



Escola Superior de Tecnologia e Gestão
Instituto Politécnico da Guarda

RELATÓRIO DE ESTÁGIO

Licenciatura em Engenharia do Ambiente

Paula Filipa Lucas
Julho | 2011



ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA E GESTÃO
INSTITUTO POLITÉCNICO DA GUARDA

VENTILAÇÃO NATURAL EM EDIFÍCIOS

PROJECTO FINAL DO CURSO DE
ENGENHARIA DO AMBIENTE

Discente Nº 1008893	Paula Filipa Lucas		
Data	Julho de 2011	Refª	



ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA E GESTÃO

INSTITUTO POLITÉCNICO DA GUARDA

Ano Lectivo 2010 / 2011

Ventilação Natural em Edifícios

Trabalho realizado no âmbito da
disciplina de Projecto Ambiental do
curso de Engenharia do Ambiente, 3º
Ano, 2º semestre.

Docente Orientador:
Prof. Rui Pitarna

Guarda
Julho de 2011

Identificação:

Nome: Paula Filipa Lucas

Número de aluno: 1008893

Nacionalidade: Portuguesa

Morada: Quinta da Dança

Caixa Postal 303

6000-133 Castelo Branco

Telefone: 272 344 585

E-mail: paula-f-lucas@hotmail.com

Obtenção do Grau de Licenciatura: Engenharia do Ambiente

Estabelecimento de ensino: Instituto Politécnico da Guarda – Escola Superior de Tecnologias e Gestão

Morada do estabelecimento de ensino: Av. Dr. Francisco Sá Carneiro, 50

6300-559 Guarda

Tel. +351 271220100

Fax. +351 271222690

E-mail: ipg@ipg.pt

Professor Orientador: Professor Doutor Rui António Pitarma Sabino Cunha Ferreira

Projecto curricular integrado no Curso de Licenciatura de Engenharia do Ambiente

Resumo

O presente trabalho insere-se no âmbito da unidade curricular de projecto ambiental, do 3º ano do curso de licenciatura em Engenharia do Ambiente.

O trabalho encontra-se dividido em cinco capítulos e, em cada um deles serão desenvolvidos os diferentes temas.

Assim, depois da introdução e do enquadramento do trabalho que é feita no Capítulo I, desenvolvem-se a ventilação de edifícios no Capítulo II e o uso da técnica dos gases traçadores no Capítulo III, apresentando-se no Capítulo IV o estudo de um caso prático aplicado a diferentes situações de utilização de uma das salas de aula da ESTG da Guarda. No Capítulo V apresentam-se as conclusões do trabalho realizado. Em Anexos, apresenta-se as características do local estudado e a respectiva planta.

Palavras-chave: arrefecimento local do corpo, conforto térmico, síndrome do edifício doente, ventilação de edifícios.

Abstract

This work takes place within the course of environmental project, the 3rd year of degree course in Environmental Engineering.

The work is divided into five chapters, each of different themes will be developed. So, after an introduction on Chapter I, the building ventilation is presented in Chapter II, the tracer gas technique in Chapter III and in Chapter IV a practical case study applied to different situations of use in one of the classrooms of ESTG Guarda.

Keywords: local cooling of the body, the building's syndrome patient, thermal comfort, ventilation of buildings.

Agradecimentos

Este trabalho representa muitas horas de estudo, reflexão e dedicação, ao longo do seu desenvolvimento. É o final de mais uma etapa da minha vida, final da vida académica que levo para sempre gravada na memória e que com certeza abrirá caminhos para o meu futuro.

Todo este percurso não seria possível sem a ajuda de várias pessoas, dessa forma quero agradecer em primeiro lugar aos meus pais, que me proporcionaram a oportunidade de me licenciar numa área que me agrada consideravelmente e que acreditaram e investiram nas minhas capacidades, nunca desistiram nem me deixaram desistir nos momentos mais difíceis estando sempre ao meu lado quando mais precisei, com todo o seu apoio. Quero também agradecer aos meus irmãos pela ajuda, apoio e força que me deram ao longo desta etapa da minha vida.

Em segundo lugar agradeço ao meu orientador, Professor Doutor Rui Pitarma e ao Eng. José Alberto, pela disponibilidade, compreensão, paciência, simpatia, e apoio que me prestaram, para superar os diferentes obstáculos ao longo do trabalho.

A todos os familiares, amigos (pelos momentos inesquecíveis desta vida académica) e professores que directa ou indirectamente contribuíram para a realização deste trabalho e para a minha formação e a todos aqueles que partilharam comigo os seus conhecimentos e me apoiaram.

A todos, o meu Muito Obrigada!!!

Índice Geral

Identificação:	3
Resumo	4
Abstract.....	5
Agradecimentos	6
Índice de Figuras	8
Índice de Tabelas	9
Índice de Gráficos.....	10
Acrónimos	11
Capítulo I.....	12
1 Introdução.....	13
1.1 Problema em estudo e sua relevância.....	14
1.2 Objectivo	18
1.3 Organização do trabalho.....	18
Capítulo II.....	19
2 Ventilação de Edifícios.....	20
2.1 Tipos de Ventilação Interior.....	20
2.2 Necessidade da ventilação	23
2.3 Eficiência da ventilação.....	28
Capítulo III	35
3 Técnica dos Gases Traçadores.....	36
3.1 Métodos	37
Capítulo IV	40
4 Aplicação Prática.....	41
4.1 Caracterização do local.....	41
4.1.1 Estudo da taxa de ventilação e arrefecimento local do corpo.....	41
4.1.2 Procedimentos	42
4.1.3 Ensaios experimentais	43
4.1.4 Comparação de Resultados.....	46
4.1.5 Percentagem de pessoas insatisfeitas.....	48
4.2 Conforto térmico	52
Capítulo V	57
5 Conclusões.....	58
Referencias Bibliográficas.....	59
Anexos.....	62

Índice de Figuras

Figura 1- Conduta de circulação de ar [1].	15
Figura 2- Esquema de ventilação feita através de uma só abertura para o exterior. [4].	21
Figura 3- Esquema de ventilação feita por duas aberturas opostas. [4]	22
Figura 4- Esquema de ventilação feita através de uma abertura lateral e uma abertura no topo do edifício. [4]	22
Figura 5- Alguns dos factores que afectam a qualidade do ar interior dos edifícios. [7]	24
Figura 6- Factores que afectam a qualidade do ar no interior dos edifícios. [7]	25
Figura 7- ventilação em “curto-circuito”. [11]	28
Figura 8- Ventilação localizada. [12]	30
Figura 9- Escoamento laminar. [11]	31
Figura 10- Escoamento de mistura. [11]	32
Figura 11- Escoamento de mistura em curto-circuito. [11]	33
Figura 12- Escoamento por deslocamento. [11]	33
Figura 13- Método da concentração decrescente. [11]	37
Figura 14- método da emissão constante. [11]	38
Figura 15- Método da concentração constante. [11]	39
Figura 16- Aparelho de medição de conforto	54
Figura 17- Janela com vedante em todo o seu perímetro	63
Figura 18- Porta sem vedante em todo o seu perímetro e sem grelha.	63
Figura 19- Disposição da sala (1)	64
Figura 20- Disposição da sala (2)	64
Figura 21- Disposição da sala (3)	64
Figura 22- Aparelho de medição Indoor Climate Analyzer – Type 1213 da Bruel & Kjaer (1)	65
Figura 23- Aparelho de medição Indoor Climate Analyzer – Type 1213 da Bruel & Kjaer (2)	65

Índice de Tabelas

Tabela 1- Caudais mínimos de ar novo (anexo IV Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril)	26
Tabela 2- Níveis de percepção da qualidade do ar (EUR 14449 EN)	27
Tabela 3- Nível de poluição (olf) em função da actividade. [11].....	27
Tabela 4- Eficiência da ventilação na zona útil para diversos tipos de ventilação (EUR 14449 EN, 1992)	29
Tabela 5- Índices para uma boa qualidade do ar interior (Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril).....	43
Tabela 6- Índices de sensação térmica e de conforto	53
Tabela 7- Resultados obtidos de PMV e PPD	55

Índice de Gráficos

Gráfico 1- Evolução da Concentração do Gás Traçador ao longo do 1º ensaio.....	44
Gráfico 2- Evolução da Concentração do Gás Traçador ao longo do 2º ensaio.....	44
Gráfico 3- Evolução da Concentração do Gás Traçador ao longo do 3º ensaio.....	45
Gráfico 4- 1º Ensaio- Porta e janelas fechadas	46
Gráfico 5- 2º Ensaio- Porta fechada e uma janela aberta	46
Gráfico 6- 3º Ensaio- Porta e janela aberta.....	46
Gráfico 7- Comparação dos resultados obtidos.....	50
Gráfico 8- Resultados obtidos de conforto térmico.....	56

Acrónimos

ASTM	American Society of Testing Materials International
AVAC-R	Aquecimento, Ventilação, Ar Condicionado e Refrigeração
CO ₂	Dióxido de Carbono
COV'S	Compostos Orgânicos Voláteis
ESTG	Escola Superior de Tecnologias e Gestão
ITE	Instruções Técnicas Complementares
NO ₂	Dióxido de Azoto
OMS	Organização Mundial de Saúde
PMV	Predicted Mean Vote
PPD	Percentage of People Dissatisfied
RITE	Regulamento de Instalações Térmicas nos Edifícios
SCE	Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios
SED	Síndrome do Edifício Doente
SF ₆	Hexafluoreto de Enxofre

Capítulo I

1 Introdução

A importância de estudar este tema consiste no facto de cada vez mais se permanecer em espaços interiores, que actualmente se estima que seja superior a 80%.

Na actualidade não só a poluição exterior é relevante mas também a poluição no interior, apesar de ainda passar um pouco despercebida, esta consegue atingir elevados valores de poluição e que são muitas vezes bastante superiores aos valores obtidos no exterior.

Como prova deste facto surgem manifestações de má disposição dos ocupantes, algum tempo depois de permanecerem no interior de locais fechados. Esta má disposição pode evidenciar-se através de problemas frequentes do sistema respiratório, alergias, irritações de pele, cansaço, entre outras.

Estes sintomas muitas das vezes não têm justificação aparente, não se encontram razões plausíveis para ocorrerem e por norma não se coloca a hipótese de terem origem nos poluentes do ar interior, que advêm de detergentes utilizados na limpeza dos espaços interiores bem como de objectos de decoração e materiais utilizados na construção. Com frequência todos estes sintomas desaparecem após um período de férias.

Desta forma, neste projecto faz-se uma análise da necessidade da ventilação em espaços interiores, em virtude das emissões naturais e de origem humana que os poluem apresentando-se os principais sistemas de ventilação natural, havendo também sistemas de ventilação mecanizada mas incidindo mais na ventilação natural, que tem como objectivo combater os problemas de contaminação do ar interior.

1.1 Problema em estudo e sua relevância

O aumento dos preços de petróleo levou os países industrializados a estabelecerem normas de contenção de consumo, relacionadas com o aquecimento dos imóveis. A estratégia a seguida foi, por um lado, aumentar o poder isolante das paredes exteriores, alpendres e janelas, reduzindo as perdas relativas à condução e, por outro lado, melhorar o sistema de fecho das portas e janelas para limitar as perdas de calor ou frio por convecção ou dispersão, reduzindo ao mesmo tempo as trocas de ar entre o interior e exterior, criando desta forma situações de confinamento do ar que geram condições de degradação intoleráveis da qualidade do ar.

