



# CIEEMAT`19

The 5th Ibero-American Congress on  
Entrepreneurship, Energy, Environment  
and Technology

## PROCEEDINGS



5<sup>th</sup> Ibero-American Congress on

# Entrepreneurship, Energy, Environment and Technology

11<sup>th</sup> – 13<sup>th</sup> September 2019

Portalegre, Portugal

ISBN 978-84-17934-30-9



Portugal, September 2019

# ORGANIZING COMMITTEE

## Conference Management

**Chairman: Ronney Arismel Macncebo Boloy, PhD.** (Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ), Brasil)

**Chairman: Paulo Brito, PhD.** (Polytechnic Institute of Portalegre, Portugal)

**Chairman: Luis Pais, PhD.** (Polytechnic Institute of Bragança, Portugal)

**Chairman: José Luis Calvo Rolle, PhD.** (Universidade de La Coruña, España)

**Vocal: Ramon Sanguino Galvan, PhD.** (Universidade de Extremadura, España)

**Vocal: João Leitão, PhD** (Lisbon Technical University and University of Beira Interior, Portugal)

**Conference Manager: Monica Martins**  
(Theorem Conferences, United Kingdom)

## Resíduos de Desflurano e Sevoflurano em Bloco Operatório de uma Unidade Hospitalar

Vanessa Yamanaka, Ermelinda Pereira, Joseane Theodoro, Lucas D'avila, Maria Domingues, Manuel Feliciano

Vanessa Yukie Yamanaka<sup>1</sup>  
Instituto Politécnico de Bragança,  
Campus de Santa Apolónia  
Bragança, Portugal  
vanessa.yukie.yamanaka@gmail.com

Ermelinda Lopes Pereira<sup>2</sup>  
Centro de Investigação de Montanha  
(CIMO), Instituto Politécnico de  
Bragança, Campus de Santa Apolónia  
Bragança, Portugal  
epereira@ipb.pt

Joseane Theodoro<sup>3</sup>  
Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná – Câmpus Londrina  
Londrina, Brasil  
joseanepth@gmail.com

Lucas D'avila<sup>4</sup>  
Instituto Politécnico de Bragança,  
Campus de Santa Apolónia  
Bragança, Portugal  
lucasdvla@outlook.com

Maria de Fátima Domingues<sup>5</sup>  
Unidade Local de Saúde do Nordeste  
Bragança, Portugal  
fatima.domingues@ulsne.min-saude.pt

Manuel Feliciano<sup>6</sup>  
Centro de Investigação de Montanha  
(CIMO), Instituto Politécnico de  
Bragança, Campus de Santa Apolónia  
Bragança, Portugal  
msabenca@ipb.pt

**Resumo**—Os resíduos de gases anestésicos podem causar diversas doenças nos seres humanos, quer devido a exposições a elevadas concentrações de curto tempo ou a exposições a concentrações mais baixas, mas por períodos de tempos mais longos. A NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) estabelece o valor de 2 ppm para gases anestésicos halogenados, para um período de exposição de 1 hora. Neste âmbito, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade do ar em três locais do bloco operatório (sala de cirurgia geral, sala de recobro, zona de transferência) e no hall de acesso ao bloco operatório, de uma unidade hospitalar do distrito de Bragança. O estudo envolveu a medição dos resíduos de desflurano e sevoflurano, bem como de dióxido de carbono, humidade relativa e temperatura do ar em diferentes pontos de cada um dos espaços referidos. Os gases anestésicos e o dióxido de carbono foram medidos com o analisador Gasera One Pulse, cujo princípio de medição assenta na espectroscopia fotoacústica de infravermelho. A humidade relativa e a temperatura do ar foram monitoradas com uma sonda IQ610 da Graywolf Sense Solutions e com um sensor lowcost construído e calibrado para o efeito. Os resultados revelam a existência de uma gestão relativamente eficaz dos resíduos destes gases, ainda que na sala de recobro tenham sido detetadas excedências aos níveis definidos pela NIOSH, para ambos os gases estudados. Além de no recobro ocorrer a libertação de parte dos resíduos inalados pelo paciente durante a anestesia, a ventilação parece não ser tão eficaz como na sala de cirurgia. A zona de transferência e o hall de entrada não foram, todavia, afetados pelos níveis registados na sala de recobro.

**Palavras Chave**—gases anestésicos, sala de cirurgia, sala de recobro, monitorização, espectroscopia fotoacústica.

### IX. INTRODUÇÃO

Os resíduos de gases anestésicos correspondem a pequenas quantidades desses gases voláteis que se

perdem do sistema de anestesia e/ou do circuito de respiração do paciente para o ambiente interior. São vários os profissionais que se encontram expostos a esse tipo de resíduo, como anestesistas, enfermeiros, médicos cirurgiões e até mesmo outras pessoas presentes nas salas de recobro [1].

A exposição a concentrações residuais de gases anestésicos tem sido associada a efeitos adversos à saúde dos indivíduos expostos, seja em resultados de efeitos crónicos ou agudos [2]. Alguns estudos apontam danos no DNA [3] [4], instabilidade genómica [5], riscos de aborto espontâneo [6], cefaleias, irritabilidade e alterações neurocomportamentais [7].

