

## **Gestão da Qualidade do Ar Interior em Ambiente Hospitalar**

**Lucas D'avila**

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Tecnologia Ambiental no âmbito do Programa de Dupla Diplomação com a Universidade Federal Tecnológica do Paraná*

Orientado por

**Prof. Doutora Ermelinda Lopes Pereira**

**Prof. Doutor Manuel Joaquim Sabença Feliciano**

**Prof. Doutora Marcia Antonia Bartolomeu Agustini**

Bragança

2019

# **Gestão da Qualidade do Ar Interior em Ambiente Hospitalar**

**Lucas D'avila**

**Professora Doutora Ermelinda Lopes Pereira  
Professor Doutor Manuel Joaquim Sabença Feliciano  
Professora Doutora Marcia Antonia Bartolomeu Agustini**

**Bragança  
2019**



## **Agradecimentos**

Por intermédio das seguintes palavras pretendo demonstrar os meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que tornaram esta dissertação possível.

Ao Dr. Carlos Alberto Vaz, Diretor da Unidade Local de Saúde do Nordeste, por permitir o desenvolvimento desta investigação na Unidade Hospitalar de Bragança. Agradeço ainda à Enfermeira Fátima Domingues e a toda a equipe do bloco cirúrgico, por estarem sempre dispostos a nos receber nas campanhas de amostragem. Também ao Engenheiro Geraldo Assunção, Diretor de Instalações e Equipamentos da Unidade Hospitalar de Bragança, pelos esclarecimentos e pelo apoio na etapa final deste trabalho.

À Professora Doutora Ermelinda Lopes Pereira e ao Professor Doutor Manuel Joaquim Sabença Feliciano, agradeço imensamente pela confiança que me transmitiram e pela oportunidade de trabalhar e aprender com o vosso conhecimento. Esta investigação não seria a mesma sem a orientação excepcional que me fora prestada. Além de toda a aprendizagem, guardarei com enorme carinho as experiências vividas ao lado de vocês, muito obrigado.

À Professora Doutora Paula Baptista, pelo apoio na identificação molecular dos microrganismos, e à Cristina Cameirão pela simpatia, generosidade e paciência nos ensinamentos e no auxílio dos procedimentos de identificação molecular; muito obrigado pela forma com que me receberam.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná e ao Instituto Politécnico de Bragança pelos recursos que me foram disponibilizados para tornar esta investigação possível. Devo ainda agradecer a toda a equipe envolvida no programa de dupla diplomação pela oportunidade de participar deste intercâmbio. Agradeço ainda à Professora Doutora Marcia Augustini por aceitar a co-orientação e estar disponível, quando necessário.

Aos meus pais, Geovanir e Rosangela, pelo constante e incessante apoio e por acreditarem que a educação abre portas para um mundo melhor. Ao meu pequeno irmão, Murilo, por deixar a vida de todos mais alegre, e aos meus avós, em especial Iracema, por sempre me apoiar e acreditar que o mundo é feito para voar. Não existem palavras para descrever o amor e carinho que sinto por vocês.

## Resumo

A qualidade do ar interior (QAI) em ambiente hospitalar é um fator essencial no controlo de exposição a poluentes e infeções nosocomiais. Este estudo teve por objetivo caracterizar o ar interior do bloco operatório e do serviço de esterilização da Unidade Hospitalar de Bragança em termos de parâmetros físico-químicos e microbiológicos; relacionar a QAI em função das características estruturais do edifício e padrão de utilização; identificar os pontos críticos e propor medidas de melhoria. A campanha de medições decorreu nos meses de janeiro a março de 2019, totalizando 10 ensaios. Os parâmetros físico-químicos de temperatura, humidade relativa, compostos orgânicos voláteis (COVs), monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) foram monitorizados por meio da sonda GrayWolf IQ 610, ligado a um assistente pessoal digital (APD). Utilizou-se a técnica de impacto em meio sólido para determinar as concentrações de bactérias e fungos e paralelamente utilizou-se um analisador ótico granulométrico portátil para medir o material particulado em suspensão. A identificação molecular dos microrganismos foi realizada por meio do sequenciamento da região 16S (para bactérias) e ITS (para fungos) dos genes RNAr. As menores concentrações de bactérias e de fungos foram observadas nas salas de cirurgia e as maiores na antecâmara. Os géneros bacterianos com maior prevalência foram *Staphylococcus*, *Micrococcus* e *Bacillus* e os fúngicos foram *Penicillium*, *Cladosporium*, *Rhodotorula* e *Aspergillus*. Verificou-se uma correlação forte ( $r \geq 0,9$ ) entre as concentrações médias de bactérias e o número médio de partículas em suspensão. Além disso, os ambientes avaliados apresentaram condições desfavoráveis para o conforto térmico, com níveis de humidade relativa inferiores a 30%. De entre os parâmetros avaliados, apenas os COVs apresentaram concentrações superiores ao limiar de proteção referido na legislação nacional para QAI (Portaria n.º 353-A/2013). Fatores como a taxa de ocupação, a frequência de limpeza e principalmente as taxas de renovação de ar demonstraram ter importância nas concentrações dos poluentes. Verificou-se existir tendência para a acumulação de poluentes e degradação do ar interior na antecâmara, podendo esta influenciar na migração de poluentes para o interior do bloco operatório e serviço de esterilização. De forma a minimizar o risco de exposição a pacientes e funcionários, recomenda-se a adequação arquitetónica desta zona, por meio da instalação de ventilação mecânica a fim de aumentar a renovação do ar e diluir os poluentes.

**Palavras-chave:** Bloco Operatório; bactérias; fungos; material particulado; contaminantes químicos.

## Abstract

Indoor air quality (IAQ) in hospital environments is crucial for any control plan of nosocomial infections. This study aimed at evaluating indoor air of the surgical block and the sterilization service of Bragança Hospital Unit in terms of physico-chemical and microbiological parameters, as well as, identifying hotspots and propose improvement measures. The evaluation time took place from January to March 2019, involving a total of ten measuring periods. Physico-chemical parameters such as temperature, relative humidity, volatile organic compounds (VOCs), carbon monoxide (CO) and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) were monitored by means of the GrayWolf IQ 610 probe connected to personal digital assistant (PDA). The technique of impact in solid medium was used to determine bacterial and fungal concentrations and a portable optical particle sizer was used to measure suspended particulate matter. The molecular identification of the microorganisms was performed by sequencing the 16S region (for bacteria) and ITS (for fungi) of the genes RNAr. The lowest concentrations of bacteria and fungi were observed in the operating rooms and the largest in the anteroom. The most prevalent bacterial genera were *Staphylococcus*, *Micrococcus*, and *Bacillus*, and the fungi were *Penicillium*, *Cladosporium*, *Rhodotorula*, and *Aspergillus*. There was a strong correlation ( $r \geq 0,9$ ) between the mean concentrations of bacteria and the mean number of suspended particles. In addition, the evaluated environments presented unfavorable conditions of thermal comfort, with relative humidity levels below 30%. Among the evaluated parameters, only for VOCs were registered concentrations above the protection threshold established in the Portuguese law on indoor air quality. Factors such as occupancy rate, cleaning frequency, and especially air renewal rates have been shown to have a relevant influence on pollutants concentrations. There was a tendency for the pollutants accumulation and indoor air degradation in the anteroom, which can influence the pollutants migration into the surgical block and sterilization service. In order to minimize the risk of exposure of patients and employees, it is recommended to make changes in the surgical space by installing mechanical ventilation in order to increase air renewal and dilute pollutants loads.

**Key-words:** Surgical block; bacteria; fungi; particulate matter; chemical contaminants.

## Índice

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 Contextualização.....	1
1.2 Objetivos do trabalho .....	4
1.3 Estrutura da Dissertação .....	5
<b>2 QUALIDADE DO AR INTERIOR EM AMBIENTE HOSPITALAR</b> .....	6
2.1 Visão geral .....	6
2.2 Infecção nosocomial .....	8
2.3 Resistência microbiana .....	11
2.4 Transmissão aerotransportada.....	12
2.5 Fatores que afetam a qualidade do ar interior .....	13
2.5.1 Fatores químicos.....	13
2.5.2 Fatores biológicos.....	18
2.5.3 Fatores físicos .....	23
<b>3 ENQUADRAMENTO LEGAL E NORMATIVO</b> .....	28
3.1 Normas internacionais .....	28
3.2 Legislação a nível da União Europeia .....	30
3.3 Legislação Portuguesa .....	32
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	34
4.1 Caracterização do local de estudo.....	34
4.2 Descrição dos locais de amostragem .....	34
4.3 Monitorização da qualidade do ar interior .....	39
4.4 Metodologias e equipamentos utilizados.....	39
4.4.1 Parâmetros físico-químicos .....	40
4.4.2 Material particulado.....	40
4.4.3 Parâmetros microbiológicos .....	41
4.4.4 Caracterização microbiológica .....	42
4.4.5 Análise dos dados .....	46
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	47
5.1 Parâmetros físicos .....	47
5.1.1 Temperatura e humidade relativa.....	47
5.1.2 Material Particulado .....	50
5.2 Parâmetros químicos.....	52
5.1.1 Compostos orgânicos voláteis (COVs) .....	53

5.1.2	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ).....	54
5.1.3	Monóxido de carbono (CO).....	56
5.3	Parâmetros microbiológicos .....	57
5.3.1	Concentração de bactérias e fungos .....	57
5.3.2	Conformidade legal .....	60
5.3.3	Diversidade bacteriana .....	61
5.3.4	Diversidade de fungos .....	65
5.3.5	Associação entre microrganismos e material particulado .....	69
5.4	Sugestões de melhoria .....	70
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>73</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>75</b>

## Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> Estimativa de mortalidade para o ano de 2050 por microrganismos resistentes a antimicrobianos (Fonte: Fernandes <i>et al.</i> , 2016). .....	4
<b>Figura 2.</b> Distribuição relativa da prevalência das infeções associadas aos cuidados de saúde em unidades de cuidados continuados integrados em 2017. (Fonte: Direção Geral da Saúde, 2017). .....	10
<b>Figura 3.</b> Comparação de tamanho do material particulado (Adaptado de EPA, 2019), .....	16
<b>Figura 4.</b> Associação entre partículas em suspensão e microrganismos (bioaerossóis). 17	
<b>Figura 5.</b> Inserção e extração de ar em sistema AVAC.....	25
<b>Figura 6.</b> Determinação de fluxos de ar por meio de controle de pressão.....	25
<b>Figura 7.</b> Unidade Hospitalar de Bragança. ....	34
<b>Figura 8.</b> Planta baixa do local de estudo com representação dos pontos de ventilação mecânica, guichés de transferência de material e portas automáticas. ....	35
<b>Figura 9.</b> Disposição do sistema de ventilação mecânica na sala de cirurgia. ....	36
<b>Figura 10.</b> Disposição do sistema de ventilação no Recobro. ....	36
<b>Figura 11.</b> Vista da Antecâmara, zona de transfeere com uma das portas de acesso aberta, e porta de acesso a zona do serviço de esterilização.....	38
<b>Figura 12.</b> Sistema de ventilação mecânica na sala de sujos do serviço de esterilização. ....	37
<b>Figura 13.</b> Sistema de ventilação mecânica da sala de limpos do serviço de esterilização. ....	37
<b>Figura 14.</b> a) Sonda GrayWolf IQ 610 com assistente digital; b) Optical Particle Sizer Spectrometer model 3330; c) Amostrador de ar ativo DUO SAS 360.....	39
<b>Figura 15.</b> Princípio de funcionamento da técnica de impacto em meio sólido.....	41
<b>Figura 16.</b> Identificação morfológica de algumas colónias de bactérias (esquerda) e fungos (direita). ....	43
<b>Figura 17.</b> Identificação microscópica de fungos.....	43
<b>Figura 18.</b> Resultado da PCR em gel de agarose 1%. ....	45
<b>Figura 19.</b> Resultado de um sequenciamento genómico e bandas. ....	46
<b>Figura 20.</b> Diagrama de conforto térmico (Adaptado de INMET).....	49
<b>Figura 21.</b> Representação gráfica das concentrações médias ( $\pm$ dp) de material particulado (PM <sub>10</sub> e PM <sub>2.5</sub> ) e limiares de proteção estabelecidos pela Portaria nº353-A/2013.....	51
<b>Figura 22.</b> Boxplot com representação interquartil e valores extremos para COVs (mg/m <sup>3</sup> ). ....	53
<b>Figura 23.</b> Boxplot com representação interquartil e valores extremos para CO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> ). ....	55

<b>Figura 24.</b> Boxplot com representação interquartil e valores extremos para CO (mg/m <sup>3</sup> ). .....	56
<b>Figura 25.</b> Boxplot com representação interquartil e valores extremos para bactérias (UFC/m <sup>3</sup> ). .....	58
<b>Figura 26.</b> Boxplot com representação interquartil e valores extremos para fungos (UFC/m <sup>3</sup> ). .....	59
<b>Figura 27.</b> Abundância relativa de géneros bacterianos identificados por local. ....	61
<b>Figura 28.</b> Abundância relativa de géneros fúngicos identificados por local.....	65
<b>Figura 29.</b> Correlação entre a concentração média de bactérias e número médio de PM <sub>10</sub> .....	69
<b>Figura 30.</b> Correlação entre a concentração média de fungos e número médio de PM <sub>10</sub> . .....	70
<b>Figura 31.</b> a) Representação esquemática dos fluxos de ar no local de estudo. b) Representação ilustrativa das áreas que apresentaram, de modo geral, as maiores concentrações de poluentes, sendo a vermelho as maiores concentrações e azul as menores.....	72

## Lista de tabelas

<b>Tabela 1.</b> Taxa de infecções adquiridas em ambiente hospitalar nos Estados Unidos.....	9
<b>Tabela 2.</b> Proporção (%) entre bactérias Gram-positivo e Gram-negativo em bioaerossóis. ....	19
<b>Tabela 3.</b> Normas e diretrizes mundiais para avaliação de agentes biológicos (Adaptado de Lopes, 2015). ....	29
<b>Tabela 4.</b> Parâmetros microbiológicos de referência para QAI, segundo CP nº. 109. ...	29
<b>Tabela 5.</b> Limiar de proteção para agentes microbiológicos de acordo com classificação ISO 14644 para salas limpas. ....	30
<b>Tabela 6.</b> Limiar de proteção para agentes microbiológicos de acordo com classificação GMP para salas limpas. ....	31
<b>Tabela 7.</b> Limiar de proteção e margem de tolerância para os poluentes físico-químicos segundo a Portaria nº.353-A/2013.....	33
<b>Tabela 8.</b> Limiar de proteção e margem de tolerância para os poluentes microbiológicos segundo a Portaria nº.353-A/2013.....	33
<b>Tabela 9.</b> Informações sobre princípio de medição dos parâmetros analisados. ....	40
<b>Tabela 10.</b> Temperatura e Humidade relativa nos diferentes locais avaliados.....	47
<b>Tabela 11.</b> Parâmetros recomendados para ambientes com sistema AVAC.....	48
<b>Tabela 12.</b> Concentração de material particulado (PM <sub>10</sub> ). ....	50
<b>Tabela 13.</b> Concentração média ( $\pm$ desvio padrão), valor mínimo e máximo e razão I/E dos parâmetros químicos. ....	52
<b>Tabela 14.</b> Valores médios ( $\pm$ desvio padrão), mínimos e máximos de bactérias totais e fungos totais.....	57
<b>Tabela 15.</b> Contagem total (UFC) de espécies bacterianas isoladas por local e sua prevalência.....	62
<b>Tabela 16.</b> Contagem total (UFC) de espécies fúngicas isoladas por local e sua prevalência.....	66

## Lista de abreviaturas e siglas

AC – Antecâmara

ACGIH – American Conference of Governmental Industrial Hygienists

ACSS – Administração Central do Sistema de Saúde

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

BLAST – Basic Local Alignment Search Tool

C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> - Benzeno

CDC – Centers for Disease Control and Prevention

CH<sub>2</sub>O - Formaldeído

CO – Monóxido de Carbono

COVs – Compostos Orgânicos Voláteis

DGS – Direção Geral da Saúde

DNA – Ácido desoxirribonucleico

EARs-Net – European Antimicrobial Resistant Surveillance Network

ECDC – European Centre for Disease Prevention and Control

EEA – European Environmental Agency

EPA – United States Environmental Protection Agency

EPE – Entidade Pública Empresarial

EXT – Exterior

HR – Humidade Relativa

HSS – Department of Health and Human Services

I/E – Razão interior exterior

MEA – Malt Extract Agar

NCBI – National Center for Biotechnology Information

NIOSH – National Institute for Occupational Safety and Health

NO<sub>x</sub> – Óxidos de azoto

NRCC – National Research Council Canada

OMS – Organização Mundial da Saúde

PCA – Plate Count agar

PM – Material Particulado

PM<sub>10</sub> – Partículas que passam através de uma entrada seletiva de tamanho com 50% de eficiência para partículas de 10 µm de diâmetro aerodinâmico equivalente.

PM<sub>2.5</sub> - Partículas que passam através de uma entrada seletiva de tamanho com 50% de eficiência para partículas de 2,5 µm de diâmetro aerodinâmico equivalente.

QAI – Qualidade do Ar Interior

RBC – Rose Bengal Chloramphenicol

RC – Recobro

RECS - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços

REH - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

SAS – Surface Air System

SCE - Sistema de Certificação Energética de Edifícios

SCG – Sala de Cirurgia Geral

SCU – Sala de Cirurgia de Urgência

SED – Síndrome do Edifício Doente

SO<sub>x</sub> – Óxidos de enxofre

STL – Serviço de Esterilização de Material Limpo

STS – Serviço de Esterilização de Material Sujo

T °C – Temperatura em graus Celsius

TF – Zona de Transfere

TSA – Tryptic Soy Agar

UFC – Unidades Formadoras de Colónias

UFC/m<sup>3</sup> - Unidades Formadoras de Colónias por metro cúbico

ULSNE – Unidade Local de Saúde do Nordeste

UTI – Unidade de tratamento intensivo

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização

Desde a antiguidade romana e grega o homem tem conhecimento dos efeitos adversos que a má qualidade do ar pode provocar numa população. Ambientes de trabalho como minas de carvão eram observados como perigosos, devido à má qualidade do ar (Sundell, 2004). Estudos envolvendo a temática qualidade do ar interior (QAI) começaram a ser amplamente desenvolvidos a partir da década de 60, quando o tema passou a ser reconhecido pelas agências de proteção ambiental como um problema a ser tratado. Nessa altura, questões envolvendo efeitos na saúde relacionadas com a QAI em edifícios começaram a ser debatidas, como a Síndrome do edifício doente (SED), em que determinadas doenças (alergénicas e crónicas) foram associadas a condições de má qualidade do ar (Sundell, 2004).

A SED pode ser definida como “uma situação na qual os ocupantes apresentam sintomas agudos sem uma explicação óbvia e sem a possibilidade de constatação de uma determinada etiologia, sendo, portanto, desconhecida” (EPA, 2008). O termo também é usado para descrever casos em que pelo menos 20% dos ocupantes de um edifício apresentam sintomas agudos e desconforto, e que geralmente estão relacionados com o tempo que estes ocupantes passam dentro dos edifícios. Geralmente, a causa para estes sintomas envolve a exposição a mecanismos químicos, microbiológicos, físicos e psicológicos (Fernandes *et al.*, 2008).

Hoje em dia, o termo qualidade do ar interior refere-se às características ambientais encontradas dentro de edifícios que podem afetar a saúde humana, conforto e *performance* no trabalho e envolventes próximas. As características da QAI incluem as concentrações e quantidades de poluentes no ar interior, bem como a temperatura e humidade relativa do ar (Settimo, 2017).

Os principais fatores que influenciam negativamente a QAI estão relacionados com ventilação inadequada, deficiência na filtração do ar, falta de manutenção e limpeza das instalações, contaminação dos sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC) e contaminantes gerados pelo metabolismo humano (Massa, 2010). Sintomas de alergia ou asma podem resultar de exposições internas a poluentes. Além disso, os

poluentes presentes nos espaços interiores podem contribuir para irritação nos olhos, nariz ou garganta, irritação da pele, tosse, sibilos no peito, dor de cabeça e sintomas de fadiga, entre outros que são frequentemente associados à SED (Matos, 2014).

Doenças mais graves tal como cancro de pulmão, pneumonia e bronquite também estão relacionadas com a exposição a poluentes encontrados em ambientes interiores (Mendes, 2008). As incidências destas doenças aumentaram nas últimas décadas, e destas, as doenças alérgicas e asmáticas duplicaram em países desenvolvidos (Fanger, 2006; Koistinen *et al.*, 2008). Estas doenças constituem um dos maiores problemas de saúde pública, envolvendo custos elevados com tratamentos médicos (Bornehag *et al.*, 2005).

De acordo com Kembel *et al.* (2012), algo em torno de 90% do nosso tempo de vida é passado dentro de locais como escritórios, habitações, escolas, veículos, aviões, entre outros espaços. Consequentemente, a forma como estes ambientes foram projetados e são operados causa profundo impacto na saúde dos seus ocupantes (Guenther e Vittori, 2008). Para entender como estes ambientes afetam a saúde humana devemos estudar estas estruturas como ecossistemas complexos, uma vez que diversos fatores estão relacionados com os impactes na saúde.

Dados da OMS demonstram que a QAI é o oitavo fator de risco mais importante para a saúde humana, sendo responsável por cerca de 3% dos casos de doenças no mundo, causando anualmente aproximadamente 1,6 milhões de mortes (OMS, 2015). De um modo geral, esses dados referem-se a países em desenvolvimento, essencialmente do continente africano e asiático pois são dependentes de combustíveis sólidos, como biomassa, carvão mineral e vegetal como fonte primária de energia doméstica. Os usos destes combustíveis expõem as pessoas a altas concentrações de poluentes, como material particulado (PM), monóxido de carbono (CO), óxidos de azoto (NOx), óxidos de enxofre (SOx), formaldeído (CH<sub>2</sub>O), entre outros poluentes carcinogénicos como o benzeno (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) (WHO, 2005).

Nas últimas décadas países mais desenvolvidos passaram por uma profunda alteração no processo construtivo em virtude de uma maior industrialização e eficiência energética. Em paralelo a esse desenvolvimento, avanços tecnológicos permitiram ao homem a utilização de materiais de isolamento mais eficientes que possibilitaram minimizar a perda energética nos edifícios. Como resultado destes avanços, os edifícios tornaram-se mais estanques, reduzindo as trocas de ar entre o exterior e o interior (Jones, 1999; Vasile *et al.*, 2016).

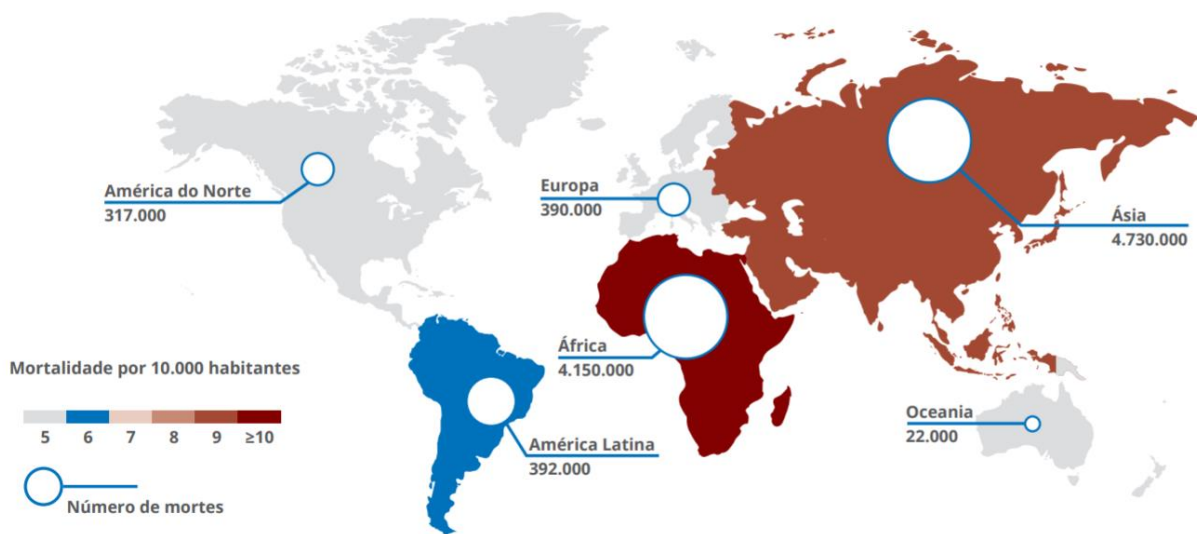
As taxas de renovação de ar hoje em dia são cerca de 30 vezes inferiores às encontradas em edifícios do século passado, conduzindo a um conseqüente aumento da humidade e de poluentes químicos e biológicos (Franchi *et al.*, 2004). Segundo (Wang *et al.*, (2007), o nível de poluição em ambientes interiores é mais elevado do que o registado em ambientes exteriores. A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) indica que a concentração de poluentes interiores pode ser de duas a cinco vezes superior à encontrada no exterior (EPA, 2013).

De acordo com Gioda e Neto (2003), a exposição a poluentes presentes no ar pode ser definida como o contacto destes com o sistema respiratório, sendo quantificado através da intensidade e da duração desta exposição. A intensidade refere-se à magnitude da quantidade de poluente que penetra no sistema respiratório, enquanto a duração refere-se ao período em que a intensidade é mantida.

Portanto, é importante salientar que a má ventilação destes ambientes podem expor os ocupantes dos espaços fechados a altas concentrações de poluentes, principalmente devido ao facto de que hoje em dia as pessoas passam a maior parte de suas vidas em ambientes fechados, gerando assim riscos elevados para a saúde (Koistinen *et al.*, 2008; Penney *et al.*, 2010; Quadros, Lisboa, Oliveira, & Schirmer, 2009a; Sundell, 2004).

Em ambientes hospitalares as infeções nosocomiais e o aumento da resistência dos microrganismos aos antimicrobianos são problemas de escala global. A Organização Mundial da Saúde (OMS) salienta que estes fatores são uma crescente ameaça à saúde pública. Em 2014 o governo americano reconheceu a necessidade de melhorar os mecanismos e a vigilância associados aos cuidados de saúde, uma vez que os casos de infeções agravam o prognóstico da doença de base, prologam os internatos, aumentam a mortalidade e geram mais custos (Fernandes *et al.*, 2016).

Projeções estimam que se nada for feito para controlar estas infeções e diminuir os usos de antibióticos, até o ano de 2050 cerca de 390 mil pessoas morrerão anualmente apenas na Europa, e 10 milhões em todo o mundo em conseqüência direta das infeções por agentes resistentes a antimicrobianos (Figura 1).



**Figura 1.** Estimativa de mortalidade para o ano de 2050 por microrganismos resistentes a antimicrobianos (Fonte: Fernandes et al., 2016).

Neste sentido, estudos demonstram que parte destas infeções poderiam ser evitadas com práticas de melhoria da qualidade do ar interior, uma vez que grande percentagem destes casos estão relacionados a infeções do trato respiratório inferior, sendo a pneumonia a principal causa de morbidade e mortalidade (Settimo, 2017).

## 1.2 Objetivos do trabalho

Este trabalho teve por objetivo principal avaliar a qualidade do ar interior (QAI) no bloco operatório e no serviço de esterilização da Unidade Hospitalar de Bragança, Portugal. Neste contexto o trabalho desenvolvido visou:

- Caracterizar o ar interior em termos de parâmetros físico-químicos;
- Quantificar e identificar bactérias e fungos (bolores e leveduras) no ar interior;
- Relacionar a qualidade do ar interior em função das características estruturais do edifício e padrão de utilização;
- Identificar os pontos críticos dentro destes ambientes;
- Propor medidas de melhoria da qualidade do ar interior para esta tipologia de edifício.

### 1.3 Estrutura da Dissertação

Este documento está subdividido em seis capítulos. O primeiro capítulo busca introduzir o leitor sobre a temática da qualidade do ar interior (QAI), apresentando-se os principais problemas à escala global. O segundo capítulo destina-se a informar o leitor sobre as principais problemáticas relacionadas a QAI em serviços hospitalares, os fatores que a influenciam e os efeitos adversos que estes causam na saúde humana. O terceiro capítulo faz referência ao enquadramento legal e normativo, procurando caracterizar a nível internacional, a nível de União Europeia e a nível nacional as principais diretrizes e limiares de proteção para os parâmetros avaliados neste estudo. No quarto capítulo descreve-se o local onde o estudo foi desenvolvido, as metodologias de amostragem e análises utilizadas, bem como as ferramentas usadas na análise de dados. No quinto capítulo são apresentados os resultados, a discussão dos mesmos e a apresentação de um conjunto de medidas de melhoria para uma gestão mais eficiente da QAI dos espaços avaliados. Por fim, no sexto capítulo apresentam-se as principais conclusões obtidas com o desenvolvimento deste estudo.

## 2 QUALIDADE DO AR INTERIOR EM AMBIENTE HOSPITALAR

Diversas atividades são desenvolvidas em ambientes hospitalares, e de entre estas, algumas requerem elevada qualidade do ar interior. Blocos operatórios e serviços de esterilização são exemplos de ambientes que requerem condições específicas para evitar a exposição de pacientes e funcionários. Este capítulo destina-se a compreender como a qualidade do ar interior é afetada no ambiente hospitalar, definir os principais fatores que resultam na degradação do ar e referir os problemas nocivos que estes causam na saúde humana.

### 2.1 Visão geral

Há mais de 150 anos Florence Nightingale escreveu num dos seus estudos que as janelas abertas eram a marca de um hospital saudável (Lopes & Santos, 2010). Historicamente a ventilação natural era benéfica nas enfermarias dos hospitais e fazia parte do controlo de infeções adquiridas. Entretanto, com o advento de prédios altos e da temperatura controlada, muitos hospitais passaram a utilizar ventilação mecânica e sistemas de filtração como forma de controlo de QAI (Kembel *et al.*, 2012).

Apesar do crescente desenvolvimento tecnológico aplicado na área hospitalar, continuamos a viver numa era em que muitos edifícios apresentam riscos significativos para a saúde. Estes riscos, não limitados à síndrome do edifício doente, incluem a exposição a poluentes e infeções adquiridas em ambientes hospitalares, sendo que estas infeções permanecem entre as principais causas de morte nos países desenvolvidos (Tham, 2016).

No que diz respeito ao ambiente hospitalar, o seu interior é formado por um sistema dinâmico e complexo, e que pode ser afetado por agentes contaminantes biológicos, físicos ou químicos, capazes de causar efeitos nocivos à saúde não só dos pacientes, mas também dos profissionais de saúde. Estes contaminantes podem ser gerados no seu interior, assim como podem ser influenciados pelo ar exterior, que flui no edifício por processos naturais ou por ventilação mecânica (Camacho, 2010; Mendes, 2008).

São vários os ambientes que podem ser encontrados dentro dos hospitais, e estes vão depender dos tipos de serviços prestados. De entre os ambientes presentes neste ramo é possível citar salas de espera, salas de operação, recobro, unidades de cuidado intensivo, salas de radiologia, urgência, laboratórios, salas de esterilização, área de transferência, entre outros. Cada uma destas unidades apresenta funções específicas e devem ser adequadas ao seu uso, tornando sua gestão mais complexa quando comparada a edifícios comerciais ou industriais (Leung & Chan, 2006).

