

# **AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR INTERIOR NUM BLOCO OPERATÓRIO E NUMA CENTRAL DE ESTERILIZAÇÃO UTILIZANDO COMO INDICADOR A CONCENTRAÇÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO**

**Joana Silva**

Licenciada em Engenharia do Ambiente (UFP)  
[joana.filipa.silva@gmail.com](mailto:joana.filipa.silva@gmail.com)

**Edite Regueiro**

Licenciada em Engenharia do Ambiente (UFP)  
[editeregueiro@gmail.com](mailto:editeregueiro@gmail.com)

**Maria Alzira Dinis**

Mestre Assistente - Centro de Investigação em Alterações  
Globais, Energia, Ambiente e Bioengenharia (CIAGEB - UFP)  
[madinis@ufp.pt](mailto:madinis@ufp.pt)

## **Resumo**

A população dos países mais desenvolvidos passa, em média, cerca de 90 % do seu tempo em ambientes interiores, seja em casa, no trabalho e até em actividades de lazer. Assim, é indiscutível a necessidade de manutenção de ambientes interiores saudáveis e confortáveis.

Este estudo teve como principal objectivo avaliar a qualidade do ar interior e a eficiência do sistema de ar condicionado das Salas de Operações de um Bloco Operatório e de uma Central de Esterilização de um Hospital Português, utilizando como indicador as concentrações de dióxido de carbono.

## **Abstract**

People of developed countries spend about 90% of their time indoor, in their houses, workplaces or in leisure time. In consequence, nowadays, it is very important to keep healthy and comfortable indoor environments.

The main goal of the study was to evaluate the quality and the efficiency of the conditional air system of 6 Operations Room of a Surgical Site and a Central of Sterilization of a Portuguese Hospital, being used as indicating the concentrations of carbon dioxide.

## 1. INTRODUÇÃO

A qualidade do ar em ambientes hospitalares afecta a saúde e o conforto de todos os pacientes e profissionais. Nestes locais é necessário uma grande preocupação com a qualidade do ar, porque além dos problemas relacionados com a saúde ocupacional existe a necessidade de um grande cuidado com os doentes, especialmente os imunodeprimidos (James, 2007; Kulmala et al., 2004; WHO, 2002a).

Assim, é necessário que as instituições ponham em prática metodologias de avaliação da qualidade do ar nos seus edifícios, sendo que a avaliação dos níveis de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) pode ser eficazmente utilizada como indicador dos níveis de poluentes interiores e consequentemente da eficácia do sistema de renovação de ar (Health Canada, 2004; Department of Health and Human Services and Environmental Protection Agency, 1991).

### 1.1. O DIÓXIDO DE CARBONO COMO INDICADOR DA QUALIDADE DE AR INTERIOR

À temperatura ambiente, o  $\text{CO}_2$  é um gás incolor e inodoro formado pela actividade metabólica (os humanos e outros animais exalam  $\text{CO}_2$  quando respiram) e em actividades de combustão (Universal Industrial Gases, Inc. Home Page, 2006).

Em ambientes interiores, o  $\text{CO}_2$  não se apresenta geralmente em níveis que prejudiquem a saúde; no entanto, este gás é muitas vezes medido por poder ser utilizado como um indicador do nível de poluição em ambientes interiores, sendo actualmente bastante utilizado como uma ferramenta para avaliar se os sistemas de ventilação estão a introduzir uma quantidade suficiente de ar exterior no interior dos edifícios (Committee on the Medical Effects of Air Pollutants – Department of Health, 2004 e Western Area Power Administration, 2000).

Num edifício com uma baixa taxa de ventilação, os níveis de  $\text{CO}_2$  sofrem um aumento ao longo do dia, não chegando a atingir uma concentração estacionária. Por outro lado, edifícios com uma taxa de ventilação “agressiva” e uma boa mistura do ar exterior com o interior apresentam níveis de  $\text{CO}_2$  que ao longo do dia se apro-

ximam das concentrações no exterior (Western Area Power Administration, 2000).

