidades formadoras colónias
UTA :	unidade de tratamento de ar
VAV :	sistema ventilação de volume de ar variável
VRV :	sistema de volume de refrigerante variável
VC :	sistema ventilação de volume constante

1 - Introdução

Alguns dos factores que contribuem para a má qualidade do ar interior podem ter origem no projecto de climatização inadequado, outros podem ser apenas no controlo da gestão do edifício, tais como a manutenção do sistema de climatização e da quantidade de ar exterior insuflado para os espaços.

Outro tipo de factores está relacionado com a ocupação dos edifícios, nomeadamente os materiais utilizados nas obras de renovação, de produtos e acessórios que são utilizados na construção, exemplo disto são os revestimentos, pinturas e mobiliário.

Na limpeza e manutenção geral do edifício é necessária a colaboração tanto da gestão do edifício, como de todas as pessoas que trabalham ou utilizam o mesmo. Por estas razões, a qualidade do ar interior é uma responsabilidade partilhada.

As boas práticas de gestão da qualidade do ar interior podem fazer uma grande diferença. No entanto, alguns factores como reacções aos contaminantes do ar nos indivíduos altamente susceptíveis ou a qualidade do ar exterior, podem não estar dentro de um controlo imediato de ninguém. Também é importante lembrar que todo o edifício, mesmo que bem explorado, pode sofrer períodos de qualidade do ar interior inaceitável devido à avaria de equipamentos, manutenção inadequada, ou em alguns casos, as acções dos ocupantes do edifício.

É importante ter em mente que muitos problemas de qualidade do ar interior são muitas vezes problemas de conforto, tais como temperatura, humidade, caudal de ar a circular no espaço, que pode ser muito baixo ou muito alto, ruído, luminosidade. Além disso, muitos sintomas, como dores de cabeça, podem ter outras causas não relacionadas com o edifício.

Estudos de investigação conduzidos por (Mendell M.J., 2005) concluíram que, associado a reduzidas taxas de ventilação poderão levar a um desempenho reduzido na aprendizagem.

A terminologia “ar interior” e QAI são utilizadas nos ambientes interiores não industriais e, por isso, aplica-se aos edifícios utilizados pelo sector terciário, aos edifícios de utilização pública (escolas, hospitais, teatros restaurantes, espaços comerciais, etc.) e aos edifícios destinados à habitação.

No caso do ambiente interior, a exposição caracteriza-se por ser múltipla e de baixos níveis. Os efeitos na maioria dos casos, não se traduzem numa doença específica mas num estado de desconforto (que se manifesta num conjunto de sintomas muitas vezes difusos) no absentismo, na perda de produtividade, na falta de atenção ou concentração.

A informação sobre os efeitos da exposição de baixas doses a múltiplos agentes é escassa. Por outro lado, a população exposta não é restrita (como no caso da exposição profissional no sector secundário) e inclui grupos vulneráveis, nomeadamente crianças, idosos e pessoas com estado de saúde debilitado. Assim, é difícil estabelecer com rigor em que medida a má qualidade do ar interior pode afectar a saúde e estabelecer critérios para a sua classificação, com base na relação causa/efeito.

A qualidade do ar interior (QAI) não tem uma definição simples pois é um conceito complexo que integra agentes diversos e interações de factores que afectam o tipo, o nível e a importância dos poluentes do ambiente interior. Estes factores incluem: as fontes emissoras dos poluentes e odores; o desenho, montagem e manutenção dos sistemas de ventilação; a humidade e a percepção (forma como são interpretadas pelo indivíduo as condições do ambiente interior) e a susceptibilidade dos ocupantes. Existem, também, factores psicológicos que, adicionalmente, afectam o conforto e/ou a percepção da QAI.

Num sentido lato, a QAI pode ser definida como aquela que não afecta o bem-estar dos ocupantes do espaço em causa. Numa definição mais técnica, a QAI será atingida quando permitir satisfazer os três requisitos básicos que regulam a ocupação humana dos espaços: ambiente térmico aceitável; manutenção das concentrações normais dos gases expirados - dióxido de carbono; remoção dos poluentes ou sua diluição de modo a manter os seus níveis dentro dos limites aceitáveis para a saúde e controlo de odores passíveis de criar incomodidade (Mayan, 2010).

1.1 - Enquadramento

Estudar e conhecer a qualidade do ar interior é uma preocupação crescente nas sociedades mais desenvolvidas, e que preocupa cada vez mais os responsáveis e utilizadores dos edifícios, acrescido da legislação específica que indica níveis máximos admitidos para um conjunto de contaminantes.

A qualidade do ar de interior (QAI) tornou-se um tema de pesquisa importante na área de saúde pública nos últimos 30 anos. Este interesse ocorreu após a descoberta de que as baixas taxas de renovação do ar nestes ambientes ocasionam um aumento considerável na concentração de poluentes químicos e biológicos no ar.

Boa parte da vida diária das pessoas nas sociedades mais desenvolvidas é passada em recintos fechados, seja em casa, na escola, no trabalho, no transporte, ou mesmo em locais de lazer, pelo que a preocupação com concentrações de contaminantes no ar em ambientes fechados é justificável.

A disciplina que estuda a qualidade do ar interior, chamada "Indoor Air Quality" é relativamente recente, com cerca de 35 anos no mundo, em Portugal foi regulamentada em 2006 pelo Decreto-lei 79/2006 de 4 de Abril. É uma nova área de estudo que reúne profissionais de diferentes disciplinas, principalmente químicos, microbiologistas, engenheiros e arquitectos.

Nestas últimas décadas, nos países mais desenvolvidos, houve um significativo aumento do número de queixas relacionadas com a qualidade de ar em locais fechados, principalmente em edifícios climatizados. Essas queixas deram origem a estudos que foram conduzidos em diferentes países e períodos, revelando que nas grandes cidades industrializadas o ar nos locais fechados pode estar mais poluído do que o ar exterior.

Ironicamente, o movimento mundial de conservação de energia desencadeado na década de 70, contribuiu de uma forma bastante marcante para as preocupações actuais referentes à qualidade do ar interior. Com o intuito de obter uma melhor eficiência energética com os sistemas de refrigeração e aquecimento e, com isso, minimizar o consumo de energia, os prédios de escritórios e residenciais (principalmente em países desenvolvidos localizados em climas frios) a partir daquela década, foram construídos visando um isolamento térmico mais eficiente, minimizando as taxas de renovação de ar nos espaços, surgindo assim os denominados prédios selados.

Paralelamente, houve um grande aumento na diversidade de produtos para revestimentos, acabamentos dos edifícios e mobiliário que contêm substâncias químicas passíveis de serem dispersas no ar interior. Esses materiais, na maioria dos casos, foram desenvolvidos sem uma preocupação com as suas emissões. Actualmente, sabe-se que uma das causas da deterioração da qualidade do ar de interiores é devida à emissão de substâncias químicas, principalmente compostos orgânicos voláteis (COVs) presentes na composição de materiais de construção, limpeza e mobiliário.

A combinação desses dois factores pode ocasionar uma baixa qualidade do ar interior. Em resumo, a existência dos denominados "edifícios doentes" coincide com as mudanças no meio ambiente interno que ocorrem, não apenas devido à introdução de novos produtos de materiais de construção, consumo e mobiliário, como também, às trocas arquitectónicas no ambiente interno com o intuito de economizar energia.

A QAI envolve a combinação de vários factores complexos que estão sofrendo alterações constantemente. Logo, a avaliação e a resolução dos problemas relacionados com a QAI requerem um completo conhecimento das fontes de emissão, da ventilação do edifício e das salas e dos processos que afectam o transporte e o destino dos contaminantes. Juntos, esses processos determinam as concentrações finais dos contaminantes que, após serem detectados e quantificados, possibilitam a avaliação da QAI.

As escolas, nomeadamente as salas de aulas são ocupadas por elevado número de alunos e, como consequência, a concentração de poluentes tende a ser elevada, entre eles o CO₂ que tem relação directa com a função respiratória dos ocupantes, que será tanto maior quanto maior for a actividade física.

A grande maioria das salas de aula em Portugal encontram-se em edifícios com mais de 20 anos, possuindo condições de ventilação natural ou forçada bastante deficitárias. Mesmo em edifícios mais recentes, equipados com ventilação forçada o controlo e manutenção dos sistemas é muitas vezes descurado, quer pelos próprios utilizadores como pelos responsáveis pelos edifícios.

1.2 - Objectivo

Os edifícios escolares, nomeadamente as salas de aula, são espaços com grande variação do número de ocupantes ao longo do dia, pelo que face ao pouco conhecimento de como evolui a qualidade e quantidade de poluentes nestes espaços, com índices de ocupação muito variáveis, aliado aos vários sistemas de AVAC em funcionamento em salas diferentes é um desafio aprofundar o conhecimento deste tema.

O objectivo desta dissertação é verificar como evoluem as concentrações de alguns poluentes ao longo do tempo de utilização, realizando ensaios em salas de aula com ocupantes, alterando as formas de ventilação, verificando a influência da existência da ventilação mecânica ou natural através da abertura de janelas e portas.

Os parâmetros medidos são:

- Dióxido de Carbono (CO_2)
- Ozono (O_3)
- Monóxido de Carbono (CO)
- Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COV's)
- Temperatura
- Humidade relativa e absoluta
- Partículas suspensas no ar (PM_{10})

Baseado nas concentrações de CO_2 , e com modelos matemáticos conhecidos, desenvolver uma folha de cálculo que permita estimar qual o caudal de ar de renovação ao longo de cada ensaio.

Partindo dos mesmos modelos, desenvolver uma folha de cálculo que permita simular a evolução da concentração do CO_2 em fase de projecto.

Pretende-se demonstrar que mesmo salas e sistemas de ventilação, que não foram dimensionados com as regras actuais, relativamente aos caudais mínimos de ar novo exigíveis, é possível obter uma qualidade do ar satisfatória (com concentrações de CO_2 até os 2.500 mg/m^3).

1.3 - Organização

Esta dissertação é constituída por oito capítulos e 3 anexos e encontra-se organizada da seguinte forma:

No primeiro capítulo, que serve de introdução, são indicados os objectivos do trabalho, a organização e a metodologia.

No segundo capítulo, faz-se uma descrição dos poluentes químicos e biológicos estudados e quantificados no âmbito da QAI. Faz-se também, um resumo da legislação e normas portuguesas, europeias e americanas sobre a QAI e ventilação. Faz-se, ainda, uma descrição dos equipamentos de medida utilizados nos ensaios de campo.

No terceiro capítulo são abordados os vários sistemas de climatização, ventilação, filtros e manutenção desses sistemas e o seu impacto na QAI.

No quarto capítulo é feita uma abordagem teórica à modelação numérica de alguns parâmetros da QAI, abordando-se o conforto térmico, cálculo do índice PMV (voto médio estimado “Predicted Mean Vote”) e PPD (percentagem de pessoas insatisfeitas), bem como, uma descrição detalhada do método de cálculo das concentrações de CO₂ em função dos caudais de ar novo e do tipo dos ocupantes usando uma folha de cálculo para realizar as simulações e ver a evolução temporal.

No quinto capítulo caracteriza-se os edifícios e salas onde se realizaram os ensaios. São descritos os tipos de sistemas de climatização e ventilação.

No sexto capítulo são descritos e indicados os valores das campanhas de medições aos quatro tipos de salas estudadas.

No sétimo capítulo são analisados os resultados das medições, representando a evolução da concentração do CO₂ medida, a determinada com o método de cálculo da evolução temporal do CO₂ e a corrigida para a ocupação máxima da sala conforme definida na Nota Técnica NT-SCE-02.

Por fim, no oitavo capítulo, apresenta-se as conclusões finais bem como algumas sugestões para trabalhos futuros.

Relativamente aos anexos, apresenta-se:

No anexo 1, a tabela comparativa de vários poluentes da QAI, com os limites admitidos em várias normas e legislações;

No anexo 2, o cálculo da concentração de equilíbrio de CO₂ em função do caudal de ar novo e idades dos ocupantes;

No anexo 3, a simulação da evolução temporal da concentração de CO₂.

1.4 - Metodologias

O objectivo deste trabalho é medir como evoluem alguns dos parâmetros de controlo obrigatório no Regulamentos dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE), em alguns espaços escolares do Campus da Penha, simulando-se, tanto quanto possível, várias tipologias de utilização dos espaços.

Posteriormente, desenvolver ou ajustar modelos matemáticos a ferramentas de cálculo, que permitam simular a evolução do CO₂ nos espaços estudados.

Trabalho de campo foi realizado nas salas de aula, 165, 136, 2.13 e 6, anfiteatro 0.04, do Campus da Penha, localizado no concelho de Faro.

Registando ao longo do ensaio os vários parâmetros da QAI, nomeadamente:

- Dióxido de Carbono (CO₂)
- Ozono (O₃)
- Monóxido de Carbono (CO)
- Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COVs)
- Temperatura
- Humidade relativa e absoluta
- Partículas suspensas no ar (PM₁₀)

Para que se possam elaborar modelos foi registado o número de pessoas presentes em cada momento nos espaços em estudo.

Para medir os parâmetros do CO₂, CO, O₃, COVs, temperatura, humidade relativa, foi usado o equipamento, sonda multi-gás da marca GrayWolf, modelo IQ-610.

Para medir as partículas suspensas no ar PM_{10} foi usado o equipamento da marca Lighthouse modelo Handheld 3016-IAQ

Para os parâmetros, CO_2 , CO, O_3 , COV's, temperatura, humidade relativa, foram registados valores com intervalo de tempo de um minuto, iniciando-se os registos, sempre que possível algum tempo antes da utilização do espaço, terminando algum tempo depois.

A medição das partículas suspensas no ar PM_{10} , foi efectuada nos períodos de entrada e saída de ocupantes, durante a aula em intervalos de tempo de aproximadamente quinze minutos.

2 - Qualidade do ar interior

2.1 - Poluentes

Existem muitos poluentes que influenciam a qualidade do ar, além dos poluentes com verificação obrigatória no RSECE. Neste trabalho faz-se uma abordagem teórica aos mais comuns, nomeadamente o amianto e os ácaros.

2.1.1 - Poluentes físico-químicos

2.1.1.1 - Partículas em suspensão no ar

As partículas em suspensão podem ter várias dimensões e quanto mais pequenas mais perigosas se tornam. A forma de entrarem no corpo humano é através da inalação.

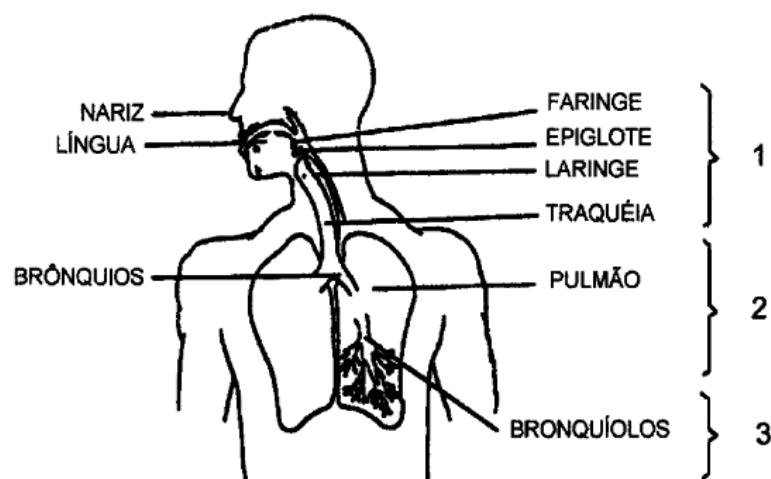
Enquanto as partículas de maiores dimensões são normalmente filtradas pelo nariz e garganta, as partículas inferiores a 10 μm (PM_{10}) podem alojar-se nos brônquios e nos pulmões.

As PM_{10} são pequenas partículas em suspensão no ar, de diâmetro não superior a 10 μm . Em meios urbanos, as partículas são essencialmente geradas pela combustão de veículos com motor a gasolina e a gasóleo.

As partículas inferiores a 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$), podem alojar-se nos pulmões e até penetrar no sistema sanguíneo.

As partículas em suspensão são a forma mais visível de poluição do ar e é razoavelmente fácil de se determinar quantitativamente com instrumentação mínima.

O termo PM (particulate matter) refere-se à matéria total (na fase líquida e/ou sólida no ar) que é colectável. Partícula inalável refere-se somente àquelas partículas que são bastante pequenas para passar pelas vias aéreas superiores e alcançar o pulmão (figura 1). Contudo, existe, ainda, muita controvérsia relacionada com o tamanho da partícula que é depositada no aparelho respiratório. Enquanto se discute a faixa de tamanho da partícula que consegue atingir as diferentes partes do aparelho respiratório, a medida da partícula inalável, por sua vez, é muito importante. Pois, parte do que é inalado pode ser irreversivelmente depositado nas vias respiratórias.



Legenda :

- 1 - aparelho respiratório superior, as partículas entre 5 e 30 μm são retidas
- 2 - aparelho respiratório inferior, as partículas menores que 1 μm de diâmetro alcançam o alvéolo e são depositadas nos pulmões
- 3 - as partículas entre 1 e 5 μm são depositadas

Figura 1 - deposição de partículas no aparelho respiratório (Leila S. R. Brickus, 1999)

Os diâmetros das partículas determinam o seu destino. Isto é, se se irão depositar em superfícies horizontais e verticais, se ficarão suspensas no ar ou se serão removidas por filtros de ar condicionado. E, uma vez inaladas, se serão removidas pelas vias aéreas superiores ou se irão atingir os alvéolos e depositar-se irreversivelmente.

A composição química das partículas no ar, em ambientes fechados, é altamente variável, podendo ser constituída por esporos de mofo, amianto, fibras sintéticas, pólen, aerossóis de produtos de consumo (desodorizante, fixador de cabelos). Portanto, o conhecimento da composição das partículas de um determinado ambiente possibilitará a previsão de efeitos específicos que sejam adversos à saúde.

Existem vários mecanismos pelos quais as partículas do ar nos recintos fechados podem ser produzidas ou tornar-se aéreas. O atrito entre os objectos que se movimentam produzirá partículas sólidas; varrer, tirar a poeira ou limpar utilizando aspiração facilita a reentrada de partículas sólidas no ar; humidificadores e vários tipos de "sprays" produzem partículas líquidas. O acto de fumar ou mesmo cozinhar, produz a condensação de aerossóis, tanto sólidos como líquidos.

2.1.1.2 - Dióxido de Carbono (CO₂)

O dióxido de carbono é gerado nos ambientes interiores, principalmente através do metabolismo humano, podendo ser exalado a uma taxa de cerca de 0,3 litros por minuto quando se executam tarefas leves (APA, 2009), variando em função da actividade física e da idade da pessoa.

O CO₂ (também denominado anidrido carbónico ou gás carbónico) é um composto químico constituído por dois átomos de oxigénio e um átomo de carbono. É um gás incolor e inodoro.

O CO₂ que se encontra em concentrações mais elevadas no interior dos edifícios deve-se essencialmente à função metabólica dos seus ocupantes. A sua concentração no ar interior dos edifícios pode, sob determinadas circunstâncias, dar uma boa indicação da taxa de ventilação.

2.1.1.3 - Monóxido de Carbono

O monóxido de carbono é um gás inodoro e incolor. É altamente perigoso, pois liga-se de forma irreversível à hemoglobina, não permitindo que haja o transporte de oxigénio no sangue. Resulta da oxidação incompleta durante a combustão, de aquecedores a gás, fornalhas, lareira, e sobretudo em transportes rodoviários.

Dispositivos de combustão com instalação ou manutenção deficientes (por exemplo caldeiras ou esquentadores) em locais pouco ventilados e sem a correcta exaustão dos gases queimados são extremamente perigosos.

Dentro de edifícios é importante ter em atenção as entradas de ar junto a garagens, parques de estacionamento e caldeiras de aquecimento.

Em concentrações moderadas poderá causar problemas de visão e redução da função cerebral. Em concentrações elevadas a exposição a este gás pode ser fatal.

2.1.1.4 - Ozono

O ozono é um composto químico que, em baixas concentrações, pode não se sentir o cheiro. Tem três átomos de oxigénio mas o terceiro átomo de oxigénio está sempre

pronto para "reagir" com alguma coisa. Caso se trate das vias aéreas, pulmões ou olhos pode causar problemas de saúde.

O ozono é um gás instável que se forma naturalmente no ambiente, mais concretamente na estratosfera através da acção dos raios ultravioleta. A sua concentração altera-se com a altitude e latitude. Este gás é extremamente oxidante e reactivo, sendo um poluente perigoso para a saúde quando presente na troposfera em excesso.

Quantidades relativamente pequenas podem causar dores no peito, tosse, respiração acelerada e irritação na garganta. O ozono pode também agravar doenças respiratórias crónicas (tais como a asma) e comprometer a capacidade do corpo de combater infecções respiratórias. Pessoas saudáveis, assim como as com dificuldades respiratórias, podem sofrer de problemas respiratórios quando expostos ao ozono.

Ozono no interior dos edifícios

As fontes interiores de ozono (por ex., geradores de ozono, purificadores de ar electrostáticos, fotocopiadoras, e impressoras a laser) podem ser responsáveis por elevadas concentrações interiores, no entanto, o ozono existente no exterior é motivo de níveis mais elevados de ozono no interior dos edifícios.

Geralmente, é mais saudável estar no interior dos edifícios em dias de grandes concentrações de ozono exterior, a não ser que exista um equipamento gerador de ozono no interior.

As concentrações de ozono nos espaços interiores podem variar significativamente, entre 10% a 80% dos níveis do exterior. Esta variação é causada por diversos factores tais como, infiltração de ar, insuflação pelos sistemas AVAC, a circulação do ar interior, composição das superfícies interiores (por ex., tapetes, tecidos, mobília, etc.,) e por reacções com outros componentes do ar interior. Nas situações em que existe uma fonte de ozono no interior, tal como purificadores de ar com geração de ozono, fotocopiadoras, etc., as concentrações de ozono podem variar entre os 0,12 e os 0,80 ppm.

Em concentrações normais, as reacções do ozono com determinadas moléculas orgânicas encontradas em ambientes interiores, podem produzir produtos com um tempo de vida curto que são altamente irritantes e que podem ter toxicidade crónica ou ser cancerígenos (APA, 2009)

2.1.1.5 - Compostos orgânicos voláteis (COVs)

A designação “Compostos Orgânicos Voláteis”, COVs é dada aos compostos de carbono cujo ponto de ebulição, à pressão normal, é suficientemente baixa para que a sua vaporização à temperatura ambiente ocorra rapidamente e, estando presentes na atmosfera, podem contribuir (devido a reacções fotoquímicas) para a formação de ozono troposférico (ozono prejudicial) e para a destruição da camada do ozono estratosférico (ozono benéfico).

As principais fontes de COVs no interior dos edifícios são as tintas e vernizes, colas e solventes, alcatifas e papel de parede, mobiliário, produtos de limpeza, produtos de higiene pessoal e cosmética.

Devido à elevada volatilidade destes compostos, as moléculas dos COVs que fazem parte da composição da maioria dos materiais utilizados na construção dos edifícios, sobretudo nos revestimentos interiores, são libertadas ao longo do tempo e passam para o ar interior, respirável pelos ocupantes, constituindo um dos principais factores da má qualidade do ar.

A emissão deste poluente é mais intensa quando a aplicação dos materiais de construção é recente devido à maior quantidade de COVs que neles estão presentes, diminuindo ao longo do tempo. Por outro lado, no caso dos materiais sólidos (como mobiliário, têxteis e revestimento de soalhos) a emissão de COVs é, inicialmente, menos intensa mas mantém-se durante um maior período de tempo.

Os principais efeitos na saúde registados são, por ordem decrescente de frequência de sintomas, irritação da garganta, dores de cabeça, distúrbios visuais, lesões do fígado e dos rins e aumento do risco de cancro.

De acordo com o RSECE, a concentração máxima admissível é definida para os “compostos orgânicos voláteis totais” (COVT), o que inclui um vasto número de substâncias moleculares tais como aldeídos (acetaldeído e formaldeído), cetonas e hidrocarbonetos como benzeno, tolueno e xileno. Apesar do formaldeído estar incluído no grupo dos COVs é considerado separadamente devido aos seus efeitos nocivos na saúde e à utilização de um método diferente de medição da concentração.

2.1.1.6 - Formaldeído

O formaldeído é um gás incolor. O odor irritante indica, frequentemente, a sua presença numa concentração superior a 0,2 ppm. As principais fontes de formaldeído são os materiais dos edifícios, os contraplacados, os tecidos/decoração, líquidos de limpeza e adesivos.

As concentrações nos espaços interiores dependem das fontes presentes, da ventilação, da temperatura interior e exterior e da humidade. As concentrações de formaldeído também variam ao longo do dia e da estação do ano. Os resultados das medições podem ser comparados com as várias normas existentes, devendo os níveis nos espaços interiores em avaliação ser inferiores a 0,1 ppm.

O formaldeído é uma substância química irritante e desperta a sensibilidade das mucosas. Os sintomas incluem a garganta seca ou dorida, dores de cabeça, fadiga, problemas de memória e concentração, náuseas, vertigens, falta de ar, ardor nos olhos. Os efeitos irritantes têm sido associados a concentrações numa gama média de 0,5 ppm. Concentrações inferiores a 0,01 ppm têm sido assinaladas como poderem afectar indivíduos sensíveis (WHO, 2010).

2.1.1.7 - Radão

O radão é um gás radioactivo contido naturalmente nos solos e nas rochas, por consequência, nos materiais de construção.

O tipo de construção, os materiais utilizados e os hábitos dos moradores (ventilação da casa) são factores que influenciam os níveis de radão no ar interior.

A entrada deste poluente nos espaços faz-se normalmente pelas zonas em contacto com a superfície do terreno, através de fissuras nas lajes do chão ou remates das canalizações mal executados, etc.

Os efeitos nefastos para a saúde provocados pelo radão podem ser minimizados adoptando uma boa ventilação (de preferência criando um vazio sanitário bem ventilado) e reduzindo ao mínimo a utilização de materiais de construção que usem inertes de rochas graníticas.

O radão é extremamente perigoso, estando provado que é cancerígeno.

2.1.2 - Amianto

O amianto (também conhecido por asbesto) é um mineral fibroso constituído por diferentes variedades, ao longo do tempo teve as mais variadas aplicações, sobretudo ao longo do século XX. Actualmente está proibido o seu fabrico e comercialização em toda a União Europeia e em muitos países do resto do mundo. No entanto, continua por resolver o problema das exposições actuais às poeiras de amianto devido a anteriores aplicações.

O amianto foi utilizado desde os primórdios da civilização, inicialmente, para reforçar utensílios cerâmicos conferindo-lhes propriedades refractárias. Com o intenso desenvolvimento no uso industrial, principalmente, pós Revolução Industrial (século XVIII) para isolar termicamente máquinas a vapor. O amianto também passou a ser pesquisado pelos malefícios causados à saúde dos trabalhadores expostos nos seus ambientes de trabalho e, posteriormente, pelos danos provocados à saúde na população, em geral, que tinham exposições indirectas e mesmo ambientais às suas fibras.

No início do século XX, mais precisamente em 1906, estudos científicos demonstraram que o amianto podia causar doenças graves, progressivas e incuráveis nos trabalhadores como a asbestose, uma fibrose pulmonar, cujo tratamento consiste em apenas aliviar sintomas de falta de ar (dispneia progressiva), sintomas que se vão acentuando com o tempo, mesmo que os trabalhadores sejam afastados da exposição ao pó das fibras.

Nas décadas de 40 e 50 comprovou-se, também, que o amianto não era apenas um problema dos trabalhadores expostos mas que atingia outras populações que se expunham de maneira eventual e até mesmo indirecta às suas fibras. Estas foram classificadas pela Agencia Internacional de Pesquisa sobre o Cancro (IARC) da Organização Mundial de Saúde (OMS) como reconhecidamente cancerígenas para os seres humanos.

Todos os tipos de amianto são classificados, portanto, como cancerígenos, mesmo que alguns possam ter um maior grau de letalidade ou agressividade ao organismo humano, como, por exemplo os amiantos azul e cinzento, que na verdade representam menos de 5% de todo o amianto explorado no mundo e que há mais de 20 anos já estão proibidos na maioria dos países.

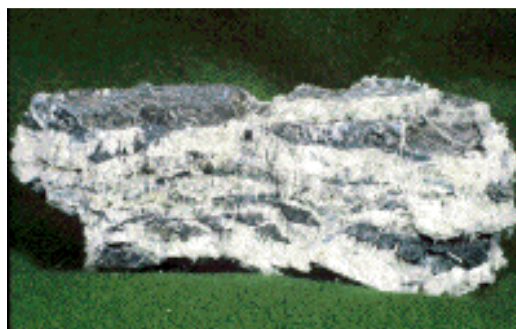


Figura 2 - mineral bruto

De "seda mineral ou mineral magico", o amianto passou, então, a ser denominado "a poeira assassina" e, daí em diante, começou a sofrer sérias restrições à sua utilização em todo o mundo.

As fibras microscópicas que compõem o amianto (catalogadas como substâncias cancerígenas de categoria 1 pela Portaria 286/93 de 12 de Março) quando inaladas, alojam-se nos pulmões podendo levar ao aparecimento de cancro, conhecido por mesotelioma da pleura.

O asbesto, conhecido comercialmente como amianto, é uma fibra mineral natural sedosa e resistente que está presente em abundância na natureza sob duas formas:

- crisótilo, amianto branco em forma de serpentina;
- anfíbola, a amosite (de cor cinzento escuro) e a crocidolite (amianto azul) em forma de agulha.

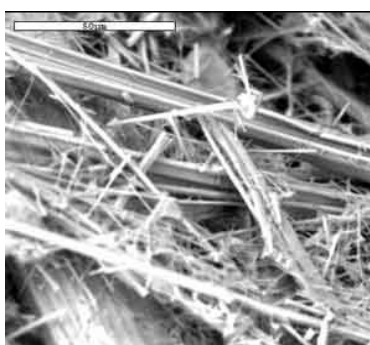


Figura 3 - fibras de amianto ao microscópio electrónico

Sendo que, o crisótilio corresponde a mais de 95% dos asbestos usados comercialmente devido à sua abundância natural nas formações rochosas no planeta. Os asbestos tipo crisótilo são resistentes à alcalinidade forte mas não são estáveis à acidez. Sendo bons isolantes térmicos e muito usados nas indústrias têxteis e cerâmicas.

Os asbestos anfíbola são mais estáveis ao calor e à acidez que os crisótilos mas mais vulneráveis à forte alcalinidade. São utilizados na indústria do fibrocimento, papel e cartão.

Em Portugal foram usados durante várias décadas na construção civil, em especial no fibrocimento, que possui na sua constituição de cerca de 20% de amianto. O fibrocimento pode ainda ser encontrado nos edifícios em pavimentos, placas onduladas para telhados, tubos, depósitos de água e chaminés.

Há o perigo de elevadas concentrações de partículas aéreas de amianto poderem ocorrer nos materiais que o contenham desde que estes sejam manipulados por quaisquer actividades de desmantelamento, corte ou raspagem. Em actividades mal sucedidas de remoção destes materiais podem soltar-se as fibras para o ar.



Figura 4 - remoção de telha de fibrocimento

Uma exposição a elevados índices, mesmo que de curta duração, pode resultar em doenças respiratórias num curto espaço de tempo. Entretanto, doenças mais graves, tais como, asbestosis (acumulação das fibras no pulmão, reduzindo a capacidade pulmonar), cancro de pulmão e um outro tipo de cancro que ocorre no peito e no tecido de revestimento do estômago, só aparecem depois de muitos anos da exposição ter acontecido.

É importante salientar o facto das exposições ao amianto manterem latentes os seus efeitos cancerígenos durante vários anos. Os sintomas das doenças provocadas pelo amianto aparecem, geralmente, 10 a 40 anos após o seu contacto. Quanto mais jovem for o indivíduo exposto às fibras de amianto maiores são as probabilidades de

desenvolver cancro. No entanto, se tais materiais não forem manipulados, permanecendo em repouso, não oferecem nenhum risco aos utilizadores.

O amianto ou asbesto é uma fibra mineral natural sedosa que, pelas suas propriedades físico-químicas (alta resistência mecânica e às altas temperaturas, incombustibilidade, boa qualidade isolante, durabilidade, flexibilidade, indestrutibilidade, resistente ao ataque de ácidos, álcalis e bactérias, facilidade de ser tecida etc.), abundância na natureza e, principalmente, baixo custo tem sido largamente utilizado na indústria. É extraído fundamentalmente de rochas compostas de silicatos hidratados de magnésio, onde apenas de 5 a 10% se encontram na sua forma fibrosa de interesse comercial.

Os nomes latino e grego, respectivamente, amianto e asbesto, têm relação com suas principais características físico-químicas, incorruptível e incombustível.

2.1.3 - Poluentes microbiológicos

2.1.3.1 - Bactérias

As bactérias são organismos procariontes onipresente de uma única célula, compreendendo uma abundância de espécies. Podem ser encontradas na poeira e em todas as superfícies, incluindo aqueles sem problemas de humidade.

As principais fontes de bactérias em ambientes fechados sem renovação de ar são as pessoas e o crescimento bacteriano no interior.

Conforme acontece com os fungos, a água é um requisito essencial para o crescimento bacteriano.

De fato, as bactérias necessitam para a sua actividade água, em valores mais elevados do que a maioria dos fungos. A temperatura e as exigências nutricionais são geralmente satisfeitos na maioria dos ambientes fechados. Surpreendentemente, poucos estudos têm sido realizados sobre o crescimento bacteriano em casas húmidas.

2.1.3.2 - Fungos

A contaminação fúngica dos ambientes interiores poderá influenciar a infecção fúngica dos seus ocupantes, estando a mesma dependente de várias variáveis ambientais, nomeadamente: os aspectos construtivos, o sistema de ventilação e/ou ar condicionado e a sua operação, as condições do ambiente exterior, o número de ocupantes no espaço interior, bem como as actividades nele desenvolvidas.

Os fungos podem ser encontrados sempre que existem condições ideais de temperatura, humidade, oxigénio, fontes de carbono e nitrogénio e de minerais que precisam. As suas actividades biológicas de biodegradação e biodeterioração dependem das suas actividades enzimáticas, das condições ambientais, do fenómeno de competição e da natureza do substrato.

Ainda não foi possível estabelecer uma relação causal entre a extensão da presença fúngica, tempo de exposição e efeitos na saúde específicos com a frequência e a severidade dos sintomas referidos.

Os estudos realizados apenas tendem a demonstrar a existência de relação entre a exposição a fungos e o desenvolvimento de sintomas.

O ambiente interior pode confinar os bioaerossóis contribuindo para o aumento da contaminação fúngica, apresentando por esse motivo maior risco de exposição para os ocupantes dos espaços do que o ambiente exterior.

Alguns dos microrganismos, que poderão fazer parte dos bioaerossóis são os fungos filamentosos (possuem várias células e formam micélios) e fungos leveduriformes (possuem uma única célula), sendo também considerados para o efeito os seus esporos e toxinas produzidas.