Nos dias de hoje, existe claramente a noção de que a poluição no exterior é prejudicial á saúde, devido às emissões poluentes de fontes antropogénicas (indústrias, tráfego de veículos, etc) e de fontes naturais (vulcões, incêndios, etc).

Por outro lado a poluição de ambientes interiores ainda passa despercebida à maioria da população, podendo esta ser mais prejudicial que a poluição do exterior, devido à sua elevada concentração.

Desta forma, a poluição de ambientes interiores é de elevada importância devido ao facto de o tempo de permanência das pessoas no interior dos edifícios ser cada vez maior, pelo que é não só importante estudar e analisar o comportamento acústico e térmico dos edifícios mas também os fenómenos associados à ventilação dos edifícios, sejam estes industriais, de serviços ou residenciais.

A poluição no interior dos edifícios está associada aos diferentes produtos usados na limpeza e manutenção dos edifícios e aos materiais de construção e de decoração, razão pela qual a poluição interior pode atingir níveis superiores à que se desenvolve no exterior, podendo apresentar valores dez vezes superiores aos verificados no exterior.

Grande parte das fontes emissoras de contaminantes do ar interior emitem uma vasta variedade de espécies químicas, umas de medição mais simples (NO_2 , CO_2 , COV's totais, etc) e outras que devido à sua baixa concentração, apesar de serem igualmente prejudiciais, necessitam de sistemas de medição mais complexos.

Desta forma as principais necessidades, para que sejam aplicados sistemas de ventilação nos edifícios, são o controlo da distribuição dos contaminantes gasosos no ar por diluição destes com o ar exterior insuflado que contém baixos níveis de contaminantes e o controlo das condições ambientais, como a temperatura, a humidade, a velocidade de circulação do ar e a diluição de cheiros indesejáveis.

Estas necessidades influenciam directamente o homem, pelo que as condições de conforto térmico e de qualidade do ar no interior do edifício são parâmetros fundamentais para uma boa saúde, bem-estar e a produtividade. A comprovar esta realidade estão os frequentes problemas respiratórios, alergias, irritações de pele, dores de cabeça e cansaços frequentes assim como frequentes problemas com humidade, condensação, etc.

Estes sintomas surgem devido ao fenómeno de denominação inglesa “**sick building syndrome**” que traduzido literalmente significa “**síndrome do edifício doente**”.



Figura 1- Conduta de circulação de ar [1].

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS) podem ser caracterizados dois tipos de Edifícios Doentes:

- edifícios temporariamente doentes, onde se incluem os edifícios novos ou que sofreram alguma reforma recente e nos quais os sintomas diminuem e desaparecem com o tempo.
- edifícios permanentemente doentes, onde há persistência dos sintomas mesmo após serem tomadas medidas para solucionar os problemas.

A Organização Mundial de Saúde (OMS) em 1982, atribuiu a definição de Síndrome do Edifício Doente (SED) como um síndrome que afectava os ocupantes de um edifício, causando-lhe problemas de saúde, como já foi referido anteriormente. [1]

1.1.1 Principais causas do síndrome do edifício doente

Apesar de sucessivas pesquisas para encontrar a causas do “Síndrome do Edifício Doente” ainda não se conseguiu definir agentes específicos, podendo serem citadas como causas mais prováveis e indicativas na participação do problema:

- Ventilação Inadequada (52%)
- Contaminantes químicos interiores (20%)
- Contaminantes químicos exteriores (10%)
- Contaminantes biológicos (5%)
- Agentes desconhecidos (13%)

➤ Ventilação Inadequada:

O aumento dos custos de energia, decorrente da crise energética de 1973, provocou a adopção de algumas estratégias para melhor conservar a energia. Entre elas, nos sistemas AVAC-R (Aquecimento, Ventilação, Ar Condicionado e Refrigeração) adoptou-se uma diminuição da quantidade de renovação de ar, de forma a diminuir os seus custos (refrigeração, humidificação, filtragem etc). Hoje, estas medidas são consideradas inadequadas para garantir a saúde e o conforto dos ocupantes do edifício, dando origem a uma deficiente diluição e remoção dos contaminantes existentes. Além disso, quando os sistemas não trabalham de forma adequada, a distribuição do ar é irregular aumenta a quantidade de ar estagnado, favorecendo o aparecimento de sintomalogias.

➤ Contaminantes químicos provenientes de fontes interiores:

A maioria desses poluentes encontram-se em fontes no interior do próprio edifício, tais como colas, pinturas frescas, produtos de madeira prensada, carpetes, mobiliário almofadado, fotocopiadoras, agentes de limpeza. Todos estes materiais são potentes

emissores de compostos orgânicos voláteis, inclusive o formaldeído, os próprios ocupantes são fontes de poluição já que produzimos naturalmente dióxido de carbono, partículas de aerossóis biológicos e também o fumo de tabaco que contem mais de 4000 compostos poluentes.

➤ Contaminantes químicos provenientes de fontes exteriores:

Os poluentes exteriores mais conhecidos são aqueles que resultam principalmente dos gases emitidos pelos automóveis e fábricas. Está comprovado que o aumento da concentração de contaminantes do ar exterior aumentar a concentração no interior. O inverso também ocorre porém de forma mais demorada.

➤ Contaminantes biológicos:

São bactérias, fungos, leveduras, grão de pólen, ácaros. Alguns destes contaminantes desenvolvem-se consideravelmente em águas estagnadas, humidificadores, etc. Um exemplo preocupante de contaminantes biológicos é a bactéria *Legionella pneumophila*. Os contaminantes biológicos são responsáveis por muitas doenças infecciosas e alergias existentes. Na maioria das vezes estes factores de transmissão estão relacionados com um sistema de ar condicionado que funciona de forma incorrecta e de manutenção deficiente, que são factores propícios para a proliferação dos poluentes biológicos. Além disso, a emissão de gases poluentes por parte dos mobiliários novos, os serviços de limpeza insuficientes ou mal feitos podem também intensificar a produção de partículas sólidas suspensas, dando origem a um ambiente propício à proliferação microbológica.

➤ Agentes desconhecidos

Diversas sintomalogias foram encontradas sem que ainda pudessem ser indicados os agentes responsáveis. [2]

1.2 Objectivo

O presente projecto tem como objectivos:

- caracterizar a típica ventilação presente nas salas de aula da ESTG;
- medir a taxa de ventilação em diferentes condições de utilização das salas;
- medir e quantificar a eficiência da ventilação e também o conforto térmico;
- comparar os resultados obtidos com os estipulados pela legislação;
- propor medidas para melhorar a ventilação no espaço estudado.

1.3 Organização do trabalho

Tal como foi já referido, o presente trabalho encontra-se dividido em capítulos.

Após a introdução aborda-se no segundo capítulo o tema relativo à ventilação em edifícios, referindo os tipos de ventilação, a necessidade de ventilação e a sua eficiência.

No terceiro capítulo abordam-se a técnica dos gases traçadores e os diferentes métodos utilizados neste tipo de estudos.

No quarto capítulo é feita a aplicação prática no local escolhido e a caracterização desse mesmo espaço.

Por último, no quinto capítulo são tratados os dados obtidos da aplicação prática e da análise do estudo apresentando-se as respectivas conclusões.

Capítulo II

2 Ventilação de Edifícios

Neste capítulo são abordados os tipos de ventilação em edifícios bem como a sua necessidade, eficiência e tipos de escoamento.

2.1 Tipos de Ventilação Interior

Os mecanismos básicos relativos aos sistemas de ventilação de edifícios são a ventilação natural e a ventilação mecânica. No entanto, um terceiro sistema é cada vez mais utilizado, a ventilação híbrida. Este último sistema de ventilação tenta combinar o que existe de melhor nos dois primeiros sistemas.

A ventilação natural por si só origina diferenças de pressão para que a circulação do ar se processe de acordo com o pretendido. Essas forças são a acção das variações da temperatura entre o exterior e o interior do edifício, bem como a acção do vento neste.

Na ventilação mecânica, tais variações de pressão são originadas, predominantemente, por aparelhos mecânicos designados por ventiladores.

Neste projecto vamos abordar a ventilação natural não dando grande ênfase à ventilação mecânica.

2.1.1 Ventilação natural

Normalmente permanecemos mais de 80% do nosso tempo no interior de edifícios e usamos cerca de 1/3 da energia mundial para tornar isso possível. A Ventilação Natural permite criar um ambiente saudável no interior dos edifícios, de forma energeticamente eficaz. [3]

O princípio da ventilação natural baseia-se na necessidade de assegurar um ambiente interior mais saudável e confortável, e isso é conseguido com o mínimo de consumo de energia e com custos muito baixos.

A ventilação natural é tão antiga como a arte de construir edifícios. Deste modo, existe uma grande experiência acumulada relativa a inúmeros sistemas que ao longo dos séculos foram aplicados e que, ainda nos nossos dias, são fonte de inspiração.

A ventilação natural é aquela que ocorre apenas devido a fenómenos naturais, sem recurso a meios mecânicos auxiliares, verificando-se sempre que existem diferenças de pressão de ar entre o ambiente exterior e interior, diferenças essas provocadas pela acção do vento e/ou pela diferença de temperatura entre o ambiente exterior e o ambiente interior.

Princípios fundamentais

A ventilação natural num edifício pode funcionar com base em diferentes princípios. Os princípios de ventilação mencionados de seguida ilustram como actua a ventilação natural.

Ventilação de um só lado

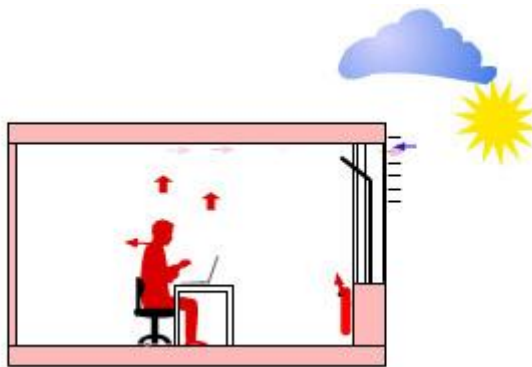


Figura 2- Esquema de ventilação feita através de uma só abertura para o exterior. [4]

A figura ilustra a situação típica de um escritório com ventilação de apenas um dos lados, por exemplo uma sala que só tenha janelas numa das paredes.

Se a temperatura exterior for muito baixa, as janelas não podem ser deixadas abertas por longos períodos de tempo. Assim as janelas são completamente abertas por curtos períodos de tempo, assegurando a renovação do ar num curto espaço de tempo. [4]

Ventilação cruzada (varrimento)

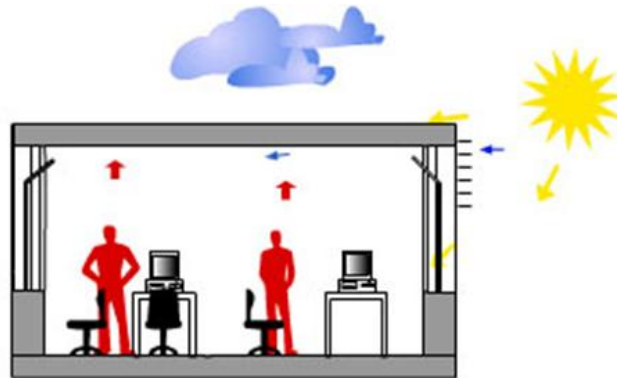


Figura 3- Esquema de ventilação feita por duas aberturas opostas. [4]

A ventilação cruzada é obtida com janelas em dois dos lados do espaço a ventilar, causando um fluxo de ar através desse espaço. Uma pressão positiva do lado do vento e/ou uma depressão do lado oposto do edifício provoca um movimento de ar através do espaço, no sentido de onde sopra o vento para o lado oposto, desde que as janelas de ambos os lados estejam abertas.

