

EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL A GASES ANESTÉSICOS NO BLOCO OPERATÓRIO DO HOSPITAL DISTRITAL DE BRAGANÇA

VANESSA YUKIE YAMANAKA

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de
Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Tecnologia
Ambiental, no âmbito da dupla diplomação com a
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus
Londrina*

Orientado por:

MANUEL FELICIANO

ERMELINDA LOPES PEREIRA

JOSEANE DEBORA PERUÇO THEODORO

Bragança

2019

EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL A GASES ANESTÉSICOS NO BLOCO OPERATÓRIO DO HOSPITAL DISTRITAL DE BRAGANÇA

VANESSA YUKIE YAMANAKA

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de
Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Tecnologia
Ambiental, no âmbito da dupla diplomação com a
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus
Londrina*

Orientado por:

**MANUEL FELICIANO
ERMELINDA LOPES PEREIRA
JOSEANE DEBORA PERUÇO THEODORO**

Bragança

2019

Para mamãe, papai, Aulus e Feliciano.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu coordenador do curso de Engenharia Ambiental, Professor Doutor Aulus R. R. Bineli, pela oportunidade de poder desenvolver este trabalho numa instituição de ensino superior portuguesa. Agradeço também toda a paciência do meu orientador, Professor Doutor Manuel Feliciano, pela oportunidade e colaboração com o desenvolvimento deste estudo em Bragança. À Professora Doutora Ermelinda Lopes Pereira, pela orientação, aprendizado e companheirismo, que fizeram com que pudéssemos trabalhar juntas lado a lado. À Professora Doutora Joseane Débora Peruço Theodoro, pela confiança, orientação e representação da UTFPR Câmpus Londrina. Sem este apoio, mesmo à distância, seria imprescindível o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço também à minha família, por todo apoio e confiança no desenvolvimento deste trabalho, que mesmo com todas as dificuldades nunca foi hipótese desistir. Obrigada mamãe Emília e papai Mário!

Aos meus amigos que pude fazer em Bragança, por toda descontração, dias de alegria, sorrisos, apoio, tristeza, dificuldades que pudemos enfrentar juntos. Sem todo esse apoio não sei o que seria de mim!

À minha psicóloga Doutora Nadine, pelo apoio nos momentos mais difíceis. Sem esse apoio, proporcionado pelo serviço social do IPB, eu estaria perdida pelos caminhos da minha vida.

Ao Instituto Politécnico de Bragança e à Universidade Tecnológica Federal do Paraná por me conceder esta bolsa de estudos no programa de Dupla Diplomação. Foi, sem dúvidas, fundamental todo o apoio e recurso fornecido para o desenvolvimento deste estudo neste intercâmbio.

À Enfermeira Fátima Domingues e à simpática Enfermeira Alexandra pela cooperação e oportunidade de poder desenvolver este trabalho no bloco operatório da Unidade Hospitalar de Bragança. Meu muito obrigada a todos da equipe de enfermagem, médicos cirurgiões e médicos anestesiologistas presentes.

Ao Leonardo Fürst, por disponibilizar o seu tempo no desenvolvimento de um sensor *lowcost* especialmente para a continuidade deste projeto. Obrigada pela amizade e por sempre estar disposto quando eu precisei!

COMUNICAÇÕES E PUBLICAÇÕES EM EVENTOS CIENTÍFICOS, NO ÂMBITO DO TRABALHO DESENVOLVIDO NA DISSERTAÇÃO

Yamanaka, V. Y., Feliciano, M. J. S., Pereira, E. L., Theodoro, J. D. P. (2019). Resíduos de gases anestésicos no bloco operatório do hospital distrital de Bragança. 2ª Escola de Verão & Simpósio de Dupla Diplomação DD2019. Bragança, 2019.

Yamanaka, V. Y., Pereira, E. L., Theodoro, J. D. P., D'ávila L., Domingues, M.F., Feliciano, M. (2019). Resíduos de Desflurano e Sevoflurano em Bloco Operatório de uma Unidade Hospitalar. Atas do V Congresso Ibero-Americano de Empreendedorismo, Energia, Meio Ambiente e Tecnologia (CIEEMAT), Portalegre.

Yamanaka, V. Y., Pereira, E., Theodoro, J., D'ávila L., Domingues, F., Feliciano, M. (2019). Exposição ocupacional de desflurano e sevoflurano no bloco operatório de uma unidade hospitalar. Congresso Nacional das Escolas Superiores Agrárias (CNESA), Viseu. Acesso em: <<https://cnesa.esav.ipv.pt/resumos.html>>. <https://cnesa.esav.ipv.pt/eposter_ca.html>.

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 tempo mais longos. A NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) estabelece como limite de exposição de curto termo (1 hora) a concentração de 2 ppm para gases anestésicos halogenados. Neste âmbito, o objetivo deste trabalho foi avaliar a exposição dos profissionais de saúde da Unidade Hospitalar de Bragança em três locais do bloco operatório (sala de cirurgia geral, sala de recobro, zona de transferência), em comparação com os níveis de exposição no hall de acesso ao bloco operatório (Corredor Externo). 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 IQ-610 da Graywolf e com um sensor *lowcost* construído e calibrado para o efeito. O equipamento de anestesia do hospital é o Leon Plus da marca Löwenstein Medical e o circuito de anestesia ocorre em sistema fechado. Os resultados revelam a existência de uma gestão relativamente eficaz dos resíduos destes gases, ainda que demonstrem que é necessário um enorme cuidado com a manutenção e operação do sistema de ventilação e do sistema anestésico e que na sala de recobro tenham sido detetadas excedências aos níveis definidos pela NIOSH, para ambos os gases estudados. Na sala de recobro a ventilação parece não ser tão eficaz como na sala de cirurgia para diluir as cargas de resíduos anestésicos libertados pelo paciente. A zona de transferência e o hall de entrada não foram, todavia, afetados pelos níveis registados na sala de recobro. As excedências aos valores limite foram de maior magnitude e mais frequentes com o gás desflurano, devido, em parte, a este ser administrado ao paciente em concentrações mais elevadas. Embora as situações encontradas não sejam muito críticas, os profissionais de saúde presentes no bloco operatório estão expostos a estes resíduos diariamente, podendo adquirir problemas de saúde a longo prazo. Portanto, é importante melhorar a eficácia do sistema AVAC na sala de recobro do bloco operatório, mas também garantir permanentemente o bom funcionamento dos sistemas AVAC e anestésico.

Palavras-Chave: gases anestésicos; sala de cirurgia; sala de recobro; monitorização; espectroscopia fotoacústica.

ABSTRACT

Waste anesthetic gas can cause a variety of diseases in humans, either due to exposures to high short-term concentrations or exposures to lower concentrations, but for longer periods. The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) sets as a short-term (1-hour) exposure limit the concentration of 2 ppm for halogenated anesthetic gases. In this context, the objective of this study was to evaluate the exposure of health professionals of the Bragança Hospital Unit in three operating room locations (general operating room, recovery room, transfer zone), compared to the exposure levels in the hall access to the operating room (External Corridor). The study involved the measurement of desflurane and sevoflurane residues, as well as carbon dioxide, relative humidity and air temperature at different points in each of the referred spaces. Anesthetic gases and carbon dioxide were measured with the Gasera One Pulse analyzer, whose measurement principle is based on infrared photoacoustic spectroscopy. Relative humidity and air temperature were monitored with a Graywolf IQ-610 probe and a lowcost sensor built and calibrated for this purpose. The hospital anesthesia equipment is Leon Plus of the Löwenstein Medical brand and the anesthesia circuit occurs in a closed system. The results show relatively efficient waste management of these gases, although they show that great care is required with the maintenance and operation of the ventilation system and anesthetic system and that in the recovery room exceedances have been detected at the defined levels NIOSH for both gases studied. In the recovery room ventilation seems not to be as effective as in the operating room to dilute the loads of anesthetic waste released by the patient. However, the transfer area and lobby were not affected by the levels recorded in the recovery room. Exceedances to the limit values were greater and more frequent with desflurane gas, due in part to its being administered to the patient in higher concentrations. Although the situations found are not very critical, health professionals present in the operating room are exposed to these wastes daily, and may acquire long-term health problems. Therefore, it is important to improve the effectiveness of the HVAC system in the operating room recovery room, but also to permanently ensure the proper functioning of the HVAC and anesthetic systems.

Key words: anesthetic gases; operation room; recovery room; monitoring; photoacoustic spectroscopy.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	ii
COMUNICAÇÕES E PUBLICAÇÕES EM EVENTOS CIENTÍFICOS, NO ÂMBITO DO TRABALHO DESENVOLVIDO NA DISSERTAÇÃO	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABELAS	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.2.1 Gerais.....	2
1.2.2 Específicos.....	2
1.3 ESTRUTURA DA TESE	3
2. GASES ANESTÉSICOS EM UNIDADES HOSPITALARES.....	4
2.1 GASES ANESTÉSICOS INALATÓRIOS	4
2.2 EFEITOS COLATERAIS DOS GASES ANESTÉSICOS	7
2.2.1 Efeitos na saúde humana	7
2.2.2 Efeitos no ambiente	10
2.3 ANESTESIA GERAL	11
2.3.1 Procedimentos de anestesia geral	12
2.3.2 Sistemas de respiração em anestesia geral	12
2.4 FATORES DETERMINANTES DOS NÍVEIS DE GASES ANESTÉSICOS EM ATMOSFERAS INTERIORES HOSPITALARES.....	16
2.4.1 Principais fontes	16
2.4.2 Ventilação dos espaços interiores.....	17
2.4.3 Conforto Térmico	18
2.5 MONITORIZAÇÃO DE GASES ANESTÉSICOS.....	20
2.5.1 Tipos de monitorização	20
2.5.2 Metodologias de monitorização.....	21
2.6 AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO HUMANA A GASES ANESTÉSICOS	24
2.6.1 Conceitos fundamentais.....	24
2.6.2 Indicadores da exposição.....	26
2.7 NORMAS E PADRÕES INTERNACIONAIS.....	28

2.7.1 União Europeia	28
2.7.2 Portugal.....	30
2.7.3. Mundial.....	31
3. METODOLOGIA.....	33
3.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO	33
3.2 ESTAÇÃO DE TRABALHO DE ANESTESIA	36
3.3 DESCRIÇÃO EXPERIMENTAL	37
3.3.1 Medições de parâmetros físico-químicos	37
3.4 EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO UTILIZADOS	40
3.4.1 Gases anestésicos e dióxido de carbono	40
3.4.2 Temperatura e humidade relativa	42
3.5 PROCESSAMENTO DE DADOS E ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	43
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1 HUMIDADE RELATIVA E TEMPERATURA DO AR.....	45
4.2 CONCENTRAÇÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO E VENTILAÇÃO DOS ESPAÇOS ESTUDADOS.....	47
4.3 CONCENTRAÇÕES DE RESÍDUOS DE GASES ANESTÉSICOS	49
4.3.1 Medições sem cirurgias	49
4.3.2 Com a ocorrência de cirurgias	50
4.3.2.1 Variabilidade entre espaços	50
4.3.2.2 Variabilidade em cada espaço	52
4.4 CORRELAÇÃO ENTRE OS NÍVEIS DE GASES ANESTÉSICOS E OUTRAS VARIÁVEIS ESTUDADAS.....	56
4.5 EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL	58
4.5.1 Exposição de curto termo em cirurgias distintas	58
4.5.2 Exposição de curto-termo em cirurgias de colecistectomia laparoscópica	60
4.5.3 Exposição em cirurgias longas	62
4.5.4 Avaliação Quantitativa de Situações Críticas.....	64
4.6 SUGESTÃO DE MELHORIAS.....	65
5. CONCLUSÕES.....	67
REFERÊNCIAS	69
ANEXO A.....	75
ANEXO B.....	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Sistema de fornecimento de gases nos ventiladores de anestesia.	13
Figura 2 – Configuração eficiente de um circuito de anestesia de sistema fechado.	14
Figura 3 – Diagrama psicométrico adaptado por Givoni.	19
Figura 4 – Sistema de poluição do ar: conceitualização contínua da fonte aos efeitos da saúde humana.	24
Figura 5 – Layout do bloco operatório do Hospital Distrital de Bragança (vista superior).	34
Figura 6 – Sistema de insuflação (grelhas na parede) e saída de ar (grelhas no teto) na sala de cirurgia geral. A) Entrada da sala. B) Fundo da sala.	34
Figura 7 – Sala de recobro da ULSNE de Bragança.	35
Figura 8 – Equipamento de anestesia Leon Plus.	36
Figura 9 – Pontos de amostragem na sala de cirurgia geral (SCG).	38
Figura 10 – Pontos de amostragem na sala de recobro (SR).	39
Figura 11 – Pontos de amostragens na zona de transferência (ZT).	39
Figura 12 – Ponto de amostragem no corredor externo (CS).	40
Figura 13 – Equipamento Gasera One Pulse em funcionamento no hospital.	40
Figura 14 – A) Célula fotoacústica de infravermelho do Gasera One Pulse. B) Microfone óptico cantilever ultrasensível (patenteado).	41
Figura 15 – Equipamentos utilizados na medição de temperatura e humidade relativa. A) Sonda IQ-610 GrayWolf. B) Sensor de baixo custo em prototipagem eletrônica de Arduíno.	42
Figura 16 – Boxplot com representação interquartil e valores extremos da Temperatura e humidade relativa do CE, SCG, SR e ZT.	45
Figura 17 – Conforto térmico do bloco operatório do hospital: baixa humidade.	47
Figura 18 – Variação de CO ₂ nos locais avaliados sem a ocorrência de procedimentos cirúrgicos (à esquerda) e com a ocorrência de procedimentos cirúrgicos (à direita).	48
Figura 19 – Variação do gás desflurano e sevoflurano no CE, SCG, SR e ZT em dias sem cirurgias.	50
Figura 20 – Concentração média de desflurano e sevoflurano nos diferentes locais avaliados.	51
Figura 21 – Resultados das medições de desflurano e sevoflurano na sala de cirurgia geral (SCG).	53

Figura 22 – Resultados das medições de desflurano e sevoflurano na sala de recobro (SR).	54
Figura 23 – Resultados das medições de desflurano e sevoflurano na zona de transferência (ZT).....	55
Figura 24 – Resultados das medições de desflurano e sevoflurano no corredor externo (CE).	56
Figura 25 – Matriz de correlação múltipla aplicado na SCG (à esquerda) e SR (à direita), com os gases desflurano (em cima) e sevoflurano (embaixo).....	57
Figura 26 – Concentração do gás fornecido no circuito anestésico pelo An1, An2 e An3 durante uma cirurgia de aproximadamente 1,2h.	59
Figura 27 – Resultados das medições na SCG (à esquerda) e SR (à direita) em exposição de 1,2h. Em cima: paciente do An1; Meio: paciente do An2; Embaixo: paciente do An3.	59
Figura 28 – Concentração do gás fornecido ao circuito anestésico pelo An1, An2 e An3 durante a cirurgia de colecistectomia laparoscópica.	61
Figura 29 – Resultados das medições na SCG (à esquerda) e no SR (à direita) em cirurgias de colecistectomia laparoscópica. Em cima: paciente do An1; Meio: paciente do An2; Embaixo: paciente do An3.	61
Figura 30 – Concentração de sevoflurano fornecido no circuito anestésico pelo An2 e An3 durante em uma cirurgia longa.	62
Figura 31 – Resultados das medições na SCG (à esquerda) e no SR (à direita) em cirurgias de longa duração. Em cima: paciente do An2; Embaixo: paciente do An3.	63
Figura 32 – Resultados das avaliações conformes e não conformes no recobro e sala de cirurgia em percentagem.	65

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Gases anestésicos disponíveis no mercado ao longo dos tempos.....	5
Tabela 2 – Propriedades físicas dos gases anestésicos inalatórios.	6
Tabela 3 – Parâmetros recomendados no bloco operatório para instalações AVAC em ambiente hospitalar.....	17
Tabela 4 – Valores limite de exposição de alguns gases anestésicos na Suíça, França e Alemanha.....	29
Tabela 5 – Valor limite de exposição do protóxido de azoto (N ₂ O), desflurano, isoflurano e sevoflurano em alguns países europeus.....	29
Tabela 6 – Quantidade de cirurgias em que foram realizadas medições e seu respectivo gás anestésico utilizado.....	37
Tabela 7 – Dióxido de carbono nos locais avaliados sem e com a ocorrência de procedimentos cirúrgicos.....	47
Tabela 8 – Concentrações dos resíduos de gases anestésicos nos diferentes locais avaliados.	51
Tabela 9 – Estatística descritiva das medições realizadas na sala de cirurgia geral.....	54
Tabela 10 – Resultados das medições com o desflurano na sala de cirurgia.	76
Tabela 11 – Resultados das medições com o sevoflurano na sala de cirurgia.	76
Tabela 12 – Resultados dos resíduos de desflurano na sala de recobro.	76
Tabela 13 – Resultados dos resíduos de sevoflurano na sala de recobro.	77

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Os resíduos de gases anestésicos são pequenas quantidades de gases anestésicos voláteis que vazam do sistema de respiração de anestesia do paciente para o ar das salas de cirurgias durante a aplicação da anestesia (NIOSH, 2007). São vários os profissionais que se encontram expostos a esse tipo de resíduo, como anestesiistas, dentistas, enfermeiros, médicos-cirurgiões e até mesmo outras pessoas presentes nas salas de recobro (NIOSH, 2007), visto que estes gases são utilizados na medicina humana, veterinária (ALEXANDRE et al., 2008) e odontologia (COHEN et al., 1980).

Nos últimos anos, muitos estudos têm sido realizados sobre esta temática dos resíduos de gases anestésicos que circulam pelos ambientes hospitalares. Braz et al. (2017) compararam os resíduos de gases anestésicos em salas com e sem sistema de exaustão num hospital universitário brasileiro e concluíram que na sala sem sistema de exaustão a concentração residual dos gases de isoflurano e sevoflurano foram consideravelmente superiores. Norton et al. (2015) avaliaram múltiplas amostras de vários setores do Hospital de São João (Porto, Portugal), nomeadamente no bloco central, centro cirúrgico, unidade de queimados, serviço de urgência, entre outros e Lucio et al. (2018) realizaram um estudo em que avaliaram a exposição ocupacional aos resíduos dos gases anestésicos e o seu impacto em profissionais expostos, com ênfase para a avaliação de danos genéticos e *stress* oxidativo.

No manual publicado em 2007 pela *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH, 2007) é referido que os principais efeitos causados pela exposição a gases anestésicos em elevada concentração, mesmo com um tempo curto de exposição, são a dor de cabeça, irritabilidade, fadiga, náuseas, tonturas, dificuldade na coordenação e doenças no fígado e rins. Num estudo realizado por Wyrobek et al. (1981), no qual foram analisados os espermatozoides de 46 anestesiistas que estavam no ramo de trabalho, há mais de 1 ano, detetou-se que os espermatozoides destes possuíam mais anomalias na amostra recolhida 1 ano após a primeira recolha.

A monitorização ambiental dos gases anestésicos é fundamental para avaliar a sua concentração, identificar os potenciais pontos de libertação para a atmosfera interior, verificar a eficácia das medidas de controlo e assegurar a saúde e a segurança dos trabalhadores expostos (McGREGOR, 2000). Apesar de a relação causa-efeito seja difícil

de estabelecer, têm sido recomendados, por várias organizações internacionais, valores limite de exposição a gases anestésicos para minimizar os riscos na saúde (BRAZ et al., 2017).

Segundo publicações da NIOSH (1977), o valor recomendado para o limite de exposição de curto termo (1 hora) a gases halogenados é de 2 ppm. Para o óxido nitroso, outro tipo de gás anestésico, quando este gás é utilizado como um único agente, o limite de exposição pode chegar a concentrações médias de 25 ppm em 8 horas de trabalho (ou 40 horas semanais), e quando é usado em combinação com os gases halogenados é aceitável somente 0,5 ppm como valor limite de exposição em 8 horas (OLIVEIRA, 2009).

De acordo com a *International Social Security Association* (ISSA, 2001) é uma exigência legal de todos os países a elaboração de valores limite de exposição para a análise e avaliação de risco no local de trabalho. Porém alguns países europeus, como a Suíça e Alemanha, apresentam divergências no estabelecimento da magnitude do valor limite de exposição aos gases anestésicos. A França possui um guia de prevenção a exposição ocupacional de gases e vapores anestésicos aplicáveis para a fase de manutenção de anestésias (ISSA, 2001). Portanto, a norma mais utilizada pelos técnicos profissionais em Higiene e Segurança no Trabalho e pelos investigadores é a da NIOSH.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Gerais

O objetivo geral deste trabalho consiste em avaliar a qualidade do ar no bloco operatório da Unidade Local de Saúde do Nordeste (ULSNE) de Bragança em relação aos resíduos de gases anestésicos.

1.2.2 Específicos

Como objetivos específicos, estabeleceram-se os seguintes:

- Medir os resíduos de desflurano e sevoflurano na ULSNE de Bragança;
- Avaliar a exposição dos profissionais e dos pacientes a esses resíduos de gases anestésicos na sala de cirurgia, recobro e zona de transferência;

- Identificar os fatores que mais contribuem para o incremento dos níveis de exposição;
- Propor medidas de redução dos níveis de exposição.

1.3 ESTRUTURA DA TESE

No primeiro capítulo encontra-se o enquadramento e a contextualização do tema, a relevância do estudo e os objetivos definidos no trabalho.

O Capítulo 2 aborda os gases anestésicos em unidades hospitalares com conteúdo de revisão bibliográfica, sendo abordado o histórico da utilização, definição e classificação, os efeitos adversos à saúde das pessoas expostas aos gases anestésicos e os efeitos ambientais, tipos de anestesia existentes, tipos de sistemas anestésicos existentes, fatores que interferem na qualidade do ar interior (QAI), importância da monitorização dos gases e as normas e padrões existentes. Será abordado também o tema de conforto térmico em edifícios interiores.

No Capítulo 3 será abordado sobre o local de estudo, bem como a metodologia aplicada, equipamentos utilizados e a ferramenta utilizada para tratar os dados estatísticos.

No Capítulo 4 será abordado, primeiramente, os resultados de humidade relativa e temperatura do ar do bloco operatório, sendo aplicado o diagrama psicométrico de conforto térmico adaptado por Givoni. O item 4.2 abordará os resultados de CO₂, podendo ser observado melhor a ventilação dos espaços estudados. O item 4.3 nos mostra os resultados dos resíduos de gases anestésicos divididos em dois subtópicos: nas medições realizadas sem cirurgias e com a ocorrência de procedimentos cirúrgicos. No item 4.4 foi feita uma correlação entre as variáveis estudadas, no item 4.5 abordará a exposição ocupacional dos trabalhadores e no item 4.6 encontra-se algumas sugestões de melhorias.

Por fim, o capítulo 5 estão as conclusões do estudo realizado com algumas sugestões de trabalhos futuros.

2. GASES ANESTÉSICOS EM UNIDADES HOSPITALARES

Neste capítulo são abordados assuntos de revisão bibliográfica sobre a temática dos resíduos de gases anestésicos no ar interior de unidades hospitalares. Primeiramente é apresentado um pouco do histórico da utilização dos gases anestésicos, seguido dos efeitos adversos que estes podem ter na saúde das pessoas expostas e no ambiente. De seguida, faz-se uma abordagem genérica às principais características da anestesia geral e dos sistemas anestésicos existentes. Posteriormente são identificados e discutidos os fatores que interferem ou podem interferir nos níveis desses gases em ambientes interiores. Posteriormente, apresenta-se, em linhas gerais, a importância e os principais métodos de monitorização de gases anestésicos. Na parte final do capítulo ainda se estabelece o conceito de exposição e definem-se os principais indicadores usados na sua avaliação, terminando-se com um breve enquadramento legal e normativo internacional e nacional.

2.1 GASES ANESTÉSICOS INALATÓRIOS

A anestesia inalatória foi usada pela primeira vez nos Estados Unidos, quando o éter dietílico foi administrado num paciente no ano de 1842 (OSHA, 2000). Desde então, muitos compostos químicos têm sido usados para anestesiarem os pacientes para mantê-los livres de dor durante os procedimentos cirúrgicos. Por quase um século, as opções de anestesia cingiam-se somente à utilização de três gases anestésicos: o éter dietílico, óxido nítrico e clorofórmio (OLIVEIRA, 2009). Muitos agentes anestésicos, como éter dietílico, éter divinílico, ciclopropano e etileno, foram eficazes no uso pretendido, mas apresentaram risco de incêndio e explosão na presença de quantidades suficientes de oxigénio (O₂) e de uma fonte de ignição como uma faísca de eletricidade estática ou equipamento elétrico (OSHA, 2000).

Na Tabela 1 apresenta-se os principais gases anestésicos que existiram e que existem no mercado, sendo que alguns já não são mais utilizados por serem inflamáveis.

Os gases anestésicos possuem nomes comerciais diferentes do nome químico genérico. Na década de 50 do século XX, os desenvolvimentos da química dos clorofluorcarbonetos produziram agentes voláteis halogenados, não inflamáveis e voláteis que substituíram os agentes explosivos (OSHA, 2000).

Tabela 1 – Gases anestésicos disponíveis no mercado ao longo dos tempos.