As espécies fúngicas são genericamente identificadas como a causa de doenças alérgicas, cefaleias, irritação ocular, obstrução das vias respiratórias, tosse e outros sintomas.

Mais de oitenta espécies fúngicas estão associadas a sintomas de alergia no tracto respiratório e quase todos os alérgenos microbianos são de origem fúngica, sendo os principais os géneros *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium* e *Alternaria*.

Os fungos são os microrganismos mais disseminados num edifício com problemas de infiltrações e humidade, pois requerem menos humidade do que as bactérias para proliferarem.

Enquanto que para os fungos é apenas necessário humidade relativa entre 75 – 85% para crescerem, as bactérias necessitam de humidades relativas mais elevadas (95%) e da presença abundante de água.

A disseminação de estruturas fúngicas viáveis e de esporos está muito dependente das suas dimensões, das suas características biológicas, da temperatura do ar, disponibilidade de oxigénio, presença de nutrientes, textura das superfícies e vibrações das superfícies.

Os fungos libertam os seus esporos devido a correntes de ar ou a reacções provocadas em situações desfavoráveis, como por exemplo, o rápido aumento ou decréscimo na humidade ou, ainda, para alcançar novas fontes de nutrientes.

Alguns esporos têm uma parede rija e mantêm-se agregados através de muco, formando corpos pesados, não sendo, por esse motivo, facilmente transportados pelo ar, como é o caso dos fungos do género *Acremonium* e *Exophiala*. Por outro lado, géneros de fungos como *Penicillium* e *Cladosporium* têm esporos com paredes secas, fáceis de dissociar e leves, sendo por isso mais fáceis de dispersar no ar.

Na vertente legislativa, a nível nacional o Decreto-Lei no 79/2006 de 4 de Abril que aprova o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios estipula, para ambientes interiores, a concentração máxima de referência de 500 UFC/m³ no ar, não mencionando critérios de avaliação no que concerne às espécies fúngicas identificadas.

Com o objectivo de complementar o diploma legal referido, a NT-SCE-02 de 2009 sugere para a avaliação quantitativa e qualitativa da contaminação fúngica no ar o parecer de não conformidade quando se verifique a existência de crescimento visível de fungos em qualquer superfície ou a concentração fúngica no interior superior a detectada no exterior.

2.1.3.3 - Legionella

A bactéria *Legionella pneumophila* é associada à contaminação do ar interior de edifícios. A doença dos Legionários é uma doença que foi conhecida no ano 1976 após um surto de pneumonia num hotel de Filadélfia que afectou os membros da legião americana que celebravam a sua convenção anual. A doença denominou-se por “Doença dos Legionários” por ter sido associado o seu conhecimento com a referida conferência.

Esta bactéria para além de se encontrar nos ambientes aquáticos naturais, como rios e lagos, também se pode multiplicar nos sistemas artificiais de abastecimento de água, sobretudo em depósitos e redes de distribuição de águas quentes sanitárias sempre que encontrem condições favoráveis à sua multiplicação, tais como:

- estagnação da água em grandes reservatórios ou tanques;
- existência de nutrientes na água, biofilmes;
- factores físico-químicos, como temperatura, pH, corrosão das tubagens.

Dos factores que favorecem a contaminação com *Legionella* das redes prediais dos grandes edifícios há a destacar: a temperatura da água, as condições óptimas de multiplicação bacteriana ocorrem com temperaturas entre os 20 e 45°C e para o pH, as condições óptimas situam-se entre 2 e 8,5.

Também se tem encontrado *Legionella* em fontes, chuveiros, jacuzzis, humidificadores e outros equipamentos que usam água, incluindo a água potável de residências. Esta bactéria, implicada em pneumonias de consequências graves e por vezes fatais, tem merecido especial destaque nos principais meios de comunicação através da Europa e outras partes do mundo.

A doença dos legionários é um tipo de pneumonia que, para além de afectar os pulmões, tem efeitos noutros órgãos. Esta doença manifesta-se inicialmente por febres altas, dores musculares e de cabeça, surgindo rapidamente o aparecimento de tosse seca e dificuldades respiratórias. Em alguns pacientes desenvolve-se por vezes diarreias, vómitos, estados de uma certa confusão e delírio. A falta de tratamento adequado e imediato poderá ser de consequências fatais. O período de incubação varia de 12 a 36 horas.

A infecção transmite-se ao homem por via aérea (respiratória) através da inalação de gotículas de água (aerossóis) contaminadas com a bactéria. É importante referir que a

infecção não se transmite de pessoa para pessoa, nem pela simples ingestão de água contaminada.

A *Legionella* é uma bactéria amplamente distribuída capaz de sobreviver em condições ambientais hostis por longos períodos, o que contribui para a sua fácil disseminação e daí resultar uma elevada probabilidade de exposição do homem a este agente.

A *Legionella pneumophila* está associada a duas doenças: a Doença dos Legionários e a febre de Pontiac, cuja incidência depende do grau de contaminação dos reservatórios de água, da susceptibilidade da pessoa exposta e da intensidade da exposição. A infecção não ocorre quando a exposição é muito baixa e o sistema imunitário está intacto. Nos casos em que a saúde esteja debilitada, a susceptibilidade do hospedeiro aumenta.

Os princípios básicos que devem ser seguidos para minimizar o risco de exposição à bactéria deverão ser como se segue. Sempre que houver uma paragem longa dos locais que “micronizem” a água formando aerossóis (torres de arrefecimento, chuveiros, jacuzzi, piscinas terapêuticas, aparelhos de tratamento por água, etc.) é aconselhável:

- deixar correr a água durante um período de tempo;
- colocar os aparelhos em funcionamento sem a presença de ocupantes;
- manter a água quente nos reservatórios a temperaturas superiores a 55/60 °C.

2.1.4 - Alergenos de ácaros

Os ácaros são artrópodes não visíveis à vista desarmada. Até à data foram encontradas variadas espécies de ácaros do pó, sendo os mais frequentes os *Dermatophagoides pteronyssinus*, frequentemente designados por ácaros do pó europeu. Estes ácaros são encontrados nas habitações e no interior de edifícios e alimentam-se dos diversos componentes constituintes do pó: pele humana e pele de animais (principalmente gerada por alterações dermatológicas), resíduos alimentares, bactérias e fungos.

A presença de ácaros não significa falta de higiene ou limpeza. Os ácaros fazem parte das nossas habitações ou espaços de trabalho, encontrando-se em todo o tipo de têxteis, especialmente em colchões, almofadas, alcatifas, cortinados e sofás.

Os ácaros do pó dependem de valores de temperatura na ordem dos 25 a 27°C, obscuridade e humidade de 60 a 65%, condições normais encontradas nos colchões e almofadas, para um rápido desenvolvimento e propagação. Daí se explica a razão de muitos doentes apresentarem sintomas alérgicos particularmente graves durante a noite.

A análise de ácaros é importante, uma vez que estes microrganismos provocam doenças nos animais e no homem pela sua simples presença. Os ácaros do pó estão frequentemente associados à produção de alérgenos podendo causar ataques de asma brônquica, rinites alérgicas e irritações dermatológicas, podendo levar a lesões de pele, dermatoses persistentes e seborreias.

A presença de ácaros afecta de maneira diferente os diversos indivíduos mas reveste-se de particular importância quando em presença de pessoas idosas, crianças ou indivíduos com propensão para alergias.

2.2 - Legislação, normas e regulamentos da QAI

Os requisitos de ventilação têm variado bastante ao longo do tempo.

Os caudais de ar indicados nas normas são o resultado de uma ponderação de interesses diversos, por exemplo, qualidade do ar, saúde, energia, produtividade. Este processo de ponderação é fortemente influenciado por factores externos (crise do petróleo na década de setenta) novas descobertas da investigação (o impacto sobre a saúde e a produtividade).

Dado a falta de conhecimento preciso sobre alguns destes factos, não é surpreendente que os requisitos de caudais de ar padrão possam variar consideravelmente ao longo do tempo.

A ASHRAE 62 é um bom exemplo da evolução dos caudais de referência ao longo dos últimos 30 anos, dos quais, cada revisão é o resultado de um processo de revisão amplamente estudado e ponderado.

Na figura 5 é apresentada a evolução das necessidades de caudais de ar novo por pessoa:

a) ASHRAE 1973, ANSI/ASHRAE Standard 62-1973, “Standard for Natural and Mechanical Ventilation”, 2,5 l/s (9 m³/h)

b) ASHRAE 1981, Standard 62-1981, “Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality”, 2,5 l/s (9 m³/h)

c) ASHRAE 1989, Standard 62-1989, “Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality”, 7,5 l/s (27 m³/h)

d) ASHRAE. 2001. ANSI/ASHRAE Standard 62-2001, “Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality”, 10 l/s (36 m³/h)

A partir da Standard 62-2007 os caudais de ar novo são calculados em função do número de pessoas e da área, o que não permite uma comparação directa com as normas anteriores.

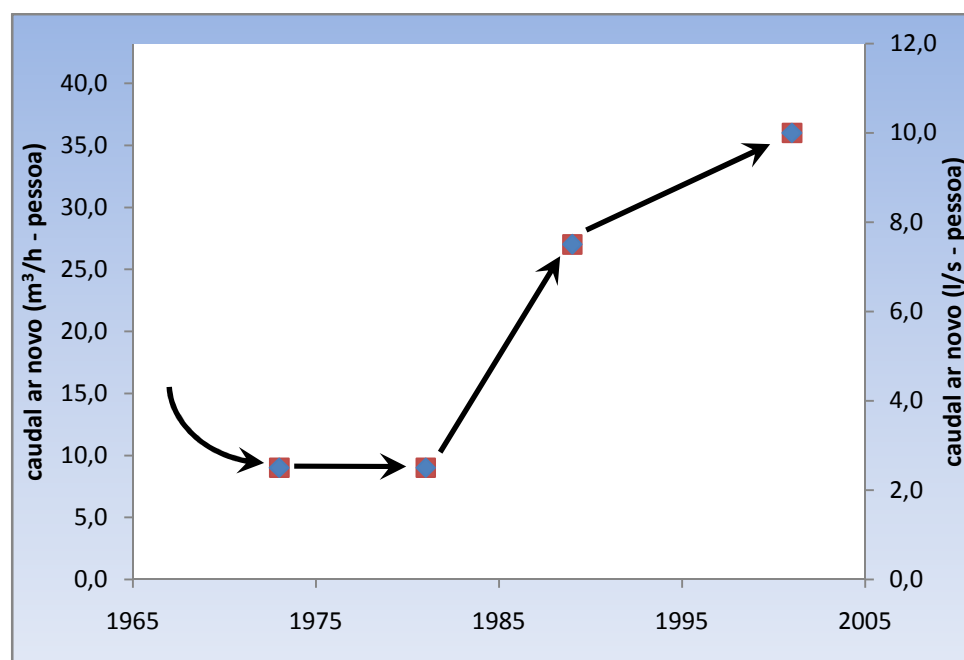


Figura 5 - evolução dos requisitos da ASHRAE 62, (European Collaborative Action, 2003)

2.2.1 - Legislação Portuguesa

A QAI foi regulamentada em Portugal no ano de 2006 com a publicação do Decreto-Lei n.º 78/2006, designado pelo Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior (SCE) e tem como objecto:

- Assegurar a aplicação regulamentar, nomeadamente no que respeita às condições de eficiência energética, à utilização de sistemas de energias renováveis e, ainda, às condições de garantia da qualidade do ar interior, de acordo com as exigências e disposições contidas no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e no Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios (RSECE);

- Certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios;

- Identificar as medidas correctivas ou de melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e respectivos sistemas energéticos, nomeadamente, caldeiras e equipamentos de ar condicionado (quer ao desempenho energético, quer à qualidade do ar interior).

A Certificação Energética é obrigatória para os seguintes edifícios:

- Todos os novos edifícios a construir ou aqueles sujeitos a grandes intervenções de reabilitação, nos termos do RSECE e do RCCTE;

- Edifícios de serviços existentes, sujeitos a auditorias periódicas, conforme especificado no RSECE;

- Edifícios existentes, para habitação e para serviços, aquando da celebração de contratos de venda ou aluguer;

- Os Certificados são emitidos por peritos qualificados e posteriormente registados na ADENE;

- A validade dos Certificados, para os edifícios que não sejam sujeitos a auditorias ou inspecções periódicas, no âmbito do RSECE, é de 10 anos.

2.2.1.1 - Concentrações máximas de referência (RSECE):

As concentrações máximas de referência indicadas no RSECE estão resumidas no quadro (figura 6) :

Poluentes				
fisico-químicos			Fungos e Bactérias	
PARÂMETRO	Concentração		MICRORGANISMOS	Concentração
	mg/m ³	ppm		
Partículas suspensas no ar (PM ₁₀)	0,15		Bactérias (colheitas de ar)	500 UFC/m ³ de ar
Dióxido de carbono (CO ₂)	1800	1000		
Monóxido de carbono (CO)	12,5	10,9	Fungos (colheitas de ar)	500 UFC/m ³ de ar
Ozono (O ₃)	0,2	0,1		
Formaldeído	0,1	0,08	Legionella sp (colheitas de água)	100 UFC/l de água
Compostos orgânicos voláteis, COV	0,6	0,29		
Radão	400 Bq/m ³			

Figura 6 - concentrações máximas de referência do RSECE

2.2.1.2 - Nota técnica NT-SCE-02

A nota técnica NT-SCE-02 estabelece a metodologia para auditorias periódicas de QAI em edifícios de serviços existentes no âmbito do RSECE para desta forma, harmonizar os procedimentos dos peritos qualificados.

2.2.2 - Resumo das normas utilizadas no cálculo da ventilação

A maioria das normas e regulamentos são descritivos. Basicamente, significa que as exigências não são expressas em termos de níveis máximos permitidos de exposição mas em termos de variáveis que se supõe terem um certo vínculo com os níveis de

exposição permitido, por exemplo, caudais no caso de sistemas de ventilação mecânica, de secções transversais das aberturas naturais para fornecimento de ar.

O processo de avaliação sobre os efeitos na saúde devido às fontes poluidoras na construção é bastante complexo (figura 7). Por um lado, temos os poluentes provenientes de várias fontes dentro e fora do edifício, por outro, o ser humano que está parcialmente exposto a contaminação do ar exterior e, parcialmente, ao ar contaminado do interior.

A exposição total depende, entre outras coisas, da:

- Fonte de contaminação, variando no tempo e no local;
- Distribuição dos ocupantes, do tempo passado ao ar livre e em ambientes fechados em locais diferentes.

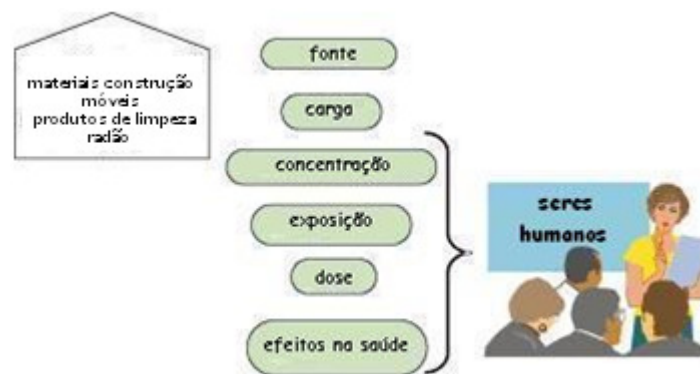


Figura 7 - fontes poluidoras com efeitos na saúde, adaptado (European Collaborative Action, 2003)

2.2.2.1 - Standard 62.1, ANSI/ASHRAE

A norma Standard 62.1-2010 é a última edição da Norma 62.1 publicada pela ASHRAE e aprovada pela ANSI. A edição de 2010 combina Standard 62.1-2007 e as 20 adendas aprovadas e publicadas desde a edição de 2007.

Publicada pela primeira vez em 1973, a Standard 62.1 é actualizada regularmente através de procedimentos de manutenção contínua da ASHRAE, publicando um suplemento em cada 18 meses após nova edição da norma ou cada três anos após uma nova edição completa da mesma.

A Standard 62.1-2007 define os requisitos de ventilação e de concepção dos sistemas de limpeza de ar, instalação, projecto, operação e manutenção. Aplica-se a

todos os espaços destinados à ocupação humana, excepto residências unifamiliares, veículos e aeronaves.

Esta norma fixa as taxas de ventilação mínima para áreas internas ou fechadas com ocupantes humanos e assume que o ar exterior está isento "incomum" de contaminantes, o conforto humano não é considerado, por exemplo, níveis de humidade que são desconfortáveis não são um problema a menos que, estes incentivam o crescimento de fungos.

É reconhecido que, o que é aceitável para a maioria das pessoas (80%) pode ser perigoso para populações mais vulneráveis (idosos, doentes, crianças) e que os odores são percebidos de forma diferente pelas pessoas.

Está estabelecido que o caudal mínimo de ar novo, em salas de aula, com alunos de idades superiores a 9 anos, é de 5 l/s por pessoa ou 0,9 l/s por m² e a densidade de ocupação é de 35 pessoas por cada 100 m².

2.2.2.2 - EN 13779 - requisitos do desempenho da ventilação para sistemas de ventilação e ar condicionado

A norma europeia EN 13779 estabelece indicações de como obter um ambiente interno confortável e saudável em todas as estações do ano a custos aceitáveis de instalação e funcionamento.

A norma especifica o desempenho exigido dos filtros para um sistema alcançar uma boa qualidade do ar interior (QAI), levando em consideração o ar exterior. O ar exterior é classificado em 3 níveis: de ODA 1 (em que o ar é puro, excepto por poluição temporária, como o pólen) até ODA 3 (com altas concentrações, tanto de gases como de partículas). As partículas referem-se à quantidade total de partículas sólidas ou líquidas presentes no ar.

A maioria dos manuais que abordam a temática do ar de interior ainda usa como referência as PM₁₀ (diâmetro de partículas de até 10µm). Mas, para finalidades de protecção à saúde, há uma crescente aceitação de que se deve dar ênfase às partículas muito menores do que 10µm. Os poluentes gasosos referem-se a concentrações de CO₂, CO, NO₂, SO₂ e COVs (compostos orgânicos voláteis).

A tabela 1 indica níveis típicos de concentração no ar exterior, juntamente com uma sugestão de como diferenciar por categorias a qualidade do ar.

categoria do ar exterior	níveis de concentração					descrição da qualidade do ar
	CO ₂		NO ₂	SO ₂	PM ₁₀	
	(ppm)	(mg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	
ODA 1	350	<1	5 - 35	< 5	< 20	areas rurais
ODA 2	400	1 - 3	15 - 40	5 - 15	10 - 30	localidades pequenas
ODA 3	450	2 - 6	30 - 80	10 - 50	20 - 50	centro das cidades

Tabela 1 – categorias do ar exterior em função dos níveis de concentração dos poluentes, EN13779:2003

Verifica-se que, na maioria das cidades, o termo "nível de concentração normal" para partículas na verdade situa-se na faixa mais alta (qualidade ruim) para o ar exterior, ou seja, ODA 2 ou ODA 3. No caso de partículas, a Organização Mundial de Saúde (OMS) estabeleceu o objectivo de se alcançar um nível anual de PM₁₀ abaixo de 40µg/m³. Esse objectivo ainda não foi atingido. Por outras palavras, isso significa que na Europa a maioria das pessoas passam a maior parte de seu tempo em áreas onde o nível do ar exterior é classificado como ODA 2 ou ODA 3. Podemos, facilmente, concluir que a aplicação de filtragem adequada é de grande importância na área da QAI.

A norma classifica a qualidade do ar interior de IDA 4 (baixa QAI) até IDA 1 (alta QAI). Um método tradicional mas limitado de determinar a QAI é analisar os níveis de CO₂. Como o CO₂ é produto da respiração humana, é um bom indicador da eficiência da ventilação mas não da qualidade absoluta do ar. Outro método estabelecido para espaços com ocupação humana é especificar o nível de ar novo adicionado para cada pessoa. Estas abordagens são frequentemente utilizadas para dimensionar os sistemas de ventilação.

categoria	descrição	valores médios de CO ₂ (ppm), acima do ar exterior	caudal de ar exterior por pessoa (m ³ /h/pessoa), não fumadores
IDA 1	QAI alta	≤ 400	> 54
IDA 2	QAI média	400 - 600	36 - 54
IDA 3	QAI moderada	600 - 1.000	22 - 36
IDA 4	QAI baixa	> 1.000	< 22

Tabela 2 – tipos de ar interior em função dos níveis de CO₂ e caudais de ar novo, EN13779:2006

A tabela 2 mostra variações típicas de níveis de CO₂ e caudais recomendados de ar novo, visando obter diferentes categorias de qualidade de ar interior. Note-se que nenhum dos dois métodos leva em consideração os poluentes em forma de gás ou de partículas trazidos para dentro do edifício juntamente com o ar novo.

A norma indica que existem diferentes técnicas de filtragem de ar, a sua adequação depende do facto do ar exterior estar poluído com gases, partículas ou ambos (e do tamanho das partículas). Não há definições universalmente aceites para os níveis aceitáveis de qualidade do ar exterior e, as que existem, não se destinam ao apoio nos projectos de sistemas de ventilação. As decisões de projecto dependem de:

- a legislação local em vigor;
- adoptar regulamentos e directrizes;
- escolhas individuais do projectista sobre a importância de poluentes específicos que não são regulamentados (por exemplo, pólen, esporos de fungos de origem no exterior).

A correcta selecção dos filtros do ar exterior é importante para cumprir os requisitos do ar interior do edifício (IDA), tendo em conta a categoria do ar exterior (ODA).

O dimensionamento das secções do filtro deve ser o resultado de uma optimização, tendo em conta a situação específica (duração, carga de pó, poluição local, caudais, perda de carga disponível, etc.)

qualidade do ar exterior	QAI (qualidade do ar interior)			
	IDA 1 (alta)	IDA 2 (média)	IDA 3 (moderada)	IDA 4 (baixa)
ODA 1 (ar puro)	F9	F8	F7	F5
ODA 2 (com poeira)	F7 / F9	F6 / F8	F5 / F7	F5 / F6
ODA 3 (concentrações muito elevadas de poeiras ou gases)	F7 / GF/ F9 ^a	F7 / GF/ F9 ^a	F5 / F7	F5 / F6
^a GF - filtro de gás (filtro carbono) e / ou filtro químico				

Tabela 3 – classe de filtro mínima recomendada em função da QAI pretendida, EN13779:2006

- 15242 - Ventilação de edifícios - métodos de cálculo para a determinação das taxas de fluxo de ar em edifícios, incluindo infiltração;
- 15241 - Método de cálculo para as perdas de energia devido à ventilação e infiltração;
- 15603 - Cálculo de toda a energia usada no edifício;
- NP 1796:2007 Segurança e Saúde do Trabalho - Valores limite de exposição.

Na análise da lista anteriormente apresentada, verifica-se que existe uma grande variedade de normas e directrizes para a QAI. Esta constatação é mais acentuada com as orientações relativas aos poluentes do ar interior em ambos os tipos de substâncias e os níveis de cada substância, ver resumo no anexo 1.

2.3 - Equipamentos de medição usados na campanha

Os equipamentos usados pertencem ao laboratório do departamento de Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia da Universidade do Algarve.

2.3.1 - Sonda multi-gas

O equipamento usado foi a sonda multi-gas da marca GrayWolf, modelo IQ-610 possui quatro sensores que permitem obter até nove medições: Temperatura, Humidade Relativa, Monóxido de Carbono, Ozono, Dióxido de Carbono e COVs e é utilizada para medir a qualidade do ar interior.

O equipamento Multi-gas IQ-610 (figura 8) é composto por uma sonda e um PDA.

Foi verificado que o equipamento tinha o documento que comprava a validade da sua calibração à data de realização das medições.



Figura 8 - multi-sonda IQ-610

Durante os ensaios, a multi-sonda foi configurada para efectuar registos em intervalos de um minuto.

2.3.2 - Contador de partículas

O equipamento usado foi o contador de partículas da marca HANDHELD modelo 3016 IAQ, figura 9.

Este equipamento mostra dados da contagem de partículas cumulativas ou diferenciais, dados de concentração de massa e dados de temperatura/humidade relativa, no ecrã táctil. Os dados são facilmente descarregados usando o software LMS XChange.

O equipamento permite:

- definir o tempo de amostragem;
- configurar o número de amostras tiradas num determinado local;
- amostrar vários locais;
- armazenar os dados para revisão histórica dos mesmos;
- imprime tabelas de dados utilizando o software de transferência de dados.

Foi verificado que o equipamento tinha o documento que comprava a validade da sua calibração à data de realização das medições.

O medidor de partículas foi configurado para registar valores com base numa amostragem de um volume de ar de 3 litros em 60 segundos, efectuando-se medições nos períodos de entrada e saída e ocupantes, e durante a aula em intervalos de aproximadamente 15 minutos.



Figura 9 - medidor de partículas, modelo 3016 IAQ

3 - Sistemas climatização e ventilação, seu impacto da QAI

3.1 - Introdução

Os edifícios são estruturas que permitem que os seus ocupantes se protejam do clima exterior. De uma forma mais abrangente os edifícios variam significativamente no processo de projecto e construção em função dos recursos locais, da cultura, do clima e das tradições de construção, com maior ou menor regulamentação consoante os países.

Uma vez que os edifícios têm vida útil longa e usam uma parcela significativa do património nacional, a indústria da construção é regulada por legislação e normas nacionais e internacionais. Os códigos de construção são geralmente destinados a assegurar a qualidade dos edifícios, a sua segurança e condições de saúde e também o desenvolvimento sustentável da utilização dos recursos naturais (como a energia) para reduzir o impacto ambiental no ambiente construído.

Com o aumento da compreensão científica dos problemas relacionados com a QAI e do reconhecimento do carácter generalizado destes problemas, com mais ou menos impacto na saúde das populações, os decisores políticos e os técnicos em geral têm vindo a prestar mais atenção à forma como a qualidade da construção afecta esses problemas. Como outros temas da vida em sociedade é nos países mais desenvolvidos que este tema tem mais anos de estudo e implementação, tanto a nível de projecto de novos edifícios como de remodelações.

Como as práticas de construção variam entre os países e, mesmo regiões, é difícil criar directrizes que sejam aplicáveis em todas os países ou regiões, até porque se corria o risco de algumas não serem apropriadas. No entanto, muitos problemas têm a mesma origem e as suas soluções são, portanto, em princípio, semelhantes. O objectivo deste capítulo é caracterizar as fontes e soluções nos edifícios e discutir o papel da ventilação no controle de poluentes e humidade para proporcionar um ambiente interior saudável.

3.2 - Objectivos da ventilação

A ventilação tem por fim eliminar ou diluir os poluentes e controlar as condições de temperatura ambiente e humidade em edifícios. Deve ser suficiente para remover qualquer poluente e humidade gerada no interior ou para diluir as suas concentrações para níveis aceitáveis para a saúde e o conforto dos ocupantes, bem como para manter a integridade do edifício.

Existem estudos (Seppänen O F. W., 1999), (Wargocki, Sundell, Bischof, & Brundrett, 2002) que têm demonstrado a relação entre a ventilação e a saúde dos ocupantes. Como os valores exactos dos caudais de ventilação são difíceis de generalizar para as diversas situações, os valores limite não estão fixados para todos os poluentes, logo raramente é possível determinar a taxa de ventilação necessária e os riscos associados a partir das concentrações de poluentes.

A selecção de taxas de ventilação baseia-se em estudos epidemiológicos de laboratório de pesquisa e experiencias de campo, a percepção do odor, irritação, preferências dos ocupantes, produtividade e experiência.

A ventilação pode ser feita por vários métodos naturais e mecânicos. A ventilação faz-se com o objectivo de melhorar as condições de conforto e saúde no interior dos edifícios mas, também, podem ter efeitos adversos (Seppänen & Fisk, 2002), (Wargocki, Sundell, Bischof, & Brundrett, 2002) se não forem adequadamente projectados, instalados, mantidos e operados (Mendell MJ, 1990), a ventilação pode então permitir a entrada de substâncias nocivas que degradam o ambiente interior.

A ventilação provoca alterações nas diferenças de pressão através do edifício e podem causar ou prevenir a infiltração de poluentes provenientes de estruturas de edifícios ou espaços adjacentes. Embora a ventilação seja usada para “remover” poluentes e algum controlo de humidade, sob certas circunstâncias pode resultar na humidade muito alta ou muito baixa. A humidade é um parâmetro importante, sobretudo em países com climas mais severos, que não é o caso de Portugal.

A evidência sugere que uma melhor higiene, a correcta utilização dos equipamentos e manutenção dos sistemas de tratamento de ar é particularmente importante na redução dos efeitos negativos dos sistemas de ventilação e de ar condicionado (Mendell MJ, 1990), (Seppänen O F. W., 1999), (Mendell, 2008).

Assim, humidade e contaminação microbiana, não só na estrutura do edifício ou superfícies mas, também, nos sistemas de ventilação e ar condicionado têm efeitos adversos na saúde.

A exposição a poluentes no ar interior gerado pelas actividades internas e emitidos a partir de matérias existentes no interior ou sistemas de ventilação podem ter uma variedade de efeitos comuns e de ampla gama de gravidade, desde a percepção de odores indesejados até ao cancro (por exemplo, pela inalação de radão ou partículas de amianto). Os efeitos podem ser agudos ou a longo prazo.

Os efeitos positivos e negativos dos sistemas de ventilação segundo (European Collaborative Action, 2003) incluem o seguinte:

- A ventilação dilui (ou dispersa) as concentrações de bactérias ou vírus, transportados pelo ar que podem causar doenças infecciosas. Assim, as maiores taxas de ventilação reduzem a prevalência de doenças infecciosas (Fisk, Faulkner, Palonen, & Seppanen, 2002);

- Alguns microrganismos podem crescer nas baterias de refrigeração e bandejas de condensados dos humidificadores e torres de arrefecimento, causando doenças respiratórias ou sintomas, tais como a doença dos legionários (Flannigan B, 1996);

- As taxas de ventilação inferiores a 10 l/s (36 m³/h) por pessoa estão associados a resultados com prevalências significativamente maiores na saúde de um ou mais sintomas ou com pior qualidade de ar, percebida pelos ocupantes em ambientes de escritório (Seppänen O F. W., 1999);

- As taxas de ventilação superiores a 10 l/s (36 m³/h) por pessoa, até cerca de 20-25 l/s (72 - 90 m³/h) por pessoa estão associados a uma diminuição significativa na prevalência de sintomas da síndrome do edifício doente ou com melhor qualidade do ar percebida em ambientes de escritório (Seppänen O F. W., 1999), (Sundell J, 2007);

- A melhor ventilação pode melhorar o desempenho de tarefas e produtividade no ambiente de escritório (Seppänen O F. W., 2006);

- As taxas de ventilação até 9 l/s (32,4 m³/h) por aluno nas escolas melhoram o desempenho em tarefas escolares (Wargocki P, 2006);

- Em comparação com a ventilação natural, o ar condicionado (com ou sem humidificação) é frequentemente associado a um aumento estatisticamente significativo na prevalência de um ou mais sintomas da síndrome do edifício doente em edifícios de escritório (Seppänen & Fisk, 2002);

- Humidade interior é influenciada pelas taxas de ventilação, e esta, geralmente, reduz os níveis de humidade interior. A um elevado nível de humidade interna está associado um aumento do crescimento de microrganismos como fungos e bactérias (Institute of Medicine, 2004);

- A humidade relativa acima de cerca de 50% aumenta os níveis de ácaros de poeira no interior. Taxas baixas de ventilação podem assim aumentar a frequência ou intensidade dos sintomas alérgicos e outros (Flannigan B, 1996);

- Maiores riscos de cancro de pulmão, enfarto, doenças cardíacas e derrames foram associados à exposição ao fumo do tabaco e à deterioração do radão. As taxas de ventilação normalmente reduzem as concentrações no interior desses agentes.

As características da ventilação incluem a taxa renovação, o tipo de sistema, os contaminantes no ar interior e as características físicas do ambiente interior e exterior. Essas características afectam as respostas humanas, individual e colectivamente. Além disso, a ventilação pode afectar outros aspectos do ambiente interno que, por sua vez afectam a saúde, incluindo as condições térmicas, humidade interna, as diferenças de pressão em toda a envolvente do edifício.

A ventilação é um parâmetro importante para a qualidade do ar interior nos edifícios, pelo que os sistemas de ventilação devem ser projectados, controlados e ajustados às necessidades dos espaços, em função da quantidade de poluentes a remover.

Porque a ventilação tem consequências directas nos consumos de energia quer pelo seu próprio funcionamento como sobretudo com os sistemas de ar condicionado (que são grandes consumidores de energia) deve-se ajustar o mais possível a quantidade de ar de ventilação.

3.3 - Especificações dos tipo de ar

Segundo a norma (EN 13779:2007, 2007) são fixados vários tipos de ar para os sistemas de ventilação e sistemas de ar condicionado num edifício, ilustrados na (figura 10). As abreviaturas e cores apresentadas devem ser usadas para marcar o tipo de ar nos desenhos dos sistemas de ventilação ou ar condicionado. As abreviaturas também podem ser úteis para a rotulagem das partes do sistema.

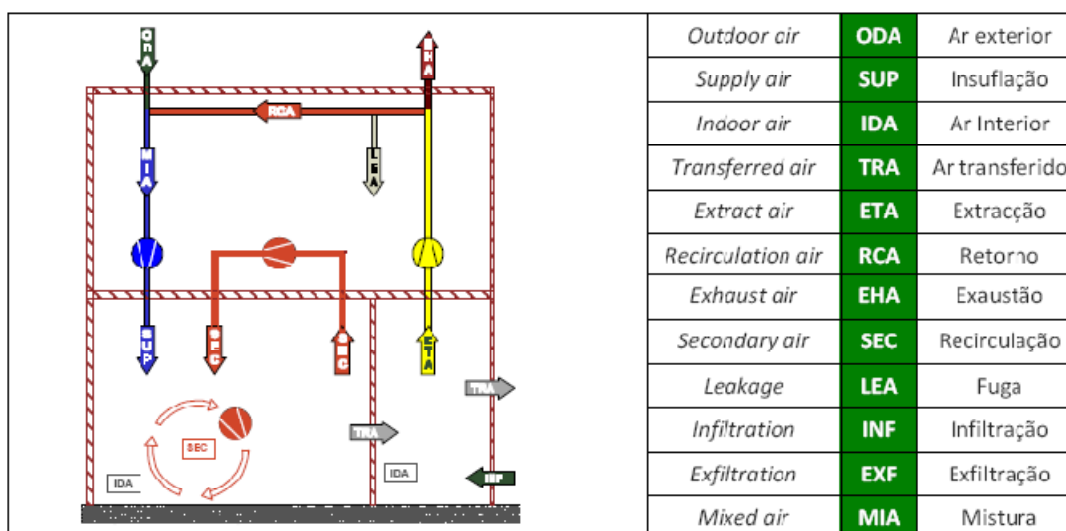


Figura 10 - tipos de ar segundo EN 13779

3.4 - Sistemas de climatização

Entende-se por sistema de climatização um conjunto de equipamentos instalados num espaço ou edifício, com o objectivo de manter a temperatura, humidade, ventilação e renovação do ar. É muito comum encontrar-se instalações que só controlam a temperatura.