As janelas do lado do vento devem abrir menos do que as janelas do lado oposto, de forma a obter um fluxo de ar otimizado com a menor corrente de ar possível. [4]

Ventilação por convecção



Figura 4- Esquema de ventilação feita através de uma abertura lateral e uma abertura no topo do edifício. [4]

O ar quente sobe porque é mais leve do que o ar frio. Quando o ar quente sobe até à cobertura do edifício, um pequeno vácuo é criado ao nível mais baixo, sugando o ar fresco através das janelas abertas ao nível do chão sendo criado um fluxo de ar natural. Devido à sua natureza física, para que este princípio de ventilação funcione, é necessário haver uma certa diferença de altura entre as janelas de saída e as de entrada de ar.

As janelas da cobertura são utilizadas para deixar sair o ar poluído, as janelas dos níveis inferiores permitem a insuflação de ar ambiente fresco para o interior do edifício.

Neste sistema, o efeito de convecção é combinado com o movimento do vento no exterior do edifício. O efeito de convecção é o mesmo, mas as janelas por onde é deixado entrar e sair o ar são definidas pela direcção do vento. As janelas de entrada de ar fresco do lado onde sopra o vento devem abrir menos do que as janelas do lado contrário, enquanto que na cobertura, só abrem as janelas que estiverem do lado contrário ao do vento. [4]

2.2 Necessidade da ventilação

A necessidade de ventilar os espaços está directamente associada ao conforto termohigrométrico dos seus ocupantes e à qualidade do ar interior. Além da redução e controlo da intensidade das fontes poluentes, a qualidade do ar interior terá de ser promovida através da diluição dos contaminantes com ar exterior até um nível de concentração aceitável tendo em conta as características do espaço em causa, sendo esta feita com ventilação forçada, natural ou mista.

Através do metabolismo dos ocupantes, das actividades desenvolvidas e dos equipamentos instalados, a qualidade do ar interior degrada-se. Esta pode ser manifestada por cheiros, irritações, alergias, saturação, humidades e condensações etc.

Esta necessidade de ventilar, para além do desconforto descrito, está na origem de diversas patologias na envolvente interior dos edifícios, provocadas pelo ar “saturado” interior, como bolores e fungos e a própria degradação dos materiais. [5]

As preocupações associadas à necessidade de ventilação na saúde pública têm geralmente em conta a poluição atmosférica, no exterior dos edifícios. No entanto, as pessoas passam a maior parte dos seus dias, cerca de 80% a 90% do seu tempo, em ambientes interiores, no trabalho, em suas casas ou até mesmo quando vão às compras em estabelecimentos comerciais.

Nesses espaços interiores, o desenvolvimento de microorganismos, o uso de produtos de limpeza, a existência de materiais e equipamentos poluentes, a própria ocupação humana e a deficiente ventilação e renovação do ar, são alguns dos contributos para que tanto o número de poluentes como a sua concentração sejam, em geral, muito mais elevados do que no ar exterior. [6]

Estas situações dão origem à deterioração da qualidade do ar provocando mau estar temporário e a ocorrência de problemas respiratórios, alergias, cansaço entre outros e até mesmo doenças tais como infecções pulmonares, a “Doença do Legionário” uma das mais faladas e directamente relacionada com o “Síndrome do Edifício Doente”, entre outras.

Todos estes sintomas são provocados por falhas na manutenção de sistemas de ar condicionado e na limpeza de carpetes, tapetes e cortinas que podem favorecer a proliferação de um exército invisível de agentes alergénios e patogénicos, como fungos, algas, protozoários, bactérias e ácaros nos ambientes fechados.

A este fenómeno dá-se o nome de “Síndrome do Edifício Doente” (SED).

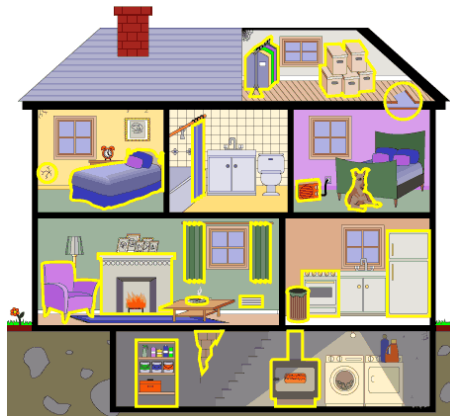


Figura 5- Alguns dos factores que afectam a qualidade do ar interior dos edifícios. [7]

Por estas razões, tem-se verificado uma atenção crescente para os problemas da qualidade do ar interior. Mas, afinal, em que consiste a qualidade do ar interior? Não se trata somente da existência (e concentração) de poluentes (dióxido de carbono, monóxido de carbono, partículas, compostos orgânicos voláteis, radão, entre muito outros), mas também do nível de conforto (humidade relativa e temperatura) e da percepção que cada um faz da qualidade do ar que se respira. Os níveis de humidade relativa, temperatura e mesmo a presença de certos compostos orgânicos voláteis (perfumes) podem ser considerados “confortáveis” para alguns ocupantes, e “desconfortáveis” para outros.

Na realidade, é mais eficaz (e menos oneroso) prevenir os problemas de qualidade do ar interior (utilização de produtos, materiais e equipamentos pouco poluentes; localização correcta das entradas de ar nos edifícios, longe de focos de poluição exterior; proibição de fumar nos espaços interiores; correcto dimensionamento dos sistemas de climatização; entre outros) do que resolvê-los, muitas situações requerem simples soluções, como por exemplo: alterações nos hábitos dos ocupantes, substituição de alguns materiais utilizados na decoração ou de produtos utilizados na limpeza, ou um ajustamento das taxas de ventilação dos espaços interiores. [8]

OS FACTORES QUE AFECTAM A QUALIDADE DO AR NO INTERIOR DOS EDIFÍCIOS

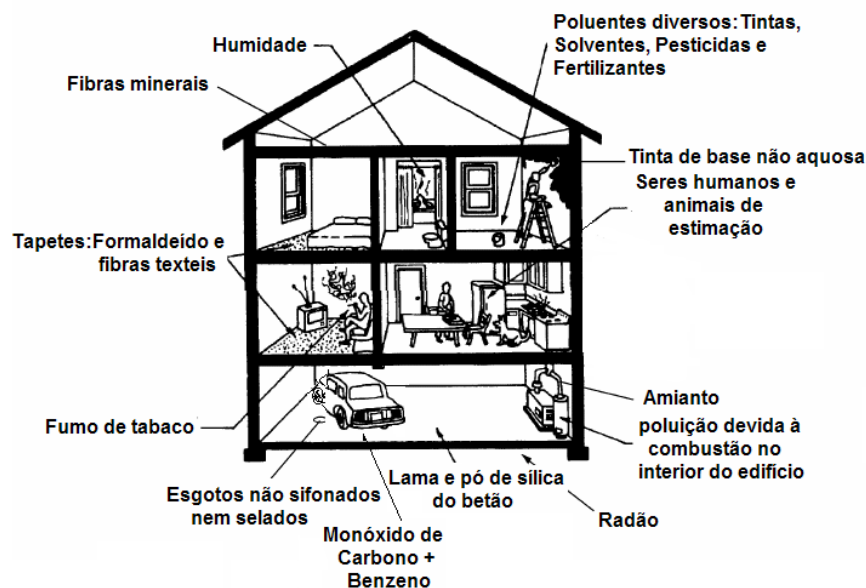


Figura 6- Factores que afectam a qualidade do ar no interior dos edifícios. [7]

Muito recentemente foi instituído o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios – SCE, composto por um extenso pacote legislativo (Decretos-Lei 78, 79 e 80 de 4 de Abril de 2006), que prevê a obrigatoriedade de auditorias à Qualidade do Ar Interior. [9]

O Decreto-Lei nº 79/2006 apresenta o seguinte anexo com os caudais mínimos de ar novo a insuflar nas várias situações:

Caudais mínimos de ar novo

Tipo de actividade		Caudais mínimos de ar novo	
		[m ³ /(h.ocupante)]	[m ³ /(h.m ²)]
Residencial	Salas de estar e quartos	30	
Comercial	Salas de espera	30	
	Lojas de comércio		5
	Áreas de armazenamento		5
	Vestibúlios		10
	Supermercados	30	5
Serviços de refeições	Salas de refeições	35	
	Cafetarias	35	35
	Bares, salas de <i>cocktail</i>	35	35
	Sala de preparação de refeições	30	
Empreendimentos turísticos	Quartos/suites	30	
	Corredores/átrios		5
Entretenimento	Corredores/átrios		5
	Auditório	30	
	Zona do palco, estúdios	30	
	Café/foyer	35	35
	Piscinas		10
	Ginásio	35	
Serviços	Gabinetes	35	5
	Salas de conferências	35	20
	Salas de assembleia	30	20
	Salas de desenho	30	
	Consultórios médicos	35	
	Salas de recepção	30	15
	Salas de computador	30	
	Elevadores		15
Escolas	Salas de aula	30	
	Laboratórios	35	
	Auditórios	30	
	Bibliotecas	30	
	Bares	35	
Hospitais	Quartos	45	
	Áreas de recuperação	30	
	Áreas de terapia	30	

Tabela 1- Caudais mínimos de ar novo (anexo IV Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril).

Em 1988 o Prof. Fanger, desenvolveu um método para avaliar a intensidade e a concentração dos contaminantes no ar, baseando-se na capacidade que o homem possui em detectar a qualidade do ar através do olfacto. Com este novo método desenvolveu duas novas unidades o “olf” para quantificar o valor da concentração emitida pela fonte poluente e o “decipol” para quantificar o grau de percepção da qualidade do ar detectada pelo homem.

1 “olf” é a quantidade de poluição emitida por uma pessoa padrão em actividade sedentária, com um nível equivalente de higiene de 0,7 banhos por dia e cuja pele tem uma área total de 1,8 metros quadrados e se sente termicamente neutra.

1 “decipol” é a percepção da qualidade do ar num espaço com uma carga sensorial de 1 “olf” quando é ventilado por um caudal de 10 l/s de ar limpo. [10]

Nível de Qualidade (categoria)	Percepção da qualidade do ar		Necessidade de ventilação* l/s olf
	% de insatisfação	decipol	
A	10	0.6	16
B	20	1.4	7
C	30	2.5	4

Tabela 2- Níveis de percepção da qualidade do ar (EUR 14449 EN)

* Estas necessidades de ventilação constituem exemplos exclusivamente para percepção da qualidade do ar. Os seus valores aplicam-se apenas a ar de insuflação limpo e uma eficiência de ventilação de 1.