Fórmula molecular ¹	Nome químico ou genérico ²	Nome comercial ²	Ano de introdução ²	Atualmente em uso ²
C₄H₁₀O	Éter dietílico	Éter	1842	Não
N₂O	Óxido nitroso	Óxido nitroso	1844	Sim
CHCl₃	Clorofórmio	Clorofórmio	1847	Não
C₃H₆	Ciclopropano	Ciclopropano	1933	Não
C₂HCl₃	Tricloroetileno	Trilene®	1934	Não
C₄H₃F₃O	Fluroxeno	Fluoromar®	1954	Não
C₂HBrClF₃	Halotano	Fluothane®	1956	Sim
C₃H₄Cl₂F₂O	Metoxiflurano	Penthane®	1960	Infrequentemente
C₃H₂ClF₅O	Enflurano	Ethane®	1974	Sim
C₃H₂ClF₅O	Isoflurano	Forane®	1980	Sim
C₃H₂F₆O	Desflurano	Suprane®	1992	Sim
C₄H₃F₇O	Sevoflurano	Ultane®	1995	Sim

Fonte: Adaptado de DrugBank (2019) ¹ e OSHA (2000) ².

Os gases anestésicos inalatórios são classificados em duas diferentes classes de substâncias químicas: óxido nitroso (protóxido de azoto) e agentes halogenados. Os gases anestésicos halogenados, atualmente em uso, são o desflurano, enflurano, halotano, isoflurano e sevoflurano (OSHA, 2000). O Xenon é considerado o gás anestésico ideal, porém é uma opção muito cara.

Alguns anestésicos inalatórios estão em estado gasoso à temperatura ambiente e são armazenados em tanques, como por exemplo o óxido nitroso. Outros, a grande maioria dos anestésicos inalatórios utilizados, são denominados anestésicos voláteis porque são líquidos à temperatura ambiente. Estes são armazenados em garrafas e convertidos na fase gasosa usando vaporizadores especiais específicos de agentes que podem fornecer uma concentração precisa da droga no circuito anestésico. Como exemplo, tem-se o halotano, enflurano, sevoflurano e isoflurano (BARASH et al., 2015).

O desflurano é um anestésico inalatório que possui características tanto de um gás puro quanto de um anestésico volátil, ou seja, como o seu ponto de ebulição é de aproximadamente 23°C, ele muda do estado líquido para o estado gasoso a uma temperatura muito próxima da temperatura ambiente normal. A vaporização do desflurano requer um vaporizador mais complexo que o necessário para os outros anestésicos voláteis (BARASH et al., 2015).

Os anestésicos inalatórios são os medicamentos mais comuns utilizados em anestesia geral. Com apenas uma fração de um anestésico volátil adicionado ao oxigênio da corrente gasosa de inspiração, o paciente atinge um estado de inconsciência e amnésia, e quando combinado com adjuvantes intravenosos, como opióides e benzodiazepínicos,

é alcançada uma técnica combinada que resulta em analgesia, sedação e/ou hipnose e amnésia (BARASH et al., 2017).

A Tabela 2 mostra algumas propriedades físicas do desflurano, isoflurano, sevoflurano e protóxido de azoto.

Tabela 2 – Propriedades físicas dos gases anestésicos inalatórios.

Propriedade	Sevoflurano¹	Desflurano¹	Isoflurano¹	Protóxido de azoto²
Ponto de ebulição (°C)	58,5	22,8	48,5	-88
Pressão de vapor a 20°C (mm Hg)	120	669	238	38,77
Peso molecular (Da)	200	168	184,5	44
Coefficiente de partição sangue/gás	0,66	0,42	1,4	0,47
Concentração Alveolar Mínima (CAM - %)	2,0	7,0	1,2	104
Metabolização corporal (%)	5	0,02	0,2	0

Fonte: Adaptado de Hemmings e Hopkins (2006)¹ e Barash et al. (2015)²

De acordo com as características visualizadas na tabela anterior, o protóxido de azoto difere substancialmente dos gases halogenados, nomeadamente no que respeita ao ponto de ebulição (°C), pressão de vapor a 20°C (mm Hg), concentração alveolar mínima (CAM - %) e metabolização corporal (%). No que respeita ao coeficiente de partição sangue/gás, a diferença não é tão notória em relação aos outros gases, em particular os dois hidrofluorcarbonetos apresentados. Este coeficiente é uma medida da solubilidade de um agente anestésico inalatório no sangue e definida como a razão entre a quantidade de um agente anestésico no sangue pela quantidade de anestésico presente no ar, quando as duas fases são de igual volume e pressão e em equilíbrio a 37°C (TEMPLE e WILES, 2019). Agentes relativamente insolúveis agem mais rapidamente, pois uma quantidade menor é removida pela dissolução no sangue, deixando uma concentração alveolar mais alta para facilitar a indução (HEMMINGS e HOPKINS, 2006). Portanto, quanto menor o coeficiente de partição sangue/gás, mais rápido é a indução e recuperação da anestesia (ALEXANDRE et al., 2008).

A concentração alveolar mínima (CAM) é a medição padrão para determinar a potência dos anestésicos voláteis (HEMMINGS e HOPKINS, 2006). Para estudar a farmacologia da ação anestésica, medidas quantitativas da potência anestésica são essenciais. Para esse fim, a CAM é definida como a pressão parcial alveolar de um gás para a qual 50% dos seres humanos não respondem a uma incisão cirúrgica (BARASH et al., 2017; HEMMINGS e HOPKINS, 2006; TEMPLE e WILES, 2019).

Dos anestésicos inalatórios halogenados, o desflurano é o menos metabolizado no corpo (HEMMINGS e HOPKINS, 2006). Os anestésicos inalatórios são metabolizados num grau muito menor do que a maioria dos outros medicamentos, incluindo outros anestésicos, e o metabolismo não tem impacto significativo na sua farmacocinética. Embora o metabolismo não seja necessariamente prejudicial, o metabolismo anestésico volátil pode levar à toxicidade do paciente.

O desflurano e o sevoflurano são muito utilizados nos hospitais nos blocos operatórios para a anestesia dos pacientes, sendo o sevoflurano o mais utilizado em todo o mundo. O desflurano assegura uma recuperação mais rápida, enquanto na utilização do sevoflurano a recuperação é mais lenta (COSTA e ALEXANDRE, 2011). Na medicina veterinária, os gases mais utilizados na anestesia são o isoflurano, desflurano e o sevoflurano (ALEXANDRE et al., 2008).

2.2 EFEITOS COLATERAIS DOS GASES ANESTÉSICOS

2.2.1 Efeitos na saúde humana

A exposição ocupacional a gases anestésicos envolve concentrações muito menores do que aquelas que são administradas aos pacientes em cirurgia. No entanto, o conhecimento sobre os efeitos colaterais dos gases anestésicos é de elevado interesse para evitar as consequências adversas bem-estar físico, mental e social dos profissionais de saúde (médicos, anestesistas, cirurgiões, enfermeiros e outros profissionais que intervêm em Blocos Operatórios), uma vez que estes estão, geralmente, expostos a esses gases por muitos anos, enquanto trabalham em salas de cirurgia, salas de recuperação ou em serviços ambulatoriais.

Braz et al. (2007) refere que a exposição ocupacional a concentrações residuais de anestésicos inalatórios (voláteis) em salas de operação (SO) pode resultar em cefaleias, irritabilidade, alterações neuro-comportamentais e danos no material genético. De acordo com a UHS (*University Health Services*, 2017) os efeitos cardiovasculares e respiratórios podem resultar da exposição aguda aos gases anestésicos e os efeitos hepáticos e renais podem resultar da exposição crónica de gases anestésicos.

Apesar dos anestésicos inalatórios terem propriedades anticonvulsivas e proconvulsivas em humanos (HEMMINGS e HOPKINS, 2006), Alexandre et al. (2018) notaram que uma complicação frequente consecutiva à administração de anestésicos

voláteis é a paragem respiratória, que pode surgir em consequência de uma sobredosagem temporária do anestésico. Lawson et al. (2012) associam o risco de aborto espontâneo em enfermeiras expostas a gases anestésicos durante o período de gestação.

O desflurano é rapidamente eliminado pelo organismo, permitindo uma recuperação rápida do anestesiado, porém apresenta um problema preocupante pelo facto de ser inodoro (NORTON et al., 2015). O desflurano é pungente, produzindo irritação das vias aéreas e incidência considerável de salivação, retenção de ar, tosse ou laringoespasma, quando mais de 6% de desflurano inspirado é administrado a um paciente acordado. Além disso, a sua degradação nos absorventes de dióxido de carbono conduz à formação de monóxido de carbono em quantidades bem mais significativas do que os outros gases halogenados.

O sevoflurano possui baixa potência anestésica, sendo administrado em concentrações duas vezes maiores em comparação às doses do isoflurano, o que aumenta a possibilidade de maior concentração residual desse agente nas salas de cirurgia (BRAZ et al., 2007). A toxicidade renal deste gás, indicado para anestésias prolongadas, tem sido identificada em alguns estudos (ALEXANDRE et al., 2008), dependendo da dose e do tempo de anestesia. Estudos com animais também indicaram que o sevoflurano induz neurodegeneração e apoptose. Deste modo, é aconselhável evitar a sua utilização por períodos longos.

Continua sendo desconhecido o risco associado à anestesia do isoflurano na gravidez humana (FRIEDMAN, 1988), mesmo sendo encontradas anomalias em estudos realizados com camundongos expostos repetidamente a doses leves de isoflurano (MAZZE et al., 1985). O isoflurano é minimamente metabolizado no organismo, não afetando os rins ou o fígado, sendo um dos agentes anestésicos mais seguros e efetivos. Tem um início de ação e recuperação anestésicas rápidas (mesmo depois de anestésias prolongadas), devido à sua baixa solubilidade sanguínea, comparado com outros agentes anestésicos voláteis. Para a indução são necessárias concentrações entre 2,5 e 4,5%. Posteriormente para a manutenção da anestesia serão necessárias concentrações entre 1,5 e 2,5% (ALEXANDRE et al., 2008).

O protóxido de azoto é utilizado na anestesia para reduzir as concentrações dos outros anestésicos em 20 a 30%. As vantagens incluem a redução do tempo de recuperação, devido à sua rápida difusão para os alvéolos, potencializa o anestésico volátil associado, desempenha menor depressão cardiovascular e respiratória, menor probabilidade de problemas por interação das drogas mais potentes e diminuição de

custos (COSTA e ALEXANDRE, 2011). Porém, num estudo de Sun et al. (2015) foram encontradas evidências de que este gás pode potencialmente aumentar o risco de pneumonia, náuseas e vômitos nos pacientes submetidos a anestesia com este gás, não tendo, no entanto, efeito letais nos pacientes. Segundo Norton et al. (2015), o protóxido de azoto pode ainda causar problemas reprodutivos, como abortos espontâneos e má formação do feto.

Paes et al. (2014) estudaram danos no ADN em profissionais expostos a resíduos de gases anestésicos e concluem que jovens profissionais expostos a resíduos de gases anestésicos em salas de operação sem o sistema de exaustão adequado aumentaram os danos no ADN durante a permanência médica. Yilmaz e Çalbayram (2016) associaram a exposição ocupacional a gases anestésicos a um aumento estatisticamente significativo dos danos genotóxicos entre o pessoal da sala de cirurgia.

Segundo Friedman (1988), o risco da anestesia com o enflurano na gravidez humana ainda é incerta, visto que não foram relatados estudos epidemiológicos de anomalias congénitas em crianças nascidas de mulheres anestesiadas com enflurano durante a gravidez, apesar de terem sido reportados defeitos em experiência realizadas em coelhos e camundongos (RAMAZZOTTO e CARLIN, 1978; WHARTON et al., 1981).

No mesmo estudo, apesar do gás halotano estar associado a anomalias em fetos de mulheres grávidas anestesiadas, não foi possível apresentar uma estimativa dos efeitos teratogénicos em crianças de mulheres que receberam anestesia com halotano durante a gravidez (FRIEDMAN, 1988). Porém, nos camundongos, a morte fetal, o atraso do crescimento e as malformações eram muito frequentes entre os filhos de animais repetidamente anestesiados com halotano durante a gravidez, mas esse tratamento geralmente produzia morte materna (WHARTON et al., 1978, 1979).

Continua sendo desconhecido o risco associado à anestesia do isoflurano na gravidez humana (FRIEDMAN, 1988), mesmo sendo encontradas anomalias em estudos realizados com camundongos expostos repetidamente a doses leves de isoflurano (MAZZE et al., 1985). O isoflurano é minimamente metabolizado no organismo, não afetando os rins ou o fígado, sendo um dos agentes anestésicos mais seguros e efetivos. Tem um início de ação e recuperação anestésicas rápidas (mesmo depois de anestésias prolongadas), devido à sua baixa solubilidade sanguínea, comparado com outros agentes anestésicos voláteis. Para a indução são necessárias concentrações entre 2,5 e 4,5%.

Posteriormente para a manutenção da anestesia serão necessárias concentrações entre 1,5 e 2,5% (ALEXANDRE et al., 2008).

2.2.2 Efeitos no ambiente

Além de serem emitidos para os ambientes interiores, os gases anestésicos inalatórios como o protóxido de azoto e os halogenados mais utilizados (exemplo o isoflurano) contribuem para a destruição da camada do ozono estratosférico e para o aquecimento global, por serem reconhecidamente gases de efeito de estufa (LANGBEIN et al., 1999; RYAN e NIELSEN, 2010; YASNY e WHITE, 2012). O halotano, porque contém bromo, é o mais destrutivo da camada de ozono. O isoflurano e enflurano, que contêm cloro e fluor, têm menor impacto.

A maioria dos gases anestésicos orgânicos permanece por um longo período na atmosfera. A vida útil destes gases na atmosfera varia entre 1,4 e 21,4 anos para o sevoflurano e desflurano, respetivamente (BROWN et al., 1989). Estimativas recentes mostram que as concentrações globais destes gases na atmosfera têm vindo a aumentar e apresentam um contributo muito significativo quando comparado com as emissões automóveis de gases de efeito de estufa (YASNY e WHITE, 2012). Apesar do protocolo de Montreal ter tido um papel importantíssimo na redução das emissões dos clorofluorcarbonetos e o protocolo de Quioto na redução dos gases de efeito de estufa, os gases anestésicos têm sido frequentemente excluídos destas discussões, devido à sua necessidade e importância médica (CHARLESWORTH e SWINTON, 2017).

Segundo a Unidade de Desenvolvimento Sustentável do Serviço Nacional de Saúde do Reino Unido, os gases anestésicos representam 5% da pegada de carbono para todas as instituições hospitalares de cuidados agudos (CHARLESWORTH e SWINTON, 2017). Ryan e Nielsen (2010) referem que o uso de desflurano ou sevoflurano numa máquina anestésica moderna ao longo de 1 h equivale às emissões de um automóvel moderno ao longo de um percurso de 370 e 50 km, respetivamente, em termos de gases de efeito de estufa.

Volmmer et al. (2014) reportam que, em 2014, a libertação de gases anestésicos (hidrofluorcarbonetos e clorofluorcarbonetos) foi equivalente a 3 milhões de toneladas de dióxido de carbono, com o desflurano a ter uma contribuição de 80%. Nesta linha de raciocínio, Charlesworth e Swinton (2017) referem que um equivalente a 6% das emissões globais de dióxido de carbono resultam do óxido nitroso, sendo 1 % destes de

origem medicinal concluindo que se a área terrestre do Reino Unido representasse emissões globais de dióxido de carbono, o desflurano seria uma cidade do tamanho de Bedford e o óxido nitroso seria o tamanho da área metropolitana de Bristol. Porém, importa referir que o óxido nitroso continua a ser um método útil no combate à dor aguda em algumas circunstâncias, para as quais atualmente não há alternativa.

Os danos causados pela libertação de gases anestésicos têm sido descritos de forma abrangente, no entanto, as barreiras à prática sustentável em anestesia, não têm sido suficientemente abordadas. Há uma variação considerável na prática do uso de anestésicos inalatórios, e os esforços para padronizar essa prática nem sempre são bem-sucedidos. Além disso, a mudança teria de se estender aos vários continentes ou a uma grande parte do território mundial para se obter um efeito positivo nas alterações climáticas globais. Esta mudança à escala internacional é e será, de facto, um grande desafio, dado que concordar com uma abordagem padronizada para a limitação de danos causados por gases anestésicos apresenta problemas óbvios, uma vez que o âmbito deve envolver todos, em qualquer lugar.

Todavia, acredita-se que a anestesia sustentável não é assim tão diferente da prática quotidiana que procura o equilíbrio entre benefício e risco para todos os pacientes. As barreiras à mudança podem explicar o uso generalizado de gases anestésicos, apesar da evidência esmagadora da sua contribuição para as alterações climáticas e o efeito que isso tem sobre as populações humanas. Não obstante, este tipo de argumentos e as lições aprendidas com o passado devem ser transmitidas num mundo em desenvolvimento, como forma de encontrar melhores alternativas para o Homem e para o ambiente. Só desta forma é possível hoje ter uma larga maioria de sistemas anestésicos que integram novos dispositivos que permitem a captura, reutilização ou destruição de gases anestésicos que noutros tempos eram libertados para as atmosferas interiores ou exteriores. Apesar dessas vantagens aparentes, a sua segurança, o benefício, a utilidade, a confiabilidade e a relação custo-benefício ainda não foram totalmente comprovadas (CHARLESWORTH e SWINTON, 2017).

2.3 ANESTESIA GERAL

A anestesia pode ser distinguida em três tipologias: anestesia local, anestesia loco-regional e anestesia geral. A anestesia local e a anestesia loco-regional utilizam-se quando apenas se pretende anestesiar uma zona limitada (MARQUES, 2008). Estes dois

tipos de anestesia envolve a utilização de anestésicos locais (fármacos) que se aplicam nas proximidades das estruturas nervosas para conseguir um bloqueio seletivo da geração e da condução do estímulo nervoso. Nestes tipos de anestesia, o nível de consciência e de respiração espontânea estão preservados (ROEWER e THIEL, 2003).

A anestesia geral é utilizada quando se pretende induzir no paciente um conjunto de estados que incluem a amnésia (perda completa da memória), a hipnose (perda de consciência), a imobilidade, o relaxamento muscular e uma atenuação das respostas do sistema nervoso autónomo (SNA) a estímulos dolorosos (analgesia) (SARAIVA, 2002). Para tal, os fármacos utilizados para induzir a anestesia geral afetam principalmente, e de forma reversível, o sistema nervoso central (SNC) (DUARTE e SARAIVA, 2005).

2.3.1 Procedimentos de anestesia geral

Dentro da anestesia geral existem três tipos de procedimentos que se podem adotar: a anestesia inalatória, a anestesia intravenosa e a anestesia balanceada (também designada de anestesia equilibrada). Estas distinguem-se dependendo do tipo de fármacos envolvidos e, principalmente, a sua forma de administração (MARQUES, 2008). No caso da anestesia inalatória, os fármacos são absorvidos, e em grande parte também eliminados pelos pulmões (DUARTE e SARAIVA, 2005). Na anestesia intravenosa os fármacos são administrados unicamente por essa via. Por anestesia balanceada entende-se qualquer combinação de anestésicos inalatórios com anestésicos intravenosos, aproveitando as vantagens de cada uma das formas de aplicação. Este tipo de anestesia geral foi enfatizado por Lundy em 1925 (ELLIS, et al., 2004). A popularidade levou à introdução de vários outros tipos de hipnóticos intravenosos, incluindo cetamina (1962), etomidato (1964) e propofol (1977). Desde então, outros agentes intravenosos, como benzodiazepínicos e novos opioides, foram introduzidos e continuam os estudos para encontrar outros (BARASH et al., 2015).

2.3.2 Sistemas de respiração em anestesia geral

Descrição Geral da Estação de Trabalho de Anestesia

O aparelho de anestesia, atualmente conhecido como Estação de Trabalho de Anestesia (ETA), é constituído por vários componentes integrados entre si com a função

básica de administrar gases durante a anestesia inalatória. Geralmente, a ETA integra componentes como sistema de condução de gases, vaporizador (es), ventilador, sistema antipoluição e diferentes monitores que avaliam a função fisiológica do indivíduo anestesiado. Esta integração permite simultaneamente a monitorização do fluxo de gases inspirados e expirados, pressões, volumes e capacidades respiratórias com compensação de possíveis perdas, além da corrente, voltagem e amperagem da alimentação elétrica (OSHA, 2000).

Atualmente as estações de anestesia são autocontroladas por algoritmos computadorizados de verificação e de compensação, com a função de aumentar a segurança do paciente anestesiado.

Mesmo com o uso de tecnologia tão sofisticada é essencial que o anestesista detenha um conhecimento profundo de conceitos fundamentais e uma vasta experiência relativa ao funcionamento do equipamento de anestesia para a correta operação do aparelho, seja ele básico ou avançado.

Tipologia dos circuitos de anestesia volátil

Os circuitos ou sistemas de anestesia volátil podem ser de três tipos: aberto, semifechado ou fechado, como se ilustra na Figura 1.

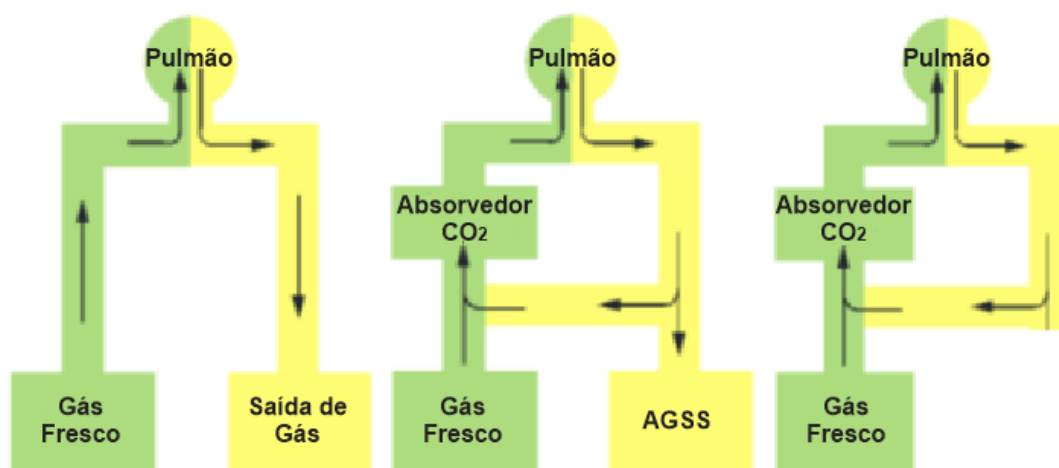


Figura 1 – Sistema de fornecimento de gases nos ventiladores de anestesia.

Sistema aberto (à esquerda), sistema semifechado (meio) e sistema fechado (à direita).

Fonte: adaptado de Marques (2008).

Segundo Pantaleão (2017), no modo aberto não há recirculação de gases anestésicos, ou seja, não apresenta economia de gases e há um alto fluxo de O₂

(ALEXANDRE et al., 2008). O sistema semifechado envolve um fluxo de gases frescos mais elevado do que os gases absorvidos (ALEXANDRE et al., 2008). Usualmente o sistema semifechado é de circuito circular, em que há recirculação de parte dos gases não consumidos, após remoção do CO₂ produzido pelo paciente, e administração contínua de gases frescos (PANTALEÃO, 2017). A outra parte de gases anestésicos não removidos passam por um sistema de eliminação de gás anestésico (AGSS) que contribui para remover as misturas de gases anestésicos dos teatros de operações e áreas de recuperação que protegem a equipa médica de possíveis riscos para a saúde a longo prazo.

No sistema fechado o fluxo de gás fresco é reduzido exatamente à quantidade que é consumida pelo paciente, ou seja, quando o gás expirado é todo reaproveitado, juntando-se a esse apenas a quantidade de gás que foi consumida pelo paciente (SCHOEBER e LOER, 2006). O funcionamento em circuito fechado traz grandes vantagens à prática da anestesia, podendo destacar-se a significativa redução dos consumos de agentes halogenados e a consequente redução dos custos envolvidos no procedimento anestésico, a diminuição da contribuição para a poluição ambiental e a diminuição da poluição dentro do bloco operatório (MARQUES, 2008). Um exemplo deste esquema está representado pela Figura 2.

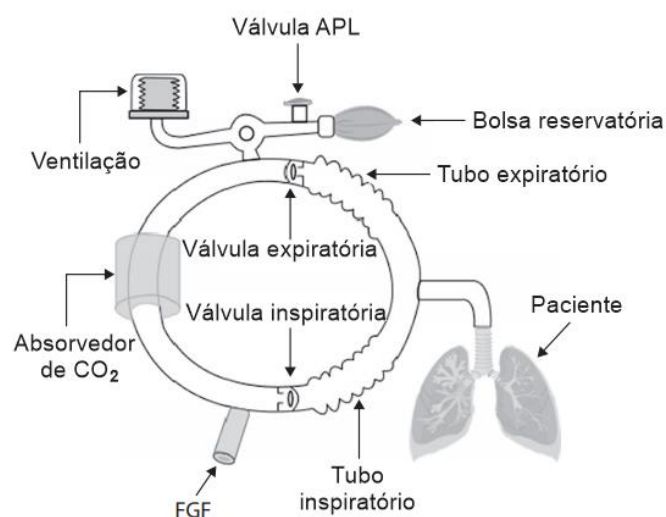


Figura 2 – Configuração eficiente de um circuito de anestesia de sistema fechado.

Fonte: Adaptado de Pollard e Kitchen, 2018.