A monitorização de gases anestésicos em blocos cirúrgicos é fundamental não só para avaliar as suas concentrações no ar interior, mas também para identificar os potenciais pontos de fuga e verificar as medidas de controlo, de modo a minimizar os riscos de exposição e, conseqüentemente, assegurar a saúde e a segurança dos trabalhadores expostos [7]. A monitorização da qualidade do ar interior deve também ser acompanhada pelo registo de outras variáveis importantes, como a humidade relativa, temperatura do ar e o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Este último porque pode exercer efeitos no conforto e na saúde humana, quando atinge níveis superiores a 5000 ppm [8], e, sobretudo, por constituir um excelente indicador de ventilação dos espaços interiores [9].

De acordo com as orientações da NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health), o nível de exposição aos gases halogenados (desflurano, enflurano, halotano, isoflurano e sevoflurano) não pode exceder o valor de 2 ppm durante um período de 1 hora [10]. Para

o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), a Portaria 353-A de 2013 estabelece o valor de 1250 ppm para um período de 8 horas de exposição como limiar de proteção [11]. A temperatura ambiente (T) no bloco operatório pode oscilar de 17°C a 27°C e a humidade relativa (HR) de 30% a 60% [12].

São poucos os estudos encontrados em Portugal acerca deste tema e o país não possui uma legislação que estabeleça o limite de exposição para estes gases, sendo as recomendações da NIOSH as mais adotadas. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar os níveis de resíduos de gases utilizados no bloco operatório de uma unidade hospitalar do distrito de Bragança – o desflurano e o sevoflurano –, bem como os níveis de CO<sub>2</sub>, HR e T, com vista a identificar eventuais pontos críticos e propor medidas de mitigação.

#### X. METODOLOGIA

O estudo foi realizado no Bloco Operatório da Unidade Local de Saúde do distrito de Bragança nas salas de cirurgia geral (SCG), sala de recobro (SR) e zona de transferência (ZT) de doentes durante as intervenções cirúrgicas de colecistectomia laparoscópica, hernioplastia e gastrectomia parcial. Como forma de comparação, realizaram-se ainda medições no hall de acesso aos quartos e bloco operatório, designado a partir de agora por Corredor Externo (CE).

As medições foram realizadas em vários pontos de amostragem (Fig. 1). Na SCG foram: (A) entrada da sala, (B) área próxima do circuito respiratório do paciente, (C) área de respiração dos médicos cirurgiões e enfermeiro instrumentista, (D) área próxima do equipamento de anestesia e (E) área de respiração do anestesista e enfermeiro de anestesia. No recobro as medições foram: (A) na área próximo ao equipamento de anestesia, (B) saída da sala, (C) área de respiração do paciente 1 e (D) área de respiração do paciente 2. Na ZT os pontos foram: (A) próximo a porta 1, (B) próximo a janela, (C) meio da sala e (D) próximo a porta 2. No corredor externo, as medições foram feitas em dois pontos diferentes: (A) mais próximo da entrada do quarto masculino e (B) próximo a janela. Não foi possível fazer medições em mais pontos no CE, devido ao equipamento não possuir bateria.

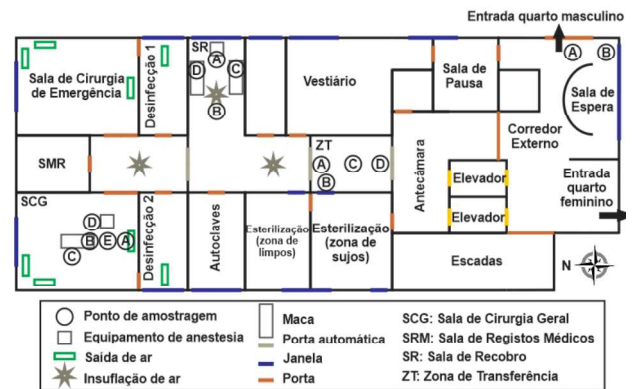


Fig. 1. Layout do bloco operatório da ULSNE Nordeste com localização dos pontos de amostragem na sala de cirurgia geral, recobro, zona de transferência e hall de entrada ao quarto masculino e bloco operatório.

Até ao momento da escrita deste artigo, tinham sido realizadas 15 avaliações, das quais oito foram em cirurgias com o gás sevoflurano e sete com desflurano. O período de medição na SR, ZT e CE foram de aproximadamente de 1 h. Na SCG variou em média entre 1 a 4h, em função da duração das cirurgias.

O hospital utiliza o equipamento de anestesia Leon Plus da marca Löwenstein Medical, o qual possui um sistema de respiração em circuito fechado. Nas cirurgias monitoradas, os pacientes foram submetidos a anestesia geral com intubação endotraqueal com cuff, para evitar fugas durante a ventilação artificial. A escolha de utilização do gás anestésico foi determinado pelo médico anestesista.

Na determinação da concentração interior de gases anestésicos, desflurano e sevoflurano, e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) foi utilizado o equipamento Gasera One Pulse, o qual se baseia no princípio de operação de espectroscopia fotoacústica de infravermelho. As concentrações de etanol e de vapor de água também foram medidas de forma a corrigir a interferência cruzada destes gases nas leituras dos gases anestésicos e CO<sub>2</sub>, respetivamente. O equipamento deteta as concentrações dos gases anestésicos e do CO<sub>2</sub> em tempo real e os resultados foram obtidos com um intervalo de 3 minutos.