Nível de actividade	olf
Pessoa sentada (1 met)	1
Pessoa em actividade (4 met)	5
Pessoa em grande actividade (6 met)	11
Fumador (a fumar)	25
Fumador (média)	6

Tabela 3- Nível de poluição (olf) em função da actividade. [11]

2.3 Eficiência da ventilação

A eficiência de um sistema de ventilação instalado num compartimento está associada à capacidade que este tem em remover os contaminantes da zona ocupada e proporcionar ar novo aos ocupantes da forma mais económica possível. Esta eficiência depende fundamentalmente do tipo de ventilação existente no local.

A qualidade do ar não é igual em todo o espaço a ventilar, ou seja o ar insuflado não se mistura de forma homogénea. Muitas vezes o ar insuflado é directamente extraído para o exterior sem que tenha ocorrido qualquer diluição, a este fenómeno dá-se o nome de “curto-circuito”.



Figura 7- ventilação em “curto-circuito”. [11]

Quando a ventilação não é suficiente, o caudal a insuflar terá de ser aumentado e assim os gastos energéticos também aumentam, mas este aumento de caudal a insuflar por vezes torna-se desconfortável para os ocupantes do espaço em causa devido às correntes de ar provocadas pelo aumento do caudal insuflado.

Torna-se assim essencial definir a eficiência da ventilação do sistema em causa em determinado espaço.

A eficiência da ventilação relaciona a concentração dos poluentes existentes no ar de extracção (C_e) e a concentração média de poluentes no ar na zona ocupada pelas pessoas (C_i).

$$\epsilon_v = \frac{C_e}{C_i}$$

Este parâmetro permite avaliar o grau de mistura do ar insuflado com o ar do local ocupado, apresentando sempre um valor positivo, depende de vários factores como a localização das grelhas de insuflação e extracção, das fontes de poluentes, da distribuição das cargas térmicas e do modo de circulação.

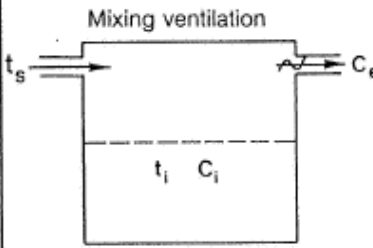
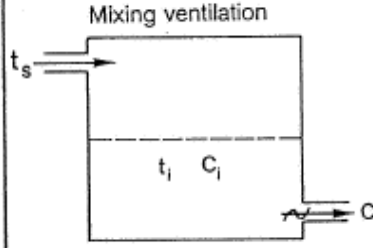
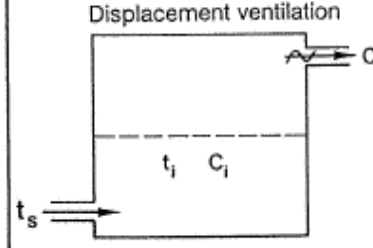
Ventilation Principle	Temperature difference between supply air and air in breathing zone, $t_s - t_i$ °C	Ventilation Effectiveness
 <p>Mixing ventilation</p>	<p>< 0 0 - 2 2 - 5 > 5</p>	<p>0.9 - 1.0 0.9 0.8 0.4 - 0.7</p>
 <p>Mixing ventilation</p>	<p>< - 5 0 - 5 > 0</p>	<p>0.9 0.9 - 1.0 1.0</p>
 <p>Displacement ventilation</p>	<p>> 2 0 - 2 < 0</p>	<p>0.2 - 0.7 0.7 - 0.9 1.2 - 1.4</p>

Tabela 4- Eficiência da ventilação na zona útil para diversos tipos de ventilação (EUR 14449 EN, 1992)

Conforme o tipo de aplicação, os sistemas de ventilação dividem-se em duas categorias: de **ventilação local** e de **ventilação geral**.

A ventilação local tem como objectivo captar os poluentes junto à sua fonte, desta forma e neste tipo de sistemas a captação dos contaminantes tem de ser efectuada antes que estes se dispersem pelo restante espaço.

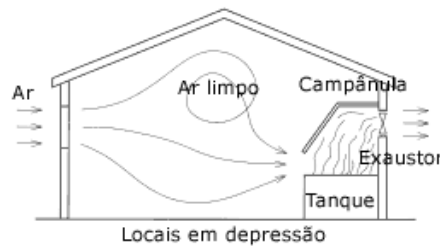


Figura 8- Ventilação localizada. [12]

A ventilação localizada é indicada para espaços industriais principalmente para situações em que existem poluentes tóxicos como postos de soldadura e também em casos em que a libertação dos poluentes é irregular.

A ventilação geral é a técnica mais usual para espaços em que a poluição interior não é tão elevada como no caso anterior para os ocupantes do espaço em causa.

Este sistema tem como função diluir a concentração dos contaminantes através da insuflação de ar novo exterior.

A conjugação dos diversos factores que influenciam a distribuição do ar nos compartimentos como a localização e geometria das aberturas de insuflação e extracção do ar, a velocidade e temperatura do ar insuflado, a carga térmica do local e a forma e localização dos obstáculos são fundamentais para determinar o escoamento do ar no local.

Contudo é possível classificar o tipo de escoamento em três classes principais:

- escoamento laminar (de êmbolo)
- escoamento de mistura
- escoamento por deslocamento (“displacement”). [13]

2.3.1 Escoamento Laminar (de embolo)

O escoamento laminar é utilizado quando é necessário insuflar elevadas quantidades de ar novo, tem como objectivo insuflar ar a baixa velocidade e com baixo grau de turbulência para que este não se misture com o ar interior poluído. Desta forma, implica que o volume de ar a entrar seja igual ao volume de ar a ser extraído em bloco para que não haja mistura entre si. Este método é principalmente usado em indústrias de componentes electrónicos, indústrias farmacêuticas e blocos operatórios de hospitais.

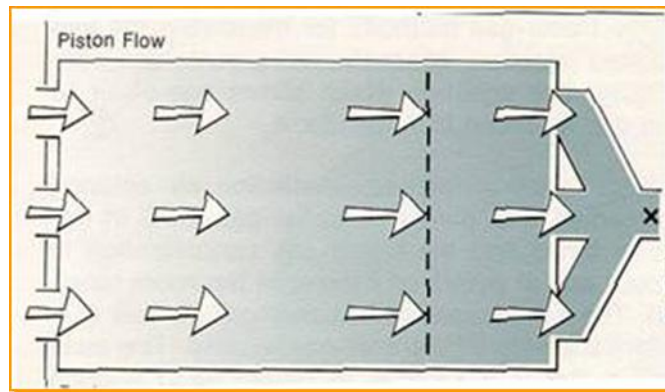


Figura 9- Escoamento laminar. [11]

Apesar de ser um sistema bastante eficiente na remoção de contaminantes é pouco utilizado devido ao seu elevado consumo energético, é um sistema bastante complexo, necessita de grandes aberturas de insuflação e extracção e é sensível a perturbações.

Em condições ideais, a temperatura e a concentração de contaminantes é de igual concentração em toda a sala. Quando é exigida uma elevada pureza do ar, é comum que a velocidade do ar seja <0.5 m/s mas com caudais elevados até 400 ren/h. Por norma os caudais usuais são de 60 ren/h. [13]

2.3.2 Escoamento de Mistura

O escoamento de mistura é o sistema mais utilizado, a insuflação de ar feito por este sistema é feito a uma velocidade relativamente elevada (2 a 6 m/s), dando origem a jactos parietais provocando assim elevada mistura do ar interior com o ar insuflado do

exterior e com elevado diferencial de temperatura (6 a 14°C) em relação à temperatura do compartimento. [13]

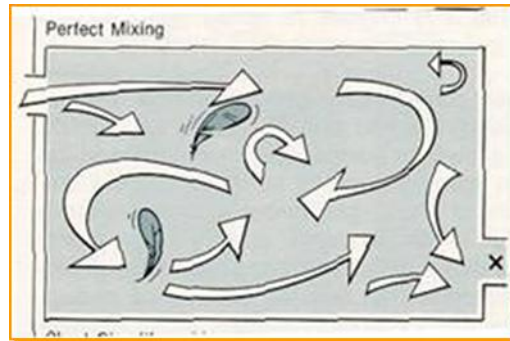


Figura 10- Escoamento de mistura. [11]

Este sistema tem como objectivo misturar rapidamente o ar insuflado com o ar saturado de forma a diminuir o diferencial de temperatura, a velocidade e a concentração de poluentes do espaço de forma a garantir o conforto térmico.

O princípio de renovação de ar baseia-se na diluição o mais completa possível através de escoamento circulatório que mantém distribuições quase uniformes das propriedades escalares em praticamente todo o espaço ventilado, sendo desta forma um sistema pouco adequado para a remoção de poluentes. [13]

No caso de espaços com grandes áreas, a necessidade de insuflar grandes quantidades de ar implica o aumento da velocidade do ar insuflado pelo que é fundamental proceder a um rigoroso cálculo da localização do sistema e da geometria dos difusores.

Um caso particular deste sistema é o escoamento de mistura em curto-circuito, anteriormente referido.



Figura 11- Escoamento de mistura em curto-circuito. [11]

2.3.3 Escoamento por Deslocamento

Este sistema faz a insuflação do ar a temperaturas um pouco inferiores às que estão no interior do espaço e com velocidades bastante baixas <0.5 m/s, junto ao pavimento por uma abertura de grande superfície.

Este método é caracterizado pela acção conjunta do efeito convectivo do ar insuflado a baixa velocidade com o efeito das forças de impulsão térmica (relativas à presença das pessoas, fontes de calor localizadas e superfícies quentes) que dão origem à ascensão gradual do ar na vertical.

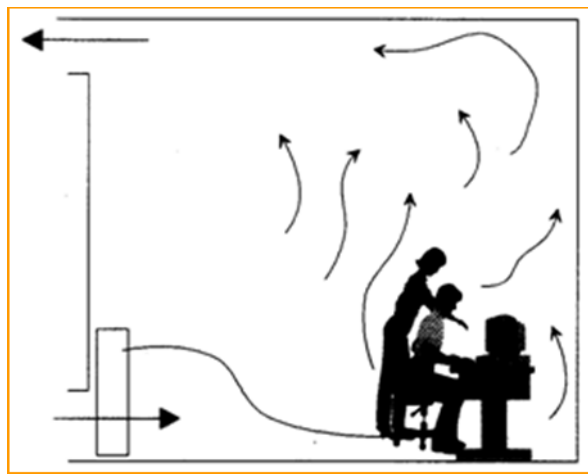


Figura 12- Escoamento por deslocamento. [11]

Assim sendo o ar é forçado a deslocar-se através do compartimento originando níveis de estratificação térmica e de poluentes em movimento translativo aumentando assim a

temperatura e concentração dos poluentes na zona superior do espaço onde é feita a sua extracção.

Este sistema tem como princípio a ausência de mistura entre as duas zonas de forma a isolar os poluentes concentrando-os junto ao tecto do compartimento de forma a deixar a zona útil com condições semelhantes às do ar insuflado do exterior.

A sua principal utilização é em recintos com elevada taxa de libertação de contaminantes e elevadas cargas térmicas internas.

Capítulo III

3 Técnica dos Gases Traçadores

As técnicas conhecidas por “gás traçador”, são uma ferramenta versátil para a determinação dos caudais de ar em sistemas de ventilação de edifícios, gabinetes, etc. Estas técnicas permitem determinar as taxas de ventilação bem como os padrões de circulação do ar. Permitem ainda medir os caudais de ar em sistemas de ventilação onde os métodos convencionais não são práticos de utilizar ou exactos. Permitem ainda avaliar os caudais de exaustão, a taxa de recirculação, bem com a eficiência dos sistemas de exaustão.