Como vimos anteriormente, uma máquina de anestesia possui vários componentes e dispositivos que incluem cilindros de gás medicinal, dispositivos de regulação e medição de pressão, válvulas, controladores de fluxo, medidores de caudal, vaporizadores, colunas de absorção de CO₂ e montagem de circuito respiratório (MILNER, 1997; ALEXANDRE et al., 2008). Estes componentes são geralmente distribuídos por três secções distintas:

- A secção de fluxo continua - parte do aparelho de anestesia com a função de misturar gases ou vapores anestésicos a serem fornecidos ao paciente.
- O sistema respiratório - conjunto através do qual os gases ou vapores anestésicos podem ser direccionados de forma controlada, por dispositivos ligados à via aérea do paciente. A função destes sistemas é fornecer oxigénio e gases anestésicos aos pacientes e eliminar dióxido de carbono. Todos os sistemas de respiração são constituídos por componentes similares, mas estão configurados de forma diferente. Os componentes comuns incluem: fluxo de gás fresco (FGF), tubulação para direccionar o fluxo de gás, uma válvula ajustável de limite de pressão (APL) e um reservatório de gás (tipo bolsa). A válvula Ajustável de Limite de Pressão (APL) permite uma pressão variável dentro do sistema de anestesia usando uma válvula unidireccional. Numa pressão superior à pressão de abertura da válvula, o sistema permite uma saída controlada de gás, para controlar a pressão da via aérea do paciente. A pressão mínima necessária para abrir a válvula é 1 cm H₂O. Existe um mecanismo de segurança para prevenir que a pressão exceda 60 cm H₂O. A bolsa reservatório permite a recolha do fluxo de gás fresco (FGF) durante a expiração, que por sua vez minimiza a quantidade de gás fresco necessária para evitar reinalação. Além disso, esta bolsa permite que o anestesista monitorize o padrão respiratório de pacientes em ventilação espontânea. Normalmente, estas bolsas são de plástico ou borracha, e podem vir de tamanhos entre 0,5 a 6 litros, sendo, no entanto, as de tamanho mais comum as de 2 litros. O ramo inspiratório permite a passagem de fluxo de gás fresco ao paciente durante a inspiração. O ramo expiratório permite a passagem de gás expirado pelo paciente.
- O ventilador - aparelho com função de complementar ou fornecer a ventilação pulmonar.

2.4 FATORES DETERMINANTES DOS NÍVEIS DE GASES ANESTÉSICOS EM ATMOSFERAS INTERIORES HOSPITALARES

2.4.1 Principais fontes

A presença de gases anestésicos nos blocos operatórios está associada às perdas do sistema anestésico e do sistema respiratório. Apesar dos avanços tecnológicos a que temos assistido nas últimas décadas, nenhum sistema de anestesia é totalmente livre de fugas (ECRI, 1991), podendo ter origem nos sistemas de alta e baixa pressão da máquina de anestesia ou analgesia.

O sistema de alta pressão consiste em todas as tubulações e partes da máquina que recebem gás na pressão de fornecimento do cilindro ou da tubulação. Estas perdas estendem-se do fornecimento do gás a alta pressão às válvulas de controlo de fluxo. Podem ocorrer fugas nas conexões de alta pressão em que a tubagem de alimentação se conecta à tomada de parede ou do cilindro de gás e onde se conecta à entrada da máquina. Portanto, as tubagens de fornecimento de gás devem ser posicionadas para evitar pressão nos encaixes (Norma ASTM F1161-88; Dorsch e Dorsch 1994) e construídas com materiais que suportem fluxo de gás de alta pressão e torção mínima (Bowie e Huffman, 1985). As perdas de alta pressão também podem ocorrer dentro da própria máquina de anestesia. Outras fontes potenciais de perdas incluem conexões de ligação rápida, válvulas de cilindro, juntas ausentes ou gastas, bujões ausentes ou desgastados e tubagens gastas.

O sistema de baixa pressão da máquina de anestesia (no qual a pressão está um pouco acima da atmosférica) consiste em componentes a jusante das válvulas de controlo de fluxo. Portanto, inclui os tubos do fluxímetro, vaporizadores, saída de gás comum e circuito de respiração (ou seja, da saída de gás comum para o paciente). Podem ocorrer perdas do sistema de baixa pressão a partir das conexões e componentes em qualquer lugar entre as válvulas de controlo de fluxo de gás de anestesia e as vias aéreas. Essas perdas podem ocorrer a partir de ligações frágeis, vedações e juntas defeituosas e desgastadas, bolsas de respiração, tubagens desgastadas ou com defeito, juntas deslizantes e conexões roscadas montadas ou deformadas livremente e conexões roscadas e a porta de drenagem de humidade do absorvedor de CO₂, que pode estar na posição "aberta".

Também podem ocorrer fugas do sistema de baixa pressão no sensor de análise de gás (ou seja, analisador de oxigénio do circuito) e no (s) local (is) de amostragem de gás, máscara facial, tubo traqueal (especialmente em pacientes pediátricos, onde é necessário um vazamento em torno do tubo traqueal não inflado), via aérea da máscara laríngea (sobre a laringe) e pontos de conexão para dispositivos acessórios, como humidificador, sonda de temperatura ou válvula de pressão expiratória final positiva (PEEP). A instalação inadequada de um vaporizador calibrado ou o desalinhamento de um vaporizador no seu coletor (ECRI, 1991) também podem contribuir para as perdas de gás anestésico.

2.4.2 Ventilação dos espaços interiores

A ventilação dos espaços é fundamental para assegurar uma boa qualidade do ar em ambientes interiores. As instalações de aquecimento, ventilação e ar-condicionado (AVAC) controlam a qualidade do ar interior e as condições assépticas e protegem condições térmicas internas saudáveis, seguras e adequadas, ou seja, criam conforto térmico controlando temperatura, humidade e fluxo de ar (APA, 2009). O ar numa sala cirúrgica deve ser asséptico, com temperatura e humidade razoavelmente constantes e velocidade relativamente baixa, a fim de evitar correntes de ar e redemoinhos que promovam a recirculação de micróbios (BALARAS et al., 2007).

De acordo com as especificações técnicas para instalações AVAC (ET 06/2008) o bloco operatório precisa ter um caudal de ar recirculado de 20 RPH com ar novo de 600 m³/h ou 5 RPH no mínimo e condições ambientais de temperatura entre 17°C e 27°C e humidade relativa do ar entre 30% a 60% (ACSS, 2008). Dentro dessas normas inclui as salas de cirurgia. Segundo o Decreto-Lei N° 243 de 1986, de 20 de agosto, sobre as condições nos locais de trabalho, os valores de humidade relativa em ambiente interior devem se encontrar entre os 50% e 70% para assegurar a saúde e a segurança dos trabalhadores. A Tabela 3 também apresenta as recomendações para o recobro e zona de transferência, que se enquadra como restante do bloco.

Tabela 3 – Parâmetros recomendados no bloco operatório para instalações AVAC em ambiente hospitalar.

Local	T (°C)	HR (%)	Ar novo	Ar recirculado
Salas de cirurgia	17 a 27	30 a 60	100 m ³ /h.pessoa	20 RPH
Recobro	24	60	≥ 50 m ³ /h.pessoa	10 RPH
Restante do bloco	24	50	≥ 8 m ³ /h	-

Fonte: Adaptado de ACSS (2008).

Humidade relativa (ou simplesmente humidade) é a razão entre a pressão do vapor atmosférico e a pressão do vapor de saturação (ROHLI e VEGA, 2018). Segundo Oliver (2005) a Organização Mundial de Meteorologia prefere definir a humidade relativa como a proporção de umidade específica (ou proporção de mistura) e proporção de mistura de saturação, expressa em percentagem.

A humidade relativa (HR), como expressão da condição de humidade atmosférica, pode ser bastante enganadora, pois seu impacto sobre o conforto humano depende da temperatura do ar que ocorre no mesmo tempo (OLIVER, 2005).

O dióxido de carbono (CO_2) é um bom indicador de ventilação de espaços interiores (JONES e KIRBY, 2012) e sobretudo exerce efeitos no conforto e na saúde humana quando atinge níveis superiores a 5000 ppm (ASHRAE, 2013). Há, no entanto, estudos recentes que afirmam existir uma redução da capacidade cognitiva para concentrações de CO_2 da ordem dos 2000 ppm (KIM et al., 2019).

De acordo com a Portaria 353-A de 2013, os níveis recomendados de CO_2 para um período de 8h de exposição é de 1250 ppm como limiar de proteção. O uso de níveis internos de CO_2 para determinar ventilação está fundamentado em uma relação simples entre a concentração interna de CO_2 e a ventilação (OLIVEIRA, 2009). O National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH), através do método-padrão 62-1989 usa a relação de fluxo de ar por pessoa para inferir qualidade do ar em edifícios públicos, já que nesses ambientes a fonte de contaminação está mais relacionada com a ocupação do espaço do que com o volume interno. Esta organização internacional recomenda taxas de ventilação de 10 L.s^{-1} por pessoa em prédios comerciais e de $7,5 \text{ L.s}^{-1}$ por pessoa em escolas e outros edifícios, o que representa uma concentração máxima de CO_2 atmosférico entre 800 e 1000 ppm, respetivamente.

Assim, as concentrações de CO_2 em ambientes interiores têm sido usadas como um indicador da qualidade do ar interior, na medida em que apresentam em muitas situações uma correlação com as concentrações de outros contaminantes de atmosferas interiores (EMMERICH e PERSILY, 2001).

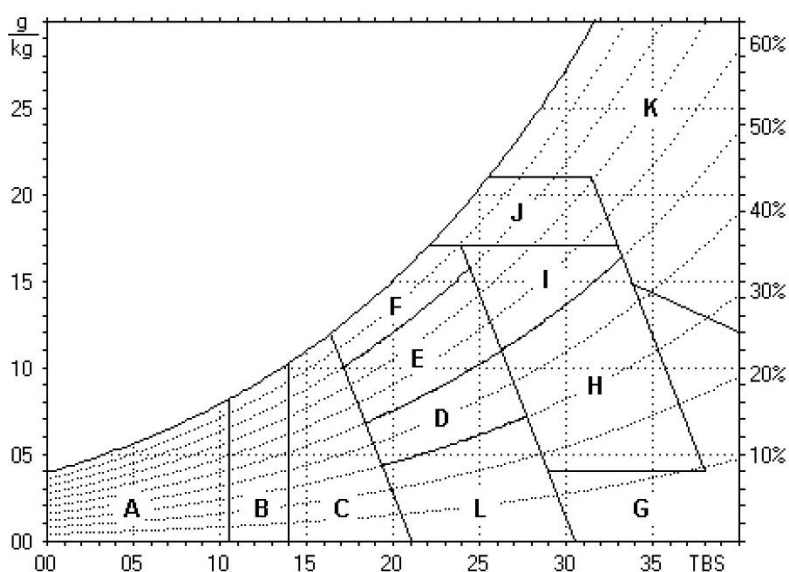
2.4.3 Conforto Térmico

O conforto térmico tem sido muito estudado acerca da segurança e saúde dos trabalhadores em edifícios interiores (CHE et al., 2019; LI et al., 2019). A norma brasileira da ABNT NBR N° 15220/2003 recomenda a utilização do diagrama

psicométrico adaptado por Givoni para analisar o conforto térmico de edificações. Segundo Schmid (2015) este diagrama é aplicado em regiões de clima temperado e inclui as normas de conforto térmico da ASHRAE (Sociedade Americana de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado).

Givoni (1992) adaptou este diagrama de conforto térmico sobre uma carta psicrométrica (Figura 3), criando o diagrama de conforto térmico em edifícios sem condicionamento (naturalmente ventilados). Este diagrama foi projetado para a avaliação de conforto térmico em ambientes interiores de edifícios e permitiu um salto de qualidade na informação, pois possibilitou a delimitação de zonas de atuação, por meio de estratégias, visando a obtenção do conforto térmico (STILPEN, 2007).

A TBS é a temperatura de bulbo seco, ou seja, temperatura do ar medida por um termômetro com dispositivo de proteção contra a influência da radiação térmica, e a humidade relativa do ar é expressa em percentagem (%) (ABNT NBR 15220, 2003).



Legenda. **A:** Zona de aquecimento artificial (calefação). **B:** Zona de aquecimento solar da edificação. **C:** Zona de massa térmica para aquecimento. **D:** Zona de Conforto Térmico (baixa umidade.) **E:** Zona de Conforto Térmico. **F:** Zona de desumidificação (renovação do ar). **G + H:** Zona de resfriamento evaporativo. **H + I:** Zona de massa térmica de refrigeração. **I + J:** Zona de ventilação **K:** Zona de refrigeração artificial. **L:** Zona de umidificação do ar.

Figura 3 – Diagrama psicrométrico adaptado por Givoni.

Fonte: ABNT NBR 15220/2003.

A “zona de conforto” é definida como a faixa de condições climáticas dentro da qual a maioria das pessoas não sentiria desconforto térmico, seja por calor ou frio (SCHMID, 2015). Esta área é classificada com a letra E no diagrama psicrométrico adaptado por Givoni.

Condições ambientais de temperatura e humidade relativa do ar devem ser minimamente controlados no ambiente hospitalar para assegurar a saúde e segurança dos trabalhadores, mas também para evitar criação de microrganismos indesejados (Zhai et al., 2018).

2.5 MONITORIZAÇÃO DE GASES ANESTÉSICOS

A monitorização do ar interior é uma das ferramentas fundamentais usadas para avaliar as exposições no local de trabalho (OSHA, 2000), 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 (McGREGOR, 2000).

Conseqüentemente, esta secção apresenta alguns dos métodos apropriados que podem ser usados para detetar e medir concentrações de gases anestésicos que podem estar presentes em ambientes de assistência médica como são os blocos operatórios. Os dados fornecidos pela monitorização são necessários para definir medidas de engenharia e administrativas, bem como práticas de trabalho adequadas para garantir os níveis mais baixos de gás razoavelmente alcançáveis.

A OSHA recomenda que a amostragem de ar para gases anestésicos seja realizada a cada 6 meses para medir a exposição do trabalhador e verificar a eficácia das medidas de controlo. Além disso, a OSHA recomenda que apenas o (s) agente (s) usado (s) com mais frequência precise de ser monitorado, uma vez que os controlos de engenharia, práticas de trabalho e procedimentos de controlo adequados devem reduzir todos os agentes proporcionalmente. No entanto, a decisão de monitorar gases seleccionados pode depender não apenas da frequência de seu uso, mas também da disponibilidade de um método analítico apropriado e do custo da instrumentação.

2.5.1 Tipos de monitorização

De um modo geral, é possível recorrer a três tipos fundamentais de monitorização/amostragem de ar para avaliar a atmosfera do local de trabalho: monitorização pessoal, monitorização de área e monitorização de origem.

A monitorização pessoal fornece a melhor estimativa do nível de exposição de um trabalhador, uma vez que representam a concentração real de contaminantes no ar na

zona de respiração do trabalhador durante o período de amostragem. Esse é o método preferido para determinar a exposição média ponderada no tempo (TWA-Time Weight Average) de um trabalhador e deve ser usado para avaliar exposições pessoais durante a administração de anestésicos ou noutras situações de exposição aos agentes anestésicos ou outros agentes químicos e biológicos. Quando vários profissionais de saúde realizam o mesmo trabalho, no mesmo turno e na mesma área de trabalho, e a duração e nível das exposições a gases residuais são semelhantes, o empregador pode avaliar uma fração representativa dos funcionários em vez de os incluir todos na avaliação da exposição pessoal.

A monitorização de área é útil para avaliar os níveis gerais de contaminantes do ar numa área de trabalho e para investigar a contaminação cruzada com outras áreas do estabelecimento de saúde.

A monitorização de origem pode ser usada para detetar fugas nos sistemas de anestesia, bem como na captura ineficaz pelo sistema de eliminação.

Deste modo, a forma como a monitorização é realizada ou conduzida num determinado local é um dos pontos críticos em qualquer programa de monitorização dos níveis de qualidade do ar, dos níveis de exposição e, consequentemente, do grau de segurança da avaliação.

2.5.2 Metodologias de monitorização

Existem várias técnicas para medir as concentrações de gases anestésicos no ar (WCB, 2001):

- Amostragem de ar com equipamentos como tubos adsorventes ou manguitos, seguida de análise por cromatografia gasosa ou técnica de infravermelho;
- Amostrador de difusão e análise.
- Sistemas de leitura direta;

Considerando a faixa de variação dos parâmetros que afetam a exposição a gases anestésicos, a monitorização da qualidade do ar deve ser preferida a outros métodos de avaliação da exposição no local de trabalho.

As medições devem ser conduzidas de acordo com o estado da arte, aplicando métodos recomendados pelas regulamentações nacionais e internacionais em vigor ou outros métodos validados.

Amostragem integrada no tempo

A amostragem de gases anestésicos consiste na recolha de amostras de ar (partes de um todo que se pretendem representativas desse todo) para posteriormente serem analisadas em laboratório, com recurso a metodologias diversas.

A amostragem pode ser conduzida por métodos ativos e/ou passivos. A amostragem passiva (AP) é uma forma bastante conveniente na medida em que são silenciosos, não precisam de eletricidade para desempenhar a sua função, o que contribui para aumentar a aceitação pelos participantes ou pelas pessoas que frequentem os locais de estudo. Os dosímetros passivos, usados na amostragem pessoal, estão disponíveis para monitorar a exposição a alguns anestésicos voláteis. São projetados para ser sensíveis ao ar respirado do trabalhador e funcionam por períodos de uma até 168 horas. Os dosímetros são retirados da sua embalagem no início do período da exposição e recolocados no fim do período de exposição. O utilizador deve manter o registo desse período e, quando a amostragem está completa, o dosímetro é etiquetado com o nome do trabalhador e o tempo total da exposição e enviado para o laboratório. Dosímetros de lapela estão disponíveis para gases anestésicos halogenados, óxido nitroso, entre outros componentes.

A amostragem ativa (AA) requer o uso de uma bomba de vácuo para recolher continuamente amostras de ar em momentos determinados (em geral a cada oito horas), a qual requer alimentação por bateria ou ligação direta à corrente elétrica.

Além do que já foi referido, a AP fornece apenas uma concentração integrada por um período mais longo do que a AA. Enquanto os amostradores passivos são normalmente instalados por um período de 1 a várias semanas (e às vezes meses), os amostradores ativos são instalados por períodos de vários minutos, a alguns dias. Isso torna a AP menos capaz de caracterizar com detalhe as variações do contaminante, mas também menos suscetível a vieses causados pela variabilidade de curto termo ou pelos picos de concentração do que a AA. A AP apresenta ainda outras desvantagens como a opacidade dos processos e as incertezas associadas às taxas de captação dos amostradores passivos relativamente a muitos compostos. Devido a essas incertezas, a AP é frequentemente considerada uma técnica sem quantitativa. Acredita-se que a AP estima as “concentrações verdadeiras” dentro de um fator de 2 a 3 e são consideradas estar ainda num estágio de baixa maturidade para se aproximar da precisão da AA na medição de gases anestésicos. A AA por possibilitar a obtenção de informação mais detalhada e por

permitir conhecer com mais rigor a exposição média é quase sempre utilizada em estudos de investigação científica.

Em ambos os métodos o ar ou o gás de interesse é recolhido num recipiente inerte, adequado para o efeito, ao longo de um tempo pré-definido, sendo este depois fechado e levado para o laboratório para análise dos respetivos componentes (NIOSHA, 1977).

O Manual de Informações Químicas da OSHA (OSHA, 2000) contém a tecnologia atual de amostragem para vários gases anestésicos que podem estar presentes nos locais de anestesia.

Medições em tempo real

A utilização de equipamento de monitorização em tempo real, ao contrário dos métodos de amostragem *in-situ* com análise *offline*, fornece uma leitura direta, imediata e contínua (em tempo real) das concentrações de gases anestésicos no ar interior. Como este método faculta um feedback instantâneo ou quase instantâneo, as fugas de gás anestésico, os riscos para a saúde e as medidas de controlo podem ser identificadas e avaliadas quase em tempo real.

Nos anos 90, surgiram várias tecnologias concorrentes e mais acessíveis que promoveram o uso de medição multigás anestésico de forma independente, em cada sala de cirurgia. Essas tecnologias incluíam a espectrometria de infravermelho, RAMAN espectrometria, espectrometria infravermelha fotoacústica e análise de agentes de cristais piezoelétricos (WCB, 2001). Das várias tecnologias concorrentes de medição de gases anestésicos, a espectrometria de infravermelho emergiu como uma das mais comercializadas e com relativo sucesso técnico. Existem duas razões principais para isso. A primeira é que a tecnologia poderia ser implementada a um custo menor, atingindo uma base maior de clientes e, segundo, a funcionalidade de identificação de agentes pode ser facilmente adicionada a esses analisadores (NIOSHA, 1977, STUART, 2004).

A espectroscopia de infravermelho fornece a impressão digital de uma molécula. A impressão digital consiste numa série única de absorvâncias de energia numa faixa de comprimentos de onda compreendido entre 2,5 e 14 micrómetros (μm). O MIRAN Sapphire da Thermo Environment foi um dos espectrofotómetros de infravermelhos, portátil, mais usado durante um longo período na determinação quantitativa dos gases anestésicos, através da medição efetiva da quantidade de energia (também conhecido

como nível de absorvância) recebida após o feixe de luz infravermelha passar através de uma amostra de gás. Quanto maior a quantidade de luz (energia) absorvida pelo composto, maior a sua concentração, cuja relação é a estabelecida pela lei de Lei de Beer, a qual diz que a absorvância é diretamente proporcional à concentração, quando a constante específica do gás e o comprimento da célula de medição são mantidos constantes.

Mais recentemente, surgiram equipamentos mais sofisticados que assentam o seu princípio de operação na espectroscopia fotoacústica de infravermelho, que combina o feixe de radiação infravermelho com o sensor acústico ótico de elevada sensibilidade. Este princípio de operação será descrito na seção 4.4, dado que o instrumento usado neste estudo assenta neste princípio de medição.

2.6 AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO HUMANA A GASES ANESTÉSICOS

2.6.1 Conceitos fundamentais

O principal objetivo dos programas controlo de poluição do ar interior é proteger a saúde dos ocupantes desses espaços dos efeitos adversos dos poluentes. Além da determinação das concentrações dos poluentes, é necessário entender outros componentes do sistema de poluição do ar descritos como na Figura 4, a fim de determinar os riscos para a saúde apresentados pelo poluente ou pela fonte de poluição.

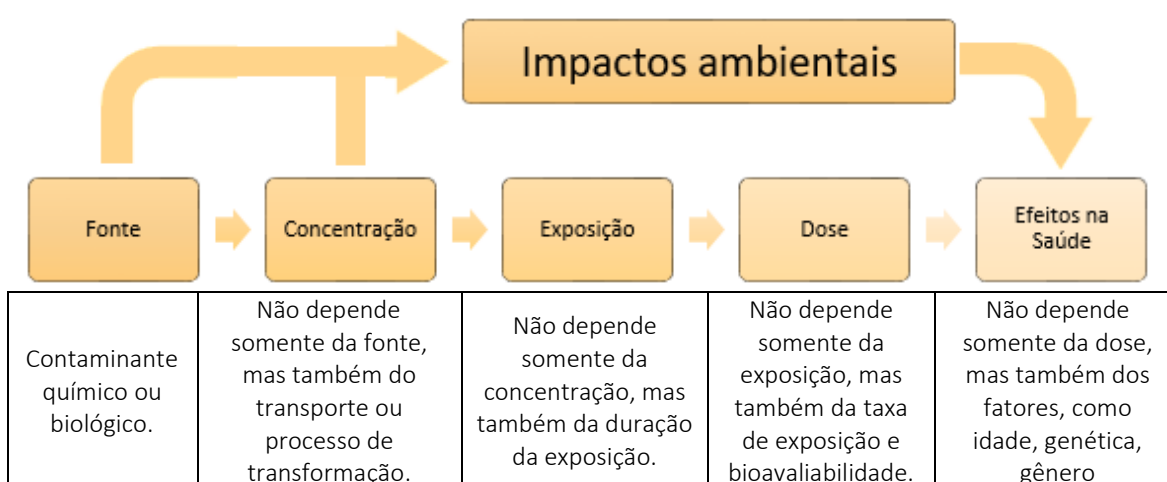


Figura 4 – Sistema de poluição do ar: conceitualização contínua da fonte aos efeitos da saúde humana.

Fonte: Adaptado de Zhang e Liroy (2002).

A figura anterior ilustra a diferença entre três conceitos – Concentração, Exposição e Dose – que frequentemente são usados de forma confusa na literatura.

A concentração de um poluente específico do ar é a quantidade de material por unidade de volume de ar. As concentrações são mais comumente expressas como massa por unidade de volume (por exemplo, microgramas por metro cúbico) ou em volume por unidade de volume (por exemplo, partes por milhão, em volume).

Quando falamos de exposição referimo-nos a qualquer contacto entre um contaminante transportado pelo ar e uma superfície do corpo humano, seja externa (por exemplo, a pele) ou interna (por exemplo, epitélio do trato respiratório) (ZARTARIAN et al., 1997). Estes mesmos autores apresentaram um conceito de “exposição pontual instantânea” (corresponde à ocorrência conjunta de dois eventos: (1) o ponto i de um alvo está localizado em (x_i, y_i, z_i) no tempo t e (2) um agente de a concentração C_i está presente no local (x_i, y_i, z_i) no tempo t), que está na base de todas as outras funções de exposição em relação ao tempo e ao espaço (por exemplo, exposição média, exposição integrada).

Assim, enquanto a concentração é uma característica física do ambiente num determinado local e momento, a exposição descreve uma interação entre o ambiente e um sujeito vivo. Uma concentração numa sala com pessoas presentes é uma medida substituta da exposição, mas é válida apenas na medida em que se aproxima das concentrações realmente experimentadas por cada indivíduo na sala.