O projecto e dimensionamento de um sistema de climatização não deve limitar-se só à remoção das cargas térmicas para as quais foi dimensionado, deve garantir também as condições de eficiência em regime de carga parcial.

Os sistemas de climatização podem agrupar-se de diferentes formas em função do fluido térmico utilizado, a área que o sistema irá climatizar, ou mesmo do risco que possa existir para os ocupantes.

3.4.1 - Classificação em função do fluido térmico

Nesta classificação, principalmente utilizada nos sistemas centralizados, o fluido térmico ou fluido secundário são normalmente considerados três tipos base de sistemas: “tudo ar”, “ar água” e “tudo água”, e um quarto tipo “tudo refrigerante” que pode ser considerado nas instalações centralizadas em função do sistema que é usado.

3.4.1.1 - Sistemas tudo ar

Nos sistemas “tudo ar”, o ar previamente arrefecido ou aquecido numa unidade de tratamento de ar UTA é levado ao local a climatizar através de conduta principal.

Dentro deste sistema existem sistemas “uni zona” e “multi zonas”

- uni zona, como o próprio nome indica, é um sistema que trata só uma zona, totalmente independente das restantes;

- multi zonas de caudal variável (VAV) é um sistema que trata várias zonas do edifício em que o controlo da temperatura é feito através da regulação do caudal de ar fornecido ao espaço (ar frio ou ar quente). É um sistema energeticamente mais eficiente, tem problemas acrescidos no controlo, sobretudo, na garantia de fornecimento do caudal mínimo de ar novo;

- multi zonas de caudal constante (VC) é um sistema que trata várias zonas, em que o caudal de ar fornecido ao espaço a ventilar ou climatizar é constante. Normalmente, o controlo é comum a vários espaços, potencialmente menos eficiente energeticamente que o sistema VAV.

3.4.1.2 - Sistemas ar água

Nos sistemas “ar água” são utilizados ao mesmo tempo como fluidos térmicos o ar e a água. Normalmente, nestes sistemas pretende-se que as cargas térmicas relativas ao ar novo sejam removidas pelo sistema a ar, assim, o ar novo é insuflado na sala a uma temperatura próximo das condições pretendidas, normalmente 2 °C acima ou abaixo, consoante esteja em regime de funcionamento de aquecimento ou de arrefecimento. O sistema a água irá remover a carga térmica interior.

3.4.1.3 - Sistemas tudo água

Nos sistemas “tudo água”, o fluido térmico é água refrigerada ou água quente que circula pelas tubagens até aos locais a climatizar.

Existem instalações a 2 ou a 4 tubos, a 3 tubos é menos usada.

Nas instalações a 2 tubos existe um tubo de ida outro de retorno é, portanto, um sistema de circuito único, não permite o arrefecimento ou aquecimento dos diferentes locais do edifício ao mesmo tempo.

Nas instalações a 4 tubos existem dois tubos de ida e dois de retorno, é um sistema de circuito duplo, permitindo o arrefecimento ou aquecimento nos diferentes locais do edifício ao mesmo tempo.

Os sistemas “tudo água” são muito usados com os equipamentos terminais chamados ventilo convectores, em que o ar forçado pelo ventilador circula pela bateria fria e/ou quente removendo assim a carga térmica.

Com esta configuração, é possível fazer o tratamento térmico do ar novo conjuntamente com o ar de retorno, ligando a conduta de ar novo à caixa de mistura.

Este sistema pode ser também usado como tipo radiante, através dos “tectos radiantes” ou pavimentos “radiantes”. Nestes sistemas o arrefecimento ou aquecimento é essencialmente conseguido por radiação. Devido à forma como se desenvolve a convecção natural os tectos são mais usados para arrefecimento e os pavimentos para aquecimento.

Existem ainda os sistemas híbridos “convectivo-radiante”, que usando radiadores colocados nas paredes, por convecção natural, promovem o aquecimento.

Com estas configurações o ar novo tem e ser tratado numa unidade independente e insuflado na sala com outro sistema de ventilação.

3.4.1.4 - Sistemas tudo refrigerante

Nestes sistemas o fluido que circula em toda a instalação é o “refrigerante” (fluido frigorigéneo). São exemplos destes, os sistemas tipo volume de refrigerante variável (VRV).

3.4.2 - Classificação em função da área que o sistema irá climatizar

Em função da área que o sistema de climatização irá servir ou o local onde será produzido o frio ou calor, os sistemas podem ser classificados em sistemas centralizados ou individuais.

O sistema centralizado é concebido para fornecer fluido térmico à totalidade ou grande parte do edifício, encontrando-se o circuito primário num local próprio, designado por zona técnica, com acessos condicionados só às pessoas responsáveis pela condução e manutenção do sistema. A climatização dos locais é efectuada através do fluido térmico que circula no sistema secundário.

O sistema individual é um aparelho ou um conjunto de aparelhos, servindo apenas um espaço dum edifício, são exemplos os aparelhos tipo “split” ou de janela.

Esta divisão de sistemas centralizados e individuais não é consensual sendo até subjectiva.

Nas diferentes concepções que os sistemas de climatização permitem, existe um grupo que embora não possa ser considerado no grupo dos sistemas centralizados, também não é individual. São os sistemas de volume de refrigerante variável (VRV), em que existe apenas um circuito, o do fluido frigorigéneo que vai até aos locais a climatizar. Este sistema é modular, permite servir várias zonas diferentes do edifício, é constituído por uma unidade exterior e várias unidades interiores que, dependendo das marcas, pode ser superior a 30 unidades.

O RSECE impõe que em edifícios de serviços com mais do que uma fracção autónoma, cuja soma das potências de climatização das fracções com o mesmo tipo de uso seja superior a 100 kW, os sistemas de climatização sejam centralizados. Entendendo-se por sistema centralizado quando a produção de calor e/ou frio possa ser gerida por um único sistema de controlo, gestão e monitorização, independentemente do número de unidades produtoras.

3.4.3 - Classificação em função do nível de segurança

Esta classificação é função do traçado da tubagem onde circula o fluido frigorífero, circuito secundário, contacta com as zonas ocupadas. Esta classificação faz sentido principalmente para sistemas que usam fluido frigoríferos halogenados.

Podem ainda ser classificados em sistema directos, se a tubagem contacta com as zonas onde possa ocorrer ocupação, zonas de permanência ou passagem. Sistemas indirectos, se o fluido primário for um fluido frigorífero halogenado e o fluido secundário forem ar ou água.

3.5 - Tipos de ventilação

3.5.1 - Ventilação natural

Sem dúvida, a ventilação natural é o método mais antigo de fornecer ar novo a um espaço interior e deste modo, remover poluentes e odores. Até ao século XIX, início século XX, as necessidades de ventilação eram básicas, utilizando-se aberturas não controladas para o efeito. Este fluxo de ar que permitia a renovação do ar interior, poderia facilmente causar desconforto e correntes de ar ou a entrada de poeiras e mesmo chuva.

O processo de ventilação natural é explicado pelo movimento de massas de ar induzidas por diferenças de pressões e/ou temperaturas. O princípio que gera o vento na atmosfera é o mesmo que promove a ventilação natural de um determinado espaço interior.

Nos edifícios o fluxo de ar é promovido pela diferença de pressão e/ou temperatura entre a zona interior e exterior de qualquer abertura, por exemplo, portas, janelas, frinchas, chaminés ou aberturas específicas para a ventilação. Os processos físicos que permitem gerar essa diferença de pressões são de dois tipos: processo térmico (devido à diferença de temperaturas) e o eólico (devido à conversão da energia cinética do vento em pressão estática sobre a envolvente do edifício).

No processo térmico, a diferença de temperaturas entre o exterior e o interior ou entre espaços interiores, gera diferentes gradientes de pressão, provocando um desequilíbrio de pressões e promovendo a troca de fluxos de ar. No processo eólico a

circulação de ar num espaço interior é originada pela acção do vento que depende da sua incidência, da forma do edifício e das características locais, nomeadamente, da proximidade do edifício a obstáculos e orografia.

Esta acção traduz-se sob a forma de pressões distribuídas sobre as envolventes. De uma forma genérica as envolventes de barlavento (lado que sopra o vento) estão sobre a acção de sobrepressões e todas as outras estão sujeitas a depressões, dando origem a fluxos de ar no espaço interior, de barlavento para sotavento (direcção para onde sopra o vento). Estes processos ou a sua acção conjunta geram circulação de ar através de mecanismos de ventilação natural.

Pode considerar-se a existência de dois esquemas globais de ventilação natural: um em fachada única (em que todas as aberturas se encontram na mesma fachada) e outro em fachada cruzada (em que as aberturas se encontram em fachada opostas ou adjacentes).

Actualmente, o facto dos requisitos de ventilação serem mais exigentes não invalida que os edifícios sejam ventilados naturalmente. Pois apesar da percentagem de edifícios novos ou renovados com ventilação mecânica ter aumentado significativamente nos últimos anos, a maioria dos edifícios existentes utiliza a ventilação natural. É exemplo disso os edifícios do Campus da Penha, estudado neste trabalho.

A ventilação natural é relativamente fácil integrar no projecto de edifícios com densidades de ocupação não muito elevadas, apresentando algumas vantagens em relação à ventilação mecânica pelo facto de requerer uma baixa manutenção e limpeza, de ser facilmente adaptável ao conceito do edifício e de não consumir energia. Para edifícios ou espaços com grandes densidades de ocupação o sistema de ventilação natural é de difícil integração porque são necessários caudais de ar elevados.

Estudos referidos por (Alloccaa, Chenb, & Glicksmana, 2003), o custo de energia de um edifício que utiliza um sistema de ventilação natural é 40% menor do que um que utiliza um sistema de ar condicionado. Porém, o uso de ventilação natural, principalmente durante a fase de utilização do edifício, revela potenciais limites, como o ruído, a segurança do edifício, a poluição do ar interior, as correntes de ar e a negligência na sua abertura ou fecho por parte dos ocupantes.

Outro aspecto a ser considerado na contabilização dos fluxos da ventilação natural são os caudais de infiltração, isto é, fluxos de ventilação não controlados e que seguem percursos através de todo o tipo de aberturas existentes na envolvente do edifício. Por exemplo, devido à porosidade dos materiais, as juntas dos elementos construtivos, as janelas e portas.

Geralmente, os ocupantes dos edifícios com ventilação natural mostram-se satisfeitos com o seu ambiente interior porque têm algum controlo sobre ele e aos baixos custos que estes envolvem.

Para cumprir os caudais mínimos indicados no RSECE é muito difícil utilizar sistemas de ventilação natural, especialmente nos edifícios de serviços com níveis de ocupação mais elevados.

Existem muitas razões para continuar a considerar a ventilação natural uma opção e uma alternativa viável, pois os projectistas, administradores e ocupantes devem considerar os limites da ventilação natural como desafios a ultrapassar.

3.5.2 - Ventilação mecânica

A ventilação mecânica é baseada na exigência de que a taxa de ventilação é mantida em todas as condições climatéricas, sem envolver os ocupantes do edifício. Quando a ventilação é garantida por um sistema mecânico de insuflação e de extracção, a envolvente do edifício pode ser considerada praticamente hermética, as perdas de energia devido à infiltração e exfiltração são, portanto, reduzidas.

A envolvente do edifício também melhora o isolamento acústico e reduz a transferência de ruídos externos para o interior do edifício face à ventilação natural.

A eficiência energética de ventilação pode ser melhorada através de recuperação de calor da exaustão do ar, a extracção é controlada, dependendo da humidade, da ocupação, ou factores de qualidade do ar.

O ar fornecido para a ventilação deve ser limpo de poluentes do ar exterior. Além disso, aquecimento e refrigeração podem ser facilmente combinados com os sistemas de ventilação mecânica. Para garantir esta obrigação deve ser dada especial atenção à

localização dos pontos de tomada de ar novo (face a fontes de poluentes) e à escolha de filtros adequados ao tipo de uso do edifício ou sala.

O RSECE indica que as taxas de renovação de ar referem-se a caudais efectivos de ar novo, não aos caudais totais insuflados em cada espaço, introduzindo o conceito de eficiência da ventilação que é a percentagem do caudal de ar novo insuflado num dado espaço, ou de algum modo nele admitido, e que efectivamente chega à zona ocupadas desse espaço, pelo que os caudais efectivos a insuflar deverão ser majorados em função da eficiência da ventilação associada ao tipo de sistema existente.

Nos sistemas de ventilação forçada a forma como é introduzido o ar tratado na sala, difusão, pode assumir várias formas, naturalmente, com vantagens e desvantagens para ambos tipos de sistemas.

3.5.2.1 - Sistema por deslocamento “Displacement”

Embora os sistemas de ventilação por deslocamento tenham alguma capacidade de arrefecimento, a sua principal função é proporcionar a ventilação. As características do gradiente vertical de temperaturas destes sistemas podem impor algum risco de desconforto temperaturas baixas para as pernas e pés e calor na zona da cabeça.

A capacidade de refrigeração de ventilação do sistema por deslocamento pode ser insuficiente ou de menor aplicabilidade em edifícios de escritórios com ganhos de calor interno e solar.

Ventilação por deslocamento funciona num princípio de substituição do ar da sala sem mistura, o ar insuflado é injectado na zona ocupada a baixa velocidade e a um nível baixo, a uma temperatura um pouco mais fria do que a temperatura de projecto (geralmente em torno de 19 °C).

O ar espalha-se ao nível do pavimento formando um “reservatório” de ar fresco, depois, este, pela existência do sistema mecânico de ventilação, “empurra” o ar existente no sentido ascendente sendo que, as fontes de calor internas também contribuem para esse movimento ascendente (figura 11).

Desta forma, o ar insuflado é continuamente substituído sem se misturar, o ar quente e contaminado sobe para níveis superiores do espaço de onde é extraído. Isso provoca um gradiente vertical de temperatura para o desenvolvimento (tipicamente 5 a

6 °C entre a insuflação e a extracção), resultando em temperaturas mais elevadas ao nível do tecto do que com o padrão de sistemas de ventilação de mistura.

Este sistema de ventilação utiliza difusores de baixa velocidade, localizados junto ou perto do chão para introduzir o ar ligeiramente arrefecido e desumidificado. Este ar, devido à sua maior densidade espalha-se pelo chão. Os objectos que geram calor, tais como, pessoas e computadores aquecem o ar, fazendo com que, por convecção, o ar suba em torno dos objectos até o tecto onde é, então, removido do espaço. O resultado é um sistema que oferece um maior nível de qualidade do ar interior com consumos de energia muito próximos dos do sistema de mistura.

Algumas vantagens dos sistemas por deslocamento, face ao sistema de mistura:

- proporciona uma elevada qualidade do ar interior;
- velocidades de insuflação mais baixas;
- temperaturas insuflação mais elevadas na época quente e mais baixa na época fria;
- melhor eficiência da ventilação, tipicamente na ordem dos 100%;

Algumas desvantagens dos sistemas por deslocamento, face ao sistema de mistura:

- maior gradiente de temperaturas;
- maior dificuldade de instalação, por vezes existe dificuldade de espaço ao nível do pavimento;
- a velocidade de insuflação tem de ser baixa, devido ao local onde se está a fazer, e pode provocar desconforto.

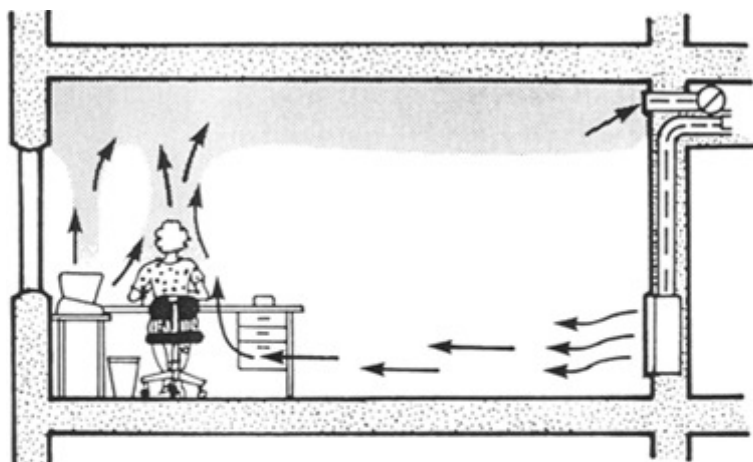


Figura 11 – esquema principio sistema difusão por deslocamento

3.5.2.2 - Sistema por mistura

Sistema por mistura como próprio nome indica pretende-se que o ar insuflado se misture com o ar da sala, normalmente, a insuflação e retorno fazem-se pelo tecto.

Nos sistemas em que a insuflação se faz relativamente afastada do retorno, minimiza-se o risco de “curto-circuito”, garantindo difusores de alta indução, bem distribuídos e extracção em “zonas mortas” do campo do escoamento, obtêm-se eficiências de ventilação na ordem dos 80%.

Quando a insuflação e retorno estão mais próximos, sem que sejam tomadas medidas para minimizar o risco de “curto-circuito” do ar, a eficiência da ventilação estima-se na ordem dos 60%.

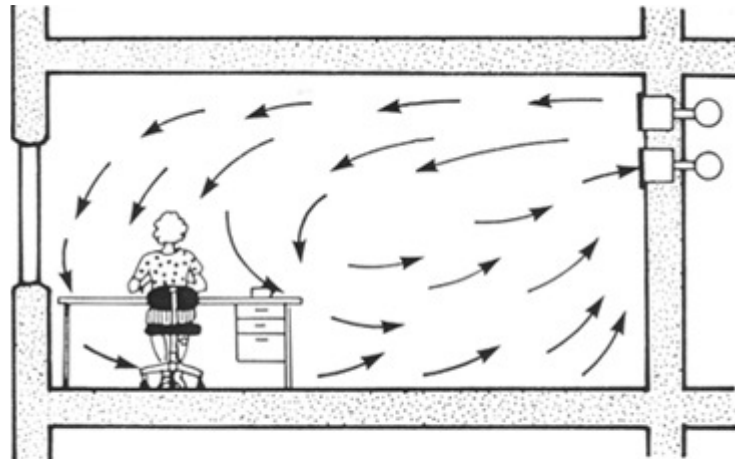


Figura 12 – esquema principio sistema difusão por mistura

3.5.3 - Sistemas híbridos

Os sistemas de ventilação híbridos combinam sistemas de ventilação natural sempre que as condições permitam caudais suficientes de renovação e, sistemas de ventilação mecânicos, quando a ventilação natural é insuficiente (de forma alternativa ou complementar). Neste tipo de ventilação é comum ter a admissão de ar exterior por meios naturais estimulada pela extracção mecânica de ar (exaustão).

Estes sistemas, potencialmente, serão menores consumidores de energia. No entanto carecem de equipamentos de medição de poluentes, nomeadamente o CO₂, de forma a controlar a ventilação mecânica.

3.6 - Recuperadores de calor

Os recuperadores de calor são equipamentos ou sistemas que têm por função reaproveitar o calor que seria “rejeitado” para o exterior através do ar de exaustão.

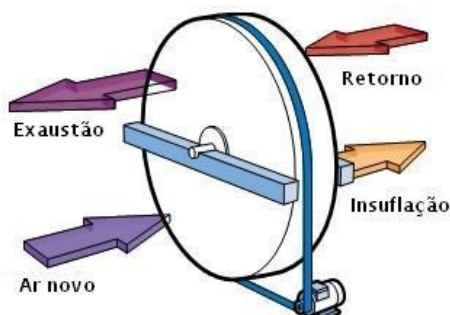
O RSECE prevê a instalação destes equipamentos na estação de aquecimento quando a potência térmica de rejeição for superior a 80 kw. Na prática verifica-se que os projectistas, para cumprir as exigências energéticas indicadas neste regulamento, muitas vezes colocam sistemas destes para potências inferiores.

Estão disponíveis no mercado vários tipos sistemas de recuperação de calor, sendo os mais comuns: a roda térmica, fluxos cruzados, tubos de calor “Heat Pipes”, sistema “run around coil”.

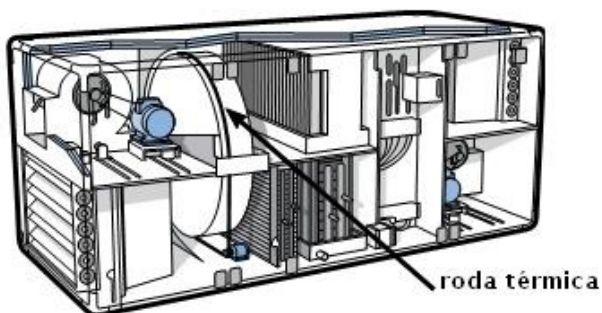
3.6.1 - Roda térmica

É um dispositivo de transferência de calor composto por uma roda giratória. As ligações das condutas de ar novo e de exaustão estão dispostas de modo que cada uma das correntes de ar de fluxo axial atravessa a roda através de, aproximadamente, metade da roda. O meio poroso que é aquecido a partir da corrente de ar quente da conduta gira para a corrente de ar frio da conduta onde o calor sensível é lançado, no ciclo de aquecimento, no ciclo de arrefecimento os fluxos de calor são ao contrário.

Devido à possibilidade de passagem de contaminantes do ar de exaustão para o ar novo, este sistema é recomendado para sistemas de climatização onde o ar de exaustão seja ETA 1 ou ETA 2, com pequenas fontes de contaminação, como escritórios, salas de aula ou quartos de hotel.



Fonte : The Carbon Trust 2009



Fonte : The Carbon Trust 2009

Figura 13 – recuperador de calor com roda térmica

3.6.2 - Roda térmica higroscópica

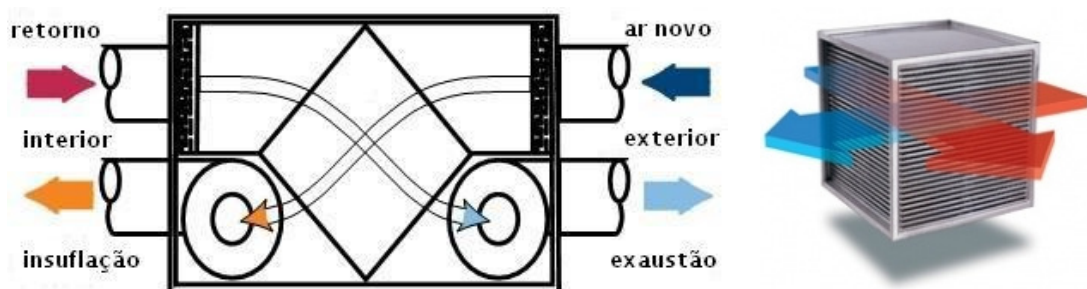
Esta roda térmica, para além da recuperação de calor sensível, permite a recuperação de calor latente, melhorando assim o controlo de humidade.

O princípio de funcionamento é igual à roda térmica simples, só que esta tem incorporado alguns materiais, tais como dessecante de sílica gel, que lhe permite também transferência de humidade de uma corrente de ar para a outra.

Assim, o ar húmido é seco, enquanto o ar mais seco é humidificado. No balanço da transferência de calor total, quer o calor sensível quer o latente ocorrem simultaneamente.

3.6.3 - Fluxos cruzados

Este sistema é composto por um permutador de placas com camadas alternadas através das quais o calor é transferido entre o ar novo e o de exaustão, garantindo a total separação dos fluxos. Tendo como vantagens permitir eliminar na totalidade os potenciais problemas causados pela mistura de caudais, não tem partes móveis e como inconveniente, a grande dificuldade de limpeza do permutador (placas).



Fonte : The Carbon Trust 2009

Figura 14 – recuperador de calor de fluxos cruzados

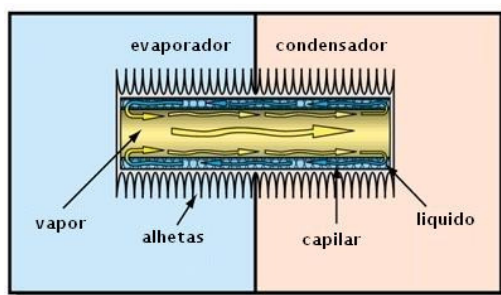
3.6.4 - Sistema tubos de calor “Heat Pipes”

Um permutador de calor “heat pipe” é um dispositivo de recuperação passiva de energia.

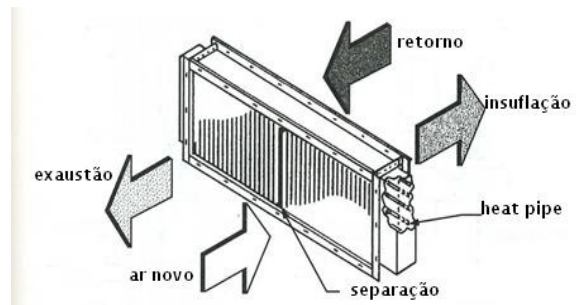
O sistema é composto por uma bateria dividida em duas secções, atravessada por uma grande quantidade de tubos alhetados dispostos na horizontal, designados por “heat pipe”. Dentro de cada tubo existe um fluido que condensa com a passagem de um caudal de ar frio, logo, aumenta a temperatura para esse fluxo. Do outro lado do tubo esse mesmo fluido evapora com a passagem de um caudal de ar quente, diminuindo a temperatura desse fluxo.

Estando o sistema a funcionar no ciclo de aquecimento, os caudais de ar quente e frio, são o ar de retorno e o ar novo e estão separados por uma placa fazendo com que os dois fluxos não se misturem. Do lado do ar quente, designa-se por condensador, do lado do ar frio, designa-se evaporador.

A transferência de energia nos tubos de calor “heat pipe” é muitas vezes considerada isotérmica. No entanto, há uma pequena queda de temperatura entre a parede do tubo e fluido de transferência.



Fonte : VENMAR CES Inc.



Fonte : ASHRAE HANDBOOK 2008

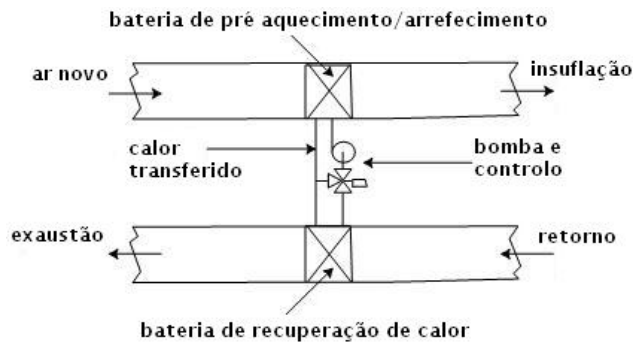
Figura 15 – recuperador de calor tipo tubos de calor “Heat Pipes

As vantagens deste sistema são:

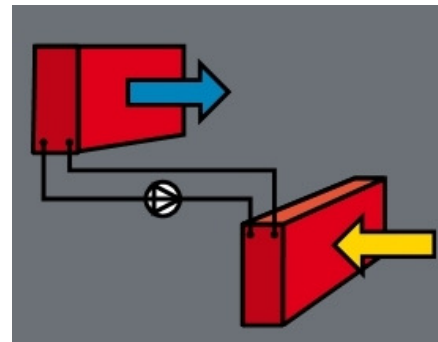
- não tem partes móveis, tem uma manutenção mínima;
- devido à total separação dos caudais, a possibilidade de eventual contaminação entre caudais de ar novo e exaustão é mínima.

3.6.5 - Sistema “run around coil”

É constituído por duas baterias de permutadores ar - fluido de transferência, normalmente água ou solução anti-congelante, uma tubagem de ligação entre os permutadores e uma bomba de circulação. O sistema é utilizado durante o período de inverno para pré-aquecer e, no verão, para pré-arrefecer o ar novo, recuperando energia do ar extraído.



Fonte : The Carbon Trust 2009



Fonte : AL-KO THERM GmbH

Figura 16 – recuperador de calor tipo “run around coil”

A grande vantagem deste sistema é a possibilidade de instalação mesmo que as condutas de ar novo e exaustão estejam relativamente afastadas, também afasta o potencial de contaminação entre os caudais de ar novo e de exaustão.

3.7 - Free cooling

Existem sistemas de controlo do ar exterior projectados para economizar energia usando o ar exterior frio como um meio de arrefecimento do espaço interior. Quando a entalpia do ar exterior é menor do que a entalpia do ar de recirculação, a utilização do ar exterior é mais eficiente energeticamente do que utilizar a recirculação de ar.

O RSECE prevê a instalação destes equipamentos nos sistemas de climatização do tipo “tudo ar”, com um caudal de ar de insuflação superior a 10 000 m³/h.

3.8 - Filtros

A filtração do ar novo que entra para oxigenação dos ambientes climatizados evitará que as condutas e as serpentinas fiquem sujas e a filtração após a mistura do ar novo com o ar de retorno evitará a propagação da contaminação gerada dentro dos ambientes climatizados.

Nos sistemas de ar condicionado são encontradas condições propícias para a proliferação de microrganismos, alguns nocivos para a saúde humana. Temos além do pó atmosférico retido nas serpentinas e condutas do ar condicionado, humidade e temperatura que facilitam esta proliferação.

Os filtros deverão ser aplicados segundo o projecto do sistema de climatização e seguindo normas que regem a sua aplicação. Os filtros de superfície expansível (tipos plissados ou tipo bolsa) com meio filtrante sintético são os mais recomendados, pois, além de não haver a libertação de partículas de fibras dos elementos filtrantes, possuem uma maior área filtrante proporcionando uma maior retenção e acumulação de pó com maior vida útil e menor perda de carga para o sistema.

Na generalidade dos casos não é necessário recorrer a filtros HEPA e ULPA.

A utilização de filtros do tipo “G” é aconselhada para utilização como pré-filtros.

É recomendado conhecer a classificação dos filtros segundo a EN 13779 para as situações gerais e a EN 1822 para aplicações específicas (salas brancas, cinzentas, micro electrónicas, indústria alimentar e farmacêutica).

O cálculo da pressão estática disponível nos ventiladores das unidades munidas de filtros deve ser definida com cuidado, maior ainda, se o ventilador não tiver velocidade regulável, já que a inevitável colmatagem evolutiva dos filtros irá provocar uma menor disponibilidade de caudal de ar movimentado, o que pode pôr em risco o objectivo pretendido.

Assim, devem ser verificados os caudais para filtros limpos e colmatados (controlados por pressostato diferencial) para se definirem os limites de funcionamento sem prejuízo dos objectivos fixados.

3.9 - Manutenção e operação dos sistemas da QAI

3.9.1 - Introdução

A manutenção é indicada no Decreto-Lei nº 79/2006, conhecido como RSECE, como “todos os sistemas energéticos dos edifícios, ou fracções autónomas, devem ser mantidos em condições adequadas de operação para garantir o respectivo funcionamento optimizado e permitir alcançar os objectivos pretendidos de conforto ambiental, de QAI e de eficiência energética”(ponto 1, do Artigo 19º do DL 79/2006 de 4 de Abril)

Sem as correctas operações de manutenção, conhecimento dos utilizadores e operadores dos sistemas de ventilação e climatização, muito dificilmente será possível garantir uma boa qualidade do ar nos edifícios.

Pelo que é com a formação e qualificação dos técnicos para as operações de manutenção, preferencialmente integrados em empresas da especialidade, que se poderá confiar na qualidade e operacionalidade dos sistemas, por força do cumprimento do RSECE. Assim, os promotores e as entidades fiscalizadoras cumpram com as suas responsabilidades, e teremos de certeza uma melhor QAI nos edifícios.

Outra questão não menos importante e também, muitas vezes descorada (quer na fase de projecto e instalação da responsabilidade do projectista ou instalador, quer mesmo já na exploração do sistema) é a localização e regulação dos comandos do próprio sistema. Durante a campanha de medições efectuada esta dificuldade foi comum a quase todos os sistemas.

A má regulação, dificuldades de acesso aos comandos e desconhecimento dos utilizadores ou gestores da correcta utilização dos sistemas e o modo de funcionamento estão, normalmente, associados ao desconforto dos utilizadores, desperdício de energia, logo, uma má QAI mesmo que a nível de projecto e execução da obra esteja bem dimensionada.

Na figura 17, resume-se os tipos de manutenção

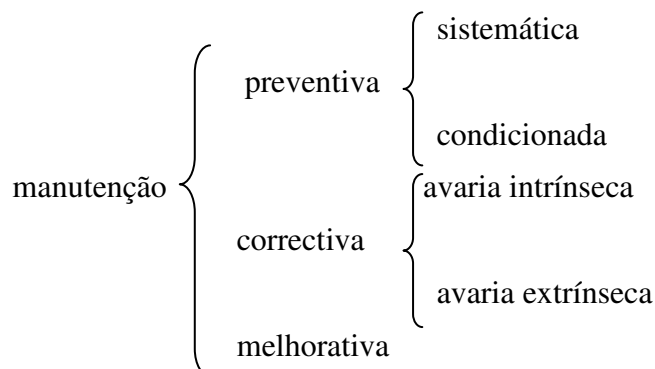


Figura 17- tipos de manutenção

A manutenção e limpeza, independentemente da classificação que se lhe possa atribuir, são indispensáveis na obtenção de uma boa qualidade do ar interior. Ambas devem fazer parte das rotinas de manutenção, que por um lado garantem a operacionalidade dos sistemas em condições de segurança e eficiência e por outro o controlo da proliferação de fungos, bactérias e poeiras.

3.9.2 - Manutenção preventiva

Manutenção preventiva é o tipo de manutenção em que se realiza a intervenção com o objectivo de evitar avarias, verificando a eficiência de funcionamento dos sistemas, repondo, estes a funcionar com a eficiência máxima, caso necessário este tipo de manutenção pode efectuar-se de duas formas em função da oportunidade e designa-se, normalmente por:

- **Manutenção preventiva sistemática** quando as operações são executadas tendo por base intervalos de tempo regulares, “cegos” face à existência ou não de qualquer anomalia;
- **Manutenção preventiva condicionada** quando as operações são executadas tendo por base sintomas detectados em rotinas de inspecção ou controlo de funcionamento, sem que já tenha ocorrido qualquer falha no funcionamento do sistema.

3.9.3 - Manutenção correctiva

A manutenção correctiva é aquela que decorre na sequência de uma avaria, a qual poderá ter acontecido em resultado de:

- avaria intrínseca - quando o equipamento avariou por causas relacionadas com o próprio equipamento, partiu-se uma correia, placa electrónica danificada, etc.

- avaria extrínseca - quando o equipamento avariou ou ficou imobilizado por causas exteriores ao equipamento, má operação, acidente, etc.

3.9.4 - Manutenção melhorativa

A manutenção melhorativa visa o melhoramento do equipamento ou sistema e pode dizer-se que será uma manutenção preventiva condicionada, mas mais avançada. Após a identificação do problema faz-se a intervenção no equipamento visando melhorar a forma como este está a funcionar.