A temperatura e a humidade relativa foram medidas pelo equipamento IQ-610 da Graywolf Sense Solutions nas dez primeiras cirurgias e nas cinco restantes foi utilizado uma plataforma arduino equipada com os sensores previamente calibrados, assegurando a medição em tempo real.

Os dados foram tratados no programa JMP versão v.11. A análise estatística descritiva foi realizada para obter a média, desvio padrão, mediana, máximo e mínimo.

## XI. RESULTADOS

### A. Humidade relativa e temperatura do ar

Relativamente à humidade relativa e temperatura do ar não se observaram variações significativas nos valores médios para os diferentes espaços da SCG, SR e ZT (Tabela I).

TABELA I. TEMPERATURA E HUMIDADE RELATIVA NOS LOCAIS DE MEDIÇÃO

		T (°C)	HR (%)
Corredor Externo	Média ± dp	26,7±1,1	32,62±6,56
	Mínimo	24,2	22,33
	Máximo	28,8	53,11
Sala de Cirurgia Geral	Média ± dp	22,5±1,0	36,20±9,22
	Mínimo	19,4	11,80
	Máximo	25,41	52,39
Sala de Recobro	Média ± dp	22,5±1,0	32,03±7,99
	Mínimo	19,5	11,40
	Máximo	24,5	48,95
Zona de Transf.	Média ± dp	23,5±1,0	30,44±7,53
	Mínimo	21,0	11,80
	Máximo	25,4	46,39

Os valores de temperatura oscilaram entre 22,5°C a 23,5°C e os de HR entre 36,2% a 30,44% nos locais referidos. Num dos ensaios registaram-se valores baixos de humidade relativa, tendo variado entre 11% e 13%. A baixa humidade causa desconforto nas vias respiratórias e também estão associadas ao desenvolvimento de doenças respiratórias nos seres humanos [14]. Esta situação pode ocorrer ocasionalmente, dado que o controlo da humidade é efetuado de forma manual.

No entanto, em termos médios, a humidade relativa e a temperatura das salas do bloco operatório mantiveram-se dentro dos níveis estabelecidos nas normas e especificações técnicas para edifícios hospitalares com sistemas AVAC, para os quais se adota um nível de humidade entre 30% e 60% e temperatura de 17°C a 27°C.

No que concerne ao CE, a humidade relativa apresentou valores muito similares aos registados no bloco, mas as temperaturas foram mais elevadas, alcançando um valor máximo de 28,8°C. Este fator pode ser explicado por se situar na ala sul do hospital, local que recebe muita incidência solar, e pelas medições terem sido realizadas na maior parte das vezes no período da tarde.

### B. Ventilação e dióxido de carbono

O bloco operatório do hospital é aclimatizado e ventilado por um sistema AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado) centralizado, tendo uma pressão positiva nas salas de cirurgia. O sistema AVAC tem como função criar conforto térmico (controlo de

temperatura e humidade), fornecer ar exterior limpo aos ocupantes, remover odores e poluentes, através do uso de exaustores, ou diluindo-os até níveis aceitáveis, e fazer o controlo da relação de pressão entre as salas [12].

A ventilação é um dos fatores mais importantes para garantir uma boa qualidade do ar interior (QAI). Neste estudo, os níveis de CO<sub>2</sub> foram usados para avaliar de uma forma indireta o funcionamento do sistema de ventilação, assumindo o estabelecido na portaria 353-A de 2013 e noutras normas internacionais [8] que sugerem existir taxas adequadas de renovação de ar novo sempre que os níveis de CO<sub>2</sub> em espaços interiores forem inferiores a 1250 ppm.

Analisando as concentrações médias de CO<sub>2</sub>, apresentadas na Tabela II, foi constatado que os diferentes espaços do bloco operatório apresentam níveis muito similares e bem abaixo do estabelecido na lei. Desta forma, podemos afirmar, com alguma segurança, que todos os locais do bloco operatório apresentam boa ventilação, contribuindo para uma boa diluição das cargas de poluentes libertados para o ar interior.

TABELA II. MÉDIA E DESVIOS PADRÃO DE CO<sub>2</sub> NOS LOCAIS MEDIDOS

	CO <sub>2</sub> (ppm)			
	SCG	SR	ZT	CE
Média±dp	645,1±81,1	630,4±142,7	624,1±45,5	743,4±112,3
Mínimo	617,6	524,9	561,8	617,6
Máximo	1233,5	1890,6	797,9	1051,2

A Fig. 2, onde se encontra plasmada a variação interquartil e os valores extremos de todos os valores instantâneos de dióxido de carbono, possibilita uma análise mais detalhada da variação dos níveis de CO<sub>2</sub>, para todos os locais avaliados. A SR foi o espaço onde se registaram os valores mais elevados, acima de 1250 ppm, mas foi na SCG onde os níveis excederam com maior frequência os 1000 ppm. Apesar de o sistema de ventilação ser adequado para assegurar níveis baixos de CO<sub>2</sub>, não evitou que pontualmente tenham surgido valores mais elevados em determinados locais, em particular onde se concentram mais pessoas, que constituem a principal fonte de CO<sub>2</sub> nestes espaços.