Para a exposição por inalação, é necessário conhecer a exposição durante um intervalo de tempo preocupante, porque as pessoas normalmente respiram continuamente o ar que contém o poluente da concentração C_i no local (x_i, y_i, z_i) durante o período de contato (t_1 a t_2). As expressões matemáticas da exposição integrada ao longo do intervalo de tempo de preocupação podem ser complicadas, dependendo das variações espaciais e temporais da concentração de poluentes.

Uma das definições de exposição mais comumente usadas é a exposição num tempo médio (e.g., a média ponderada no tempo (MPT) medida em ambientes ocupacionais), a qual corresponde à exposição integrada temporalmente dividida pela duração do intervalo de tempo (NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC), 1991; ZHANG e LIOY, 2002):

$$E = \int_{t_1}^{t_2} C(t)dt \quad (\text{Eq. 1})$$

Estimativas precisas da exposição humana a poluentes presentes no ar inalado são necessárias para uma avaliação realista dos riscos que esses poluentes representam, bem como para o projeto e implementação de estratégias de controlo desses riscos.

Finalmente, importa também distinguir os conceitos de exposição e dose (DUAN et al., 1990). Enquanto a exposição é a concentração de poluentes no ar no ponto de contacto entre o corpo e o ambiente externo, a dose é a quantidade de poluente que realmente atravessa um dos limites do corpo e atinge o tecido alvo. A diferença entre exposição e dose é ilustrada considerando-se duas pessoas, uma sedentária e outra vigorosamente ativa, numa sala onde a concentração de poluentes no ar é constante. Ambos têm a mesma exposição nominal. Porém, devido à respiração mais rápida e profunda, a dose real de poluição do ar fornecida aos tecidos pulmonares é maior no sujeito ativo do que no sedentário.

2.6.2 Indicadores da exposição

Pelo que vimos no item anterior, existem três aspetos da exposição que são importantes para determinar as consequências relacionadas com a saúde humana:

- A magnitude, ou seja, qual é a concentração de poluentes num dado local e num dado período de tempo?
- A duração, ou seja, quanto tempo dura a exposição?
- E a frequência, ou seja, com que frequência as exposições ocorrem?

A magnitude é um importante parâmetro de exposição, porque normalmente relaciona-se com a exposição e esta com a dose e, finalmente, esta última com o estado de saúde. Mas a exposição implica um componente de tempo e é essencial especificar a duração de uma exposição. Os riscos para a saúde decorrentes da exposição a uma concentração específica por 5 minutos provavelmente serão diferentes, mantendo todos os outros fatores iguais, dos que resultam da exposição à mesma concentração por uma hora. Da mesma forma, a frequência da exposição ou o tempo entre exposições subsequentes pode ter implicações na saúde. Se uma pessoa é exposta uma vez por semana ou várias vezes ao dia pode ser um determinante importante da lesão causada pela poluição do ar.

Um monitor de poluentes do ar em tempo real, transportado por uma pessoa durante 24 horas, forneceria um registo de exposição contínuo para esse período.

Dependendo do poluente e das atividades da pessoa durante esse período, o registo pode mostrar alguns intervalos de exposição zero e alguns intervalos de exposição muito alta. O registo completo conteria todas as informações de exposição para esse dia, mas geralmente é muito complexo de por em prática, além de muito difícil e caro.

Em alternativa é comum recorrer e confiar em resumos de dados (médias) que dependem das capacidades dos instrumentos disponíveis. Na maioria dos estudos de exposição, a magnitude é definida como a concentração média num intervalo de tempo especificado (por exemplo, 1, 8 ou 24 horas). Duração é o tempo (ou tempo médio) do início ao fim de uma exposição diferente de zero, e frequência é o número de episódios de exposição (de uma duração especificada) por unidade de tempo.

São vários os indicadores de exposição. Os mais usados são (HAJAGHAZADEH e JAF AIR, 2018; DOHS, 2019):

- Valor Limite Temporal (VLT),
- Média Ponderada no Tempo (MPT),
- Limite de Exposição Permissível (LEP),
- Limite de Exposição Recomendado (LER).

O VLT de uma substância química estabelece o nível razoável ao qual um trabalhador pode ser exposto repetidamente, dia após dia, durante a vida útil, sem efeitos adversos para a saúde. No entanto, o VLT é frequentemente substituído por outros conceitos similares usados em saúde ocupacional e toxicologia, como a Média Ponderada no Tempo, o Limite de Exposição de Curto Termo, o Limite de Exposição Permissível e o Limite de Exposição Recomendado, entre outros.

Média Ponderada no Tempo (MPT, inglês TWA)

A TWA para a exposição a um produto químico pode ser usada quando ambas a concentração e o tempo de exposição variam ao longo do tempo. É assim usado como a média exposição a um contaminante ao qual os trabalhadores possam ser expostos sem efeito adverso um período como um dia de 8 horas ou uma semana de 40 horas (um turno de trabalho médio). Eles são geralmente expressos em unidades de ppm (volume/volume) ou mg/m³. A média ponderada no tempo é um VLP baseado num dia útil de 8 horas e uma semana de trabalho de 40 horas. Por exemplo, o MPT para monóxido de carbono é de 25 ppm. Isso significa que uma média de 25 ppm é considerada o VLT seguro para um dia de trabalho de 8 horas.

Limite de Exposição de Curto Termo (LECT, inglês STEL)

O LECT é um valor limite acima do qual a exposição a uma substância química não deve ocorrer e geralmente se refere a um período de referência de 15 minutos. O objetivo de um STEL é evitar efeitos adversos à saúde e outros efeitos indesejados, devido ao pico de exposição que não pode ser controlado pela aplicação de um limite de 8 horas na TWA. Um teto é um VLP que não deve ser excedido durante nenhuma parte da experiência de trabalho.

O Limite de Exposição Permissível (LEP, inglês PEL)

O LEP é um VLP estabelecido pela OSHA nos EUA para a exposição de um funcionário a uma substância ou agente físico e pode diferir dos VLP noutras jurisdições. Os limites de exposição permitidos são estabelecidos pela Administração de Segurança e Saúde Ocupacional (OSHA). Um LEP é geralmente dado como uma média ponderada no tempo, embora alguns sejam limites de exposição a curto prazo (LECT) ou limites de teto.

Limites de exposição recomendados (LER, inglês REL)

Os LER são TLVs (R) estabelecidos pela NIOSH para a exposição de um funcionário a uma substância ou agente físico.

2.7 NORMAS E PADRÕES INTERNACIONAIS

2.7.1 União Europeia

De entre as diretivas da União Europeia, são várias as que procuram proteger os trabalhadores dos riscos ligados à exposição a diversos agentes químicos e biológicos. A Diretiva nº 98/24/CE é relativa à proteção da segurança e da saúde dos trabalhadores contra os riscos ligados à exposição a agentes químicos no trabalho, alterada pela Diretiva nº 2007/30/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 20 de junho. A Diretiva nº 2004/37/CE) tem por objetivo a proteção dos trabalhadores a agentes cancerígenos ou mutagénicos durante o período de trabalho. A Diretiva nº 2000/54/CE é relativa à proteção dos trabalhadores contra riscos ligados à exposição a agentes biológicos durante

o trabalho. Porém nenhuma fala sobre a exposição aos resíduos de gases anestésicos. Porém, são vários os países europeus que se preocupam com este assunto, demonstrando-o através da publicação de legislação geral ou específica.

A International Social Security Association (ISSA) apresenta os limites de exposição dos gases anestésicos estabelecidos na Alemanha, Suíça e França (Tabela 4). Para os gases halotano e isoflurano, o limite de exposição ocupacional de curto tempo na Suíça é o dobro do determinado pela Alemanha, sendo de 40 ppm e 80 ppm na Suíça e de 20 ppm e 40 ppm na Alemanha, respetivamente. Já na Alemanha, o limite de exposição, para um tempo médio de 8 horas, para o gás enflurano é o dobro do definido na Suíça, sendo de 10 ppm na Suíça e 20 ppm na Alemanha. Observa-se que para os gases sevoflurano e desflurano não foram determinados valores limite de exposição para estes países (ISSA, 2001).

Tabela 4 – Valores limite de exposição de alguns gases anestésicos na Suíça, França e Alemanha.

Gás anestésico	Suíça		França		Alemanha	
	Limite de exposição ocupacional – tempo médio para 8 horas	Limite de exposição ocupacional de tempo curto (4x15 min/turno)	Limite de exposição ocupacional durante fase de manutenção	Limite de exposição ocupacional – tempo médio para 8 horas	Limite de exposição ocupacional de tempo curto (4x15 min/turno)	
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
Protóxido de azoto	100	200	25	100	400	
Halotano	5	40	2	5	20	
Enflurano	10	80	2	20	80	
Isoflurano	10	80	2	10	40	
Sevoflurano	-	-	-	-	-	
Desflurano	-	-	-	-	-	

Fonte: Adaptado de ISSA (2001).

Além desses países, Deng et al. (2018) compilou valores limite de exposição, usados em diferentes países como Áustria, Dinamarca, Espanha, Finlândia, Holanda, Inglaterra, Itália, Noruega, Polónia e Suécia, como pode ser visto na Tabela 5.

Tabela 5 – Valor limite de exposição do protóxido de azoto (N₂O), desflurano, isoflurano e sevoflurano em alguns países europeus.

País	N₂O		Desflurano		Isoflurano		Sevoflurano	
	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³
Áustria	100	180	-	-	10	80	10	80
Dinamarca	50	90	5	35	5	38	5	42
Espanha	50	92	-	-	50	383	-	-

Finlândia	100	180	10	70	10	77	10	83
Holanda	25	-	-	-	2	-	-	-
Inglaterra	100	-	-	-	50	383	-	-
Itália	100	-	-	-	-	-	-	-
Noruega	50	90	20	140	2	15	20	140
Polónia	-	90	-	125	-	32	-	55
Suécia	100	180	10	70	10	80	10	80

Fonte: Adaptado de Deng et al. (2018).

Embora a Itália possua uma legislação para o limite de exposição do protóxido de azoto, este valor é duas vezes maior do que o determinado pela Dinamarca, Espanha e Noruega (50 ppm) e quatro vezes maior do que o determinado pela Holanda (25 ppm). De acordo com esta tabela, constata-se que existe uma grande variação nos valores limite de exposição e nem todos estes países possuem o valor limite para os gases anestésicos utilizados atualmente nos hospitais.

Espanha, Itália, Holanda e Inglaterra não possuem legislação para o limite de exposição do gás anestésico halogenado sevoflurano. Estes mesmos países, incluindo a Áustria, não possuem legislação para o limite de exposição do desflurano. Enquanto a Dinamarca adota um limite de exposição de 5 ppm para o gás desflurano e sevoflurano, a Finlândia e a Suécia adotam um valor duas vezes maior (10 ppm) e a Noruega quatro vezes maior (20 ppm).

Nestas legislações também não são referidas se a exposição é de curto termo (1 hora) ou longo termo (8 horas). Dessa forma, é de grande importância que a União Europeia crie uma legislação de forma que possa padronizar estes valores, para assegurar a segurança e saúde dos trabalhadores que estão expostos a estes gases diariamente.

2.7.2 Portugal

A legislação portuguesa que rege a segurança e saúde no trabalho é a Lei nº 102/2009 (regulamenta o regime jurídico da saúde no trabalho, no que tange aos princípios gerais que visam promover a segurança, higiene e saúde no trabalho). Nela apresenta medidas de prevenção e proteção à exposição de agentes químicos, físicos, e biológicos ou outros fatores de natureza psicossocial que possam comprometer a atividade reprodutora do trabalhador ou causar efeitos adversos, impondo a obrigação da identificação e avaliação de agentes e fatores e respetivos riscos.

A presente lei transpõe para a ordem jurídica interna a Directiva nº 89/391/CEE, do Conselho, de 12 de Junho, relativa à aplicação de medidas destinadas a promover a melhoria da segurança e da saúde dos trabalhadores no trabalho, alterada pela Directiva

nº 2007/30/CE, do Conselho, de 20 de Junho. A presente lei apresenta ainda, a transposição das seguintes diretivas comunitárias: Diretiva nº 91/383/CEE (aplicação de medidas tendentes a promover a melhoria da segurança e da saúde dos trabalhadores que têm uma relação de trabalho a termo ou uma relação de trabalho temporária); Diretiva nº 92/85/CEE, (implementação de medidas destinadas a promover a melhoria da segurança e da saúde das trabalhadoras grávidas, puérperas ou lactantes no trabalho); Diretiva nº 94/33/CE, (proteção dos jovens no trabalho); Diretiva nº 90/394/CEE, (proteção dos trabalhadores contra os riscos ligados à exposição a agentes cancerígenos durante o trabalho); Diretiva nº 90/679/CEE, (proteção dos trabalhadores contra os riscos ligados à exposição a agentes biológicos durante o trabalho); Diretiva nº 98/24/CE (proteção da segurança e da saúde dos trabalhadores contra os riscos ligados à exposição a agentes químicos no trabalho).

Esta legislação aplica-se a todos os ramos de atividades, nos setores privados ou cooperativo social e define o local de trabalho como em que o trabalhador se encontra ou de onde ou para onde deva dirigir-se em virtude do seu trabalho, no qual esteja direta ou indiretamente sujeito ao controlo do empregador.

É esta lei que determina que substâncias, agentes ou processos devem ser proibidos, limitados ou sujeitos a autorização e controlo da autoridade competente, bem como a determinação de valores limite de exposição (VLE) do trabalhador a agentes químicos, físicos e biológicos e das normas técnicas para amostragem, medição e avaliação dos resultados. Refere ainda que quem estabelece as normas e padrões para exposição dos agentes químicos voláteis é o Sistema Português de Qualidade (SPQ), intitulado como Instituto Português de Qualidade (IPQ), o qual determina os VLE de vários gases por meio da Norma Portuguesa nº 1796/2007.

A Norma Portuguesa N° 1796 de 2007 é aplicada a todos os locais de trabalho que estejam expostos a agentes químicos e para os quais existem valores fixados de limites de exposição a agentes químicos existentes nesses locais, porém não há limites determinados para os gases anestésicos utilizados em salas de cirurgia (IPQ, 2007).

2.7.3. Mundial

O Instituto Nacional de Segurança e Saúde dos Estados Unidos (National Institute for Occupational Safety and Health – NIOSH, 1977) possui estudos o qual determinam o valor limite de exposição de alguns gases anestésicos. O valor limite de

exposição apresentado para os gases halogenados (desflurano, isoflurano e sevoflurano) é de 2 ppm não podendo ser excedido numa exposição de 1 hora. Para o protóxido de azoto é determinado um limite de exposição de 25 ppm em 8 horas de exposição por dia. Estes são os padrões utilizados como base na maioria dos artigos publicados, como nos trabalhos de Oliveira (2009), Norton et al. (2015), Braz et al. (2017), Souza et al. (2018) e Lucio et al. (2018).

3. METODOLOGIA

Neste capítulo será feita a caracterização do local de estudo e referido o processo de amostragem e respetivos equipamentos utilizados, bem como o tratamento estatístico aplicado aos dados obtidos para posterior discussão.

3.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

O presente trabalho foi realizado na Unidade Hospitalar de Bragança localizada no nordeste de Portugal no distrito de Bragança, especificamente no bloco operatório. Esta unidade hospitalar está integrada na Unidade Local de Saúde do Nordeste (ULSNE), que integra atualmente três Unidades Hospitalares e 14 Centros de Saúde. A ULSNE é uma entidade pública empresarial de capitais exclusivamente detidos pelo Estado, dotada de autonomia administrativa, financeira e patrimonial, atuando na área clínica ao nível dos Cuidados de Saúde Primários, Cuidados Hospitalares, Urgência, Emergência e Cuidados Intensivos, Paliativos e de Saúde Pública (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2018).

O bloco operatório (BO) da Unidade Hospitalar de Bragança é constituído por duas salas de cirurgia – sala de cirurgia geral (SCG) e sala de cirurgia de urgência (SCU), duas salas de desinfeção, uma sala de registos médicos (SRM), uma sala de recobro (SR), uma zona de transferência (ZT) - ou transfere – de doentes, entre outros espaços, como vestiários, casas de banho e sala de pausa dos funcionários. Ao lado do BO encontra-se o serviço de esterilização do hospital, que mantém ligação ao BO, através de guichés permitindo assim a transferência de material cirúrgico entre locais. O serviço de esterilização encontra-se dividido em duas zonas: zona de material não estéril (STS) e de material estéril (STL) (Figura 5). O acesso ao BO é restrito e controlado pelo pessoal do BO através de duas portas automáticas de correr.

O sistema de exaustão e ventilação desse bloco operatório ocorre por um processo de aspiração central construída recentemente, o sistema AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado). Este sistema é controlado manualmente, como, por exemplo variáveis de humidade relativa do ar, temperatura e caudal, e possui dois tipos de filtros: um filtro de manga e um filtro de alta eficiência. O filtro de manga é trocado semanalmente, o qual faz a filtração de partículas grosseiras, e o filtro de alta eficiência é trocado anualmente.

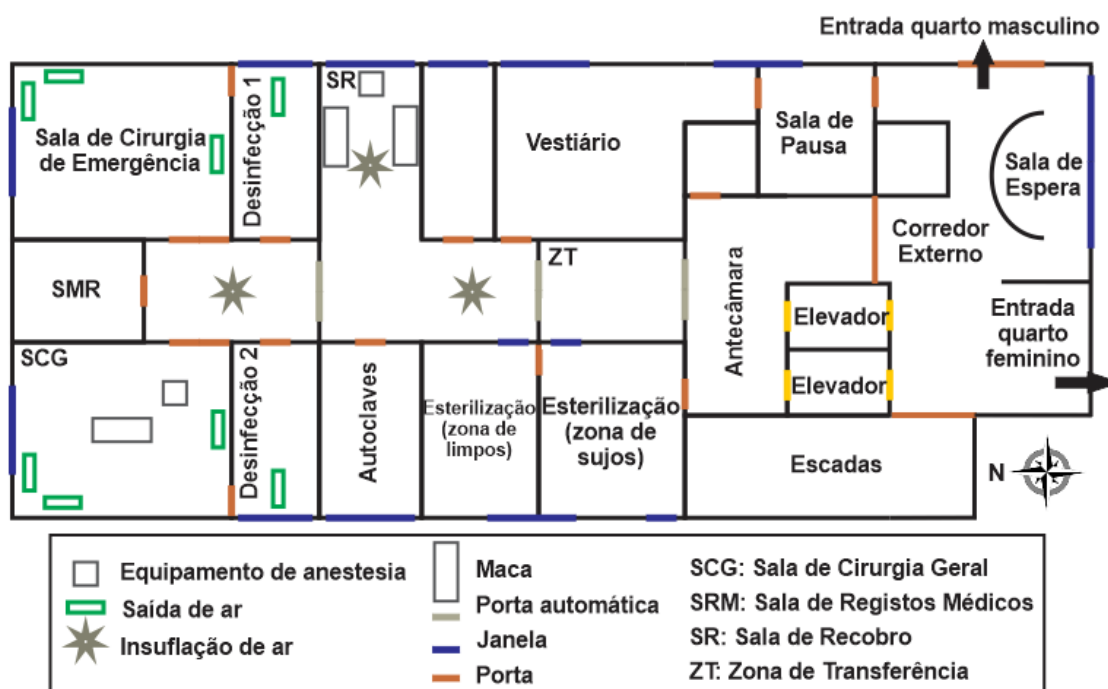


Figura 5 – Layout do bloco operatório do Hospital Distrital de Bragança (vista superior).

A sala de cirurgia geral (sala de cirurgia programada – SCG – ou sala cirúrgica 1) é utilizada com horários agendados para cirurgia geral, urologia e ginecologia, sendo disponibilizada de segunda-feira de manhã até sexta-feira às 20h. Esta sala possui 5 grelhas retangulares (3 no teto e 2 na parede superior da SCG na entrada da sala) que permitem a circulação do ar e a exaustão dos gases halogenados (Figura 6). A insuflação de ar ocorre nas duas grelhas localizadas na parede, enquanto a saída de ar desta sala é realizada pelas três grelhas localizadas no teto.

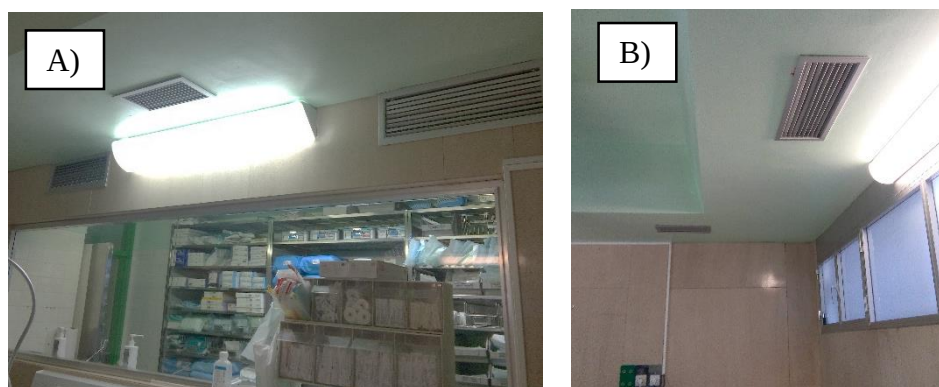


Figura 6 – Sistema de insuflação (grelhas na parede) e saída de ar (grelhas no teto) na sala de cirurgia geral. A) Entrada da sala. B) Fundo da sala.

A sala cirúrgica de urgência e emergência opera 24 horas por dia (SCU ou sala cirúrgica 2) com cirurgias de obstetrícia, ginecologia e traumatologia. As salas de cirurgia

possuem a mesma área de ocupação, sendo de aproximadamente 30 m². A SCU também possui 5 grades que integram o sistema AVAC do bloco operatório (3 no teto e 2 na parede superior da entrada da sala).

As salas de desinfecção são onde os médicos e enfermeiros fazem a lavagem e desinfecção das mãos e antebraços antes de iniciarem a cirurgia.

A zona do recobro ocupa um espaço de 15,1 m² do bloco operatório e comporta no máximo 2 utentes, possuindo uma cortina no meio para a separação do ambiente. Este espaço possui uma grade de insuflação de ar no teto no centro da sala e duas grades para a saída de ar na parte inferior das paredes laterais no fundo da sala (Figura 7).

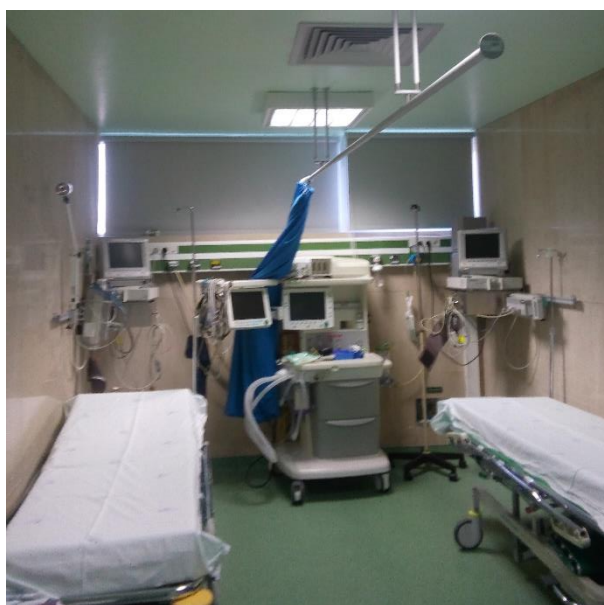


Figura 7 – Sala de recobro da ULSNE de Bragança.

A sala de material não estéril, também conhecida como sala dos sujos, é o local onde são recebidos os materiais utilizados na cirurgia, para posterior lavagem, desinfecção e embalagem. A sala de materiais limpos é o local onde a esterilização do material é efetuada, sendo também onde alguns materiais esterilizados se encontram armazenados. A ligação desta sala com o corredor do BO é feita através de uma janela onde ocorre a entrega dos materiais que serão utilizados nas intervenções cirúrgicas.

A zona de transferência (11 m²) é o local onde se procede à transferência de pacientes da cama hospitalar para a maca cirúrgica e vice-versa. Nesta zona existe uma janela de ligação à sala de materiais sujos que permite a transferência de materiais utilizados nas intervenções cirúrgicas. A limpeza das macas utilizadas no bloco operatório também é feita na zona de transferência.

Em todo o bloco operatório do hospital há a circulação da equipa médica e de enfermagem, pessoal auxiliar de ação médica, bem como estagiários de medicina (uma vez por semana) e, ocasionalmente, estagiários de enfermagem.

3.2 ESTAÇÃO DE TRABALHO DE ANESTESIA

O sistema anestésico utilizado no hospital é o modelo Leon Plus da marca Löwenstein Medical (Figura 8). O circuito de anestesia dos pacientes no hospital ocorre em sistema fechado, o qual evita perda excessiva de gases para o ambiente.



Figura 8 – Equipamento de anestesia Leon Plus.

Os gases anestésicos utilizados pelos anestesistas foram o desflurano e o sevoflurano. A determinação da escolha do gás variou de médico anestesista. Estes gases foram utilizados durante a cirurgia após a aplicação da anestesia endovenosa no paciente com a utilização do fármaco propofol, seguida de intubação endotraqueal. Os anestésicos voláteis potencializam os efeitos dos agentes bloqueadores neuromusculares de maneira dependente da dose, sendo o desflurano com maior capacidade de bloqueio do que o sevoflurano (HEMMERLINGS e HOPKINS, 2006).