Apesar de elevados níveis de  $\text{CO}_2$  sugerirem uma ventilação insuficiente ou desadequada e/ou concentrações demasiado elevadas de poluentes do ar, que podem provocar, num local de trabalho, problemas de saúde e de produtividade, é necessário ter em conta que o  $\text{CO}_2$  não deverá servir de indicador para poluentes que não dependam da ocupação de determinado local (Western Area Power Administration, 2000).

A relação entre a concentração de  $\text{CO}_2$  e outros poluentes interiores depende das fontes desses outros poluentes. A taxa à qual o  $\text{CO}_2$  é gerado num espaço depende do número de pessoas, do tamanho do espaço e do nível de actividade física. Se os outros poluentes são gerados a uma taxa que também dependa do nível de ocupação, então o  $\text{CO}_2$  pode ser um bom indicador da concentração desses poluentes. O  $\text{CO}_2$  não fornece qualquer informação da concentração de poluentes emitidos por fontes independentes dos ocupantes (Perrily, 1996).

Este estudo teve como principal objectivo avaliar a qualidade do ar interior e a eficiência do sistema de ar condicionado das Salas de Operações de um Bloco Operatório e de uma Central de Esterilização de um Hospital Português, utilizando como indicador as concentrações de  $\text{CO}_2$ .

Pretendeu-se ainda verificar a conformidade com a legislação Portuguesa e com os requisitos de qualidade do ar definidos por Instituições tais como a Occupational Safety & Health Administration (OSHA), o National Institute For Occupational Safety and Health (NIOSH) e a American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH).

## 2. VALORES LIMITE RECOMENDADOS

Vários estudos levados a cabo em edifícios com sistemas de ventilação mecânica para diferentes taxas de ocupação indicaram que concentrações de  $\text{CO}_2$  acima dos 1000 ppm eram indicativas de um fornecimento inadequado de ar fresco, tendo-se ainda documentado queixas, por parte dos ocupantes, a concentrações iguais ou superiores a 600 ppm (DHFS, 2005; Health Canada, 2004).

Na Tabela I apresentam-se os valores limite recomendados pela NIOSH, OSHA e pela ACGIH. Apresenta-se também o valor legislado pelo Decreto – Lei n.º 79/2006, que é muito mais exigente, em termos de valor limite para o CO<sub>2</sub>, do que os organismos internacionais considerados (Decreto – Lei n.º 79/2006; NIOSH, 2003; Minnesota Department of Health, 2002; OSHA, 2002; NIOSH, 2000).

**Tabela 1.** Limites de concentração de CO<sub>2</sub> recomendados pelo NIOSH, OSHA e pelo Decreto – Lei n.º 79/2006. (Decreto – Lei n.º 79/2006; OSHA, 2002; NIOSH, 2000)

Entidade	Limites de exposição
NIOSH (REL)	TWA <sup>1</sup> – 5000 ppm (9000 mg.m <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup> STEL <sup>3</sup> – 30000 ppm (54000 mg.m <sup>-3</sup> )
OSHA (PEL)	TWA – 10000 ppm (9000 mg.m <sup>-3</sup> ) STEL – 30000 ppm (54000 mg.m <sup>-3</sup> )
American Conference of Governmental Industrial Hygienists (TLV)	TWA – 5000 (9 000 mg.m <sup>-3</sup> ) STEL – 30000 ppm (54000 mg.m <sup>-3</sup> )
Decreto-Lei n.º 79/2006	Concentração máxima – 1800 mg.m <sup>-3</sup> (1000 ppm)

<sup>1</sup> TWA – Threshold Weighted Average

<sup>2</sup> Segundo Araújo e Nunes (2003), para converter valores limite de ppm para mg/m<sup>3</sup> utiliza-se a equação:

$$\frac{mg}{m^3} = \frac{(PPP/PM)}{24,4} \quad \frac{mg}{m^3} = \frac{(PPP/PM)}{24,4}$$

<sup>3</sup> STEL – Short Term Exposure Level

Apesar dos valores da Tabela I, a American Society of Heating, Refrigeration, and Air Conditioning Engineers (*cit. in* Western Area Power Administration, 2000) recomenda que, nos casos em que o CO<sub>2</sub> é utilizado como indicador de poluição, a sua concentração se deve manter nos 1000 ppm, no caso de escolas e nos 800 ppm, no caso de escritórios; no entanto, não foi encontrada qualquer referência a instituições de saúde, considerando-se, assim, como valor de referência os 1000 ppm, que é o preconizado pelo Decreto-Lei n.º 79/2006.