Os pacientes que recebem cuidados nos hospitais estão no grupo mais suscetível a contrair infecções adquiridas em ambientes hospitalares, pois na maioria dos casos apresentam o sistema imunitário debilitado (Asif *et al.*, 2018; Wan *et al.*, 2011). Por outro lado, os profissionais de saúde também estão expostos diariamente a uma diversa gama de poluentes, tais como agentes microbiológicos, poluentes químicos provenientes de produtos desinfetantes e esterilizantes, e gases anestésicos. Devido a estes fatores, a comunidade hospitalar está exposta a um risco acrescido quando comparado a outros ambientes comunitários (Jung *et al.*, 2015; Nastase *et al.*, 2016; Rothe *et al.*, 2013).

Matos (2014) referiu que as áreas hospitalares podem ser classificadas em três categorias, de acordo com a sua potencialidade de transmissão de infecção entre doentes: áreas críticas, semicríticas e as não críticas. Nas áreas críticas, a exigência por uma boa qualidade do ar leva os hospitais a instalarem ou atualizarem os sistemas de controlo, como os sistemas de filtração AVAC. Por outro lado, em áreas com menor exigência do ponto de vista da QAI a ventilação é usualmente insatisfatória, levando à acumulação de poluentes químicos e microbiológicos e ao desconforto térmico.

A QAI nos hospitais desempenha um papel fundamental no controlo de infecções adquiridas e na proteção de seus utilizadores (Asif *et al.*, 2018). Segundo Matos (2014), em Portugal existe uma grande deficiência no ramo de QAI hospitalar; os edifícios são na sua maioria antigos, com sistemas AVAC inadequados, apresentando problemas de arquitetura e falta de monitorização. O autor ainda afirma que apesar de existir exigências regulamentares, muitos hospitais não efetuam análises de QAI de uma forma sistemática, existindo um desconhecimento por parte dos gestores dos hospitais quantos aos poluentes químicos e microbiológicos existentes na generalidade das instalações. Este desconhecimento dificulta o desenvolvimento de práticas de melhorias da QAI nestes ambientes, colocando em risco a saúde de seus ocupantes.

## 2.2 Infecção nosocomial

A resolução de 1984 do Conselho da Europa classifica a infecção nosocomial como “A infecção contraída no hospital e toda a doença devida a microrganismos, clínica ou micro biologicamente reconhecida, que afeta tanto o doente, em resultado da sua entrada no hospital ou dos cuidados que aí recebeu enquanto hospitalizado ou em tratamento ambulatorio, como a equipa hospitalar, devido à sua atividade, quer os sintomas da doença apareçam ou não durante o tempo em que o interessado estiver no hospital”.

As infeções adquiridas em ambientes hospitalares são uma grande ameaça à saúde e à segurança dos pacientes em todo o mundo (Rothe *et al.*, 2013; Schelenz *et al.*, 2016). Quando um paciente procura cuidados médicos num hospital, espera-se que este receba os melhores cuidados nas melhores condições de segurança e conforto. Entretanto, mesmo que o paciente apresente um prognóstico inicial favorável, este tem probabilidade de vir a adquirir uma infecção em meio hospitalar, da qual irá comprometer o seu estado inicial (Ruiz-Gaitán *et al.*, 2018; Seto, 2015).

As infeções adquiridas aumentam o período de estadia do paciente, resultando em tratamentos intensivos com elevado custo de hospitalização e alta taxa de mortalidade (Umscheid *et al.*, 2011). Devido à relevância deste problema, atualmente o assunto encontra-se entre as prioridades do Departamento de Saúde e Serviços Humanos dos Estados Unidos (HSS) e do Centro Europeu de Prevenção e Controlo de Doenças (ECDC) (Priorit, 2018).

No ano de 1988, o Centro de Controlo de Prevenção de Doenças dos Estados Unidos (CDC) reconheceu as infeções nosocomiais como um grave problema de saúde pública (Boyce *et al.*, 2002). Apesar dos grandes avanços tecnológicos no controlo e prevenção de infeções, da implementação de melhores técnicas de assepsia, desinfeção, esterilização e adequação da arquitetura dos hospitais, verifica-se que as infeções nosocomiais ainda são uma causa importante de morbilidade e mortalidade (Alves & Doutel, 2003; Canha *et al.*, 2017; CDC, 2015).

Dados para caracterizar este problema a nível global são escassos, principalmente pelo facto de países subdesenvolvidos não apresentarem estimativas concretas, entretanto estima-se que em países em desenvolvimento a prevalência deste problema é de 15 para cada 100 pacientes (Allegranzi *et al.*, 2011).

Segundo dados do CDC (2015), estima-se que apenas nos EUA todos os anos cerca de 687 mil pacientes são infetados em ambientes hospitalares, causando cerca de 72 mil mortes durante a hospitalização. Estima-se ainda que grande parte destas infecções estejam relacionadas com o sistema respiratório, sendo a pneumonia a principal causa de infecção (CDC, 2015). De acordo com a Organização Mundial da Saúde, anualmente cerca de 4 milhões de pessoas morrem devido a infecções no trato respiratório. A maior taxa de mortalidade encontra-se entre os bebês, crianças e idosos vivendo em países de baixo rendimento (OMS, 2007).

Um estudo desenvolvido nos Estados Unidos (Klevens *et al.*, 2007) sugere que mais de dois terços das mortes resultantes de infecções nosocomiais são causadas por pneumonias adquiridas devido à má qualidade do sistema de ventilação, e pela infecção da corrente sanguínea, devido ao uso de cateter, sendo estas cinco vezes mais mortais do que outras infecções adquiridas (Tabela 1).

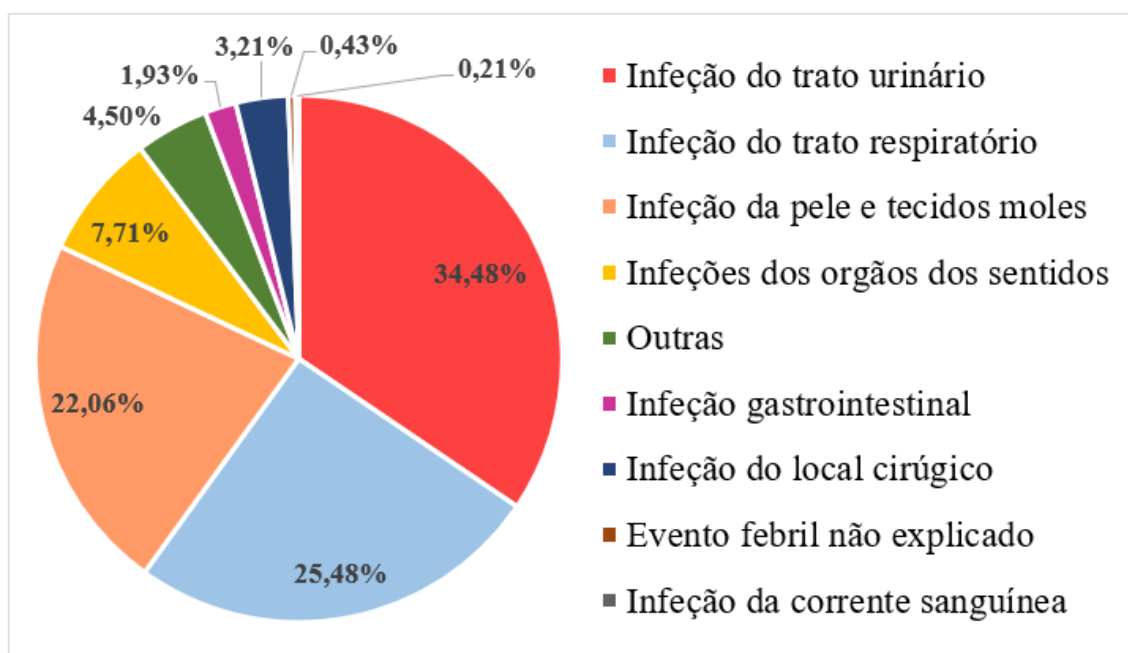
**Tabela 1.** Taxa de infecções adquiridas em ambiente hospitalar nos Estados Unidos.

<b>Tipo de infecção</b>	<b>Nº de infecções</b>	<b>Nº de mortes por infecções</b>	<b>Taxa de letalidade</b>
Pneumonia associada ao sistema de ventilação	250205	35967	14,4
Infeção da corrente sanguínea associada a cateter	248678	30665	12,3
Infeção do trato urinário associada a cateter	561667	13088	2,3
Infeção associada ao local cirúrgico	290485	8205	2,8
Outras	38609	11062	2,9
<b>Total</b>	<b>1.737125</b>	<b>98987</b>	<b>5,7</b>

Fonte: Adaptado de Klevens *et al.*, 2007

Estas infecções estão na sua maior parte relacionadas com bactérias que causam doenças no trato respiratório inferior, sendo o *Streptococcus pneumoniae* a causa mais comum de pneumonia adquirida em muitos países (Ching *et al.*, 2007). Neste contexto, medidas preventivas e melhores práticas de controlo demonstram ser um fator significativo no controle de riscos, como por exemplo, a melhoria do sistema de filtração de partículas do ar (Ishigami *et al.*, 2017; Xu *et al.*, 2017).

Durante o primeiro semestre de 2017, Portugal participou do 2º Inquérito europeu prevalência de ponto de infeções associadas aos cuidados de saúde organizado pelo Centro Europeu de Prevenção e controlo de doenças. Os resultados envolveram 125 hospitais e demonstraram que a percentagem de doentes internados com infeções associadas aos cuidados de saúde foi de 7,8% (Fernandes *et al.*, 2016). Relativamente aos tipos de infeções no dia do estudo, as mais frequentes foram as infeções do trato urinário, as infeções do trato respiratório e as infeções de pele e tecidos moles (Figura 2).



**Figura 2.** Distribuição relativa da prevalência das infeções associadas aos cuidados de saúde em unidades de cuidados continuados integrados em 2017. (Fonte: Direção Geral da Saúde, 2017).

As infeções associadas a cuidados de saúde e o aumento da resistência dos microrganismos aos antimicrobianos são problemas relacionados e de importância crescente à escala mundial, sendo que nenhum país e nenhuma unidade de saúde pode ignorar as implicações destas infeções e o seu impacto nos utentes, nas unidades de saúde e na comunidade, como o aumento da morbilidade e a mortalidade, prolongamento do tempo de internamento e aumento de custos em saúde (DGS, 2017).

## 2.3 Resistência microbiana

O tratamento de doentes com infeções foi revolucionado a partir da década de 40 através do uso de antimicrobianos. Contudo, o seu uso massivo e frequentemente inadequado promoveu a seleção de bactérias resistentes e multirresistentes. A nível mundial é crescente a resistência aos antimicrobianos, e torna-se evidente a associação entre o nível de consumo de classes específicas de antibióticos e a resistência bacteriana a essas mesmas classes (O'Neill, 2014).

Os antibióticos são drogas que tem a capacidade de destruir ou impedir o crescimento bacteriano sem causar efeitos colaterais na saúde humana ou animal. Antimicrobiano é um termo genérico que engloba todos os químicos que atuam sobre diferentes microrganismos (bactérias, vírus, fungos e parasitas), sendo estes os antibióticos ou antibacterianos, antivirais, antifúngicos e antiparasitários (INSA, 2019).

O antibiótico passou a estar ameaçado de perda de eficácia, afetando a esperança de vida e a realização, em segurança, de muitas intervenções e processos de saúde dado que alternativas terapêuticas são escassas (OECD, 2018). Para evitar este problema, é necessário reduzir o uso destes medicamentos, prevenindo todas as infeções evitáveis, não usando antibióticos quando não existe infeção bacteriana e reduzindo a duração das terapias ao mínimo indispensável para curar a infeção e evitar recidiva (DGS, 2017).

Os microrganismos tornam-se resistentes por meio da seleção de indivíduos, ou seja, quando uma droga mata todas os microrganismos susceptíveis e restam apenas os resistentes, tornando-os predominantes por serem os únicos a proliferar-se. O principal fator que favorece a seleção de microrganismos resistentes é o uso excessivo de antimicrobianos em humanos, animais e plantações (INSA, 2019).

A resistência pode surgir por meio de mutação genética ou por aquisição de material genético de outras bactérias. Há bactérias que são naturalmente resistentes a antibióticos, entretanto estas tem a capacidade de transferir a resistência para outras bactérias que coabitam consigo. É desta forma que as bactérias que não causam problemas (comensais) adquirem resistência microbiana (Kümmerer, 2004; Priorit, 2018; WHO, 2019).

De acordo com os dados de vigilância epidemiológica da *European Antimicrobial Resistant Surveillance Network* (EARS-Net), Portugal apresenta uma taxa elevada de

resistência bacteriana aos antimicrobianos, e encontra-se também entre os países europeus com a taxa mais elevada de *Staphylococcus aureus* resistente à meticilina, de *Enterococcus faecium* resistente à vancomicina e de *Acinetobacter* com resistência combinada a antimicrobianos. Nos países do leste e sul da Europa, incluindo Portugal, é crescente a resistência de *Klebsiella* spp. a cefalosporinas de terceira geração e de *Escherichia coli* a quinolonas (DGS, 2017).

A adesão dos hospitais portugueses à vigilância epidemiológica de infeção associada a cuidados de saúde é ainda pouco significativa, sobretudo em termos de vigilância de infeção do local cirúrgico. Na realidade, o controle de infeção e a prevenção de resistência aos antimicrobianos são estratégias complementares, o que justificou a fusão do programa de prevenção e controlo das infeções associadas aos cuidados de saúde e do programa de prevenção da resistência aos antibióticos, conforme o Despacho do Secretário de Estado Adjunto do Ministro da Saúde n.º 2902/2013, de 22 de fevereiro (DGS, 2017).

Os objetivos gerais deste Programa prioritário são a redução da taxa de infeção associada aos cuidados de saúde, a promoção do uso correto de antimicrobianos e a diminuição da taxa de microrganismos com resistência a antimicrobianos, objetivos estes que decorrem das recomendações dos organismos internacionais de referência, como é o caso da Organização Mundial de Saúde e do Centro Europeu de Prevenção e Controlo das Doenças (OMS, 2015; ECDC, 2015).

## 2.4 Transmissão aerotransportada

A transmissão aerotransportada refere-se a partículas que por estarem suspensas no ar podem percorrer grandes distâncias, resultando em infeções a indivíduos que não tiveram contacto próximo com a fonte que as emitiu. A fonte de emissão destas partículas infecciosas geralmente está associada a ações que envolvem o trato respiratório, tal como, falar, tossir, gargarhar, respirar e espirrar. Por outro lado, estas partículas podem ser geradas por ações que ocorrem no ambiente, como por exemplo a descarga de sanitas (Fernstrom & Goldblatt, 2013; Tellier, 2009).

Nem sempre os indivíduos são a fonte imediata de partículas infecciosas transportadas pelo ar. Muitos indivíduos podem estar expostos a poluentes que se acumulam em ambientes interiores e que são originados por fontes não humanas (toxinas produzidas por fungos, pólen, pelos de animais, excremento de pragas, entre outros alérgenos). Em grande parte, a exposição a estes poluentes atmosféricos biológicos associa-se a SED, da qual é relatada uma série de sintomas sem estarem ligados a uma doença específica (EPA, 2007).

Para garantir a diluição aceitável de poluentes microbiológicos em torno de um paciente infetado, o ar deve ser trocado de 10 a 12 vezes a cada hora, no entanto em prédios selados com controle de temperatura o ar é renovado apenas de 4 a 6 vezes por hora (OMS, 2007). Nestas circunstâncias o ambiente propicia elevado potencial para o desenvolvimento de infecções aerotransportadas (EPA, 2013). Um claro exemplo deste problema é a tuberculose, a qual é transmitida pelas vias aéreas e pode ser disseminada amplamente entre funcionários e pacientes (CDC, 2019).

## 2.5 Fatores que afetam a qualidade do ar interior

A QAI é geralmente determinada através da identificação de fatores químicos, físicos e microbiológicos. Neste tópico encontra-se uma breve descrição dos principais parâmetros que afetam a qualidade do ar interior, das principais fontes de emissão e seus efeitos no conforto e na saúde humana.

### 2.5.1 Fatores químicos

A variedade de poluentes químicos em ambientes interiores pode ser diversificada e está diretamente relacionada as atividades desenvolvidas no espaço. Para avaliar a qualidade do ar interior os poluentes químicos normalmente avaliados são: Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), Monóxido de carbono (CO), Compostos orgânicos voláteis (COVs) e Material Particulado (PM). A seguir estão descritas as principais fontes de emissão e os efeitos adversos à saúde humana resultantes da exposição destes poluentes.

### 2.5.1.1 *Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)*

O dióxido de carbono faz parte da composição da atmosfera numa concentração de 400 a 600 ppm, sendo um gás incolor e inodoro (APA, 2009) (Rouby *et al.*, 2017). Em ambientes interiores o dióxido de carbono serve como indicador para avaliar os níveis de qualidade do ar, ventilação e conforto, sendo também utilizado como referência para estimar as concentrações de outros poluentes gerados pelos ocupantes dos edifícios (Heudorf *et al.*, 2009).

Nestes ambientes, os níveis de CO<sub>2</sub> podem ser influenciados por fatores naturais, como a taxa de respiração dos ocupantes, da qual pode aumentar significativamente, se o ambiente não apresentar ventilação adequada, ou se o ambiente estiver superlotado (Heudorf *et al.*, 2009). Além do mais, fatores antrópicos também podem influenciar os níveis de CO<sub>2</sub>, como desmatamento, industrialização, transporte, fumo do cigarro, fornos a gás, fogões a lenha e combustão incompleta de combustíveis fósseis (Andrade & Dominski, 2018).

As variações sazonais das condições ambientais tendem a contribuir para as concentrações deste poluente em ambientes interiores, uma vez que no inverno estes espaços geralmente apresentam uma ventilação inadequada, resultando em níveis mais elevados de CO<sub>2</sub> quando comparados com o que se observa no verão (Mentese *et al.*, 2015). Quanto aos efeitos na saúde, a exposição ao dióxido de carbono pode provocar dores de cabeça, irritação na garganta, tonturas, náuseas, irritação nas mucosas, fadiga, e aumento na pressão arterial diastólica (Guan *et al.*, 2015).

### 2.5.1.2 *Monóxido de Carbono (CO)*

O monóxido de carbono é um gás incolor e inodoro que está diretamente relacionado com o processo de combustão incompleta, como a queima de combustíveis fósseis e biomassa. Este gás é considerado um asfixiante sistémico, pois quando inalado prejudica a oxigenação dos tecidos, uma vez que pode unir-se a hemoglobina, formando um complexo conhecido como carboxihemoglobina a qual impede a transferência de oxigénio para os tecidos (Barn *et al.*, 2018).

Em ambientes interiores, o monóxido de carbono geralmente está presente em baixas concentrações, sendo que locais com queima de combustíveis para aquecimento ou preparo de alimentos tendem a apresentar tendencialmente maior concentração. Além disso, influências externas como tráfego rodoviário e indústrias podem ocasionar mudanças nas concentrações de monóxido de carbono (APA, 2009).

De entre os efeitos conhecidos resultantes da exposição dos seres humanos ao CO é possível citar confusão mental, dores de cabeça, prejuízo dos reflexos, inconsciência, bloqueio das funções cerebrais e em casos extremos a morte por asfixia (Asere *et al.*, 2016).

### 2.5.1.3 Compostos Orgânicos Voláteis (COVs)

Os compostos orgânicos voláteis são componentes químicos que se caracterizam por serem constituídos na sua maioria por carbono, hidrogénio e oxigénio, e possuem elevada pressão de vapor, sendo gasosos à temperatura ambiente (Guo & Guo, 2011). Segundo a EPA, existem mais de 900 diferentes tipos de COVs em ambientes interiores, entretanto os mais frequentes são o benzeno, hexano, propeno, butano, tolueno, formaldeído, acetileno e isopreno (Garcia *et al.*, 2017).

Em ambientes interiores há uma diversidade de fontes responsáveis pelas emissões desta família de poluentes. É possível citar como exemplo o uso de vários compostos químicos em vários produtos domésticos, produtos de limpeza e assepsia, mobiliários, ambientadores, madeiras, tapetes e tintas. Estes itens podem ser fontes substanciais de COVs, em especial o benzeno, tolueno e formaldeído (Goodman *et al.*, 2017; Hromadka *et al.*, 2017).

No contexto de ambientes hospitalares o uso de produtos de limpeza e detergentes para a desinfecção favorece o aumento nos níveis de COVs do ar interior (Jung *et al.*, 2015). Compostos utilizados em diversos tratamentos médicos também podem contribuir com o aumento da concentração de aldeído no ar ambiente hospitalar, tal como gases anestésicos (Jung *et al.*, 2015).

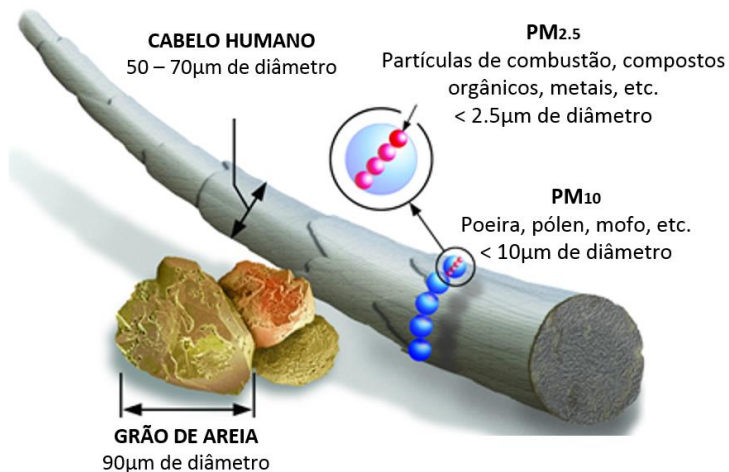
A exposição a este poluente pode ocorrer por meio de contacto direto, ingestão ou inalação, sendo que concentrações mais elevadas de COVs geralmente está associada a ventilação inadequada do edifício. Os efeitos observados da exposição são irritação nos

olhos, nariz e garganta, dores de cabeça, náuseas e tonturas. Entretanto, durante longos períodos de exposição estes compostos podem causar o aparecimento de problemas mais graves, como leucemia, anemia, linfopenia, alterações funcionais neurológicas e até mesmo cancro (Ching *et al.*, 2007; Jiang *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2007).

#### 2.5.1.4 Material Particulado (PM)

O termo material particulado (PM) é utilizado para definir um conjunto de partículas sólidas e gotículas líquidas encontradas em suspensão no ar (EEA, 2013b). Estas partículas podem ter origem orgânica e inorgânica, além de apresentarem diferentes propriedades físicas e químicas (Putaud *et al.*, 2004). Algumas partículas, como poeira, pólen, fuligem ou fumaça, são grandes o suficiente para serem vistas a olho nu. Outras são tão pequenas que só podem ser vistas por meio de microscópio eletrônico (Figura 3) (EPA, 2019).

As PM são classificadas granulometricamente de acordo com o seu diâmetro aerodinâmico equivalente, onde partículas com formas e densidades distintas podem ser representadas por esferas equivalentes (Raabe, 1994). Partículas inferiores a 0.1  $\mu\text{m}$  são consideradas partículas ultrafinas. Partículas com diâmetro entre 0.1 a 2.5  $\mu\text{m}$  são consideradas partículas finas, e quando superiores a 2.5  $\mu\text{m}$  são consideradas partículas grosseiras (EPA, 2019).

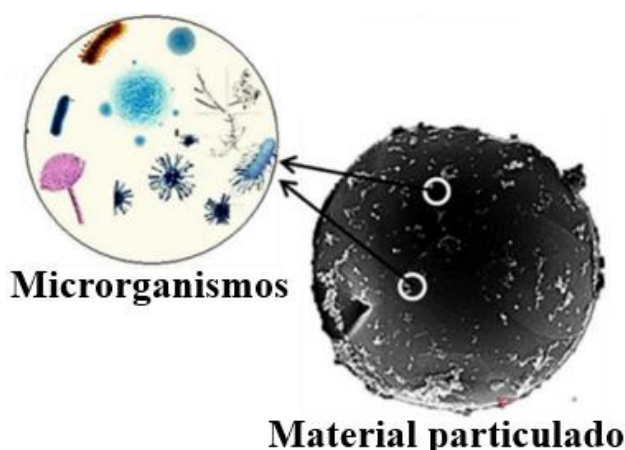


**Figura 3.** Comparação de tamanho do material particulado (Adaptado de EPA, 2019),

Quanto aos efeitos na saúde do homem, partículas inferiores a 2.5  $\mu\text{m}$  são as mais perigosas, pois devido ao tamanho reduzido podem penetrar profundamente nos alvéolos pulmonares e na corrente sanguínea, causando danos respiratórios e cardiovasculares (DGS, 2008; EPA, 2019; Yeatts *et al.*, 2007). Partículas grosseiras ficam retidas no sistema respiratório superior, podendo causar irritação no nariz e garganta, alergias, tosse, dificuldades respiratórias e espirros (DGS, 2008; Massey *et al.*, 2012; WHO, 2013).

A composição da atmosfera é caracterizada por ser escassa em nutrientes e substratos, tornando a vida microbiana menos propensa quando não associada a material particulado (Bowers *et al.*, 2013). Sendo assim, estas partículas suspensas tornam-se portadoras primárias de microrganismos aerotransportados, podendo oferecer um habitat favorável para o crescimento microbiano através do fornecimento de nutrientes (Kharangate-Lad, 2015).

As partículas resultantes da associação entre componentes biológicos e material particulado é usualmente denominado de bioaerosol (Bowers *et al.*, 2013). A composição dos bioaerossóis é diversificada, sendo que esporos fúngicos, células bacterianas, pólen, poeiras, alérgenos, detritos de insetos, entre outros componentes biológicos podem estar presentes na sua composição (Figura 4) (Bowers *et al.*, 2013; Kembel *et al.*, 2012; Maron *et al.*, 2005). De entre estes, as bactérias correspondem 80% e 86% dos microrganismos transportas pelo ar presentes em  $\text{PM}_{2.5}$  e  $\text{PM}_{10}$ , respectivamente (Gao *et al.*, 2018).



**Figura 4.** Associação entre partículas em suspensão e microrganismos (bioaerossóis).

Bowers *et al.* (2013) reportaram maior diversidade de células bacterianas associadas a material particulado grosseiro, quando comparado a material particulado fino. Além disso, Stres *et al.* (2013) reportaram forte relação entre a abundância de material particulado proveniente de poeira e contagem de células bacterianas. O autor ainda enfatiza a provável interação favorável para o crescimento microbiano entre material particulado e microrganismos.

Os microrganismos agregados a partículas geralmente são introduzidos no ambiente por meio da descamação da pele, respiração, tosse, fios de cabelo e partículas provenientes do sistema de ar condicionado. Estas partículas por sua vez são dispersas pelo movimento das pessoas, por correntes de ar, pelo sistema de ventilação e por convecção. Em salas de cirurgia as partículas podem precipitar diretamente em feridas ou equipamentos cirúrgicos, aumentando o risco a infecções (Urasaki, 2008).

Patógenos associados a material particulado são diversos em termos de forma e metabolismo, entretanto os sintomas mais comuns resultantes da exposição a bioaerossóis são inflamação respiratória, comprometimento da função pulmonar, asma, doença pulmonar obstrutiva crônica e pneumonia alérgica (Liu *et al.*, 2018; Zhai *et al.*, 2018).

Além disso, a concentração de material particulado em ambientes interiores pode ser um importante indicador de degradação da qualidade do ar. Em ambientes hospitalares as concentrações de PM podem indicar um mau funcionamento dos sistemas de filtração de ar, componente fundamental para garantir a segurança e evitar as infecções nosocomiais (Jung *et al.*, 2015).

### 2.5.2 Fatores biológicos

As instituições de saúde são ambientes favoráveis para a diversidade de microrganismos. O contato direto com o tratamento de doentes pode favorecer a disseminação de doenças e aumentar o risco de infecções nosocomiais. Neste sentido, bactérias e fungos são responsáveis por grande parte das taxas de morbidade e mortalidade das infecções adquiridas em ambientes hospitalares. Neste tópico serão descritas as principais características destes microrganismos, os principais fatores que contribuem para sua disseminação bem como os riscos que estes apresentam para a saúde humana.

### 2.5.2.1 Bactérias

Bactérias são organismos unicelulares procariontes que podem ser encontradas no ar, água, solo e inclusive nos nossos corpos. Muitas podem ser prejudiciais à saúde do homem, sendo agentes causadores de diversas doenças (patógenas). Contudo, nem todas as bactérias são maléficas (comensais) e algumas podem ser essenciais para muitas formas de vida, inclusive para os seres humanos (Yoo *et al.*, 2017).

Estes microrganismos reproduzem-se por divisão simples ou bipartição, dando origem a um número muito grande de descendentes em apenas algumas horas. Por serem organismos assexuados, herdamos cópias idênticas dos genes de sua progenitora. Quanto à morfologia, as bactérias podem ser esféricas (cocos), espiraladas (espirilos) ou cilíndricas (bacilos) e o seu tamanho pode variar geralmente de 0,25 a 8 µm (Yoo *et al.*, 2017) (Margulis & Chapman, 2009).

Podem ser classificadas em dois grupos de acordo com a estrutura da sua parede celular em resposta à coloração de Gram. Bactérias Gram-positivo tingem-se na cor purpura ou azul quando expostas ao teste de coloração de Gram, e são as mais abundantes no ar interior (Awad, *et al.*, 2018; Kim *et al.*, 2018). Bactérias Gram-negativo são visualizadas em coloração vermelha, e apesar de serem menos abundante no ar interior (Tabela 2), apresentam enorme potencial para causar doenças infecciosas (Awad *et al.*, 2018; Frankel *et al.*, 2012).

**Tabela 2.** Proporção (%) entre bactérias Gram-positivo e Gram-negativo em bioaerossóis.

Bactérias Gram-positivo (%)	Bactérias Gram-negativo (%)	Referência
79	21	(Awad <i>et al.</i> , 2010)
89	11	(Goudarzi <i>et al.</i> , 2014)
80-85	15-20	(Liang <i>et al.</i> , 2013)
82	18	(Gangamma, 2014)
68	32	(Orsini <i>et al.</i> , 2002)

Fonte: Adaptado de Zhai *et al.* 2018)

A presença de endotoxinas, lipopolissacarídeos associados à membrana externa nas bactérias Gram-negativo, constituem um grande problema ambiental e ocupacional, uma vez que podem causar diversos efeitos na saúde humana, como febre, tremores, doenças pulmonares, inflamação nas vias aéreas, alergias e dispneia (Eckel & Ametaj, 2016; Kim *et al.*, 2018; Swain *et al.*, 2008).

Em ambientes interiores, as espécies mais comuns de bactérias Gram-positivo são as do género *Bacillus*, *Micrococcus* e *Staphylococcus* (Awad *et al.*, 2018; Madsen *et al.*, 2018) e a sua abundância pode estar relacionada com as condições do edifício, taxa de ocupação e ventilação (Hayleeyesus *et al.*, 2014; Khamal, 2016). Edifícios com elevada taxa de ocupação tendem a apresentar maior concentrações destes microrganismos, uma vez que se encontram presentes no trato respiratório e na pele das pessoas (Awad *et al.*, 2018; Verdier *et al.*, 2014). No caso dos ambientes hospitalares, as bactérias patogénicas Gram-negativo que são comumente associadas a material particulado são: *Enterococcus casseliflavus*, *Proteus sp.*, *Proteus mirabilis*, *Escherichia coli*, *Enterobacter aerogenes*, *Providencia alcalifaciens* e *Morganella sp.* (Han *et al.*, 2013; Uhrbrand *et al.*, 2017).