3.3 DESCRIÇÃO EXPERIMENTAL

3.3.1 Medições de parâmetros físico-químicos

As medições dos gases anestésicos desflurano e sevoflurano, dióxido de carbono, temperatura e humidade relativa foram realizadas em três ambientes do bloco operatório da unidade hospitalar de Bragança, designadamente na sala de cirurgia geral (SCG), sala de recobro e zona de transferência, com e sem realização de cirurgias. Realizaram-se ainda medições no hall de acesso aos quartos e bloco operatório, designado a partir de agora por Corredor Externo (CE), como forma de comparação dos resultados obtidos no BO. As medições de humidade relativa e de temperatura do ar são importantes para avaliar aspetos de conforto térmico, mas também de qualidade do ar interior. O dióxido de carbono é um gás que em concentrações elevadas, superiores a 5000 ppm, pode causar efeitos na saúde humana, mas a sua medição visa sobretudo avaliar por via indireta as condições de ventilação dos espaços.

Durante o período de estudo (janeiro a junho de 2019), foram monitorizadas 20 cirurgias, entre elas 8 com utilização do gás desflurano e 12 com sevoflurano (Tabela 6). O período de medição na SR, ZT e CE foi de aproximadamente 1 h. Na SCG variou em média entre 2 a 4 h, dependendo da duração das cirurgias.

Tabela 6 – Quantidade de cirurgias em que foram realizadas medições e seu respetivo gás anestésico utilizado.

Gás anestésico utilizado	Quantidade	Cirurgia
Desflurano	6	Colecistectomia laparoscópica
	1	Hérnia inguinal
	1	Quadrantectomia
Sevoflurano	3	Colecistectomia laparoscópica
	1	Colecistectomia convencional
	1	Hérnia inguinal
	1	Hérnia ventral com gangrena
	1	Gastrectomia
	1	Gastrectomia parcial
	1	Colecistectomia laparoscópica com hernioplastia inguinal bilateral
	1	Hemicolectomia direita
	1	Gastro jejunostomia
	1	Mastectomia esquerda
Soma	20	

Foram ainda realizados 3 ensaios que envolveram medições, dos parâmetros referidos anteriormente, em 3 dias em que não ocorreram cirurgias no hospital. Os dados

recolhidos nessas condições de ausência de cirurgias serviram de base de comparação dos valores recolhidos nos ensaios com realização de cirurgias, dos valores obtidos no corredor externo e, ainda, para avaliar a existência de fugas do sistema e do circuito anestésico.

Sala de cirurgia geral

As medições dos gases anestésicos na sala de cirurgia geral foram feitas em 5 pontos diferentes (Figura 9): na entrada da sala (A), na tubulação da anestesia no paciente (B), na área onde os membros da equipa médica (cirurgiões e enfermeiro(a) instrumentista se encontram (C), próximo ao equipamento de anestesia (D) e no local onde se localiza o médico anestesista e enfermeiro de anestesia (E).

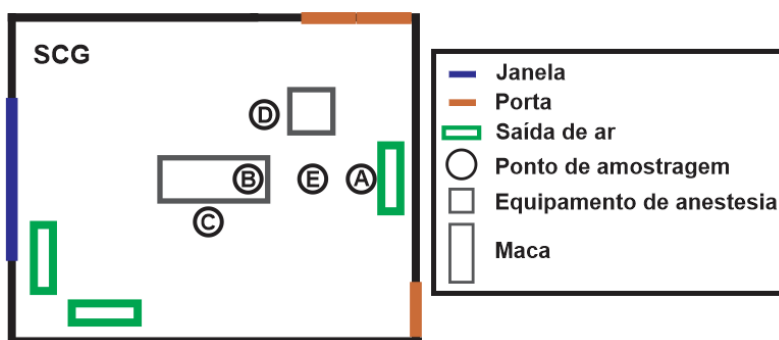


Figura 9 – Pontos de amostragem na sala de cirurgia geral (SCG).

As medições foram feitas antes e durante a cirurgia até à retirada do paciente da sala de cirurgia. A medição dentro da sala de cirurgia não seguiu uma ordem pré-determinada de colheita de amostra entre os pontos, tendo sido realizadas, de modo a perturbar o mínimo possível o trabalho dos médicos e enfermeiros.

Sala de recobro

As medições no recobro foram realizadas em 4 pontos distintos (Figura 10): área próxima ao equipamento de anestesia (A), saída da sala (B), próximo a respiração do paciente 1 (C) e próximo a respiração do paciente 2 (D). As medições feitas próximo ao paciente foram realizadas aproximadamente 1 m acima do nível do leito. No recobro, os enfermeiros geralmente não utilizam a máscara facial.

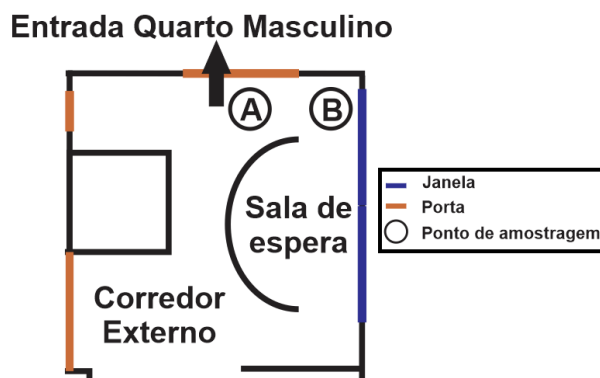


Figura 12 – Ponto de amostragem no corredor externo (CS).

3.4 EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO UTILIZADOS

3.4.1 Gases anestésicos e dióxido de carbono

A medição dos resíduos de gases anestésicos no hospital – desflurano e sevoflurano – e dióxido de carbono foi realizada pelo equipamento Gasera One Pulse (Figura 13), equipamento portátil que permite a medição de vários tipos de gases presente no ar, sendo eles gases anestésicos, gases de efeito estufa, hidrocarbonetos, gases inorgânicos, entre outros.



Figura 13 – Equipamento Gasera One Pulse em funcionamento no hospital.

O equipamento funciona de modo contínuo, ou seja, a recolha e a análise da amostra de ar ocorre em tempo real e *in situ*. O instrumento foi configurado para medir os gases anestésicos de interesse, o dióxido de carbono e outros constituintes como o álcool etílico e o vapor de água, possibilitando a recolha e análise de amostras de 3 em 3 minutos. As concentrações de etanol e de vapor de água também foram medidas de forma

a corrigir a interferência cruzada destes gases nas leituras dos anestésicos voláteis e de CO₂, respetivamente (HERZOG-NIESCERY et al.,2019).

O CO₂ foi medido pelo facto de ser um gás capaz de permitir inferir as condições de ventilação dos espaços e, conseqüentemente, o estado da qualidade do ar interior devido à potencial presença de outros gases, como referido no ponto 2.4.2.

Os resultados das análises são gravados no equipamento em ficheiros de formato *.meas, cuja transferência pode ser efetuada através de um pendrive.

O princípio de operação deste equipamento é o de espectroscopia fotoacústica de infravermelho, ou seja, o gás da amostra é selado numa câmara de medição fotoacústica e irradiado com luz infravermelha de uma frequência que corresponde a uma frequência de ressonância de uma molécula de gás de amostra conhecida. Se este gás de amostra estiver presente na câmara de medição, uma porção da energia infravermelha é absorvida por esse gás. Isso resulta no aumento local da energia térmica nas moléculas de gás e a pressão e a temperatura do gás da amostra aumentarão. Quando a radiação infravermelha é modulada com uma certa frequência, a variação de pressão na câmara fotoelétrica da amostra cria ondas acústicas da mesma frequência (PACZKOWSKI et al., 2019). Essa onda acústica é então convertida em sinal elétrico, sendo detetado pelo microfone óptico (GASERA, 2019).

No Gasera One Pulse há a combinação aprimorada de sensores, sendo composto por um microfone óptico cantilever ultrasensível com uma fonte de banda larga de infravermelho (UOTILA, 2009), o qual permanece dentro da célula de gás fotoacústica, e filtros ópticos de passagem de banda estreita (GASERA, 2019). Este esquema pode ser observado na Figura 14.

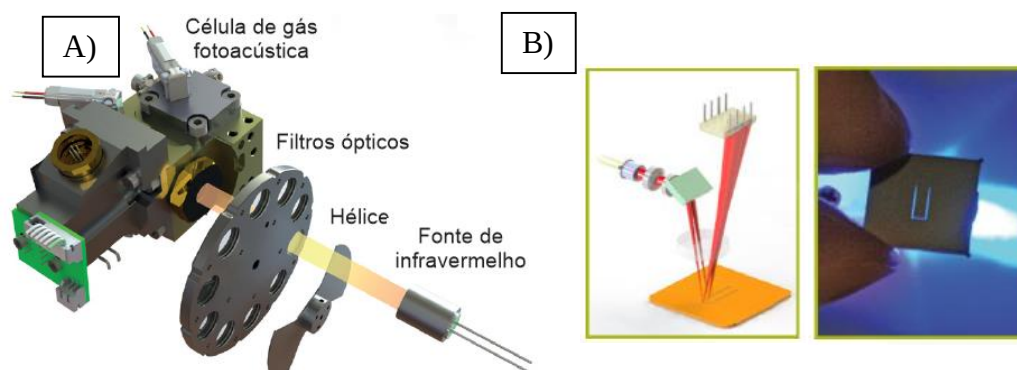


Figura 14 – A) Célula fotoacústica de infravermelho do Gasera One Pulse. B) Microfone óptico cantilever ultrasensível (patenteado).

Fonte: Gasera One Pulse, 2019.

O volume de amostra é baixo, necessitando de apenas alguns mililitros, para obter uma sensibilidade semelhante em comparação com as células de gás de vários litros de volume em outras técnicas de infravermelho. Segundo Mandal (2018), as vantagens em relação à espectrometria infravermelho convencional, é que os equipamentos de espectroscopia fotoacústica são de maior precisão, maior confiabilidade, menor necessidade de manutenção preventiva e menor necessidade de calibração.

3.4.2 Temperatura e humidade relativa

Para a medição de temperatura e humidade foram utilizados dois equipamentos (Figura 15), a sonda IQ-610 da Graywolf Sense Solutions (nas dez primeiras cirurgias) e um sensor de baixo custo (nas dez cirurgias restantes) construído numa prototipagem eletrónica Arduino com sensores devidamente calibrados, assegurando a medição em tempo real.

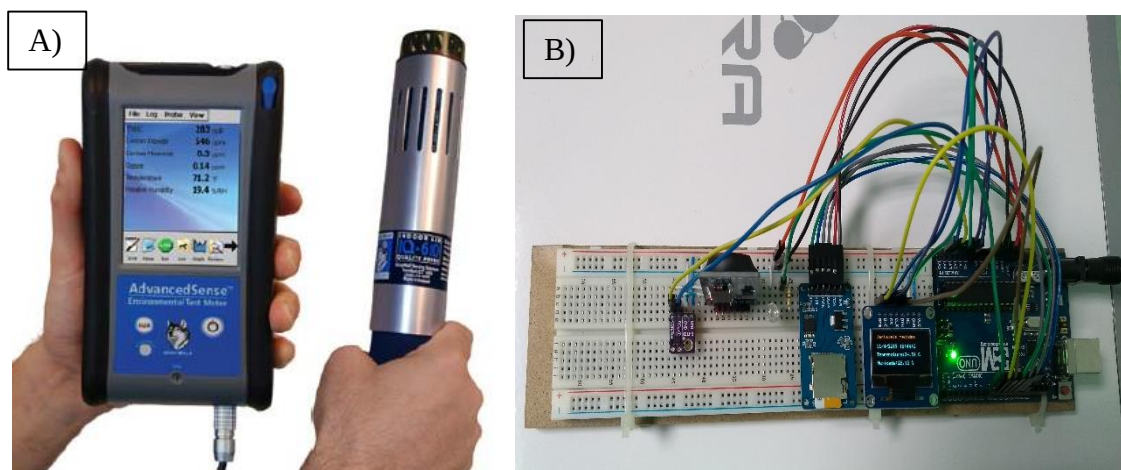


Figura 15 – Equipamentos utilizados na medição de temperatura e humidade relativa. A) Sonda IQ-610 GrayWolf. B) Sensor de baixo custo em prototipagem eletrónica de Arduino.

Apesar de medir parâmetros químicos, a sonda GrayWolf IQ-610 foi usada apenas com o propósito de obter os registos da humidade relativa e da temperatura do ar. Esta sonda foi instalada num mini tripé, colocado, sempre que possível, numa zona central de cada espaço de medição, sobre uma mesa móvel de aproximadamente 1,50 m de altura.

O sensor *lowcost* foi utilizado para facilitar o transporte e reduzir o tempo de montagem. Além disso, além assegurar precisão e rigor da medição humidade relativa e da temperatura do ar, permitia um arranque mais rápido das medições e do seu registo no cartão de memória do equipamento em arquivo formato txt.

Os valores de temperatura e humidade relativa são relevantes para avaliação da QAI, mas neste estudo foram sobretudo obtidos para avaliar o conforto térmico do bloco operatório do hospital, recorrendo ao diagrama psicométrico adaptado por Givoni.

3.5 PROCESSAMENTO DE DADOS E ANÁLISE ESTATÍSTICA

O processamento de dados consistiu na organização dos dados provenientes dos vários equipamentos e de outra informação recolhida no local de estudo, durante as medições, no cálculo de algumas variáveis como a concentração média ponderada dos gases anestésicos administrados aos pacientes, e na análise estatística dos mesmos com a obtenção das médias, medianas, mínimos e máximos dos parâmetros avaliados nos quatro locais e em cada ponto de amostragem, tendo sido utilizado o Microsoft Excel e o JMP, versão 11.

Além do cálculo de parâmetros de estatística descritiva, para comparação dos dados obtidos nos diferentes locais avaliados e entre pontos de amostragem em cada local, após verificar a normalidade dos dados e homogeneidade da variância, aplicou-se uma ANOVA seguida do teste post-hoc de Tukey, considerando-se significativo um valor de $p < 0,05$. Na situação em que estes dois pressupostos não se verificaram, foi aplicado o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, seguido da comparação múltipla das médias das ordens.

Foi utilizado também o software R Studio e R Project para a obtenção da matriz de correlação múltipla com os resultados de T, HR, CO₂, resíduos de gás anestésico, tempo de cirurgia, número de pessoas presente na sala e concentração de gás fornecida (%) para verificar se há correlação com algum destes resultados. Após a composição de todos os dados em uma tabela no Excel, o arquivo foi salvo em formato CSV (separado por vírgulas) para posterior leitura no R. A programação pode ser vista no Anexo A.

A concentração de gás fornecida é a porcentagem do gás em que o médico anestesista ajustava na máquina anestésica para fornecimento do gás anestésico no sistema de anestesia do paciente. Este dado foi coletado de 3 em 3 minutos, de acordo com a coleta do gás anestésico realizado pelo Gasera. Este valor não é necessariamente o mesmo fornecido no caudal do sistema de anestesia, visto que a máquina anestésica leva um tempo para alcançar este caudal que é ajustado manualmente.

Para esses valores serem inseridos em uma tabela, foi realizado uma média ponderada dos valores da concentração de gás anestésica fornecida, de acordo com o tempo de cirurgia.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os principais resultados. Primeiramente é efetuada uma análise aos valores de humidade relativa e temperatura do ar dos locais de medições, variáveis relacionadas com o conforto térmico. De seguida, avalia-se a ventilação dos espaços com base nos níveis de CO₂, por ser um bom indicador das condições da renovação de ar. Os pontos subsequentes enfatizam os níveis de resíduos de gases anestésicos em diferentes situações (e.g. períodos sem e com realização de cirurgias), em diferentes espaços e em diferentes pontos do mesmo espaço. Finalmente, procura-se estabelecer as potenciais correlações entre variáveis como gás anestésico, CO₂, temperatura, humidade relativa e anestesista envolvido.

4.1 HUMIDADE RELATIVA E TEMPERATURA DO AR

Os valores de temperatura do ar durante o período de estudo variaram de 19,4°C a 30,2°C, sendo o valor mínimo observado na SCG e o máximo no CE. A SCG e o SR apresentaram os valores mais baixos e similares entre si, por serem áreas climatizadas pelo sistema AVAC. O método de Kruskal-Wallis evidencia as semelhanças da temperatura na SCG e SR, e as diferenças significativas relativamente às registadas na ZT e CE. Na Figura 16 apresenta-se o boxplot com a variação interquartil e valores extremos da temperatura e humidade relativa obtida nos quatro espaços estudados – CE, SCG, SR e ZT.

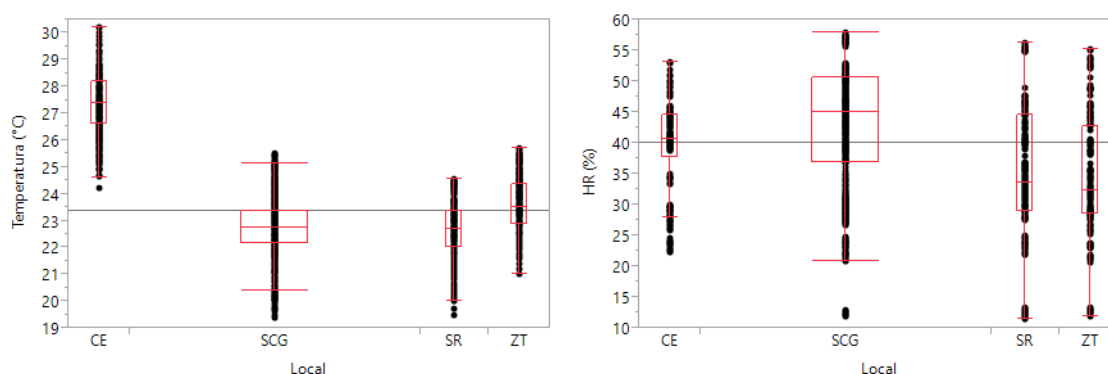


Figura 16 – Boxplot com representação interquartil e valores extremos da Temperatura e humidade relativa do CE, SCG, SR e ZT.

Comparando-se com as normas técnicas para instalações de AVAC em ambientes hospitalares, referidas no ponto 2.4.2, a temperatura média da SCG, SR e ZT

encontram-se dentro do intervalo recomendado (entre 17°C e 27°C nas salas de cirurgia e 24°C na sala de recobro e restantes áreas do bloco operatório).

Os valores de temperatura mais elevados registados no CE (mediana de 27,4°C) explica-se por não ser um espaço termicamente controlado pelo sistema AVAC do bloco operatório e se situar na ala sul do hospital, local que recebe muita incidência solar, e, ainda, pelas medições terem sido realizadas na maior parte das vezes no período da tarde. Este valor ultrapassa os valores recomendados pelo Decreto-Lei N.º 246/1989 relativo à segurança do trabalho, o qual determina uma temperatura de 18°C a 24°C em ambientes interiores, podendo atingir 25°C em determinadas condições climatéricas.

Relativamente à humidade relativa do ar nos diferentes espaços avaliados, os valores mínimos oscilaram entre 11,4% e 22,3% (SR e CE, respetivamente) e os máximos de 53,1% a 57,9% (CE e SCG, respetivamente). Os locais em que se observaram valores médios de humidade do ar mais baixos foram a ZT e SR (34,1% e 35,6% respetivamente), enquanto o maior foi na SCG (42,7%). Apesar de os valores médios de HR se encontrarem dentro dos limites estabelecidos nas especificações técnicas para edifícios hospitalares com sistemas AVAC (ET 06/2008), o qual recomenda no bloco operatório valores entre 30% e 60%, em determinadas situações prevaleceram baixos valores de HR. A baixa HR do ar causa desconforto nas vias respiratórias e está também associada ao desenvolvimento de doenças respiratórias nos seres humanos (DAVIS et al., 2016). Esta situação ocorreu ocasionalmente, dado que o controlo da humidade é efetuado de forma manual, sendo difícil o ajuste da mesma de forma eficaz.

O valor médio da humidade relativa no corredor externo não atingiu o recomendado pelo Decreto-Lei N.º 246/1989, o qual recomenda que a humidade do ambiente de trabalho deve oscilar entre 50% e 70%. O resultado médio obtido foi de 38,9%, sendo a mínima de 22,3%, o máximo de 53,1% e a mediana de 40,6%.

Recorrendo ao diagrama psicométrico adaptado por Givoni (1992), o qual permite caracterizar de uma forma simples as condições de conforto térmico (ver ponto 2.4.3), constatamos que o bloco operatório se enquadra na zona de conforto térmico com baixa humidade (classificação D), como pode ser observado na Figura 17. Além da falta de conforto interferir no desempenho dos trabalhadores, pode conduzir à contração ou agravamento de doenças respiratórias das pessoas expostas (DAVIS et al., 2016).

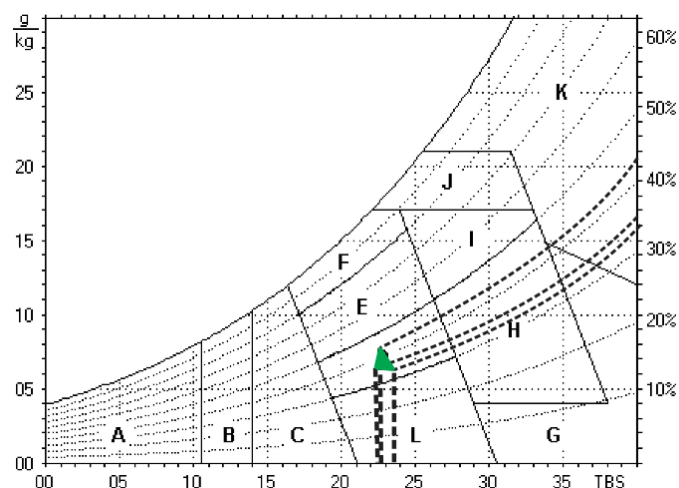


Figura 17 – Conforto térmico do bloco operatório do hospital: baixa umidade.

4.2 CONCENTRAÇÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO E VENTILAÇÃO DOS ESPAÇOS ESTUDADOS

Como se referiu anteriormente, os níveis de dióxido de carbono atuam como bons indicadores das condições de ventilação dos espaços. Na Tabela 7 são apresentados alguns parâmetros estatísticos referentes às concentrações deste composto para os diferentes espaços estudados e para as situações sem e com realização de cirurgias.

Tabela 7 – Dióxido de carbono nos locais avaliados sem e com a ocorrência de procedimentos cirúrgicos.

Local	Parâmetro	CO ₂ (ppm)	
		Sem cirurgia	Com cirurgia
Corredor Externo	Mínimo	630,3	544,6
	Média ± dp	727,4 ± 74,0	682,2 ± 112,9
	Mediana	702,7	657,2
	Máximo	877,8	1051,23
Sala de Cirurgia Geral	Mínimo	425,7	531,9
	Média ± dp	485,9 ± 29,9	632,2 ± 76,9
	Mediana	480,4	614,1
	Máximo	541,8	1233,5
Sala de Recobro	Mínimo	467,7	524,9
	Média ± dp	504,5 ± 26,0	625,3 ± 133,7
	Mediana	498,1	595,2
	Máximo	550,7	1890,6
Zona de Transferência	Mínimo	499,8	529,0
	Média ± dp	591,0 ± 71,8	618,3 ± 46,3
	Mediana	595,4	609,7
	Máximo	703,0	797,9
P-valor		<0,0001	<0,0001

Letras maiúsculas diferentes por coluna indicam diferenças significativas (p<0,05).

De um modo geral, os níveis médios de CO₂, obtidos na ausência de cirurgias situam-se entre 425,7 e 877,8 ppm, estando bem abaixo do estabelecido na Portaria 353-A de 2013, que estabelece o valor de 1250 ppm para um período de 8 horas de exposição como limiar de proteção para ambientes interiores.

Os valores da média para o dióxido de carbono na SCG e SR foram os menores, sendo de 485,9 ppm e 504,5 ppm, respetivamente, classificadas no mesmo grupo pelo teste de Kruskal-Wallis. Podemos dizer que estes locais possuem uma melhor ventilação, em comparação com a ZT e CE, os quais os valores médios de CO₂ estiveram em 591,0 ppm e 727,4 ppm, respetivamente (Figura 18 – à esquerda).

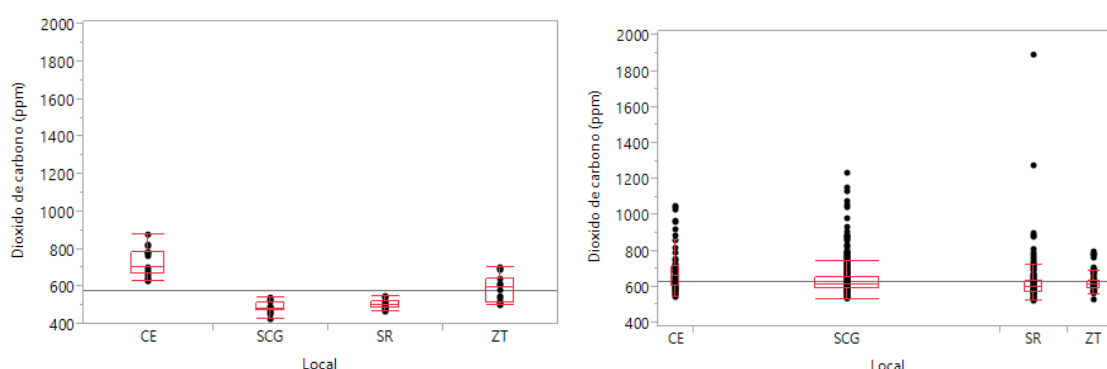


Figura 18 – Variação de CO₂ nos locais avaliados sem a ocorrência de procedimentos cirúrgicos (à esquerda) e com a ocorrência de procedimentos cirúrgicos (à direita).