### 3. METODOLOGIA

O presente estudo foi estruturado em três partes:

1. Monitorização contínua das concentrações de CO<sub>2</sub> nas Salas de Operações e na Central de Esterilização;

2. Determinação da média de concentrações de CO<sub>2</sub> e do número de vezes que as mesmas ultrapassaram os 1000 ppm, limite preconizado pela legislação Portuguesa, e os 600 ppm, concentração mínima à qual é comum os ocupantes de determinado ambiente sentirem desconforto;

3. Avaliação da qualidade do ar interior e da eficiência do sistema de ar condicionado nos locais em estudo.

Todas as Salas de Operações em que se realizou o estudo são equivalentes em termos de dimensões e estão ocupadas pela mesa de operações e pelos equipamentos cirúrgicos necessários à realização das cirurgias. As taxas de ocupação dos locais em análise são variáveis e desconhecidas.

O sistema de insuflação/extracção de ar funciona em regime contínuo no Bloco Operatório. Nas Salas de Operações, a insuflação ocorre por duas entradas localizadas perto do tecto das mesmas e a extracção de ar ocorre por duas saídas perto do chão das Salas, sendo que a taxa de renovação de ar praticada nos locais de estudo é desconhecida. Por outro lado, na Central de Esterilização, não existe qualquer sistema de insuflação/extracção de ar.

O aparelho utilizado para monitorização do gás CO<sub>2</sub> foi o o Multipoint Sampler – Typer 1309 da marca Bruel & Kjaer, que se apresenta na Figura 1. Este aparelho encontra-se ligado a cada uma das Salas de Operações e à Central de Esterilização por uma sonda de monitorização de gases.

**Figura 1.** Aparelho de monitorização de gases utilizado no estudo



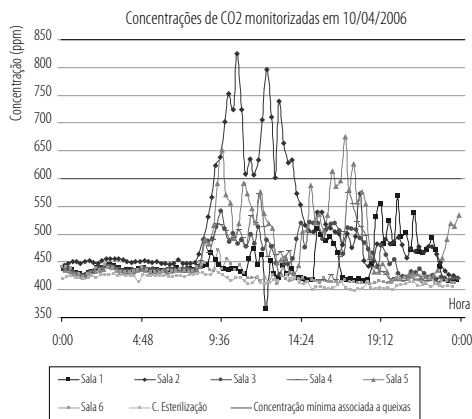
A monitorização do  $\text{CO}_2$  foi realizada no período compreendido entre 21 de Março e 10 de Abril de 2006, com um espaço temporal de 15 minutos entre medições, sendo que em cada local foi monitorizada a concentrações de  $\text{CO}_2$  em cada 15 minutos, que corresponde a uma medição instantânea. Devido a problemas no aparelho, foi necessário descontinuar a monitorização em alguns dos dias da análise.

## 4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Neste capítulo apresentam-se as concentrações de  $\text{CO}_2$  monitorizadas no período compreendido entre 21 de Março e 10 de Abril de 2006 e a apresentação e discussão dos valores registados.

Na Figura 2 apresentam-se, a título exemplificativo, os gráficos das concentrações  $\text{CO}_2$  em cada um dos locais de estudo para os casos em que se realizou uma monitorização 24 horas por dia. Pela análise dos valores monitorizados verifica-se que não se registou qualquer valor superior aos 1000 ppm, definidos como valor limite pela legislação Portuguesa.