As concentrações de bactérias em ambientes interiores variam de acordo com variações temporais e espaciais. Diversas pesquisas reportam maiores concentrações de bactérias em locais com maior taxa de ocupação e utilização (Hayleeyesus & Manaye, 2014; Khamal *et al.*, 2019; Mendes *et al.*, 2015). Quanto à variação sazonal, a maioria dos estudos identificou maiores concentrações no verão e no outono (Després *et al.*, 2012; Han *et al.*, 2013; Mirzaei *et al.*, 2017). Estes resultados podem estar relacionados com condições de temperatura e humidade favoráveis ao crescimento microbiano (Awad *et al.*, 2018; Madsen *et al.*, 2018; Hameed *et al.*, 2015).

Surtos hospitalares causados pela bactéria *Klebsiella pneumoniae* são exemplos que acometem os hospitais em todo o mundo (Caneiras *et al.*, 2018; Chang *et al.*, 2019). Em Portugal, entre 2015 e 2018 foram registados pelo menos três surtos em hospitais devido a esta espécie que além de se disseminar rapidamente tem adquirido cada vez mais resistência aos antibióticos (Galha, 2018). As infeções por *Klebsiella* podem ser adquiridas em órgãos distintos do corpo humano, no entanto a pneumonia e as infeções na corrente sanguínea são as mais frequentes e apresentam alta taxa de mortalidade (Carrie *et al.*, 2019; Ramos-Castañeda *et al.*, 2018).

### 2.5.2.2 *Fungos*

Os fungos são microrganismos eucariontes heterotróficos e apresentam ampla distribuição de tamanho, com diâmetros que variam conforme o género (Yu *et al.*, 2013). Os fragmentos de hifas e esporos multicelulares (bolors) podem ser maiores do que 10 µm, enquanto esporos unicelulares (leveduras) geralmente variam entre 1-10 µm, podendo apresentar partes inferiores a 1 µm (Yamamoto *et al.*, 2012).

Assim como as bactérias, as condições do ambiente interferem na proliferação destes microrganismos, onde a sua abundância está relacionada com ambientes húmidos (Sautour *et al.*, 2009; Yu *et al.*, 2013). Níveis de humidade relativa do ar de 65% a 90% favorecem o crescimento de leveduras, enquanto níveis de 95% a 99% favorecem o crescimento de bolors (Leong *et al.*, 2003). Condições como temperatura (10-35 °C) e pH (5-6,5) também são fatores que influenciam no seu crescimento (Magalhães, 2009).

Os fungos são importantes agentes decompositores na biosfera, e durante este processo libertam CO<sub>2</sub> (Gutarowska *et al.*, 2018; Lugauskas *et al.*, 2004). Além disso, durante o processo de metabolismo libertam COVs, tais como aldeídos, cetonas, álcoois, fenóis e derivados. Estes compostos podem causar irritação nas mucosas, odores, alergias e alterações metabólicas (Khan *et al.*, 2012; Portnoy *et al.*, 2004).

Durante o metabolismo secundário alguns fungos podem produzir uma toxina conhecida como micotoxina, sendo que as espécies de maior relevância para a produção de micotoxinas são as do género *Aspergillus* e *Penicillium* (Khan *et al.*, 2012). A exposição a estes componentes ocorre com maior frequência por meio de ingestão, inalação de esporos e contacto direto com a pele por meio de substratos infetados por fungos (Kumari *et al.*, 2016).

Os efeitos na saúde humana resultante da exposição a micotoxinas incluem: irritação nas mucosas das membranas, erupção cutânea, náusea, supressão do sistema imunológico, danos no sistema nervoso central, efeitos endócrinos e cancro (Kim *et al.*, 2018). A aflatoxina produzida por *Aspergillus flavus* pode ser citada como micotoxina carcinogénica, particularmente conhecida por causar cancro de fígado (Hayes *et al.*, 1984; Sorenson *et al.*, 1984; Wild & Gong, 2009). Outro aspeto a destacar nos fungos é a presença de um polímero conhecido como (1,3)-β-D glucanos, e que corresponde a 60% do peso da parede celular. Quando inalados, estes polímeros podem causar alergias, inflamação nas

vias aéreas e afetar o sistema imunológico (Khan *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2018; Portnoy *et al.*, 2004).

A diversidade de fungos é o principal fator para o risco da saúde humana, uma vez que para além dos quadros alérgicos, muitos fungos patogénicos podem estar omnipresentes no ar (Nabarro *et al.*, 2019). Géneros patogénicos representam risco acrescido principalmente em pacientes imunodeprimidos, em que quadros de fungemia, micotoxicoses, otites, meningite e infeções urinárias, oculares e pulmonares são frequentemente associados (Haleem *et al.*, 2012; Klont *et al.*, 2001; Tong *et al.*, 2017).

Os géneros comumente reportados em estudos são *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Alternaria*, *Penicillium* e *Candida* (Kumari *et al.*, 2016; Pyrri *et al.*, 2012; Sepahvand *et al.*, 2013; Sharma, 2011; Tong *et al.*, 2017). De entre estes, o *Aspergillus* spp. e *Candida* spp. são responsáveis por uma taxa elevada das infeções oportunistas adquiridas em ambientes hospitalares (Pemán *et al.*, 2013; Viegas *et al.*, 2019).

Nos últimos cinco anos foram registados surtos por *Candida auris* na Venezuela, Espanha, Reino Unido, Índia, Paquistão, África do Sul e América do Norte. Esta levedura resistente a múltiplas classes de agentes antifúngicos vem se espalhando rapidamente pelo globo terrestre, e tem grande potencial para causar surtos com alta taxa de mortalidade em hospitais (Forsberg *et al.*, 2019; Ruiz-Gaitán *et al.*, 2018). Assim como em bactérias, nas últimas décadas tem-se observado um número crescente de fungos resistentes aos antibióticos (Fisher *et al.*, 2018).

De acordo com o CDC mais de 90% das infeções de *C. auris* são resistentes a pelo menos uma droga, e 30% são resistentes a duas ou mais drogas. Quase metade dos pacientes infetados por *C. auris* morrem em até 90 dias (Schelenz *et al.*, 2016). Em Valência (Espanha), um surto de *C. auris* infetou 372 pessoas, sendo que 85 desenvolveram infeção na corrente sanguínea com uma taxa de mortalidade de 41% (Ruiz-Gaitán *et al.*, 2018). Ressalta-se que grande parte destas infeções estão associadas ao sistema respiratório inferior, e neste contexto a qualidade do ar interior desempenha um papel fundamental nas práticas de segurança e controlo de infeções (Lanks *et al.*, 2019; Vornanen-Winqvist *et al.*, 2017).

### 2.5.3 Fatores físicos

Para além de estarem diretamente relacionados com a sensação de conforto térmico, os parâmetros físicos exercem influência nas concentrações de poluentes químicos e biológicos. Condições de temperatura e humidade relativa podem favorecer o crescimento microbiano, enquanto as taxas de ventilação influenciam sobremaneira as concentrações de poluentes no ambiente interior. A seguir descreve-se o modo como a ventilação, temperatura e humidade relativa podem influenciar a qualidade do ar interior.

#### 2.5.3.1 Ventilação

A ventilação refere-se ao suplemento de ar externo distribuído por um local, tendo como objetivo geral fornecer ar saudável para a respiração, diluindo e removendo os poluentes presentes no ar interior dos edifícios (Eames *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2007). A ventilação também é conhecida por ser eficiente no controlo de doenças transmitidas pelo ar em espaços fechados individuais, como hospitais, salas de aula, espaços públicos, etc. (Silva, 2015).

De acordo com Eames (2009), a ventilação dentro dos edifícios deve seguir três elementos básicos: (1) A taxa de ventilação, ou seja, a quantidade de ar exterior que é fornecida para o espaço, sendo que a qualidade do ar exterior deve ser considerada; (2) A direção do fluxo de ar deve ser de zonas limpas para zonas sujas; (3) A ventilação deve ser distribuída de modo a que cada espaço receba ar externo de forma eficiente e os poluentes atmosféricos gerados em cada parte do espaço também sejam removidos de uma forma eficiente.

A ventilação pode ocorrer por meio de fluxos naturais de ar, resultante do gradiente térmico e/ou da ação do vento, ou por meio da ação mecânica de equipamentos ventiladores, exaustores e ar-condicionado. Os principais objetivos da ventilação de prédios ou salas são garantir a saúde, conforto térmico e produtividade de seus ocupantes (Geshwiler *et al.*, 2003; Settimo, 2017). Além disso, a ventilação tem dois papéis fundamentais no controle de transmissão de infeções aerotransportadas. A primeira é através da diluição de patógenos no ar, e a segunda é o controlo do movimento de patógenos transportados pelo ar de um espaço para outro (Silva, 2015).

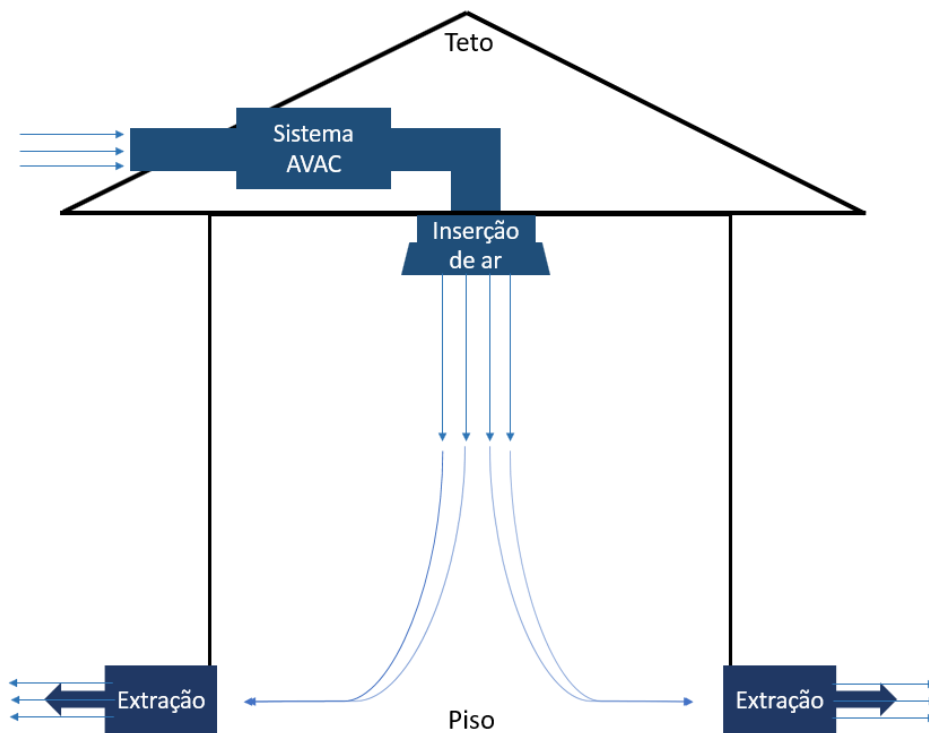
Em ambientes hospitalares as condições de ventilação, temperatura, humidade relativa e as taxas de renovação de ar são controladas por sistemas AVAC. Este sistema tem por objetivo garantir o condicionamento de ar de qualidade através da utilização de filtros de alta eficiência (99%), e manter os níveis de temperatura e humidade estáveis.

O sistema AVAC é de extrema importância na gestão do ar interior em ambiente hospitalar, pois é projetado de forma a reduzir a introdução, geração e retenção de contaminantes no interior de salas limpas através do controlo ambiental, definidos em termos de fluxo de ar, pressão, temperatura, humidade, ruído, vibração, iluminação, contaminação microbiana e por partículas (Wada, 2017).

Em salas limpas, termo técnico utilizado para definir áreas que se destinam a realização de procedimentos que requerem elevada qualidade do ar interior, em ambientes hospitalares pode referir-se como exemplo o bloco operatório, em especial salas de procedimento cirúrgico, onde o risco a exposição é acrescido. Estas salas, devem apresentar padrões de fluxo de ar e de pressão interna capazes de evitar a contaminação do espaço por poluentes exteriores e criar fluxos de ar direcionados para as zonas sujas (ISO 14644-1).

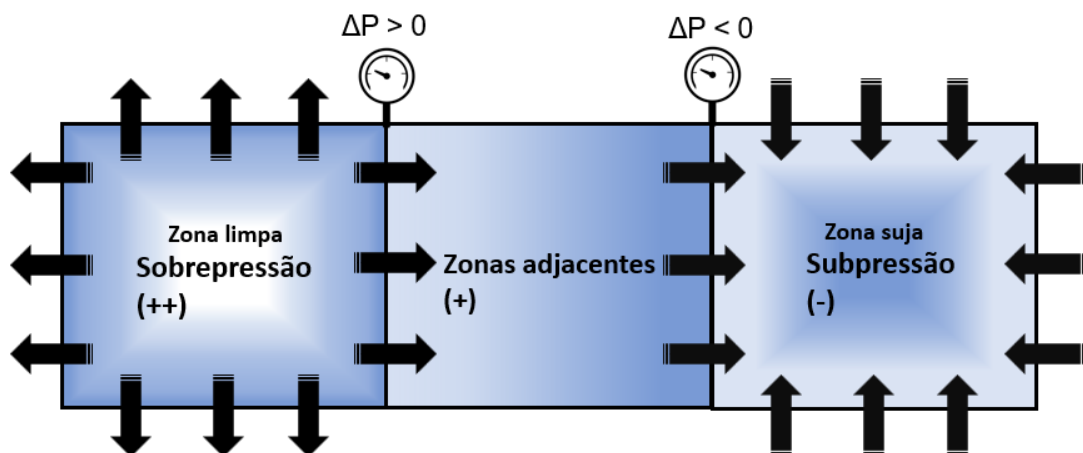
Entende-se por zonas sujas aquelas que pela sua natureza são produtoras ou acumuladoras de odores, fumos, vapores, ou outros poluentes do ambiente interior. Deve ser previsto sistemas de extração de poluentes nestas zonas com vista a evitar a degradação do ar interior. A rejeição deve ocorrer num ponto alto e afastado de locais de admissão de ar para outros sistemas, locais de permanência de pessoal e de público (ET 06/2008).

De acordo com as especificações técnicas para instalações AVAC (ET 06/2008) as sobrepessões e/ou subpressões devem ser estabelecidas à custa dos caudais nominais de ar em jogo, ou seja, a condição de sobrepessão é estabelecida num ambiente, quando a inserção de ar é superior à extração, enquanto a condição de subpressão é estabelecida de forma contrária, quando o ar extraído é superior ao ar inserido (Figura 5).



**Figura 5.** Inserção e extração de ar em sistema AVAC.

As zonas limpas devem estar sempre em sobrepessão relativamente às zonas circundantes a fim de evitar a entrada e acumulação de poluentes, enquanto as zonas sujas e infetadas devem estar em subpressão (Figura 6) para criar fluxos de ar de zonas limpas para zonas sujas (ET 06/2008).



**Figura 6.** Determinação de fluxos de ar por meio de controle de pressão.

### 2.5.3.2 *Humidade relativa do ar*

A humidade relativa do ar é um parâmetro físico, expresso em percentagem, que representa a quantidade de água presente no ar em relação ao valor máximo suportado (valor de saturação). De facto, certo nível de humidade é necessário para garantir o conforto. Por outro lado, o nível de humidade relativa tem efeitos diretos sobre processos fisiológicos, e efeitos indiretos sobre microrganismos e produtos químicos (APA, 2009).

O efeito de sensação térmica está diretamente associado com a humidade relativa do ar, portanto altos ou baixos níveis de humidade relativa podem causar desconforto. Ambientes com nível de humidade relativa inferior a 20% podem causar irritações nos olhos e secagem das membranas mucosas, enquanto níveis médios e altos podem aliviar os sintomas da asma. Para níveis muito elevados de humidade relativa, existem riscos de condensação nas paredes e nas janelas que podem danificar os edifícios e originar a formação de bolores e o desenvolvimento de outros microrganismos (Spengler *et al.*, 2001).

Os efeitos da humidade relativa do ar são sentidos principalmente por pessoas com problemas respiratórios, como bronquite, sinusite, alergias, sintomas relacionados com resfriados ou gripe. Outro importante impacto direto está associado à combinação de elevadas temperaturas com elevados níveis de humidade, por resultar numa redução da taxa de resfriamento evaporativo do corpo, causando desconforto considerável, insolação e exaustão (He *et al.*, 2017).

Segundo o Decreto-Lei 243/86 de 20 de agosto, sobre as condições nos locais de trabalho, os valores de humidade relativa devem variar entre os 50% e os 70%. No entanto, segundo a ISO 7730, para a generalidade dos ambientes, uma humidade relativa considerada ótima está compreendida entre 30% e 60%. O controlo deste parâmetro é muito importante no que respeita ao conforto térmico e ao crescimento microbiano.

### 2.5.3.3 *Temperatura*

A temperatura é um parâmetro fundamental para a definição do conforto térmico num dado ambiente, pois a sua percepção está relacionada com a sensação de conforto de um edifício. Quando combinada com outros parâmetros, é um fator chave no que diz respeito a percepção de qualidade do ar (Spengler *et al.*, 2001). Além dos efeitos diretos na sensação de conforto térmico, a temperatura desempenha um papel fundamental no crescimento microbiano (Ramos, 2013).

O efeito da temperatura é geralmente observado em duas partes: o primeiro refere-se ao potencial da temperatura influenciar diretamente o crescimento microbiano, enquanto o segundo refere-se ao potencial da temperatura influenciar parâmetros como taxa de ventilação, a qual influencia a suspensão e diluição dos microrganismos presentes num dado ambiente (Zhai *et al.*, 2018).

Em vários estudos foi demonstrado que a temperatura apresentou uma correlação significativa com as concentrações de bactérias e fungos, evidenciando que elevadas temperaturas constituem condições ideais para o desenvolvimento de esporos fúngicos, enquanto as baixas temperaturas atuam como fator limitante para o desenvolvimento daqueles microrganismos (Almaguer *et al.*, 2014; Quintero *et al.*, 2010; Rivera *et al.*, 2012; Smets *et al.*, 2016).

Apesar de não ter um intervalo de valores definido em legislação para QAI, a temperatura recomendada para locais de trabalho, deve, se possível, oscilar entre 18 °C e 22 °C, segundo o Decreto-Lei n° 243/86 de 20 de agosto, salvo em determinadas condições climáticas que poderá atingir os 25 °C. Por outro lado, a ISO 7730 (2005) recomenda intervalos de temperatura entre os 23 °C e os 26 °C para ambientes interiores.

Em relação a edifícios de saúde, a Administração Central do Sistema de Saúde do Governo de Portugal (ACSS) disponibiliza as especificações técnicas para a instalação de sistemas AVAC em blocos operatórios e serviços de esterilização (ET 6/2008, 2014). Neste documento estão determinados os intervalos de temperatura e de humidade relativa adequados para cada tipologia de ambiente.

### 3 ENQUADRAMENTO LEGAL E NORMATIVO

Em Portugal existem poucos diplomas legais e documentos normativos referentes a qualidade do ar interior em ambientes hospitalares. Neste sentido, este capítulo é destinado a referenciar as principais normas e legislação aplicadas na qualidade do ar interior a nível internacional e a nível da União Europeia. Faz-se ainda uma breve descrição do enquadramento legal a nível nacional que estabelece os limiares de proteção para os principais poluentes do ar interior em ambientes ocupacionais de modo geral.

#### 3.1 Normas internacionais

A qualidade do ar interior vem ganhando espaço e é motivo de debates em todo o mundo, entretanto, muitos países ainda são carentes no que diz respeito a legislação para a qualidade do ar interior (EC 2002; Capolongo *et al.*, 2015a, 2016b). A União Europeia tem frequentemente abordado a necessidade e a importância de avaliar a QAI, e a fim de satisfazer as necessidades de avaliação e controlo dos espaços internos, o CEN e a ISO começaram a trabalhar numa série de normas específicas, estabelecendo a ISO 16000.

Países que não apresentam uma legislação específica para qualidade do ar interior acabam por adotar valores de referências, critérios ou padrões de outros países, ou então passam a usar valores referenciados em literatura científica. Pode citar-se como exemplo a Itália que adota valores de referência de acordo com as diretrizes da Organização Mundial da Saúde (WHO) para QAI (WHO 1982, 1984, 2000, 2006; Capolongo *et al.*, 2016).

Em relação a ambientes hospitalares, os parâmetros preocupantes podem ter natureza química, física ou biológica. Todavia, contrariamente aos riscos físicos e químicos, verifica-se que para os riscos biológicos muitos países (incluindo Portugal) não apresentam metodologias e padrões de referência para a exposição de funcionários do setor da saúde (Bernasconi *et al.*, 2010).

Neste sentido, elaborou-se ao longo dos anos diversas diretrizes e normas, não existindo ainda um consenso mundial quanto as metodologias a serem aplicadas na avaliação de parâmetros biológicos (Quadros *et al.*, 2009a). Na tabela a seguir é possível verificar diferentes diretrizes adotadas a nível mundial da qual delimitam valores recomendados para o limiar de proteção contra risco de agentes biológicos (Tabela 3).

**Tabela 3.** Normas e diretrizes mundiais para avaliação de agentes biológicos (Adaptado de Lopes, 2015).

Referência	Ambiente	Padrão Referencial	Valor recomendado
ANVISA	Ambientes coletivos	Fungos totais	750 UFC/m <sup>3</sup>
ACGIH	Limite exposição ocupacional	Fungos	250 UFC/m <sup>3</sup>
ISO 14644	Salas limpas	Agentes biológicos	10 a 200 UFC/m <sup>3</sup>
	Limite ambientes urbanos	Fungos	500 UFC/m <sup>3</sup>
WHO	Limite ambientes hospitalares	Fungos	50 UFC/m <sup>3</sup>
		Bactérias	100 UFC/m <sup>3</sup>
NIOSH	Limite exposição ocupacional	Agentes biológicos totais	1000 UFC/m <sup>3</sup>
NRCC	População não exposta	Fungos totais	150 UFC/m <sup>3</sup>
		Fungos anemófilos	100 UFC/m <sup>3</sup>

ANVISA – Agência nacional de vigilância sanitária; ACGIH – Conferência americana de higienistas industriais governamentais; WHO – Organização mundial da saúde; NIOSH – Instituto nacional de segurança e saúde ocupacional; NRCC – Conselho nacional de pesquisas canadense.

No Brasil a resolução nº 09, da ANVISA, estabelece padrões de referência para a qualidade do ar interior de uso público e coletivo (Abramczyk, 2006; Quadros, 2008). No caso de ambientes hospitalares, promoveu-se o documento CP nº 109 que classifica as unidades em quatro níveis distintos de risco segundo parâmetros microbiológicos (Tabela 4).

**Tabela 4.** Parâmetros microbiológicos de referência para QAI, segundo CP nº. 109.

	Nível 0	Nível 1	Nível 2	Nível 3
Partículas microbiológicas totais do ar	750 UFC/m <sup>3</sup>	500 UFC/m <sup>3</sup>	200 UFC/m <sup>3</sup>	50 UFC/m <sup>3</sup>

O nível 0 corresponde a “áreas onde o risco não excede aquele encontrado em ambientes de uso público e coletivo”. O nível 1 corresponde a área onde não foi constatado o risco de eventos adversos relacionados com qualidade do ar, porém algumas autoridades sugerem que o risco deve ser considerado. O nível 2 corresponde a salas de unidade de tratamento intensivo (UTI) e salas de cirurgia, enquanto que no nível 3 se enquadram os quartos de internamento de imunodeprimidos e salas de cirurgia especializada (cardiologia, transplante, neurologia, ortopedia).

A ISO 14644-1 de 2010 determina parâmetros recomendados para a classificação de ambientes e salas limpas, na qual se enquadram os hospitais. Segundo esta norma, o limiar de proteção aceitável para agentes biológicos totais varia de acordo com a classificação ISO estabelecida na Tabela 5 (Lopes, 2016; Matos, 2014).

**Tabela 5.** Limiar de proteção para agentes microbiológicos de acordo com classificação ISO 14644 para salas limpas.

Classificação ISO	Valor limite de UFC/m <sup>3</sup>
5 e 6	10
7	100
8	200

Fonte: Matos, 2014.

No entanto, os limiares de proteção variam de acordo com as normas governamentais de cada país. A OMS estipula que para o ar interior ter condições aceitáveis, a concentração de fungos não deve exceder 500 UFC/m<sup>3</sup> em ambiente interior climatizado, sendo que para ambientes hospitalares este valor deve estar próximo das 50 UFC/m<sup>3</sup>. No Canadá, o órgão governamental conhecido como Conselho Nacional de Investigação Canadiana (NRCC) reforça que as concentrações totais de fungos em ambientes climatizados não devem ser superiores a 150 UFC/m<sup>3</sup>.

### 3.2 Legislação a nível da União Europeia

A nível Europeu, existe uma tendência na promoção integrada da qualidade do ar interior, a fim de reduzir a presença de poluentes nestes ambientes. Todavia, são vários os países membros da União Europeia que ainda não apresentam regulamentos específicos para estas questões (Lopes, 2015).

Em Itália, por exemplo, não existem normas ou leis específicas para QAI, ainda que nos últimos anos a consciencialização relativa a esta problemática tem incentivado a procura de regulamentação. Em 2012, o Ministério da Saúde da Itália apontou que a poluição do ar em ambientes fechados é uma questão importante para a saúde pública, com implicações sociais e económicas (Ministero della Salute, 2012).

Vários estados Europeus criaram grupos de trabalho para a elaboração de diretrizes de qualidade do ar interior. Em França, Finlândia, Polónia, Portugal e Áustria, os valores de proteção recomendados pelas diretrizes têm validade legal, uma vez que foram aprovados em atos legislativos. Por outro lado, na Alemanha, Holanda e Reino Unido, as diretrizes recomendadas não têm validade legal, mas podem ser usadas para avaliar e melhorar a qualidade do ar interior (Settimo, 2017).

Em França, um novo plano de ações para a QAI foi publicado no ano de 2013 e está previsto para entrar em vigor no ano de 2023. Este plano, conhecido como “Plan d’action sur la qualité de l’Air Interieur” delimita limiares de proteção para poluentes do ar interior e inclui exigência de monitoração em hospitais e instituições de saúde (Settimo, 2017). Verifica-se que a ausência de legislação em alguns países da União Europeia faz com que as referências para QAI sejam pesquisadas em literatura científica ou em normas adotadas em outros estados europeus, ou até mesmo em diretrizes a nível mundial.

Outro documento que pode ser utilizado como referência para a classificação de parâmetros microbiológicos em salas limpas é o “Guidelines to Good Manufacturing Practice” (GMP), da qual foi elaborado pela Comissão Europeia. Este documento apresenta os mesmo limiares de proteção para agentes microbiológicos estabelecidos pela norma ISO 14644, no entanto a nomenclatura da classificação é atribuída de acordo com as letras A, B, C e D (Tabela 6).

**Tabela 6.** Limiar de proteção para agentes microbiológicos de acordo com classificação GMP para salas limpas.

<b>Classificação GMP</b>	<b>Valor limite de UFC/m<sup>3</sup></b>
A	< 1
B	10
C	100
D	200

Fonte: Adaptado de Kripnner, 2014.

### 3.3 Legislação Portuguesa

A temática qualidade do ar passou a ser abordada na legislação nacional no ano de 2006, com a publicação da legislação referente ao Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior (Decreto-Lei nº 78/2006 de 4 de abril). Entretanto, mais tarde surgiu um novo decreto conhecido como Sistema Nacional de Certificação Energética e do Ar Interior (Decreto-Lei nº 79/2006 de 4 de abril), revogando o anterior. Este novo decreto apresentava valores para a concentração máxima de alguns poluentes encontrados em ambientes interiores, como PM<sub>10</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CH<sub>2</sub>O, COVs e microrganismos.

No ano de 2013 surge o Decreto-Lei nº. 118/2013 de 20 de agosto, da qual faz a revisão da legislação nacional e passa a incluir em um único diploma o Sistema de Certificação Energética de Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS), com o intuito de simplificar a produção legislativa de carácter técnico. Este decreto ainda transpõe a Diretiva n.º 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios.

Apesar da qualidade do ar interior não mais contemplar o sistema de certificação energética, o Decreto-Lei nº. 118/2013 considera que os níveis de renovação de ar novo dentro de ambientes fechados são de grande importância para garantir a saúde e o bem-estar dos ocupantes. O documento ainda referênciava a eliminação de auditorias de QAI, mantendo-se a necessidade de controlo e adoção de medidas preventivas nos edifícios, de forma a cumprir os requisitos legais para a redução de possíveis riscos à saúde (Decreto-Lei n.º 118/2013). Além disso, este novo Decreto-Lei traz a Portaria nº. 353-A/2013 com o objetivo de complementar alguns parâmetros relacionados a qualidade do ar interior.

A Portaria n.º 353-A/2013 surgiu com o intuito de complementar as alterações impostas no Decreto-Lei nº 118/2013, de 20 de agosto, e tem por objetivo estabelecer valores mínimos de caudal de ar novo no espaço, bem como limiares de proteção para os principais poluentes físico-químicos (Tabela 7) e parâmetros microbiológicos (Tabela 8) do ar interior em edifícios sujeitos a grande intervenção.

**Tabela 7.** Limiar de proteção e margem de tolerância para os poluentes físico-químicos segundo a Portaria nº.353-A/2013.

Poluente	Unidade	Limiar de proteção	Margem de tolerância [%]
Partículas em suspensão (Fração PM <sub>10</sub> )	µg/m <sup>3</sup>	50	100
Partículas em suspensão (Fração PM <sub>2,5</sub> )	µg/m <sup>3</sup>	25	100
Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COVs)	µg/m <sup>3</sup>	600	100
Monóxido de Carbono (CO)	mg/m <sup>3</sup>	10	-
	ppmv	9	
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	mg/m <sup>3</sup>	2250	30
	ppmv	1250	
Formaldeído	µg/m <sup>3</sup>	100	-

Os limiares de proteção para os poluentes físico-químicos e as condições de referência para os parâmetros microbiológicos, são conjugadas com o seguinte:

- a) As concentrações em µg.m<sup>-3</sup> e mg.m<sup>-3</sup> referem-se à temperatura de 20° C e à pressão de 1 atm (101,325 kPa);
- b) Os limiares de proteção indicados dizem respeito a uma média de 8 horas;
- c) As margens de tolerância previstas são aplicáveis a edifícios existentes e edifícios novos sem sistemas mecânicos de ventilação;

**Tabela 8.** Limiar de proteção e margem de tolerância para os poluentes microbiológicos segundo a Portaria nº.353-A/2013.