Analisando as concentrações médias de CO₂, foi constatado que os diferentes espaços do bloco operatório apresentam níveis muito similares e bem abaixo do estabelecido na lei.

Com a realização de cirurgias, as concentrações médias de dióxido de carbono foram ligeiramente superiores às registadas na ausência de cirurgias. Ainda assim, situaram-se bem abaixo do recomendado pela Portaria 353-A de 2013. Desta forma, podemos afirmar que todos os locais do bloco operatório apresentam boa ventilação, contribuindo para uma boa diluição das cargas de poluentes libertados para o ar interior.

Os valores mais baixos foram encontrados na zona de transferência, sendo o mínimo de 562 ppm e o máximo de 798 ppm. Na ZT a ventilação é realizada pela pressão de ar existente no bloco operatório, pois este local não apresenta entradas nem saídas de ar do sistema AVAC. Ao ocorrer a abertura das portas neste local, ocorre também a passagem de ar evitando acumulações de CO₂ e de outros contaminantes.

No corredor externo, como expectável, os valores de CO₂ 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. Os valores mais elevados de CO₂ no CE resultam do facto das janelas estarem sempre fechadas, de forma a evitar contaminação externa, e a ventilação ser realizada pela passagem de ar entre as entradas dos quartos e o acesso à escadaria do hospital. A ventilação neste local não é controlada pelo sistema AVAC do hospital.

Pela análise do teste de Kruskal-Wallis, pode ver-se que os resultados de dióxido de carbono da SCG são semelhantes aos registados na ZT. Isto significa que, quando estes espaços estão sendo ocupados pela equipa de trabalho, a ventilação destes locais é semelhante, apresentando os menores valores de desvio padrão, sendo classificados como locais com melhor ventilação em comparação com SR e CE. Na sala de cirurgia há grelhas com insuflação de ar do sistema AVAC, portanto é perceptível a ventilação do local. Já na ZT a boa ventilação pelos dados de CO₂ pode ser explicado pelo facto de não acumular muitas pessoas por um longo período de tempo neste ambiente e também pela existência de um gradiente de pressão no bloco, evitando acumulação de gases, visto que este local não apresenta entradas nem saídas de ar do sistema AVAC.

O recobro também apresenta boa ventilação, visto que a média é de 625,3 ppm, porém foram detetados alguns valores em não conformidade com a portaria 353-A de 2013, ultrapassando a recomendação de 1250 ppm. A SCG foi o local com mais resultados de CO₂ acima de 1000 ppm. Mesmo possuindo uma boa ventilação, alguns picos com altos valores também foram encontrados, sendo explicado pela quantidade de pessoas existentes no ambiente.

4.3 CONCENTRAÇÕES DE RESÍDUOS DE GASES ANESTÉSICOS

4.3.1 Medições sem cirurgias

A Figura 19 apresenta os valores médios de desflurano e sevoflurano obtidos nos períodos em que não foram realizadas cirurgias no bloco operatório. De um modo geral, verifica-se que a variabilidade em cada espaço e entre espaços foi relativamente baixa,

sendo que os valores máximos não ultrapassaram os 0,34 ppm e 0,41 ppm para o desflurano e sevoflurano, respectivamente.

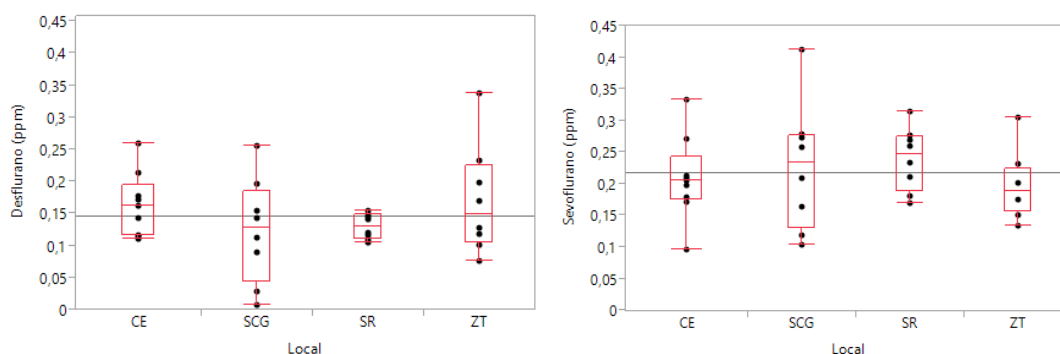


Figura 19 – Variação do gás desflurano e sevoflurano no CE, SCG, SR e ZT em dias sem cirurgias.

Dessa forma, como confirmado pelo teste Tukey, não houve diferenças significativas entre os valores médios obtidos nos diferentes locais avaliados para ambos os gases, sendo todos pertencentes ao mesmo grupo. Com estes resultados, podemos dizer que, mesmo sem a utilização dos gases anestésicos, os resultados encontrados não são iguais a zero, e sim, valores próximos a zero, sendo menores que 0,45 ppm. Isso pode ocorrer em resultado de erros de leitura do equipamento ou a interferência cruzada de outros compostos.

4.3.2 Com a ocorrência de cirurgias

4.3.2.1 Variabilidade entre espaços

Na Figura 20 apresentam-se as concentrações residuais médias dos gases anestésicos, desflurano e sevoflurano, para os diferentes espaços avaliados, tendo por base os dados recolhidos ao longo dos 20 ensaios. A Tabela 8 complementa a informação ao acrescentar os desvios-padrão, máximos e mínimos, para cada um dos espaços.

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 dos 20 ensaios realizados. 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 0,35 ppm para ambos os gases sevoflurano, e o mínimo foi de 0,07 ppm e 0,03 ppm para o desflurano e sevoflurano, respectivamente.

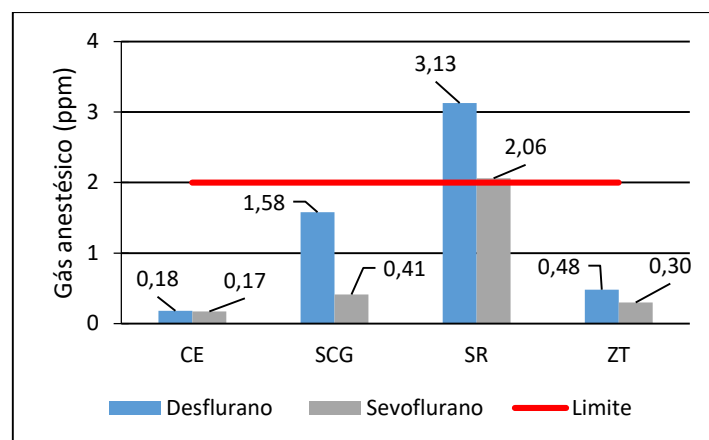


Figura 20 – Concentração média de desflurano e sevoflurano nos diferentes locais avaliados.

Tabela 8 – Concentrações dos resíduos de gases anestésicos nos diferentes locais avaliados.

Local	Parâmetro	Desflurano (ppm)	Sevoflurano (ppm)
Corredor Externo	Mínimo	0,07	0,03
	Média ± dp	0,18 ± 0,07	0,17 ± 0,06
	Mediana	0,17	0,11
	Máximo	0,35	0,33
Sala de Cirurgia Geral	Mínimo	0,08	0,04
	Média ± dp	1,58 ± 18,33	0,41 ± 0,53
	Mediana	0,62	0,31
	Máximo	37,8	8,78
Sala de Recobro	Mínimo	0,35	0,25
	Média ± dp	3,13 ± 5,58	2,06 ± 9,08
	Mediana	1,32	0,78
	Máximo	31,1	76,68
Zona de Transferência	Mínimo	0,16	0,16
	Média ± dp	0,48 ± 0,43	0,30 ± 0,09
	Mediana	0,31	0,27
	Máximo	1,73	0,53
P-valor		<0,0001	<0,0001

Letras maiúsculas diferentes por coluna indicam diferenças significativas (p<0,05).

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 2,06 ppm e 3,13 ppm, respectivamente, 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.

O teste de Kruskal-Wallis aponta que todos os locais avaliados apresentam um padrão singular, sendo todos diferentes um do outro, para ambos os gases.

Portanto, pode ser visto que os resultados das medições no CE e ZT com e sem a ocorrência de cirurgias foram bastante próximos. Na SCG, a média dos resultados do sevoflurano foram bem próximas com e sem a ocorrência de cirurgias, sendo de 0,41 ppm e 0,23 ppm, respetivamente. Para o gás desflurano foi identificado uma discrepância entre os valores, devido a uma das cirurgias ter sido realizada com o sistema de exaustão dos gases halogenados desligado. Dessa forma, a média alcançou um valor próximo a 2 ppm, resultando no valor de 1,58 ppm com a ocorrência de cirurgias e 0,12 ppm sem a ocorrência de cirurgias. Na SR, a amplitude da diferença entre esses valores foi maior. Para o gás sevoflurano, a média dos resultados sem a ocorrência de cirurgias foi de 0,24 ppm e com a ocorrência de cirurgias foi de 2,06 ppm. Para o gás desflurano, os resultados das médias foram de 0,13 ppm e 3,13 ppm, respetivamente.

Estes resultados mostram a importância da monitorização da qualidade do ar interior na sala de cirurgia e sala de recobro na utilização de gases anestésicos no hospital, visto que estes resíduos podem se acumular no ambiente onde são utilizados, podendo causar danos na saúde dos trabalhadores a longo prazo.

4.3.2.2 Variabilidade em cada espaço

Nas figuras (Fig. 21 a 24) que se seguem 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.

Sala de Cirurgia

No que respeita ao sevoflurano, os registos mostraram um padrão ligeiramente diferente (Figura 21 – à direita) do registado para as cirurgias com utilização de desflurano (Figura 21 – à esquerda).

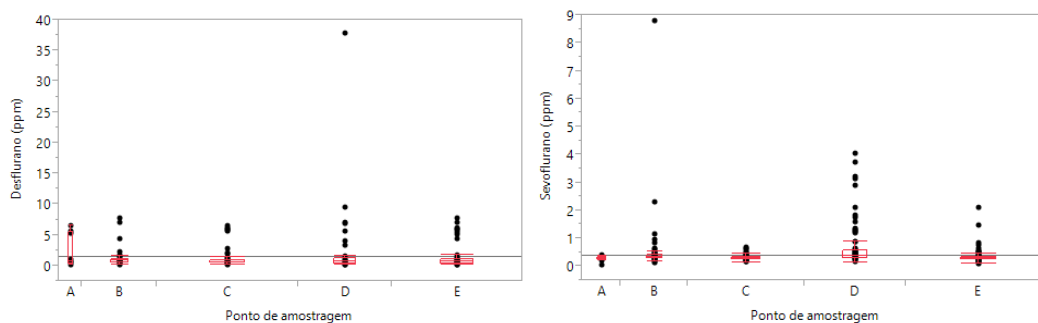


Figura 21 – Resultados das medições de desflurano e sevoflurano na sala de cirurgia geral (SCG).

Em termos gerais, apesar de se terem obtido valores superiores a 2 ppm para o sevoflurano, 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 (37,81 ppm para o gás desflurano e 4,05 ppm para o sevoflurano), foi no ponto B, próximo do circuito respiratório do paciente, que foi detetado o valor mais elevado, sendo de 8,79 ppm. O valor máximo encontrado no ponto B (área de respiração próximo ao paciente) para o sevoflurano ocorreu após a extração do tubo de respiração do paciente. No ponto de amostragem C, próximo a área de respiração dos médicos-cirurgiões e enfermeiro instrumentista, não foram detetadas situações críticas para o gás sevoflurano. As situações indesejáveis encontradas para o desflurano ocorreram quando o sistema de exaustão de gases halogenados da sala de cirurgia esteve desligado.

Na área de respiração do médico anestesista e enfermeiro de anestesista (ponto E) foram igualmente registadas concentrações mais elevadas e com maior frequência para o desflurano do que para o sevoflurano

Com base nos parâmetros estatísticos constantes da Tabela 9, as concentrações médias mais baixas de sevoflurano foram sistematicamente registadas junto à entrada da sala, no ponto A (0,28 ppm) e as mais elevadas foram observadas no ponto D, junto ao equipamento de anestesia (0,65 ppm), não ultrapassando os limites estabelecidos pela NIOSH.

Os níveis mais elevados de desflurano, de ocorrência mais frequente, foram parcialmente motivados pela ocorrência de uma situação atípica que contribuiu para o aumento acentuado das concentrações desse gás durante um período de cerca de uma hora.

Tabela 9 – Estatística descritiva das medições realizadas na sala de cirurgia geral.

		Desflurano (ppm)	Sevoflurano (ppm)
Ponto de Amostragem	Mínimo	0,11	0,04
	Média ± dp	2,09 ± 2,62	0,28 ± 0,05
	Mediana	0,65 a	0,28 a
	Máximo	6,59	0,40
	Mínimo	0,11	0,12
	Média ± dp	1,34 ± 1,78	0,51 ± 1,00
	Mediana	0,80 b	0,34 b
	Máximo	7,82	8,78
	Mínimo	0,11	0,14
	Média ± dp	1,11 ± 1,56	0,31 ± 0,10
	Mediana	0,58 c	0,28 a
	Máximo	6,49	0,68
D	Mínimo	0,11	0,15
	Média ± dp	2,39 ± 6,13	0,65 ± 0,72
	Mediana	0,72 a	0,38 c
	Máximo	37,81	4,05
E	Mínimo	0,08	0,10
	Média ± dp	1,44 ± 2,07	0,32 ± 0,20
	Mediana	0,60 a	0,29 a
	Máximo	7,84	2,12
P-valor		<0,0001	<0,0001

Letras minúsculas diferentes por coluna indicam diferenças significativas (p<0,05).

Sala de Recobro

Na sala de recobro (Figura 22) vislumbramos aspetos similares aos já reportados para a sala de cirurgia, mas há um padrão mais característico e comum para os dois gases.

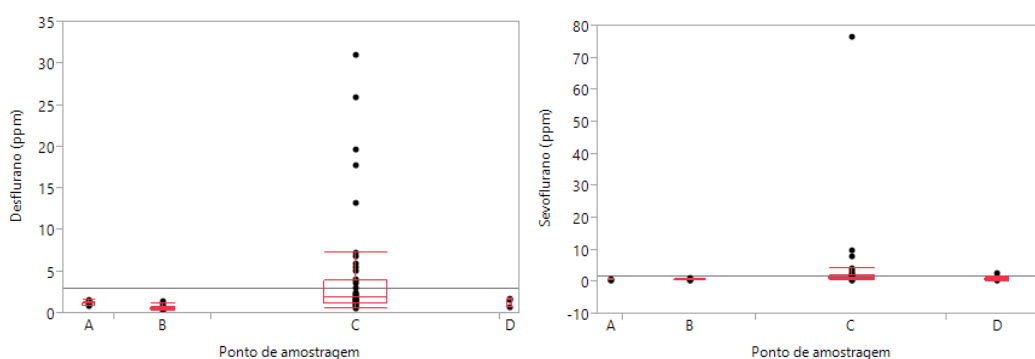


Figura 22 – Resultados das medições de desflurano e sevoflurano na sala de recobro (SR).

Os pontos de medição A, B e D apresentaram uma baixa variabilidade, enquanto o ponto C (associados à área de respiração do paciente) caracteriza-se por uma elevada variabilidade de valores, em particular para o desflurano (0,58 a 31,30 ppm), 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 a 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. Segundo Hemmings e Hopkins (2006) os anestésicos voláteis modernos são eliminados principalmente na forma inalterada pela expiração e pela bio transformação catalisada com diferentes graus de metabolismo.

Zona de Transferência

Em relação à zona de transferência (Figura 23), 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. Como confirmado pelo teste Kruskal-Wallis, as medições nos diferentes pontos de amostragem para ambos os gases não apresentaram valores muito distintos, estando todos pertencentes ao mesmo grupo de classificação.

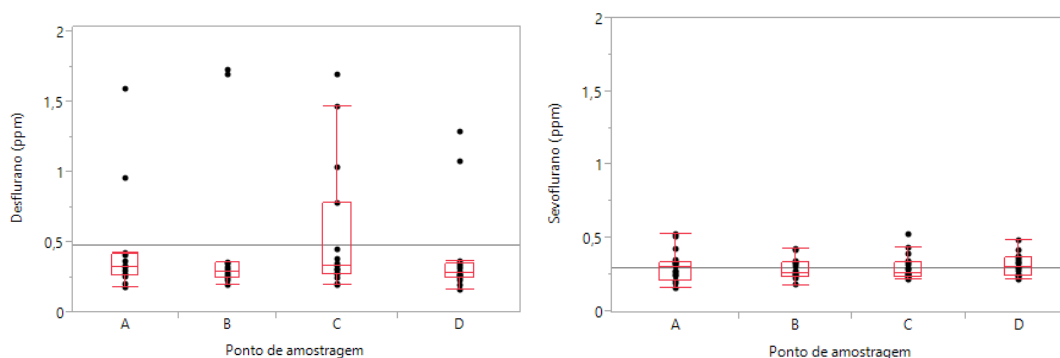


Figura 23 – Resultados das medições de desflurano e sevoflurano na zona de transferência (ZT).

Corredor Externo

No corredor externo, não se detetou qualquer variabilidade espacial substancial, ainda que os pontos seleccionados não representem espacialmente todo o espaço (Figura 24).

Como esperado, visto que o corredor externo se localiza distante da sala de cirurgia, local onde os gases anestésicos são utilizados, os resultados de desflurano e sevoflurano estiveram abaixo de 0,29 ppm e 0,27 ppm, respetivamente. As medições no

CE também serviram como forma de controlo, ou seja, mesmo os resultados não sendo igual a zero não significa que foram encontrados resíduos de gases anestésicos no ar, pois como já foi dito no item 4.3.1 valores próximos a zero e abaixo de 0,45 ppm são o “zero” detetado pelo equipamento para a medição destes gases.

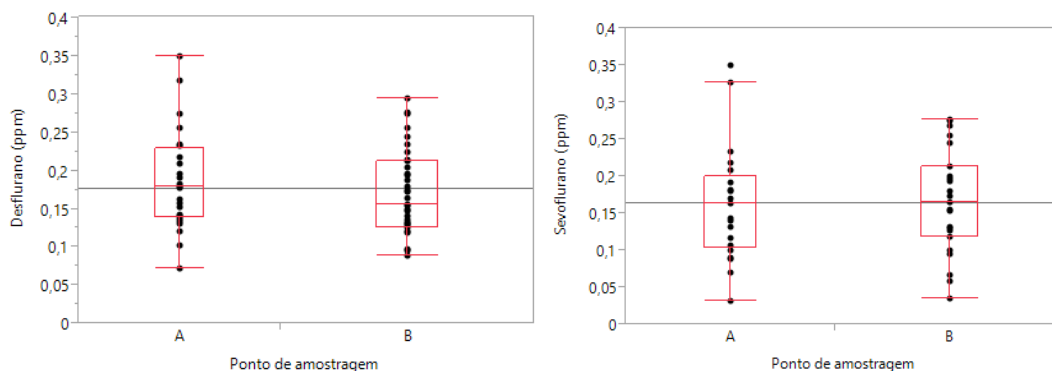


Figura 24 – Resultados das medições de desflurano e sevoflurano no corredor externo (CE).

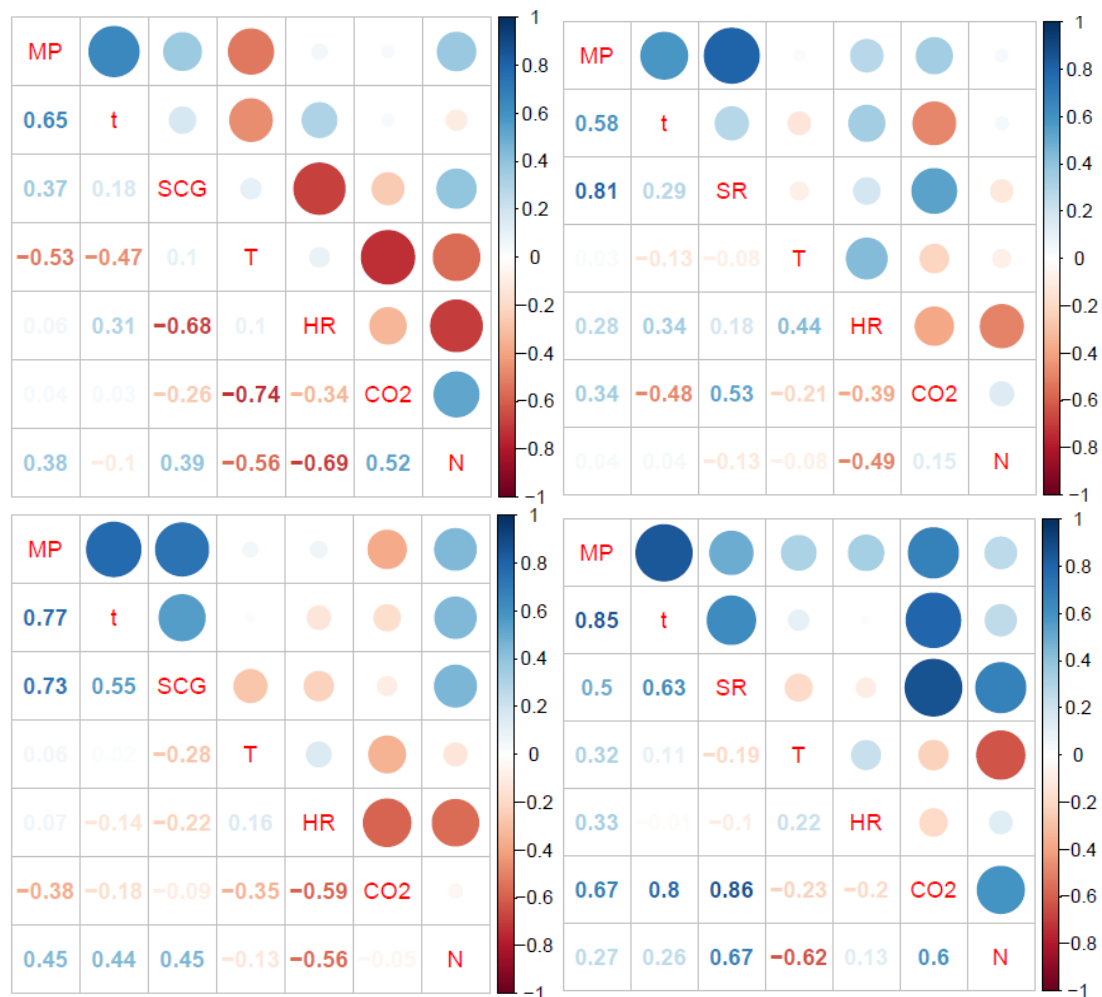
4.4 CORRELAÇÃO ENTRE OS NÍVEIS DE GASES ANESTÉSICOS E OUTRAS VARIÁVEIS ESTUDADAS

Para avaliar a correlação entre os níveis de gases anestésicos e outras variáveis estudadas, como a percentagem de gás anestésico administrada ao paciente, temperatura, humidade relativa do ar, dióxido de carbono, número de pessoas e concentração fornecida no circuito de anestesia, construiu-se uma matriz de correlação múltipla para a SCG e SR, visto que são os locais com maior variabilidade de resíduos de gases anestésicos. Essas matrizes encontram-se apresentadas na Figura 25.

Pode observar-se que, para ambas as matrizes, quanto maior foi o tempo de cirurgia (t), maior foi a média da concentração de gás fornecida no circuito de anestesia do paciente (MP). Esta correlação teve como coeficiente de 0,65 na SCG para o gás desflurano e 0,77 para o gás sevoflurano.

Houve também uma elevada correlação positiva entre a concentração média de resíduos de sevoflurano na SCG com a concentração média fornecida ao paciente, tendo-se obtido um coeficiente de correlação de 0,73. No que respeita ao gás desflurano, a correlação entre a concentração do gás fornecida ao paciente e os níveis médios de gás desflurano foi relativamente baixa. De facto, constatou-se que independentemente da concentração fornecida ao paciente, foram encontrados níveis de desflurano no ar interior da SCG superiores a 2 ppm, enquanto com o gás sevoflurano as concentrações mais

elevadas estão associadas a correntes gasosas inaladas pelo paciente mais concentradas nesse gás.



Legenda. MP: média ponderada da concentração de gás fornecida no circuito de sistema anestésico. t: tempo de cirurgia. SCG: média do resíduo de gás anestésico na sala de cirurgia. SR: média do resíduo de gás anestésico no recobro. T: média da temperatura. HR: média dos resultados de humidade relativa. CO2: média do dióxido de carbono. N: número de pessoas.

Figura 25 – Matriz de correlação múltipla aplicado na SCG (à esquerda) e SR (à direita), com os gases desflurano (em cima) e sevoflurano (embaixo).

Outro aspeto evidente é a elevada correlação da concentração de gás anestésico fornecida no circuito de anestesia (MP) com as médias dos resíduos dos gases anestésicos no recobro, para ambos os gases. O coeficiente dessa correlação foi de 0,81 para o gás desflurano e 0,50 para o sevoflurano. Ou seja, quanto maior a concentração de gás fornecida ao paciente, maiores foram as concentrações médias de desflurano e sevoflurano no SR. No trabalho de Norton et al. (2015) também foram detetadas situações mais críticas com o desflurano do que com o sevoflurano, em resultado das concentrações mais elevadas de gás desflurano fornecidas ao paciente.