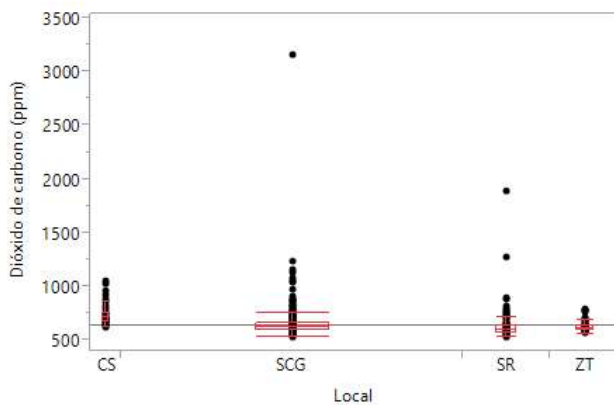


Fig. 2. Boxplot dos níveis de CO<sub>2</sub> obtidos nos diferentes locais avaliados (CE: corredor externo, SCG: Sala de cirurgia geral, SR: sala de recobro, ZT: zona de transferência). A linha horizontal cinza representa a média global de todos os espaços.

Os valores mais baixos foram encontrados na zona de transferência, sendo o mínimo de 562 ppm e o máximo de 798 ppm. O local não apresenta entradas nem saídas de ar, mas os resultados indiciam a existência de uma boa ventilação, devido ao gradiente de pressão existente no bloco que não permite a acumulação de CO<sub>2</sub>, assim como de outros contaminantes.

No corredor externo, como expectável, os valores de CO<sub>2</sub> não atingiram valores críticos (>1250 ppm), mas estiveram sempre acima dos 600 ppm. Trata-se de um local frequentado pelos pacientes internados e pelos funcionários, porém, as portas de entrada para o quarto masculino e a porta de acesso ao piso estão sempre abertas, fornecendo a ventilação adequada ao local.

### C. Concentrações médias de gases anestésicos nos diferentes espaços estudados

Na Fig. 3 apresentam-se as concentrações médias dos gases anestésicos, desflurano e sevoflurano, para os diferentes espaços avaliados. A tabela III complementa a informação ao acrescentar os desvios-padrão, máximos e mínimos, para cada um dos espaços.

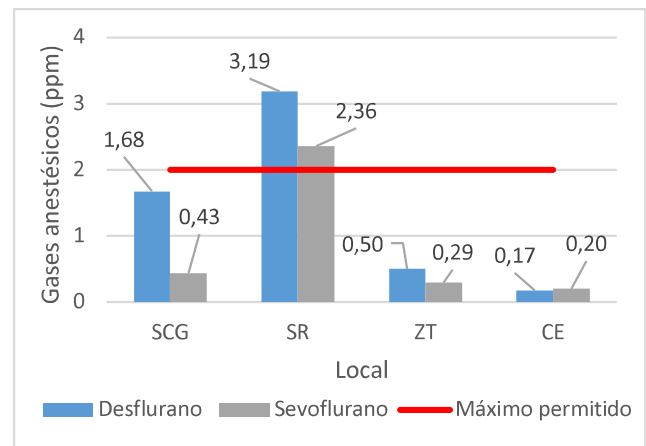


Fig. 3. Concentração média de gases anestésicos nos diferentes locais avaliados.

TABELA III. MÉDIA, DESVIO PADRÃO, MÍNIMO E MÁXIMO DOS GASES ANESTÉSICOS NOS LOCAIS MEDIDOS

Corredor Externo	Desflurano (ppm)		Sevoflurano (ppm)	
	Média ± dp	Mínimo	Máximo	Média ± dp
Sala de Cirurgia Geral	Média ± dp	1,68±3,42	0,43±0,61	0,11
	Mínimo	0,12	0,11	0,11
	Máximo	37,8	8,78	8,78
Sala de Recobro	Média ± dp	3,19±5,69	2,36±9,08	76,7
	Mínimo	0,35	0,25	0,25
	Máximo	31,1	76,7	76,7
Zona de Transf.	Média ± dp	0,50±0,44	0,29±0,09	0,16
	Mínimo	0,16	0,16	0,16
	Máximo	1,73	0,53	0,53

Em termos gerais, constatamos que na ZT e no CE as medições de ambos os gases foram sempre inferiores a 2 ppm, sendo bem evidente a reduzida amplitude de valores obtida ao longo das 15 avaliações realizadas. Estes dois locais cumprem integralmente as recomendações da NIOSH. Como expectável, os níveis mais baixos foram encontrados no CE, pois encontra-se distante dos locais onde são utilizados os gases anestésicos, tendo sido avaliado para servir de referência, uma vez que era suposto apresentar níveis mais baixos do que os locais próximos das fontes de emissão de gases halogenados. O valor máximo foi de 0,32 ppm para o desflurano e 0,35 ppm para o sevoflurano, e o mínimo foi de 0,09 ppm para ambos os gases.

Na SCG, os valores médios do sevoflurano foram relativamente baixos, sendo um pouco mais elevado para o gás desflurano, pois atingiram em alguns momentos valores bastante superiores a 2 ppm, indiciando a ocorrência de situações menos desejáveis. Na SR, as concentrações de sevoflurano e desflurano atingiram valores médios globais de 2,36 ppm e 3,19 ppm, respetivamente, sugerindo ser o espaço mais crítico do bloco operatório. Na SR, apesar de existir

ventilação, com insuflação e exaustão de ar, parece que não é totalmente suficiente para reduzir o efeito da emissão resultante da expiração dos gases anestésicos inalados durante a anestesia do paciente.