Agente	Unidade	Condições de referência
Bactérias	UFC/m <sup>3</sup>	Concentração de bactérias totais no interior inferior à concentração no exterior, acrescida de 350 UFC/m <sup>3</sup> .
Fungos	UFC/m <sup>3</sup>	Concentração de fungos no interior inferior à detectada no exterior

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Caracterização do local de estudo

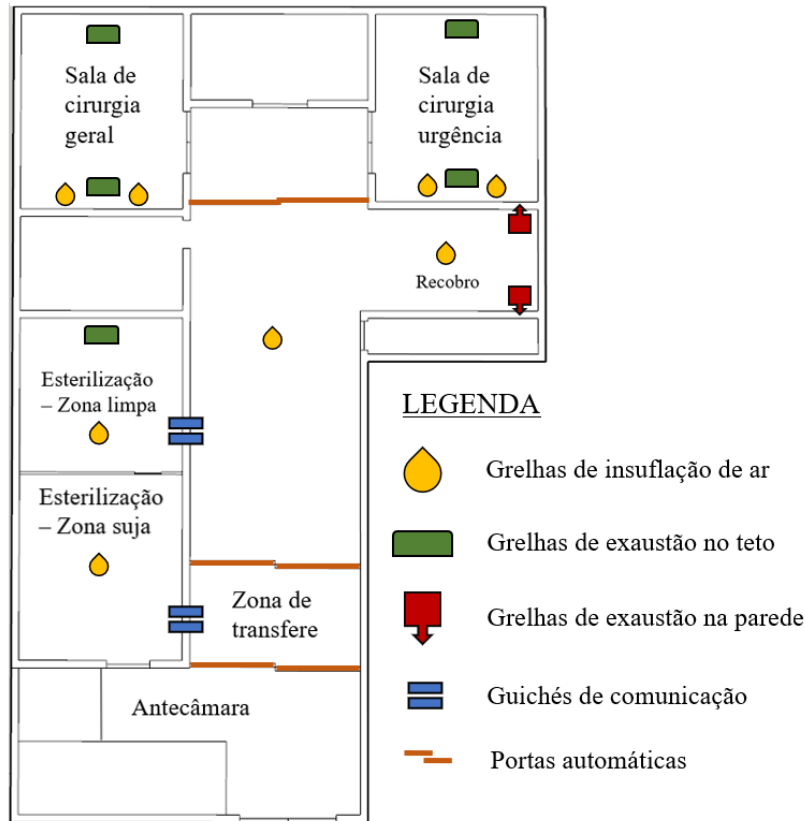
O presente trabalho foi desenvolvido na Unidade Hospitalar de Bragança, que se encontra integrada na Unidade Local de Saúde Nordeste (ULSNE). A ULSNE é uma entidade pública empresarial (EPE), que inclui a totalidade do distrito de Bragança e o município de Vila Nova de Foz Côa (do distrito da Guarda). O edifício encontra-se localizado junto a uma avenida de tráfico rodoviário na zona urbana da cidade (Figura 7).



*Figura 7. Unidade Hospitalar de Bragança.*

### 4.2 Descrição dos locais de amostragem

O bloco operatório é um ambiente que apresenta restrições quanto ao uso, sendo um serviço de grande diferenciação e de utilização transversal pelas diversas especialidades cirúrgicas. Neste ambiente podem realizar-se intervenções cirúrgicas programadas ou de urgência e também exames que requeiram um elevado nível de cuidados de assepsia e/ou anestesia. Os ambientes avaliados no bloco operatório foram a sala de cirurgia geral (SCG), sala de cirurgia de urgência (SCU), unidade de cuidado pós-operatório, denominada recobro (RC), e a zona de transferência de pacientes (TF). O acesso a estes ambientes é restrito, de modo a evitar contaminações, sendo apenas permitido com o uso de uniforme cirúrgico (Figura 8).



**Figura 8.** Planta baixa do local de estudo com representação dos pontos de ventilação mecânica, guichés de transferência de material e portas automáticas.

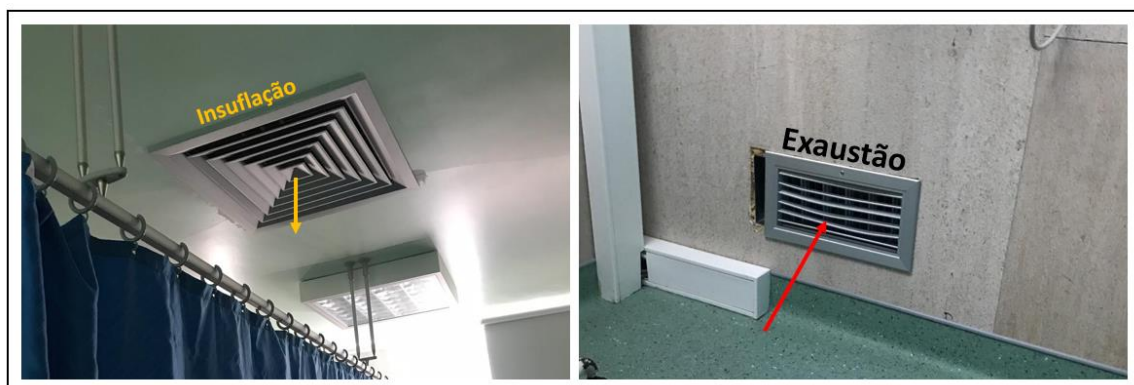
A zona de esterilização é um serviço interno do hospital destinado à esterilização e armazenamento de material cirúrgico. Por questões logísticas este serviço está ligado ao bloco operatório, uma vez que as atividades cirúrgicas demandam de uma grande quantidade de material estéril. Na unidade hospitalar de Bragança este ambiente é dividido em zona de material não estéril (STS) e em zona de material estéril (STL), e a comunicação entre este ambiente e o bloco operatório faz-se através de guichés que são abertos apenas durante a transferência de material. A planta completa encontra-se no Anexo D.

Na sala de cirurgia geral ocorrem intervenções cirúrgicas gerais, ginecologia e urologia, e na sala de cirurgia de urgência ocorrem cirurgias não programadas e traumatologia. Estas salas são caracterizadas como salas limpas e operam em pressão positiva em relação as áreas adjacentes a fim de minimizar a entrada de contaminantes. As duas salas apresentam a mesma disposição quanto ao sistema de ventilação (AVAC), sendo que duas grelhas localizadas na parte alta da parede são destinadas a insuflação de ar, e outras duas grelhas localizadas no teto em direções opostas são destinadas a exaustão (Figura 9).



*Figura 9. Disposição do sistema de ventilação mecânica na sala de cirurgia.*

O recobro é a unidade destinada aos cuidados pós anestésicos, estando localizado em zona imediatamente a seguir às salas de operação e equipada com duas macas. Este ambiente conta com um sistema de ventilação mecânica com insuflação de ar proveniente de duas grelhas localizadas no teto e sistema de exaustão feito por duas grelhas de exaustão localizadas em lados opostos da parede, próximas ao chão (Figura 10).



*Figura 10. Disposição do sistema de ventilação no Recobro.*

O transfere é uma zona semi-restrita que faz a comunicação com ambiente exterior ao bloco operatório (Figura 11). Este local é destinado a transferência do doente da cama hospitalar para a maca cirúrgica. O ambiente é composto por duas portas automáticas de correr, uma que permite acesso a antecâmara e outra que permite acesso ao bloco operatório. A transferência do doente é feita com as duas portas fechadas. O sistema de ventilação mecânica é ausente neste ambiente.

A zona não estéril do serviço de esterilização, também conhecida como sala de sujos, é o local onde o material cirúrgico é lavado após as intervenções cirúrgicas. É nesta sala que também ocorrem as atividades de preparação e embalagem de material. A ventilação desta área ocorre por meio de um insuflador localizado no teto, não existindo grelhas destinadas a exaustão de ar (Figura 12).



**Figura 11.** Sistema de ventilação mecânica na sala de sujos do serviço de esterilização.

A zona estéril do serviço de esterilização, também conhecida como sala de limpos, é onde se encontram os equipamentos de esterilização (autoclaves e esterilizador por plasma de peróxido de hidrogénio) e onde o material devidamente esterilizado é armazenado. A ventilação deste espaço dá-se através da insuflação e exaustão de ar por meio de duas grelhas localizadas no teto (Figura 13).



**Figura 12.** Sistema de ventilação mecânica da sala de limpos do serviço de esterilização.

A antecâmara é a sala que antecede o bloco operatório e o serviço de esterilização, sendo caracterizada como uma zona livre, ou seja, não existe exigência quanto ao uso de uniforme cirúrgico (Figura 11). O acesso a este espaço pode fazer-se através de dois elevadores existentes ou através do hall de entrada do piso que dá acesso aos quartos hospitalares. A antecâmara não conta com sistema de ventilação e exaustão, e as janelas são fixas, sendo a ventilação do espaço limitada.



*Figura 13. Vista da Antecâmara, zona de transfe com uma das portas de acesso aberta, e porta de acesso a zona do serviço de esterilização.*

A ventilação mecânica dos ambientes ocorre através de uma central AVAC que faz a captação e o tratamento do ar exterior. O material particulado grosseiro (folhas, insetos, etc.) é removido por um filtro primário, enquanto o material particulado fino é removido num filtro de alta eficiência (99%). Faz-se ainda o condicionamento do ar por meio de ajuste de temperatura e humidade relativa. Após tratamento, o ar é distribuído através de dutos para o interior do edifício. A manutenção do filtro primário é realizada semanalmente, através da limpeza manual, enquanto que o filtro de alta eficiência é trocado uma vez por ano.

### 4.3 Monitorização da qualidade do ar interior

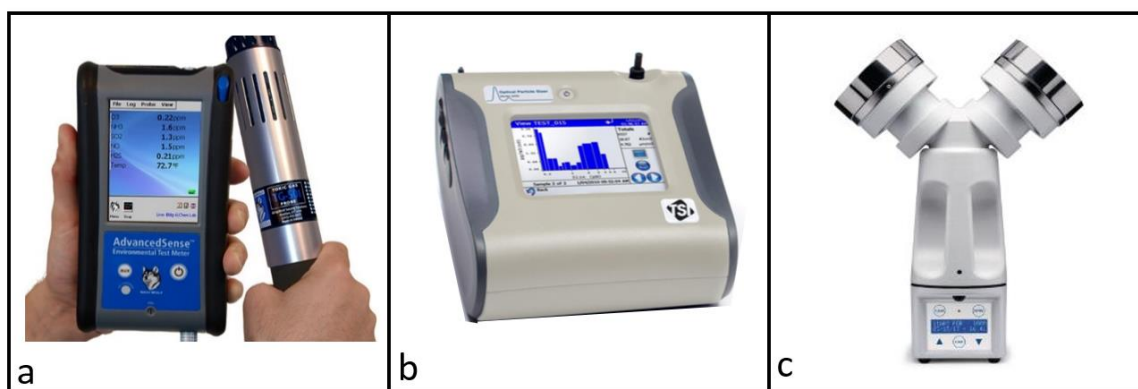
A campanha de medições decorreu nos meses de janeiro, fevereiro e março de 2019, totalizando 10 ensaios durante este período. Como procedimento padrão de controlo de riscos em ambiente hospitalar, o acesso ao bloco operatório foi realizado com o uso de uniforme cirúrgico descartável composto por: uniforme cirúrgico (calça e túnica), máscara, touca, protector de sapatos e luvas.

Por questões logísticas, as amostragens/medições *in situ* na sala de cirurgia geral (SCG) e sala de cirurgia de urgência (SGU) decorreram sempre no período de intervalo cirúrgico (13:00 – 14:00 PM). As restantes amostragens nos demais espaços decorreram durante o funcionamento normal dos serviços e sempre no período da tarde.

Para além do ambiente interior, fez-se a caracterização do ambiente exterior (ar livre), para fins de determinação dos limiares de proteção estabelecidos na Portaria n.º. 353-A/2013 de 4 de dezembro. Estas medições decorreram a frente do hospital, no estacionamento do edifício e sempre ao final das amostragens do interior.

### 4.4 Metodologias e equipamentos utilizados

Neste tópico encontram-se descritas as metodologias utilizadas na determinação dos parâmetros químicos, físicos e microbiológicos, bem como a descrição dos equipamentos utilizados *in-situ* durante a campanha de amostragem (Figura 14).



**Figura 14.** a) Sonda GrayWolf IQ 610 com assistente digital; b) Optical Particle Sizer Spectrometer model 3330; c) Amostrador de ar ativo DUO SAS 360.

#### 4.4.1 Parâmetros físico-químicos

Os parâmetros físico-químicos de temperatura, humidade relativa, COVs, CO e CO<sub>2</sub> foram monitorados por meio da sonda GrayWolf IQ 610 ligado a um assistente pessoal digital (APD) (Figura 14). A sonda, apoiada num tripé, foi mantida em cima de uma mesa móvel ajustada a uma altura de aproximadamente 1,5 metros. Sempre que possível a monitorização decorreu no centro dos ambientes ou a pelo menos a 1 metro de distância de paredes e fluxos de ar. Os princípios de operação e as gamas de medição de cada um dos sensores encontram-se na Tabela 9.

*Tabela 9. Informações sobre princípio de medição dos parâmetros analisados.*

<b>Parâmetro</b>	<b>Princípio de medição</b>	<b>Gama</b>	<b>Precisão</b>
COVs	Fotoionização (PID)	5 a 20.000 ppb	5 ppb
CO <sub>2</sub>	Sensor de infravermelho não dispersivo (NDIR)	0 a 10.000 ppm	± 3%
CO	Eletroquímico	0 a 500ppm	±2ppm
Temperatura	Termo resistência Pt100	25° a 70°C	± 0,3°C
Humidade relativa	Capacitivo	0 a 100 %	± 2% HR

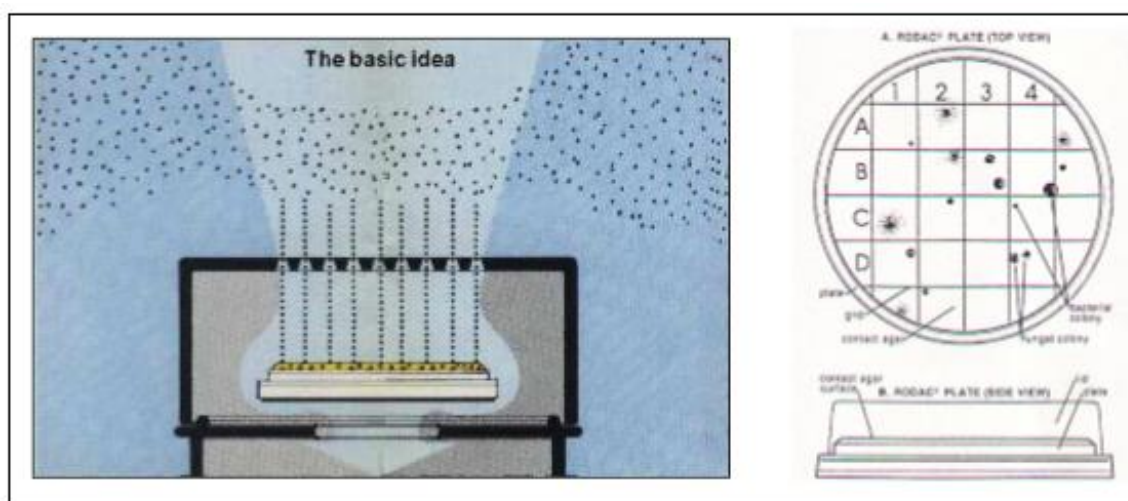
#### 4.4.2 Material particulado

O aparelho Optical Particle Sizer Spectrometer model 3330 foi utilizado para monitorizar o número de partículas em suspensão durante toda a campanha de amostragem (Figura 14). Em cada um dos ambientes o aparelho foi ajustado para operar por período de 20 minutos; tempo necessário para recolher (em paralelo) as amostras para análise dos parâmetros microbiológicos.

O princípio de operação deste aparelho dá-se por meio da contagem de partículas individuais. Um fluxo de ar de 1 L.min<sup>-1</sup> é direcionado através de um feixe de raio laser e quando as partículas atravessam este raio refletem uma quantidade de luz. Um detetor fotónico é capaz de identificar a intensidade destes pulsos, dimensionando e contando simultaneamente partículas entre 0.3 e 10 µm. Os pulsos são proporcionais ao diâmetro ótico, portanto partículas superiores a 10 µm não são contabilizadas.

#### 4.4.3 Parâmetros microbiológicos

Para determinar a concentração dos microrganismos aerotransportados utilizou-se o método de impacto em meio sólido por meio de um amostrador de ar ativo modelo DUO SAS 360 (VWR International, Milan, Italy), com caudal de amostragem de 180 L/s (Figura 14). O amostrador de ar possui um corpo único com duas cabeças de aspiração, sendo que o fluxo de ar resultante é direcionado para uma placa de Petri contendo meio de cultura de interesse para o crescimento microbiano (Figura 15). Esta técnica permite quantificar os agentes microbiológicos a partir de um volume de ar pré-determinado, sendo o resultado expresso em unidades formadoras de colônias por metro cúbico de ar (UFC/m<sup>3</sup>) (Pasquarella *et al.*, 2012). No presente trabalho, o aparelho foi ajustado para amostrar um volume de ar de 1000 L, volume recomendado para áreas estéreis ou de alto risco, como por exemplo as salas de cirurgia.



**Figura 15.** Princípio de funcionamento da técnica de impacto em meio sólido.

Os meios de cultura utilizados foram: *Tryptic Soy agar* (TSA, Liofilchem - Italy) com cicloheximida (E. Merck - Darmstadt) 500 mg/L para a contagem de bactérias totais; *MacConkey agar* (Liofilchem – Italy) para a quantificação de bactérias Gram-negativo, sendo também capaz de indicar a fermentação de lactose; *Rose Bengal Chloramphenicol agar* (RBC, Liofilchem) para a quantificação de fungos (bolores e leveduras).

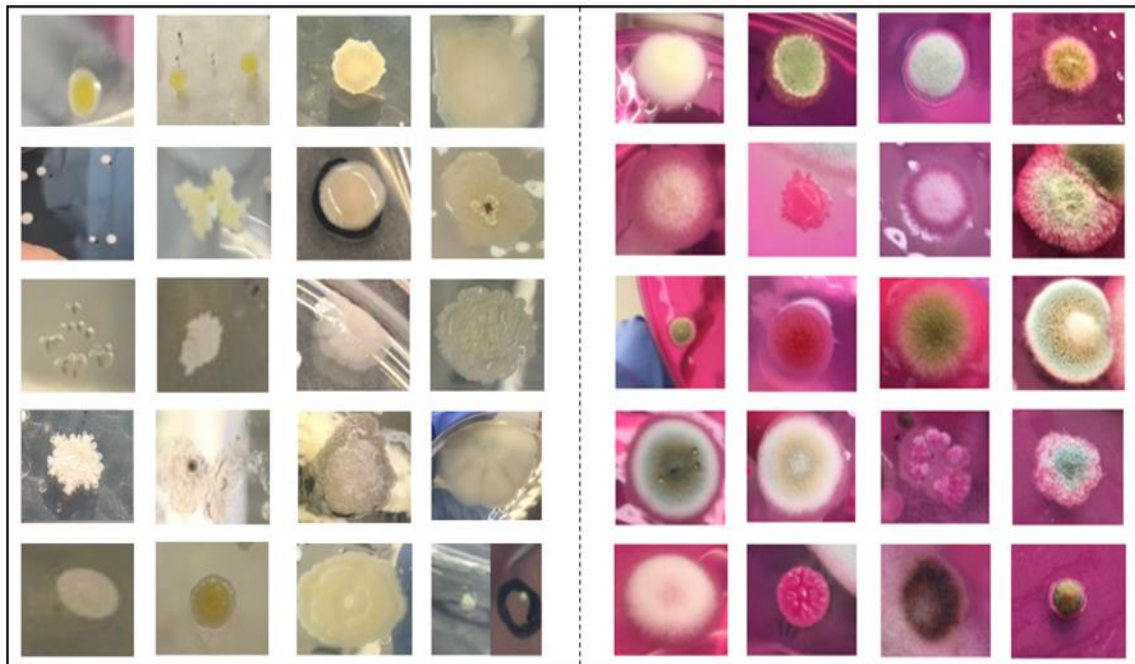
Durante o ciclo de amostragem o amostrador de ar foi mantido na posição vertical e sempre que possível no centro do ambiente monitorado. Ao fim de cada ciclo de amostragem as placas de Petri foram fechadas, identificadas e armazenadas em mala térmica refrigerada para posterior incubação. De referir ainda, que se procedeu sempre à desinfecção de toda a superfície da cabeça perfurado com álcool 70% estéril (Food Care - Sealed Air) antes de acoplar novas placas na cabeça do aparelho.

Placas contendo meio TSA e MacConkey foram incubadas em estufa a 37 °C por um período de 48 horas, enquanto as placas contendo meio RBC foram incubadas a 25 °C durante 5 dias. Após os períodos de incubação referidos, procedeu-se à contagem das unidades formadoras de colónias (UFC) por placa. Os valores obtidos foram posteriormente corrigidos, para o número mais provável, através da tabela de conversão fornecida pelo fabricante do aparelho (Anexo A). Esta correção é feita levando em conta a probabilidade estatística de partículas múltiplas passarem através de um mesmo orifício na cabeça do amostrador. A contagem do número mais provável de colónias (Pr) foi então utilizada para o cálculo do número de unidades formadoras de colónias por metro cúbico de ar (UFC/m<sup>3</sup>), de acordo com a Equação 1.

$$UFC = \frac{Pr \times 1000}{Volume\ de\ ar\ amostrado\ (m^3)} \quad (Eq. 1)$$

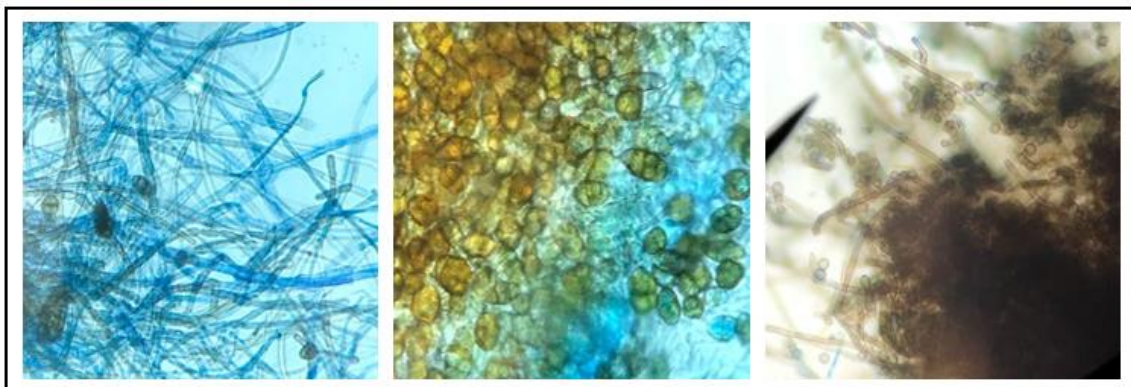
#### 4.4.4 Caracterização microbiológica

Inicialmente as colónias de fungos e bactérias foram identificadas de acordo com as suas características morfológicas (cor, tamanho, forma, margem e elevação; Figura 16) e depois isoladas por meio de repicagem com o intuito de obter culturas puras. As colónias provenientes do meio TSA e *MacConkey* foram repicadas para meio de cultura *Plate Count Agar* (PCA), enquanto as provenientes do meio RBC (bolos e leveduras) foram repicadas em meio de cultura Malt Extract Agar (MEA).



**Figura 16.** Identificação morfológica de algumas colónias de bactérias (esquerda) e fungos (direita).

Após a obtenção de culturas puras, formaram-se grupos de linhagens de acordo com as suas semelhanças macroscópicas e microscópicas (Figura 17), de modo a seleccionar um isolado representativo de cada morfotipo para posterior identificação molecular. Alíquotas destas amostras foram conservadas a -20 °C em criotubos esterilizados contendo solução de glicerol 30%.



**Figura 17.** Identificação microscópica de fungos.

#### 4.4.4.1 Extração do DNA genómico

O DNA genómico foi extraído por meio do kit de extração REExtract-NAmp™ (SigmaAldrich), seguindo as instruções do fornecedor. Alíquotas de colónias puras (bactérias e fungos) foram mantidas em 25 µL de solução de extração durante 10 minutos a 95 °C em termociclador MyCycler Thermal Cycler (BIO-RAD). Após incubação, adicionou-se a cada amostra 50 µL de solução de diluição. Para permitir que o DNA bacteriano ficasse suspenso, as amostras foram centrifugadas a 12000 rpm durante 10 segundos e em seguida conservadas a -20 °C.

#### 4.4.4.2 Ampliação do DNA

A identificação dos isolados foi conseguida através da ampliação e sequenciamento da região Espaçadora Transcrita Interna (ITS) do DNA ribossomal (rDNA), usando os iniciadores oligonucleotídicos universais ITS1 e ITS4 para o caso dos fungos, e da região 16S do rDNA utilizando os inicializadores oligonucleotídicos 27F e 534R para as bactérias.

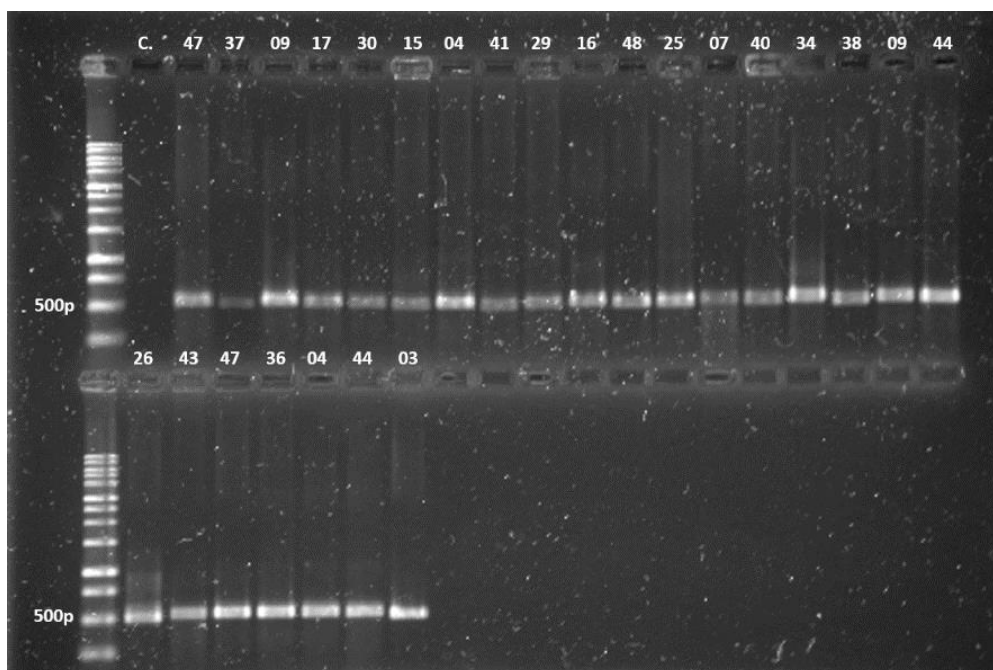
O DNA genómico das bactérias foi ampliado por meio de uma mistura contendo: 37,3 µL de água destilada; 5 µL de buffer (10x); 1,5 µL de MgCl<sub>2</sub> (100 mM); 1 µL de dNTPS (10nM); 1 µL de primer forward (27F); 1 µL de primer reverse (534R); 0,2 µL de Taq polimerase e 3 µL do DNA de interesse. Em seguida as amostras foram colocadas no termociclador MyCycler Thermal Cycler (BIO-RAD), com perfil térmico de desnaturação inicial a 94 °C durante 2 minutos, seguido por 30 ciclos de desnaturação a 94 °C durante 10 segundos, emparelhamento a 50 °C durante 20 segundos, extensão a 72 °C durante 1 minuto, extensão final a 72 °C durante 7 minutos e conservação a 4 °C até serem retiradas do aparelho.

A ampliação do DNA genómico dos fungos seguiu o mesmo princípio, no entanto a mistura foi preparada com: 36,3 µL de água destilada; 5 µL de buffer (10x); 1,5 µL de MgCl<sub>2</sub> (100nM); 1 µL de dNTPS (10 mM); 1 µL de primer reverso (ITS4, 10 µM); 1 µL de primer forward (ITS1, 10 µM); 0,2 µL de Taq polimerase e 4 µL do DNA alvo de ampliação. Subsequentemente as amostras foram colocadas no termociclador com o seguinte perfil térmico: desnaturação inicial a 94 °C durante 3 minutos, seguida por 35 ciclos de desnaturação a 94°C durante 30 segundos, emparelhamento a 53°C durante 30

segundos, extensão a 72°C durante 30 segundos, seguida por uma extensão final a 72°C durante 7 minutos (apenas 1 vez), e por fim 4 °C com propósito de conservação.

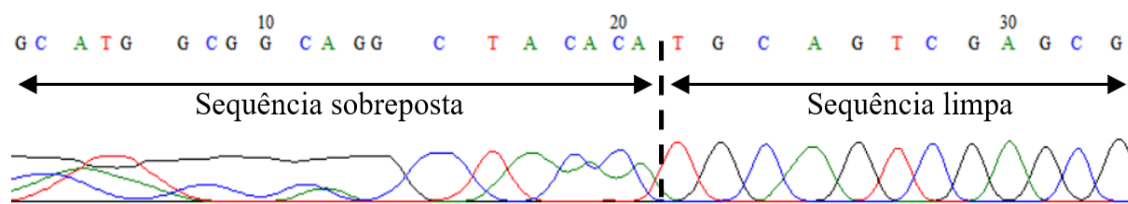
#### 4.4.4.3 Análise das sequências de DNA

Para confirmar o resultado da ampliação as amostras foram submetidas à técnica de eletroforese em gel de agarose a 1% com passagem de corrente a 110 Volts (Figura 18). Esta técnica permite verificar o sucesso da ampliação da banda de interesse do DNA genómico. Amostras que não obtiveram a banda de interesse no processo de ampliação foram refeitas. Os produtos da ampliação foram sequenciados pela empresa Macrogen Inc. (Seul, Coréia do Sul), utilizando os mesmos primers da reação de ampliação.



**Figura 18.** Resultado da PCR em gel de agarose 1%.

O software BioEdit v7.2 foi utilizado para analisar e eliminar as bandas sobrepostas do resultado do sequenciamento das moléculas de DNA. Observa-se na Figura 19 um exemplo de bandas sobrepostas não definidas, subsequente de bandas bem definidas.



**Figura 19.** Resultado de um sequenciamento genômico e bandas.

As sequências limpas foram identificadas por meio da base de dados fornecida pelo NCBI (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov>) em conjunto com o algoritmo BLAST. O maior grau de similaridade e o menor E-value (Expected value) foi utilizado como critério de classificação para o resultado do sequenciamento.

O gênero e a espécie foram considerados para sequências com grau de identificação superior a 99%. Para sequências com grau de identificação inferior a 98% apenas o gênero foi aceite. Os isolados com grau de identificação inferior a 97% foram considerados como desconhecidos ou não identificados. Considerou-se apenas o gênero nos casos em que o sequenciamento apresentou resultados com o mesmo gênero, mas com espécies diferentes (Anexos B e C).

#### 4.4.5 Análise dos dados

A análise estatística foi realizada através do software JMP v.11. Os dados foram analisados através de estatística descritiva e análise de variância (ANOVA). Na comparação múltipla de médias utilizou-se o teste de Tukey considerando-se significativo um valor de  $p < 0.05$ . A correlação entre as concentrações médias de bactérias e fungos e número de material particulado foi executada no software Excel v.365.

Além das análises estatísticas, os parâmetros de temperatura e umidade relativa foram correlacionados num diagrama simplificado de conforto térmico disponibilizado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET-Brasil) para caracterizar o ambiente avaliado (Anexo E).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo estão apresentados e discutidos os resultados obtidos na avaliação da qualidade do ar interior do local de estudo. Os parâmetros avaliados foram divididos em tópicos e subtópicos com o intuito de facilitar a visualização e a compreensão das tabelas e das representações gráficas.