Os valores de CO₂ estiveram diretamente relacionados com o número de pessoas na SCG nas medições com o gás desflurano e no SR nas medições do gás sevoflurano. Esta correlação foi de 0,52 e 0,60 respetivamente. Ou seja, nessas duas análises foram detetados que, quanto maior o número de pessoas presentes na sala, maiores foram as concentrações médias de CO₂. No caso das medições de CO₂ na sala de recobro com os resíduos de sevoflurano, também pode verificar-se que, quanto maior foi a concentração de gás fornecida no circuito de anestesia, maiores foram as médias de sevoflurano encontradas no recobro, consequentemente, sendo também exalados maiores quantidades de dióxido de carbono neste ambiente.

4.5 EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL

De uma forma simplificada, neste tópico serão comparadas as exposições em várias cirurgias de duração diferentes: exposição de curto termo em diferentes cirurgias; exposição de curto termo no mesmo tipo de cirurgia; e exposição em cirurgias distintas mais longas.

4.5.1 Exposição de curto termo em cirurgias distintas

Neste ponto pretende-se avaliar a exposição potencial dos profissionais de saúde presentes em salas operatórias, durante cirurgias de duração aproximada de 1 hora. As 3 cirurgias aqui reportadas foram distintas, acompanhadas por diferentes anestesiistas e envolveram o uso de gases anestésicos distintos. O anestesiista 1 (An1) acompanhou uma cirurgia de colecistectomia laparoscópica, o anestesiista 2 (An2) uma quadrantectomia e o anestesiista 3 (An3) assistiu uma mastectomia esquerda. Os An1 e An2 utilizaram o gás desflurano durante a anestesia e o An3 utilizou o gás sevoflurano.

As evoluções das concentrações administradas do gás anestésico em cada uma das cirurgias, em percentagem, estão apresentadas na Figura 26. O desflurano foi administrado em concentrações mais elevadas do que as do sevoflurano, sendo a média ponderada da concentração do gás fornecida durante a anestesia de 4,29% para o An1, 4,32% para o An2 e 1,32% para o An3.

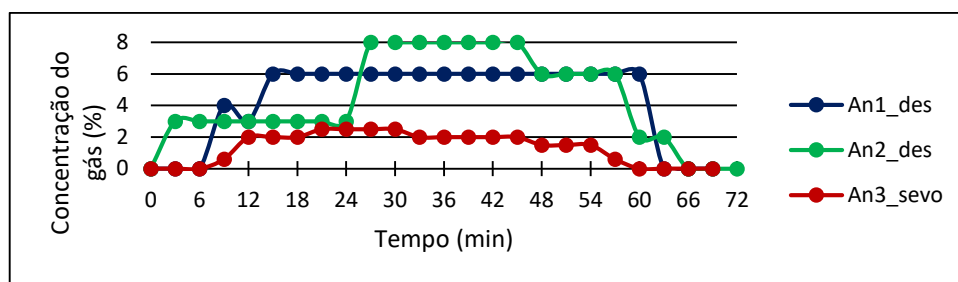


Figura 26 – Concentração do gás fornecido no circuito anestésico pelo An1, An2 e An3 durante uma cirurgia de aproximadamente 1,2h.

Sabendo que o circuito de anestesia neste hospital ocorre em sistema fechado e que a SCG é bem ventilada, as médias encontradas neste local estiveram sempre abaixo de 2 ppm, sendo representado pelo traço escuro do boxplot (Figura 27 – esquerdo). Porém, mesmo o valor da média estando em conformidade com a norma da NIOSH, foi possível detetar alguns resultados em não conformidade.

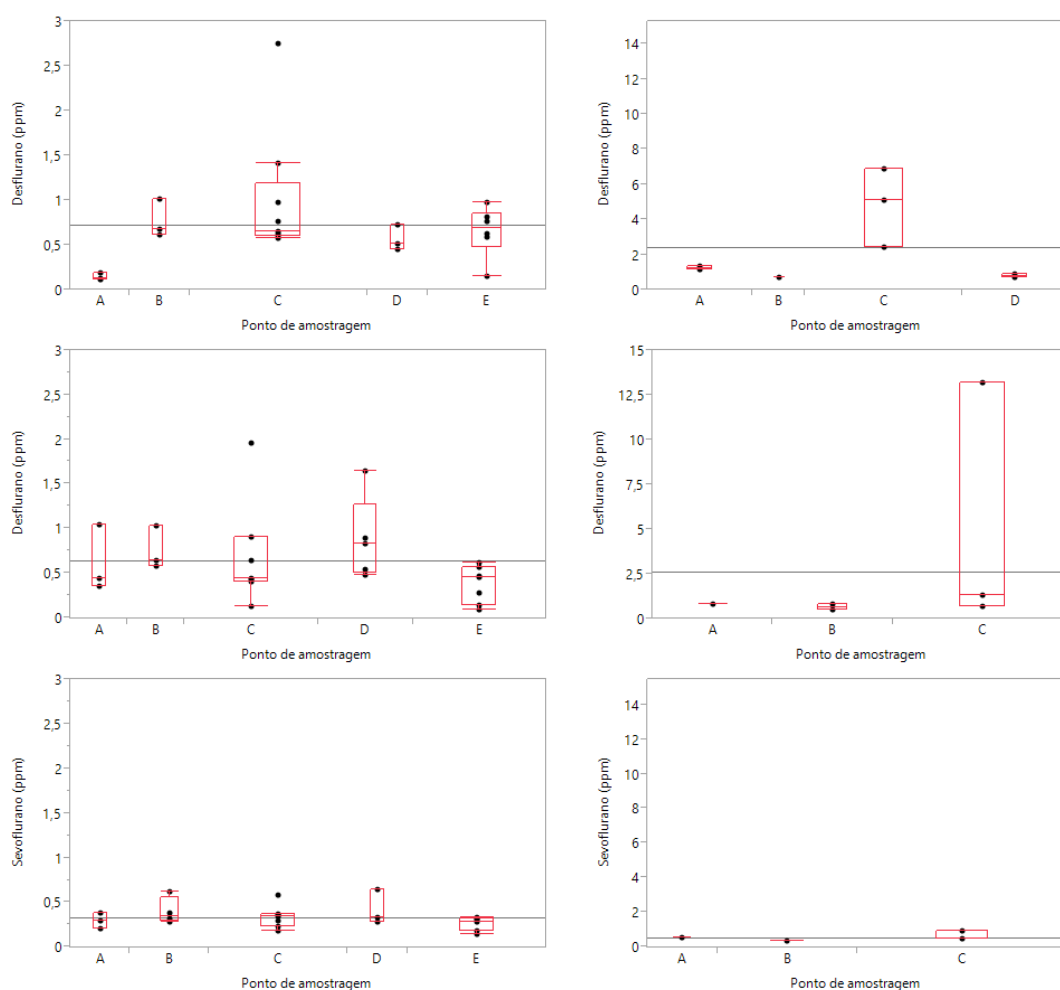


Figura 27 – Resultados das medições na SCG (à esquerda) e SR (à direita) em exposição de 1,2h. Em cima: paciente do An1; Meio: paciente do An2; Embaixo: paciente do An3.

Para o anestesista 1, foi encontrado um valor próximo a 3 ppm na área de respiração dos médicos-cirurgiões e enfermeiro instrumentista, ponto de amostragem C (Figura 27 – esquerda em cima). Na cirurgia realizada pelo An2, que também fez a utilização do gás desflurano, foi encontrado um valor de 1,96 ppm no mesmo ponto de amostragem em que foi encontrado uma situação mais crítica na cirurgia realizada pelo An1 (Figura 27 – esquerda meio).

Dessa forma, surge como evidente que quanto menor for a concentração de gás fornecida no circuito de anestesia, menores são os níveis de resíduos de gases anestésicos encontrados na sala de cirurgia, assim como já foi identificado no tópico anterior. Na cirurgia com a utilização do sevoflurano não foram encontrados resultados superiores que 2 ppm nesta exposição de 1,2 horas na sala de cirurgia (Figura 27 – esquerda em baixo).

Cruzando a média ponderada da concentração do gás fornecida, durante a anestesia, com a concentração de gás anestésico no ambiente interior, constata-se que existe uma relação direta entre estas duas variáveis na sala de recobro, tendo-se obtido 13,22 ppm no ponto C do recobro (Figura 27 – direita centro). Situações críticas também foram encontradas no recobro, no ponto C, para o paciente do An1, visto que este também recebeu grandes quantidades de gás durante a anestesia (Figura 27 – direita em cima).

Portanto, as situações mais críticas registadas no recobro, ponto C, estão associadas ao local onde os resíduos de gases anestésicos são libertados pela expiração do paciente de forma inalterada, como confirma Hemmings e Hopkins (2006).

Para o paciente que foi anestesiado com o gás sevoflurano, todos os resultados registados no recobro não foram preocupantes tendo por base o estabelecido na norma da NIOSH (Figura 27 – direita em baixo).

4.5.2 Exposição de curto-termo em cirurgias de colecistectomia laparoscópica

A situação analisada neste ponto distingue-se da anterior pelo facto de as cirurgias avaliadas serem a mesma - cirurgia de colecistectomia laparoscópica. Nesta cirurgia, o procedimento cirúrgico acompanhado pelo An1 teve a duração de 1,15 horas, 0,85 horas quando acompanhada pelo An2 e 0,90 horas na cirurgia acompanhada pelo An3. As evoluções das concentrações administradas do gás anestésico em cada uma das cirurgias, em percentagem, estão apresentadas na Figura 28. O desflurano foi administrado em concentrações mais elevadas do que as do sevoflurano, como no caso

anterior. As concentrações médias ponderadas dos gases anestésicos administradas aos pacientes foram de 4,96%, 3,53% e 1,19% para o An1, An2 e An3, respetivamente.

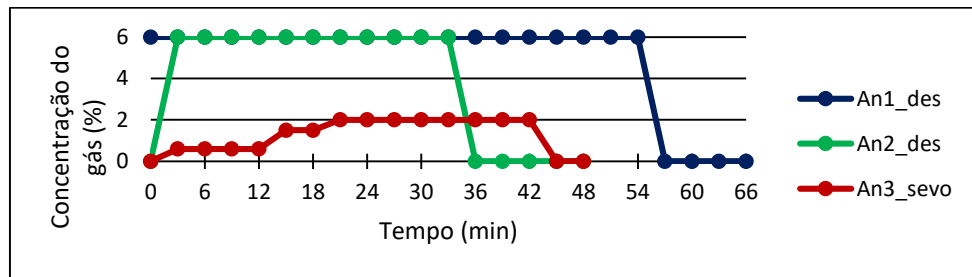


Figura 28 – Concentração do gás fornecido ao circuito anestésico pelo An1, An2 e An3 durante a cirurgia de colecistectomia laparoscópica.

Os resultados obtidos estão sumariados nos boxplots da Figura 29.

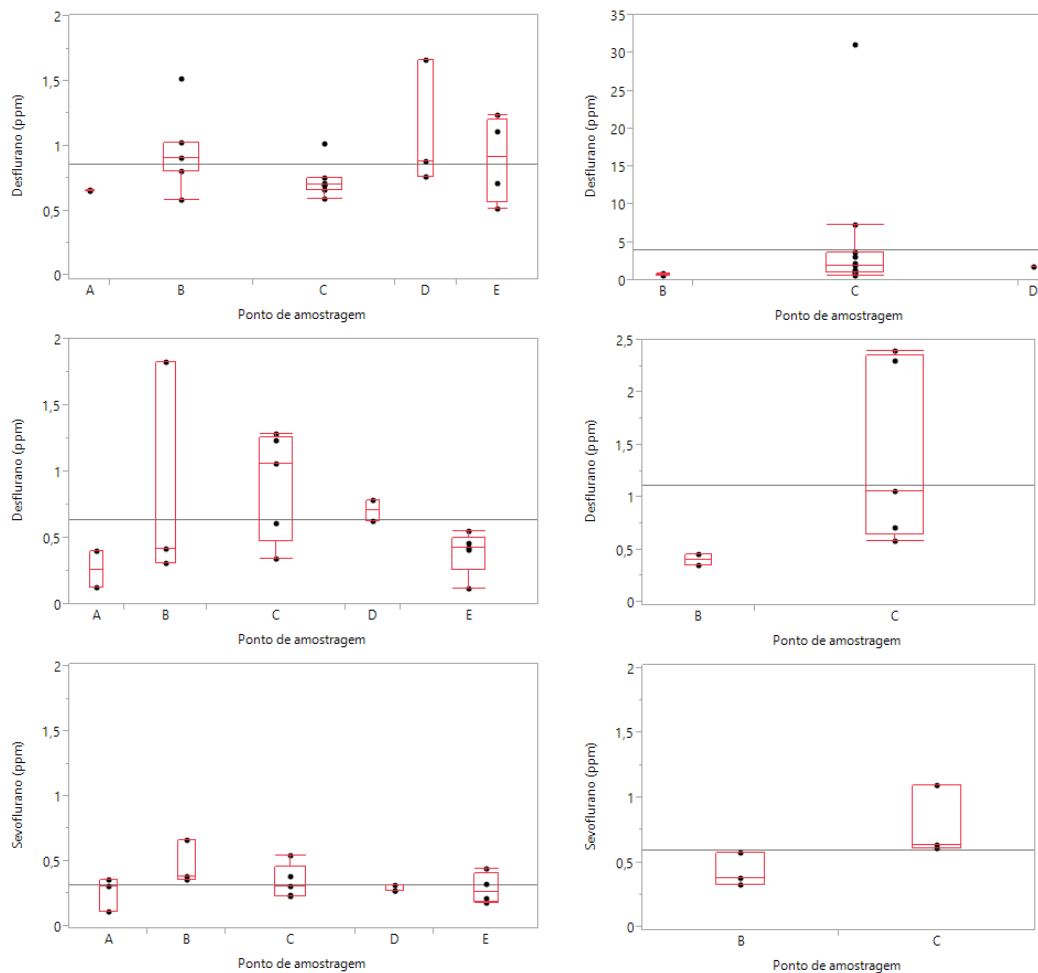


Figura 29 – Resultados das medições na SCG (à esquerda) e no SR (à direita) em cirurgias de colecistectomia laparoscópica. Em cima: paciente do An1; Meio: paciente do An2; Embaixo: paciente do An3.

As concentrações registadas na SCG foram inferiores a 2 ppm, tendo obtido concentrações médias de 0,86 ppm, 0,64 ppm e 0,32 ppm, nas cirurgias acompanhadas pelo An1, An2 e An3, respetivamente. Nesta avaliação continua-se a demonstrar que a utilização de sevoflurano conduz a exposições mais baixas dos profissionais de saúde. Apesar destas 3 cirurgias serem de curta duração, foram encontradas situações críticas na sala de recobro sempre que se utilizou o desflurano, junto à área de respiração do paciente (ponto C), com as concentrações a atingirem os 31,12 ppm (Figura 29 – direita em cima e meio, respetivamente).

4.5.3 Exposição em cirurgias longas

As cirurgias mais longas, que foram monitorizadas, tiveram duração superior a 3 horas. O procedimento cirúrgico realizado pelo An2 foi uma colecistectomia convencional com duração de 3,25 horas e do An3 foi uma gastrectomia parcial com duração de 3,65 horas. Ambos fizeram a utilização do gás sevoflurano durante a anestesia (Figura 30). A concentração média ponderada administrada ao paciente de sevoflurano foi de 1,98% na cirurgia assistida pelo An1 e de 2,16% para a acompanhada pelo An2.

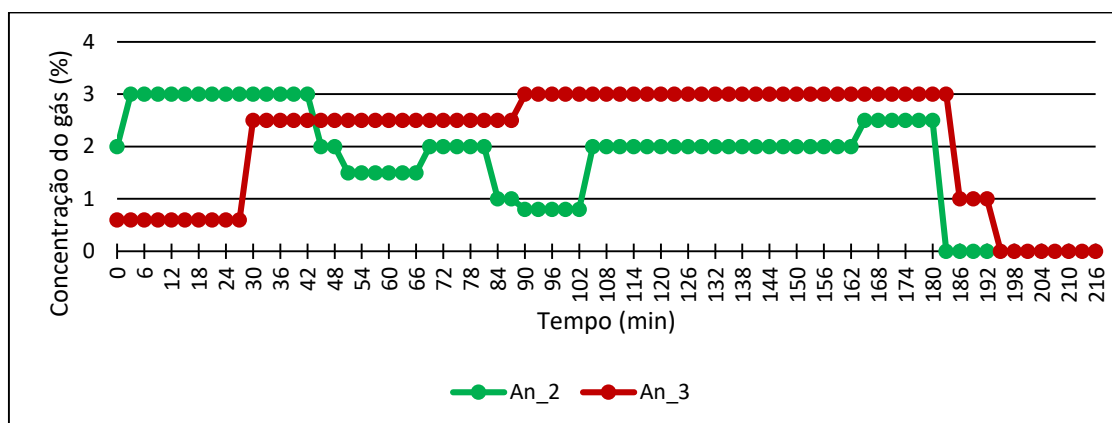


Figura 30 – Concentração de sevoflurano fornecido no circuito anestésico pelo An2 e An3 durante em uma cirurgia longa.

Os principais resultados estão plasmados na Figura 31. De um modo geral, os níveis de sevoflurano foram mais elevados em ambos os espaços, ainda que as concentrações médias tenham sido inferiores a 2 ppm.

Foram encontradas situações menos desejáveis quer na SCG, na área próxima ao equipamento de anestesia (Ponto D) e na proximidade do circuito de respiração do

paciente (Ponto B) nas medições de colecistectomia convencional (Figura 31 – esquerda em cima), quer na SR, no ponto C, em ambas as cirurgias.

Na cirurgia assistida pelo An3, o valor acima de 2 ppm encontrado na SCG ocorreu no final da cirurgia após a retirada do tubo de respiração do paciente, na área próximo a respiração do paciente (ponto B), tendo atingido o valor de 8,79 ppm (Figura 31 – esquerda em baixo). No ponto E (área de respiração do médico anestesista e enfermeiro de anestesista) também foi encontrado um valor próximo a 2 ppm.

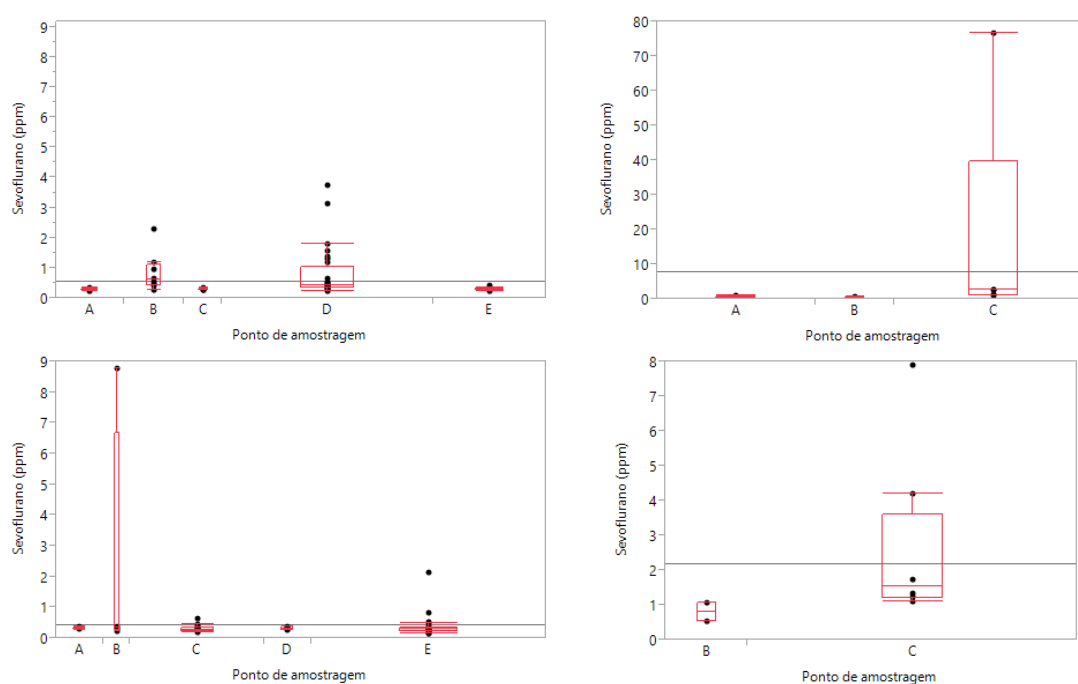


Figura 31 – Resultados das medições na SCG (à esquerda) e no SR (à direita) em cirurgias de longa duração. Em cima: paciente do An2; Em baixo: paciente do An3.

Na sala de recobro, as concentrações mais elevadas na cirurgia assistida pelo An2, dado que imediatamente após o desligamento da máquina de anestesia e desentubação do paciente, o mesmo foi encaminhado para a sala de recobro. Portanto, a exalação dos gases que foram inalados durante a cirurgia ocorreu no recobro para este paciente, sendo detetado um valor de 76,68 ppm próximo a área de respiração do paciente (ponto C).

Para o paciente da cirurgia acompanhada pelo An3, as concentrações foram cerca de 10 vezes inferiores (7,91 ppm).

4.5.4 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 inferior ou igual a 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 731 amostras, 15,8% dos resultados excederam o limiar. No ponto D – área próximo 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).

Para o gás sevoflurano, somente 9 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), seis 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, sendo quase que 50% das amostras coletadas (43,0%), ou seja, das 159 amostras analisadas neste local, 33 foram superiores a 2 ppm, sendo 13 com observados para o

sevoflurano e 20 para o desflurano (Figura 32). 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.

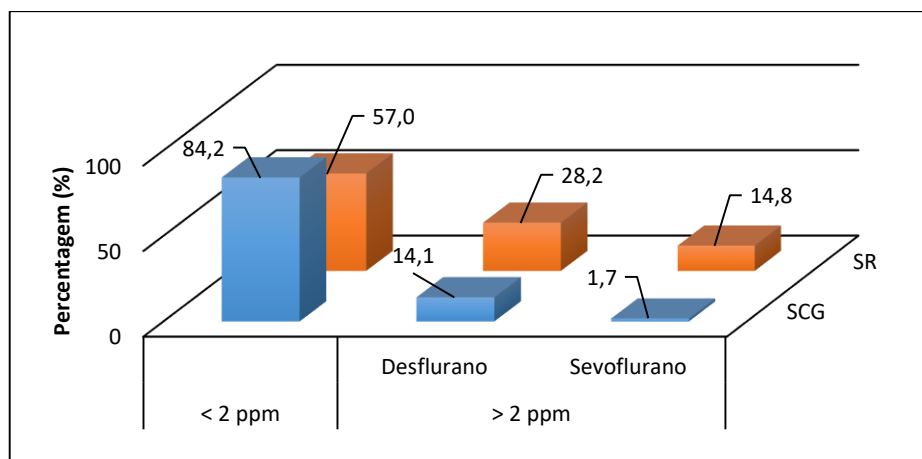


Figura 32 – Resultados das avaliações conformes e não conformes no recobro e sala de cirurgia em percentagem.

4.6 SUGESTÃO DE MELHORIAS

Apesar de o bloco operatório ter sido construído há algum tempo, com critérios construtivos e tecnologias distintas e menos sofisticadas do que as atuais, constatou-se que, no geral, apresenta um bom desempenho relativamente à proteção contra riscos de exposição a gases anestésicos dos seus profissionais, desde que todos os cuidados técnicos de manutenção e operação dos sistemas de ventilação e de anestesia sejam tidos em consideração.

A situação mais crítica que conduziu a níveis de resíduos de gases anestésicos relativamente elevados resultou de uma falha operacional humana, relacionada com o sistema de exaustão dos gases halogenados que se manteve desligado durante um período da cirurgia. Para evitar situações destas sugere-se a aplicação de um *checklist* em todo turno de trabalho para uma verificação de todos os controlos do sistema anestésico e de ventilação, evitando exposições a elevadas concentrações que podem causar cefaleias, tonturas, entre outros problemas.

Na sala de recobro também se verificou que existe uma tendência para haver alguma acumulação de gases anestésicos, em particular na região mais próxima da

respiração dos pacientes, pelo que uma solução simples seria melhorar a eficácia da exaustão dos gases anestésicos com a instalação de saídas de ar.

Outro aspeto que poderá ser introduzido é a alteração dos gases anestésicos. Curiosamente, as concentrações de gás desflurano tendem a ser superiores no ambiente interior, pelo que se recomenda, desde que possível do ponto de vista médico, um aumento de utilização do gás sevoflurano nas cirurgias, já que a concentração do sevoflurano fornecida ao paciente é menor e as concentrações prevalecentes de resíduos no ar interior também o são.

Finalmente, outra situação que, embora não sendo objetivo nuclear deste estudo, foi detetada ao longo dos vários ensaios está relacionada com as situações prevalecentes de desconforto térmico, causadas sobretudo pelos baixos níveis de humidade relativa. A forma de ultrapassar este problema passa pela instalação de um sistema AVAC com controlo automático e mais fino da humidade relativa do ambiente anterior.

5. CONCLUSÕES

O trabalho desenvolvido permitiu conhecer a dinâmica temporal e a variação espacial dos gases anestésicos e de outros parâmetros de conforto ambiental e de ventilação como o CO₂, 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. No entanto, 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 CO₂ 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, em especial na SCG e SR, onde foram detetados algumas situações críticas. As situações mais críticas no recobro foram principalmente no ponto C – área de respiração do paciente em que foi submetido a anestesia geral – para ambos os gases analisados (desflurano e sevoflurano). 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 médio e longo prazo.