O gás traçador mais utilizado é hexafluoreto de enxofre (SF₆). São também utilizados outros gases traçadores como o dióxido de carbono (CO₂). Um determinado gás para ser classificado como um bom traçador deve ser incolor, inodoro, inerte, não se encontrar presente no ambiente, não deve ser tóxico ou inflamável nem ser prejudicial para a saúde.

A *American Society of Testing Materials International* (ASTM), desenvolveu o método E741-00, designado por “*Standard Test Method for Determining Air Exchanges in a Single Zone by Means of a Tracer Gas Dilution*,” que permite determinar as taxas de ventilação de um edifício utilizando a técnica de diluição por gás traçador. Este método apresenta várias metodologias para determinar as taxas de ventilação, sendo a mais simples conhecida por “Método de decaimento da concentração”.

Este método consiste na injeção do gás traçador no espaço a avaliar, e uma vez atingida uma concentração uniforme, é avaliado o decaimento da concentração do gás traçador durante um período de tempo de 15 min a 4 horas. As concentrações iniciais e finais do gás traçador determinadas permitem calcular a taxa de ventilação de acordo com a seguinte expressão:

$$\text{Taxa de Ventilação} = \frac{\ln C(T_2) - \ln C(T_1)}{(T_2 - T_1)}$$

em que,

T₁ Início do tempo da medição (horas);

C é a concentração de gás traçador (ppm); T₂ Fim do tempo da medição (horas); [13]

3.1 Métodos

Existem três métodos para a utilização dos gases traçadores:

- Método da concentração decrescente
- Método da emissão constante
- Método da concentração constante

3.1.1 Método da concentração decrescente

Este método é utilizado quando se pretende determinar a taxa de renovação de ar num curto prazo de tempo.

Consiste em insuflar uma pequena quantidade de gás traçador no local a estudar, misturando-o bem com o ar existente no local com ajuda de ventiladores. De seguida é retirada a fonte de emissão e registado o decréscimo da concentração do gás traçador ao longo do tempo.

Uma vantagem deste método é que a taxa de emissão não precisa ser medida, porém deve ser controlada para que a concentração esteja no intervalo de medição do equipamento utilizado. O maior problema desta técnica é a má mistura do gás traçador com o ar interno.

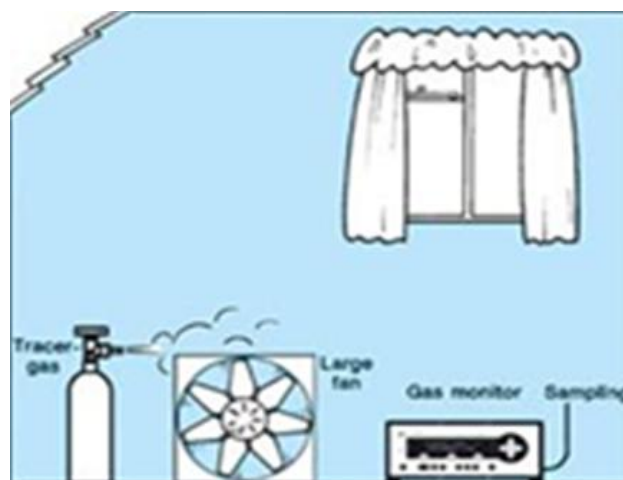


Figura 13- Método da concentração decrescente. [11]

3.1.2 Método da emissão constante

Neste método o caudal de emissão de gás é ajustado para se manter constante, por isso não é necessário um período inicial para a mistura entre o gás e o ar interno.

É utilizado em medições contínuas de taxas de troca de ar de uma ou mais zonas. É particularmente útil em medições efectuadas em habitações. Outra vantagem é que a emissão do gás em cada zona da edificação pode ser controlada separadamente, por isso o fluxo de ar externo em cada zona pode ser determinado. Tem a desvantagem de requerer a medição absoluta das taxas de emissão e concentração do gás traçador.

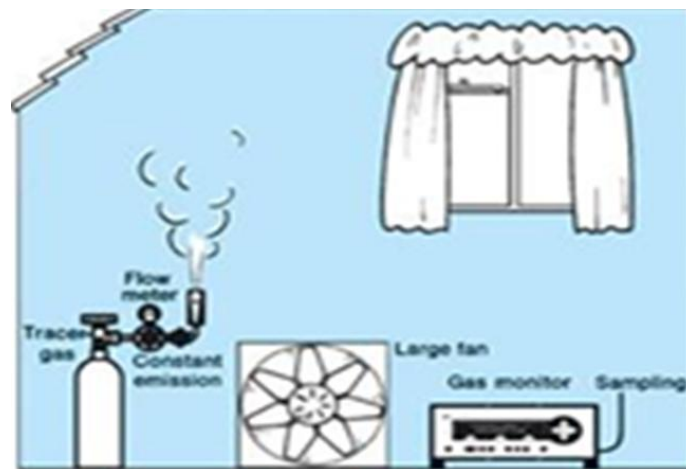


Figura 14- método da emissão constante. [11]

Quando se atinge o regime de escoamento permanente, o número de renovações do ar, obtém-se a partir da seguinte equação:

$$n = \frac{F}{V \cdot C}$$

onde,

F- é a taxa de introdução do gás traçador no compartimento

V- representa o volume do compartimento (m³)

C- Concentração do gás traçador (m³/m³)

n- Número de renovações do ar (h⁻¹)

3.1.3 Método da concentração constante

Este método é muito utilizado em zonas habitadas, quando é necessário efectuar medições em longos períodos de tempo. Consiste em obter as grandezas que quantificam a quantidade de ar a partir dos valores do caudal libertado, em cada instante, para que a concentração permaneça constante na zona a estudar.

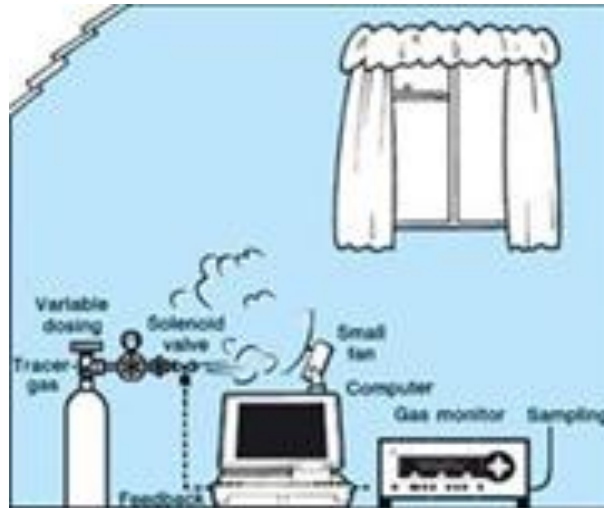


Figura 15- Método da concentração constante. [11]

Tem a vantagem de poder ser usado em locais onde a taxa de renovação do ar varia ao longo do tempo, obtendo-se assim um registo da evolução da mesma taxa. [13]

Capítulo IV

4 Aplicação Prática

4.1 Caracterização do local

O caso de estudo consistiu numa aplicação a uma sala de aula da ESTG, a qual tem uma área de 58.028m² e pé direito de 2.91m, com capacidade para 35 pessoas sentadas.

O pavimento é revestido com linóleo, uma espécie de tecido impermeável, feito de juta e embebido em óleo de linhaça e cortiça em pó.

As paredes são de tijolo revestido a estuque projectado, tem uma porta de madeira leve sem vedante em todo o seu perímetro e sem grelha com uma área de 1.592m² para o corredor e possui 4 envidraçados com vidros duplos e uma área de 1.448m², tendo os envidraçados uma secção de abrir (giratórios) e uma área fixa, sendo isolados com um vedante em todo o seu perímetro.

As cadeiras são de tecido e metal e as mesas de madeira lacada e metal.

Tem dois sistemas de climatização que neste caso são irrelevantes uma vez que não são utilizados nesta época do ano. (As características referidas e a planta da sala podem ser verificados em anexo)

Relação da área dos envidraçados com a área total do espaço estudado:

$$\frac{4 * 1.448}{58.028} = 0.0998 m^2$$

4.1.1 Estudo da taxa de ventilação e arrefecimento local do corpo

A aplicação prática para o estudo da taxa de ventilação e arrefecimento local do corpo numa sala de aula da ESTG (sala 63) foi feito num dia típico de primavera, em Abril, tendo sido realizados diversos ensaios, correspondentes às situações mais comuns de utilização da sala.

A técnica experimental aplicada foi a dos gases traçadores, com recurso ao método da concentração decrescente, através do equipamento Multipoint Sampler and Doser – INNOVA 1302 da Bruel & Kjaer.

O gás traçador utilizado foi hexafluoreto de enxofre (SF₆).

Os dados relativos à temperatura, humidade e velocidade do ar foram recolhidos através do aparelho Indoor Climate Analyzer – Type 1213 da Bruel & Kjaer, para proceder ao estudo da percentagem de pessoas insatisfeitas.

4.1.2 Procedimentos

Inicialmente libertou-se uma pequena quantidade de gás traçador hexafluoreto de enxofre (SF₆), gás que não se encontra de forma abundante na atmosfera, tendo sido posteriormente promovida, por meios mecânicos (através de uma ventoinha) a sua dispersão pelo ar ambiente.

Após o gás traçador se ter misturado com o ar, de uma forma homogénea, foi medido o decréscimo da sua concentração durante um dado período de tempo.

Para calcular as renovações de ar na sala estudada foi utilizado o método da concentração decrescente. Sendo o cálculo dos valores realizado por regressão linear e equações discretizadas.

4.1.2.1 Equações Discretizadas

Calculou-se a taxa de renovação (n) em cada instante o valor médio dos vários números de renovações calculados através das seguintes expressões:

$$n = \frac{(\ln C_{(t_0)} - \ln C_{(t_1)})}{\Delta t} * 3600 \text{ (ren/h)} \quad \bar{n} = \frac{\sum n_i}{N} \text{ (ren/h)}$$

Em que:

- $C_{(t_0)}$ - Concentração no instante inicial $t = 0$ $\sum n_i$ - Somatório das leituras efectuadas
- $C_{(t_1)}$ - Concentração no instante $t = t_1$
- Δt - Intervalo de tempo em que decorreu a medição N - Número de leituras efectuadas

4.1.2.2 Regressão Linear

Consiste em determinar a recta que melhor se ajusta aos pontos obtidos experimentalmente, através de uma regressão linear, calculando-se o valor médio do número de renovações através do simétrico do seu declive.

4.1.3 Ensaio experimentais

Dados exteriores:

- temperatura de 16.8°C.
- velocidade do vento de 3.06 m/s.
- dia nublado com humidade relativa de 73%.