### 5.1 Parâmetros físicos

#### 5.1.1 Temperatura e humidade relativa

Os parâmetros de temperatura e humidade relativa estão diretamente relacionados com a sensação de conforto térmico (He et al, 2017). Na Tabela 10 seguem apresentados os valores médios, mínimos e máximos dos ensaios decorridos em cada um dos locais de amostragem.

*Tabela 10. Temperatura e Humidade relativa nos diferentes locais avaliados*

<b>Local</b>		<b>Temperatura (°C)</b>		<b>Humidade Relativa (%)</b>	
<b>SCG</b>	Média ± Dp	20,7 ± 0,7	E	30 ± 8,5	B
	Min - Max	19,4 - 22,3		11,8 - 44,3	
<b>SCU</b>	Média ± Dp	20,9 ± 1	E	29,3 ± 8	B
	Min - Max	19,2 - 22,5		10,9 - 40,3	
<b>RC</b>	Média ± Dp	21,7 ± 0,7	D	28,9 ± 6,8	BC
	Min - Max	19,5 - 23		11,4 - 36,8	
<b>TF</b>	Média ± Dp	22,8 ± 0,5	C	27,9 ± 6,6	BC
	Min - Max	21 - 23,6		11,8 - 34,7	
<b>STS</b>	Média ± Dp	24,1 ± 0,8	A	26,8 ± 3,8	CD
	Min - Max	22,6 - 25,6		17,7 - 31,1	
<b>STL</b>	Média ± Dp	24,4 ± 0,5	A	25,3 ± 3	D
	Min - Max	23,4 - 25,5		18,6 - 28,6	
<b>AC</b>	Média ± Dp	23,6 ± 1,7	B	26,9 ± 6,9	CD
	Min - Max	18,1 - 25,7		11,9 - 44,3	
<b>EXT</b>	Média ± Dp	13,3 ± 3,5	F	48,1 ± 10,5	A
	Min - Max	2,8 - 18,9		25,6 - 79,8	
	P-valor	<0,0001		<0,0001	

Nota: Letras maiúsculas diferentes em cada coluna representam diferenças significativas de acordo com teste de comparação de médias (Tukey).

A campanha de amostragem decorreu no período de inverno, é possível notar que a temperatura média no exterior do edifício variou de 2,8 a 18,9 °C, tendo como temperatura média os 13,3 °C. No ambiente interior a temperatura média variou significativamente entre os espaços avaliados, sendo que os menores valores foram observados nas salas de cirurgia (20,7 °C na SCG e 20,9 °C na SCU) e os maiores valores foram registados no serviço de esterilização (24,1 °C no STS e 24,4 °C no STL). Os valores superiores de temperatura registados neste serviço podem estar relacionados com os equipamentos de autoclave e atividades envolvidas na esterilização do material cirúrgico.

É possível verificar que com exceção da AC ( $dp \pm 1,7$ ), os outros ambientes apresentaram capacidade de manter variação de temperatura inferior ou igual a 1 °C. Resultados semelhantes foram observados em ambientes hospitalares onde os autores associam a pouca variabilidade da temperatura ao sistema AVAC e a estanqueidade dos edifícios (Derks *et al.*, 2018; Khalid *et al.*, 2019; Sattayakorn *et al.*, 2017).

O parâmetro humidade relativa (HR) também apresentou diferenças significativas entre os locais avaliados, com valores médios que variaram de 26,9% a 30%. As salas de cirurgia apresentaram as maiores percentagens de HR (30% na SCG e 29,3% na SCU), enquanto as mais baixas foram observadas no serviço de esterilização (25,3% no STL e 26,8% no STS) e na AC (26,9%). No ambiente exterior a HR média foi de 48,1%, no entanto este parâmetro tem grande influência climática, sendo que dias com precipitação apresentaram elevadas percentagens (79,8%) de humidade relativa (Tabela 10).

Em ambientes hospitalares estes dois parâmetros são geralmente controlados pelo sistema AVAC, da qual dispõe de especificações técnicas para a correta instalação e funcionamento. A Administração Central do Sistema de Saúde (ACSS) do Governo de Portugal dispõe de um documento que refere as condições de temperatura e humidade relativa recomendadas para as diferentes áreas do ambiente hospitalar (Tabela 11).

**Tabela 11.** Parâmetros recomendados para ambientes com sistema AVAC.

<b>Local</b>	<b>Temp. °C</b>	<b>HR %</b>	<b>Humidificação</b>
<b>Sala de cirurgia</b>	17 a 27	30 a 60	Vapor
<b>Recobro</b>	24	60	Vapor
<b>Transfere</b>	24	50	Vapor
<b>Antecâmara</b>	24	50	Vapor
<b>Esterilização - Não estéril</b>	25	40 a 50	Não
<b>Esterilização - Estéril</b>	22 a 25	40 a 50	Não

De modo geral, verifica-se que os intervalos de temperatura nos diversos ambientes aproximam-se dos valores recomendados por este documento, no entanto, as percentagens de humidade relativa encontram-se inadequadas para a tipologia de edifício, com valores que desfavorecem a sensação de conforto térmico.

Para verificar a condição de conforto térmico no ambiente de estudo utilizou-se do diagrama de conforto térmico que correlaciona as variáveis de temperatura e humidade relativa (Figura 20). Este diagrama considera apenas estas duas variáveis para representar de forma simplificada a zona de conforto térmico. É preciso enfatizar que a sensação térmica é totalmente subjetiva e diversas variáveis devem ser consideradas na sua caracterização, uma condição pode ser confortável para uma pessoa e ao mesmo tempo ser desconfortável para outra.

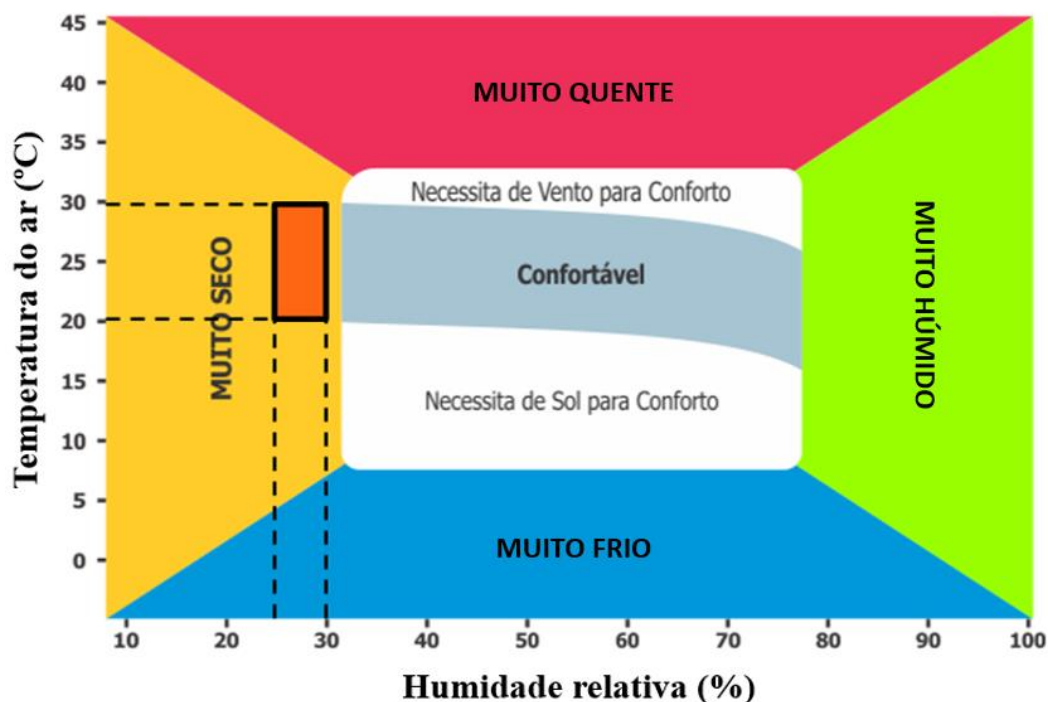


Figura 20. Diagrama de conforto térmico (Adaptado de INMET, 2019).

De acordo com o diagrama, o ambiente foi caracterizado como *muito seco*, sendo desfavorável para a sensação de conforto térmico. Verifica-se que a temperatura média se encontra no intervalo favorável deste diagrama, no entanto as percentagens de humidade relativa encontra-se inferiores ao recomendado. De facto, durante as análises alguns funcionários (médicos e enfermeiros) reclamaram de ressecamento nos olhos, irritação na garganta, ambiente abafado e muito seco.

Para além do diagrama de conforto térmico e das especificações técnicas de sistemas AVAC, o intervalo de temperatura está de acordo com o recomendado por diversas normas para ambientes interiores (NR17; ISO 9241; ISO 7730/94). Contudo, o parâmetro humidade relativa encontra-se inferior ao recomendado por estas mesmas normas, sendo desfavorável para a sensação de conforto térmico.

### 5.1.2 Material Particulado

A monitorização do número de partículas em suspensão em ambientes interiores pode ser utilizada como indicador de qualidade e eficiência dos sistemas de filtração AVAC. Os resultados em termos de concentração ( $PM_{2.5}$  e  $PM_{10}$ ) estão apresentados na Tabela 12.

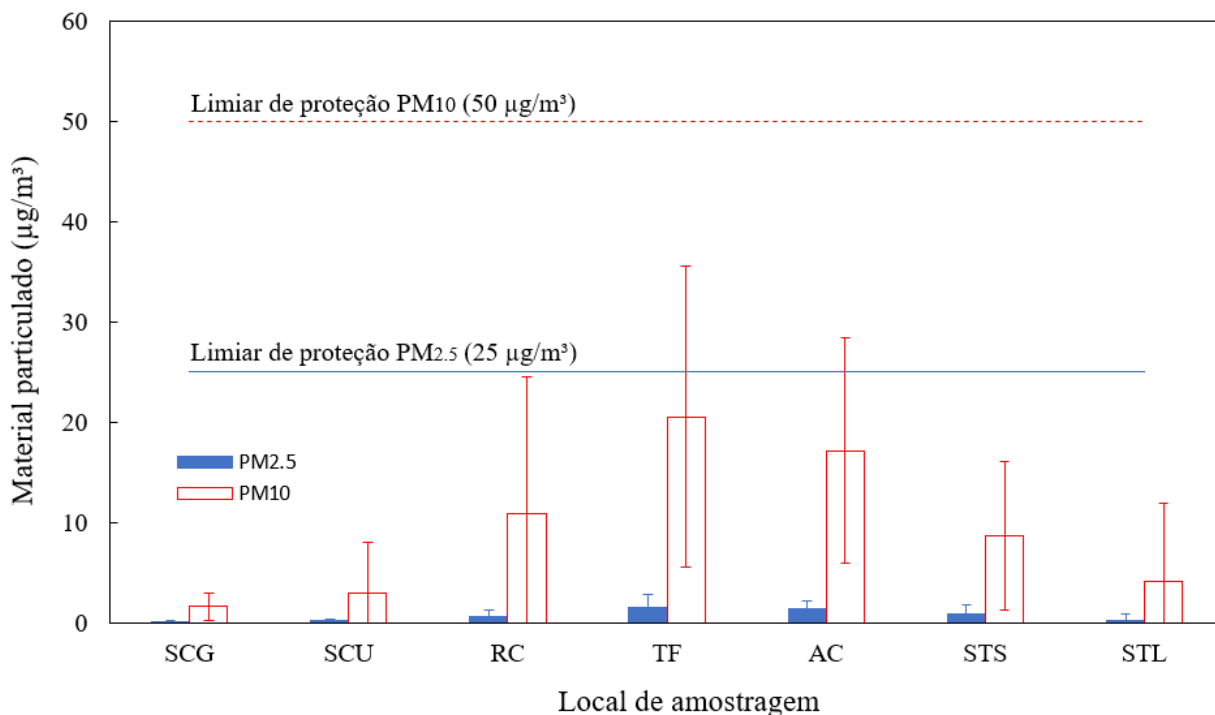
**Tabela 12.** Concentração de material particulado ( $PM_{10}$ ).

Local		Concentração $PM_{2.5}$	Concentração $PM_{10}$
		( $\mu g.m^3$ )	( $\mu g.m^3$ )
SCG	Média $\pm$ Dp	0,12 $\pm$ 0,11 <sup>C</sup>	1,61 $\pm$ 1,38 <sup>C</sup>
	Min - Max	0,02 - 0,35	0,20 - 4,05
SCU	Média $\pm$ Dp	0,16 $\pm$ 0,25 <sup>C</sup>	2,98 $\pm$ 5,02 <sup>BC</sup>
	Min - Max	0,01 - 0,74	0,05 - 14,42
RC	Média $\pm$ Dp	0,64 $\pm$ 0,60 <sup>ABC</sup>	10,9 $\pm$ 13,64 <sup>ABC</sup>
	Min - Max	0,07 - 2,01	0,63 - 45,14
TF	Média $\pm$ Dp	1,54 $\pm$ 1,22 <sup>A</sup>	20,52 $\pm$ 15,02 <sup>A</sup>
	Min - Max	0,41 - 4,38	5,29 - 55,51
AC	Média $\pm$ Dp	1,33 $\pm$ 0,88 <sup>AB</sup>	17,17 $\pm$ 11,24 <sup>AB</sup>
	Min - Max	0,48 - 3,07	5,72 - 37,01
STS	Média $\pm$ Dp	0,84 $\pm$ 0,93 <sup>ABC</sup>	8,65 $\pm$ 7,41 <sup>ABC</sup>
	Min - Max	0,13 - 2,76	2,27 - 23,38
STL	Média $\pm$ Dp	0,28 $\pm$ 0,53 <sup>BC</sup>	4,18 $\pm$ 7,79 <sup>BC</sup>
	Min - Max	0,06 - 1,58	0,46 - 23,37

Nota: Letras maiúsculas diferentes em cada coluna representam diferenças significativas de acordo com teste de comparação de médias (Tukey).

As concentrações mais elevadas de  $PM_{10}$  e  $PM_{2.5}$  foram observadas no TF (20,52 e 1,54  $\mu g.m^3$ , respetivamente) e na AC (17,17 e 1,33  $\mu g.m^3$ , respetivamente), enquanto as menores concentrações foram registadas na SCG (1,61 e 0,12  $\mu g.m^3$ ) e na SCU (2,98 e 0,16  $\mu g.m^3$ ). Observa-se ainda que de modo geral as médias de  $PM_{10}$  e  $PM_{2.5}$  verificadas nos

diferentes ambientes não foram superiores ao limiar de proteção (Figura 21) estabelecido na legislação nacional para qualidade do ar interior (Portaria 353-A/2013).



**Figura 21.** Representação gráfica das concentrações médias ( $\pm dp$ ) de material particulado ( $PM_{10}$  e  $PM_{2.5}$ ) e limiares de proteção estabelecidos pela Portaria nº 353-A/2013.

Fernández *et al.* (2009) mensuraram o material particulado em diferentes hospitais europeus e reportaram concentrações médias de  $3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , entretanto concentrações superiores a  $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  foram observadas em salas de espera, departamentos de emergência, unidades de internamento e cafeterias. Outros autores observaram comportamento semelhante em ambiente hospitalar onde as concentrações de  $PM_{10}$  variaram entre 10 e  $23 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (Jung *et al.*, 2015; Loupa *et al.*, 2016).

Jung, *et al.* (2015) avaliaram a qualidade do ar interior em 37 diferentes hospitais e concluíram que as atividades humanas nos diferentes ambientes de amostragem e os tipos de sistemas de condicionamento de ar foram os fatores que mais influenciaram nas concentrações de PM. Neste contexto, o sistema AVAC com filtro HEPA de alta eficiência garante menores concentrações de material particulado no ambiente (Loupa *et al.*, 2016) (Asif *et al.*, 2018a). Assim, as maiores concentrações registadas na AC, TF, STS, RC devem-se provavelmente à ausência deste sistema.

## 5.2 Parâmetros químicos

O ar interior é afetado por fontes internas de poluição e também por fontes externas através da infiltração de poluentes no edifício (Huang *et al.*, 2017; Jung *et al.*, 2015; Massey *et al.*, 2012). Portanto, além das concentrações médias, valores mínimos e máximos, calculou-se a razão Interior/Exterior (I/E) para verificar a influência das fontes exteriores na qualidade do ar interior das áreas de estudo (Tabela 13).

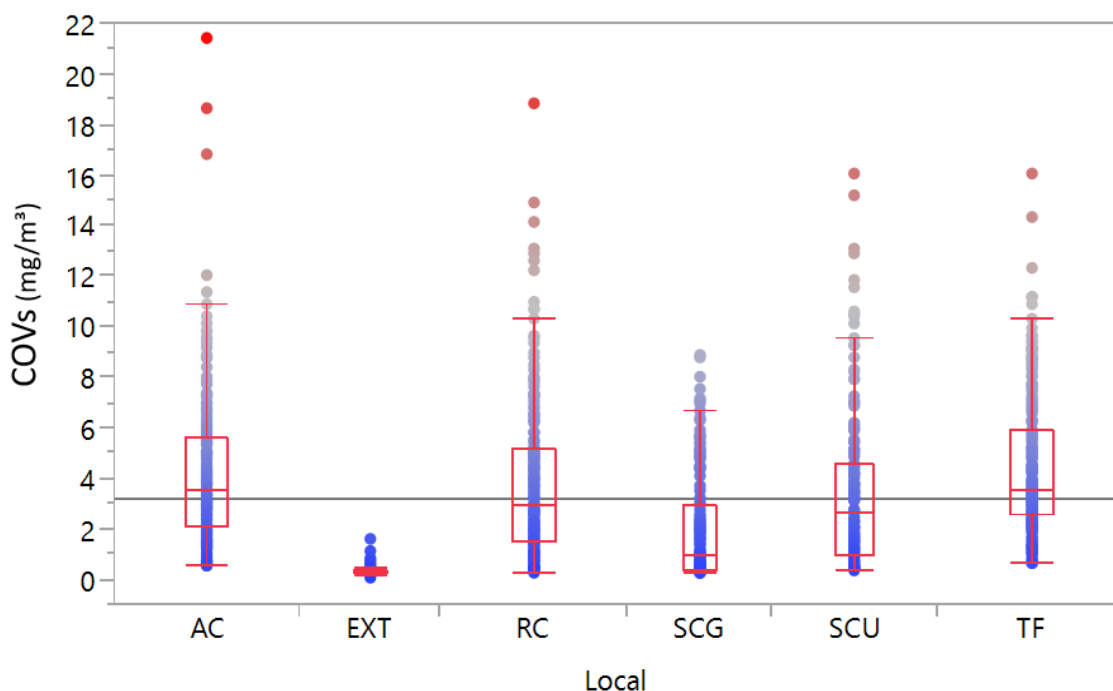
**Tabela 13.** Concentração média ( $\pm$  desvio padrão), valor mínimo e máximo e razão I/E dos parâmetros químicos.

Local		COVs (mg/m <sup>3</sup> )	CO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	CO (mg/m <sup>3</sup> )
<b>SCG</b>	Média $\pm$ Dp	1,9 $\pm$ 2,2 <sup>D</sup>	910,2 $\pm$ 64,9 <sup>E</sup>	1,1 $\pm$ 1,3 <sup>C</sup>
	Min - Max	0,2 - 8,9	798 - 1195	0 - 4
	<b>I/E</b>	<b>6,3</b>	<b>1,1</b>	<b>0,9</b>
<b>SCU</b>	Média $\pm$ Dp	3,4 $\pm$ 3,2 <sup>BC</sup>	915,5 $\pm$ 55,5 <sup>E</sup>	1,5 $\pm$ 2,6 <sup>C</sup>
	Min - Max	0,3 - 16	788 - 1098	0,1 - 9,5
	<b>I/E</b>	<b>11,3</b>	<b>1,1</b>	<b>1,3</b>
<b>RC</b>	Média $\pm$ Dp	3,9 $\pm$ 3,3 <sup>AB</sup>	988,7 $\pm$ 45,3 <sup>D</sup>	1,2 $\pm$ 0,8 <sup>C</sup>
	Min - Max	0,3 - 18,8	863 - 1104	0,1 - 3,2
	<b>I/E</b>	<b>13</b>	<b>1,2</b>	<b>1</b>
<b>TF</b>	Média $\pm$ Dp	4,4 $\pm$ 2,8 <sup>A</sup>	1122,2 $\pm$ 55,5 <sup>B</sup>	2,2 $\pm$ 1,3 <sup>B</sup>
	Min - Max	0,6 - 16	885 - 1374	0,4 - 6,4
	<b>I/E</b>	<b>14,7</b>	<b>1,4</b>	<b>1,8</b>
<b>STS</b>	Média $\pm$ Dp	2,6 $\pm$ 2,7 <sup>CD</sup>	1025,8 $\pm$ 70,9 <sup>C</sup>	3,7 $\pm$ 2,2 <sup>A</sup>
	Min - Max	0,3 - 18	878 - 1224	1,6 - 9
	<b>I/E</b>	<b>7,7</b>	<b>1,2</b>	<b>3,3</b>
<b>STL</b>	Média $\pm$ Dp	2,3 $\pm$ 1,8 <sup>D</sup>	986,2 $\pm$ 67,4 <sup>D</sup>	3,9 $\pm$ 1,9 <sup>A</sup>
	Min - Max	0,31 - 8,8	881 - 1199	1,8 - 8,5
	<b>I/E</b>	<b>8,7</b>	<b>1,3</b>	<b>3,1</b>
<b>AC</b>	Média $\pm$ Dp	4,3 $\pm$ 3,1 <sup>A</sup>	1148,6 $\pm$ 82,2 <sup>A</sup>	3,6 $\pm$ 2,1 <sup>A</sup>
	Min - Max	0,5 - 21,4	973 - 1465	0,9 - 8,6
	<b>I/E</b>	<b>14,3</b>	<b>1,4</b>	<b>3</b>
<b>EXT</b>	Média $\pm$ Dp	0,3 $\pm$ 0,16 <sup>E</sup>	808,0 $\pm$ 60,3 <sup>F</sup>	1,2 $\pm$ 1,3 <sup>C</sup>
	Min - Max	0 - 1,6	717 - 998	0 - 7,9
	P-valor	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Nota: Letras maiúsculas diferentes em cada coluna representam diferenças significativas de acordo com teste de comparação de médias (Tukey).

### 5.1.1 Compostos orgânicos voláteis (COVs)

As concentrações médias de COVs no interior do edifício variaram entre 1,9 mg/m<sup>3</sup> a 4,4 mg/m<sup>3</sup>, tendo-se registado concentrações médias significativamente mais elevadas na AC (4,3 mg/m<sup>3</sup>) e TF (4,4 mg/m<sup>3</sup>) (Tabela 13; Figura 22). Todos os ambientes de amostragem apresentaram concentrações superiores ao limiar de proteção (0,600 mg/m<sup>3</sup>) definido pela Portaria n.º 353-A/2013.



**Figura 22.** Boxplot com representação interquartil e valores extremos para COVs (mg/m<sup>3</sup>).

As elevadas concentrações de COVs podem estar relacionadas ao facto de que a maior parte da campanha de amostragem ter decorrido logo após ou em paralelo com a rotina de limpeza realizada no final do quadro cirúrgico matinal. Nota-se ainda uma tendência a migração e ao acumulo deste poluente na zona de Transfere e na Antecâmara. Esta hipótese justifica-se devido ao facto de que a rotina de limpeza no interior do bloco operatório é frequente, e em mais de um caso decorreu em paralelo ao período de amostragem destes ambientes (SCG, SCU e RC). Entretanto, não foram registadas limpezas no TF e AC em paralelo as amostragens, e mesmo assim as concentrações nestes dois ambientes foram as mais elevadas ( $p > 0,05$ ).

Nota-se ainda que os valores mínimos e máximos de COVs variaram consideravelmente em cada espaço, resultado em desvio padrão elevado. Tem-se como exemplo a antecâmara, onde a concentração mínima foi de 0,5 mg/m<sup>3</sup> e a máxima foi de 21,4 mg/m<sup>3</sup> (Tabela 13). Esta variação pode estar relacionada com o facto de que durante um dia de amostragem as atividades do hospital estavam suspensas, devido à greve dos profissionais de saúde, portanto não ocorreram cirurgias e consequentemente não se realizaram os procedimentos habituais de limpeza/desinfecção dos ambientes.

Similar a outros estudos envolvendo esta tipologia de edifício (Chamseddine *et al.*, 2019; Matos, 2014) os níveis de COVs no ambiente interior foram superiores ao exterior, resultando numa razão I/E que variou de 6,3 na SCG a 14,7 na zona TF (Tabela 13). Estes resultados evidenciam que a fonte de poluição é interna e que pode, em sua maior parte, estar relacionada ao uso frequente de produtos para a limpeza e desinfecção de superfícies (Dicloroisocianurato de sódio, cloraminas, dióxido de cloro, formaldeído, glutaraldeído, compostos fenólicos, compostos de amónio quaternário, álcoois, entre outros) (DGS, 2006; Lü *et al.*, 2010; Erdo *et al.*, 2010).

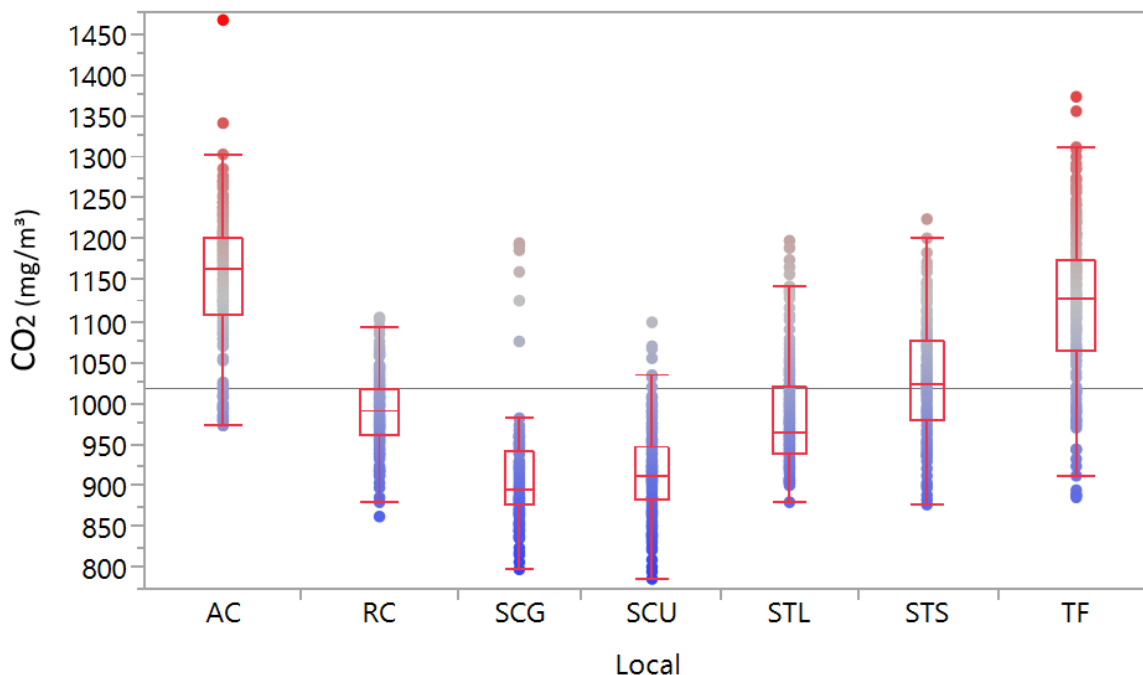
Contudo, deve-se ressaltar que os COVs abrangem uma família diversificada de compostos e nem todos apresentam riscos acrescidos a saúde humana. Quando este poluente apresenta concentrações superiores ao limiar de proteção estabelecido pela Portaria 353-A/2013, torna-se necessário avaliar os limiares para COVs específicos (Benzeno, Tricloroetileno, Tolueno, Estireno e Tetracloroetileno).

### 5.1.2 Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

A concentração média de dióxido de carbono dentro do edifício variou entre 910,2 a 1148,6 mg/m<sup>3</sup>, enquanto no exterior a concentração média foi de 808 mg/m<sup>3</sup>. Observa-se que a SCG e SCU apresentaram concentrações significativamente mais baixas em relação aos restantes locais amostrados no interior do edifício. Os ambientes com maior concentração de CO<sub>2</sub> foram a AC (1148,6 mg/m<sup>3</sup>), seguida do TF (1122,2 mg/m<sup>3</sup>) e do STS (1025,8 mg/m<sup>3</sup>) (Tabela 13).

As menores concentrações registadas nas salas de cirurgia podem estar relacionadas com a taxa de ventilação favorecida pelo sistema AVAC. Este sistema é ausente no TF e na AC, portanto estes locais estão propensos à acumulação de poluentes (Figura 23). A taxa de

ocupação também pode ter favorecido o incremento das concentrações de CO<sub>2</sub> (Quadros et al., 2009a). Durante a campanha de amostragem usualmente 2 pessoas permaneciam nas salas de cirurgia, enquanto nos outros ambientes o número de funcionários era maior (4 a 8).



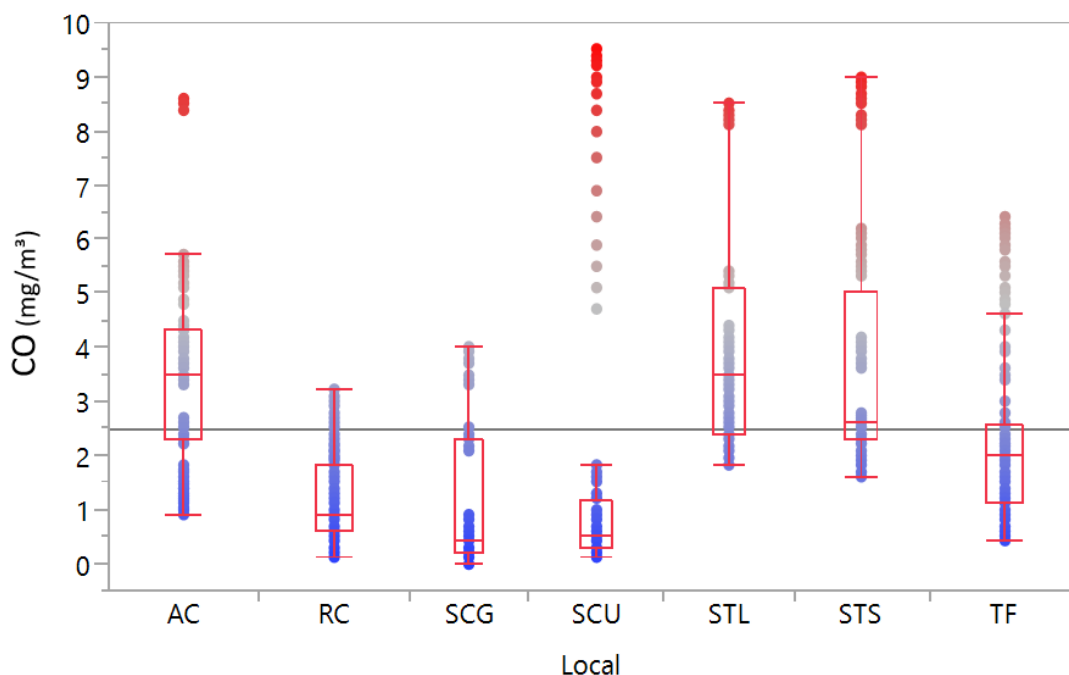
**Figura 23.** Boxplot com representação interquartil e valores extremos para CO<sub>2</sub> (mg/m<sup>3</sup>).