4 - Modelação numérica dos parâmetros da QAI

4.1 - Conforto térmico

De acordo com a (ASHRAE, ASHRAE Standard 55, 2004. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy., 2004) e tal como definido pela ISO 7730, conforto térmico é: “um estado de espírito em que o indivíduo expressa satisfação com o ambiente térmico que o envolve (nem quente nem frio) ”. Se o balanço de todas as trocas de calor a que está submetido o corpo humano for nulo e a temperatura da pele e o suor estiverem dentro de certos limites pode dizer-se que o homem se encontra numa situação de conforto térmico.

O conforto térmico é reconhecido como sendo um conceito não exacto, que não implica uma temperatura exacta e é dependente de alguns parâmetros que se subdividem em 2 grupos:

- a) parâmetros individuais
 - actividade metabólica
 - índice de vestuário
- b) parâmetros físicos ou ambientais
 - temperatura do ar
 - humidade relativa do ar
 - velocidade do ar
 - temperatura média radiante

Além disso, deverá ter-se também em conta a intensidade luminosa, o nível de ruído, a presença de odores e os parâmetros relativos a cada ocupante, como por exemplo, a idade, o sexo e as características específicas de cada um.

O conforto térmico no interior dos espaços é uma condição importante para o bem estar e para a saúde dos ocupantes. O ser humano, para desenvolver uma certa actividade e poder estar confortável, procura naturalmente um equilíbrio térmico entre o corpo e a envolvente que o rodeia. O que significa que é possível a manutenção da temperatura dos tecidos do corpo, num domínio de variação estrito (zona de conforto) sem que haja um esforço sensível.

Em Portugal, o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE, 2006) apresenta o conforto térmico como um direito das pessoas e estabelece um patamar mínimo que deve ser atingido em todos os edifícios habitacionais. Este regulamento determina que as condições de conforto de referência são de uma temperatura do ar de 20°C para estação de aquecimento e uma temperatura do ar de 25°C juntamente com uma humidade relativa de 50% para a estação de arrefecimento.

Apesar do conforto térmico poder ser medido e existirem normas convencionais de conforto, tais como a (ISO-7730, 1994) e a ASHRAE-55 (2004), que permitem o cálculo da temperatura de conforto, estas não são consideradas completamente fiáveis. Isto porque, não são consideradas as reacções de adaptação das pessoas, como por exemplo, ajustar o casaco ou abrir e fechar janelas para ajustar a velocidade do ar.

Inicialmente estas normas tinham como principal preocupação definir as condições de conforto térmico sem ter em consideração os consumos energéticos necessários para alcançar o conforto. Mas devido aos problemas ambientais e à necessidade de um desenvolvimento sustentável, estas normas de conforto térmico tiveram de passar a considerar formas de o atingir com o menor consumo energético possível (J.F. Nicol, 2002).

A comprovar esta teoria surge uma nova tendência: “o modelo adaptativo”, com aplicação nas normas de conforto térmico. Este conceito explica as discrepâncias existentes entre os índices de conforto térmico racionais (física e fisiologia da transferência de calor) e os valores obtidos “in situ” pelos votos médios previstos (PMV – Predicted Mean Vote). Estas investigações provaram que a sensação humana de conforto térmico não é absoluta, mas sim adaptativa, ou seja, as pessoas possuem a capacidade de se adaptarem de forma a restaurar o conforto térmico.

As investigações revelaram ainda outro resultado: a temperatura e a humidade relativa que conduzem a sensações de conforto em espaços interiores são variáveis e apresentam uma forte relação com a temperatura média no exterior.

O PMV é baseado na equação de conforto de (Fanger, 1970) e actualmente recomendado pela Norma ISO 7730 para avaliação de ambientes termicamente moderados tem em conta o balanço térmico, a temperatura da pele e a produção de suor.

A sensação térmica é obtida através do voto médio estimado (PMV) conforme a escala da figura 18:

Escala	Sensação
+ 3	Muito quente
+ 2	Quente
+ 1	Levemente quente
0	Neutro
-1	Levemente frio
-2	Frio
-3	Muito frio

Figura 18 - escala de sensação térmica usada pelo índice PMV

Observando a figura 18, podemos perceber que o PMV nulo representa o estado térmico confortável. De acordo com a norma ISO 7730, alguns exemplos de situações que representam esse estado térmico confortável ($PMV = 0$) são: uma pessoa usando roupas leves e realizando uma actividade física pouco intensa sente-se confortável a uma temperatura de 23°C; caso esta mesma pessoa passe a vestir roupas de inverno e a exercer actividade física mais intensa, sua temperatura de conforto cairá para 12°C.

Assim, o conforto térmico é influenciado por todos os parâmetros descritos atrás e pode não ser representado simplesmente pelo balanço térmico do corpo humano. É possível afirmar que o vestuário é o parâmetro individual mais fácil de ajustar ao nível de conforto pretendido. Outro parâmetro que também pode auxiliar no controlo do conforto térmico é a alteração do movimento do ar em redor do corpo humano, pois é este que determina a transferência de calor do corpo humano para a envolvente (Burroughs, 2008).

A norma ISO 7730:2005 estabelece três categorias de ambiente térmico, considerando que um espaço apresenta condições de conforto térmico quando no máximo uma determinada percentagem dos seus ocupantes se sintam desconfortáveis.

categorias	PPD %
A	<6
B	<10
C	<15

Figura 19 – categorias de ambiente térmico, índices PPD

A quantificação da percentagem de desconforto é feita através de estudos que permitem estabelecer uma relação entre o resultado do balanço energético do corpo e a tendência de insatisfação, designada por PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied).

Conhecido o valor de PMV é possível calcular analiticamente o valor de PPD (percentagem de pessoas desconfortáveis termicamente).

Para além das condicionantes anteriormente mencionadas, que poderão ser maximizadas de forma a obter um bom conforto térmico, os contaminantes não são tidos em conta na abordagem do conforto térmico.

4.1.1 - Cálculo do índice PMV

Para obtermos uma expressão para o índice PMV, devemos, antes de mais nada, entender o mecanismo de regulação térmica do corpo humano.

O corpo humano necessita de calor para exercer as suas actividades. Na verdade, nosso corpo é uma fonte de calor. Esse calor é oriundo do metabolismo dos alimentos que ingerimos.

O corpo dos seres humanos é homeotérmico (são seres cuja temperatura corporal interna permanece constante, independentemente das variações da temperatura do meio externo). Isto acontece porque temos mecanismos que promovem trocas de calor com o meio ambiente, dissipando a energia gerada através das actividades físicas que exercemos.

O nosso organismo dissipa calor basicamente de duas maneiras: através da pele e da respiração. A dissipação de calor através da pele, por sua vez, pode ser dividida em perda de calor por convecção (C), por radiação (R), por difusão de vapor de água (E_{dif}) e por transpiração (E_{trans}). Já a dissipação de calor através da respiração divide-se em perda de calor por respiração sensível (E_{rs}) e por respiração latente (E_{rl}).

Pode assumir-se que, em reacção às condições ambientais, a produção de calor pelo corpo humano (dada pela taxa metabólica M) será igual à dissipação, fazendo com que não haja armazenamento significativo de calor por parte do mesmo. Nestas condições, o equilíbrio térmico corporal é dado por:

$$M - E_{dif} - E_{trans} - E_{rl} - E_{rs} = R + C \quad (1)$$

Assume-se que a sensação térmica para um dado nível de actividade é função da produção de calor interno. Além disso, supõe-se que o calor perdido para o ambiente em estudo é aquele que ocorreria para um homem hipoteticamente mantido sob valores confortáveis de temperatura média da pele e taxa de suor para o nível de actividade em questão.

De acordo com essa definição, a carga térmica (S) (a qual é dada por unidade de área de superfície corporal) pode ser escrita como sendo:

$$S = M - E_{dif} - E_{trans} - E_{rl} - E_{rs} - R - C \quad (2)$$

Dependendo da carga térmica à qual um corpo é submetido, este irá alterar sua temperatura média da pele e a taxa de suor para manter a sua temperatura interna. Isto faz com que a sensação térmica se modifique. Sendo assim, podemos concluir que existe uma relação entre a sensação térmica demonstrada por uma pessoa e a carga térmica à qual está submetida. A carga térmica, por sua vez, é influenciada pela produção de calor corporal interna. Logo, podemos dizer que a sensação térmica tem relação estreita com a produção de calor corporal interna.

Fanger (1970), conduziu estudos nos quais avaliava a relação entre a carga térmica e a opinião das pessoas sobre a sensação térmica. Observando os resultados, ele chegou ao índice de conforto térmico PMV, dado por:

$$PMV = (0,303e^{-0,036M} + 0,028) \times (M - E_{dif} - E_{trans} - E_{rl} - E_{rs} - R - C) \quad (3)$$

A relação do índice PMV com o percentual de pessoas não satisfeitas (PPD) é representada graficamente pela figura 20.

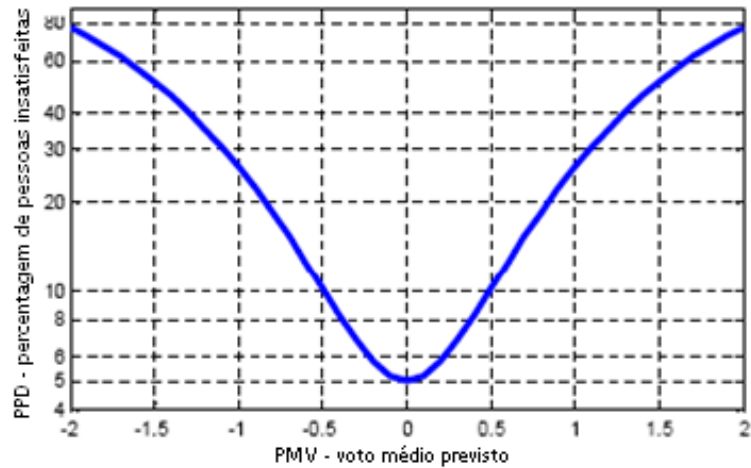


Figura 20 - relação entre o PMV e o PPD, adaptado (ASHRAE Standard 55P)

Observando a figura 20, podemos verificar que, mesmo para a situação de conforto térmico ($PMV = 0$) ainda existem pessoas que não se sentem confortáveis. A percentagem de pessoas não satisfeitas com a condição de conforto é conhecida como PPD e acontece devido à influência de um factor não mensurável (bastante pessoal) no conceito de sensação térmica: existem pessoas que preferem ambientes mais quentes, enquanto outras preferem mais frios.

4.1.2 - Percentagem de pessoas insatisfeitas - PPD:

O índice PPD estabelece a quantidade estimada de pessoas insatisfeitas, termicamente, com o ambiente.

Este índice baseia-se na percentagem de um grande grupo de pessoas que gostariam que o ambiente estivesse mais quente ou mais frio, votando +3, +2 ou -3 e -2, na escala sétima de sensações.

O PPD pode ser determinado analiticamente, conforme equação, em função do PMV, ou extraído do gráfico, figura 21.

$$PPD = 100 - 95 \times e^{-(0,03353 \times PMV^4 + 0,2179 \times PMV^2)} \quad (4)$$

Para o intervalo de conforto estabelecido pelo PMV (-0,5 a +0,5) o PPD assumiria o valor mínimo de 5%, quando o PMV for igual a 0, e o valor máximo de 10%, quando o PMV for igual a -0,5 ou +0,5.

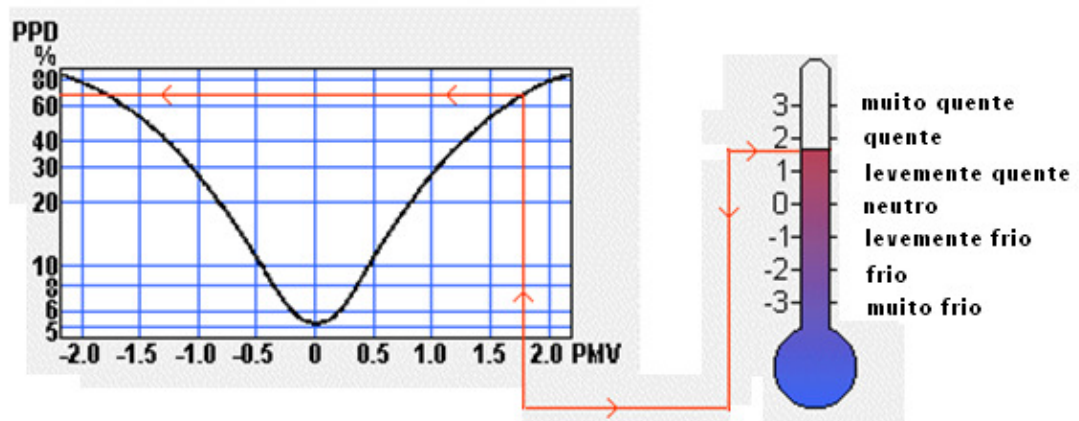


Figura 21 – relação PMV e PPD

4.2 - Simulação evidenciando a relação entre a emissão de CO₂ e caudal de renovação

As salas de aulas são espaços onde as fontes de poluição principais estão normalmente associadas à ocupação humana, pelo que se pode aplicar o método analítico tendo por base as concentrações de CO₂.

A presença de dióxido de carbono acima dos valores exteriores, nas salas de aula, deve-se principalmente à respiração humana, pelo que a quantificação desta fonte pode ser feita através de um balanço do CO₂, conforme apresentado por (Alfano, 2010).

Para analisar quais poderão ser os valores de CO₂ no interior de uma sala de aula, numa situação de equilíbrio (depois de algum tempo de ocupação) foi criada uma folha de cálculo onde foram introduzidas as equações abaixo indicadas e efectuados os respectivos cálculos, sendo simuladas três tipos de ocupações: com alunos de 6, 13 e 18 anos, repetindo-se os cálculos para caudais de ar novo desde 0 a 35 m³/h.

O método de cálculo e expressões usadas na folha de cálculo estão descritas a seguir.

O primeiro passo foi calcular a unidade de área da superfície corporal, Área de DuBois, A_{Du} , sendo calculada através da seguinte expressão:

$$A_{Du} = 0,202 \times W_b^{0,425} \times H_b^{0,725} \quad (5)$$

Com:

W_b – massa corporal (kg)

H_b – altura do corpo (m)

Para determinar o volume de oxigénio consumido usou-se uma expressão que relaciona a produção de CO_2 com o volume de oxigénio consumido, em função da área de superfície corporal e do nível de actividade.

$$V_{O_2} = \frac{0,00276 \times A_{Du} \times M}{0,23 \times RQ + 0,77} \quad (6)$$

Com:

V_{O_2} – volume de oxigénio consumido (l/s)

A_{Du} – área de DuBois (m^2)

M – nível de actividade metabólica (met)

RQ – razão entre o volume produzido de CO_2 e o volume consumido de O_2

O nível de actividade metabólica (M) é expresso em met ($1 \text{ met} = 58,2 \text{ W/m}^2$), na simulação indicada na figura 22, considerou-se um nível de actividade normal, 1,2 met.

A razão entre o volume de CO_2 produzido e o volume de O_2 consumido é o RQ , para uma actividade física moderada, assume-se o valor de 0,83, assim o volume de CO_2 produzido por pessoa, em l/s será:

$$V_{CO_2} = RQ \times V_{O_2} \quad (7)$$

A massa de CO_2 emitido a partir da respiração humana (G), pode ser determinada a partir da expressão (8), atendendo que o CO_2 tem uma densidade à temperatura de $25^\circ C$, de $1,98 \text{ kg/m}^3$, a massa que cada pessoa emite, será dada por:

$$G_{CO_2} = 1,98 \times V_{CO_2} \quad (8)$$

O cálculo da condição de equilíbrio, C_{equi} , em mg/m^3 é feito com a equação (9), tendo em conta a concentração inicial do ar exterior, C_{ext} , nesta simulação foi considerado 640 mg/m^3 , Q é o caudal de ar novo, valor que vai sendo alterado ao longo da simulação.

$$C_{\text{equi}} = C_{\text{ext}} + \frac{G}{Q} \quad (9)$$

No gráfico da figura 22 estão representadas três simulações, para indivíduos de 6, 13 e 18 anos, considerando 50% do sexo masculino, 50% do sexo feminino, com um percentil 50, com uma actividade sedentária ($1,2 \text{ met} = 69,8 \text{ W/m}^2$).

Neste gráfico ilustra-se a influência da variação do caudal de ar novo por pessoa na concentração de equilíbrio de CO_2 , num espaço interior, com fontes poluentes unicamente atribuíveis à ocupação humana, fazendo variar na equação anterior o valor de Q .

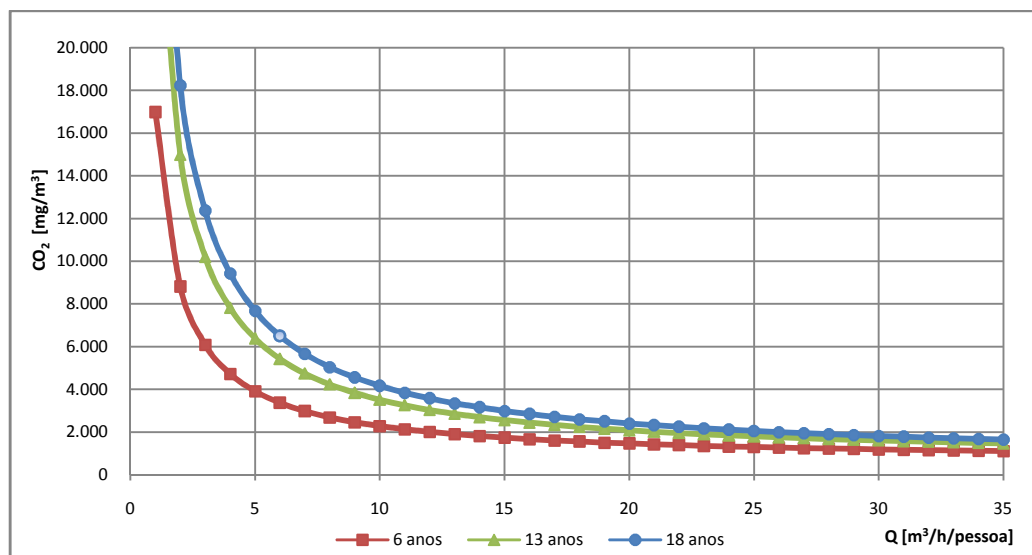


Figura 22 - concentração equilíbrio CO_2 , em função do caudal de ar novo

Da análise desta simulação verifica-se que para concentração máximas indicadas no RSECE, 1.800 mg/m³, com indivíduos de 6 anos, a condição de equilíbrio do CO₂ é conseguida com caudais de ar novo na ordem dos 14 m³/h, para indivíduos de 13 anos com caudais de 24 m³/h, e indivíduos com 18 anos são necessários 30m³/h.

Evidenciando-se que os caudais de ar novo em ambientes escolares, nomeadamente em salas de aula, têm valores bastante diferenciados em função das idades dos ocupantes.

De referir que a regulamentação portuguesa, RSECE não tem este factor em consideração.

4.3 - Cálculo da evolução temporal do CO₂

O cálculo do balanço da evolução da concentração de CO₂ foi feito admitindo-se que através do sistema de ventilação, a sala efectua trocas gasosas com o ar exterior, existindo no interior uma fonte poluidora, os ocupantes, e onde pode funcionar um elemento purificador de ar, admitindo ainda a possibilidade de deposição ou absorção do poluente nas paredes e outras superfícies, pode formular-se a evolução temporal da concentração média de um poluente num espaço através da seguinte equação diferencial (Alfano, 2010):

$$\frac{dC}{dt} = \frac{G}{V} + \lambda_v \times C_{ext} - \lambda_v \times C(t) - v_d \frac{S}{V} - \frac{Q_{ac}}{V} C \varepsilon_{ac} \quad (10)$$

Com:

- C - concentração média instantânea do poluente (mg/m³)
- G - geração de poluente no interior do compartimento (mg/h)
- V - volume da sala (m³)
- λ_v - taxa de renovação (h⁻¹)
- C_{ext} - concentração no exterior (mg/m³)
- v_d - velocidade de deposição do poluente (mg/(m²h))
- S - superfície de deposição (m²)
- Q_{ac}, caudal através do purificador de ar (m³/h)
- ε_{ac} - eficiência do purificador de ar (adimensional)

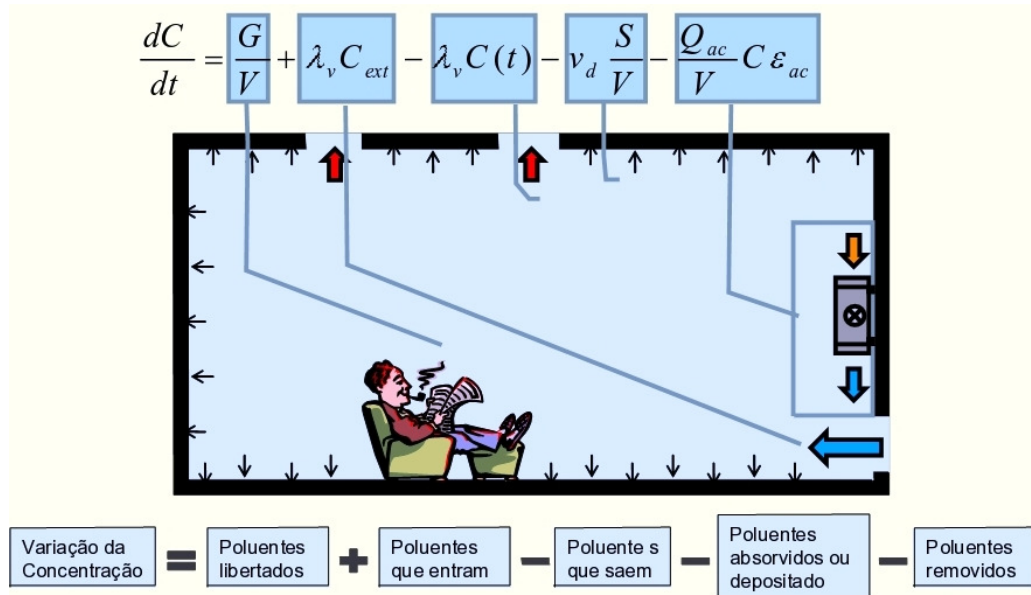


Figura 23 - equação geral da evolução temporal da concentração média de um poluente num espaço unizona (Alfano, 2010)

Os efeitos de absorção ou deposição do poluente no interior da sala, tal como os removidos através de filtragem dum sistema purificador, são relativamente reduzidos. Pelo que, para efeitos de simplificação, desprezam-se esses termos, ficando:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{G}{V} + \lambda_v \times C_{ext} - \lambda_v \times C(t) \quad (11)$$

Integrando a equação (11) para uma situação em que V , G , C_{ext} e Q se mantêm constantes desde um instante inicial $t=0$, em que a concentração inicial $C_0 = C_{ext}$, até ao instante genérico t , obtém-se a seguinte expressão:

$$C(t) = C_{equi} + (C_0 - C_{equi}) \times e^{-\lambda_v \cdot t} \quad (12)$$

A concentração de equilíbrio C_{equi} , usada na equação anterior, corresponde ao valor da concentração que ocorre quando é atingido o regime permanente, isto é, quando deixa de haver variação da concentração.

A concentração de equilíbrio obtém-se a partir da equação (11), considerando nulo o primeiro membro (a derivada temporal da concentração):

$$C_{equi} = C_{ext} + \frac{G}{V \times \lambda_v} \quad (13)$$

Com $\lambda_v = Q/V$, fica :

$$C_{equi} = C_{ext} + \frac{G}{Q} \quad (14)$$

A evolução da concentração de um poluente num espaço pode ser calculada usando um método de cálculo baseado num processo de integração numérica, através da regra dos trapézios para uma situação de discretização temporal da equação (11). Desta forma a equação diferencial é transformada numa equação de diferenças finitas do tipo:

$$\Delta C = \left[\frac{G}{V} + \lambda_v \times C_{ext} - \lambda_v \times C \right] \times \Delta t \quad (15)$$

Para concretizar o método de cálculo anteriormente descrito usou-se uma folha de cálculo, estabelecendo que cada linha corresponde ao intervalo de tempo Δt estabelecido, calcula-se o C para cada intervalo, adicionando-se ao valor de C calculado no intervalo anterior, passando este valor a ser a concentração do poluente no espaço no tempo t .

4.3.1 - Simulação da evolução temporal da concentração de CO₂

Utilizando o processo descrito anteriormente, foi feita uma simulação que mostra a evolução temporal da concentração de CO₂, durante um dia de aulas, numa das salas usadas para efectuar medições, sala 6, considerando-se na simulação a existência de aulas de 1 hora e 45 minutos, intervalos entre aulas de 15 minutos e intervalo para almoço 1 hora e 15 minutos.

Foi considerada uma ocupação de 30 alunos com 18 anos, com um caudal de ar novo de 30 m³/h por ocupante, indicado pelo RSECE para salas de aula, com C_{ext} igual ao C_0 de 600 mg/m³.

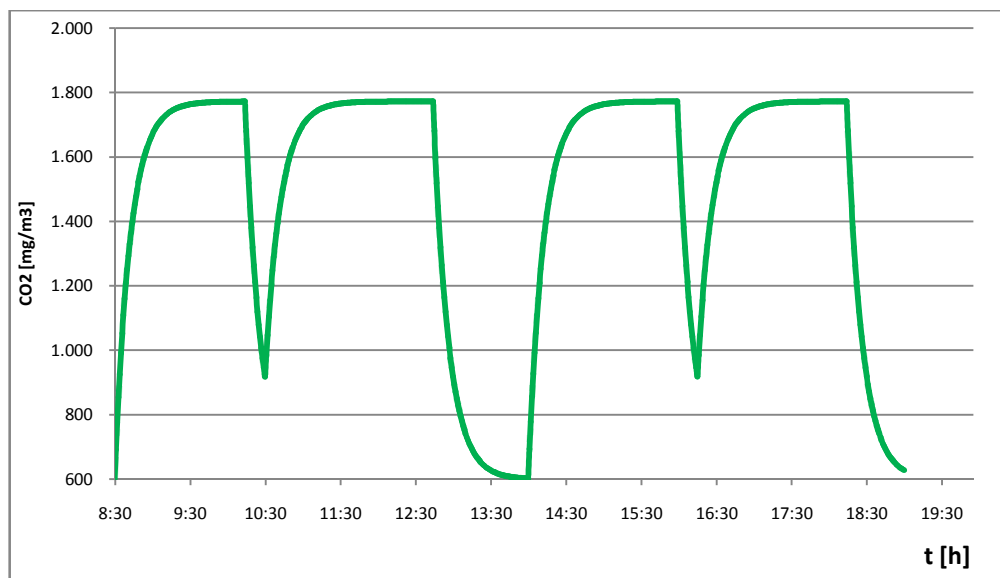


Figura 24 – simulação da evolução temporal da concentração de CO₂, durante um dia de aulas

Verifica-se com esta simulação que nesta sala se o caudal de ar novo for de 900 m³/h, será possível manter a concentração de CO₂ abaixo do valor limite fixado pelo RSECE, partindo do princípio que a eficiência de ventilação era de 100%, o que não é o caso da sala 6, que tem as grelhas insuflação e retorno no tecto.

Esta folha de cálculo foi estruturada para de uma forma simples e expedita, poder simular vários perfis de utilização longo do dia, alterando quer o número de ocupantes quer os caudais, ver anexo 3.

4.4 - Critério de conformidade NT-SCE-02

A Nota Técnica NT-SCE-02 estabelece a metodologia para as auditorias da QAI no âmbito do RSECE que deverão aplicadas pelos Peritos Qualificados (PQs) do SCE na realização das auditorias periódicas à QAI.

Neste trabalho, com base nas medições efectuadas nos ensaios de campo, foi verificado a conformidade ou não, com os critérios da NT-SCE-02, assunto tratado no capítulo 7.

Para os poluentes, partículas em suspensão no ar (PM₁₀), monóxido de carbono (CO), ozono (O₃) e compostos orgânicos voláteis (COVs), o critério é:

$$[\text{parâmetro medido}]_{\text{máximo}} \leq [\text{parâmetro referência do RSECE}] \quad (16)$$

Para o dióxido de carbono (CO₂), o critério é:

$$([CO_2]_{MedT} - [CO_2]_{Ext}) \times \frac{N_{ocup.max}}{N_{ocup}} + [CO_2]_{Ext} \leq [CO_2]_{MR} \quad (17)$$

A finalidade da aplicação da expressão anterior é “corrigir” o número máximo de ocupantes do espaço, que pode ocorrer quando das medições foram realizadas, prevendo-se ainda outra expressão no caso de algum ponto da medição não satisfazer o critério estabelecido.

Neste trabalho como as medições decorreram só num ponto da cada sala, mas durante um intervalo de tempo considerável em que ocorreram alterações no número de ocupantes, o valor da concentração do CO₂, considerado para a verificação da NT-SCE-02 foi o mais elevado verificado nesse intervalo de tempo. O número de ocupantes considerado também foi o mais elevado registado nesse intervalo, não correspondendo ao número de ocupantes verificado no momento da medição do valor mais elevado de CO₂.

5 - Caracterização do espaço escolar em estudo

Estes, tal como os restantes espaços escolares, caracterizam-se por índices de ocupação elevados e bastante variáveis, têm tipologias de edifícios bastante diferenciadas consoante o tipo de escolas e, mesmo dentro das escolas as épocas e que foram construídos os edifícios.

O Campus da Penha é um espaço que tem edifícios relativamente recentes, construídos após 1980, mesmo assim com projectos bastante distintos.

Assim, temos o edifício administrativo, Instituto Superior de Engenharia, Escola Superior de Educação e Comunicação, construídos nos anos 80. O edifício da Escola Superior de Gestão, Hotelaria e Turismo, construído nos anos 90. O complexo pedagógico no final dos anos 90, completado posteriormente com a nova biblioteca. O edifício de Engenharia Civil inaugurado em 2004.

Os primeiros não foram equipados inicialmente com de sistemas mecânicos de climatização, só aquecedores com resistências eléctricas. Actualmente as salas estão dotadas de sistemas individuais do tipo “split”, sem qualquer sistema mecânico de renovação do ar.

O edifício do Instituto Superior de Engenharia é constituído pelo piso térreo onde funciona um bar cantina, serviços de apoio, auditório e sala de aula. Existem mais dois pisos onde funcionam salas de aulas e gabinetes de trabalho.

Destes edifícios foram estudadas duas salas de aula, a 136 e 165, com características iguais. Foram usadas as duas só por questões de disponibilidade de ocupação. Foi também estudada a sala 6, localizada no rés-do-chão e recentemente remodelada, estando agora equipada com um sistema de ar condicionado individual de condutas e com renovação do ar com ventilação mecânica.

Do conjunto de edifícios mais recentes, denominado complexo pedagógico, é constituído por núcleo com dois pisos de salas de aulas, 1º e 2º piso, sendo o rés-do-chão usado como garagem aberta. O outro núcleo é constituído por dois pisos com seis auditórios com 125 lugares cada e um com 250 lugares. Este edifício já está dotado de sistemas mecânicos centrais de ar condicionado e ventilação. Foi estudada a sala 2.13 e o auditório 0.04.

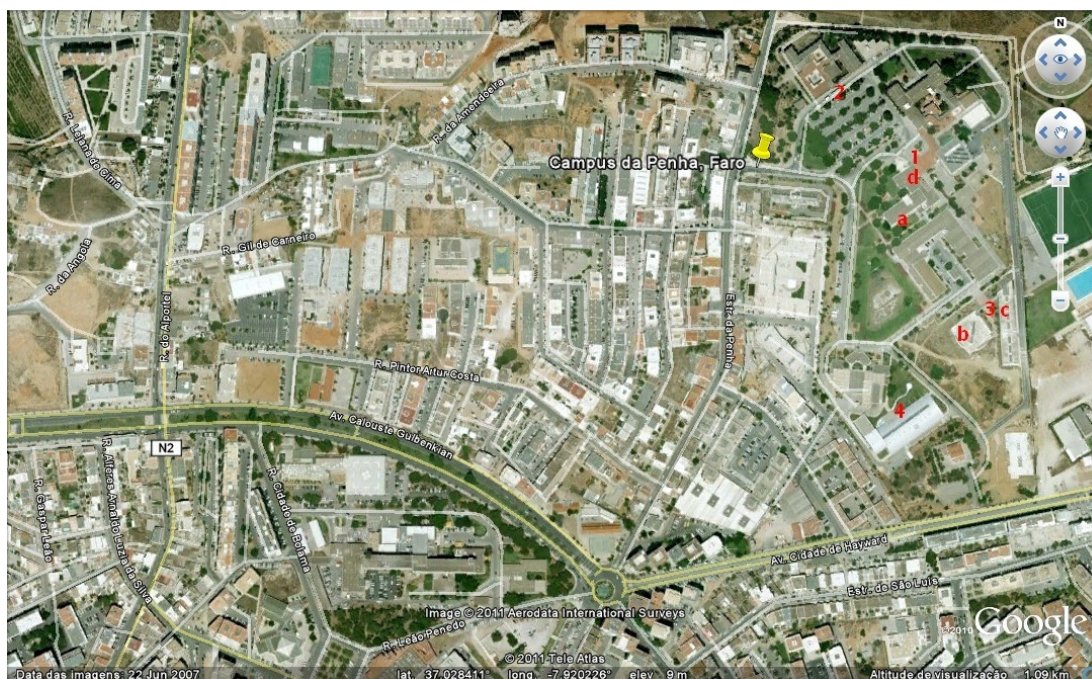


Figura 25 – localização do Campus da Penha em Faro

- 1 – Instituto Superior de Engenharia
- 2 – Escola Superior de Gestão, Hotelaria e Turismo
- 3 – Complexo pedagógico
- 4 – Instituto Superior de Engenharia, edifício de Engenharia Civil
- a – salas 136 e 165
- b – auditório 0.04
- c – sala 2.13
- d – sala 6



sala 6



salas 136 e 165

Figura 26 – edifício do Instituto Superior Engenharia



auditórios



salas de aula

Figura 27 - edifícios complexo pedagógico

Relativamente aos edifícios analisados só foi possível localizar e consultar o projecto de AVAC do edifício do complexo pedagógico e auditórios.

5.1 - Salas sem sistema de ventilação mecânica

5.1.1 - Sala nº 165

Situada no segundo piso do edifício central da Instituto Superior de Engenharia, com capacidade para 37 lugares, com área de 48 m^2 e pé direito de 3,27 m.

Revestimento do pavimento em material cerâmico, as paredes são pintadas, na parte superior têm um revestimento de aglomerado de cortiça, não tem tecto falso.

Tem uma janela de correr com 1,50 m largura e 1,10 m altura. Este tipo de janela só permite a abertura no máximo de 50% da área envidraçada é do tipo de “correr” existindo sobreposição dos vidros, a área de abertura é de aproximadamente $0,80 \text{ m}^2$. Existem ainda umas janelas tipo basculantes com abertura a 45° junto ao tecto com $0,80 \text{ m}^2$, porta para o corredor central permite a abertura máxima de $1,62 \text{ m}^2$.