**Figura 2.** Comportamento das concentrações de  $\text{CO}_2$  no período compreendido entre 21 de Março e 10 de Abril de 2006



A análise destes gráficos permite verificar que não ocorre um crescimento contínuo das concentrações monitorizadas ao longo do dia, concluindo-se que o sistema de renovação de ar funciona de forma adequada e

que a qualidade do ar interior é desejável, pelo menos a nível de poluentes associados com a ocupação. No entanto, denotam-se valores superiores quando se considera o período compreendido entre as 09h00 e as 19h30. Esta situação ocorre porque este corresponde ao período de maior ocupação, sendo que fora deste período apenas ocorrem cirurgias em regime de urgência e a actividade da Central de Esterilização é também reduzida e por isso, a taxa de ocupação destes serviços é bastante inferior.

Na Tabela II apresentam-se, para cada local de estudo, o número total de valores monitorizados, a média e o Total de valores superiores a 600 ppm, considerando por um lado o período global de medições (24 horas por dia, excepto nas situações em que o aparelho esteve inoperacional) e, por outro, o período compreendido entre as 09h00 e as 19h30 (período restrito).

**Tabela 2.** Número total de valores, média e número de valores superiores a 600 ppm considerando o período global e o período restrito

PARÂMETRO	TOTAL DE VALORES MONITORIZADOS		MÉDIA		TOTAL > 600 PPM	
	Global	Restrito	Global	Restrito	Global	Restrito
Período						
Sala 1	833	346	445	451	4	2
Sala 2	834	346	494	565	125	114
Sala 3	833	346	429	448	1	0
Sala 4	832	345	430	451	2	1
Sala 5	831	344	442	473	8	7
Sala 6	833	345	421	432	0	0
Esterilização	834	346	404	400	0	0
Total	5830	2418	-	-	140	124
Percentagem	-	-	-	-	2,4%	5,1%

Da análise da Tabela 2 conclui-se que, tanto no caso da Sala de Operações 6 como no da Central de Esterilização, os valores médios são inferiores aos restantes locais, o que resulta do facto da Sala 6, destinada à cirurgia ambulatória, ser pouco utilizada relativamente às restantes e da Central de Esterilização ter uma área bastante superior às Salas de Operações e uma menor taxa de ocupação.

No período restrito verifica-se uma tendência para médias das concentrações de CO<sub>2</sub> superiores assim como uma maior percentagem de valores superiores a 600 ppm. Estes resultados permitem verificar uma dependência das concentrações de CO<sub>2</sub> relativamente à taxa de ocupação.

Verifica-se uma elevada média das concentrações de CO<sub>2</sub> na Sala de Operações 2, principalmente quando se considera o período restrito, assim como um elevado número de valores superiores a 600 ppm (15% no período global e 33% no período restrito). Considerando que a taxa de ocupação desta sala não é superior às restantes, conclui-se que esta Sala apresenta uma taxa de renovação de ar insuficiente, sendo necessária uma actuação de melhoria a nível do sistema de insuflação/extracção de ar da Sala.

Sugere-se então uma acção de melhoria no sistema de insuflação/extracção de ar dos locais em estudo já que nestes locais não se pode recorrer a ventilação natural. Note-se que, no período restrito, cerca de 5 % das concentrações de CO<sub>2</sub> são superiores a 600 ppm, sendo que uma concentração deste tipo provoca desconforto nos profissionais de saúde.