De modo geral, verificou-se que os valores médios registados não excederam o limiar de proteção para CO<sub>2</sub> (2250 mg/m<sup>3</sup>), estabelecido pela Portaria nº 353-A/2013, estando assim de acordo com a legislação nacional para qualidade do ar interior. Resultados semelhantes foram reportados em outros estudos envolvendo ambientes hospitalares (UTI, UTN, Bloco operatório, Serviço de esterilização, Centro cirúrgico) onde as concentrações variaram entre 516 e 1797 mg/m<sup>3</sup> (Baurès et al., 2018; Cheng et al., 2019; Quadros et al., 2009b; Schneider et al., 2016; Silva et al., 2007; Tungjai et al., 2017; Zhou et al., 2015).

O nível de CO<sub>2</sub> é um importante indicador de renovação de ar, onde concentrações mais elevadas indicam deficiência na ventilação do espaço. Apesar dos valores serem inferiores ao limiar de proteção, verifica-se que de entre os ambientes avaliados a AC e o TF apresentam as maiores razões I/E (Tabela 13), sendo estes os ambientes mais sujeitos a terem uma atmosfera de menor qualidade devido as menores taxas de ventilação (Canha et al., 2017).

### 5.1.3 Monóxido de carbono (CO)

A concentração média de monóxido de carbono no interior do edifício oscilou entre 1,1 mg/m<sup>3</sup> e 3,9 mg/m<sup>3</sup>, enquanto no exterior a concentração média foi de 1,2 mg/m<sup>3</sup> (Tabela 13). Observou-se que a SCG, SCU e RC apresentaram as menores concentrações, sendo estas significativamente equivalentes ao exterior ( $p>0,05$ ). Concentrações mais elevadas foram registadas na AC, STS e STL (Figura 24).



**Figura 24.** Boxplot com representação interquartil e valores extremos para CO (mg/m<sup>3</sup>).

Os valores de I/E mais elevados no serviço de esterilização (3,1 STS e 3,3 STL) indicam fonte interna de poluição (Tabela 13). Estes resultados podem estar relacionadas com as atividades envolvidas na esterilização do material cirúrgico, onde o CO é libertado no processo de combustão. Pode-se ainda observar tendência a migração deste poluente para a AC, uma vez que as atividades desenvolvidas neste ambiente não emitem CO e a concentração registada foi equivalente ( $p<0,05$ ) a do serviço de esterilização (Tabela 13).

Além do mais, os valores discrepantes observados na SCU (Figura 24) que resultaram no maior desvio padrão ( $\pm 2,6$ ) podem estar relacionados ao uso de bisturi elétrico em processo cirúrgico, onde uma corrente elétrica é usada para cortar, dissecar ou coagular partes do tecido humano, ou seja, um processo de combustão que é capaz de libertar CO para o ar interior (Eduardo *et al.*, 2012).

Verifica-se ainda que, de modo geral, as concentrações médias registadas durante o período de amostragem não excederam o limiar de proteção (10 mg/m<sup>3</sup>) estabelecido pela Portaria n.º 353-A/2013. Outros autores identificaram concentrações de CO que variaram entre 0,63 e 8 mg/m<sup>3</sup> em ambientes hospitalares, nomeadamente em salas de urgência, enfermaria e sala de cirurgia, sendo que as menores concentrações foram associadas a ausência de fontes de combustão (El-Sharkawy *et al.*, 2014; Matos, 2014; Tungjai *et al.*, 2017).

### 5.3 Parâmetros microbiológicos

#### 5.3.1 Concentração de bactérias e fungos

As concentrações médias, valores mínimos e máximos bem como as diferenças estatísticas entre as áreas de estudo para bactérias totais e fungos totais (bolores e leveduras) estão apresentadas na Tabela 14. A contagem de bactérias Gram-negativo provenientes do meio *MacConkey* foi inferior a 1 UFC/m<sup>3</sup> em todos os locais de amostragem, e por este motivo não estão representadas.

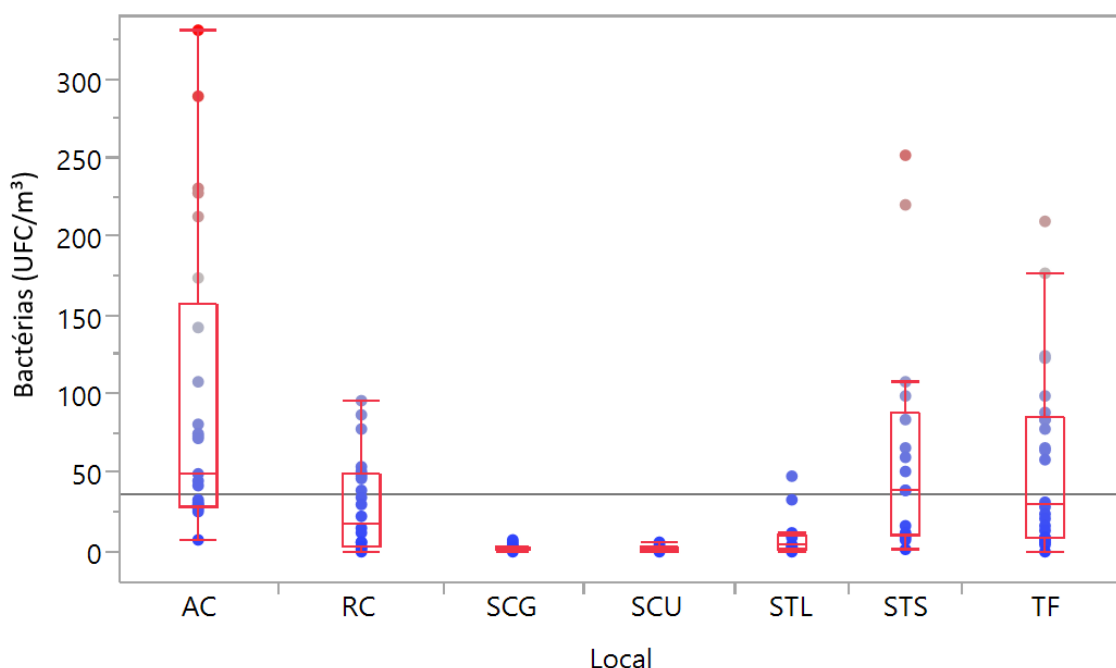
**Tabela 14.** Valores médios ( $\pm$  desvio padrão), mínimos e máximos de bactérias totais e fungos totais.

Local		Bactérias totais (UFC/m <sup>3</sup> )	Fungos totais (UFC/m <sup>3</sup> )
SCG	Média $\pm$ Dp	1,8 $\pm$ 1,7 <sup>D</sup>	0,2 $\pm$ 0,5 <sup>D</sup>
	Min - Max	0 - 7	0 - 2
SCU	Média $\pm$ Dp	1,3 $\pm$ 1,6 <sup>D</sup>	0,3 $\pm$ 0,6 <sup>D</sup>
	Min - Max	0 - 5	0 - 2
RC	Média $\pm$ Dp	28 $\pm$ 28,9 <sup>BC</sup>	2,3 $\pm$ 2,7 <sup>BC</sup>
	Min - Max	0 - 96	0 - 11
TF	Média $\pm$ Dp	55,5 $\pm$ 55,9 <sup>AB</sup>	2,5 $\pm$ 1,8 <sup>B</sup>
	Min - Max	0 - 209	0 - 6
STS	Média $\pm$ Dp	59,9 $\pm$ 72,5 <sup>AB</sup>	0,6 $\pm$ 1 <sup>CD</sup>
	Min - Max	1 - 252	0 - 3
STL	Média $\pm$ Dp	8,8 $\pm$ 12,4 <sup>CD</sup>	0,5 $\pm$ 1,3 <sup>CD</sup>
	Min - Max	0 - 48	0 - 5
AC	Média $\pm$ Dp	95,7 $\pm$ 93,8 <sup>A</sup>	3,2 $\pm$ 3,5 <sup>B</sup>
	Min - Max	7 - 331	0 - 15
EXT	Média $\pm$ Dp	21,1 $\pm$ 19,9 <sup>BC</sup>	170,4 $\pm$ 75,6 <sup>A</sup>
	Min - Max	0 - 56	50 - 293
	P-valor	<0,0001	<0,0001

Nota: Letras maiúsculas diferentes em cada coluna representam diferenças significativas de acordo com teste de comparação de médias (Tukey).

Diferenças significativas foram observadas nas concentrações de bactérias totais e fungos totais entre os locais de amostragem. Estas variações podem estar relacionadas com a natureza das atividades desenvolvidas, rotina de limpeza e com as condições arquitetônicas de cada um dos espaços avaliados (Després *et al.*, 2012; Hayleeyesus & Manaye, 2014; Khamal *et al.*, 2019; Wan *et al.*, 2011). Estudos publicados reportam ausência de um padrão específico na variação de microrganismos aerotransportados entre diferentes áreas de amostragem em ambientes hospitalares (Asif *et al.*, 2018a; Awad *et al.*, 2018).

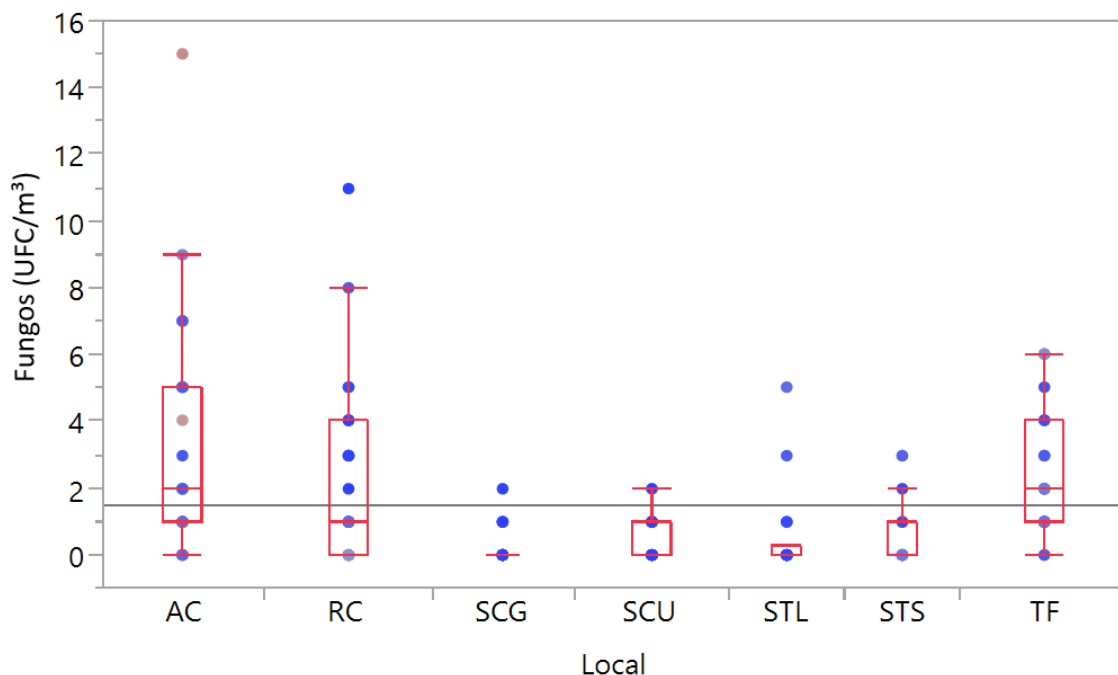
As menores concentrações de bactérias foram observadas na SCG e SCU (1,8 e 1,3 UFC/m<sup>3</sup>), sendo estas equivalentes ( $p > 0,05$ ). Em contrapartida, as concentrações mais elevadas de bactérias foram registadas na AC (95,7 UFC/m<sup>3</sup>) seguido do TF e STS com concentrações equivalentes (59,9 e 55,5 UFC/m<sup>3</sup>) (Figura 25).



**Figura 25.** Boxplot com representação interquartil e valores extremos para bactérias (UFC/m<sup>3</sup>).

Verificou-se condições pontuais durante a campanha de amostragem que provavelmente favoreceram nas concentrações discrepantes de microrganismos. É possível citar, como exemplo, um dia em que se realizavam medições na AC e em simultâneo cerca de 7 funcionários procediam à transferência de equipamentos da AC para o interior do bloco operatório. Esta movimentação de pessoas associada a uma maior taxa de ocupação dos espaços nesse dia, provavelmente favoreceu o incremento das concentrações de bioaerossóis (Figura 25).

Em relação às concentrações de fungos, observou-se que apesar destas serem inferiores às concentrações de bactérias a distribuição entre os espaços foi semelhante, onde as menores concentrações foram registadas na SCG e SCU (0,2 e 0,3 UFC/m<sup>3</sup>), e as concentrações mais elevadas foram registadas na AC (3,2 UFC/m<sup>3</sup>) e TF (2,5 UFC/m<sup>3</sup>). Nota-se ainda que o RC apresentou concentração equivalente ao TF ( $p>0,05$ ), podendo assim indicar uma possível fonte de contaminação interior ao bloco operatório (Tabela 14 e Figura 26).



**Figura 26.** Boxplot com representação interquartil e valores extremos para fungos (UFC/m<sup>3</sup>).

De modo geral, as concentrações mais elevadas de microrganismos na AC e TF podem ser justificadas pela ausência do sistema AVAC, pela maior taxa de ocupação e pela menor rotina de limpeza quando comparado a SCG e SCU. Asif *et al.* (2018) reportaram comportamento semelhante onde as menores concentrações de microrganismos também foram observadas no bloco operatório, sendo 221 UFC/m<sup>3</sup> para bactérias e 58 UFC/m<sup>3</sup> para fungos. No entanto, os autores referem que, durante a campanha de amostragem, o sistema AVAC não estava em funcionamento e por este motivo as concentrações foram usualmente mais elevadas.

O ambiente avaliado apresentou concentrações de bactérias e fungos inferiores à reportada por outros autores em unidades hospitalares, designadamente em salas de cirurgia de transplante, sala de cirurgia cardiovascular, sala de cirurgia ortopédica, sala de cirurgia de emergência e sala de cirurgia geral (Verde *et al.*, 2015) (Quadros, 2008) (Wan *et al.*, 2011) (Asif *et al.*, 2018b). As concentrações observadas nestes estudos variaram entre 13 e 231

UFC/m<sup>3</sup>. À semelhança do presente estudo, àqueles autores também observaram concentrações de bactérias no ar interior superiores à de fungos.

A maior abundância de bactérias no ar interior está relacionada com as fontes de emissão destes microrganismos, uma vez que as bactérias estão na sua maior parte associadas a taxa de ocupação, sendo o homem a principal fonte de contaminação, enquanto a inserção de fungos no ambiente interior geralmente tem origem exterior. Nota-se que a concentração média de fungos no exterior foi de 170 UFC/m<sup>3</sup> enquanto a de bactérias foi de 21,1 UFC/m<sup>3</sup> (Tabela 14).

### 5.3.2 Conformidade legal

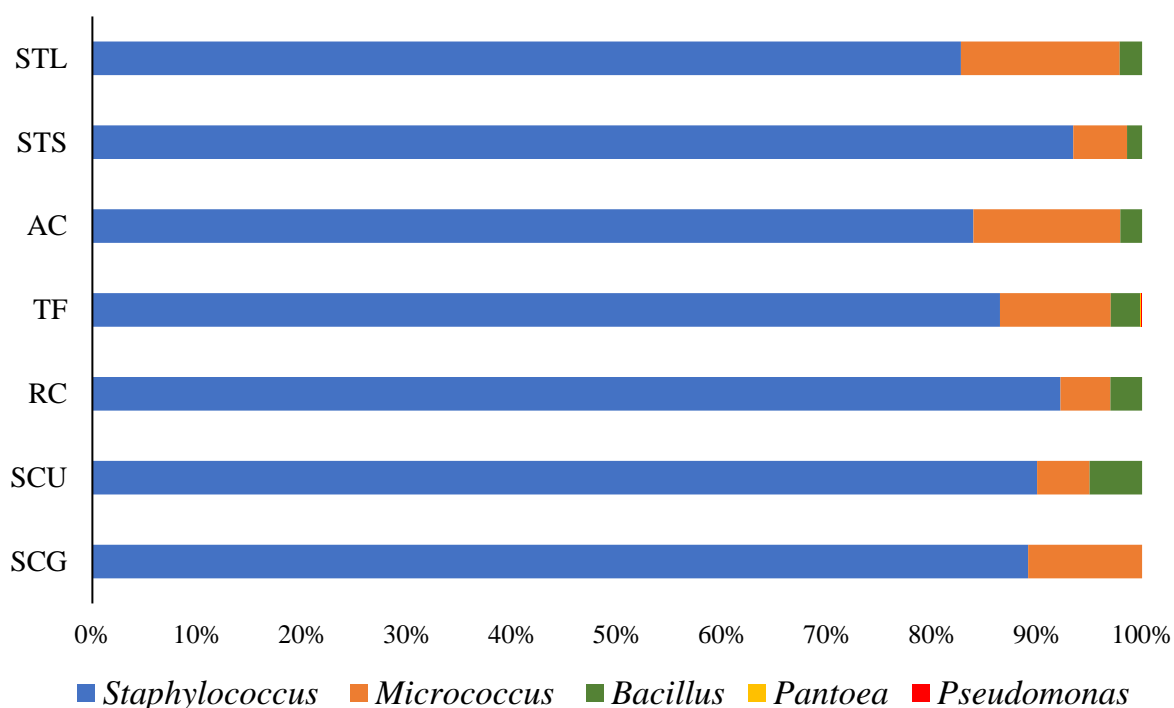
De acordo com a legislação nacional para qualidade do ar interior (Portaria 353-A/2013) o critério de conformidade para o parâmetro microbiológico é atendido em todos os ambientes avaliados. Observa-se assim que as concentrações de bactérias no interior foram sempre inferiores aos valores do exterior acrescido de 350 UFC/m<sup>3</sup>, bem como as concentrações de fungos foram sempre inferiores às registadas no exterior.

Tanto a ISO 14644-1 quanto o GMS (salas limpas) determinam que a concentração de agentes biológicos deve ser inferior a 200 UFC/m<sup>3</sup>. Verifica-se que todos os ambientes apresentaram concentrações médias inferiores ao referido por estes documentos. Vale ainda ressaltar que as salas de cirurgia atenderam até mesmo a segunda classificação mais rigorosa, onde se refere que a concentração de agentes biológicos deve ser inferior a 10 UFC/m<sup>3</sup>, conforme mencionado nas Tabelas 5 e 6.

A OMS recomenda que os ambientes hospitalares apresentem concentrações de bactérias inferiores a 100 UFC/m<sup>3</sup> e concentrações de fungos inferiores a 50 UFC/m<sup>3</sup>. No Brasil a ANVISA determina um limiar de proteção para agentes biológicos de 200 UFC/m<sup>3</sup> em salas de unidade de tratamento intensivo (UTI) e salas de cirurgia, e o valor de 50 UFC/m<sup>3</sup> para salas de cirurgia especializada (cardiologia, ortopedia). Neste contexto, verifica-se que a SCG e a SCU atendem a este critério, apresentando valores médios de 1,8 e 1,3 UFC/m<sup>3</sup> para bactérias e, 0,2 e 0,3 UFC/m<sup>3</sup> para fungos, respectivamente. No entanto deve-se ressaltar que as amostragens nas salas de cirurgia decorreram em período de repouso, e observou-se na AC, TF e STS o valor máximo de bactérias totais de 331, 209 e 252 UFC/m<sup>3</sup>, respectivamente.

### 5.3.3 Diversidade bacteriana

Nos diferentes locais de estudo foram identificados 5 géneros bacterianos designadamente *Staphylococcus*, *Micrococcus*, *Bacillus*, *Pantoea* e *Pseudomonas*, cuja abundância relativa se encontra referida na Figura 27. A maior diversidade de bactérias foi observada na zona de TF, onde 5 géneros foram identificados (*Staphylococcus*, *Micrococcus*, *Bacillus*, *Pantoea* e *Pseudomonas*). A menor diversidade foi observada na SCG, com apenas 2 géneros identificados (*Staphylococcus*, *Micrococcus*).



**Figura 27.** Abundância relativa de géneros bacterianos identificados por local.

Nota-se ainda que o *Staphylococcus* foi o género mais abundante em todos os locais avaliados, e esta abundância pode estar relacionada ao facto de que o *Staphylococcus* é frequentemente encontrado na pele e trato respiratório humano, sendo facilmente aerotransportando na forma de bioaerosol (Meskin, 2007; Pereira et al., 2005).

Na Tabela 15 apresentam-se as principais espécies identificadas e a contagem total por espécie, em unidades formadoras de colónias (UFC), bem como a sua prevalência.

**Tabela 15.** Contagem total (UFC) de espécies bacterianas isoladas por local e sua prevalência.

Espécies	UFC por local de amostragem							Total	Prevalência
	SCG	SCU	RC	TF	AC	STS	STL	UFC	%
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	40	18	545	951	1321	712	115	3702	81,56
<i>Micrococcus yunnanensis</i>	5	1	28	116	218	39	21	428	9,43
<i>Bacillus</i> sp.			31	41	36	41	9	158	3,48
<i>Bacillus zhangzhouensis</i>			16	8	7	5	3	39	0,86
<i>Bacillus subtilis</i>				10	3			13	0,29
<i>Bacillus pumilus</i>					11			11	0,24
<i>Bacillus megaterium</i>				2	6			8	0,18
<i>Bacillus licheniformis</i>					6			6	0,13
<i>Bacillus circulans</i>		1						1	0,02
<i>Bacillus clausii</i>			1					1	0,02
<i>Micrococcus luteus</i>					1			1	0,02
<i>Micrococcus</i> sp.					1			1	0,02
* <i>Pantoea</i> sp.				1				1	0,02
* <i>Pseudomonas psychrotolerans</i>				1				1	0,02
<i>Staphylococcus</i> sp.	1							1	0,02
Não identificadas								167	3,68

\* Bactérias Gram-negativo.

A prevalência dos géneros *Staphylococcus*, *Micrococcus* e *Bacillus* está de acordo com o reportado por outros autores em estudos de qualidade do ar interior em ambiente hospitalar (Baurès *et al.*, 2018; Cabo Verde *et al.*, 2015). Além disso, estudos envolvendo outras tipologias de edifícios também sugerem estes géneros como os prevalentes na atmosfera interior (Awad *et al.*, 2018; Faridi *et al.*, 2015; ; Liu *et al.*, 2018; Madsen *et al.*, 2018).

Os cocos Gram-positivo (*Staphylococcus*, *Micrococcus*) foram o grupo dominante neste estudo (91,05%). A maior prevalência de bactérias Gram positivo no ar interior está relacionada com a sua capacidade de sobrevivência em condições ambientais adversas devido à presença de parede celular rígida e espessa constituída por peptidoglicano. Além disso, alguns géneros como *Bacillus* têm a capacidade de formar endósporos o que lhe confere sobrevivência acrescida a condições hostis, nomeadamente à dessecação, ao calor, às radiações, aos desinfetantes e aos antibióticos. Também o facto de vários géneros de bactérias pertencerem à flora comensal do homem aumenta a frequência destes microrganismos no ar ambiente (Tong *et al.*, 2015).

Como referido anteriormente, de entre os géneros bacterianos identificados, *Staphylococcus* foi o mais prevalente (81,58%), sendo identificado em todos os locais de amostragem. Este género é reconhecido por ser um importante agente de infeção nosocomial, especialmente em processos que envolvem materiais perfurantes, como cateteres (Meskin, 2007). A espécie *S. epidermidis* produz toxinas com potencial para destruir glóbulos vermelhos e brancos do sangue humano (Cheung *et al.*, 2010). De acordo com (Meskin, 2007), *S. epidermidis* tem a capacidade de transferir características genéticas para *Staphylococcus aureus*, favorecendo a criação de resistência a antibióticos. A espécie *Staphylococcus aureus* não foi identificada neste estudo, contudo é um patógeno humano com eminente potencial para causar infeções graves. Esta bactéria pode residir e infetar uma ampla gama de tecidos, como pele, trato gastrointestinal, coração e ossos (Balasubramanian *et al.*, 2017), além de causar doenças como pneumonia necrosante e iniciar infeções em locais cirúrgicos (Tong, *et al.*, 2015).

O género *Micrococcus* apresentou uma frequência relativa de 9,47%, sendo identificado em todos os ambientes monitorizados. *Micrococcus yunnanensis* é geralmente considerado como inofensivo e é conhecido por habitar a pele humana, no entanto podem ser patogénicos oportunistas em pacientes imunocomprometidos (Bannerman *et al.*, 2007; Kocur *et al.*, 2006). Este género tem sido associado a diversas infeções, incluindo bacteremia, peritonite contínua por diálise peritoneal ambulatoria e infeções associadas a derivações ventriculares e cateteres venosos centrais, enquanto o *M. luteus* tem sido relatado como agente causador de abscessos intracranianos, pneumonia, artrite séptica, endocardite e meningite (Bannerman *et al.*, 2007).

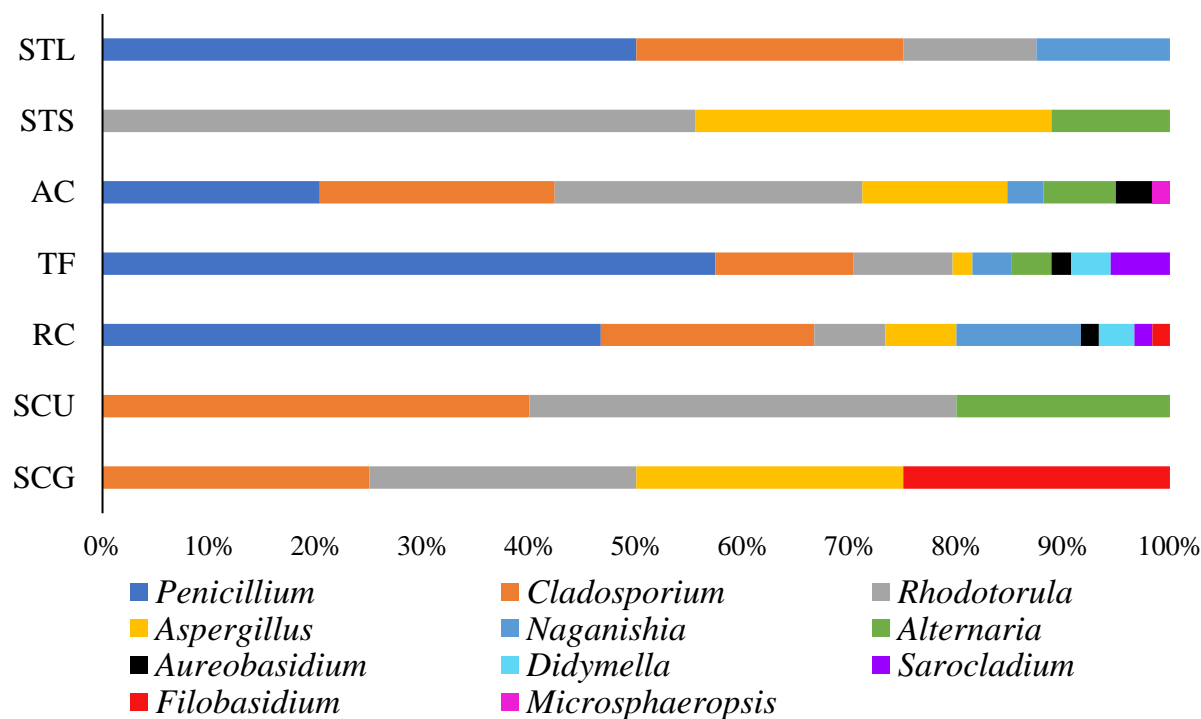
Em relação ao género *Bacillus*, que surgiu com uma abundância relativa de 5,22%, diferentes espécies foram identificadas, designadamente *B. zhangzhouensis*, *B. subtilis*, *B. pumilus*, *B. megaterium*, *B. licheniformis*, *B. circulans*, *B. clausii* (Tabela 15). Espécies pertencentes a este género têm sido associadas a diversas infeções, em maior extensão *B. cereus* e em menor *B. licheniformis*, como bacteremia, septicemia, endocardite, meningite e infeções de feridas, orelhas, olhos, trato respiratório, trato urinário e gastrointestinal (Turnbull, 1996). Na SCU identificou-se uma UFC da espécie *Bacillus circulans*, espécie conhecida por produzir infeções em feridas, bacteremia, abscessos e meningite em humanos (Brenner *et al.*, 2005).

O género *Pantoea* é um bacilo Gram-negativo que está geralmente associado a doenças em plantas, vegetais e frutos (Cruz *et al.*, 2007). No entanto, alguns estudos referem que algumas espécies como *P. agglomerans* e *P. dispersa* estão associadas a infeções nosocomiais, bacteremia, pneumonia, problemas respiratórios, entre outras doenças (Aly *et al.*, 2008; Bicudo *et al.*, 2007; Lalas & Erichsen, 2010; Shubov *et al.*, 2011; Walterson & Stavrinides, 2015).

*Pseudomonas* é um género Gram-negativo do qual a espécie *P. aeruginosa* e a *P. maltophilia* são responsáveis por 80% dos casos de infeções oportunistas. Infeção por *P. aeruginosa* é principalmente perigosa em pacientes com cancro, fibrose cística e queimados, onde os casos relatados de mortalidade chegam a 50%. Outras infeções causadas por espécies de *Pseudomonas* spp. incluem pneumonia, endocardite, infeções no trato urinário, sistema nervoso central, feridas, olhos, orelhas, pele e sistema musculoesquelético (Lányi *et al.*, 1978; Zannoni, 1989). Casos de infeções pneumónicas causados por *Pseudomonas* spp. foram associadas ao sistema de ventilação em centros de cuidados de saúde (Simon *et al.*, 2010). No presente trabalho foi identificada a espécie *Pseudomonas psychrotolerans* no TF, e esta espécie é frequentemente encontrada na natureza e tem sido isolada pela primeira vez em animais (Hauser *et al.*, 2004). A *P. psychrotolerans* não é referenciada como sendo uma bactéria patogénica em humanos, mas já foi associada a doenças na cultura de arroz (Adorada *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2017).

### 5.3.4 Diversidade de fungos

Dos fungos isolados (46), um total de 11 gêneros foram identificados nomeadamente *Penicillium*, *Cladosporium*, *Rhodotorula*, *Naganishia*, *Aspergillus*, *Alternaria Aureobasidium*, *Didymella*, *Sarocladium*, *Filobasidium* e *Microsphaeropsis* (Figura 28). É possível observar que a maior diversidade de fungos foi observada no RC, onde foram caracterizados 9 gêneros distintos. A segunda maior diversidade foi observada na AC e no TF, com 8 gêneros identificados. Na SCG e no STL 4 gêneros foram identificados, e por fim, a menor diversidade foi observada na SCU e no STL, com 3 gêneros.



**Figura 28.** Abundância relativa de gêneros fúngicos identificados por local.

De entre os gêneros fúngicos identificados no ar interior o *Penicillium* apresentou maior prevalência (32,47%), seguido do *Cladosporium* (14,72%), *Rhodotorula* (10,39%) e *Aspergillus* (7,36%) (Tabela 16). Outros autores reportaram como gêneros mais frequentes no ar interior *Aspergillus*, *Cladosporium* e *Penicillium* (Borrego *et al.*, 2010) (Huttunen *et al.*, 2010), (Kettleson *et al.*, 2015) (Knudsen *et al.*, 2017). À semelhança de estudos anteriores as leveduras foram observadas com menor frequência (24,62%) quando comparadas aos bolores, uma vez que os bolores têm capacidade de sobreviver a condições ambientais extremas.