Dados interiores:

- temperatura de 21.5
- velocidade do vento de 0.01m/s
- humidade relativa de 54.7%

Numa sala de aula, para existir uma boa qualidade do ar interior, terão de existir:

Renovação de ar	1	ren/h
Caudal de Ar novo por Ocupante	30	m ³ /h ocupante

Tabela 5- Índices para uma boa qualidade do ar interior (Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril)

Para melhor se poder ilustrar a influência da porta e das janelas nas renovações de ar obtidas na sala, procederam-se a vários ensaios, a saber:

- Porta e janelas fechadas
- Porta fechada e uma janela aberta
- Porta aberta e uma janela aberta

De seguida são apresentados os resultados dos ensaios mencionados anteriormente:

1º Ensaio- Porta e janelas fechadas

Com os valores recolhidos, obteve-se o seguinte gráfico:

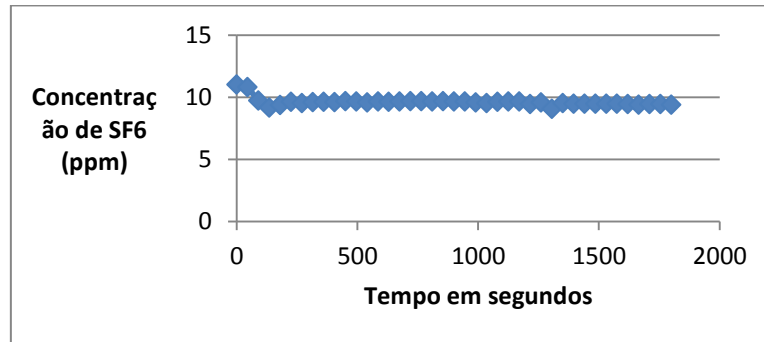


Gráfico 1- Evolução da Concentração do Gás Traçador ao longo do 1º ensaio.

Como se pode observar no gráfico, a concentração diminui um pouco no início estabilizando de seguida e mantendo-se estável. Desta forma constata-se que a renovação do ar no interior da sala com a porta e janelas fechadas é muito baixa, a rapidez da diminuição da concentração do gás traçador é em função das renovações do ar a que a sala esta sujeita.

2º Ensaio- Porta fechada e uma janela aberta.

Mais uma vez, com os valores, obteve-se o seguinte gráfico:

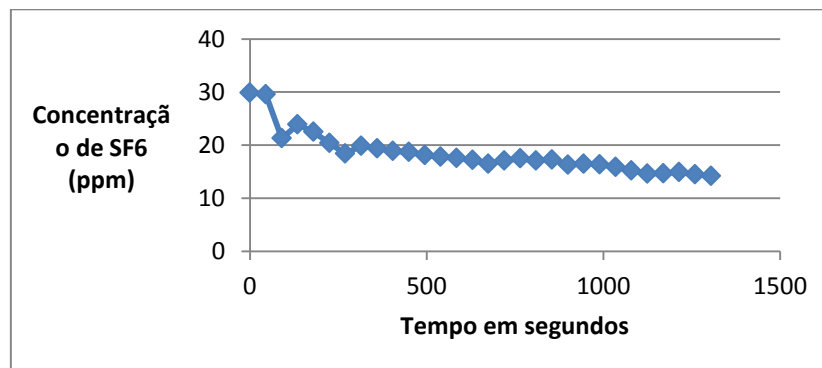


Gráfico 2- Evolução da Concentração do Gás Traçador ao longo do 2º ensaio.

Neste gráfico verifica-se uma diminuição mais acentuada no início do ensaio devido à entrada brusca de ar novo, pela janela, e de seguida uma diminuição contínua ao longo do ensaio.

3º Ensaio- Porta e janela aberta

Com os valores deste ensaio, obteve-se o seguinte gráfico:

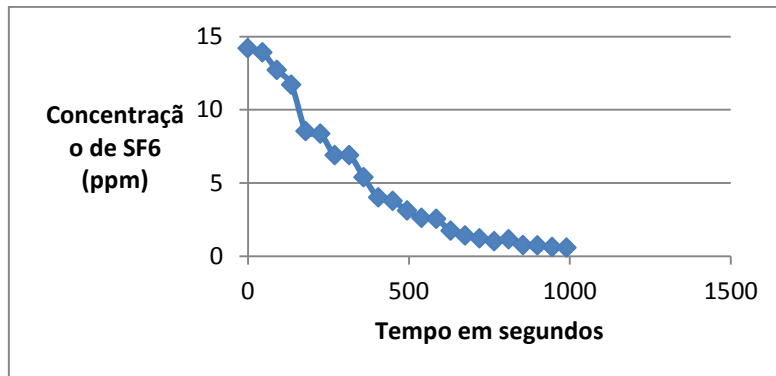


Gráfico 3- Evolução da Concentração do Gás Traçador ao longo do 3º ensaio.

Neste gráfico verifica-se um decréscimo bastante acentuado da concentração do gás traçador devido à corrente de ar provocada pela janela e porta aberta.

4.1.4 Comparação de Resultados

Recolhendo todos os resultados que se obtiveram aquando aos diferentes ensaios, elaborou-se os seguintes gráficos:

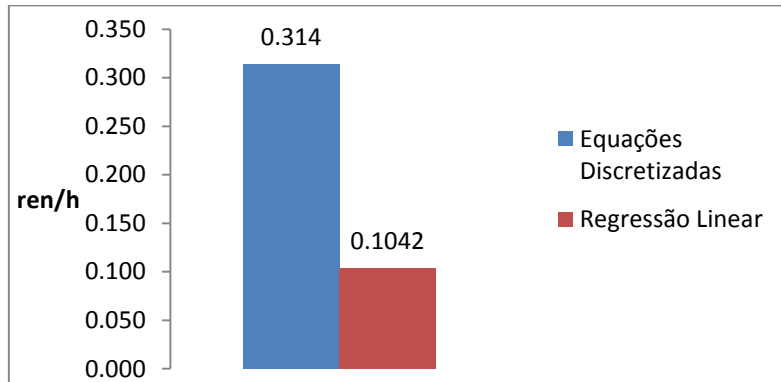


Gráfico 4- 1º Ensaio- Porta e janelas fechadas

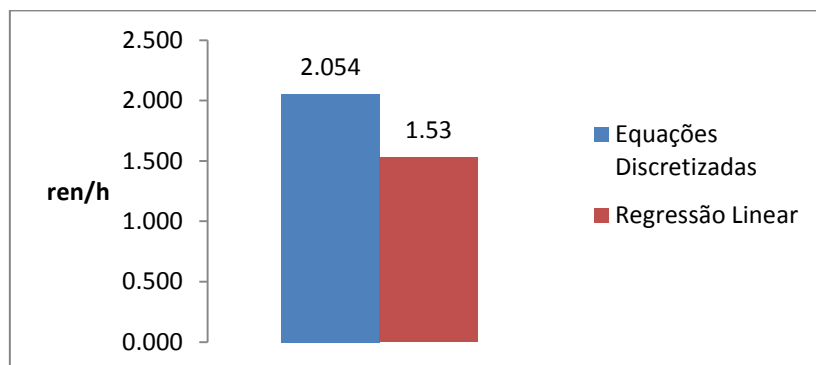


Gráfico 5- 2º Ensaio- Porta fechada e uma janela aberta

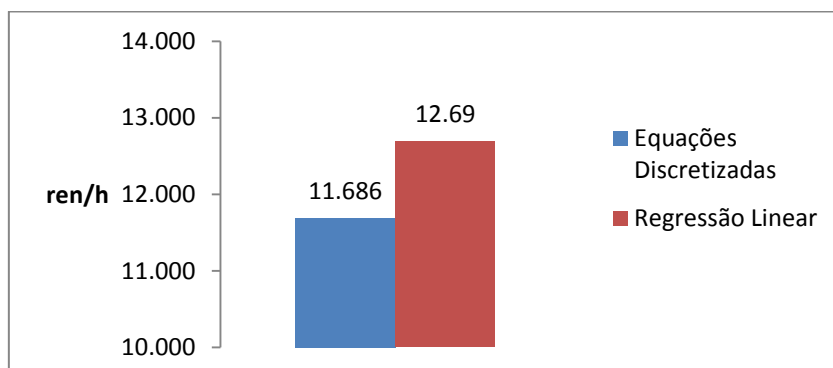


Gráfico 6- 3º Ensaio- Porta e janela aberta

Analisando os gráficos anteriores, constata-se que:

➤ **Ensaio mais desfavorável com renovações abaixo do limiar de conforto**

Analisando a primeira situação, pode observar-se que a sala, com a porta fechada e as janelas fechadas, não consegue por si só, garantir a renovação mínima aconselhável para este tipo de espaço, ou seja, 1 ren/h para uma sala de aula. Como sugestão, recomenda-se a introdução de grelhas de ventilação na porta, assim como, nos envidraçados.

➤ **Ensaio mais favorável**

A situação que consegue melhores taxas de renovação, é a correspondente ao terceiro ensaio (porta e janela aberta). Comparando esta com a segunda situação (porta fechada e janela aberta), verifica-se um aumento de cerca de cinco vezes mais, de 2.054 para 11.686. Tal pode dever-se ao facto da área da porta ser bastante superior á área do envidraçado, o que implica uma maior circulação de ar. Pode ainda verificar-se fenómenos de refluxo do ar proveniente do corredor podendo dar origem a corrente de ar.

➤ **Em maioria, dos casos, a regressão linear apresenta valores de renovação inferiores aos obtidos pelas equações discretizadas.**

Este facto pode ser explicado porque, o método da regressão linear, ao aproximar todos os valores obtidos, a uma mesma recta, vai atenuar o seu declive, conseguindo valores mais fidedignos. Já o método das equações discretizadas, opta por efectuar uma média aritmética das renovações pontuais, daí conduzir a valores superiores.

No terceiro ensaio, tal já não se verifica, o que pode ser explicado pelo elevado decaimento da concentração do gás traçador, levando a um maior declive da recta, que se verifica através de uma regressão linear.

4.1.5 Percentagem de pessoas insatisfeitas

Neste estudo os dados foram obtidos através do equipamento Indoor Climate Analyzer – Type 1213 da Bruel & Kjaer.

A percentagem de pessoas insatisfeitas é calculada pela seguinte expressão:

$$DR = (34 - t_a) * (\bar{v}_a - 0.05)^{0.62} * (3.143 * 0.3696 * TI * \bar{v}_a)$$

Em que:

t_a - Temperatura ambiente (°C)

TI - Intensidade de turbulência (%)

\bar{v}_a - Velocidade média local do ar (m/s)

Em que, a intensidade de turbulência (TI) é calculada através da equação:

$$TI = \frac{Vstd}{\bar{v}_a} * 100 \quad (\%)$$

Em que:

Vstd- Desvio padrão da velocidade (m/s)

\bar{v}_a - Velocidade média local do ar (m/s)

A velocidade média do local (\bar{v}_a), obteve-se por consulta ao equipamento atrás mencionado.

A temperatura da sala registada foi de 21.3 °C. Contudo uma vez que a fórmula anterior só é válida nos intervalos:

$$\rightarrow 20 \leq t_a \leq 26^\circ\text{C}$$

$$\rightarrow 0.05 \leq \bar{v}_a \leq 0.4 \text{ m/s}$$

$$\rightarrow 0 \leq TI \leq 70 \%$$

Considerou-se que a sala se encontrava a 21°C.