A maior parte das situações críticas registadas, principalmente na sala de recobro, ocorreram devido às elevadas concentrações de gás anestésico administrado ao paciente. Quanto maior é a inalação do gás, maior também é a sua exalação. Os resultados dos resíduos de gases anestésicos permitiram ainda enfatizar a importância de um sistema de ventilação de gases halogenados eficaz no bloco operatório do hospital, e de uma boa manutenção e operação sob pena de expor todos os ocupantes a valores preocupantes para o conforto e a saúde dos mesmos.

Sugere-se que em trabalhos futuros sejam realizadas medições em hospitais com outros tipos de sistemas anestésicos, como o circuito aberto e o semifechado, para que possa comparar os resultados com o circuito de sistema fechado. Nem todos os hospitais possuem o sistema de exaustão e ventilação adequados, portanto analisar outras unidades com características diferentes também seria importante. Sugere-se também avaliar o efeito dos gases anestésicos na atmosfera, visto que contribuem no aquecimento global e destruição da camada de ozono.

REFERÊNCIAS

- ABNT NBR Nº 15220/2003. *Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR Nº 15220/2003. Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.*
- ACSS (2008). ADMINISTRAÇÃO CENTRAL DO SISTEMA DE SAÚDE. *Especificações Técnicas para Instalações de AVAC – ET 06/2008. UIE/ACSS, 2008. ISSN: 1646-821X.*
- ALEXANDRE, N.; COSTA, M.; MASCARENHAS, R. (2008). *Anestesia volátil e monitorização anestésica.* Texto de apoio às aulas práticas de Anestesiologia do curso de Medicina Veterinária da Universidade de Évora. Évora.
- APA - AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE (2009). *Qualidade do Ar em Espaços Interiores – Um Guia Técnico.* Amadora.
- ASHRAE (2013), ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2013, *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- ASTM (1991). AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard specification for anesthesia equipment: scavenging systems for anesthetic gases. West Conshohocken, Pa: American Society for Testing and Materials. 1343–1391.
- ASTM F1161-88 (1994). Standard Specification for Minimum Performance and Safety Requirements for Components and Systems of Anesthesia Gas Machines.
- BALARAS, C. A.; DASCALAKI, E.; GAGLIA, A. (2007). HVAC and indoor thermal conditions in hospital operating rooms. *Energy and Buildings*, **39 (4)**: 454-470. DOI: 10.1016/j.enbuild.2006.09.004
- BARASH, P. G.; CULLEN, B. F.; STOELTING, R. K.; CAHALAN, M. K.; STOCK, M. C.; ORTEGA, R.; SHARAR, S. R. (2015). *Clinical Anesthesia Fundamentals.* Philadelphia: Wolters Kluwer Health, 971 p. ISBN: 978-1-4511-9437-1.
- BARASH, P. G.; CULLEN, B. F.; STOELTING, R. K.; CAHALAN, M. K.; STOCK, M. C.; ORTEGA, R.; SHARAR, S. R.; HOLT, N. F. (2017). *Clinical anesthesia.* 8 ed. Philadelphia: Wolter Kluwer Health. 4543 p. ISBN: 9781496337016.
- biomonitoring studies. *Journal of Clinical Anesthesia*, **35**: 326–331.
- BONELLO, M.; MICALLEF, D.; BORG, S. P. (2020) Humidity micro-climate characterization in indoor environments: A benchmark study. *Journal of Building Engineering*. **28**:1-18. DOI: 10.1016/j.job.2019.101013
- BOWIE E.; HUFFMAN, L. M. (1985). *The anesthesia machine: essentials for understanding.* Madison, WI, GE Datex-Ohmeda.
- BRAZ, L. G.; BRAZ, J. R. C.; CAVALCANTE, G. A. S.; SOUZA, K. M.; LUCIO, L. M. C.; BRAZ, M. G. (2017). Comparação de resíduos de gases anestésicos em salas de operação com ou sem sistema de exaustão em hospital universitário brasileiro. *Revista Brasileira de Anestesiologia*. **67**: 516-520. ISSN 0034-7094.
- BROWN, A.C.; CANOSA-MAS, C.E; PARR, A.D.; PIERCE, J.M.; WAYNE, R.P. (1989). Tropospheric lifetimes of halogenated anaesthetics. *Nature*, **341**:635–7.
- CHARLESWORTH, M.; SWINTON, F. (2017). Anaesthetic gases, climate change, and sustainable practice. *Lancet Planet Health*. **1 (6)**: 216-217.
- COHEN, E. N.; BROWN, B. W.; WU, M. L.; WHITCHER, C. E.; BRODSKY, L. B.; GIFT, H. C.; GREENFIELD, W.; JONES, T. W.; DRISCOLL, E. J. (1980) Occupational disease in dentistry and chronic exposure to trace anesthetic gases. *Journal of the American Dental Association*. **101**: 21-31.

- COSTA, M.; ALEXANDRE, N. (2011). *Anestesia volátil e monitorização anestésica*. Texto de apoio às aulas práticas de Anestesiologia do curso de Medicina Veterinária da Universidade de Évora. Évora.
- DAVIS, R. E.; MCGREGOR, G. R.; ENFIELD, K. B. (2016). Humidity: A review and primer on atmospheric moisture and human health. *Environmental Research*. **144**: 106-116.
- Decreto-Lei nº 102/2009 de 10 de setembro. Regime jurídico da segurança e saúde no trabalho. Diário da república nº176/2009 – Série I.
- Decreto-Lei Nº 243/1986, de 20 de Agosto de 1986 relativa ao Regulamento Geral de Higiene e Segurança do Trabalho nos Estabelecimentos Comerciais, de Escritório e Serviços. Diário da República, 1ª série, Nº 190.
- Decreto-Lei nº 67/2011 de 2 de junho. Extingue o Centro Hospitalar do Nordeste, E. P. E., e o Agrupamento dos Centros de Saúde do Alto Trás-os-Montes I - Nordeste, cria a Unidade Local de Saúde do Nordeste, E. P. E., e aprova os respetivos estatutos. Diário da República nº 107/2011 – Série I.
- Deng, H-B.; LI, F-X.; CAI, Y-H.; XU, S-Y. (2018). Waste anesthetic gas exposure and strategies for solution. *Journal of Anesthesia*. **32**: 269-282.
- Directiva nº 2000/54/CE de 18 de setembro, relativa à proteção dos trabalhadores contra riscos ligados à exposição a agentes biológicos durante o trabalho. Jornal Oficial das Comunidades Europeias L 262/21.
- Directiva nº 2004/37/CE de 29 de abril, relativa à proteção dos trabalhadores. Jornal Oficial das Comunidades Europeias L 229/23.
- Directiva nº 89/654/CEE de 30 de novembro, relativa às prescrições mínimas de segurança e saúde para os locais de trabalho. Jornal Oficial das Comunidades Europeias L 393/1.
- Directiva nº 98/24/CE de 7 de abril, relativa à proteção da segurança e da saúde dos trabalhadores contra os riscos ligados à exposição a agentes químicos no trabalho. Jornal Oficial das Comunidades Europeias L 131/11.
- DOHS (2019). Division of Occupational Health and Safety. *Waste anesthetic gases*. Office of Research Services. Waste Anesthetic Gases Program Management.
- DORSCH, J. A.; DORSCH, E. R. (1994). *The anesthesia machine*. Understanding Anesthesia Equipment: Construction, Care, and Complications. 3 ed. Baltimore: Williams & Wilkins.
- DRUGBANK (2019). Project supported by the Canadian Institutes of Health Research, Alberta Innovates - Health Solutions, and by The Metabolomics Innovation Centre (TMIC). Disponível em: <<https://www.drugbank.ca/>>. Acesso em: 30 maio 2019.
- DUAN, N.; DOBBS, A.; OTT, W. (1990). *Comprehensive Definitions of Exposure and Dose to Environmental Pollution*. SIMS Technical Report No. 159. Department of Statistics, Stanford University, Stanford, CA.
- DUARTE, L. T. D.; SARAIVA, R. Â. (2005). Imobilidade: uma ação essencial dos anestésicos inalatórios. *Revista Brasileira de Anestesiologia*, 55 (1): 100-117 <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-70942005000100013&lng=en&nrm=iso>. Access on 01 Sept. 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-70942005000100013>.
- ECRI (1991), Emergency Care Research Institute. *Safe Medical Device Act Requires User Reporting*. Health Technology Management, Legal and Regulatory 4, February.

- ELLIS, T. A.; NARR, B. J.; BACON, D. R. (2004). Developing a Specialty: J.S.Lundy's Three Major Contributions to Anesthesiology. *Journal of Clinical Anesthesia*, **16**: 226 –229. doi:10.1016/j.jclinane.2003.07.005
- EMMERICH, S. J.; PERSILY, A. K. (2001). *State-of-the-Art Review of CO₂ Demand Controlled Ventilation Technology and Application*. Colorado: National Institute of Standards and Technology, 43 p.
- FRIEDMAN, J. M. (1988). Teratogen Update: Anesthetic Agents. *Teratology*, **37**:69-77.
- GASERA (2019). *Photoacoustic Multi-Gas Analyzer*. Gasera One Pulse. Finland.
- GIVONI, B. (1992). Comfort, climate analysis and building design guidelines. *Energy and Buildings*, **18**: 11-23.
- GRAYWOLF SENSING SOLUTIONS. (2014). *Advanced Environmental Instrumentation: Harnessing the Power of Mobile Computing*. Ireland.
- HAJAGHAZADEH, M. E JAFARI, A. (2018). Occupational exposure to anesthetic waste gases in operating rooms: a need to revise occupational exposure limits in Iran. *Archives of Occupational Health*, **2**:87-88.
- HEMMINGS, H. C.; EGAN, T. D. (2013). *Pharmacology and physiology for anesthesia: foundations and clinical application*. Philadelphia: Elsevier Limited, 690 pp. ISBN: 978-1-4377-1679-5.
- HEMMINGS, H. C.; HOPKINS, P. M. (2006). *Foundations of Anesthesia – Basic Science and Clinical practice*. 2 ed. Philadelphia: Elsevier Limited, 901 pp. ISBN: 0-3230-3707-0.
- HERZOG-NIESCERY, J.; STEFFENS, T.; BELLGARDT, M.; BREUER-KAISER, A.; GUDE, P.; VOGELSANG, H.; WEBER, T. P.; SEIPP, H-M. (2019). Photoacoustic gas monitoring for anesthetic gas pollution measurements and its cross-sensitivity to alcoholic disinfectants. *BMC Anesthesiology*, **19**: 1-8.
- IPQ (2007)– INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE. *NP 1796 – Segurança e Saúde do Trabalho: Valores limite de exposição profissional a agentes químicos*. CT 42 (Certitecnica). Lisboa.
- ISSA (2001) – International Social Security Association. *Safety in the use of anesthetic gases*. .
- ISSN 0104-0014.
- JONES, A. P. (1999). Indoor air quality and health. *Atmospheric Environment*, **33**:4535-4564.
- 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.
- KIM, J.; HONG, T.; LEE, M.; JEONG, K. (2019). Analyzing the real-time indoor environmental quality factors considering the influence of the building occupants' behaviors and the ventilation. *Building and Environment*, **156**: 99-109.
- LANGBEIN, T., SONNTAG, H., TRAPP, D. et al. (1999). Volatile anaesthetics and the atmosphere: atmospheric lifetimes and atmospheric effects of halothane, enflurane, isoflurane, desflurane and sevoflurane. *Br J Anaesth.*, **82**: 66 - 73.
- LAWSON, C. C.; ROCHELEAU, C. M.; WHELAN, E. A.; HIBERT, E. N. L.; GRAJELSKI, B.; SPIEGELMAN, D.; RICH-EDWARDS, J. W. (2008). Occupational exposures among nurses and risks of spontaneous abortion. *American Journal of Obstetrics & Gynecology*, **206**: 327-328 e8..
- LÖWEINSTEIN medical. **Hospital: Anesthesia**. Bad Ems (2018). Disponível em: <https://downloadcenter.hul.de/en/file/leon-plus-2/?_ga=2.68620819.361422144.1551035324-1609717962.1550871128>. Acesso em: 20 fev. 2019.

- LUCIO, L. M. C.; BRAZ, M. G.; JUNIOR, P. N.; BRAZ, J. R. C.; BRAZ, L. G. (2018). Occupational hazards, DNA damage, and oxidative stress on exposure to waste anesthetic gases. *Revista Brasileira de Anestesiologia*, **68**: 33-41.
- LUMB, W. V. e JONES E. W. (1984). Inhalation Anesthetics. In *Veterinary Anesthesia*, 2nd ed., Lea & Febiger, Philadelphia. pp 213–237.
- MARIN, F. (2016). Temperatura do Ar e do Solo. Universidade de São Paulo. São Paulo,. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1985296/mod_resource/content/1/micro-temperatura.pdf>.
- MARQUES, F. P. (2008). *Análise do perfil dos consumos de gases frescos e anestésicos, durante a anestesia geral, em circuito fechado*. 85 f. Dissertação de mestrado (Engenharia Biomédica) – Universidade de Coimbra. Coimbra.
- MAZZE, R.I.; WILSON, A.I.; RICE, S.A.; BADEN, J.M. (1985). Fetal development in mice exposed to isoflurane. *Teratology*, **32**: 339-345.
- McGREGOR, D. G. (2000). Occupational Exposure to Trace Concentrations of Waste Anesthetic Gases. *Mayo Clinic Proceedings*. 75: 273-277. ISSN 0025-6196.
- MILNER, Q. (1997). Anesthetic Breathing System. Updated in *Anaesthesia* 7, 145-150.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Serviços – Profissionais*. Bragança: Ministério da Saúde. [Consult. 16 Dez. 2018] Disponível em WWW:<URL: <http://www.ulsne.min-saude.pt/category/servicos/profissionais/>>.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC) (1991). *Human Exposure Assessment for Airborne Pollutants: Advances and Opportunities*. National Academy Press, Washington, D.C.
- NIOSH (1977) – National Institute for Occupational Safety and Health.. *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.
- NIOSH A. (1988). *Guidelines for protecting the safety and health of health care workers*. Publication 88-119. Centers for Disease Control and Prevention Web site. Disponível em: <<http://www.cdc.gov/niosh/docs/88-119/>>. Setembro 1988. Acedido em 10 de novembro, 2019.
- NIOSH B (2007). *Anesthetic Gases: Occupational Hazards in Hospitals*.
- NORTON, P.; NORTON, M., XARÁ, D.; PINA, F. (2015). Avaliação da concentração de gases anestésicos no Hospital de São João. *Revista da Sociedade Portuguesa de Anestesiologia*, **24** (4): 94-97. ISSN 0871-6099
- OLIVEIRA, C. R. D. (2009). Exposição Ocupacional a Resíduos de Gases Anestésicos. *Revista Brasileira de Anestesiologia*. **59** (1): 110-124. ISSN 0034-7094.
- OLIVER, J. E. (2005). *Encyclopedia of World Climatology*. Dordrecht, Netherlands: Springer (ISBN-10 1-4020-3266-8).
- OSHA (2000) - OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION. **Anesthetic Gases**: Guidelines for Workplace Exposures.. Disponível em: <<https://www.osha.gov/dts/osta/anestheticgases/index.html>>. Acesso em: 15 fev. 2019.
- PACZKOWSKI, P.; GROCHOWICZ, M.; CHABROS, A.; GAWDZIK, B.; RYCZKOWSKI, J. (2019). Infrared photoacoustic spectroscopy as an alternative tool for the analysis of surface-modified glycidyl-based polymeric microspheres. *Polymer Testing*., **76**: 173-180.

- 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. (2014). DNA damage and antioxidant status in medical residents occupationally exposed to waste anesthetic gases. *Acta Cirúrgica Brasileira*, **29** (4): 280-286.
- PANTALEÃO, I. M. (2017). *Formação de substâncias tóxicas durante a anestesia inalatória*. Dissertação (Mestrado em Medicina) - Universidade do Porto. Porto.
- POLLARD, B.; KITCHEN, G. (2018). *Handbook of Clinical Anaesthesia*. 4 ed. Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group, 769 pp. ISBN: 13: 978-1-4987-6289-2.
- Portaria Nº 353/2013, de 04 de Dezembro de 2013 relativo aos valores mínimos de caudal de ar novo opr 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.
- RAMAZZOTTO, L.J.; CARLIN, R.D. (1978). Ethrane teratogenicity- a preliminary report. *J. Dent. Res.*, **57**:289.
- ROBBINS, B. H. (1946). Preliminary studies of the anesthetic activity of fluorinated hydrocarbons. *J Pharmacol Exp Ther.*, **86**: 197-204.
- ROEWER, N.; THIEL, H. (2003). *Atlas de anestesiología*. Masson. ISBN 84-458-1177-0.
- ROHLI, R. V.; VEGA, A. J. (2018). *Climatology*. 4ª ed. Burlington, Massachusetts: Jones & Bartlett Learning, ISBN 9781284126563.
- RYAN, M. S.; NIELSEN, C. J. (2010). Global warming potential of inhaled anesthetics: application to clinical use. *Anesthesia & Analgesia*. **111**: 92–98.
- SARAIVA, R. Â. (2002). Mecanismo de Ação dos Anestésicos Inalatórios. *Revista Brasileira de Anestesiologia*. **52** (1): 114 – 123.
- SARTINI, M.; OTTRIA, G.; DALLERA, M.; SPAGNOLO, A. M.; CRISTINA, M. L. (2006). Nitrous oxide pollution in operating theatres in relation to the type of leakage and the number of efficacious air exchanges per hour. *Journal of Preventive Medicine and Hygiene*. **47**: 155-159.
- SCHMID, A. L. (2015). Tradução comentada do clássico artigo que lança a ideia do diagrama bioclimático do edifício. *Conferência: XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído*, Campinas, Brasil, Vol. 1, pp. 1-13.
- SCHOEBER, P.; LOER, S. A. (2006). Closed system anaesthesia – historical aspects and recent developments. *European Journal of Anaesthesiology*, **23**: 914-920.
- STILPEN, D. V. S. (2007). *Eficiência energética e arquitetura bioclimática – o caso do centro de energia e tecnologias sustentáveis*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 313 pp.
- STUART, B. (2004). *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*. New York: John Wiley and Sons.
- SUN R, JIA W, ZHANG P, YANG K, TIAN J, MA B, LIU Y, JIA RH, LUO XF, KURIYAMA A. (2015) Nitrous oxide-based techniques versus nitrous oxide-free techniques for general anaesthesia. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, Issue 11. Art. No.: CD008984. DOI: 10.1002/14651858.CD008984.pub2
- TEMPLE, E.; WILES, M. (2019). Inhalational anaesthetic agents. *Anaesthesia & Intensive Care Medicine*, **20** (2): 109-117.
- TORRI, G. (2010). Inhalation anesthetic: a review. *Minerva Medica*, **75** (3): 215-228.
- UHS (2017) – UNIVERSITY HEALTH SERVICES ENVIRONMENTAL & OCCUPATIONAL HEALTH. **Waste Anesthetic Gas (WAG) Scavenging System Guidance**. Madison. Disponível em: <<https://www.uhs.wisc.edu/wp->

content/uploads/2017_04_11_Waste-Anesthetic-Gas-Scavenging-System-Guidance.pdf>.

- UOTILA, J. (2009). *Use of the Optical Cantilever Microphone in Photoacoustic Spectroscopy*. From the Laboratory of Optics and Spectroscopy, Department of Physics and Astronomy, University of Turku. Turku, Finland. ISBN 978-951-29-3912-1.
- VOLLMER, M.; RHEE, T.; RIGBY, M.; HOFSTETTER, D.; HILL, M.; SCHOENENBERGER, F.; REIMANN, S. (2015). Modern inhalation anesthetics: potent greenhouse gases in the global atmosphere. *Geophysical Research Letters*, 42: 1606 - 1611.
- WCB, (2001). Chemical exposure assessment at Langley Memorial Hospital.. Langley, British Columbia. 100 pp.
- WHARTON, R.S., R.I. MAZZE, J.M. BADEN, B.A. HITT, AND J.R. DOOLEY. (1978). Fertility, reproduction and postnatal survival in mice chronically exposed to halothane. *Anesthesiology*, **48**:167-174.
- WHARTON, R.S.; A.I. WILSON; R.I. MAZZE; J.M. BADEN; S.A. RICE. (1979). Fetal morphology in mice exposed to halothane. *Anesthesiology*, **51**:532-537.
- WHARTON, R.S.; R.I. MAZZE; A.I. WILSON. (1981). Reproduction and fetal development in mice chronically exposed to enflurane. *Anesthesiology*, **54**: 505-510.
- WISSING, H., KUHN, I., WARNKEN, U., DUDZIAK, R. (2001). Carbon monoxide production from desflurane, enflurane, halothane, isoflurane, and sevoflurane with dry soda lime. *Anesthesiology*. **95** (5): 1205-1212.
- WYROBEK, A. J.; BRIDSKY, J.; GORDON, L.; MOORE, D. H.; WATCHMAKER, G. (1981). Sperm studies in anesthesiologist. *Anesthesiology*. **55** (5): 527-532.
- YASNY, J. S. e WHITE, J. (2012). Environmental Implications of Anesthetic Gases. Review. *Anesthesia Progress*, **59**: 154–158.
- YILMAZ, S.; ÇALBAYRAM, N. Ç. (2016). Exposure to anesthetic gases among operating room personnel and risk of genotoxicity: a systematic review of the human
- ZHAI, Y.; LI, X.; WANG, T.; WANG, B.; LI, C.; ZENG, G. (2018). A review on airborne microorganisms in particulate matters: Composition, characteristics and influence factors. *Environment International*, **113**: 74–90. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.01.007>
- ZHANG, J. J.; LIOY, P. J. (2002). Human Exposure Assessment in Air Pollution Systems: Mini-Review. *The Scientific World Journal*. **2**: 497–513.

ANEXO A

Programação no software R Studio

#Script – matriz de correlação múltipla

#instalação (apenas a primeira vez que executa)

```
install.packages(ggplot2)
```

```
install.packages(lattice)
```

#toda vez que for executar - carrega os pacotes

```
require(ggplot2)
```

```
require(lattice)
```

#indica a pasta onde estão os dados

```
setwd("C:/Users/Vanessa Yamanaka/Dropbox/IPB_Tese_Vanessa/Dados/Hospit  
al")
```

#carrega os dados em uma variável df

```
df <- read.csv("SCG.csv")
```

#mostra o tipo de dados de cada coluna

```
str(df)
```

#mostra estatística descritiva

```
summary(df)
```

#correlação múltipla

```
install.packages("corrplot")
```

```
library(corrplot)
```

#gerar matriz de correlação múltipla

```
M <- cor(df)
```

#visualizar vários tipos de gráficos para a correlação múltipla

```
corrplot(M, method="ellipse")
```

```
corrplot(M, method="number")
```

```
corrplot(M, type="upper")
```

```
corrplot.mixed(M, lower = "number", upper = "circle")
```

ANEXO B

Tabelas inseridas no R para constituição da matriz de correlação múltipla

Tabela 10 – Resultados das medições com o desflurano na sala de cirurgia.

MP	t	SCG	T	HR	CO ₂	N
4	1,45	0,54974	20,70	31,87	668,16	7
5,09	1,75	0,89567	20,28	42,04	662,28	8
4,96	1,15	0,86135	19,90	28,60	675,47	9
4,29	1,20	0,71954	20,50	31,80	647,68	9
4,89	1,40	15,58493	22,10	12,40	627,59	9
3,53	0,85	0,64502	23,68	22,62	658,24	8
4,32	1,25	0,63326	24,33	49,79	585,12	6

Tabela 11 – Resultados das medições com o sevoflurano na sala de cirurgia.

MP	t	SCG	T	HR	CO ₂	N
1,98	3,25	0,58129	21,10	28,18	644,31	9
1,18	1,45	0,37080	20,70	35,10	659,61	9
2,16	3,65	0,44921	23,22	28,89	626,10	9
1,19	0,90	0,32428	23,85	30,10	678,92	8
2,17	2,60	0,55224	22,88	49,82	618,44	8
1,68	2,35	0,32196	22,13	44,29	624,00	8
1,29	2,35	0,32686	21,89	39,14	739,33	7
2,00	2,25	0,39417	22,04	56,74	591,71	8
1,38	2,45	0,353731	22,93	52,51	583,87	7
1,32	1,20	0,32863	23,24	49,91	585,69	7
1,77	3,15	0,353545	24,37	43,96	591,87	9

Tabela 12 – Resultados dos resíduos de desflurano na sala de recobro.

MP	t	SR	T	HR	CO ₂	N
4,00	1,45	1,21003	21,00	32,00	572,490	2
3,71	0,95	3,03688	20,87	30,78	636,313	2
4,96	1,15	4,11343	21,82	32,87	663,999	2
4,29	1,20	2,39188	22,04	22,65	629,849	4
4,89	1,40	5,40921	22,35	31,33	624,586	2
3,53	0,85	1,11987	23,42	24,06	621,660	2
4,32	1,25	2,59547	24,43	47,05	588,801	2

Tabela 13 – Resultados dos resíduos de sevoflurano na sala de recobro.

MP	t	SR	T	HR	CO₂	N
1,98	3,25	7,96286	21,92	35,78	693,522	4
0,85	1,05	0,41799	21,49	33,13	586,646	3
1,18	1,45	0,54992	20,86	29,55	627,179	3
2,16	3,65	2,20591	23,37	27,92	657,986	2
1,19	0,90	0,60206	24,16	29,19	588,406	2
2,17	2,60	1,50766	23,62	46,39	629,788	3
1,68	2,35	2,16911	22,79	40,73	643,588	3
1,29	2,35	0,58853	23,24	36,08	592,834	2
2,00	2,25	0,96112	22,79	55,08	605,305	3
1,32	1,20	0,48691	23,31	50,24	589,123	2