Este edifício foi construído nos anos 80, não foi equipado com sistemas de ar condicionado ou ventilação mecânica, só tinha uns aquecedores eléctricos que, entretanto, já foram retirados. Actualmente, dispõe de um aparelho de ar condicionado de expansão directa do tipo mural bomba de calor, mas pelas suas características é pouco usado. Os ocupantes sentem-se muito desconfortáveis com a temperatura e a velocidade do ar na zona ocupada, pelo que, quando as condições exteriores o

permitem, é habitual o recurso à abertura das janelas para ventilar e de alguma forma controlar a temperatura.



Figura 28 - sala 165

5.1.2 - Sala nº 136

Situada no primeiro piso do edifício central do Instituto Superior de Engenharia da Penha, com capacidade para 33 lugares, as restantes características são idênticas à sala 165, anteriormente caracterizada.

5.2 - Salas e auditório com ar condicionado e renovação de ar

5.2.1 - Auditório 0.4

Situado no 1º piso do edifício dos auditórios do Complexo Pedagógico da Penha, com capacidade para 125 lugares sentados.

O sistema de ar condicionado é dotado de um sistema com duas unidades terminais de expansão directa, tipo VRV, embutida por cima do tecto falso, com condutas ligadas à cobertura, para insuflação de ar novo e extracção. O tecto falso faz de plenum de retorno, insuflação de ar novo e extracção. Esta instalação terá certamente eficiência de ventilação muito baixa.

Nesta sala só foi possível verificar a execução da instalação de AVAC (figura 29) na zona próximo das unidades terminais, zona com um tecto falso com malha aberta,

que serve de “grelha” de retorno e permite o acesso às unidades terminais. Verificando-se que a solução de ligação da conduta de ar novo às unidades terminais é diferente da definida no projecto. O ar novo é “injectado” na direcção descendente, em direcção ao solo e a cerca de um metro de uma das duas unidades interiores, muito próximo da porta de saída. Devido à elevada velocidade de saída do ar, o ruído é bastante elevado.

Desta forma está completamente comprometida a função das unidades terminais distribuírem ar novo pela sala, limitando-se a fazer o arrefecimento e aquecimento do ar.

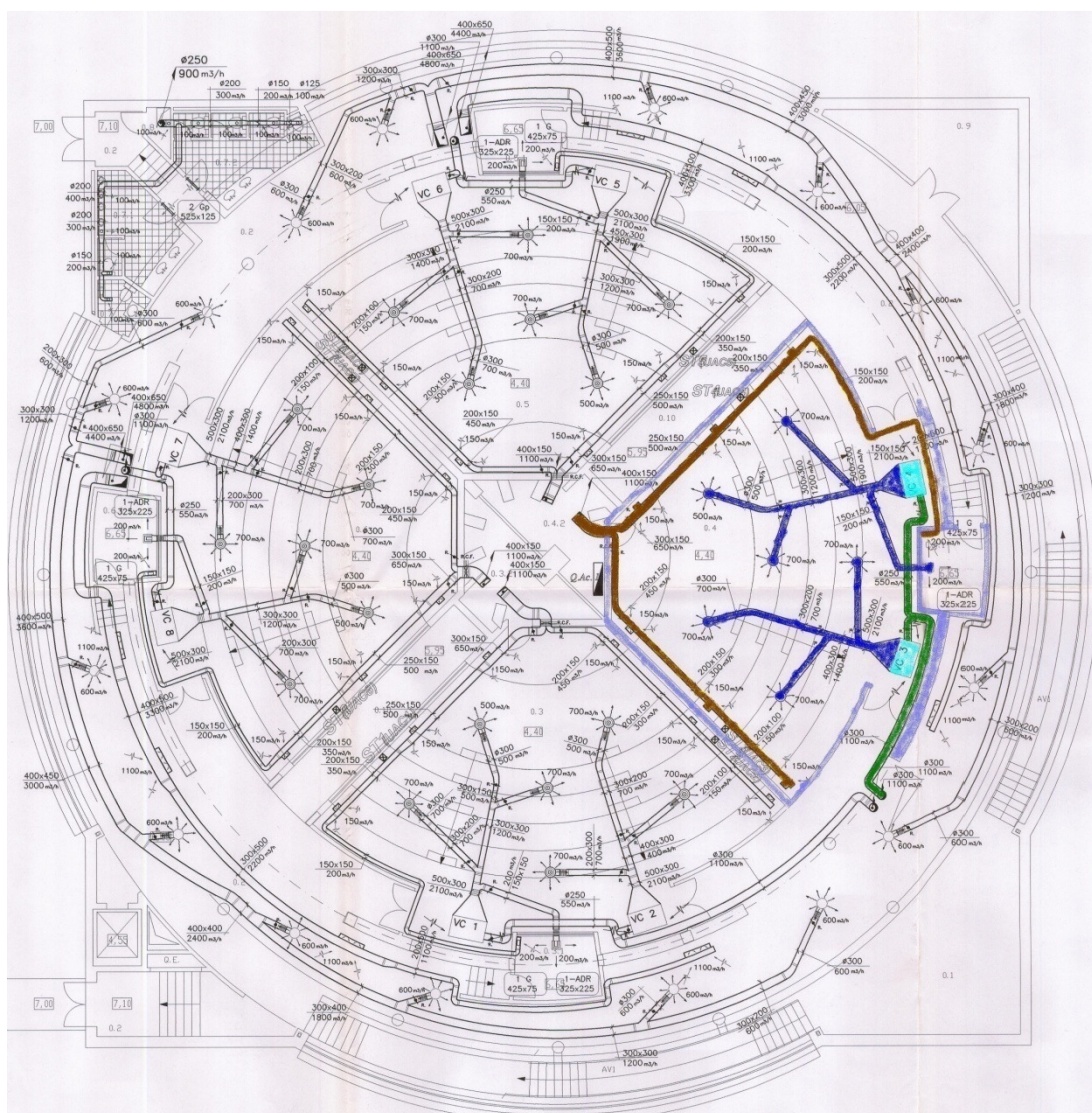


Figura 29 - projecto rede condutas, auditórios piso 0

O revestimento do pavimento deste espaço é de alcatifa, as paredes são revestidas com painéis de aglomerado de madeira revestidos com melamina. O tecto tem revestimento idêntico aos das paredes, exceptuando-se a zona onde estão instaladas as

unidades terminais que têm uns painéis reticulados para permitir a passagem do ar de retorno.

De realçar o elevado nível de ruído provocado pelos sistemas de ar condicionado dentro do auditório.

Também nesta instalação a unidade de insuflação de ar novo tem o filtro completamente colmatado (figura 31). Como esta unidade tem uma protecção através da pressão diferencial, para não funcionar para além dos parâmetros do fabricante, essa protecção foi “destruída” permitindo o sistema trabalhar mesmo em condições não adequadas, revelando uma total falta de manutenção, comum a todas as instalações estudadas.



Figura 30 - auditório 0.04



Figura 31 - filtro unidade insuflação de ar novo, auditório 0.04

5.2.2 - Sala nº 2.13

Situada no 2º piso do edifício do Complexo Pedagógico da Penha, tem capacidade para 40 lugares, uma área de 54,86m² e pé direito de 2,58 m, volume 141,5 m³, duas portas com 1,6 m² cada, e janelas com três vidros de correr, permitindo uma área de abertura máxima de 2,68 m². Nos ensaios foram abertas duas janelas correspondendo a uma área de 1,79 m².

O sistema de ventilação e ar condicionado de cada sala está instalado por cima do tecto falso. O tecto falso é constituído por placas metálicas quadradas perfuradas de 50x50 cm com sistema de encaixe embutido. Por cima das placas tem uma cobertura, para permitir que a zona entre o tecto falso e o tecto “funcione” como plenum. Nas placas onde se pretende a passagem do ar não têm cobertura.

O sistema de ventilação central do edifício, na zona das salas de aula é constituído por dois ventiladores de insuflação de ar novo e dois de extracção, um para cada piso. O ar novo e ar extraído circula por condutas que descem da cobertura e percorrem o corredor, fazendo derivações para cada sala. Existe outro ventilador de extracção para as zonas sanitárias.

O arrefecimento ou aquecimento do ar é feito com equipamentos de expansão directa do tipo VRV, dispondo de uma unidade terminal por sala, embutida por cima do tecto falso. Com pequenos troços de condutas o ar é insuflado na sala, usando como “difusor” as placas perfuradas do tecto falso. O retorno do ar da sala à unidade climatizadora também é feito através de das placas perfuradas do tecto falso, situadas por baixo da unidade. A remoção destas placas permite o acesso para limpeza dos filtros, processo de execução bastante grosseiro.

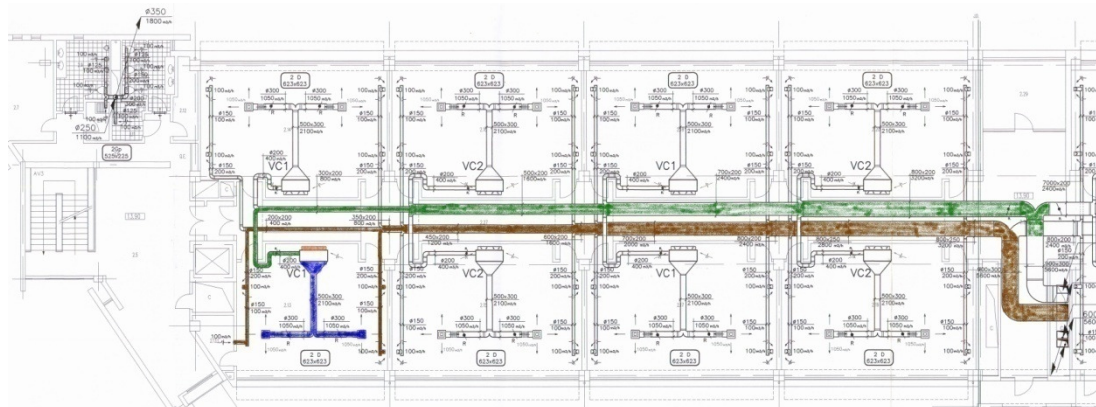


Figura 32 - projecto rede condutas, 2º piso (parcial)

O ar novo é “insuflado” por cima do tecto falso, a cerca de um metro da unidade climatizadora.

A exaustão também é feita por cima do tecto, sem qualquer ligação à zona ocupada. Desta forma não extrai o ar viciado da sala, mas sim uma grande percentagem do ar novo que tem a conduta a insuflar por cima do tecto falso, pelo que a eficiência da ventilação será muito reduzida.

Ao fazer uma verificação entre o que foi projectado e o que está executado, verificam-se algumas diferenças, que influenciam muito a “qualidade” da instalação, nomeadamente, a total ausência de grelhas e difusores, insuflação de ar novo sem estar ligada a unidade terminal, extracção por cima do tecto falso sem ligação directa ao espaço ocupado, diâmetros das condutas de ar novo e extracção inferiores aos projectados.

O caudal de ar novo que está indicado no projecto é $400 \text{ m}^3/\text{h}$.



Figura 33 - sala 2.13

5.2.3 - Sala nº 6

Situada no rés-do-chão do edifício do Instituto Superior de Engenharia, tem capacidade para 42 lugares, uma área de $72,8 \text{ m}^2$, e pé direito de 2,64 m, volume $192,2 \text{ m}^3$, uma porta e janelas com vidros de correr, ambas fechadas durante o tempo de recolha de dados.

Esta sala está dotada de um sistema de ar condicionado composto por uma bomba de calor ar/água, instalada na cobertura. No interior as cargas térmicas são removidas através dos sistemas de pavimento e tecto radiante.

A renovação do ar é feita pelo sistema de ventilação, constituído por ventilador e condutas de insuflação, ventilo convector para tratamento térmico do ar novo e ventilador de extracção. Ambos os ventiladores tem controlo que permite a regulação de velocidade, ajustando-se manualmente, conforme a ocupação efectiva da sala.

Durante os ensaios os ventiladores foram ligados na velocidade máxima.



Figura 34 - sala 6

5.3 - Melhorias dos actuais sistemas

Embora se tenha reunido neste capítulo as salas 2.13, 6 e auditório 0.04 porque possuem sistemas de AVAC do mesmo tipo, as recomendações seguintes correspondem aos sistemas instalados nas salas 2.13 e auditório 0.04, o sistema da sala 6 foi remodelado á relativamente pouco tempo correspondendo às necessidades mínimas regulamentadas.

Procurando melhorar os actuais sistemas com custos reduzidos propõe-se algumas medidas. Desde logo a manutenção dos sistemas existentes, substituindo os filtros das unidades de ar novo sempre que necessário, repor as protecções/alarmes de filtros colmatados e repor/substituir correias de transmissão dos ventiladores.

Propõe-se, ainda a ligação da conduta de ar novo à caixa de retorno das unidades interiores, conforme projectado, evitando a passagem directa de uma parte significativa do ar novo para a exaustão, como acontece actualmente por cima do tecto falso.

A conduta de exaustão deve ser ligada à zona ocupada através de grelhas de extracção, em número e localização, conforme projectado.

Com base no RSECE, o caudal de ar novo para a sala 2.13, com ocupação máxima de 40 pessoas deveria ser $1.200 \text{ m}^3/\text{h}$ ($30 \text{ m}^3/\text{h}$ por pessoa), o caudal de ar de renovação deverá ser efectivo, significando que para uma instalação deste tipo e, se o sistema de ventilação fosse executado como está no projecto, teria uma eficiência da ordem dos 80%. Logo o caudal de ar novo a insuflar seria $1.500 \text{ m}^3/\text{h}$, estando projectados $400 \text{ m}^3/\text{h}$, caudal que muito provavelmente é inferior, dada a execução do projecto. Qualquer alteração com o objectivo de aumentar os caudais de ar novo implicaria investimentos muito mais avultados.

Promover a ventilação natural, através da colocação de grelhas para o exterior ou mesmo sensibilizando os ocupantes para a abertura das janelas em períodos que tal seja possível, serão intervenções de baixo custo mas que irão, certamente, melhorar significativamente a qualidade do ar, nomeadamente os níveis de CO_2

6 - Campanha de medições

Nas medições foram usados dois equipamentos cedidos pelo laboratório do departamento de Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia de Faro, a sonda multi-gás e o contador de partículas.

A sonda multi-gás, permite a medição do dióxido de carbono (CO_2), ozono (O_3), monóxido de carbono (CO), compostos orgânicos voláteis totais (COVs), temperatura, humidade relativa e absoluta.

O contador de partículas permite contar o número de partículas (n° partículas/ m^3) e pesar essas partículas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) indicando os valores por várias dimensões, $\text{PM}_{0,5}$, $\text{PM}_{1,}$ $\text{PM}_{2,5}$, PM_5 , PM_{10} .

Pela sua relevância na QAI foram estudados com maior detalhe os poluentes que registaram valores acima dos indicados no RSECE, nomeadamente o CO_2 , COVs e PM_{10} , sendo que para as partículas PM_{10} não são apresentados gráficos das evoluções porque as medições efectuadas visavam a monitorização dos pontos críticos referentes à entrada e saída dos ocupantes, antes da entrada e durante a ocupação.

O ozono e monóxido de carbono, como apresentam valores abaixo dos limites do RSECE, são apresentados os valores nos quadros resumo de cada ensaio, pelo que não são indicados mais comentários.

A temperatura e humidade relativa, não sendo um poluente, não foi objecto de estudo. No entanto os valores medidos também são indicados nos quadros resumo.

As condições exteriores estão na última linha dos quadros resumo.

Na escolha das salas onde se realizaram as campanhas de medições, pretendeu-se diversificar pelas várias tipologias disponíveis e em edifícios diferentes, sala 165 e 136, sem sistema mecânico de ventilação; auditório 0.4 com ar condicionado e sistema mecânico de ventilação e insuflação de ar novo; sala 2.13 com ar condicionado e sistema mecânico de ventilação e insuflação de ar novo; sala 6 com ar condicionado e sistema mecânico de ventilação e insuflação de ar novo.

Durante os ensaios, os equipamentos de medida foram instalados em zonas centrais da sala, colocados sobre a mesa de trabalho, simulando a posição dos ocupantes sentados.

Na análise dos valores registados, os dados dos primeiros minutos relativos aos COVs não parecem ser fiáveis. Os valores obtidos são muito elevados no início do ensaio, sem qualquer razão aparente, não havendo disponibilidade para que o equipamento pudesse ser verificado a tempo de poder repetir os ensaios.

Relativamente aos dados recolhidos com a sonda multi-gás, as leituras foram efectuadas com o intervalo de um minuto, sempre que possível, antes e depois do decorrer da aula os registos foram realizados, alguns minutos antes e minutos depois do período em que decorreu a ocupação da sala, com o objectivo de verificar as condições iniciais e finais, sem ocupação.

As medições com a sonda de contagem de partículas, foram realizadas antes da entrada dos alunos, durante o período que entravam a maioria dos alunos, durante a aula aproximadamente de 15 em 15 minutos e no final com a saída dos alunos.

Nas figuras com a representação gráfica das medições que mostram a evolução do CO₂ e COVs ao longo de cada ensaio, foi marcada uma linha tracejada a vermelho, indicando os níveis máximos de cada um destes poluentes, indicados no RSECE.

6.1 - Salas sem sistemas de ventilação

Sala nº 165, dia 27/9/2010, das 18:50 às 22:30

Neste ensaio pretendeu-se verificar a evolução dos poluentes, mantendo-se janelas e portas abertas, excepto durante o intervalo (20:12 a 20:47) em que a porta esteve fechada. As aberturas superiores estavam também abertas.

O número máximo de ocupantes foi de 12.

	CO ₂ mg/m ³	COVs mg/m ³	O ₃ mg/m ³	CO mg/m ³	Temperatura °C	Humidade %	nº ocupantes
máximo	1.546	1,06	0,27	0,00	28,1	46,10	12
mínimo	902	0,43	0,18	0,00	26,0	37,00	0
média	1.262	0,57	0,23	0,00	27,6	39,25	9
exterior 22:40	886	0,26	0,21	0,00	21,3	39,80	

Tabela 4 - resumo campanha medições do dia 27 Setembro 2010, sala 165

Nas medições efectuadas verifica-se que todos os poluentes estão abaixo nos valores indicados no RSECE e a temperatura está um pouco acima do recomendado.

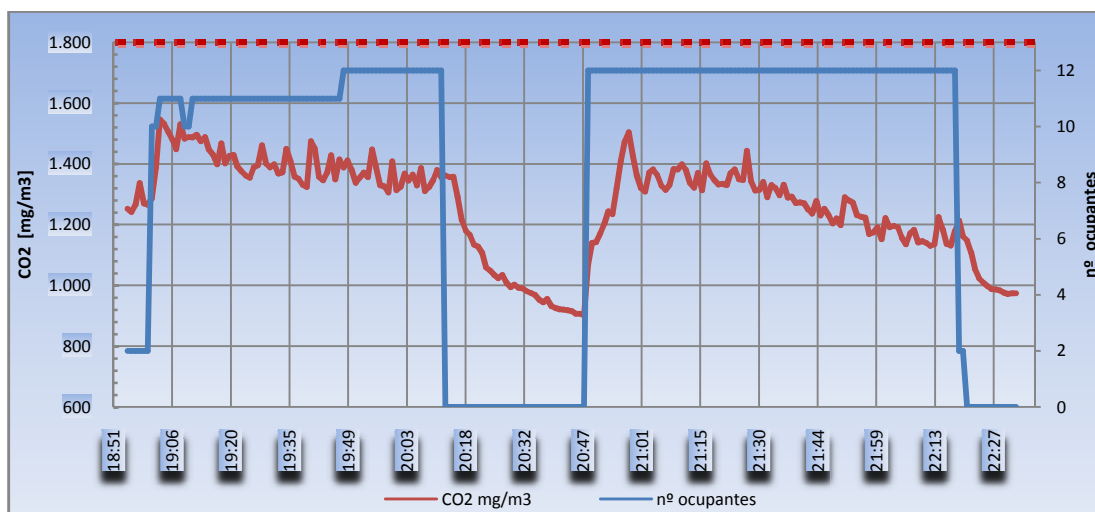


Figura 35– evolução do CO₂ campanha medições do dia 27 Setembro 2010, sala 165

Da interpretação gráfica da evolução da concentração de CO₂ na sala durante este ensaio, verifica-se um aumento nos primeiros minutos de utilização da sala depois vai diminuindo ligeiramente. Uma diminuição rápida durante o intervalo, voltando a subir depois deste.

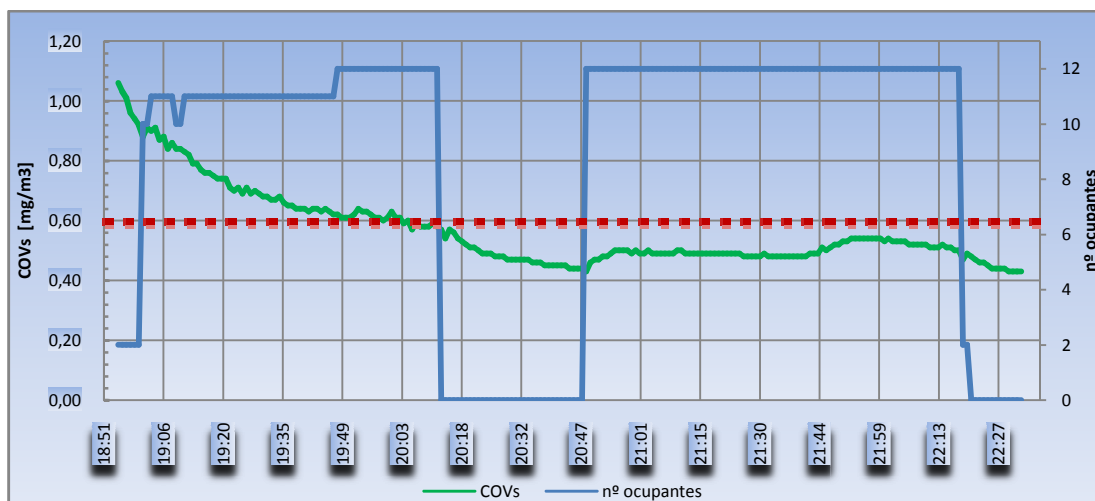


Figura 36 - evolução do COV_s campanha medições do dia 27 Setembro 2010, sala 165

Ao longo deste ensaio, em que as janelas e porta estiveram abertas, verificou-se a redução gradual dos COVs (inicialmente, bastante elevados, provavelmente devido a ocupação anterior da sala) sem que tenha havido renovação de ar. Os valores baixaram, mantendo-se abaixo dos limites recomendados.

Sala nº 136, dia 18/10/2010, das 18:20 às 22:40

Neste ensaio pretendeu-se verificar a evolução dos poluentes, mantendo sempre as aberturas superiores fechadas, dividindo-se o ensaio em duas partes:

- primeira parte, das 18:20 às 20:20, com janelas e porta todas fechadas;
- segunda parte, das 20:45 às 22:30, com janelas abertas e porta fechada.

Esta sala foi usada por outra turma até ao início do ensaio, razão pela qual, os valores do CO₂, foram elevados logo no início.

O número máximo de ocupantes foi de 10.

Neste dia, já com temperaturas exteriores mais baixas, na situação com janelas abertas, a maioria dos ocupantes manifestou-se desconfortável, afastando-se das janelas.

		CO ₂ mg/m ³	COVs mg/m ³	O ₃ mg/m ³	CO mg/m ³	Temp °C	HR %	PM ₁₀ mg/m ³	nº ocupantes
1ª parte ensaio	máximo	3.961	4,89	0,18	0,40	25,50	63,90	0,17	10
	mínimo	2.300	1,55	0,06	0,00	21,50	51,50	0,09	0
	média	3.096	2,44	0,14	0,19	24,32	53,51	0,13	5
2ª parte ensaio	máximo	3.808	1,54	0,25	0,20	25,50	51,60		10
	mínimo	962	0,54	0,11	0,00	24,70	35,90		0
	média	1.667	0,81	0,18	0,01	25,26	39,11		9

corredor 22:39	953	0,52	0,22	0,00	24,7	36,00
----------------	-----	------	------	------	------	-------

exterior 22:48	909	0,32	0,02	0,00	19,9	44,80
----------------	-----	------	------	------	------	-------

Tabela 5 - resumo campanha medições do dia 18 Outubro 2010, sala 136

Este ensaio foi dividido em duas partes. Numa primeira parte, com janelas e porta fechadas, verificando-se concentrações muito acima do recomendado na generalidade dos poluentes; na segunda parte, com as janelas abertas, após um período inicial de “recuperação”, as concentrações estabilizam em valores abaixo dos indicados no RSECE.

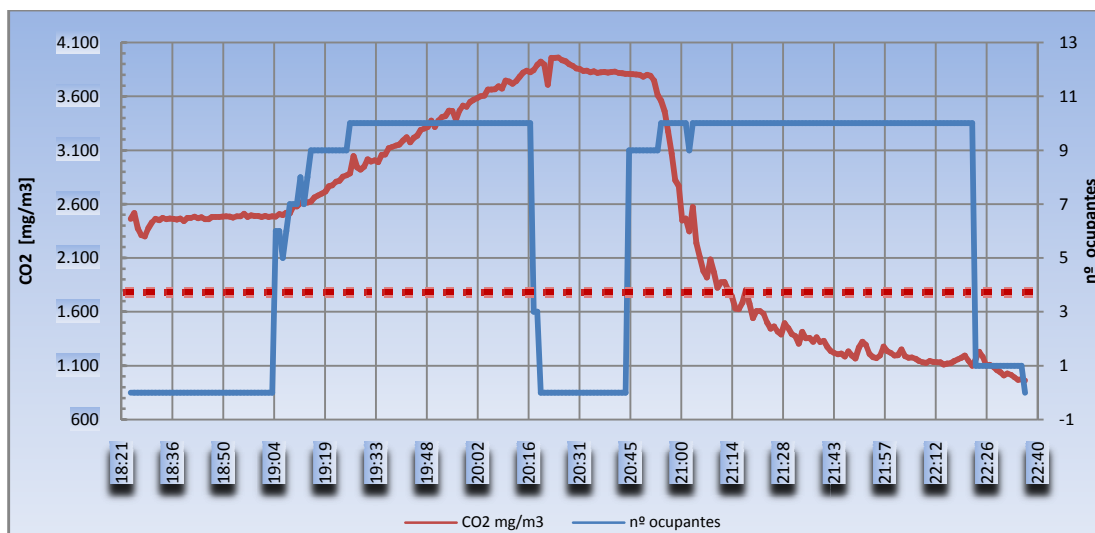


Figura 37 – evolução do CO₂ campanha medições do dia 18 Outubro 2010, sala 136

Da interpretação gráfica da evolução da concentração de CO₂ na sala durante este ensaio, verifica-se mesmo no início níveis muito elevados porque antes das medições decorreu outra aula. Durante o intervalo as janelas mantiveram-se fechadas, não existindo ventilação que permitisse a renovação do ar.

A primeira parte do ensaio decorreu com as janelas e portas fechadas, pelo que as concentrações iniciais, já elevadas, foram subindo, chegando a valores na ordem dos 4.000 mg/m³ antes do intervalo.

Na segunda parte, abriu-se as janelas e rapidamente as concentrações reduziram para valores abaixo dos recomendados pelo RSECE.

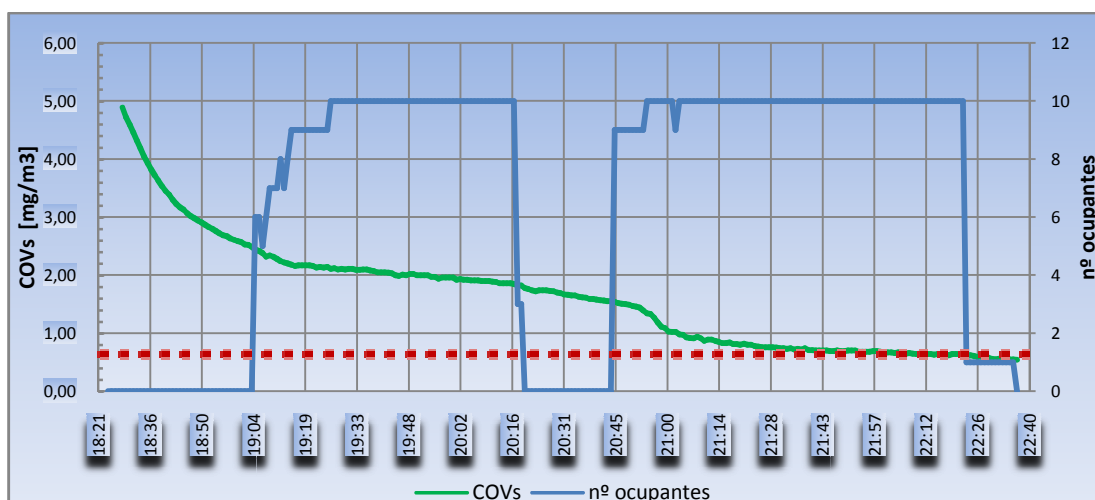


Figura 38 - evolução do COV, campanha medições do dia 18 Outubro 2010, sala 136

Na primeira parte com janelas e porta fechadas os COVs estiveram sempre acima dos limites regulamentares na segunda parte, com a janela aberta, os valores baixaram ficando dentro dos limites recomendados.

Dia 19/10/2010, das 18:50 às 22:00

Neste dia, foi dada continuidade ao ensaio do dia anterior:

- primeira parte, com janela e porta aberta das 18:40 às 20:25;
- segunda parte, com janela fechada e porta aberta das 20:50 às 22:30.

Esta sala foi usada por outra turma até ao início do ensaio, razão dos valores elevados de CO₂, logo no início.

O número máximo de ocupantes foi de 12.

		CO ₂ mg/m ³	COVs mg/m ³	O ₃ mg/m ³	CO mg/m ³	Temp °C	HR %	nº ocupantes
1ª parte ensaio	máximo	1.869	2,24	0,34	0,10	25,40	52,90	12
	mínimo	900	0,66	0,03	0,00	23,40	43,30	0
	média	1.468	1,18	0,20	0,00	24,90	46,61	8
2ª parte ensaio	máximo	2.531	1,09	0,58	0,00	26,10	47,00	11
	mínimo	1.151	0,70	0,00	0,00	24,60	43,30	0
	média	2.062	0,98	0,21	0,00	25,73	45,91	9

corredor 22:56	1.941	0,68	0,00	0,00	25,2	42,80
----------------	-------	------	------	------	------	-------

exterior 22:48	868	0,25	0,00	0,00	19,0	35,10
----------------	-----	------	------	------	------	-------

Tabela 6 - resumo campanha medições do dia 19 Outubro 2010, sala 136

Na primeira parte, com janela e porta abertas, as concentrações de CO₂ estiveram abaixo dos limites; na segunda parte, com a janela fechada foram ultrapassados os limites. Os COVs estiveram sempre acima dos limites.

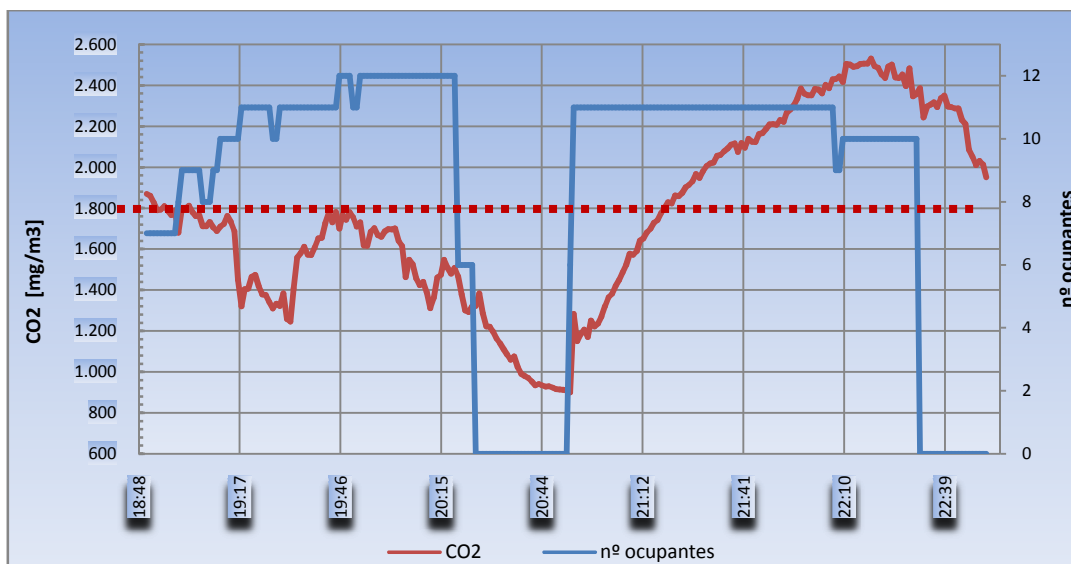


Figura 39 – evolução do CO₂ campanha medições do dia 19 Outubro 2010, sala 136

Da interpretação gráfica da evolução da concentração de CO₂ na sala durante este ensaio, verifica-se um decréscimo dos valores iniciais devido à abertura das janelas e porta, o que permite a ventilação, renovando-se o ar da sala.

A descida rápida da concentração a meio da primeira parte deve-se à total dependência das condições exteriores, nomeadamente, do vento com consequências na pressão sobre as fachadas que alteram muito significativamente os caudais de renovação.

Na segunda parte, com a janela fechada as concentrações aumentam, ultrapassando os limites máximos fixados no RSECE

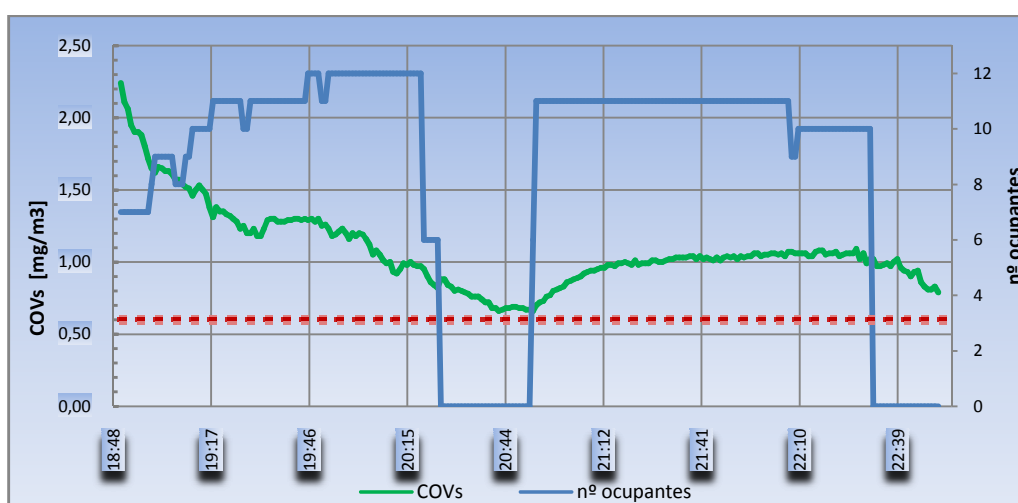


Figura 40 - evolução do COV_s campanha medições do dia 19 Outubro 2010, sala 136

Neste ensaio os COVs estiveram sempre acima dos limites regulamentares.