**Tabela 16.** Contagem total (UFC) de espécies fúngicas isoladas por local e sua prevalência.

Espécies	UFC por local de amostragem							Total UFC	Prevalência %
	SCG	SCU	RC	TF	AC	STS	STL		
<i>Penicillium</i> sp.			24	18	7		1	50	21,65
<i>Cladosporium</i> sp.		2	12	7	11		2	34	14,72
* <i>Rhodotorula</i> sp.	1	1	1	4	12	4	1	24	10,39
<i>Penicillium chrysogenum</i>			4	11	5		3	23	9,96
<i>Aspergillus</i> sp.	1		4	1	8	3		17	7,36
* <i>Naganishia</i> sp.			7	2	2		1	12	5,19
* <i>Rhodotorula mucilaginosa</i>		1	3	1	5	1		11	4,76
<i>Alternaria alternata</i>					3	1		4	1,73
<i>Alternaria</i> sp.		1		2	1			4	1,73
<i>Aureobasidium pullulans</i>			1	1	2			4	1,73
<i>Didymella</i> sp.			2	2				4	1,73
<i>Sarocladium</i> sp.			1	3				4	1,73
<i>Cladosporium ramotenellum</i>	1				2			3	1,30
* <i>Filobasidium magnum</i>	1		1					2	0,87
<i>Microsphaeropsis</i> sp.					1			1	0,43
<i>Penicillium digitatum</i>				1				1	0,43
<i>Penicillium glabrum</i>				1				1	0,43
Não identificados			5	13	10	2	2	32	13,85

\* Leveduras

O género *Penicillium* apresenta diversas espécies, sendo que as mais comuns são *P. chrysogenum*, *P. citrinum*, *P. janthinellum*, *P. marneffeii*, e *P. purpurogenum* (Hoog *et al.*, 2000). No presente estudo, *Penicillium* sp. foi a mais frequente (21.65%), seguida *P. chrysogenum* (9,96%), *P. digitatum* (0,43%) e *P. glabrum* (0,43%). Estas espécies foram identificadas no RC, TF, AC e STL (Figura 28). A maioria das infecções causadas por *Penicillium* spp. estão relacionadas a pacientes imunodeprimidos, onde os sintomas podem ser pneumonia, esofagite necrosante, endoftalmite, otomicose, endocardite, peritonite e infecções do trato urinário. Além do seu potencial infeccioso, algumas espécies como *Penicillium verrucosum* produzem toxinas carcinogénicas. Outra espécie conhecida como *P. marneffeii* pode causar infecções adquiridas via inalação, resultando em infecção pulmonar, da qual é frequentemente fatal (Cheng *et al.*, 1998; Garbino *et al.*, 2002; Narendra *et al.*, 1999; Supparatpinyo *et al.*, 1992; Wong *et al.*, 2001). Contudo, esta última espécie não foi identificada neste estudo.

O género *Cladosporium*, que surgiu com uma frequência de 16,02%, é um fungo amplamente distribuído na atmosfera e que possui mais de 30 espécies conhecidas, sendo *C. elatum*, *C. herbarum*, *C. sphaerospermum* e *C. cladosporioides* as mais comuns (Dixon & Polak-Wyss, 2009; Hoog *et al.*, 2000). As infeções relacionadas a este género incluem lesões na pele, ceratite, onicomicose sinusite e infeções pulmonares (Collier *et al.*, 1998; Pritchard *et al.*, 1987; Sutton *et al.*, 1998). *C. ramotenellum*, identificada neste estudo com uma frequência de 1,3%, já foi isolada em sistemas de ar condicionado e é frequentemente mencionada em ambientes interiores (Braun & Schubert, 2005; Samson *et al.* 2014).

A levedura *Rhodotorula* (15,15%) é encontrada em diferentes habitats, inclusive no ar. É considerada um agente contaminante comum, contudo apresenta um risco acrescido em hospedeiros vulneráveis, como pacientes com SIDA ou leucemia aguda (Alliot *et al.*, 2000; Anaissie *et al.*, 1989; Klont *et al.*, 2001; Rose & Kurup, 1977). Casos de meningite (Gyaurgieva *et al.*, 1996; Huttova *et al.*, 1998), endocardite (Naveh *et al.*, 2007), ventriculite, peritonite, endoftalmite (Pinna *et al.*, 2001), infeções por cateter venoso central, fungemia e sepse já foram associados a esta levedura (Goldani *et al.*, 1995; Kiehn *et al.*, 1992; Samonis *et al.*, 2001). A espécie *R. mucilaginosa*, identificada neste estudo com uma prevalência de 4,76%, é especialmente conhecida por causar, dermatite, infeções na corrente sanguínea e nos tecidos ósseos (Perniola *et al.*, 2006; Savini *et al.*, 2008; Wirth & Goldani, 2012).

*Aspergillus* spp. (7,36%) conta com mais de 185 espécies, onde cerca de 20 foram associadas a casos de infeções oportunistas em humanos, sendo pacientes imunodeprimidos o grupo mais afetado por estas infeções (Ho & Yuen, 2000). Diversos órgãos do corpo humano podem ser afetados pelas infeções, sendo que doenças relacionadas com este género são: onicomicose, sinusite, aspergilose cerebral, meningite, endocardite, miocardite, aspergilose pulmonar, aspergilose cutânea, otomicose, osteomielite (Arikan *et al.*, 2016; Singh *et al.*, 2005; Herbrecht *et al.*, 2002; Flynn *et al.*, 1990; Galimberti *et al.*, 1998; Gillespie *et al.*, 2000; Gordon *et al.*, 1994; Alan *et al.*, 2000; Katz *et al.*, 1993; Mikolich *et al.*, 1996; Rouby *et al.*, 1998). Em ambientes hospitalares constitui um grande risco para o desenvolvimento de aspergilose invasiva, particularmente em pacientes com cancro (Asif *et al.*, 2018<sup>a</sup>; Loo *et al.*, 1996).

No que concerne ao género *Alternaria* (3,46%), conta com cerca de 50 espécies, sendo a *Alternaria alternata* comumente isolada de infeções em humanos. Este género é particularmente perigoso em pacientes imunodeprimidos, tal como pacientes de transplante de medula óssea (Anaissie *et al.*, 1993; Morrison *et al.*, 1993). Casos de onicomicose, sinusite, infeções cutâneas ulceradas e ceratites, bem como infeções viscerais e osteomielite foram

relatados devido a *Alternaria sp.* (Clin *et al.*, 1989; Garau *et al.*, 1977; Manning *et al.*, 2015; Schell, 2000).

*Aureobasidium pullulans* identificada no ar interior do bloco operatório (RC, TF e AC) com uma frequência de 1,7% , é conhecida por causar feo-hifomicose, doença que acomete principalmente imunodeprimidos e causa feridas nos órgãos inferiores (Rossetto *et al.*, 2010). A espécie *A. mansonii* é conhecida por causar meningite nosocomial (Huttova *et al.*, 1998), no entanto não foi identificada neste estudo. Além do mais, este género é relatado por causar peritonite, queratomicose, micose pulmonar com sepse e outras infeções oportunistas, bem como micoses cutâneas como a dermatite eumicótica (Pritchard *et al.*, 1987).

O género *Naganishia*, conhecido também como *Cryptococcus*, é uma levedura com cerca de 37 espécies já identificadas. A maioria destas espécies não apresenta riscos para a saúde humana, no entanto as espécies *Cryptococcus neoformans*, *C. laurentii* (*Filobasidium magnum*) e *C. albidus* são potencialmente perigosas para pacientes imunodeprimidos. As principais doenças causadas por este género são fungemia, meningite, infeções no sistema nervoso e pulmonar (Cheng *et al.*, 2001; Dutra *et al.*, 2018; Nakajima *et al.*, 2019; Samarasinghe & Xu, 2018).

Dentro do género *Didymella* já foram identificadas 75 espécies, sendo que a maioria é patogénea de frutos e plantas. Os esporos aerotransportados deste género são potenciais alérgenos em humanos (Sadyś & West, 2017). As infeções por *Didymella* são raras, no entanto o primeiro caso de infeção pulmonar por *D. microchlamydospora* foi relatado em 2018 (Salehi *et al.*, 2019). Casos de ceratite fúngica já foram associados a espécie *D. gardeniae* (Miyakubo *et al.*, 2019).

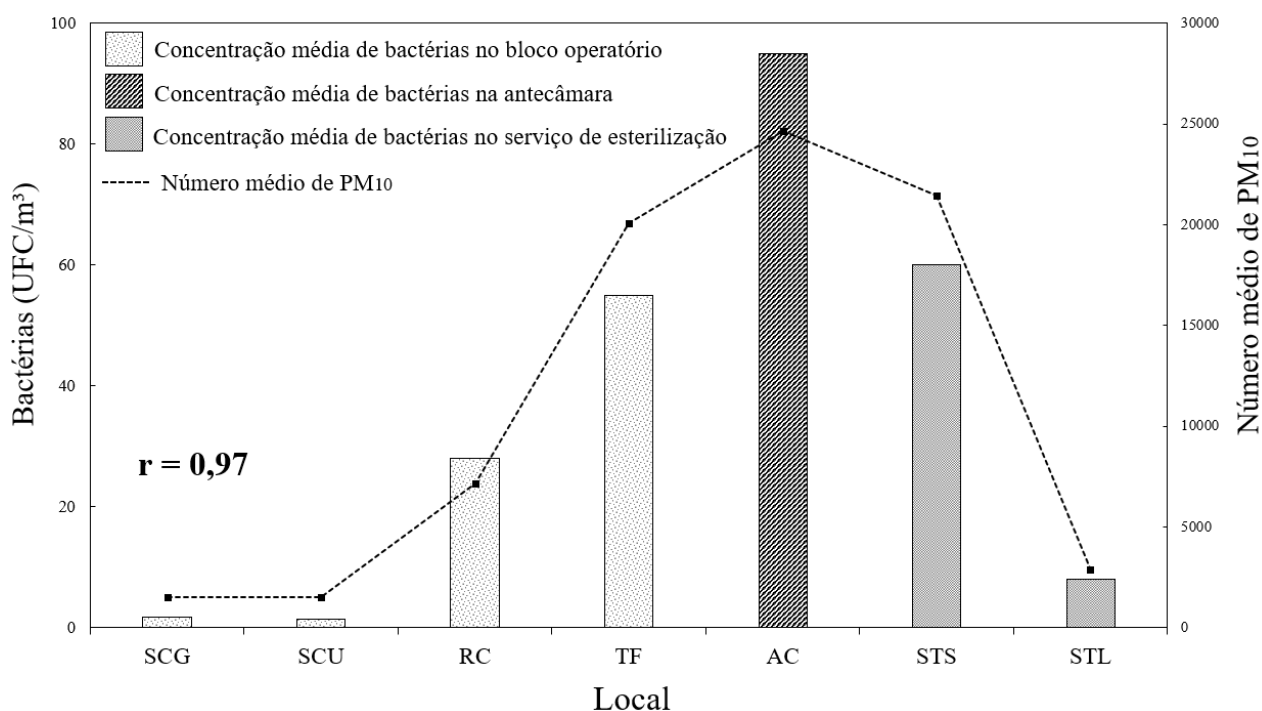
O género *Sarocladium*, também denominado *Acremonium*, é um fungo saprófito que conta com cerca de 150 espécies e é conhecido principalmente por causar infeções superficiais de pele, unhas e olhos. No entanto, vem sendo associado a casos de infeções oportunistas em pacientes imunodeprimidos, como pneumonia, infeções sistêmicas e abscessos pulmonares (Fakharian *et al.*, 2015; Fincher *et al.*, 1991; Manchanda *et al.*, 2015; Niknam *et al.*, 2017).

O *Microsphaeropsis* é um género que frequentemente hospeda-se em plantas e pode ser encontrado com facilidade no solo e na água, contudo pode ser um agente de infeções cutâneas oportunistas em pacientes imunodeprimidos (Crawford *et al.*, 2015; Hall *et al.*, 2013; Nguyen *et al.*, 2018).

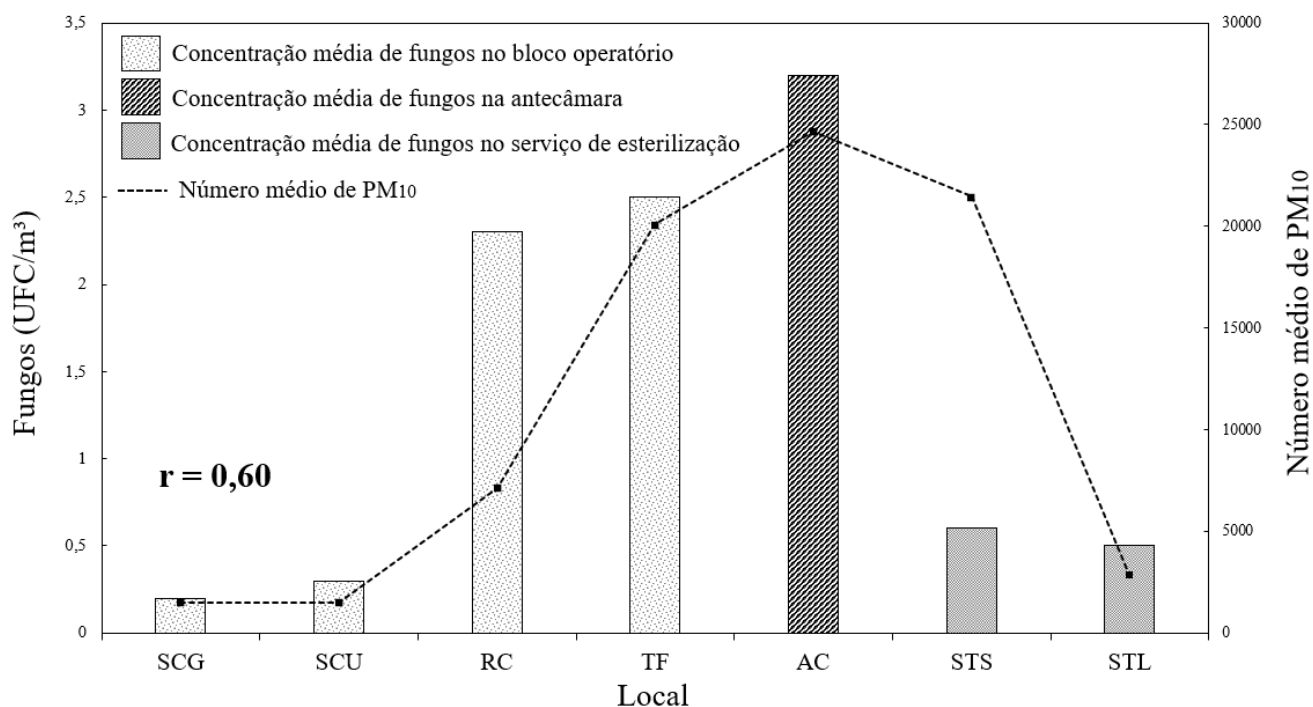
### 5.3.5 Associação entre microrganismos e material particulado

A combinação entre microrganismos patogênicos e outros componentes tóxicos encontrados no material particulado podem aumentar os impactos adversos em pessoas com sistema imunológico debilitado (Souza *et al.*, 2018). Além dos impactos diretos na saúde humana, o material particulado fornece um habitat favorável para o crescimento microbiano na atmosfera (Khamal *et al.*, 2019; Liu *et al.*, 2018; Zhai *et al.*, 2018).

Na Figura 29 é possível verificar uma correlação muito forte ( $r = 0,97$ ) entre os valores médios do número de partículas  $PM_{10}$  e as concentrações médias de bactérias, enquanto na Figura 30 verifica-se correlação moderada para as concentrações médias de fungos e valores médios do número partículas  $PM_{10}$  ( $r = 0,60$ ). A contagem de  $PM_{10}$  inclui as  $PM_{2,5}$  e por este motivo não foram feitas as correlações com esta fração.



**Figura 29.** Correlação entre a concentração média de bactérias e número médio de  $PM_{10}$ .



**Figura 30.** Correlação entre a concentração média de fungos e número médio de PM10.

Estes resultados enfatizam a importância de um sistema AVAC e da manutenção dos filtros HEPA em ambientes que necessitam de uma elevada qualidade do ar interior, uma vez que a filtração pode impedir a entrada de microrganismos e PMs para o ambiente interior (Beggs *et al.*, 2015; Leung & Chan, 2006; Settimo, 2017). Diversos autores relatam que a associação destes parâmetros está ligada ao incremento de infecções respiratórias (Khamal *et al.*, 2019; Putus *et al.*, 2004).

#### 5.4 Sugestões de melhoria

O ambiente hospitalar deve ser gerido de forma a priorizar a melhoria contínua da saúde e segurança no trabalho a fim de minimizar ou eliminar os riscos a exposição existentes no ambiente (George, 2015). A Direção Geral da Saúde estabelece que o processo de melhoria contínua deve ter objetivos mensuráveis e associados a metas consistentes com a Política de Saúde e Segurança Ocupacional por meio da melhoria de recursos, instalações e funções competenciais.

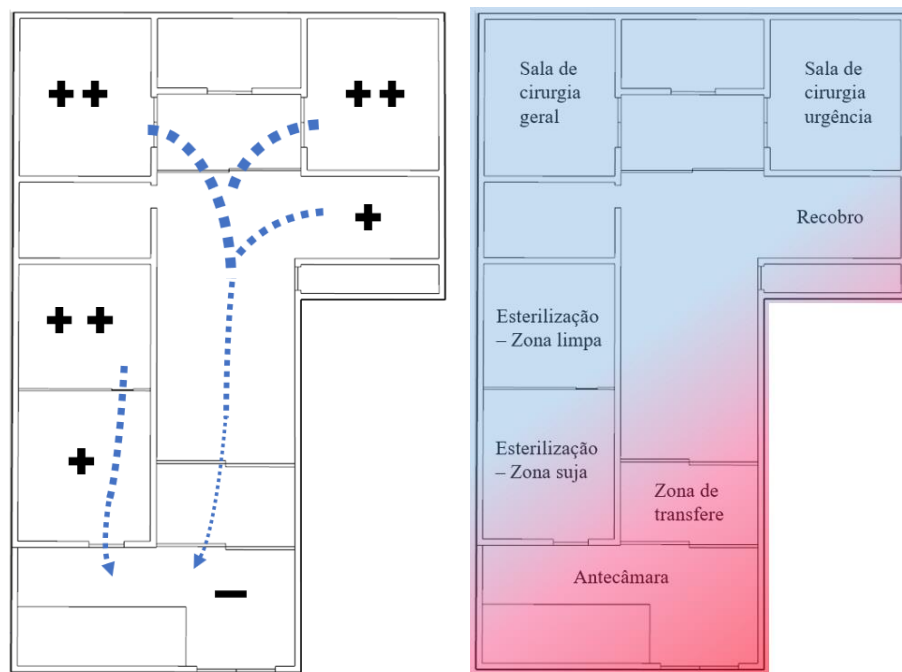
De forma complementar, o Plano Nacional Para a Segurança dos Doentes (PNSD) (Despacho n.º 1400-A/2014) procura apoiar os gestores de hospitais na aplicação de métodos para minimizar os riscos associados a exposição dos pacientes, uma vez que a melhoria da segurança dos doentes é uma responsabilidade da equipa hospitalar. O ciclo de melhoria contínua da qualidade aplicado à segurança dos doentes deve identificar os riscos, avaliá-los e hierarquizá-los, identificando as ações de melhoria a desencadear (Despacho n.º 1400-A/2014).

Geralmente a natureza infecciosa nestes ambientes é desconhecida, e os funcionários e pacientes poderão ficar expostos a organismos pertencentes a grupos de riscos mais elevados do que o previsto. Esta consideração deve ser levada em consideração na elaboração de planos de segurança. Neste contexto, aumentar a cultura de segurança no ambiente interno, aumentar a segurança cirúrgica e prevenir e controlar as infeções e as resistências aos antimicrobianos são três dos nove objetivos estratégicos que contemplam o PNSD.

O Decreto – Lei n.º 84/97 estabelece regras de proteção para trabalhadores contra os riscos de exposição a agentes biológicos durante o trabalho, e de acordo com este, o risco a exposição deve ser reduzido a um nível tão baixo quando tecnicamente possível para proteger adequadamente a segurança e a saúde dos ocupantes de um edifício ocupacional (Decreto – Lei n.º 84/97).

A Portaria 987/93 de 06 de outubro, que se refere a higiene e segurança no trabalho dita que *“o funcionamento das instalações de ventilação e de ar condicionado não deve expor os trabalhadores a correntes de ar nocivas e deve assegurar a rápida eliminação da poluição do ar respirável”*, e, *“A temperatura e a humidade dos locais de trabalho devem ser adequadas ao organismo humano, levados em conta os métodos de trabalho e os condicionalismos físicos impostos aos trabalhadores.”* (Portaria 987-93 de 6.Out - Higiene e Segurança no Trabalho, 1993).

O ambiente avaliado demonstrou tendência do fluxo de ar do interior do bloco operatório e serviço de esterilização ocasionar a migração dos poluentes para a área de acesso denominada Antecâmara, ocorrendo incremento nas concentrações de poluentes neste local (Figura 31). A condição do fluxo de ar ser direcionado de *zonas limpas* para *zonas sujas* é muito importante e adequa-se ao ambiente de estudo, no entanto, a ausência de um sistema de exaustão na antecâmara torna-a uma *“zona morta”*, ou seja, um local em que o ar contaminado pode ser acumulado, de modo a gerar concentrações que põem em risco a saúde humana (DGS, 2006).



**Figura 31.** a) Representação esquemática dos fluxos de ar no local de estudo. b) Representação ilustrativa das áreas que apresentaram, de modo geral, as maiores concentrações de poluentes, sendo a vermelho as maiores concentrações e azul as menores.

Nota-se que a Antecâmara pode estar favorecendo o retorno de poluentes para o interior do bloco operatório e serviço de esterilização, uma vez que ambientes com concentrações mais elevadas tendem a migrar os poluentes para áreas adjacentes que apresentam concentrações inferiores. De modo a procurar a melhoria contínua e minimizar os riscos a exposição a contaminantes atmosféricos, recomenda-se a adequação arquitetónica da Antecâmara afim de evitar o acúmulo de poluentes e degradação do ar interior. Pretende-se com estas adequações promover a segurança no ambiente hospitalar, prevenir a exposição e a infeção do local cirúrgico, e de forma abrangente melhorar a qualidade do ar interior.

Deve-se ainda referir que as percentagens médias de humidade relativa se apresentaram inferiores ao recomendados por diversas normas e guias. Com isso, para favorecer a sensação de conforto térmico, da qual os funcionários estão expostos a períodos prolongados, recomenda-se o ajuste da humidificação no ambiente interior com base nas especificações técnicas para instalações de AVAC em ambientes hospitalares (ET 6/2008).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ambiente hospitalar é formado por um sistema dinâmico e complexo, e que pode ser afetado por agentes contaminantes biológicos, físicos ou químicos capazes de causar efeitos nocivos à saúde não só dos pacientes, mas também dos profissionais da saúde. A forma como estes ambientes foram projetados e são operados causa profundo impacto na saúde dos seus ocupantes, e neste contexto, torna-se fundamental a correta gestão da qualidade do ar interior na prevenção e controlo de doenças e riscos a saúde.

Os parâmetros de temperatura e humidade relativa são importantes na sensação de conforto térmico. De modo geral, a temperatura demonstrou-se estar no intervalo referido por normas e diretrizes ocupacionais, no entanto na maior parte da campanha de amostragem a humidade relativa foi inferior ao recomendado. Pode-se concluir que a sensação de conforto térmico é desfavorecida devido aos baixos níveis de humidade relativa.

Com exceção dos compostos orgânicos voláteis, os parâmetros químicos avaliados atenderam ao limiar de proteção referido na legislação nacional da qualidade do ar interior (Portaria 353-A/2013). Contudo, não se pode concluir que as concentrações observadas de COVs apresentem riscos para à saúde humana, uma vez que para tal deve-se identificar no ambiente uma gama de concentrações de compostos específicos deste grupo de compostos. As concentrações elevadas estão provavelmente relacionadas com o uso frequente de produtos de limpeza.

Quanto aos parâmetros biológicos, a sala de cirurgia geral e a sala de cirurgia de urgência demonstraram ter capacidade para manter baixas concentrações de bactérias e fungos. Estas são as zonas com maior risco, portanto é importante ressaltar que as concentrações de microrganismos nestes espaços foram inferiores aos limiares de proteção mais exigentes para salas limpas descritos nos documentos utilizados como referência neste estudo (ISO, GMD, ANVISA). Os outros ambientes (RC, TF, AC, STS e STL) também apresentaram concentrações de agentes biológicos inferiores ao referido na legislação nacional para QAI e adequaram-se aos limiares de proteção dos níveis referidos nos documentos de referência.

O género mais abundante de bactéria no ar interior foi o *Staphylococcus*, sendo que a sua abundância pode estar relacionada com a presença de bioaerossóis provenientes do homem. O género mais abundante de fungo foi o *Penicillium*, no entanto este não foi identificado na SCG, SCU e STS. Estes dois géneros apresentam espécies com risco de infeções graves em pacientes imunodeprimidos, tal como *S. aureus* e *P. marneffeii*, que são associados a infeções do sistema respiratório. No entanto, estes também são os géneros mais abundantes em diversos estudos de qualidade do ar interior.

As concentrações de PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub> foram inferiores ao limiar de proteção nacional para QAI. Além do mais, o número de partículas em suspensão demonstrou ter correlação positiva forte com as concentrações de agentes microbiológicos. Este parâmetro pode ser utilizado de forma indireta na avaliação da qualidade do ar interior. Esta prática não deve substituir as avaliações microbiológicas, no entanto, permite estimar *in situ* a eficiência dos sistemas AVAC.

Observou-se que a frequência de limpeza, a taxa de ocupação e principalmente as taxas de renovação de ar demonstraram importância nas concentrações de poluentes. De modo geral a Antecâmara foi caracterizada como “zona morta”, e para evitar a acumulação de poluentes nesta zona recomenda-se a adequação arquitetónica através da instalação de exaustores. Esta prática enquadra-se nas recomendações de melhoria contínua, onde o intuito é evitar a migração de poluentes para áreas adjacentes e promover sempre que possível a melhoria da qualidade do ar interior.

Em Portugal verifica-se uma carência por diplomas legais da qualidade do ar interior que se apliquem a ambientes hospitalares. Os limiares de proteção referidos na legislação nacional para QAI não se enquadram na avaliação de salas limpas, o que faz com que padrões de referência sejam procurados em referências internacionais. Verifica-se ainda que a falta de padronização quanto a limiares de proteção e nomenclaturas utilizadas por diversas normas e guias dificulta ainda mais a correta gestão da QAI em ambientes hospitalares.

Sugere-se que em futuros trabalhos se proceda a identificação dos COVs, prejudiciais para a saúde humana, devido as concentrações elevadas que são observadas em ambientes hospitalares. Sugere-se ainda a identificação de microrganismos multirresistentes, face ao risco crescente que este problema vem causando em escala global.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdel Hameed, A. A., Habeebuallah, T., Mashat, B., Elgendy, S., Elmorsy, T. H., & Elserougy, S. (2015). Airborne fungal pollution at waste application facilities. *Aerobiologia*, 31(3), 283–293. <https://doi.org/10.1007/s10453-015-9364-8>

Abramczyk, Marcelo L. Infecção hospitalar em unidade de terapia intensiva. In: BRASIL. Ministério da saúde. Agência nacional de vigilância sanitária. Prevenção e controle de infecção hospitalar. Brasília: Editora Anvisa, 2006. 116p. ISBN 85-334-1049-2.

Adorada, D. L., Stodart, B. J., Tpoi, R. P., Costa, S. S., & Ash, G. J. (2013). Bacteria associated with sheath browning and grain discoloration of rice in East Timor and implications for Australia's biosecurity. *Australasian Plant Disease Notes*, 8(1), 43–47. <https://doi.org/10.1007/s13314-013-0092-z>

Alan, J., Mart, C., Bruce, H., Delos, M., & St, M. (2000). Aspergillus Valve Endocarditis in Patients with Prior Cardiac Surgery Case Reports. 79(July), 261–268.

Allegranzi, B., Nejad, S. B., Combescure, C., Graafmans, W., Attar, H., Donaldson, L., & Pittet, D. (2011). Burden of endemic health-care-associated infection in developing countries: Systematic review and meta-analysis. *The Lancet*, 377(9761), 228–241. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(10\)61458-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(10)61458-4)

Alliot, C., Desablens, B., Garidi, R., & Tabuteau, S. (2000). Opportunistic infection with Rhodotorula in cancer patients treated by chemotherapy: Two case reports. *Clinical Oncology*, 12(2), 115–117. <https://doi.org/10.1053/clon.2000.9129>

Almaguer, M., Aira, M. J., Rodríguez-Rajo, F. J., & Rojas, T. I. (2014). Temporal dynamics of airborne fungi in Havana (Cuba) during dry and rainy seasons: influence of meteorological parameters. *International Journal of Biometeorology*, 58(7), 1459–1470. <https://doi.org/10.1007/s00484-013-0748-6>

Alves, L. L., & Doutel, P. (2003). No Serviço de Cirurgia do Hospital Distrital de Bragança.

Aly, N. Y. A., Salmeen, H. N., Lila, R. A. A., & Nagaraja, P. A. (2008). Pantoea agglomerans bloodstream infection in preterm neonates. *Medical Principles and Practice*, 17(6), 500–503. <https://doi.org/10.1159/000151575>

Ambiental, P. E. M. E., & Quadros, M. E. (2008). Hospitalares; Parâmetros Físico-Químicos E Hospitalares : Parâmetros Físico-Químicos E.

Anaissie, E. J., Vartivarian, S. E., & Bodey, G. P. (1993). Emerging Fungal Pathogens in Immunocompromised Patients: Classification, Diagnosis, and Management. *Clinical Infectious Diseases*, 17, S487–S491. [https://doi.org/10.1093/clinids/17.Supplement\\_2.S487](https://doi.org/10.1093/clinids/17.Supplement_2.S487)

Anaissie, E., Bodey, G. P., Kantarjian, H., Ro, J., Vartivarian, S. E., Hopfer, R., ... Rolston, K. (1989). New spectrum of fungal infections in patients with cancer. *Reviews of Infectious Diseases*, 11(3), 369–378. <https://doi.org/10.1093/clinids/11.3.369>

Andrade, A., & Dominski, F. H. (2018). Indoor air quality of environments used for physical exercise and sports practice: Systematic review. *Journal of Environmental Management*, 206, 577–586. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.001>

APA. (2009). (Agência Portuguesa do Ambiente) Qualidade do Ar em Espaços Interiores-Guia Técnico. 1–56. Acessado em: <https://qualar.apambiente.pt/qualar/index.php?page=4&subpage=4>

APA. (2010). Qualidade do Ar em Espaços Interiores - Um Guia Técnico. Agência Portuguesa do Ambiente, Amadora.