## 5. CONCLUSÕES

Dos resultados obtidos no estudo da avaliação dos níveis de qualidade do ar interior utilizando como indicador as concentrações de dióxido de carbono num Bloco Operatório e numa Central de Esterilização, conclui-se que o sistema de insuflação/extracção de ar dos locais em estudo permite que as concentrações de poluentes associados com a taxa de ocupação sejam suficientemente baixas para que a qualidade do ar interior seja considerada boa. No entanto, a elevada percentagem de concentrações de CO<sub>2</sub> superiores a 600 ppm, monitorizadas na Sala de Operações 2, significa que o sistema de insuflação/extracção de ar neste local não é suficiente para evitar um potencial desagrado por parte dos profissionais de saúde relativamente ao seu ambiente de trabalho, sendo por isso necessário actuar de forma a aumentar a taxa de renovação de ar neste local.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, M.G. e Nunes, F.M. (2003). *Higiene do Trabalho – Parte 1*. Lisboa, ISEC – Instituto Superior de Educação e Ciências.
- Decreto – Lei n.º 79/2006, de 4 de Abril. A aprova o regulamento dos sistemas energéticos de climatização em edifícios.
- Department of Health and Human Services and Environmental Protection Agency (1991). Building Air Quality - A Guide for Building Owners and Facilities Managers. [Em Linha]. Disponível em <http://www.cdc.gov/niosh/pdfs/iag.pdf>. [Consultado em 09/04/2007].
- DHFS- Department of Health and Family Services (2005). Carbon Dioxide [Em Linha]. Disponível em <http://dhfs.wisconsin.gov/eh/ChemFS/pdf/CarbonDioxide.pdf>. [Consultado em 09/04/2007].
- Health Canada (2004). Exposure Guidelines for Residential Indoor Air Quality. [Em Linha]. Disponível em [http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/air/exposure-exposition/purpose-but\\_e.html](http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/air/exposure-exposition/purpose-but_e.html). [Consultado em 09/04/2007].
- JAMES, C.A. (2007). Indoor Air Quality Problems in Health-care Facilities. [Em Linha]. Disponível em <http://inspiredliving.com/airpurification/a~healthcareairproblems.htm>. [Consultado em 09/04/2007].
- KULMALA, I., Taipale, A., Heinonen, K., Jalonene, T. Makipaa, V. (2004). [Em Linha]. A New Approach for Enhancing Supply Air Filtration. Disponível em [http://www.touchbriefings.com/pdf/747/hosp041\\_lifaair\\_tech.pdf](http://www.touchbriefings.com/pdf/747/hosp041_lifaair_tech.pdf). [Consultado em 10/11/2005].
- Minnesota Department of Health (2002). Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>). [Em linha]. Disponível em <http://www.health.state.mn.us/divs/eh/indoorair/co2/index.html>. [Consultado em 04/07/2006].
- NIOSH - National Institute for Occupational Safety and Health (2003). Carbon Dioxide – IDLH Documentation. [Em linha]. Disponível em <http://www.cdc.gov/niosh/idlh/124389.html>. [Consultado em 04/07/2006].
- NIOSH - National Institute for Occupational Safety and Health (2000). Carbon Dioxide. [Em linha]. Disponível em <http://www.cdc.gov/NIOSH/PEL88/124-38.HTML>. [Consultado em 04/07/2006].
- OSHA - Occupational Safety & Health Administration (2002). Carbon Dioxide in Workplace Atmospheres. [Em linha]. Disponível em <http://www.osha.gov/dts/sltc/methods/inorganic/id172/id172.html>. [Consultado em 03/07/2006].

PERSILY, A.K. (1996). The Relationship between Indoor Air Quality and Carbon Dioxide, *In: Indoor Air'96, The 7<sup>th</sup> International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, Volume 2, July, pp. 961-966.

**Universal Industrial Gases, Inc. Home Page** (2006). Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>) Properties, Uses, Applications of CO<sub>2</sub> Gas and Liquid Carbon Dioxide. [Em linha]. Disponível em <http://www.uigi.com/carbondioxide.html>. [Consultado em 02/04/07].

**Western Area Power Administration. Technical Brief – Measuring Carbon Dioxide Inside Buildings** (2000). [Em linha]. Disponível em <http://www.wapa.gov/es/pubs/techbrf/co2.htm>. [Consultado em 04/06/2006].

**WHO** (2002, a). Prevention of Hospital – Acquired Infections – A Practical Guide, 2nd ed. [Em linha]. Disponível em <http://www.who.int/csr/resources/publications/drugresist/whocdscsreph200212.pdf>. [Consultado em 30/11/2005].