*D. Padrão espacial das concentrações médias de gases anestésicos nos diferentes espaços estudados*

Nas figuras que se seguem (Fig. 4 à Fig. 7) apresentam-se os boxplots das variações espaciais das concentrações residuais de desflurano e sevoflurano no ar interior de cada um dos locais avaliados, de modo a conhecer melhor a distribuição dos níveis desses gases e a exposição em função da posição dos ocupantes nesses locais.

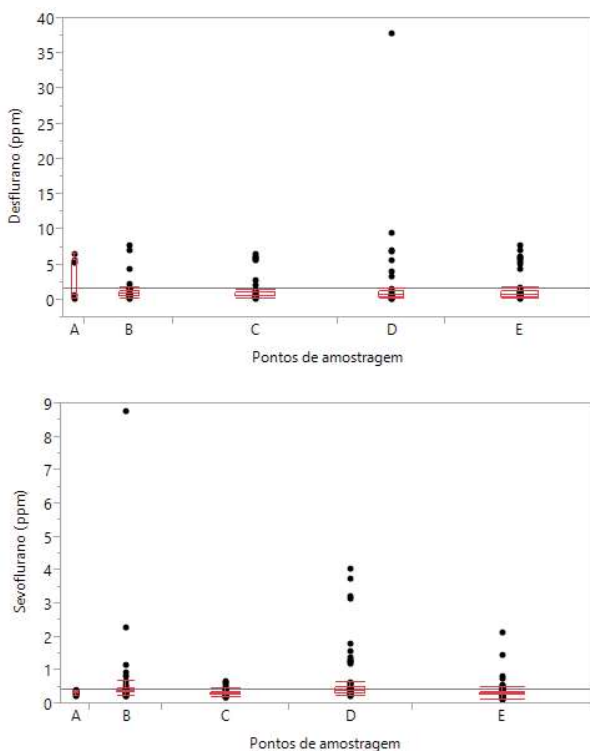


Fig. 4. Boxplot das variações das concentrações residuais do desflurano e sevoflurano no ar ambiente da SCG durante as intervenções cirúrgicas, nos diferentes pontos de amostragem (A - entrada da sala; B- área próxima do circuito respiratório do paciente; C- área de respiração dos médicos cirurgiões e enfermeiro instrumentista; D - área próxima do equipamento de anestesia; E - área de respiração do anestesista e enfermeiro de anestesia).

Analisando a Fig. 4, foi verificado que além da variabilidade das concentrações residuais de desflurano e sevoflurano em cada ponto de medição no decorrer da operação cirúrgica, fica também evidente que ambos os gases apresentam uma distribuição não uniforme na sala operatória. Em relação ao desflurano, as concentrações mais elevadas foram registadas no ponto D (junto ao equipamento de anestesia) e as mais baixas no ponto C (área de respiração dos médicos cirurgiões e enfermeiro instrumentista). No ponto A, B e E ocorreram também de uma forma pontual níveis superiores a 2 ppm. Os

valores mais elevados resultaram de medições realizadas durante um período em que o sistema de exaustão dos gases halogenados esteve temporariamente desligado.

No que respeita ao sevoflurano, os registos mostraram um padrão ligeiramente diferente. Em termos gerais, apesar de se terem obtido valores superiores a 2 ppm, a ocorrência dos mesmos foi em número inferior ao encontrado para as cirurgias com utilização de desflurano. Além disso, apesar de o ponto D surgir igualmente como um dos que apresenta concentrações mais elevadas, foi no ponto B, próximo do circuito respiratório do paciente, que foi detetado o valor mais elevado. Como era esperado, o ponto A, junto à entrada da sala, registou, de uma forma muito sistemática, as concentrações mais baixas, ao contrário do que ocorreu nas cirurgias com desflurano.

Na sala de recobro (Fig. 5) vislumbramos aspetos similares aos já reportados para a sala de cirurgia, mas há um padrão mais característico e comum para os dois gases.

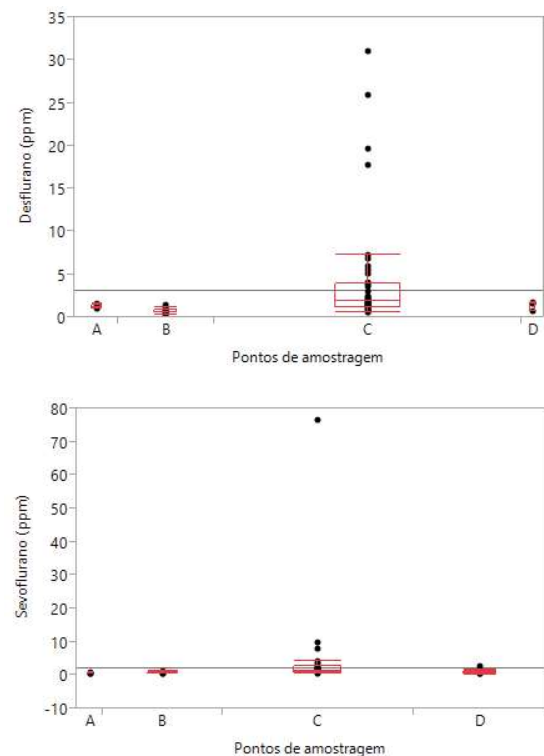


Fig. 5. Boxplot das variações das concentrações residuais de desflurano e sevoflurano no ar ambiente do SR por pontos de amostragem (A - área próxima do equipamento de anestesia; B - saída da sala; C- área de respiração do paciente 1; D - área de respiração do paciente 2).