Nota: DR = 0% se $V_a \leq 0.05 \text{ m/s}$

Ensaios experimentais

Foram analisadas as seguintes situações:

1º Ensaio- Porta e janela fechada

Dados:

- t_a de 21.3°C
- \bar{u}_a de 0.05 m/s
- V_{std} de 0.00 m/s

Então segundo equação:

$$DR = (34 - t_a) * (\bar{u}_a - 0.05)^{0.62} * (3.143 * 0.3696 * TI * \bar{u}_a)$$

A percentagem de pessoas insatisfeitas é:

$$DR = 0\%$$

2º Ensaio- Porta fechada e uma janela aberta

Dados:

- t_a de 21.4°C
- \bar{u}_a de 0.06 m/s
- V_{std} de 0.02 m/s

Assim, de acordo com a equação:

$$DR = (34 - t_a) * (\bar{u}_a - 0.05)^{0.62} * (3.143 * 0.3696 * TI * \bar{u}_a)$$

A percentagem de pessoas insatisfeitas é:

$$DR = 1.68\%$$

3º Ensaio – Porta e janela aberta

Dados:

- t_a de 20.7°C
- \bar{u}_a de 0.21 m/s
- V_{std} de 0.14 m/s

Mais uma vez, de acordo com a equação:

$$DR = (34 - t_a) * (\bar{u}_a - 0.05)^{0.62} * (3.143 * 0.3696 * TI * \bar{u}_a)$$

Pelo que a percentagem de pessoas insatisfeitas é:

$$DR = 69.44\%$$

Comparação de resultados

Para os três ensaios obtiveram-se os seguintes resultados:

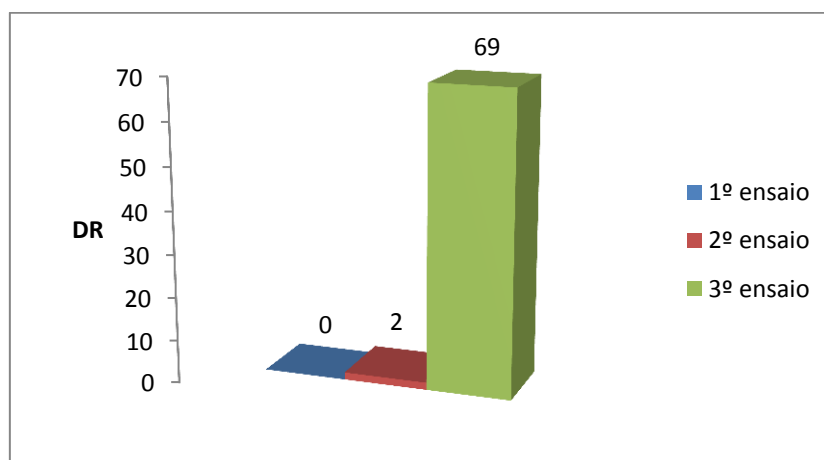


Gráfico 7- Comparação dos resultados obtidos

Pela análise do Gráfico7, pode observar-se que a percentagem de pessoas insatisfeitas é bastante diferente no 3º ensaio. Tal facto, deve-se ao facto de a porta e a janela estarem abertas, o que implica uma maior circulação de ar, dando origem a correntes de ar, provocando assim um elevado desconforto local.

Após o estudo destas três situações, pode concluir-se que numa mesma sala, mediante a situação, os ocupantes podem sentir desconforto devido ao arrefecimento localizado do corpo. Tendo como origem o movimento do ar, que difere consideravelmente consoante a situação em que se encontra, porta e janela fechada, porta fechada e janela aberta ou porta e janela aberta.

4.2 Conforto térmico

A aplicação prática do estudo do conforto térmico foi feita na mesma sala de aula anteriormente referida no dia 7 de Junho, segundo a metodologia de Fanger, onde se realizaram diversos ensaios, correspondentes às situações mais comuns da sua utilização.

Os dados relativamente à temperatura, humidade e velocidade do ar foram recolhidos através do aparelho Indoor Climate Analyzer – Type 1213 da Bruel & Kjaer, para proceder ao estudo do conforto térmico. Para avaliar experimentalmente a eficácia do modelo utilizado, confrontaram-se os resultados experimentais com um software de cálculo.

4.2.1 Metodologia de Fanger

Relativamente ao conforto térmico foram feitos alguns estudos com o intuito de caracterizar a sensação térmica do ser humano, durante a execução de diferentes tipos de actividades e vestuário diverso, face aos factores ambientais que interferem no equilíbrio térmico do corpo humano: temperatura (°C), temperatura média radiante (°C), velocidade do ar (m/s) e humidade relativa (%). A norma ISO 7730 (1994) estabelece um critério objectivo para a avaliação do conforto térmico numa perspectiva de avaliação do balanço térmico do corpo humano, função dos quatro parâmetros atrás referidos.

Dos vários índices de conforto que permitem avaliar o nível de conforto a que um individuo está sujeito num compartimento, destacam-se os propostos por Fanger – PMV e PPD. Baseando-se na metodologia teórica e na votação da sensação térmica de um painel de avaliadores, compostos por cerca de 1300 indivíduos, submetidos a diferentes condições de actividade, vestuário e ambiente térmico, criou um índice de sensação térmica: PMV (Predicted Mean Vote), ou seja, votação média previsível, de acordo com a seguinte escala.

Sensação Térmica	Índice de Conforto
Muito quente	+3
Quente	+2
Ligeiramente quente	+1
Confortável	0
Ligeiramente frio	-1
Frio	-2
Muito frio	-3

Tabela 6- Índices de sensação térmica e de conforto

Na metodologia de Fanger é também usado um segundo índice, PPD (Percentage of People Dissatisfied), que representa a percentagem de pessoas insatisfeitas com o ambiente. A relação existente entre o índice PMV e PPD é dada através de uma curva Gaussiana traduzida pela seguinte equação:

$$PPD = 100 - 95 * e^{-(0.03353*PMV^4 + 0.2179*PMV^2)}$$

4.2.2 Ensaios experimentais

Equipamento de medição de conforto térmico

As medições foram efectuadas com o aparelho Indoor Climate Analyzer – Type 1213 da Bruel & Kjaer.

Este equipamento mede o efeito da envolvente sobre o homem, utilizando um transdutor cuja geometria se assemelha ao mesmo. O transdutor foi posicionado de forma a tomar a inclinação mais próxima à de uma pessoa sentada, bem como a sua altura em relação ao pavimento (aproximadamente 1 metro, como se pode verificar na figura seguinte).



Figura 16- Aparelho de medição de conforto

Analisando os valores obtidos, constatou-se que:

A **temperatura do ar** é sensivelmente constante nas situações estudadas, situando-se entre os 20.7 °C e os 21.4°C, cerca de 2°C inferior ao nível mínimo recomendado pela ISO 7730 (1994), que varia entre 23°C e 26°C.

A **velocidade do ar** apresenta variações ao longo das situações estudadas situando-se entre os 0.05 m/s e os 0.21m/s, encontrando-se as velocidades registadas dentro da gama recomendável, pois a ISO 7730 (1984) para condições de Verão recomenda velocidades não superiores a 0.25m/s.

A **humidade relativa do ar** situa-se entre os 51% e os 61%, está dentro dos valores recomendados pela ISO 7730 (que é entre os 30% e os 70%, para o período de arrefecimento). Este parâmetro influencia as perdas de calor por evaporação (< H.R implica > transpiração).

As **temperaturas do plano radiante do chão** variam entre 21.4 e 21.8, as **temperaturas do tecto** entre 22.5 e 21.6 respectivamente não são muito diferentes nas várias situações. Isso é justificável porque a sala é intermédia entre duas outras sala e encontra-se num piso de certa forma intermédio, uma vez que não esta directamente em contacto com o telhado e tem um piso a abaixo, não ocorrendo ganhos significativos pela cobertura.

Pode assim dizer-se que o gradiente vertical de temperatura esta de acordo com a norma ISO 7730, que estipula um valor de 3°C.

A **temperatura do plano radiante do chão**, pela ISO 7730 deve situar-se entre os 19°C e os 26°C, o que se verifica nas situações estudadas uma vez que as temperaturas se situam entre 21.8°C e 21.4°C.

Desta forma verifica-se que todos os parâmetros se encontram de acordo com a norma ISO 7730.

Software

O segundo processo aplicou-se com recurso ao software “ANALYSIS CST”. Para proceder ao cálculo dos coeficientes de conforto térmico necessita dos seguintes parâmetros: quantidade de roupa (clo), taxa metabólica (met), actividade (met), temperatura do ar (°C), temperatura média radiante (°C), velocidade do ar (m/s) e humidade relativa (%).

Consideraram-se os valores de 0.8, 1.2 e 0 (ausência de trabalho externo) para os três primeiros parâmetros. A temperatura e velocidade do ar e humidade relativa foram obtidas através do equipamento de medição de conforto térmico. Como a temperatura média radiante não era conhecida procedeu-se ao seu cálculo. Assim, recorrendo aos factores de forma e após a introdução de todos os parâmetros, obtiveram-se os seguintes resultados:

Situações	Porta e janela fechada	Porta fechada e janela aberta	Porta e janela aberta
PMV	-0.35	-0.34	-0.74
PPD	7.57	7.37	16.48

Tabela 7- Resultados obtidos de PMV e PPD

4.2.3 Comparação de resultados

Como se pode verificar no gráfico seguinte os resultados da primeira e segunda situação (porta e janela fechada e porta fechada e janela aberta respectivamente) são bastante idênticos afastando-se um pouco os resultados da terceira situação (porta e janela aberta) devido á corrente de ar que se faz sentir.

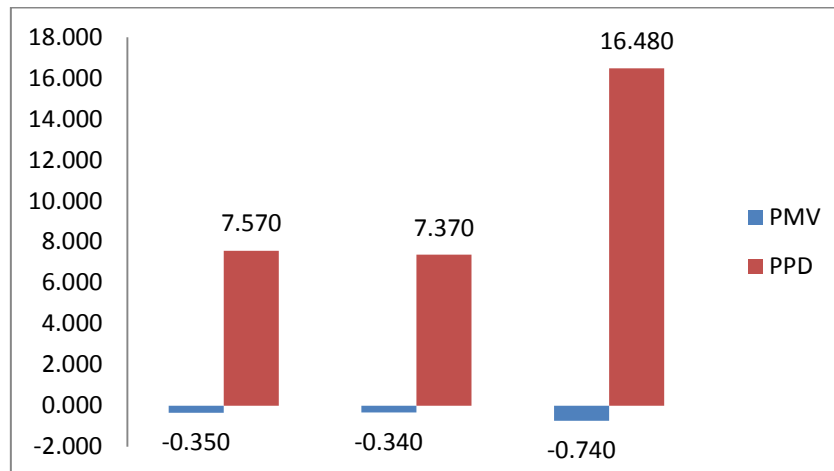


Gráfico 8- Resultados obtidos de conforto térmico

Como já foi referido anteriormente $PMV = 0$ reflecte sensação térmica de conforto e $PMV = -1$ uma sensação de ligeiramente frio. Como a maioria dos valores se aproximam do valo zero, pode concluir-se que as situações estudadas aproximam-se de uma situação térmica confortável.

Desta forma pode-se concluir que a metodologia de Fanger apresenta-se como uma ferramenta essencial, pois os seus índices PMV e PPD, possibilitam a definição dos parâmetros característicos da sensação térmica, que permite avaliar o nível de conforto em espaços interiores. Esta metodologia permitiu, através da medição da temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade do ar e humidade relativa, levantamento do nível de vestuário e da actividade desenvolvida pelos alunos, avaliar se as condições climáticas internas do local em estudo são as mais adequadas. Assim constata-se que são ligeiramente diferentes do que seria o ideal, $PMV = 0$, sensação térmica confortável.