6.2 - Auditório com ar condicionado e renovação de ar

Auditório 0.4, dia 15/3/2011, das 14:00 às 18:30

Neste ensaio pretendeu-se verificar a evolução dos poluentes, mantendo as janelas e portas fechadas, dividindo-se o ensaio em duas partes:

- primeira parte, das 14:00 às 16:10, com o sistema de ventilação desligado o máximo de ocupantes registado foi de 45 (sensivelmente a meio da aula) a maior parte do tempo estiveram cerca de 43 ocupantes;

- segunda parte, das 16:10 às 18:15, com o sistema de ventilação (ar novo e exaustão) em funcionamento e sistema de ar condicionado ligado, o número de ocupantes foi bastante reduzido, atingiu o máximo de 27 no início da aula, mas foram saído, pelo que não se pode usar estas medições como comparação, entre sistemas ligados e desligados. Razão pela qual este ensaio foi repetido no dia 23/3/11, com índice de ocupação idêntico ao registado na primeira parte do dia 15/3/11.

		CO ₂ mg/m ³	COVs mg/m ³	O ₃ mg/m ³	CO mg/m ³	Temp °C	HR %	PM ₁₀ mg/m ³	nº ocupantes
1ª parte ensaio	máximo	2.091	4,30	0,10	3,20	20,60	65,80	0,40	45
	mínimo	890	1,22	0,00	1,80	17,20	52,80	0,12	1
	média	1.649	1,83	0,05	2,76	19,46	57,14	0,20	36
2ª parte ensaio	máximo	1.992	1,26	0,11	3,10	20,60	53,60	----	27
	mínimo	776	0,27	0,05	0,90	13,40	48,90	----	2
	média	1.471	0,53	0,07	2,26	18,92	50,26	----	17

exterior 18:40	801	0,34	0,06	1,43	14,29	56,16
----------------	-----	------	------	------	-------	-------

Tabela 7 - resumo campanha medições do dia 15 Março 2011, auditório 0.4

Neste ensaio verifica-se que as concentrações de CO₂, na primeira parte, estão um pouco acima dos limites mas na segunda estão bastante abaixo.

Os COVs e as partículas PM₁₀ é que estão acima do recomendado.

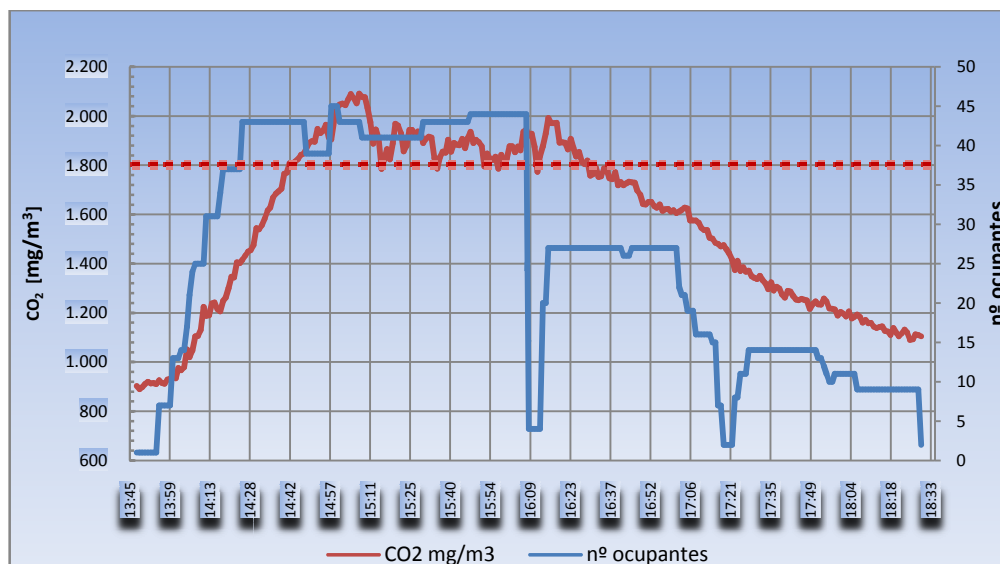


Figura 41 - evolução da concentração CO₂ campanha medições do dia 15 Março 2011, auditório 0.4

Na primeira parte, mesmo sem ventilação, a concentração de CO₂ ultrapassou ligeiramente os máximos admitidos.

Na segunda parte, com o sistema de ventilação ligado e com uma ocupação bastante menor, os níveis de concentração ficaram bastante abaixo dos limites.

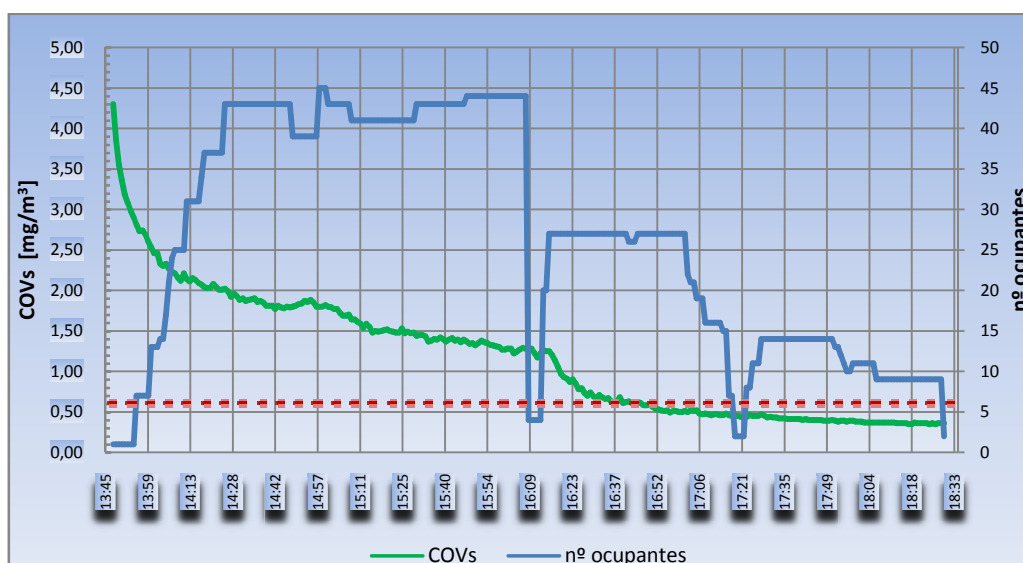


Figura 42 - evolução da concentração COVs campanha medições do dia 15 Março 2011, auditório 0.4

Na primeira parte, os COVs estiveram sempre acima dos limites; na segunda parte, com a ventilação ligada e ocupação menor, estabilizaram abaixo dos limites regulamentares.

Dia 22/3/2011, das 14:00 às 16:00

Neste ensaio pretendeu-se concluir os objectivos da segunda parte do ensaio do dia 15/3/2011, em que os sistemas de ar condicionado e ventilação estavam ligados e o número de ocupantes era idêntico. O número máximo de ocupantes foi de 42, registando-se um perfil de ocupação praticamente igual ao da semana anterior.

	CO ₂ mg/m ³	COVs mg/m ³	O ₃ mg/m ³	CO mg/m ³	Temp °C	HR %	PM ₁₀ mg/m ³	nº ocupantes
máximo	1.485	1,09	0,12	2,90	21,4	53,40	0,21	42
mínimo	793	0,62	0,08	2,20	20,5	50,70	0,15	1
média	1.297	0,78	0,11	2,62	20,9	51,85	0,18	36
exterior 18:40	760	0,40	0,19	2,60	18,4	55,50		

Tabela 8 - resumo campanha medições do dia 22 Março 2011, auditório 0.4

Neste ensaio só os COVs e as partículas PM₁₀ ultrapassaram os limites.

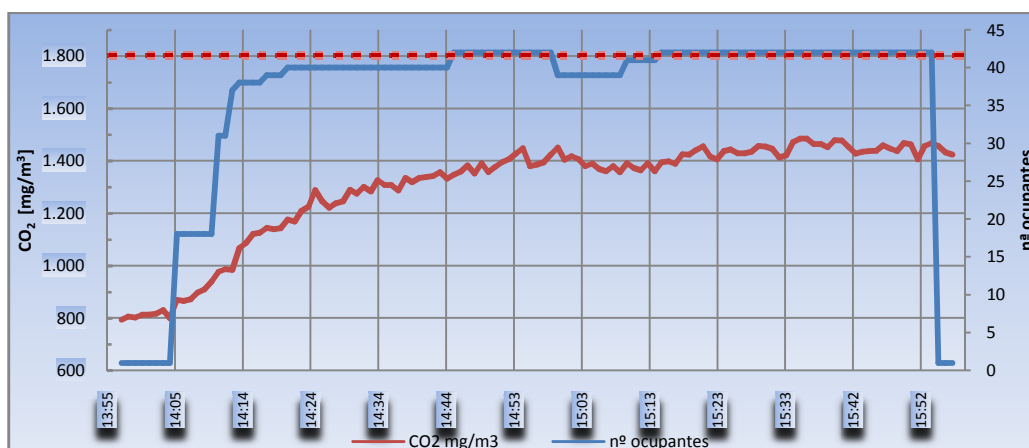


Figura 43 – evolução da concentração CO₂ campanha medições do dia 22 Março 2011, auditório 0.4

Neste ensaio, com o sistema de ventilação em funcionamento, verifica-se que as concentrações de CO₂ estão bastante abaixo dos limites máximos.

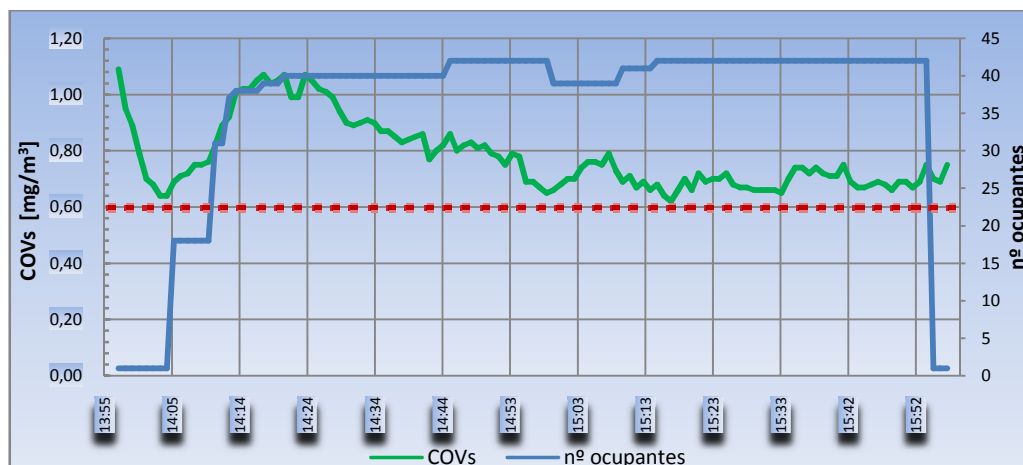


Figura 44 - evolução da concentração COVs campanha medições do dia 22 Março 2011, auditório 0.4

Com a ventilação ligada e uma ocupação superior à do ensaio anterior, nas mesmas condições, os COVs estiveram sempre acima dos limites regulamentares.

6.3 - Salas aula com ar condicionado e renovação de ar

Sala nº 2.13, dia 24/3/2011, das 8:30 às 10:30

Neste ensaio realizaram-se medições com as janelas e portas fechadas e sistema de ventilação ligado.

Das 8:20 às 9:30, o ventilador de insuflação de ar novo esteve a funcionar com o filtro totalmente colmatado. Às 9:30 removeu-se o filtro para simular a situação do “normal” funcionamento do sistema. Cerca das 9:50 uma das janelas foi inadvertidamente aberta por um ocupante que entrou mais tarde, alterando os objectivos do ensaio. O ventilador de extracção estava a trabalhar. O número máximo de ocupantes foi de 24.

	CO ₂ mg/m ³	COVs mg/m ³	O ₃ mg/m ³	CO mg/m ³	Temperatura °C	Humidade %	nº ocupantes
máximo	2.997	1,98	0,16	4,20	23,8	72,40	24
mínimo	825	0,00	0,03	1,50	18,1	58,30	4
média	2.341	1,44	0,10	3,34	21,7	63,56	19

Tabela 9 - resumo campanha medições do dia 24 Março 2011, sala 2.13

Neste ensaio verifica-se os valores de CO₂ e COVs, ultrapassaram muito os limites.

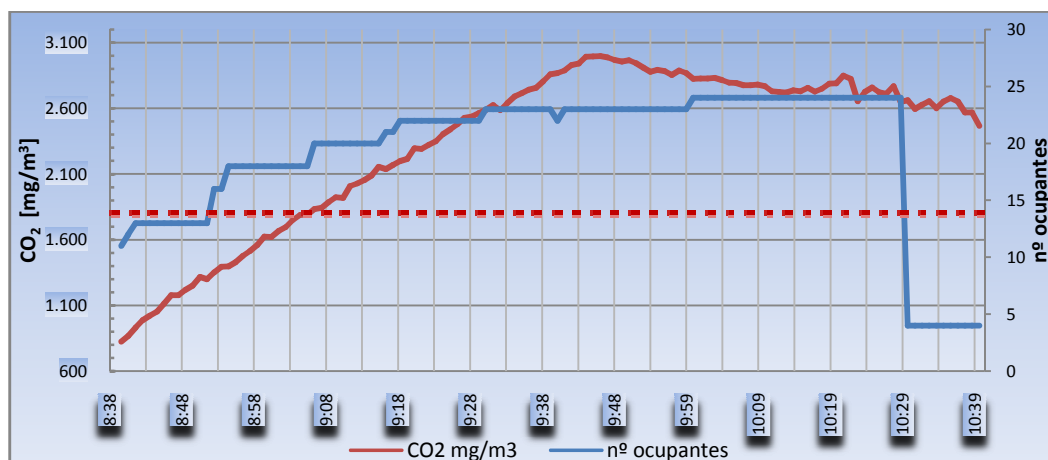


Figura 45 – evolução da concentração CO₂ campanha medições do dia 24 Março 2011, sala 2.13

Verifica-se que a concentração inicial de CO₂ 825 mg/m³ vai aumentando, ultrapassando em cerca de trinta minutos o limite dos 1.800 mg/m³ e atingindo em cerca de um hora, valores na ordem dos 3.000 mg/m³ quando a janela foi aberta, passando, a partir desse momento a reduzir ligeiramente.

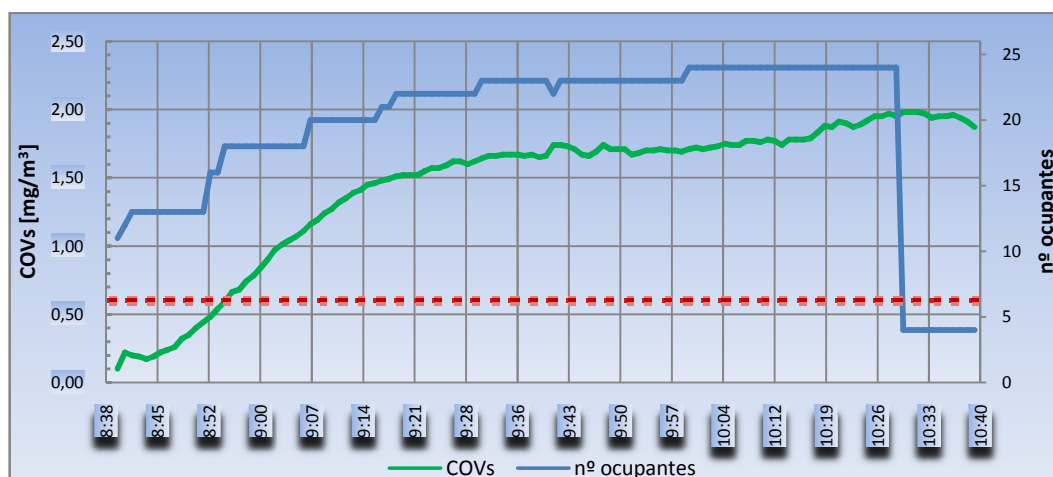


Figura 46 - evolução da concentração COVs campanha medições do dia 24 Março 2011, sala 2.13

Os COVs também rapidamente ultrapassaram os limites definidos no RSECE.

Dia 31/3/2011, das 8:30 às 10:30

Neste ensaio fez-se medições com as janelas e portas fechadas, sistema de ventilação ligado, retirando o filtro do ventilador de ar novo (que estava totalmente colmatado) para simular o mais possível uma situação “normal”. Detectou-se que a correia do ventilador de extracção estava partida logo, o ensaio decorreu só com insuflação de ar novo e sem extracção. O número máximo de ocupantes foi de 23.

	CO ₂ mg/m ³	COVs mg/m ³	O ₃ mg/m ³	CO mg/m ³	Temperatura °C	Humidade %	nº ocupantes
máximo	4.751	1,25	0,19	4,30	24,6	75,30	23
mínimo	894	0,00	0,03	1,50	19,0	59,40	4
média	3.026	0,72	0,12	3,22	22,7	67,15	18

Tabela 10 - resumo campanha medições do dia 31 Março 2011, sala 2.13

Os valores seguem a mesma tendência do ensaio do dia 24 de Março. No caso do CO₂, atingiu-se valores ainda muito mais elevados porque o tempo do ensaio foi superior.

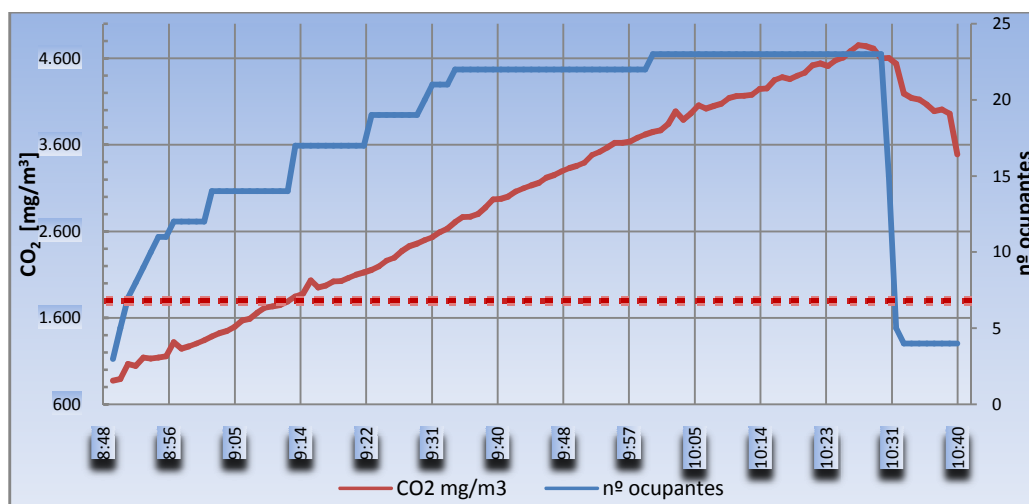


Figura 47 – evolução da concentração CO₂ campanha medições do dia 31 Março 2011, sala 2.13

Neste ensaio foram atingidos valores máximos de 4.750 mg/m³ de CO₂. Na comparação com ensaio do dia 24 de Março verifica-se que a evolução é praticamente a mesma até ao momento de abertura da janela não se verificando alterações pelo facto do ventilador de extracção não estar em funcionamento.

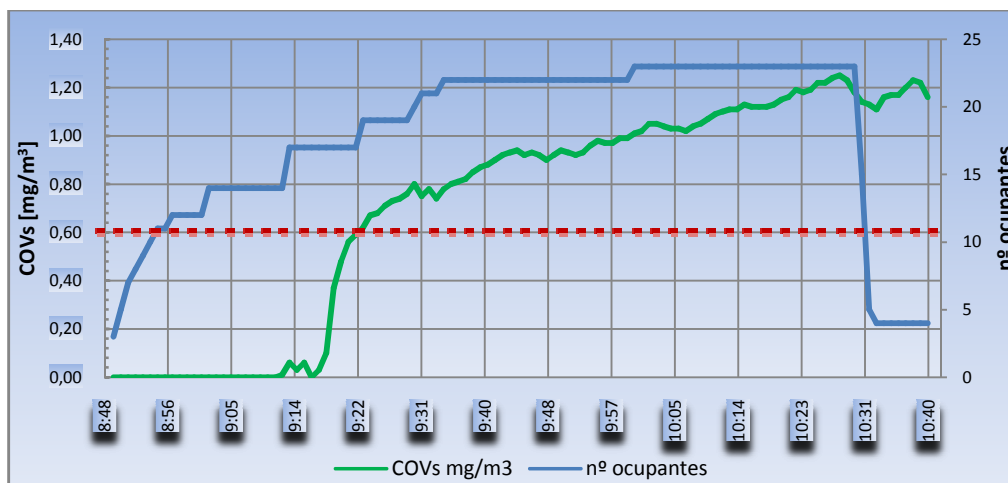


Figura 48 – evolução da concentração COVs campanha medições do dia 31 Março 2011, sala 2.13

Excluindo os registos iniciais, atribuído a erro de leitura, verifica-se que também neste ensaio os COVs tiveram valores acima dos limites.

Dia 7/4/2011, das 8:00 às 12:30

Este ensaio divide-se em duas partes. Na primeira parte, até às 10:15, as medições foram feitas com janelas e portas fechadas, sistema de ventilação ligado, retirando o filtro do ventilador de ar novo (que estava totalmente colmatado) para simular o mais possível uma situação “normal”; na segunda parte foi feita com janelas abertas e sistema de ventilação ligado. O número máximo de ocupantes foi de 28.

		CO ₂ mg/m ³	COVs mg/m ³	O ₃ mg/m ³	CO mg/m ³	Temp °C	HR %	PM ₁₀ mg/m ³	nº ocupantes
1ª parte ensaio	máximo	3.972	1,18	0,18	4,20	23,00	76,30	0,27	24
	mínimo	761	0,00	0,04	1,50	17,40	58,30	0,08	0
	média	2.306	0,45	0,09	2,50	20,06	66,96	0,14	14
2ª parte ensaio	máximo	1.865	1,52	0,23	3,50	24,60	59,30		28
	mínimo	893	0,67	0,12	2,20	22,10	54,50		1
	média	1.472	1,26	0,17	3,15	23,48	57,23		18

Tabela 11 - resumo campanha medições do dia 7 Abril 2011, sala 2.13

Verifica-se que as concentrações de CO₂, mesmo com todo o sistema de ventilação ligado, são bastante elevadas. Com as janelas abertas baixam para valores dentro dos limites regulamentares.

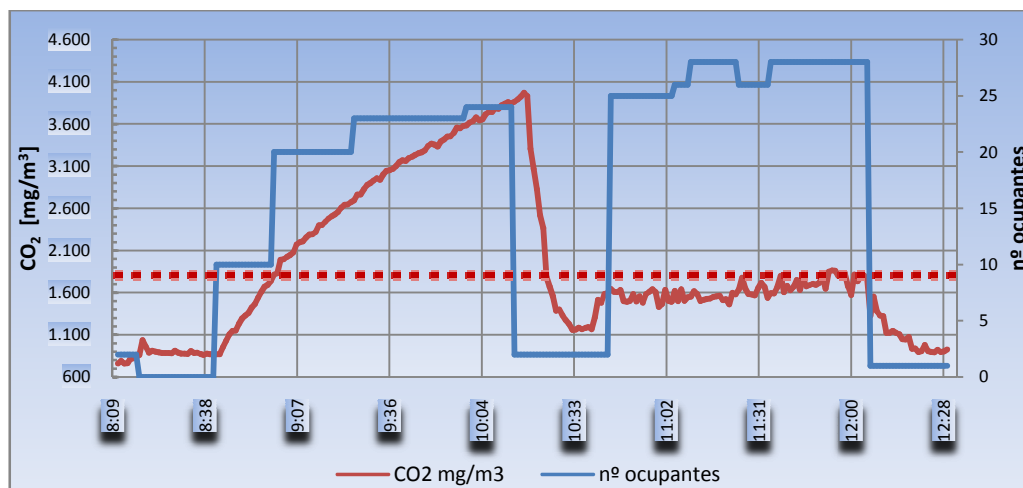


Figura 49 – evolução da concentração CO₂ campanha medições do dia 7 Abril 2011, sala 2.13

Na primeira parte, com sistema de ventilação ligado atingiram-se concentrações na ordem dos 4.000 mg/m³; na segunda parte, com as janelas abertas, a concentração máxima registada foi de, aproximadamente, 1.800 mg/m³.

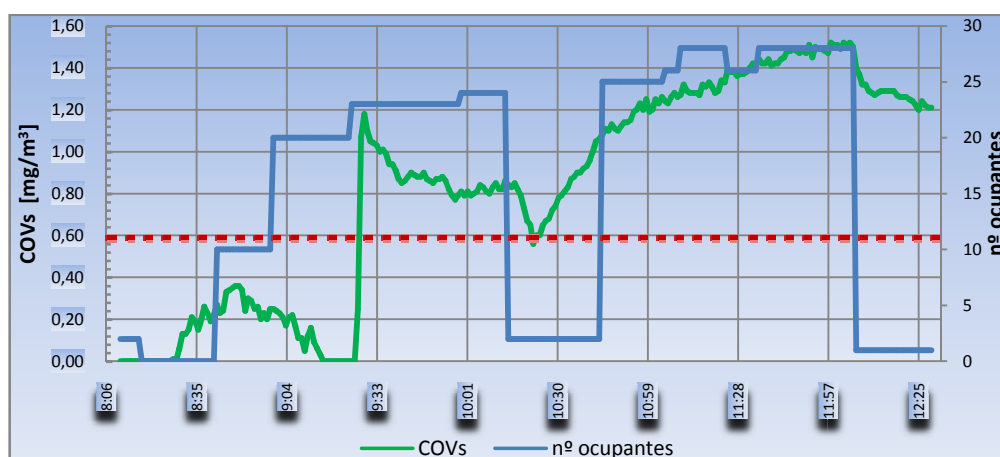


Figura 50 – evolução da concentração COVs campanha medições do dia 7 Abril 2011, sala 2.13

A evolução dos COVs representada no gráfico no início do ensaio aparenta erro no registo da dados do equipamento de medida.

Na segunda parte da aula, apesar de as janelas estarem abertas a renovação de ar não foi suficiente para remover os COVs para concentrações abaixo dos níveis regulamentares.

Sala nº 6, dia 2/5/2011, das 18:40 às 22:30

Este ensaio divide-se em duas partes, das 18:43 até às 21:10, o sistema de ventilação esteve ligado, depois do intervalo cerca 21:10 até final do ensaio desligou-se o sistema de ventilação.

		CO ₂ mg/m ³	COVs mg/m ³	O ₃ mg/m ³	CO mg/m ³	Temp. °C	HR %	PM ₁₀ mg/m ³	nº ocupantes
1ª parte ensaio	mínimo	715	1,32	0,08	2,10	20,90	50,70	0,0043	0
	máximo	1.149	3,01	0,20	3,90	25,40	73,40	0,0048	7
	média	991	2,26	0,16	3,48	24,29	58,46	0,0046	4
2ª parte ensaio	mínimo	871	1,51	0,15	3,20	25,30	50,30	0,01	0
	máximo	1.915	1,77	0,19	3,70	25,80	54,10	0,02	6
	média	1.451	1,62	0,17	3,49	25,59	52,43	0,02	6

Tabela 12 - resumo campanha medições do dia 2 Maio 2011, sala 6

Na primeira parte, verifica-se que, embora com uma ocupação bastante reduzida, com o sistema de ventilação ligado, as concentrações de CO₂ estão dentro dos limites. Os COVs é que registam valores elevados.

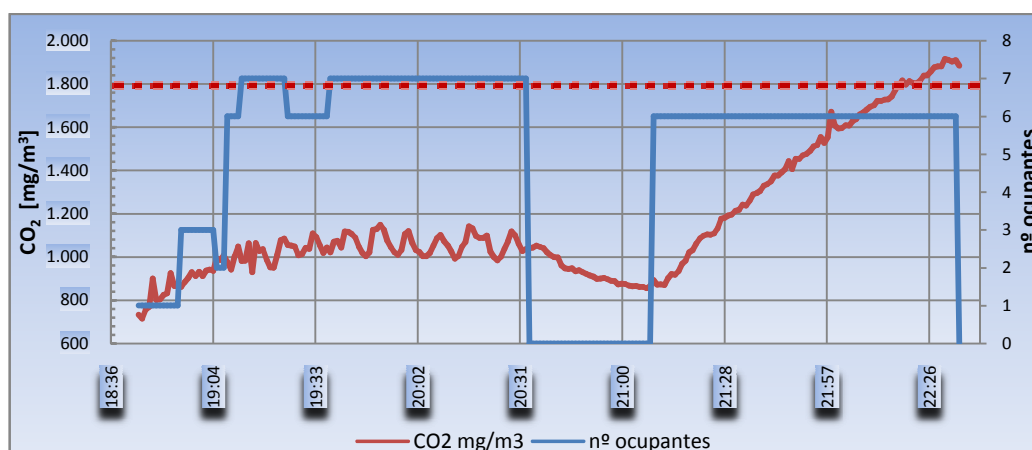


Figura 51 – evolução da concentração CO₂ campanha medições do dia 2 Maio 2011, sala 6

Verifica-se que, com sistema de ventilação ligado as concentrações de CO₂ não ultrapassam os 1.150 mg/m³. Desligando o sistema de ventilação, mesmo só com 6 ocupantes as concentrações aumentam de 870 mg/m³ para 1.900 mg/m³ em aproximadamente uma hora e vinte e cinco minutos.

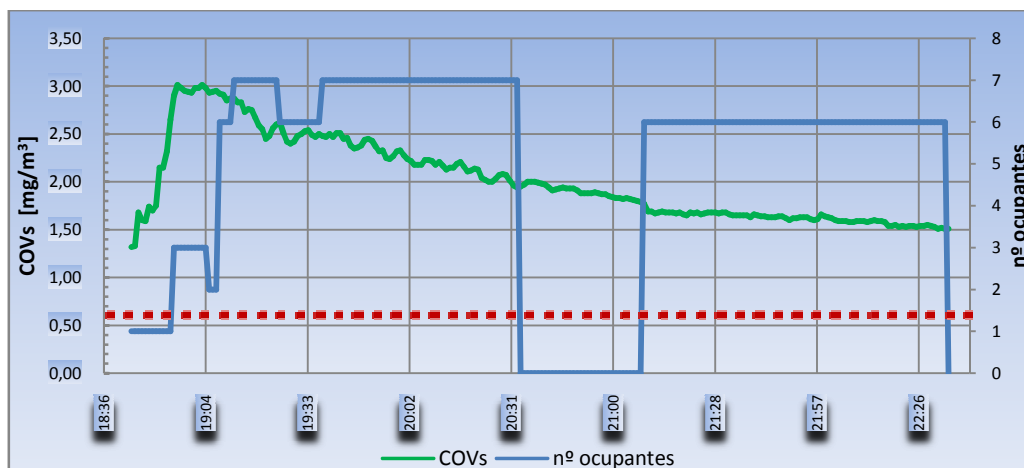


Figura 52 – evolução da concentração COVs campanha medições do dia 2 Maio 2011, sala 6

Verifica-se que as concentrações iniciais de COVs existentes na sala vão decrescendo durante o período que a ventilação está ligada. Ao desligar a ventilação observa-se ainda alguma redução mas menos acentuada.

7 - Análise dos resultados

Para comparar as evoluções registadas em cada ensaio com o método de cálculo da evolução temporal do CO₂, indicado em detalhe no capítulo 4, ponto 4.3, foi criada uma folha de cálculo para o efeito, obtendo-se os resultados representados em cada gráfico dos pontos seguintes.

Como o caudal de ar novo é desconhecido, este foi introduzido na folha de cálculo manualmente pelo método de tentativa e erro, até que a curva da evolução denominada na legenda dos gráficos como “evolução calculada” se aproxime o mais possível da evolução real registadas nos ensaios de campo.

Na análise dos resultados de cada ensaio foram verificados os critérios de conformidade indicados no anexo VII da Nota Técnica NT-SCE-02 da ADENE, partindo dos valores registados. No caso do CO₂ foi feita a correcção para a ocupação máxima da sala usando a equação (17).

No gráfico que ilustra a evolução do CO₂ foi também indicada a evolução com base nos valores registados aplicando a cada leitura a equação para correcção na máxima ocupação.

No quadro resumo de cada ensaio foi indicado para cada poluente medido, a conformidade ou não com os valores indicados no RSECE.

7.1 - Salas aula sem renovação de ar

Sala nº 165, dia 27/9/2010, das 18:50 às 22:30

Este ensaio decorreu com janela e porta aberta. O número máximo de ocupantes foi de 12.

Com base nas medições da evolução de CO₂ e com o método de cálculo da evolução temporal, o número de renovações por hora que estimado foi de 6 RPH, o que corresponde a um caudal de ar novo estimado em 940 m³/h.

É evidente que esta não será a solução de ventilação desejável, não há qualquer controlo e provoca algum desconforto nos ocupantes, devido a correntes de ar próximo das janelas, ruído, temperaturas elevadas ou baixas em relação directa com as condições exteriores.

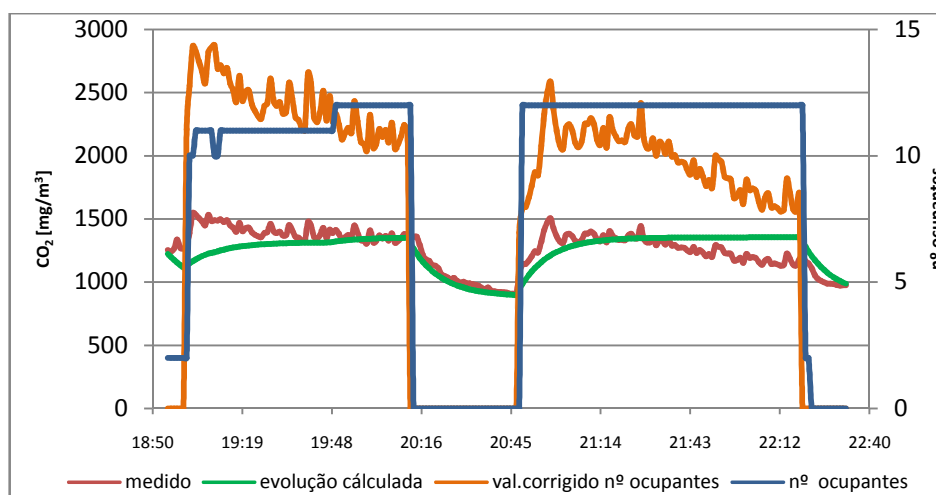


Figura 53 – campanha medição do dia 27/9/2010, sala 165

Verifica-se que nesta medição o CO₂ está abaixo dos valores regulamentados. No entanto, a ocupação máxima registada só foi de 12 pessoas, quando a sala tem capacidade para 37 pessoas.

Verifica-se que embora as condições de ventilação sejam exactamente as mesmas, na segunda parte da aula os valores de CO₂ estão ligeiramente inferiores. Isto deve-se à total dependência das condições exteriores, nomeadamente a orientação e velocidade do vento, o que implica alterações na pressão sobre as fachadas.