Os pontos de medição A, B e D apresentaram uma baixa variabilidade, enquanto o ponto C (associados à área de respiração do paciente) se caracteriza por uma elevada variabilidade de valores, em particular para o

desflurano, sendo aquele que coloca este espaço como sendo o mais crítico dos avaliados. Assim, a área de risco foi somente o ponto de medição próximo ao paciente, após este ser submetido em anestesia geral com utilização de gases anestésicos. O sistema de ventilação existente não evitou esses valores mais elevados, mas certamente que contribui para a redução da exposição em áreas um pouco mais afastadas do paciente.

Em relação à zona de transferência (Fig. 6), os níveis de desflurano e de sevoflurano foram baixos em todos os locais monitorizados, embora apresentem alguma variabilidade dentro do intervalo registado. Os valores mais elevados de desflurano ocorreram no dia em que o sistema de exaustão deste gás esteve desligado, conseguindo alcançar e acumular-se em locais mais distantes de onde foi utilizado.

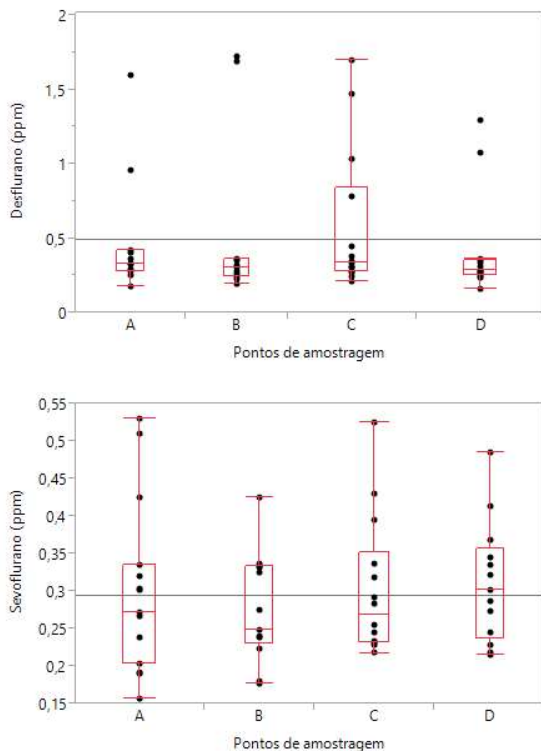


Fig. 6. Boxplot das variações das concentrações residuais de desflurano e sevoflurano no ar ambiente da ZT por pontos de amostragem (A- porta 1, B- janela, C- meio da sala e D- porta 2).

No corredor externo, não se detetou qualquer variabilidade espacial substancial, ainda que os pontos selecionados não representem espacialmente todo o espaço (Fig. 7).

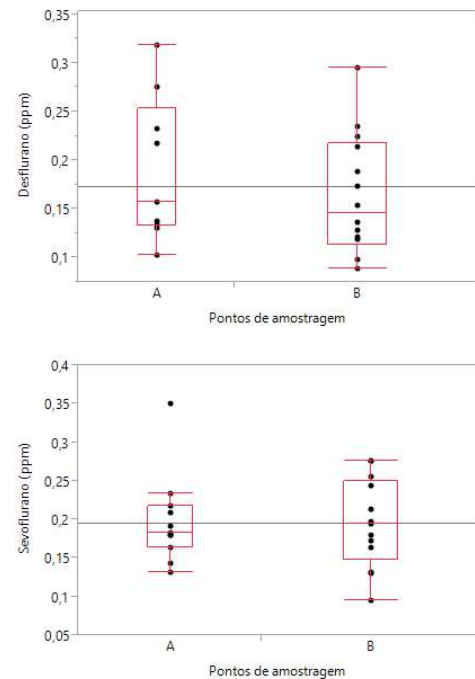


Fig. 7. Boxplot das variações das concentrações residuais do desflurano e sevoflurano no ar ambiente do CE durante as intervenções cirúrgicas, nos diferentes pontos de amostragem (A - entrada dos quartos masculino; B- área próxima à janela).

#### E. Avaliação quantitativa de situações críticas

Ainda que de forma muito simplista e técnica e cientificamente inadequada, decidimos fazer uma avaliação quantitativa das situações mais críticas, tendo por base o número total de amostras/medições realizadas, as concentrações dos gases halogenados obtidas para cada medição e o limiar recomendado pela NIOSH. Pois, importa referir que o limiar da NIOSH foi definido para um período de 1 hora e as nossas amostras apenas podemos considerá-las representativas de um período de 3 minutos.

A análise que se segue será restrita à sala de cirurgia e sala de recobro, por serem as duas onde ocorreram excedências do limiar da NIOSH, de acordo com a premissa referida no parágrafo anterior.