Capítulo V

5 Conclusões

Com o estudo feito neste trabalho tendo em conta as condições e a altura do ano em que se realizou, conclui-se que a sala de aula estudada por si só não garante os requisitos mínimos de ventilação adequada, pois verificou-se que para ocorrer uma ventilação dentro do que é exigido pela lei vigente é necessário abrir a janela o que provoca algum desconforto nas pessoas, devido ao elevado fluxo de ar introduzido e à corrente de ar que se faz sentir.

Por outro lado, relativamente ao conforto térmico pode verificar-se que se encontra relativamente próximo da sensação térmica confortável, uma vez que os valores de PMV obtidos, na sua maioria, se encontram próximos de zero. De referir ainda que esta condição é necessária para que as pessoas se sintam confortáveis.

Face às conclusões que foi possível extrair dos ensaios realizados, a solução recomendada é a de implementação de grelhas de ventilação não só na porta mas também nos envidraçados.

Referencias Bibliográficas

Consultas efectuadas:

- ❖ [1]www.aircareportugal.com/edificio-doente.html (consultado 02-03-2011)
- ❖ [2]<http://www.alergohouse.com.br/blog/index.php/2010/12/sindrome-do-edificio-doente/> (consultado 02-03-2011)
- ❖ [3]www.adene.pt (Consultado 02-03-2011)
- ❖ [4]http://www.petaproj.pt/vent_principio.htm (consultado 31-03-2011)
- ❖ [5]ecocriacoes.pt/uploads/3/8/8/3/.../ecocriacoes_-_ventilacaonatural.pdf (consultado 15-03-2011)
- ❖ [6]<http://www.inresiduos.pt/politicambient/Ar/QualidadeArInterior/OqueeaQAI/Paginas/default.aspx> (consultado 04-04-2011)
- ❖ [7]www.aepa.ptxFilesscContentDeployer_ptdocsDoc715.pdf (consultado 05-04-2011)
- ❖ [8]<http://www.apambiente.pt/politicambient/Ar/QualidadeArInterior/OqueeaQAI/Paginas/default.aspx>(consultado 10-03-2011)
- ❖ [9]http://www.ambientesau.de.pt/index.php?page=231&view=forum:ViewDiscussion&zepp_obj_id=20 (consultado 10-03.2011)
- ❖ [10] Lourenço, L. Miguel L. (2006). Avaliação e Controlo das Condições de Qualidade do Ar em Atmosferas Interiores. Tese de Mestrado, Universidade da Beira Interior, Departamento de Engenharia Electromecânica (consultado 03-2011)
- ❖ [11] Apontamentos facultados pelo Docente Rui Pitarma (consultado ao longo de todo o projecto de 03-2011 a 07-2011)
- ❖ [12]http://www.solerpalau.pt/formacion_01_02.html (consultado 29-03-2011)
- ❖ [13] Rafael A. Lourenço e Sandra M. Vieira (2000/2001). Qualidade do Ar Interior- Síndrome do Edifício Doente, realizado no âmbito da disciplina de Conforto Térmico e Qualidade do ar, na Escola Superior de Tecnologias, Instituto Politécnico De Castelo Branco
- ❖ [14]www.apambiente.pt/divulgacao/.../manual%20QArInt_standard.pdf (consultado 10-03-2011)

Consultas efectuadas sem referência directa ao longo do projecto:

- ❖ <http://www.engenhariacivil.com/sistemas-ventilacao-edificios> (consultado 02-03-2011)
- ❖ www.apea.ptxFilesContentDeployer_ptdocsDoc715.pdf (consultado 22-03-2011)
- ❖ in3.dem.ist.utl.pt/labcombustion/emeecourse/.../pres7.pps (consultado 28-03-2011)
- ❖ Decreto – Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril (consultado a 15-03-2011)
- ❖ Decreto – Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril (consultado a 15-03-2010)
- ❖ Lourenço, L. Miguel L. (2006). Avaliação e Controlo das Condições de Qualidade do Ar em Atmosferas Interiores. Tese de Mestrado, Universidade da Beira Interior, Departamento de Engenharia Electromecânica (consultado 10-03-2011)
- ❖ <http://www.apambiente.pt/listas/Paginas/ResultadoPesquisa.aspx?k=QAI> (consultado 04-04-2011)
- ❖ www.buildingecology.com/publications/ECA_Report11.pdf (Consultado 04-04-2011)
- ❖ www.enerdura.pt/index.php?option=com_docman&task=doc... (Consultado 05-04-2011)
- ❖ [http://en.wikipedia.org/wiki/P. Ole Fanger](http://en.wikipedia.org/wiki/P._Ole_Fanger) (Consultado 05-04-2011)
- ❖ http://www.apea.ptxFilesContentDeployer_ptdocsDoc715.pdf (Consultado 05-04-2011)
- ❖ Norma ISO 7730 (1994) (Consultada 06-2011)
- ❖ Apontamentos disponibilizados pelo Professor Doutor Rui Pitarma
- ❖ Adaptado da sebenta das aulas de Qualidade de Ambientes Interiores (Consultado de 04-2011 a 07-2011)
- ❖ Revistas consultadas:
 - Tecnologias do Ambiente – nº 34, Março de 2000
 - Tecnologias do Ambiente – nº 52, Abril de 2006
 - Graus Celsius – Março/Abril de 2002
- ❖ Rafael A. Lourenço e Sandra M. Vieira (2000/2001). Conforto Térmico em Edifícios Escolares- Estudo Experimental para situação típica de Verão, na

Escola Superior de Tecnologias, Instituto Politécnico De Castelo Branco e na Escola Superior de Tecnologias e Gestão, Instituto Politécnico Da Guarda

- ❖ Rafael A. Lourenço e Sandra M. Vieira (2000/2001). Estudo Experimental da Ventilação em Salas de Aula, na Escola Superior de Tecnologias, Instituto Politécnico De Castelo Branco e na Escola Superior de Tecnologias e Gestão, Instituto Politécnico Da Guarda
- ❖ Rafael A. Lourenço e Sandra M. Vieira (2000/2001). Arrefecimento Local do Corpo, realizado no âmbito da disciplina de Conforto Térmico e Qualidade do ar, na Escola Superior de Tecnologias, Instituto Politécnico De Castelo Branco
- ❖ Rafael A. Lourenço e Sandra M. Vieira (2000/2001). Qualidade do Ar Interior- Síndrome do Edifício Doente, realizado no âmbito da disciplina de Conforto Térmico e Qualidade do ar, na Escola Superior de Tecnologias, Instituto Politécnico De Castelo Branco
- ❖ Consulta do manual de cada equipamento, respectivamente, utilizados na recolha dos diversos dados para análise na aplicação prática

Anexos



Figura 17- Janela com vedante em todo o seu perímetro



Figura 18- Porta sem vedante em todo o seu perímetro e sem grelha.



Figura 19- Disposição da sala (1)



Figura 20- Disposição da sala (2)

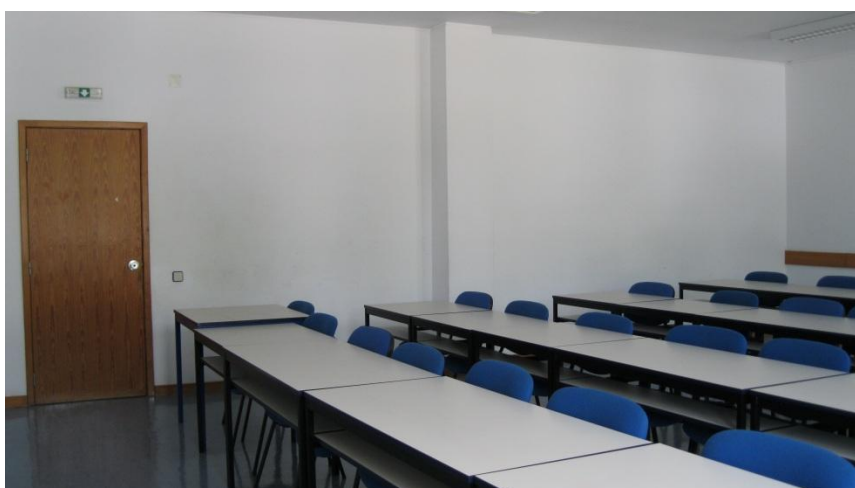


Figura 21- Disposição da sala (3)



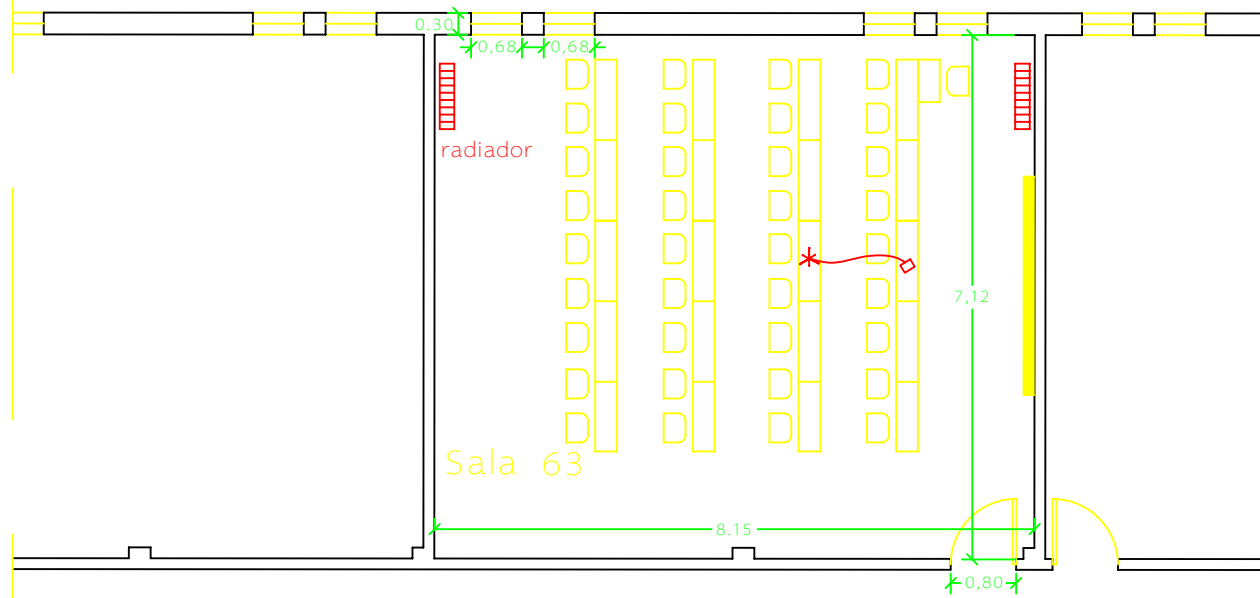
Figura 22- Aparelho de medição Indoor Climate Analyzer – Type 1213 da Bruel & Kjaer (1)



Figura 23- Aparelho de medição Indoor Climate Analyzer – Type 1213 da Bruel & Kjaer (2)

De seguida são apresentadas as plantas da sala onde foi feita a aplicação prática.

Janela utilizada no ensaio JANELA
(0,68 X 2,13)
1,45m²



Sala 63

PORTA
(0,80 X 1,99)
1,59m²

EXTERIOR