No gráfico ilustra-se a evolução das concentrações de CO₂ aplicando a fórmula de correcção para a ocupação máxima aos valores medidos, concluindo-se que, embora durante o ensaio se tenham verificado valores abaixo dos indicados no RSECE, se a sala estivesse com a máxima ocupação os valores máximos seriam largamente ultrapassados.

	CO ₂ mg/m ³	COVs mg/m ³	O ₃ mg/m ³	CO mg/m ³
máximo RSECE	1.800	0,6	0,2	12,5
valor calculado (CO ₂) ou medido (restantes)	2921	1,06	0,27	0,00
cumprir valores do RSECE S/N	NÃO	NÃO	NÃO	SIM
nº médio de ocupantes durante as medições				12
nº ocupantes máximo da sala				37
CO ₂ no exterior [mg/m ³]				886

Tabela 13 – quadro resumo de verificação de conformidade com RSECE, dia 27/09/2010, sala 165

Verifica-se que mesmo nesta situação de janela e porta aberta, se a sala estivesse cheia, os valores máximos do RSECE para o CO₂, COVs e O₃, seriam ultrapassados.

Sala nº 136, dia 18/10/2010, das 18:20 às 22:40

Este ensaio dividiu-se em duas partes. A primeira com janelas e porta fechada; a segunda com janela aberta e porta fechada.

O número máximo de ocupantes foi de 10.

Na primeira parte, com base das medições da evolução de CO₂ e o método de cálculo da evolução temporal, o número estimado de renovações por hora foi de 0,3 RPH, o que corresponde a um caudal de ar novo estimado em 47 m³/h.

Considerando-se estes valores como infiltrações, abertura da porta para entrada e saída dos ocupantes.

Na segunda parte, com a janela aberta, o número de renovações estimado foi de 6 RPH, o que corresponde a um caudal de ar novo estimado em 940 m³/h, valor igual ao obtido no ensaio anterior com porta e janela aberta.

Conclui-se, assim, que quando a janela está aberta, o efeito da porta aberta para o corredor é praticamente nulo.

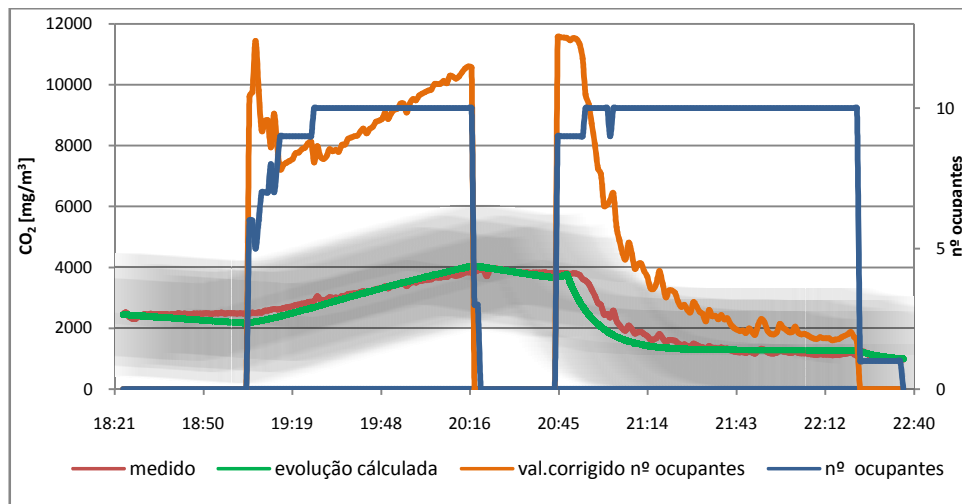


Figura 54 - campanha medição do dia 18/10/2010, sala 136

Embora não tenha sido possível apurar se existiu ocupação desta sala antes desta aula, contudo pelos valores de CO₂ iniciais, leva-se a crer que tal tenha acontecido e não houve ventilação suficiente para “recuperar” para valores aceitáveis de CO₂. Durante cerca de 40 minutos em que a sala esteve fechada e sem ocupantes os valores de CO₂ mantiveram-se inalterados (acima do recomendado que é 1.800 mg/m³).

Na primeira parte da aula, sem ventilação e devido à ocupação humana, o CO₂, como espectável, foi aumentando para valores muito acima do recomendável; depois do intervalo, na situação de porta fechada e janela aberta em cerca de 30 minutos o CO₂ passa de 3.750 mg/m³ para 1.800 mg/m³.

Na evolução indicada no gráfico, onde se aplica a correcção para a ocupação máxima, verificam-se “picos” no período inicial enquanto a ocupação não estabiliza, posteriormente, acompanha a evolução dos valores de CO₂ medido, tanto na situação de ligeiro aumento, como na de diminuição.

Resultante da análise dos dados obtidos, é possível concluir que esta sala sem qualquer tipo de ventilação, depois de uma hora e vinte minutos de aula, mesmo só com 10 ocupantes, atinge uma concentração de cerca 4.000 mg/m³ de CO₂. Se a sala estivesse cheia poderia chegar aos 10.500 mg/m³.

Basta a abertura de uma janela para que em relativamente pouco tempo se consiga uma considerável redução da concentração de CO₂, o que demonstra um bom procedimento a recomendar aos utilizadores destes espaços, sempre que as condições climáticas exteriores o permitam.

No quadro seguinte indica-se o resultado da verificação da conformidade com o RSECE, aplicando a correcção para a ocupação máxima para o CO₂, relativamente aos parâmetros medidos.

		CO ₂ mg/m ³	COVs mg/m ³	O ₃ mg/m ³	CO mg/m ³	PM ₁₀ mg/m ³
máximo RSECE		1.800	0,6	0,2	12,5	0,15
1ª parte do ensaio	valor calculado (CO ₂) ou medido (restantes)	10.981	4,89	0,18	0,40	0,17
	cumpr. valores do RSECE S/N	NÃO	NÃO	SIM	SIM	NÃO
2ª parte do ensaio	valor calculado (CO ₂) ou medido (restantes)	10.476	1,54	0,25	0,20	
	cumpr. valores do RSECE S/N	NÃO	NÃO	NÃO	SIM	
nº máximo de ocupantes durante as medições						10
nº ocupantes máximo da sala						33
CO ₂ no exterior [mg/m ³]						909

Tabela 14 - quadro resumo de verificação de conformidade com RSECE, dia 18/10/ 2010, sala 136

Verifica-se que neste ensaio com janela e porta fechada, o CO₂, COVs só com 10 ocupantes ultrapassa os limites. Com o máximo de ocupação será muito superior. Na

segunda parte, com janela aberta, a concentração de CO₂ tende a estabilizar nos 1.200 mg/m³.

Neste caso a correcção de CO₂ para a ocupação máxima, baseando-se no valor máximo registado no intervalo de medições que ocorreu no início da segunda parte do ensaio, foi 10.400 mg/m³ valor bastante elevado, no entanto, no final do ensaio, como o ar foi sendo renovado, a concentração passaria para 2.000 mg/m³.

As partículas em suspensão PM₁₀, ultrapassaram ligeiramente o indicado no regulamento, 0,17 mg/m³. De referir que esta medição foi efectuada quando os ocupantes estavam a sair da sala após ensaio que decorreu com janela e porta fechada.

Uma justificação para o valor das partículas PM₁₀, estar ligeiramente superior ao máximo regulamentado, tem a ver com o facto de a limpeza da sala ser feita no final da noite depois das aulas, pelo que à hora que estas medições foram efectuadas, já tinham decorrido várias aulas desde a última limpeza, com a consequente acumulação de partículas.

Sala nº 136, dia 19/10/2010, das 18:50 às 22:00

Este ensaio, divide-se em duas partes: primeira, com janelas e porta aberta, segunda parte, com janelas fechada e porta aberta.

O número máximo de ocupantes foi de 12.

Na primeira parte, com base das medições da evolução de CO₂ e o método de cálculo da evolução temporal, o número de renovações por hora que estimado foi de 4 RPH, o que corresponde a um caudal de ar novo estimado em 630 m³/h, nas condições deste ensaio. Valor diferente do obtido no ensaio do dia 27 de Setembro nas mesmas condições, justificando-se as diferenças pela total dependências das condições do vento no exterior.

Na segunda parte o número de renovações foi de 1,5 RPH, correspondendo a um caudal de ar exterior de 235 m³/h.

Com os resultados verificados neste ensaio, com a janela fechada e porta aberta, já não se poderá considerar nulo o efeito da ventilação obtido só com a porta aberta. Desde que exista pouco tráfego no corredor. O que poderá ser uma solução em dias de chuva ou temperaturas exteriores baixas.

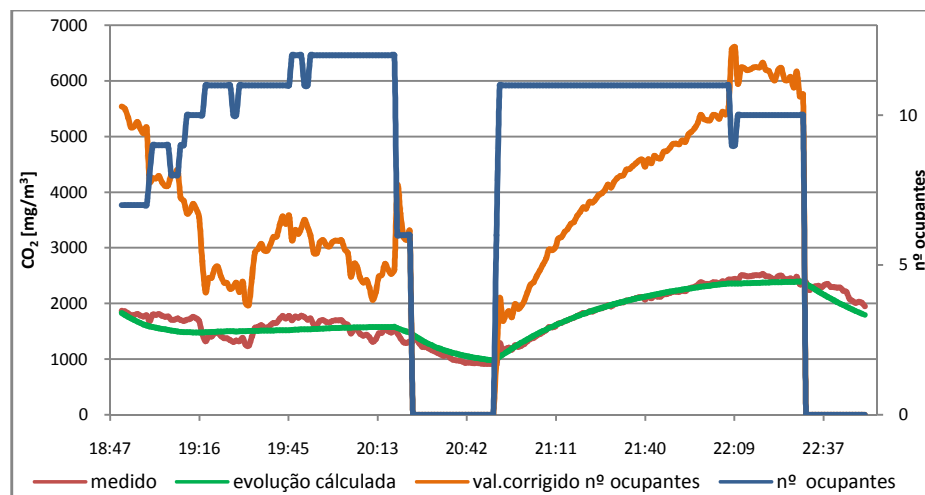


Figura 55 - campanha medição do dia 19/10/2010, sala 136

No gráfico ilustra-se a evolução das concentrações de CO₂ aplicando a fórmula de correcção para a ocupação máxima aos valores medidos, concluindo-se que, embora durante o ensaio se tenham verificado valores pouco acima dos indicados no RSECE e na segunda parte um pouco mais elevados. Se a sala estivesse com a máxima ocupação, os valores máximos seriam bastante ultrapassados.

No quadro seguinte indica-se o resultado da verificação da conformidade com o RSECE, aplicando a correcção para a ocupação máxima para o CO₂ relativamente aos parâmetros medidos.

		CO ₂ mg/m ³	COVs mg/m ³	O ₃ mg/m ³	CO mg/m ³
máximo RSECE		1.800	0,6	0,2	12,5
1ª parte	valor calculado (CO ₂) ou medido (restantes)	3.621	2,24	0,34	0,10
	cumpr valores do RSECE S/N	NÃO	NÃO	NÃO	SIM
2ª parte	valor calculado (CO ₂) ou medido (restantes)	5.441	1,09	0,58	0,00
	cumpr valores do RSECE S/N	NÃO	NÃO	NÃO	SIM
nº máximo de ocupantes durante as medições					12
nº ocupantes máximo da sala					33
CO ₂ no exterior [mg/m ³]					868

Tabela 15 - quadro resumo de verificação de conformidade com RSECE, dia 19/10/2010, sala 136

No gráfico seguinte resume-se os três ensaios efectuados nestas salas que simulam as quatro situações estudadas: porta e janela fechadas, porta e janela abertas, porta aberta e janela fechada, porta fechada e janela aberta.

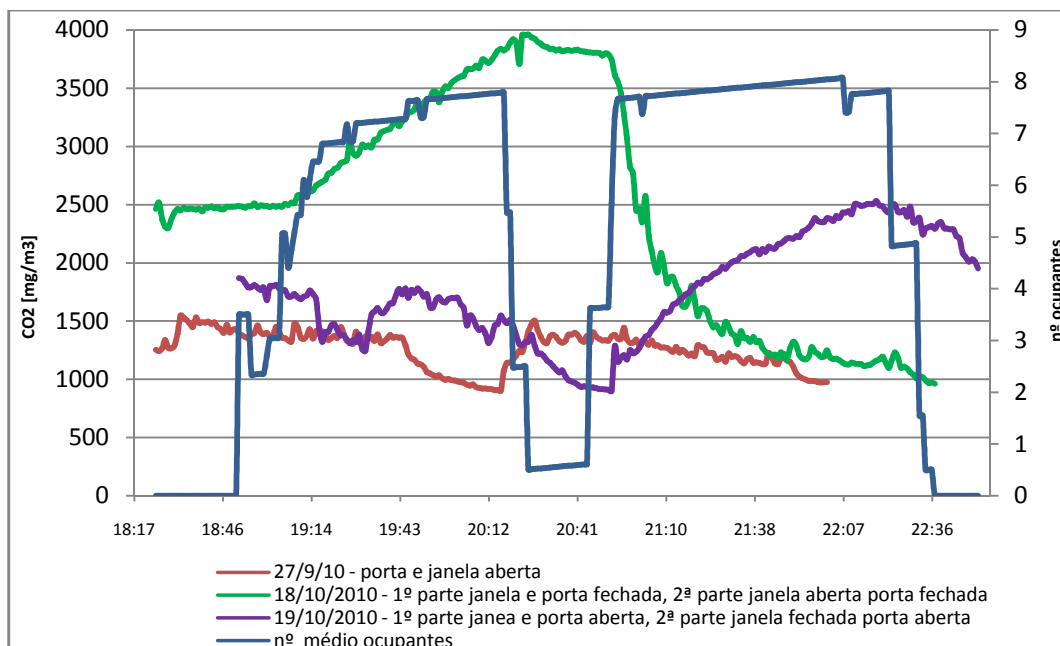


Figura 56 – resumo evolução CO₂ nos vários ensaios, sala 136

Embora as concentrações de início de todos os ensaios não sejam próximas, como seria desejável para este tipo de comparação, verifica-se a tendência das evoluções: com porta e janela fechada o efeito é idêntico ao verificado com janela fechada e porta aberta; com janela aberta as concentrações de CO₂ mantêm-se dentro dos limites aceitáveis (ainda que com ocupação relativamente baixa). Esta é a ocupação corrente das turmas que usam estas salas.

Partindo de concentrações na ordem dos 3.800 mg/m³ e só com a janela aberta, em cerca de trinta minutos, a concentração passou para os 1.800 mg/m³.

7.1.1 - Propostas para melhorias da QAI nas salas 136 e 165

No domínio da ventilação e, neste tipo de salas, com investimentos relativamente reduzidos e proporcionando a desejável renovação do ar, poder-se-ia fazer algumas intervenções. A saber:

- intervenção na caixilharia das aberturas superiores de forma a possibilitar a fácil abertura das janelas basculantes pelos ocupantes;
- janela principal com abertura tipo basculante, evitando as correntes de ar directas sobre os ocupantes ou transformar a parte superior do vão da janela em grelha de ventilação e restante janela passar a estar dotada de sistema de abertura superior;

- abertura de uma grelha de ventilação na porta para o corredor.

O sistema de climatização existente não é adequado para este tipo de utilização, a temperatura e a velocidade do ar à saída do equipamento provocam grande desconforto nos ocupantes que estão na sua proximidade. Uma solução para minimizar o seu efeito, esteticamente controversa, seria colocar uns deflectores à frente do equipamento de forma a dirigir o ar frio à saída da grelha na horizontal.

Outra alternativa mais onerosa, seria substituir o sistema de ar condicionado por um com unidade exterior centralizada ou individual, devendo a unidade interior ser de instalação por cima do tecto falso com pequenas condutas até aos difusores e grelhas de retorno.

No caso de um investimento ainda maior, a opção seria a substituição do sistema de climatização, passando a justificar fazer-se, também, a insuflação de ar novo e extracção ou exaustão.

7.2 - Auditório com ar condicionado e renovação de ar

Auditório 0.4, dia 15/3/2011, das 14:00 às 18:30

Neste ensaio, o objectivo foi manter as janelas e portas fechadas, numa primeira parte, com o sistema de ventilação desligado. Na segunda parte, com o sistema de ventilação (ar novo e exaustão) em funcionamento e sistema de ar condicionado ligado, para proporcionar a mistura do ar novo na sala.

Sem ventilação, a concentração de CO₂ atingiu valores na ordem dos 2.000 mg/m³, sendo que foi difícil manter as portas fechadas, o que proporcionou alguma renovação, ainda que para 1/3 da ocupação máxima os valores registados ultrapassam pouco os máximos admitidos.

Na primeira parte, com base nas medições da evolução de CO₂ e o método de cálculo da evolução temporal, o número estimado de renovações por hora foi de 3,2 RPH, o que corresponde a um caudal de ar novo estimado em 1.305 m³/h. Admitindo-se estes valores como infiltrações, proporcionado pelas portas abertas com

bastante frequência para entrada e saída de ocupantes e alguns “esquecimentos” de porta aberta.

Na segunda parte, com o sistema de ventilação ligado, o número de renovações foi de 2,7 RPH, caudal ar novo de 1.100 m³/h, valores relativamente próximos dos obtidos sem a ventilação ligada.

Esta pequena diferença de caudais de ar novo justifica-se pelo difícil controlo sobre o tempo das portas fechadas, pela deficiente forma de insuflação de ar novo na sala e, também, ao perfil de número de ocupantes bastante diferente. Neste caso foi necessário repetir as medições noutra dia, com o perfil de ocupação idêntico.

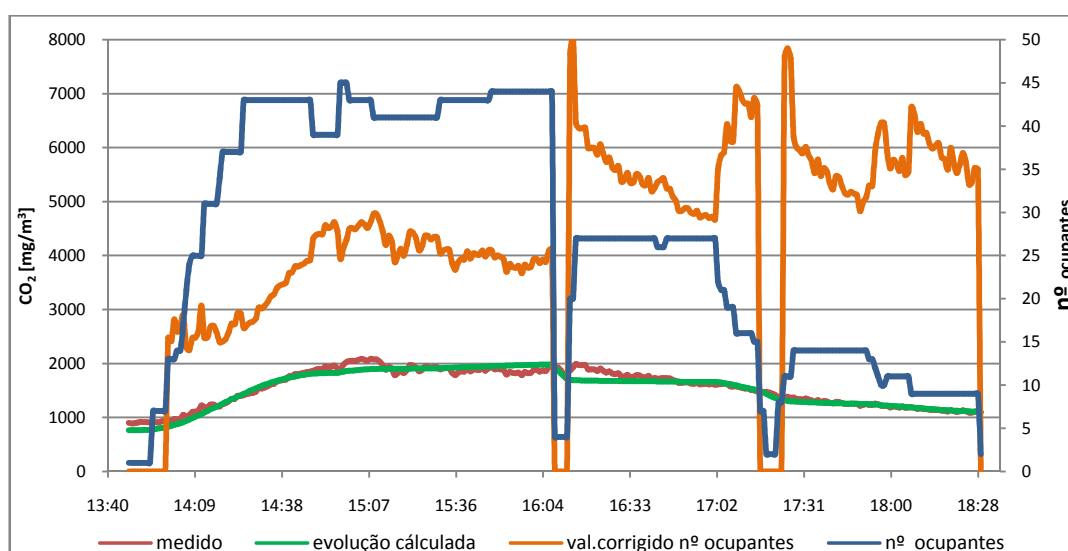


Figura 57 - campanha medição do dia 15/3/2011, auditório 0.4

No gráfico ilustra-se a evolução das concentrações de CO₂ aplicando a fórmula de correcção para a ocupação máxima aos valores medidos. Verifica-se que as concentrações de CO₂ estão bastante acima dos indicados no RSECE.

Na segunda parte com uma ocupação inferior, a aplicação da fórmula de correcção para a ocupação máxima aos valores medidos indica concentrações de CO₂ ainda mais elevados.

No quadro seguinte indica-se o resultado da verificação da conformidade com o RSECE, aplicando a correcção para a ocupação máxima para o CO₂, relativamente aos parâmetros medidos.

		CO ₂ mg/m ³	COVs mg/m ³	O ₃ mg/m ³	CO mg/m ³	PM ₁₀ mg/m ³
máximo RSECE		1.800	0,6	0,2	12,5	0,15
1ª parte	valor calculado (CO ₂) ou medido (restantes)	4.384	4,30	0,10	3,20	0,40
	cumpe valores do RSECE S/N	NÃO	NÃO	SIM	SIM	NÃO
2ª parte	valor calculado (CO ₂) ou medido (restantes)	6.315	1,26	0,11	3,10	----
	cumpe valores do RSECE S/N	NÃO	NÃO	SIM	SIM	----
nº máximo de ocupantes durante as medições						45 / 27
nº máximo ocupantes da sala						125
CO ₂ no exterior [mg/m ³]						801

Tabela 16 - quadro resumo de verificação de conformidade com RSECE, dia 15/3/ 2011, auditório 0.4

Verificou-se que os valores das partículas PM₁₀, registados nos períodos de entrada e saída de ocupantes superaram bastante os limites máximos admitidos. O valor máximo registado foi de 0,4 mg/m³, 266% mais do que o máximo regulamentado. Esta medição corresponde ao período de entrada dos ocupantes, sem a ventilação ligada. Passados cinco minutos relativamente à entrada da maioria dos ocupantes a concentração de PM₁₀ passou para 0,27 mg/m³ e, cerca de trinta minutos após a entrada, a concentração baixou para os 0,15 mg/m³.

Com o sistema de ventilação ligado e ocupantes sentados, as concentrações médias de PM₁₀ foram de 0,19 mg/m³, ligeiramente superiores às medidas com a ventilação desligada. As causas prováveis estarão relacionadas com o facto de os difusores injectarem ar recirculado, originando movimentações de massas de ar, logo, maior movimentação de partículas suspensas. Outra causa é a deficiente instalação da rede de condutas e grelhas de ar novo e extracção, provocam uma baixa eficiência de ventilação.

Dia 22/3/2011, das 14:00 às 16:00

Este ensaio decorreu com o sistema de ventilação e ar condicionado, igual ao que se fez na segunda parte do ensaio do dia 15/3/2011, mas com o número de ocupantes da primeira parte.

Com base nas medições da evolução de CO₂ e o método de cálculo da evolução temporal, o número de renovações por hora foi estimado em 5,5 RPH, o que corresponde a um caudal de ar novo estimado em 2.240 m³/h.

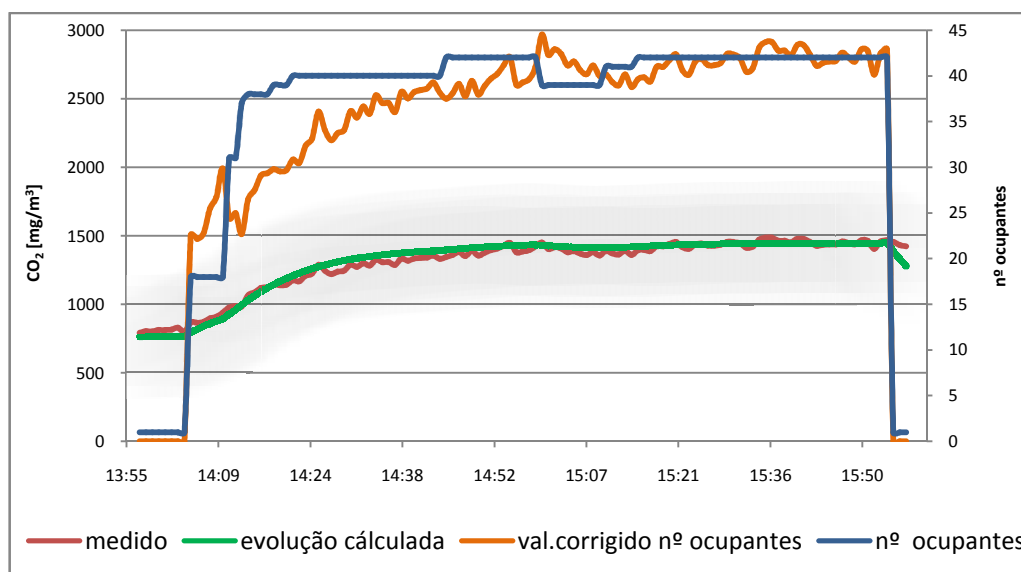


Figura 58 - campanha medição do dia 22/3/2011, auditório 0.4

No gráfico ilustra-se a evolução das concentrações de CO₂ aplicando a fórmula de correcção para a ocupação máxima aos valores medidos. Verifica-se que, as concentrações de CO₂ para o ensaio do dia 15 de Março com a ventilação ligada reportam valores bastante inferiores. O número máximo de ocupantes no dia 15 de Março foi de 27 e no dia 22 de Março foi de 42.

No quadro seguinte indica-se o resultado da verificação da conformidade com o RSECE, aplicando a correcção para a ocupação máxima para o CO₂, relativamente aos parâmetros medidos.

	CO ₂ mg/m ³	COVs mg/m ³	O ₃ mg/m ³	CO mg/m ³	PM ₁₀ mg/m ³
máximo RSECE	1.800	0,6	0,2	12,5	0,15
valor calculado (CO ₂) ou medido (restantes)	2.917	1,09	0,12	2,90	0,22
cumpre valores do RSECE S/N	NÃO	NÃO	SIM	SIM	NÃO
nº máximo de ocupantes durante as medições					42
nº máximo ocupantes da sala					125
CO ₂ no exterior [mg/m ³]					760

Tabela 17 - quadro resumo de verificação de conformidade com RSECE, dia 22/3/2011, auditório 0.4

Neste ensaio com a ventilação ligada, a concentração de CO₂, determinada com base na correcção da ocupação máxima, é superior ao máximo regulamentado; os COVs e as partículas PM₁₀ também ultrapassam os limites máximos.

7.2.1 - Propostas para melhorias da QAI no auditório 0.04

No domínio da ventilação, nos auditórios, com investimentos relativamente reduzidos e proporcionando a desejável qualidade do ar, poder-se-ia fazer algumas intervenções. A saber:

- fazer manutenção aos sistemas de ventilação e ar condicionado;
- substituir periodicamente os filtros da UTAs e limpar os filtros das unidades interiores;
- substituir o revestimento do pavimento porque a alcatifa existente é totalmente desaconselhada. Um pavimento vinílico poderia ser uma solução porque é de fácil limpeza;
- completar a ligação da conduta de ar novo às caixas de mistura na entrada de ar das unidades interiores;
- transferir para o interior do auditório os comandos dos sistemas de ventilação e ar condicionado. A concepção existente de comandar os sistemas a partir da régie não é nada funcional, levando a que os sistemas ou não sejam ligados ou estejam ligados muitas horas, mesmo sem qualquer ocupação uma vez que a ocupação dos auditórios não é contínua.

7.3 - Salas aula com ar condicionado e renovação de ar

Sala nº 2.13, dia 24/3/2011, das 8:30 às 10:30

Este ensaio, decorreu com janelas e portas fechadas, cerca das 9h45m a curva ascendente do valor medido de CO₂ inverteu a sua trajectória devido à abertura parcial de uma janela.

Na primeira parte, com base das medições da evolução de CO₂ e o método de cálculo da evolução temporal, o número de renovações por hora estimado foi de

2,5 RPH, o que corresponde a um caudal de ar novo estimado em 354 m³/h. Depois da janela aberta alterou-se ligeiramente, passando para 3 RPH correspondendo um caudal de 425 m³/h.

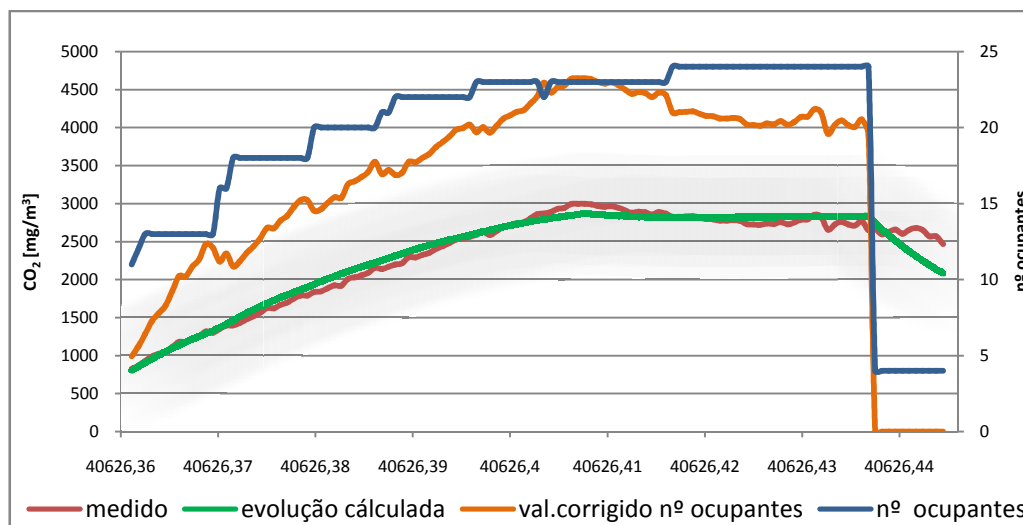


Figura 59 - campanha medição do dia 24/3/2011, sala 2.13

Embora o sistema de ventilação de todo o edifício estivesse em funcionamento, verifica-se que o CO₂ atinge valores bastante elevados, ultrapassando o valor regulamentado após cerca de 30 minutos de aula, atingindo os 3.000 mg/m³ em cerca de 1h10m.

No quadro seguinte indica-se o resultado da verificação da conformidade com o RSECE, aplicando a correcção para a ocupação máxima para o CO₂, relativamente aos parâmetros medidos.

	CO ₂ mg/m ³	COVs mg/m ³	O ₃ mg/m ³	CO mg/m ³
máximo RSECE	1.800	0,6	0,2	12,5
valor calculado (CO ₂) ou medido (restantes)	4.448	1,98	0,16	4,20
cumpr. valores do RSECE S/N	NÃO	NÃO	SIM	SIM
nº máximo de ocupantes durante as medições				24
nº ocupantes máximo da sala				40
CO ₂ no exterior [mg/m ³]				820

Tabela 18 - quadro resumo de verificação de conformidade com RSECE, dia 24/3/2011, sala 2.13

Dia 31/3/2011, das 8:30 às 10:30

Neste ensaio, com janelas e portas fechadas, e com ventilador de exaustão avariado.

Na primeira parte, com base das medições da evolução de CO₂ e o método de cálculo da evolução temporal, o número de renovações por hora estimado foi de 1,3 RPH, o que corresponde a um caudal de ar novo estimado em 184 m³/h.

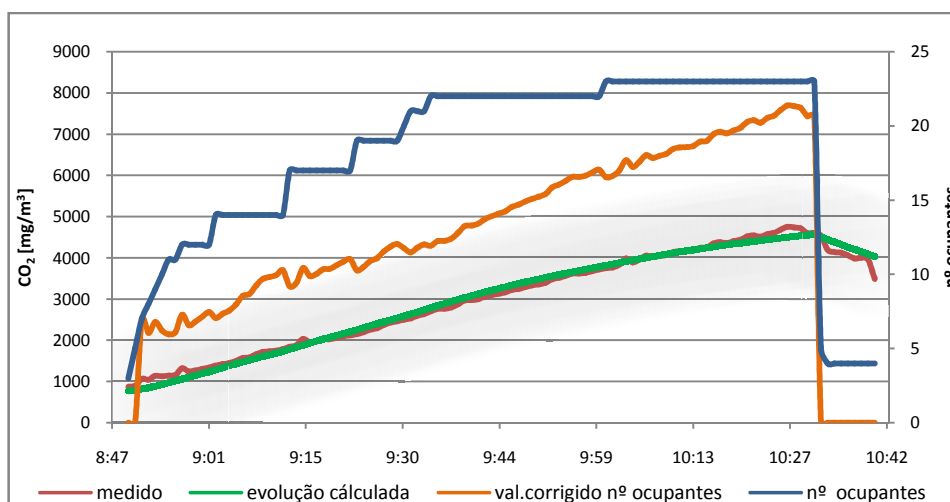


Figura 60 - campanha medição do dia 31/3/ 2011, sala 2.13

A evolução é idêntica à obtida no ensaio anterior. Neste caso, como se mantiveram as portas e janelas fechadas até final da aula, atingiram-se concentrações de 4.750 mg/m³, quando o máximo regulamentado é de 1.800 mg/m³.

No quadro seguinte indica-se o resultado da verificação da conformidade com o RSECE, aplicando a correcção para a ocupação máxima para o CO₂, relativamente aos parâmetros medidos.

	CO ₂ mg/m ³	COVs mg/m ³	O ₃ mg/m ³	CO mg/m ³
máximo RSECE	1.800	0,6	0,2	12,5
valor calculado (CO ₂) ou medido (restantes)	7.657	1,25	0,19	4,30
cumpr. valores do RSECE S/N	NÃO	NÃO	SIM	SIM
nº máximo de ocupantes durante as medições				23
nº ocupantes máximo da sala				40
CO ₂ no exterior [mg/m ³]				820

Tabela 19 - quadro resumo de verificação de conformidade com RSECE, dia 31/3/2011, sala 2.13

Dia 7/4/2011, das 8:30 às 12:30

Este ensaio subdividiu-se em duas partes: a primeira parte com janelas e portas fechadas e ventilação ligada; a segunda parte, com janelas abertas e portas fechadas.

Na primeira parte, com base das medições da evolução de CO₂ e o método de cálculo da evolução temporal, o número de renovações por hora estimado foi de 1,7 RPH, o que corresponde a um caudal de ar novo estimado em 240 m³/h.

Na segunda parte, o número de renovações por hora foi de 7 RPH, o caudal de ar novo calculado foi de 990 m³/h.

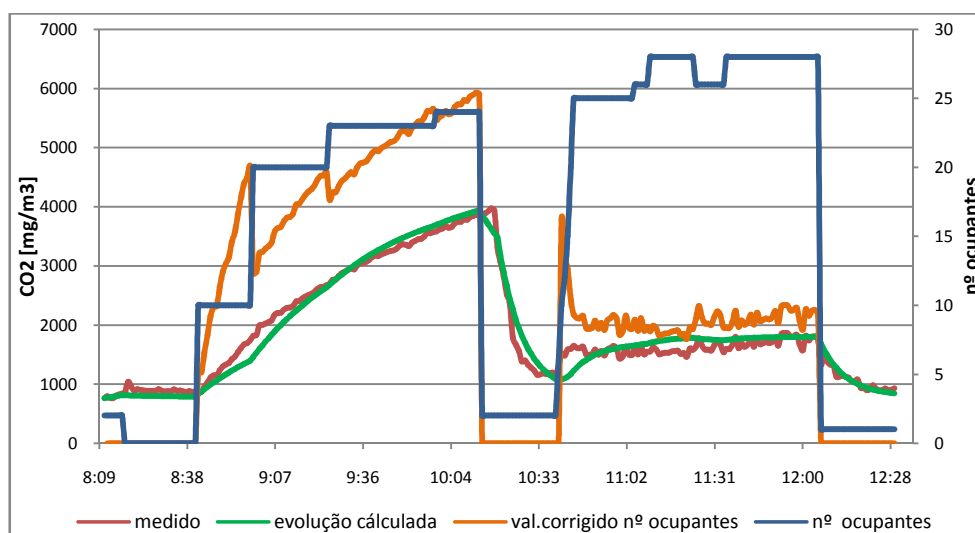


Figura 61 - campanha medição do dia 7/4/2011, sala 2.13

Com base no RSECE para uma sala com 40 lugares, o caudal de ar novo efectivo deveria ser de 1.200 m³/h.