Na sala de cirurgia das 525 amostras, 7% dos resultados excederam o limiar. No ponto D – área próxima ao equipamento de anestesia –, das 7 amostras em não conformidade, 3 são do desflurano e 4 amostras do sevoflurano. A maioria dos resultados dos resíduos de desflurano em “não conformidade” encontrados na SCG ocorreram no dia em que o sistema de exaustão estava desligado. Das 30 amostras acima de 2 ppm, 23 aconteceram com este incidente detetado como uma falha humana, sendo 3 no ponto A (entrada da sala), 2 no ponto B (área próxima ao circuito respiratório do paciente), 6 no ponto C (área de respiração dos médicos cirurgiões e enfermeiro instrumentista, 3 no ponto D e

9 no ponto E (área de respiração do anestesista e enfermeiro de anestesia). Importa realçar que estas 23 amostras de “não conformidade” decorreram num período de 63 minutos de exposição, pelo que configuram uma situação indesejável e crítica. Esta situação é bem demonstrativa da importância de se ter um sistema de exaustão dos gases halogenados no bloco operatório, como também foi confirmado por Braz et al. (2017) [13].

Para o gás sevoflurano, somente 7 amostras excederam o limiar. Ou seja, mesmo com o sistema de exaustão funcionando corretamente, foi possível detetar algumas “não conformidades”. Duas delas foram no ponto B (área próxima do circuito respiratório do paciente), quatro no ponto D (área próximo do equipamento de anestesia) e uma no ponto E (área de respiração do anestesista e enfermeiro de anestesia). No ponto A e C não foram encontrados resultados de não conformidades para os resíduos de sevoflurano.

Em relação à sala de recobro, a percentagem de excedências foi mais elevada (21,5%), ou seja, das 135 amostras analisadas neste local, 29 foram superiores a 2 ppm, sendo 12 com observados para o sevoflurano e 19 para o desflurano (Fig. 8). Além do paciente estar expirando os gases inalados durante a anestesia, pode ser que o sistema de ventilação do recobro não seja suficiente. Este é um fator importante para ser discutido, pois a equipa médica não faz a utilização da máscara neste local, ficando totalmente exposta aos resíduos de gases anestésicos diariamente.

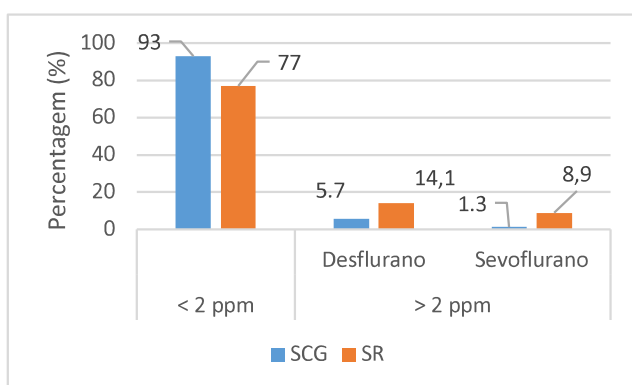


Fig. 8. Resultados das avaliações conformes e não conformes no recobro e sala de cirurgia em percentagem.

## XII. CONCLUSÃO

O trabalho desenvolvido, ainda em fase de progresso, permitiu conhecer a dinâmica temporal e a variação espacial dos gases anestésicos e de outros parâmetros de conforto ambiental e de ventilação como o CO<sub>2</sub>, HR e T em diferentes locais do bloco operatório

de uma unidade hospitalar, bem como de um local de acesso fácil e de passagem (Corredor Externo).

Portanto, o presente estudo, apresenta com algum detalhe as variações espaciais e de gases anestésicos e de outros parâmetros de QAI, podendo constituir um guia de referência para ajudar a definir metodologias em trabalhos futuros.

As médias da temperatura e humidade relativa do ar no bloco operatório do hospital encontram-se dentro das recomendações técnicas para instalações de AVAC em edifícios hospitalares, o qual adota o nível de humidade entre 30% e 60% e temperatura de 17°C a 27 °C. Entretanto, é importante que a verificação seja feita constantemente para garantir que a qualidade do ar no bloco esteja dentro dos padrões para a realização das tarefas dos trabalhadores, assegurando a sua saúde, visto que foram detetados resultados com a humidade muito baixa.

Os resultados do CO<sub>2</sub> indicaram que todo o bloco operatório do hospital é ventilado de forma adequada, ainda que pontualmente surjam situações que requeiram otimização do sistema de ventilação, como na SCG e SR, foram detetados algumas situações com alguma criticidade.

Os resultados dos resíduos de gases anestésicos permitiram ainda enfatizar a importância de um sistema de exaustão de gases halogenados eficaz no bloco operatório do hospital, sob pena de expor todos os ocupantes a valores preocupantes para o conforto e a saúde dos mesmos.

As situações mais críticas foram encontradas no recobro, principalmente no ponto C – área de respiração do paciente em que foi submetido a anestesia geral – para ambos os gases analisados (desflurano e sevoflurano). Isso acontece devido à expiração dos gases anestésicos utilizados durante a cirurgia, por parte do paciente. Mesmo sendo um local que possui boa ventilação, pode ser necessário que o hospital adquira um sistema de exaustão mais eficiente na SR. É importante ressaltar que os enfermeiros e médicos presentes neste ambiente estão expostos a estes resíduos diariamente, podendo adquirir problemas de saúde a longo prazo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação para Ciência e Tecnologia (FCT, Portugal) e FEDER ao abrigo do Programa PT2020 pelo apoio financeiro ao CIMO [UID/AGR/00690/2019]. Os autores agradecem igualmente à equipa médica de enfermagem presente e funcionários do hospital pela cooperação neste estudo.

## REFERÊNCIAS

- NIOSH – National Institute for Occupational Safety and Health. **Waste Anesthetic Gases: Occupational Hazards in Hospitals**. 2007.
- UHS – UNIVERSITY HEALTH SERVICES ENVIRONMENTAL & OCCUPATIONAL HEALTH. **Waste Anesthetic Gas (WAG) Scavenging System Guidance**. Madison, 2017. Disponível em: <[https://www.uhs.wisc.edu/wp-content/uploads/2017\\_04\\_11\\_Waste-Anesthetic-Gas-Scavenging-System-Guidance.pdf](https://www.uhs.wisc.edu/wp-content/uploads/2017_04_11_Waste-Anesthetic-Gas-Scavenging-System-Guidance.pdf)>. Acesso em: 10 de jan. 2019.
- PAES, E. R. C.; BRAZ, M. G.; LIMA, J. T.; SILVA, M. R. G.; SOUSA, L. B.; LIMA, E. S.; VASCONCELLOS, M. C.; BRAZ, J. R. C. DNA damage and antioxidant status in medical residents occupationally exposed to waste anesthetic gases. **Acta Cirúrgica Brasileira**. Vol. 29, nº 4 (2014), p. 280-286.
- LUCIO, L. M. C.; BRAZ, M. G.; JUNIOR, P. N.; BRAZ, J. R. C.; BRAZ, L. G. Occupational hazards, DNA damage, and oxidative stress on exposure to waste anesthetic gases. **Revista Brasileira de Anestesiologia**. ISSN 0104-0014. Vol. 68, (2018) p. 33-41.
- SOUZA, K. M.; BRAZ, L. G.; NOGUEIRA, F. R.; SOUZA, M. B.; BINCOLETO, L. F.; AUN, A. G.; CORRENTE, J. E.; CARVALHO, L. R.; BRAZ, J. R. C.; BRAZ, M. G. Occupational exposure to anesthetic leads to genomic instability, cytotoxicity and proliferative changes. **Mutation Research**. Vol. 791-792, (2016) p. 42-48.
- LAWSON, C. C.; ROCHELEAU, C. M.; WHELAN, E. A.; HIBERT, E. N. L.; GRAJELSKI, B.; SPIEGELMAN, D.; RICH-EDWARDS, J. W. Occupational exposures among nurses and risks of spontaneous abortion. **American Journal of Obstetrics & Gynecology**. (2008) p. 327.e1-327.e8.
- McGREGOR, D. G. Occupational Exposure to Trace Concentrations of Waste Anesthetic Gases. **Mayo Clinic Proceedings**. ISSN 0025-6196. Vol. 75, (2000) p. 273-277.
- ASHRAE, (2013), ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2013, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- Jones, B., Kirby, R., (2012), Indoor Air Quality in U.K. School Classrooms Ventilated by Natural Ventilation Windcatchers, *International Journal of Ventilation*, 10 (4), 323-337.
- National Institute for Occupational Safety and Health. 1977. *Criteria for a recommended standard: Occupational Exposure to Waste Anesthetic Gases and Vapors*. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health, Education, and Welfare. Public Health Service. Center for Disease Control. National Institute for Occupational Safety and Health. Disponível em: <<https://www.cdc.gov/niosh/docs/77-140/default.html>>. Acesso em: 11 de jun. 2019.
- República Portuguesa – Portaria Nº 353/2013, de 04 de Dezembro de 2013 relativo aos valores mínimos de caudal de ar novo por espaço, bem como os limiares de proteção e as condições de referência para os poluentes do ar interior dos edifícios de comércio e serviços novos, sujeitos a grande intervenção e existentes e a respetiva metodologia de avaliação. *Diário da República*, 1ª série, Nº 235.
- Ministério da Saúde. 2008. *Especificações Técnicas para Instalações de AVAC – ET 06/2008*. Disponível em: <[http://www.acss.min-saude.pt/wp-content/uploads/2016/09/Especificacoes\\_Tecnicas\\_06\\_2008.pdf](http://www.acss.min-saude.pt/wp-content/uploads/2016/09/Especificacoes_Tecnicas_06_2008.pdf)>. Acesso em: 24 de jul. 2019. V. 2014. ISSN: 1646-821X.
- BRAZ, L. G.; BRAZ, J. R. C.; CAVALCANTE, G. A. S.; SOUZA, K. M.; LUCIO, L. M. C.; BRAZ, M. G. Comparação de resíduos de gases anestésicos em salas de operação com ou sem sistema de exaustão em hospital universitário brasileiro. **Revista Brasileira de Anestesiologia**. ISSN 0034-7094. Vol. 67, (2017) p. 516-520.
- DAVIS, R. E.; MCGREGOR, G. R.; ENFIELD, K. B. Humidity: A review and primer on atmospheric moisture and human health. **Environmental Research**. Vol. 144, (2016) p. 106-116.