No quadro seguinte indica-se o resultado da verificação da conformidade com o RSECE, aplicando a correcção para a ocupação máxima para o CO₂ relativamente aos parâmetros medidos.

		CO ₂ mg/m ³	COVs mg/m ³	O ₃ mg/m ³	CO mg/m ³	PM ₁₀ mg/m ³
máximo RSECE		1.800	0,6	0,2	12,5	0,15
1ª parte	valor calculado (CO ₂) ou medido (restantes)	6.112	1,18	0,18	4,20	0,27
	cumpr valores do RSECE S/N	NÃO	NÃO	SIM	SIM	NÃO
2ª parte	valor calculado (CO ₂) ou medido (restantes)	2.338	1,52	0,23	3,50	
	cumpr valores do RSECE S/N	NÃO	NÃO	NÃO	SIM	
nº máximo de ocupantes durante as medições						24 / 28
nº ocupantes máximo da sala						40
CO ₂ no exterior [mg/m ³]						762

Tabela 20 - quadro resumo de verificação de conformidade com RSECE, dia 7/4/2011, sala 2.13

Na análise das várias medições efectuadas na sala 2.13 verifica-se que o sistema de ventilação mecânica existente não é suficiente, mesmo para este nível de ocupação (cerca de 25 pessoas). Só com as janelas abertas é que é possível manter os valores de CO₂ abaixo dos 1.800 mg/m³.

Mesmo com as janelas abertas, para a ocupação máxima da sala (40 pessoas) é espectável que o limite de 1.800 mg/m³ possa ser ultrapassado.

A deficiente ventilação reflecte-se nos valores registados nos outros poluentes, nomeadamente nos COVs e nas PM₁₀, também a ultrapassarem os valores máximos admitidos.

No gráfico seguinte resume-se os dois tipos de ensaio efectuados nesta sala, que simulam as duas situações estudadas: porta e janela fechadas, porta fechada e janela aberta, ventilação ligada.

Os ensaios dos dias 24/3 e 31/3, embora correspondam ao mesmo objectivo da primeira parte do dia 7/4, também foram objecto de análise, verificando-se que as anomalias com o sistema de ventilação pouco influenciam os resultados obtidos. As evoluções são bastante idênticas.

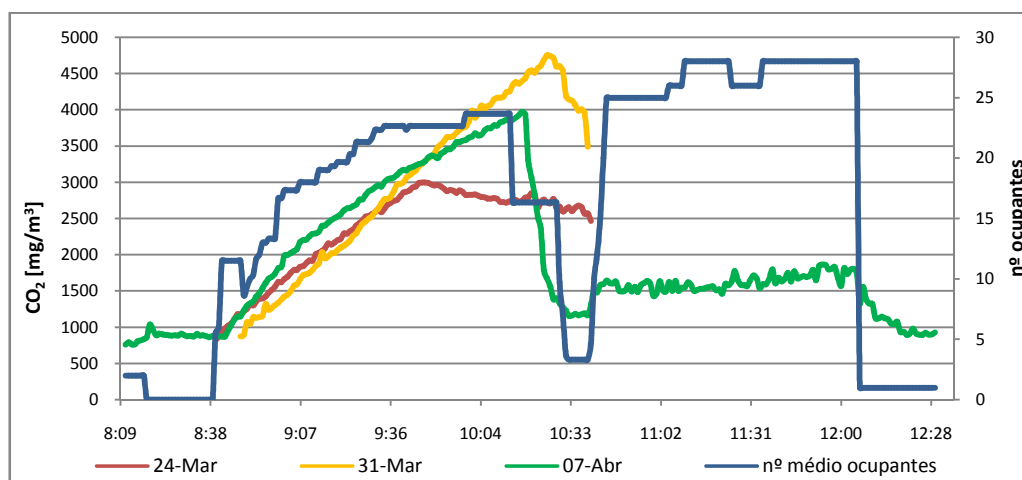


Figura 62 – evoluções da concentração CO₂, medido nas várias campanhas da sala 2.13

Através da análise ao gráfico fica evidente que mesmo com pequenas alterações nos ensaios com o sistema de ventilação em funcionamento, a evolução da concentração de CO₂ é muito semelhante, comprovadamente insuficiente. Com as janelas abertas verifica-se que ventilação melhora muito, atingindo concentrações de poluentes dentro de valores aceitáveis.

7.3.1 - Propostas para melhorias da QAI na sala 2.13

Nas salas do complexo pedagógicos, no domínio da ventilação, com investimentos relativamente reduzidos para proporcionar a desejável qualidade do ar, poderiam fazer-se algumas intervenções, nomeadamente:

- fazer manutenção aos sistemas de ventilação e ar condicionado;
- substituir periodicamente os filtros da UTAs, e limpar os das unidades interiores;
- colocar difusores na insuflação do ar da unidade interior (trabalhos previstos no projecto e não executados);
- completar a ligação da conduta de ar novo à caixa de mistura, na entrada de ar da unidade interior (trabalhos previstos no projecto e não executados);
- colocar grelhas no tecto falso e fazer a ligação às condutas de exaustão (trabalhos previstos no projecto e não executados)

Como ficou demonstrado nas medições efectuadas, a capacidade do sistema actual para insuflar o caudal de ar novo necessário é insuficiente, os caudais projectados são inferiores aos que actualmente são usados, agravada por diâmetros inferiores nas condutas instaladas, pelo que aumentar o caudal de ar novo pelos meios mecânicos obrigaria a investimentos avultados. Uma alternativa seria a alteração da caixilharia das janelas colocando umas grelhas em alguns vidros e, desta forma, permitissem também a ventilação natural.

Sala nº 6, dia 2/5/2011, das 18:40 às 22:30

Este ensaio divide-se em duas partes. Numa primeira parte, com o sistema de ventilação ligado e numa segunda parte, com o sistema de ventilação desligado.

Na primeira parte, com base das medições da evolução de CO₂ e o método de cálculo da evolução temporal, o número de renovações por hora foi estimado em 6 RPH, o que corresponde a um caudal de ar novo estimado em 1.150 m³/h.

Na segunda parte, o número de renovações por hora foi de 0,7 RPH e o caudal de ar novo calculado foi de 134 m³/h.

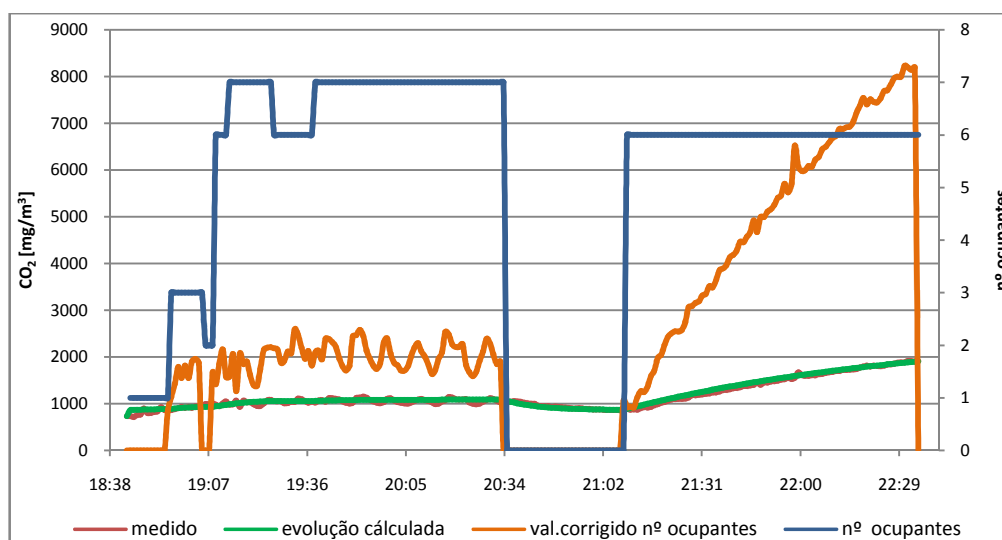


Figura 63 - campanha medição do dia 2/5/2011, sala 6

Verifica-se que, com o sistema de ventilação ligado, as concentrações de CO₂ são baixas, mas quando o sistema de ventilação foi desligado começaram a subir.

Resultado da aplicação da equação para correcção do número máximo de ocupantes, verifica-se que com o sistema de ventilação ligado é espectável que as concentrações de CO₂ se mantenham na ordem dos 2.000 mg/m³; se a ventilação for desligada a concentração aumentará rapidamente para valores bastante elevados.

No quadro seguinte indica-se o resultado da verificação da conformidade com o RSECE, aplicando a correcção para a ocupação máxima para o CO₂, relativamente aos parâmetros medidos.

		CO ₂ mg/m ³	COVs mg/m ³	O ₃ mg/m ³	CO mg/m ³	PM ₁₀ mg/m ³
máximo RSECE		1.800	0,6	0,2	12,5	0,1500
1ª parte	valor calculado (CO ₂) ou medido (restantes)	2.579	3,01	0,20	3,90	0,0048
	cumpr. valores do RSECE S/N	NÃO	NÃO	SIM	SIM	SIM
2ª parte	valor calculado (CO ₂) ou medido (restantes)	8.227	1,77	0,19	3,70	0,0158
	cumpr. valores do RSECE S/N	NÃO	NÃO	SIM	SIM	SIM
nº máximo de ocupantes durante as medições						7 / 6
nº ocupantes máximo da sala						42
CO ₂ no exterior [mg/m ³]						863

Tabela 21 - quadro resumo de verificação de conformidade com RSECE, dia 2/5/2011, sala 6

7.3.2 - Propostas para melhorias da QAI na sala 6

Dos quatro tipos de salas estudadas, a sala 6 é a que apresenta melhores condições de ventilação tendo as medições decorrido com um número reduzido de ocupantes, pelo que, à partida, não apresenta grandes problemas. Recomenda-se:

- fazer manutenção ao sistema de ventilação e ar condicionado;
- substituir ou limpar periodicamente os filtros da unidade interior.

8 - Conclusão

Neste capítulo indica-se as principais conclusões desta dissertação, apontando outros trabalhos de investigação que se entende poderem vir a realizar-se em complemento deste trabalho.

O objectivo desta dissertação foi registar e analisar a evolução das concentrações de alguns poluentes físico-químicos definidos no RSECE, nomeadamente, dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), ozono (O_3), compostos orgânicos voláteis totais (COVtotais) e partículas suspensas no ar (PM_{10}), em salas de aula. Pretendendo-se avaliar as concentrações dos poluentes e a sua relação com a ocupação efectiva, testando as diferentes formas de ventilação que cada sala dispõe. Em função dos resultados e da observação directa das condições existentes, aponta-se algumas soluções para melhorar a QAI desses espaços.

Como principais conclusões, podem indicar-se as seguintes:

- as salas de aula 165 e 136, do edifício mais antigo não estão dotadas de sistemas de ventilação e renovação de ar que permitam manter as concentrações dos poluentes CO_2 , COVs e PM_{10} , abaixo dos limites máximos indicados no RSECE. Existe equipamento para controlo de temperatura, tipo “split” mural bomba de calor, mas a sua utilização está bastante condicionada pelo desconforto que provoca aos ocupantes, devido sobretudo às correntes de ar frio e à elevada velocidade do ar nas zonas próximas da unidade interior;
- na sala de aula 2.13 dotada de sistema de ventilação e ar condicionado centralizados, com este em funcionamento, as concentrações dos poluentes CO_2 , COVs e PM_{10} , também superam os limites máximos indicados no RSECE. Só com a janela aberta é que se verificam concentrações de CO_2 abaixo dos limites máximos;
- no auditório, se o sistema de ventilação estiver desligado, são ultrapassados os limites máximos dos poluentes CO_2 , COVs e PM_{10} . Com a ventilação ligada e com ocupação de cerca 1/3 do máximo, o CO_2 estabiliza nos 1.400 mg/m^3 . Os COVs e PM_{10} ultrapassam ligeiramente os limites máximos;
- na sala 6 com sistema de ventilação e ar condicionado individual, desde que o sistema de ventilação esteja ligado, é possível manter os poluentes abaixo dos limites do

RSECE. Dos quatro espaços estudados, esta sala é que apresenta melhores condições para garantir uma boa QAI;

- nas medições efectuadas nas salas 165, 136 e 2.13 nunca foi verificada a ocupação máxima. Com as ocupações reais e com as janelas abertas foi possível verificar que as concentrações de poluentes se mantêm abaixo dos limites;

- seria muito importante sensibilizar os ocupantes para as vantagens da abertura das janelas, pois verifica-se mesmo nos casos com reduzida taxa de ocupação se as janelas estiverem fechadas, os níveis de CO₂ facilmente ultrapassam os limites regulamentares. Existem vários estudos que demonstram que associado a concentrações mais elevadas de CO₂, estão desempenhos e produtividades inferiores, em ambientes escolares esses estudos demonstram uma diminuição da atenção e concentração dos alunos. Submetidos a exposições prolongadas podem surgir problemas de saúde, cuja gravidade dependerá do tempo e concentração que os ocupantes estiverem expostos;

- mesmo com condições exteriores mais adversas poderá aproveitar-se os intervalos para abrir as janelas, baixa consideravelmente a concentração de CO₂;

- o auditório foi o local onde se verificaram concentrações mais elevadas de partículas PM₁₀, ultrapassando bastante o limite máximo admitido. Uma justificação para este facto tem a ver com o revestimento do pavimento ser alcatifa, cuja dificuldade de limpeza eficaz torna esta solução desaconselhada para garantir uma boa QAI.

Como resultado das observações ao funcionamento dos sistemas de ventilação deve destacar-se:

- nas salas e auditórios com sistemas de ventilação e climatização, a manutenção dos sistemas é praticamente inexistente, verificando-se que os filtros estão totalmente, colmatados, as unidades de insuflação de ar novo têm alguns pontos de oxidação e há acumulação de pó no seu interior. As unidades mais recentes, que dispõem de pressostatos diferenciais para protecção dos ventiladores e aviso de filtro colmatados, estão desligados.

- verifica-se que no sistema de condutas de ventilação do complexo pedagógico, a obra executada tem diferenças significativas face ao projectado: há condutas com diâmetros inferiores ao indicado no projecto; a conduta de ar novo não liga directamente

à unidade interior; a exaustão também não está ligada à zona por baixo do tecto falso, fazendo-se a insuflação de ar novo e exaustão no pleno criado por cima do tecto falso, o que implica eficiências de ventilação bastante reduzidas.

- verifica-se, também, que no sistema de condutas de ventilação dos auditórios, a ligação da conduta de ar novo à caixa de mistura de entrada da unidade interior não foi feita. Quanto à exaustão, não existem grelhas visíveis, indiciando que também não foi executado conforme projectado;

- a localização do comando do sistema de ventilação do auditório, instalado na sala de comando, pressupõe a disponibilidade de um funcionário para ligar e desligar o sistema. Quando há a utilização do espaço como normalmente não há essa disponibilidade do funcionário, o sistema está desligado ou se for ligado manter-se-á por muitas horas para além do tempo necessário. Seria desejável passar o comando da ventilação para uma zona no interior do próprio auditório. Relativamente ao comando do sistema de ar condicionado o problema é o mesmo, acrescido do facto deste ter funções de controlo, logo deve estar numa zona representativa do espaço que esta a climatizar.

8.1 - Sugestões para trabalhos futuros

Este trabalho deverá ser continuado através de outros trabalhos de investigação, sugerindo-se que os mesmos incidam sobre:

- medição de caudais de ar novo e comparados com os obtidos na modelação numérica usada neste trabalho;
- medições de poluentes com ocupação máxima das salas;
- estudo das concentrações de bactérias e fungos

9 - Bibliografia

- ADENE. (Agosto de 2009). Errata da Nota Técnica NT – SCE – 02 – Metodologia para auditorias periódicas de QAI em edifícios de serviços existentes no âmbito do RSECE.
- ADENE. (Abril de 2009). Nota Técnica NT – SCE – 02. *Metodologia para auditorias periódicas de QAI em edifícios de serviços existentes no âmbito do RSECE* . Lisboa: ADENE.
- Alfano, F. R. (2010). *Ambiente Interior e Eficiência Energética nas Escolas*. (A. Ramos, Trad.) Lisboa: REHVA.
- Allocca, C., Chen, Q., & Glicksman, L. R. (2003). Design analysis of single-sided natural ventilation. *Energy and Buildings*, , Volume 35, 785-795.
- APA, A. P. (2009). *Qualidade do Ar em Espaços Interiores, Um Guia Técnico*. Amadora: Agência Portuguesa do Ambiente.
- ASHRAE. (2009). *ASHRAE - Fundamentals, Thermal Comfort cap.9*. Atlanta: ASHRAE - American Society for Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc.
- ASHRAE. (2004). *ASHRAE Standard 55, 2004. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Atlanta (USA): ASHRAE - American Society for Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc.
- ASHRAE. (2004). *ASHRAE Standard 62, 2004. Ventilation for acceptable indoor air quality*. Atlanta (USA): ASHRAE - American Society for Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc.
- ASHRAE. (1997). *FUNDAMENTALS* (Vol. Cap.8). Atlanta - USA: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, INC.
- Burroughs, B. B. (2008). *Managing Indoor Air Quality, Fourth Edition*. India, Trail: Fairmont Press, Inc.
- EN 13779:2007. (2007). *Ventilation for no residential buildings – Performance requirements for ventilation and room conditioning systems* .
- EN 15242:2007. (2007). *Ventilation for buildings - Calculation methods for the determination of air flow rates in buildings including infiltration* .

- EPA. (21 de 10 de 2010). Obtido em 3 de 04 de 2011, de <http://www.epa.gov: http://www.epa.gov/iaq/largebldgs/i-beam/text/hvac.html#F6.1.1>
- European Collaborative Action, U. A. (2003). *Ventilation, Good Indoor Air Quality and Rational Use of Energy*. Luxembourg: EUROPEAN COMMISSION.
- Fanger, P. (1970). *Thermal confort - analysis and applications in encironmental engineering*. Nova York,: McGraw-Hill Book Company.
- Fanger, P. (2006). What is IAQ? *Indoor Air* , 16: 328-334.
- Fisk, W., Faulkner, D., Palonen, J., & Seppanen, O. (2002). Performance and costs of particle air filtration technologies. *Indoor Air* , 12:223–234.
- Flannigan B, M. (1996). *Control of moisture problems affecting biological, ISIAQ guideline*. Ottawa: International Society of Indoor Air and Climate.
- Institute of Medicine. (2004). *Damp indoor spaces and health*. Washington, DC: National Academies Press.
- ISO-7730. (1994). *Moderate Thermal Environments - Determination of the PMV and PPD indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort*. International Organization for Standardization.
- ISO-8996. (1990). *Ergonomics – Determination of metabolic heat production*. Genève: International Organization for Standardization.
- J.F. Nicol, M. H. (2002). Adaptative thermal confort and sustainable thermal standards for building. *Energy and buildings* , vol.34 563-572.
- Leila S. R. Brickus, F. R. (1999). A qualidade do ar de interiores e a química. *Química Nova* , 22(1):65-74.
- Mayan, O. (2010). A Qualidade do Ar Interior – Enquadramento e Problemática. Dashöfer Holding Ltd. e Verlag Dashöfer, Edições Profissionais Sociedade Unipessoal, Lda.
- Mendell M.J., H. G. (2005). Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature. *Indoor Air* , 15(1):27-52.

- Mendell MJ, S. A. (1990). Consistent Pattern of Elevated Symptoms in Air-Conditioned Office Buildings :a reanalysis of epidemiologic studies. *American Journal of Public Health* , 80, 1193–1199.
- Mendell, M. e. (2008). Risk factors in heating, ventilating, and air-conditioning systems for occupant symptoms in US office buildings: the US EPA BASE. *Indoor Air* , 18:301–316.
- OMS, O. M. (s.d.). Obtido de <http://www.euro.who.int/air>
- Pinto, A. (2000). *Sistemas de climatização e ventilação mecânica. Ambiente em Edifícios Urbanos*. Lisboa: LNEC.
- Roriz, L. (2007). *Climatização - Concepção, instalação e condução de sistemas*. Amadora: Edições Orion.
- Seppänen, O. A., & Fisk, W. J. (2004). Summary of human responses to ventilation. *Indoor Air* , 14:102-118.
- Seppänen O, F. W. (1999). Association of ventilation rates and CO2 concentrations with health and other responses in commercial and institutional buildings. 9, 226–252.
- Seppänen O, F. W. (2006). Ventilation and performance in office work. *Indoor Air* , 16:28–36.
- Seppänen, O. (2008). Scientific basis for design of ventilation for health, productivity and good energy efficiency. *Presented in the Indoor Air Congress 2008*,. Copenhagen.
- Seppänen, O., & Fisk, W. (2002). Association of ventilation system type with SBS symptoms in office workers. *Indoor Air* , 12:98–112.
- Sundell J, L. H. (2007). *Ventilation rates and health: report of an interdisciplinary review of the scientific literature. Final report*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers.
- Sylvain Allaire, D. L. (2000). *Guide de prévention et d'intervention sur la qualité de l'air en milieu scolaire*. Québec: CSQ.
- Tolga N. Aynur, Y. H. (2009). Simulation comparison of VAV and VRF air conditioning systems in an existing building for the cooling season. *Energy and Buildings* , 41:1143–1150.

- Wargocki P, W. D. (2006). *The performance of school work by children is affected by classroom air quality and temperature*. Rotterdam: International Council for Research and Innovation in Building and Construction.
- Wargocki, P., Sundell, J., Bischof, W., & Brundrett, G. (2002). Ventilation and health in non-industrial indoor environments: report from a European Multidisciplinary Scientific Consensus Meeting (EUROVEN). *Indoor Air* , 12, 12:113–128.
- WHO. (2010). *WHO guidelines for indoor air quality: Selected Pollutants*. Copenhagen, Denmark: WHO Regional Office for Europe.

Anexos

9.1 - Anexo 1 – tabela comparativa de vários poluentes da QAI, com os limites admitidos em várias normas

Tipo	Poluente	RSECE (Portugal)	ASHRAE	NAAQS / EPA	OSHA (EUA)	OMS (Europa)	NIOSH (1992)
Partículas	Partículas respiráveis ($PM_{2.5}$)		0,015 mg/m^3	0,015 mg/m^3 [ano]	5 mg/m^3		
	D < 2,5 μm			0,035 mg/m^3 [24 h]			
	Partículas suspensas no ar (PM_{10})	0,15 mg/m^3 (pólen incluídos)	0,05 mg/m^3				
	D < 10 μm			0,15 mg/m^3 [24 h]			
Químicos	Dióxido de Carbono (CO_2)	1.800 mg/m^3	1.800 mg/m^3		9.000 mg/m^3		54 g/m^3 / 30.000 ppm [10 min]
		1.000 ppm	1.000 ppm		5.000 ppm		18 g/m^3 / 10.000 ppm [10 h]
	Monóxido de Carbono (CO)				55 mg/m^3	100 mg/m^3 / 90 ppm [15 min]	
					50 ppm	60 mg/m^3 / 50 ppm [30 min]	35 ppm
		12,5 mg/m^3		40 mg/m^3 / 35 ppm [1 h]		30 mg/m^3 / 25 ppm [1 h]	
		10,9 ppm	9 ppm [8 h]	10 mg/m^3 / 9 ppm [8 h]		10 mg/m^3 / 10 ppm [8 h]	
	Ozono (O_3)	0,2 mg/m^3	0,1 mg/m^3		0,2 mg/m^3	0,12 mg/m^3 [8 h]	
		0,10 ppm	0,05 ppm	0,12 ppm [1 h]	0,10 ppm	0,064 ppm	
				0,075 ppm (2008 std)			
				0,08 ppm (1997 std)			
	Formaldeído (HCHO)	0,1 mg/m^3	0,1 mg/m^3 [30 min]		0,75 ppm [8 horas]	0,1 mg/m^3 / 0,081 ppm [30min]	0,0 16 ppm
		0,08 ppm	0,08 ppm [30 min]		2 ppm [15 min]		0,1 ppm [15 min]
Orgânicos	Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COVS)	0,6 mg/m^3					
		0,29 ppm					
	Radão	400 Bq/m ³ (zonas graníticas)					
	Microorganismos - Bactérias	500 UFC/ m ³					
	Microorganismos - Fungos	500 UFC/ m ³					
	Legionella	100 UFC/L água					

9.2 - Anexo 2 – Apresentação dos dados da folha cálculo da concentração de equilíbrio de CO₂ em função do caudal de ar novo e idade dos ocupantes

	6 anos	13 anos	18 anos	equações
Wb [kg]	20	45	62,5	
Hb [m]	1,155	1,56	1,705	
A _{Du}	0,801	1,406	1,724	(eq.5)
M	1,2	1,2	1,2	
RQ	0,83	0,83	0,83	
V _{O2} [l/s]	0,002761	0,004846	0,005943	(eq.6)
V _{CO2} [l/s]	0,002292	0,004022	0,004933	(eq.7)
V _{CO2} [m ³ /h]	0,008250	0,014480	0,017758	
densidade do CO ₂	1,98	1,98	1,98	
G _{CO2}	0,016	0,029	0,035	(eq.8)

Legenda :

célula para introduzir dados	
célula com valores calculados automaticamente e comuns ao longo da simulação	

Tabela A2.1 – quadro de introdução de dados para a simulação

Q [m ³ /h]	6 anos	13 anos	18 anos
	C _{equi} [mg/m ³]	C _{equi} [mg/m ³]	C _{equi} [mg/m ³]
1	16.975	29.311	35.801
3	6.085	10.197	12.360
5	3.907	6.374	7.672
7	2.974	4.736	5.663
9	2.455	3.826	4.547
11	2.125	3.246	3.836
13	1.897	2.845	3.345
15	1.729	2.551	2.984
17	1.601	2.327	2.708
19	1.500	2.149	2.491
21	1.418	2.005	2.314
23	1.350	1.887	2.169
25	1.293	1.787	2.046
27	1.245	1.702	1.942
29	1.203	1.629	1.852
31	1.167	1.565	1.774
33	1.135	1.509	1.705
35	1.107	1.459	1.645

Tabela A2.2 – quadro com resultados da simulação

Nota : os cálculos dos caudais foram feitos com intervalo de um m³/h, por questões práticas aqui apresenta-se com intervalos de dois m³/h

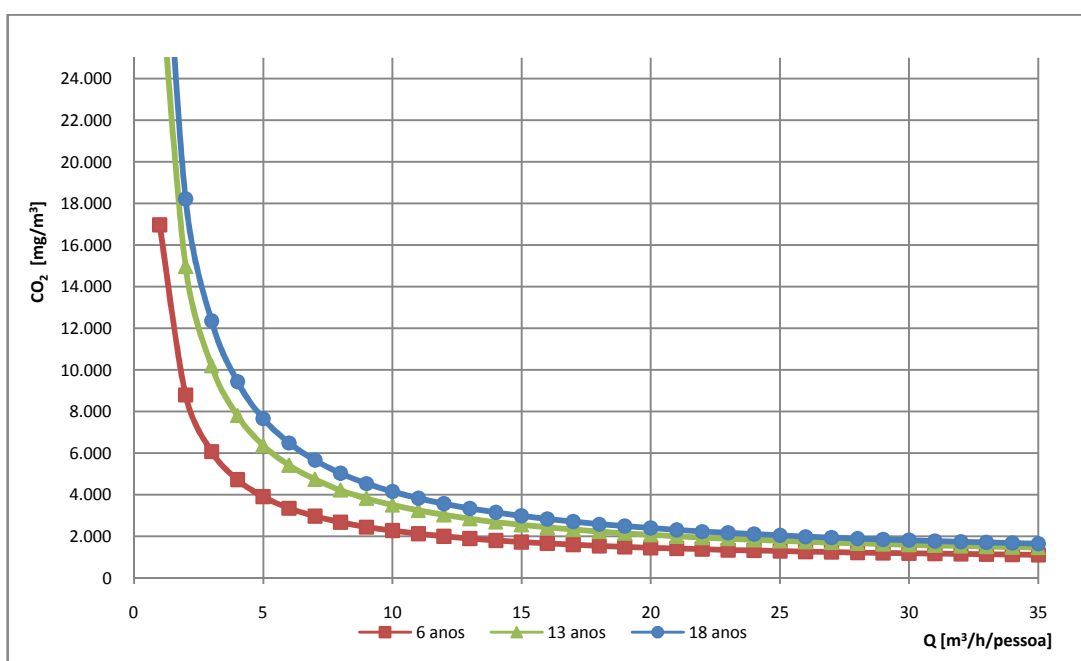


Figura A2.1 – gráfico com a concentração de equilíbrio de CO₂ em função do caudal de ar novo e idades dos ocupantes

9.3 - Anexo 3 – Apresentação dos dados da folha de cálculo da simulação da evolução temporal da concentração de CO₂

Wb [kg]	62,5	18 anos
Hb [m]	1,705	18 anos
A _{du}	1,72	[m ²]
M	1,2	[met]
V _{O2}	0,01	[l/s]
RQ	0,83	(actividade moderada)
V _{CO2}	0,00493	[l/s]
V _{CO2}	0,01776	[m3/h]
D _{CO2}	1,98	(densidade CO2 a 298°K)
G _{CO2}	0,03516	[kg/h] p/pessoa
G _{CO2}	35.161	[mg/h] p/pessoa
Cext	600	[mg/m3]
C ₀	600	[mg/m3]
área	72,8	[m2]
pé direito	2,64	[m]
Vol.sala (6)	192,2	[m3]
nº renovações λ 1ª parte	4,68	1/h
Q 1ª parte aula	900,0	[m3/h]
nº ocupantes	30	
caudal RSECE	30	[m3/h]
caudal total	900	[m3/h]
Δt	0,01667	[h]

Legenda :

célula para introduzir dados

célula com valores calculados automaticamente e comuns ao longo da simulação

Tabela A3.1 – quadro de introdução de dados para a simulação

	tempo [h]	nº ocupantes	intervalos	nº renovações λ	ΔC	CO ₂ calculado
8:30	0	0				600
8:45	0,25000	30		4,7	29,32	1.426
9:00	0,50000	30		4,7	8,67	1.670
9:15	0,75000	30		4,7	2,56	1.742
9:30	1,00000	30		4,7	0,76	1.763
9:45	1,25000	30		4,7	0,22	1.769
10:00	1,50000	30		4,7	0,07	1.771
10:15	1,75000	0	x	4,7	-91,45	1.680
10:30	2,00000	0	x	4,7	-27,03	919
10:45	2,25000	30		4,7	21,34	1.520
11:00	2,50000	30		4,7	6,31	1.698
11:15	2,75000	30		4,7	1,86	1.750
11:30	3,00000	30		4,7	0,55	1.766
11:45	3,25000	30		4,7	0,16	1.770
12:00	3,50000	30		4,7	0,05	1.771
12:15	3,75000	30		4,7	0,01	1.772
12:30	4,00000	30		4,7	0,00	1.772
12:45	4,25000	0	x	4,7	-91,47	1.681
13:00	4,50000	0	x	4,7	-27,03	919
13:15	4,75000	0	x	4,7	-7,99	694
13:30	5,00000	0	x	4,7	-2,36	628
13:45	5,25000	0	x	4,7	-0,70	608
14:00	5,50000	0	x	4,7	-0,21	602
14:15	5,75000	30		4,7	29,26	1.426
14:30	6,00000	30		4,7	8,65	1.670
14:45	6,25000	30		4,7	2,56	1.742
15:00	6,50000	30		4,7	0,76	1.763
15:15	6,75000	30		4,7	0,22	1.769
15:30	7,00000	30		4,7	0,07	1.771
15:45	7,25000	30		4,7	0,02	1.772
16:00	7,50000	0	x	4,7	-91,47	1.680
16:15	7,75000	0	x	4,7	-27,03	919
16:30	8,00000	30		4,7	21,33	1.520
16:45	8,25000	30		4,7	6,31	1.698
17:00	8,50000	30		4,7	1,86	1.750
17:15	8,75000	30		4,7	0,55	1.766
17:30	9,00000	30		4,7	0,16	1.770
17:45	9,25000	30		4,7	0,05	1.771
18:00	9,50000	30		4,7	0,01	1.772
18:15	9,75000	0	x	4,7	-91,47	1.681
18:30	10,00000	0	x	4,7	-27,03	919
18:45	10,25000	0	x	4,7	-7,99	694
19:00	10,50000	0	x	4,7	-2,36	628

Tabela A3.2 – quadro com resultados da simulação

Nota : os cálculos da simulação foram feitos com intervalo de um minuto, por questões práticas aqui apresenta-se com intervalos de quinze minutos

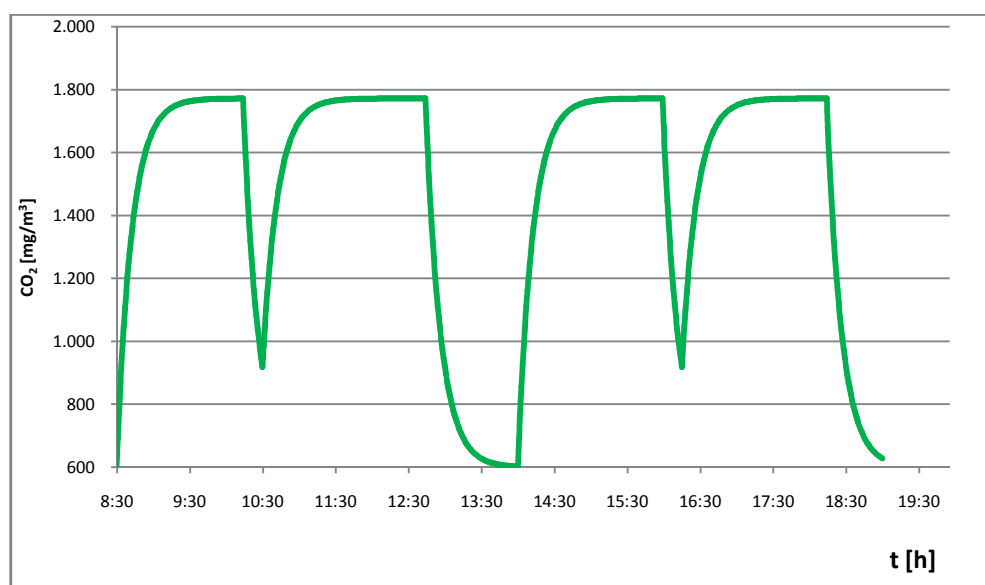


Figura A3.1 – gráfico com a evolução da concentração de CO₂ ao longo da simulação