Asere, L., Mols, T., & Blumberga, A. (2016). Assessment of Indoor Air Quality in Renovated Buildings of Liepāja Municipality. *Energy Procedia*, 91, 907–915. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.06.257>

Asif, A., Zeeshan, M., & Jahanzaib, M. (2018). Assessment of indoor and outdoor microbial air quality of cafeterias of an educational institute. *Atmospheric Pollution Research*. <https://doi.org/10.1016/J.APR.2018.09.012>

Asif, A., Zeeshan, M., Hashmi, I., Zahid, U., & Bhatti, M. F. (2018a). Microbial quality assessment of indoor air in a large hospital building during winter and spring seasons. *Building and Environment*, 135(March), 68–73. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.03.010>

Asif, A., Zeeshan, M., Hashmi, I., Zahid, U., & Bhatti, M. F. (2018b). Microbial quality assessment of indoor air in a large hospital building during winter and spring seasons. *Building and Environment*, 135(March), 68–73. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.03.010>

Awad, A. H., Saeed, Y., Hassan, Y., Fawzy, Y., & Osman, M. (2018). Air microbial quality in certain public buildings, Egypt: A comparative study. *Atmospheric Pollution Research*, 9(4), 617–626. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2017.12.014>

Balasubramanian, D., Harper, L., Shopsis, B., & Torres, V. J. (2017). *Staphylococcus aureus* pathogenesis in diverse host environments. *Pathogens and Disease*, 75(1), 1–13. <https://doi.org/10.1093/femspd/ftx005>

Baurès, E., Blanchard, O., Mercier, F., Surget, E., le Cann, P., Rivier, A., ... Florentin, A. (2018). Indoor air quality in two French hospitals: Measurement of chemical and microbiological contaminants. *Science of the Total Environment*, 642, 168–179. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.047>

Beggs, C., Knibbs, L. D., Johnson, G. R., & Morawska, L. (2015). Environmental contamination and hospital-acquired infection: Factors that are easily overlooked. *Indoor Air*, 25(5), 462–474. <https://doi.org/10.1111/ina.12170>

Bernasconi, C., Rodolfi, M., Picco, A. M., Grisoli, P., Dacarro, C., & Rembges, D. (2010). Pyrogenic activity of air to characterize bioaerosol exposure in public buildings: A pilot study. *Letters in Applied Microbiology*, 50(6), 571–577. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2010.02831.x>

Bessonneau, V., Mosqueron, L., Berrubé, A., Mukensturm, G., Buffet-Bataillon, S., Gangneux, J. P., & Thomas, O. (2013). VOC Contamination in Hospital, from Stationary Sampling of a Large Panel of Compounds, in View of Healthcare Workers and Patients Exposure Assessment. *PLoS ONE*, 8(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0055535>

Bicudo, E. L., Macedo, V. O., Carrara, M. A., Castro, F. F. S., & Rage, R. I. (2007). Nosocomial outbreak of *Pantoea agglomerans* in a pediatric urgent care center. *Brazilian*

Journal of Infectious Diseases, 11(2), 281–284. <https://doi.org/10.1590/s1413-86702007000200023>

Bornehag, C. G., Sundell, J., Hägerhed-Engman, L., & Sigsgaard, T. (2005). Association between ventilation rates in 390 Swedish homes and allergic symptoms in children. *Indoor Air*, 15(4), 275–280. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2005.00372.x>

Borrego, S., Guiamet, P., Gómez de Saravia, S., Batistini, P., Garcia, M., Lavin, P., & Perdomo, I. (2010). The quality of air at archives and the biodeterioration of photographs. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 64(2), 139–145. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2009.12.005>

Bowers, R. M., Clements, N., Emerson, J. B., Wiedinmyer, C., Hannigan, M. P., & Fierer, N. (2013). Seasonal variability in bacterial and fungal diversity of the near-surface atmosphere. *Environmental Science and Technology*, 47(21), 12097–12106. <https://doi.org/10.1021/es402970s>

Boyce, J. M.; Pittet, D. (2002). Guidelines for hand hygiene in health – Care settings recommendations of the healthcare infection control practices advisory committee and the HICPAC/SHEA /APIC/IDSA Hand hygiene task force. *Morbidity and mortality weekly report*. Pg 1-44.

Braun, U., & Schubert, K. (2005). Taxonomic revision of the genus *Cladosporium* s. lat. 1. Species reallocated to *Fusicladium*, *Parastenella*, *Passalora*, *Pseudocercospora* and *Stenella*. *Mycological Progress*, 4(2), 101–109.

Cabo Verde, S., Almeida, S. M., Matos, J., Guerreiro, D., Meneses, M., Faria, T., ... Viegas, C. (2015). Microbiological assessment of indoor air quality at different hospital sites. *Research in Microbiology*, 166(7), 557–563. <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2015.03.004>

Camacho, R. A. P. (2010). Detecção de bactérias no ar em ambiente hospitalar com recurso a técnicas moleculares. 1–205.

Caneiras, C., Lito, L., Mayoralas-Alises, S., Díaz-Lobato, S., Melo-Cristino, J., & Duarte, A. (2018). Virulence and resistance determinants of *Klebsiella pneumoniae* isolated from a Portuguese tertiary university hospital centre over a 31-year period. *Enfermedades Infecciosas y Microbiologia Clínica*, (xx), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.eimc.2018.11.001>

Canha, N., Lage, J., Candeias, S., Alves, C., & Almeida, S. M. (2017). Indoor air quality during sleep under different ventilation patterns. *Atmospheric Pollution Research*, 8(6), 1132–1142. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2017.05.004>

Carrie, C., Walewski, V., Levy, C., Alexandre, C., Baleine, J., Charreton, C., ... de Pontual, L. (2019). *Klebsiella pneumoniae* and *Klebsiella oxytoca* meningitis in infants. Epidemiological and clinical features. *Archives de Pediatrie*, 26(1), 12–15. <https://doi.org/10.1016/j.arcped.2018.09.013>

Center for disease control and prevention (CDC). Healthcare-associated infections. Disponível em: <https://www.cdc.gov/hai/data/portal/index.html> Acessado em 27 de jan de 2019.

Center for disease control and prevention (CDC). Healthcare-associated infections. Disponível em: <https://www.cdc.gov/hai/data/portal/index.html> Acessado em 27 de jan de 2019.

- Centers for medicare and medicaid services. Hospital-acquired conditions. [https://www.cms.gov/medicare/medicare-fee-for-service-payment/hospitalacqcond/hospitalacquired\\_conditions.html](https://www.cms.gov/medicare/medicare-fee-for-service-payment/hospitalacqcond/hospitalacquired_conditions.html). Acessado em 06 de fev. 2019.
- Chamseddine, A., Alameddine, I., Hatzopoulou, M., & El-Fadel, M. (2019). Seasonal variation of air quality in hospitals with indoor–outdoor correlations. *Building and Environment*, 148, 689–700. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.11.034>
- Chang, J., Lee, J. Y., Joo, J. Y., Kim, K., Park, H. Y., Kim, S. H., ... Kim, M. N. (2019). Emergence of NDM-4-producing *Klebsiella pneumoniae* in a Korean hospital due to a patient hospitalized in Vietnam and case review. *Journal of Infection and Chemotherapy*, (xxxx). <https://doi.org/10.1016/j.jiac.2019.04.010>
- Cheng, M. F., Chiou, C. C., Liu, Y. C., Wang, H. Z., & Hsieh, K. S. (2001). *Cryptococcus laurentii* fungemia in a premature neonate. *Journal of Clinical Microbiology*, 39(4), 1608–1611. <https://doi.org/10.1128/JCM.39.4.1608-1611.2001>
- Cheng, N. C., Wong, W. W., Fung, C. P., & Liu, C. Y. (1998). Unusual pulmonary manifestations of disseminated *Penicillium marneffei* infection in three AIDS patients. *Medical Mycology*, 36(6), 429–432. <https://doi.org/10.1046/j.1365-280X.1998.00176.x>
- Cheng, Y., Zhang, S., Huan, C., Oladokun, M. O., & Lin, Z. (2019). Optimization on fresh outdoor air ratio of air conditioning system with stratum ventilation for both targeted indoor air quality and maximal energy saving. *Building and Environment*, 147(July 2018), 11–22. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.10.009>
- Cheung, G. Y. C., Rigby, K., Wang, R., Queck, S. Y., Braughton, K. R., Whitney, A. R., ... Otto, M. (2010). *Staphylococcus epidermidis* strategies to avoid killing by human neutrophils. *PLoS Pathogens*, 6(10). <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1001133>
- Ching, P., Harriman, K., Li, Y., Pessoa-Silva, C. L., Seto, W.-H., & Wang, T. K. (2007). Infection prevention and control of epidemic- and pandemic-prone acute respiratory diseases in health care: WHO interim guidelines. Document WHO/CDS/EPR/2007.6. (June), 90. Acessado em: [http://www.who.int/csr/resources/publications/WHO\\_CDS\\_EPR\\_2007\\_6c.pdf](http://www.who.int/csr/resources/publications/WHO_CDS_EPR_2007_6c.pdf)
- Clin, E. J., Infect, M., Anaissie, E. J., B, G. P., & Rinaldi, M. G. (1989). Current Topic : Review E m e r g i n g Fungal P a t h o g e n s. (4), 323–330.
- Comissão Europeia. A European One Health Action Plan against Antimicrobial Resistance (AMR). Bruxelas: Comissão Europeia; 2017.
- Conselho da Europa, Comité Europeu da Saúde. Prevenção das infeções hospitalares: recomendação n° (84) 20, adoptada pelo Comité dos Ministros do Conselho da Europa em 25 de Outubro de 1984 e memorando explicativo. CE, Estrasburgo. 1985.
- Crawford, S. J., Chen, S. C. A., Halliday, C., Rangan, G. K., Gottlieb, T., & Reid, A. B. (2015). *Microspheeropsis arundinis* skin and soft tissue infection in renal transplant recipients: Three case reports and a review of the literature. *Transplant Infectious Disease*, 17(6), 915–920. <https://doi.org/10.1111/tid.12464>
- Cruz, A. T., Cazacu, A. C., & Allen, C. H. (2007). *Pantoea agglomerans*, a plant pathogen causing human disease. *Journal of Clinical Microbiology*, 45(6), 1989–1992. <https://doi.org/10.1128/JCM.00632-07>

D.P., C., S.A., L., & B.L., N. (2015). Allergic Fungal Sinusitis. *Head and Neck Pathology*, 9(4), 488–491. <https://doi.org/10.1007/s12105-014-0598-5>.

de Oliveira Fernandes, E., Jantunen, M., Carrer, P., & Seppänen, O. (2008). ENVIE – EU co-ordination action on indoor air quality and health effects. *Indoor Air* 2008, (685). Acessado em: <https://www.isiaq.org/docs/papers/685.pdf>

de Souza, J. B., Reisen, V. A., Franco, G. C., Ispány, M., Bondon, P., & Santos, J. M. (2018). Generalized additive models with principal component analysis: an application to time series of respiratory disease and air pollution data. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C: Applied Statistics*, 67(2), 453–480. <https://doi.org/10.1111/rssc.12239>

Decreto-Lei n.º 243/86. (20 de agosto de 1986). Ministério do Trabalho e Segurança Social.

Derks, M. T. H., Mishra, A. K., Loomans, M. G. L. C., & Kort, H. S. M. (2018). Understanding thermal comfort perception of nurses in a hospital ward work environment. *Building and Environment*, 140(March), 119–127. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.05.039>

Després, V. R., Alex Huffman, J., Burrows, S. M., Hoose, C., Safatov, A. S., Buryak, G., ... Jaenicke, R. (2012). Primary biological aerosol particles in the atmosphere: A review. *Tellus, Series B: Chemical and Physical Meteorology*, 64(1). <https://doi.org/10.3402/tellusb.v64i0.15598>

DGS. (2008). Planos locais de ação em habitação e saúde. Direção Geral de Saúde, Lisboa.

DGS. (2009). Inquérito Nacional de prevalência de Infecção Nosocomial. Direção Geral de Saúde, Coimbra.

Direção-Geral da Saúde (DGS). Precauções Básicas do Controlo da Infecção: Norma 029/2012, de 29 de dezembro de 2012 (atualizada a 31 de outubro de 2013). Lisboa: Direção Geral da Saúde; 2013.

Direção-Geral da Saúde (DGS). Uso e Gestão de Luvas nas Unidades de Saúde: Norma 013/2014 de 25 de agosto de 2014. Lisboa: Direção-Geral da Saúde; 2015.

Direção-Geral da Saúde. (2006). Recomendações para laboratórios e Serviços de Saúde. 1–76.

Dixon, D. M., & Polak-Wyss, A. (2009). The medically important dematiaceous fungi and their identification. *Mycoses*, 34(1–2), 1–18. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0507.1991.tb00613.x>

Dumpis, U.; Balode, A.; Vigante, D.; (2003). Prévalence des infections nosocomiales dans deux hopitaux de Lettonie. *Eurosurveillance*; 8:73–6.

Dutra, F. F., Albuquerque, P. C., Rodrigues, M. L., & Fonseca, F. L. (2018). Warfare and defense: The host response to *Cryptococcus* infection. *Fungal Biology Reviews*, 32(2), 35–51. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2017.09.002>

Eames, I., Tang, J. W., Li, Y., & Wilson, P. (2009). Airborne transmission of disease in hospitals. *Journal of the Royal Society Interface*, 6(SUPPL. 6). <https://doi.org/10.1098/rsif.2009.0407.focus>

- Eckel, E. F., & Ametaj, B. N. (2016). Invited review: Role of bacterial endotoxins in the etiopathogenesis of periparturient diseases of transition dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 99(8), 5967–5990. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10727>
- Eduardo, C., Almeida, D. De, Curi, E. F., Brezinski, R., & Freitas, R. C. De. (2012). Incêndio no Centro Cirúrgico. 62.
- EEA. (2013a). Every breath we take - Improving air quality in Europe. European Environment Agency, Copenhaga.
- EEA. (2013b). Air quality in Europe - 2013 report. European Environment Agency, Luxemburgo
- El-Sharkawy, M., & Noweir, M. H. (2014). Indoor air quality levels in a University Hospital in the Eastern Province of Saudi Arabia. *Journal of Family and Community Medicine*, 21(1), 39. <https://doi.org/10.4103/2230-8229.128778>
- Environmental Protection Agency, “An introduction to indoor air quality—Biological Pollutants,” Washington, DC, USA, November 2007.
- EPA. (2008). United States Environmental Protection Agency. Obtido em 10 de 11 de 2013, de [http://www.epa.gov/iaq/largebldgs/i-beam/pdfs/text\\_modules\\_fundamentals.pdf](http://www.epa.gov/iaq/largebldgs/i-beam/pdfs/text_modules_fundamentals.pdf)
- EPA. (2013). United States Environmental Protection Agency. Obtido em 20 de 11 de 2013, de <http://www.epa.gov/airquality/particlepollution/>
- Erdo, M. S., Yurtseven, E., Erginöz, E., Prof, A., Vehid, S., Prof, A., ... Yüceokur, A. A. (n.d.). M. Sarper Erdo an Assoc. Prof. PhD. MD, Eray Yurtseven PhD, Ethem Erginöz Assoc. Prof. PhD. MD, Suphi Vehid Assist. Prof. MD, Selçuk Köksal Assist. Prof. MD, A. Ayhan Yüceokur Assist. Prof. MD. *Nobel Medicus*, 6(3), 66–72.
- ET 6/2008. (2014). Especificações Técnicas para Instalações de AVAC (Revisão de 2014).
- European Centre for Disease Prevention and Control. Healthcare-associated infections. [http://ecdc.europa.eu/en/healthtopics/healthcare-associated\\_infections/pages/index.aspx](http://ecdc.europa.eu/en/healthtopics/healthcare-associated_infections/pages/index.aspx). Acessado em 06 de fev. 2019.
- European Centre for Disease Prevention and Control. Surveillance of surgical site infections and prevention indicators in European hospitals - HAI-Net SSI protocol, version 2.2. Stockholm: ECDC; 2017.
- Fakharian, A., Dorudinia, A., Darazam, I. A., Mansouri, D., & Masjedi, M. R. (2015). *Acremonium pneumonia*: Case report and literature review. *Tanaffos*, 14(2), 156–160.
- Fanger, P. O. (2006). What is IAQ? *Indoor Air*, 16(5), 328–334. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2006.00437.x>
- Fernandes, P. A., Silva, M. G., Cruz, A. P., & Paiva, J. A. (2016). Prevenção e Controlo de Infeções e de Resistência aos Antimicrobianos em números – 2015. *Direção Geral Da Saúde*, 1–43. Acessado em: [www.dgs.pt](http://www.dgs.pt)
- Fernández, E., Martínez, C., Fu, M., Martínez-Sánchez, J. M., López, M. J., Invernizzi, G., ... Nebot, M. (2009). Second-hand smoke exposure in a sample of European hospitals. *European Respiratory Journal*, 34(1), 111–116. <https://doi.org/10.1183/09031936.00180708>

Fernstrom, A., & Goldblatt, M. (2013). Aerobiology and Its Role in the Transmission of Infectious Diseases. *Journal of Pathogens*, 2013, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2013/493960>

Fincher RM, Fisher JF, Lovell RD, Newman CL, Espinel-Ingroff A, Shadomy HJ. Infection due to the fungus *Acremonium* (cephalosporium). *Medicine (Baltimore)* 1991;70(6):398–409.

flynn1990.pdf. (n.d.).

Franchi, M., Carrer, P., Kotzias, D., & Viegi, G. (n.d.). in *Dwellings in Europe . The THADE Report*.

Frankel, M., Bekö, G., Timm, M., Gustavsen, S., Hansen, E. W., & Madsen, A. M. (2012). Seasonal variations of indoor microbial exposures and their relation to temperature, relative humidity, and air exchange rate. *Applied and Environmental Microbiology*, 78(23), 8289–8297. <https://doi.org/10.1128/AEM.02069-12>

G.S., D. H., F., Q.-T., G., H., G., F.-Z., D., A., A.H.G., G. V. D. E., ... F., Y. (2000). Black fungi: Clinical and pathogenic approaches. *Medical Mycology*, 38(SUPPL. 1), 243–250. Acessado em: <http://www.embase.com/search/results?subaction=viewrecord&from=export&id=L32094072%0Ahttp://bj7rx7bn7b.search.serialssolutions.com?sid=EMBASE&issn=13693786&id=doi:&atitle=Black+fungi%3A+Clinical+and+pathogenic+approaches&stitle=Med.+Mycol.&title=Medical+M>

Gabinete do Secretário de Estado Adjunto do Ministro da Saúde. (2015). Despacho n.º 1400-A/2015. *Diário Da República*, 2.ª série(28), 3882(2)-(10). Acessado em: <https://dre.pt/web/guest/home/-/dre/66463212/details/maximized?serie=II&dreId=66463210%5Cnhttps://dre.pt/application/file/66457154>

Galimberti, R., Kowalczyk, A., Hidalgo Parra, I., Gonzalez Ramos, M., & Flores, V. (1998). Cutaneous aspergillosis: A report of six cases. *British Journal of Dermatology*, 139(3), 522–526. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2133.1998.02424.x>

Gao, X. L., Shao, M. F., Wang, Q., Wang, L. T., Fang, W. Y., Ouyang, F., & Li, J. (2018). Airborne microbial communities in the atmospheric environment of urban hospitals in China. *Journal of Hazardous Materials*, 349(February), 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.01.043>

Garbino, J., Kolarova, L., Lew, D., Hirschel, B., & Rohner, P. (2002). Fungemia in HIV-Infected Patients: A 12-Year Study in a Tertiary Care Hospital. *AIDS Patient Care and STDs*, 15(8), 407–410. <https://doi.org/10.1089/108729101316914403>

Garcia-Alcega, S., Nasir, Z. A., Ferguson, R., Whitby, C., Dumbrell, A. J., Colbeck, I., ... Coulon, F. (2017). Fingerprinting outdoor air environment using microbial volatile organic compounds (MVOCs) – A review. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 86, 75–83. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2016.10.010>

George, F. H. M. (2015). Organização e funcionamento do Serviço de Saúde Ocupacional/Saúde e Segurança do Trabalho dos Centros Hospitalares/ Hospitais. *Orientação Da Direção\_Geral Da Saúde*, 2017(Norma Número: 008/2014), 1–15.

- Geshwiler, M.; Howard, E.; Helms, C. (2003). HVAC Design Manual for Hospitals and Clinics. ASHRAE. In Atlanta. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Gillespie, M. B., & O'malley, B. W. (2000). An algorithmic approach to the diagnosis and management of invasive fungal rhinosinusitis in the immunocompromised patient. *Otolaryngologic Clinics of North America*, 33(2), 323–334. [https://doi.org/10.1016/S0030-6665\(00\)80008-0](https://doi.org/10.1016/S0030-6665(00)80008-0)
- Gioda, A., & De Aquino Neto, F. R. (2003). Poluição química relacionada ao ar de interiores no Brasil. *Quimica Nova*, 26(3), 359–365.
- Goldani, L. Z., Craven, D. E., & Sugar, A. M. (1995). Central venous catheter infection with *rhodotorula minuta* in a patient with AIDS taking suppressive doses of fluconazole. *Medical Mycology*, 33(4), 267–270. <https://doi.org/10.1080/02681219580000531>
- Goodman, N. B., Steinemann, A., Wheeler, A. J., Paevere, P. J., Cheng, M., & Brown, S. K. (2017). Volatile organic compounds within indoor environments in Australia. *Building and Environment*, 122, 116–125. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.05.033>
- Gordon, G., & Giddings, N. A. (1994). Invasive otitis externa due to *aspergillus* species: Case report and review. *Clinical Infectious Diseases*, 19(5), 866–870. <https://doi.org/10.1093/clinids/19.5.866>
- Guan, D., Guo, C., Li, Y., Lv, H., & Yu, X. (2015). Study on the Concentration and Distribution of the Airborne Bacteria in Indoor Air in the Lecture Theatres at Tianjin Chengjian University, China. *Procedia Engineering*, 121, 33–36. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.1015>
- Guenther R, Vittori G. (2008). *Sustainable Healthcare Architecture*. John Wiley and Sons: New Jersey.
- Guo, L., & Guo, Y. (2011). Study on building materials and indoor pollution. *Procedia Engineering*, 21, 789–794. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2079>
- Gutarowska, B., Szulc, J., Nowak, A., Otlewska, A., Okrasa, M., Jachowicz, A., & Majchrzycka, K. (2018). Dust at various workplaces-microbiological and toxicological threats. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(5). <https://doi.org/10.3390/ijerph15050877>
- Gyaurgieva, O. H., Bogomolova, T. S., & Gorshkova, G. I. (1996). Meningitis caused by *Rhodotorula rubra* in an HIV-infected patient. *Medical Mycology*, 34(5), 357–359. <https://doi.org/10.1080/02681219680000611>
- Haleem Khan, A. A., & Mohan Karuppaiyl, S. (2012). Fungal pollution of indoor environments and its management. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 19(4), 405–426. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2012.06.002>
- Hall, M. R., Brumble, L. M., Mayes, M. A., Snow, J. L., & Keeling, J. H. (2013). Cutaneous *Microspheeropsis arundinis* infection initially interpreted as squamous cell carcinoma. *International Journal of Dermatology*, 52(1), 84–86. <https://doi.org/10.1111/j.1365-4632.2010.04808.x>
- Han, Y., Li, L., & Liu, J. (2013). Characterization of the airborne bacteria community at different distances from the rotating brushes in a wastewater treatment plant by 16S rRNA gene clone libraries. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 25(1), 5–15. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(12\)60018-7](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(12)60018-7)

Hauser, E., Kämpfer, P., & Busse, H. J. (2004). *Pseudomonas psychrotolerans* sp. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 54(5), 1633–1637. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.03024-0>

Hayes, R. B., van Nieuwenhuize, J. P., Raatgever, J. W., & Ten Kate, F. J. W. (1984). Aflatoxin exposures in the industrial setting: An epidemiological study of mortality. *Food and Chemical Toxicology*, 22(1), 39–43. [https://doi.org/10.1016/0278-6915\(84\)90050-4](https://doi.org/10.1016/0278-6915(84)90050-4)

Hayleeyesus, S. F., & Manaye, A. M. (2014). Microbiological Quality of Indoor Air in University Libraries. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 4(Suppl 1), S312–S317. <https://doi.org/10.12980/APJTB.4.2014C807>

He, M., Li, N., He, Y., He, D., & Wang, K. (2017). Influences of Temperature and Humidity on Perceived Air Quality with Radiant Panel Workstation. *Procedia Engineering*, 205, 765–772. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.008>

Herbrecht Raoul, Denning David W, P. T. (2002). of Invasive Aspergillosis. *The New England Journal of Medicine*, 347(6), 408–415.

Heudorf, U., Neitzert, V., & Spark, J. (2009). Particulate matter and carbon dioxide in classrooms - The impact of cleaning and ventilation. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 212(1), 45–55. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2007.09.011>

Ho, P. L., & Yuen, K. Y. (2000). Aspergillosis in bone marrow transplant recipients. *Critical Reviews in Oncology/Hematology*, 34(1), 55–69. [https://doi.org/10.1016/S1040-8428\(00\)00047-0](https://doi.org/10.1016/S1040-8428(00)00047-0)

Hong Kong SAR, G. of H. K. S. A. R. (2003). Guidance Notes for the Management of Indoor Air Quality in Offices and Public Places. The Government of the Hong Kong Special Administrative Region.

Hromadka, J., Korposh, S., Partridge, M. C., James, S. W., Davis, F., Crump, D., & Tatam, R. P. (2017). Multi-parameter measurements using optical fibre long period gratings for indoor air quality monitoring. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 244, 217–225. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2016.12.050>

Huang, H., Cao, J. J., Lee, S. C., Zou, C. W., Chen, X. G., & Fan, S. J. (2017). Spatial Variation and Relationship of Indoor/Outdoor PM<sub>2.5</sub> at Residential Homes in Guangzhou City, China. *Aerosol and Air Quality Research*, 7(4), 518–530. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2007.03.0018>

Huttova, M., Kralinsky, K., Horn, J., Marinova, I., Iligova, K., Fric, J., ... Krcmery, V. (1998). Prospective study of nosocomial fungal meningitis in children - Report of 10 cases. *Scandinavian Journal of Infectious Diseases*, 30(5), 485–487. <https://doi.org/10.1080/00365549850161494>

Huttunen, K., Kaarakainen, P., Meklin, T., Nevalainen, A., & Hirvonen, M. R. (2010). Immunotoxicological properties of airborne particles at landfill, urban and rural sites and their relation to microbial concentrations. *Journal of Environmental Monitoring*, 12(6), 1368–1374. <https://doi.org/10.1039/c002579h>

IAQScience - Indoor air quality (2018). <https://iaqscience.lbl.gov/>. Acessado em 16 de janeiro de 2019.

INSA – Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge – Vigilância epidemiológica das resistências aos antimicrobianos. Disponível em: <http://www.insa.min->

saude.pt/category/areas-de-atuacao/doencas-infeciosas/vigilancia-epidemiologica-das-resistencias-aos-antimicrobianos/. Acessado em 05 de julho de 2019.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) – Diagrama de conforto térmico humano. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/confortoTermicoHumano>. Acessado em 03/07/2019.

Ishigami, J., Grams, M. E., Chang, A. R., Carrero, J. J., Coresh, J., & Matsushita, K. (2017). CKD and Risk for Hospitalization with Infection: The Atherosclerosis Risk in Communities (ARIC) Study. *American Journal of Kidney Diseases*, 69(6), 752–761. <https://doi.org/10.1053/j.ajkd.2016.09.018>

ISO 7730. (2005). Ergonomics of the Thermal Environment - Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria. International Organization for Standardization.

Jiang, W., Lu, C., Miao, Y., Xiang, Y., Chen, L., & Deng, Q. (2018). Outdoor particulate air pollution and indoor renovation associated with childhood pneumonia in China. *Atmospheric Environment*, 174(November 2017), 76–81. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.11.043>

Jones, A. P. (1999). Indoor air quality and health. *Atmospheric Environment*, 33(28), 4535–4564. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00272-1](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00272-1)

Jung, C. C., Wu, P. C., Tseng, C. H., & Su, H. J. (2015). *Jung. Building and Environment*, 85, 190–195. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.11.026>

Katz, G., Winchester, K., & Lam, S. (1993). Ocular Aspergillosis Isolated in the Anterior Chamber. *Ophthalmology*, 100(12), 1815–1818. [https://doi.org/10.1016/S0161-6420\(93\)31393-X](https://doi.org/10.1016/S0161-6420(93)31393-X)

Kembel, S. W., Jones, E., Kline, J., Northcutt, D., Stenson, J., Womack, A. M., ... Green, J. L. (2012). Architectural design influences the diversity and structure of the built environment microbiome. *ISME Journal*, 6(8), 1469–1479. <https://doi.org/10.1038/ismej.2011.211>

Kettleison, E. M., Adhikari, A., Vesper, S., Coombs, K., Indugula, R., & Reponen, T. (2015). Key determinants of the fungal and bacterial microbiomes in homes. *Environmental Research*, 138, 130–135. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.02.003>

Khalid, W., Zaki, S. A., Rijal, H. B., & Yakub, F. (2019). Investigation of comfort temperature and thermal adaptation for patients and visitors in Malaysian hospitals. *Energy and Buildings*, 183, 484–499. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.11.019>

Khamal, B., Isa, M. Z., Sutan, R., Noraini, R.M. N. & Ghazi, F., H. (2016). Indoor Particulate Matters, Microbial Count Assessments, and Wheezing Symptoms Among Toddlers in Urban Day Care Centers in the District of Seremban, Malaysia. *Annals of Global Health*, 1-12.

Khamal, R., Isa, Z., Sutan, R., Mohd, N., & Noraini, R. (2019). Indoor Particulate Matters Microbial Count Assessments and Wheezing Symptoms among Toddlers in Urban Day Care Centers in the District of Seremban Malaysia. 85(1), 1–15.

- Kharangate-Lad, A. (2015). Bacteria Adhered to Particulate Matter and Their Role in Plant Litter Mineralization. *Bioprospects of Coastal Eubacteria: Ecosystems of Goa*, 1–294. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-12910-5>
- Kiehn, T. E., Gorey, E., Brown, A. E., Edwards, F. F., & Armstrong, D. (1992). Sepsis Due to *Rhodotorula* Related to Use of Indwelling Central Venous Catheters. *Clinical Infectious Diseases*, 14(4), 841–846. <https://doi.org/10.1093/clinids/14.4.841>
- Kim, K. H., Kabir, E., & Jahan, S. A. (2018). Airborne bioaerosols and their impact on human health. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 67, 23–35. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.08.027>
- Klevens, R. Monina, DDS, MPH Edwards, Jonathan R., M., Richards, Chesley L., Jr., MD, M., Horan, Teresa C., M., Gaynes, Robert P., M., Pollock, Daniel A., M., & Cardo, Denise M., M. (2007). Estimating health care-associated infections and deaths in U.S. hospitals, 2002. *Public Health Reports*, 122(April), 160–166.
- Klont, R. R., Meis, J. F. G. M., & Verweij, P. E. (2001). Uncommon opportunistic fungi: New nosocomial threats. *Clinical Microbiology and Infection*, 7(SUPPL. 2), 8–24. <https://doi.org/10.1046/j.1469-0691.2001.00054.x>
- Knudsen, S. M., Gunnarsen, L., & Madsen, A. M. (2017). Airborne fungal species associated with mouldy and non-mouldy buildings – effects of air change rates, humidity, and air velocity. *Building and Environment*, 122, 161–170. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.06.017>
- Koistinen, K., Kotzias, D., Kephelopoulos, S., Schlitt, C., Carrer, P., Jantunen, M., ... Seifert, B. (2008). The INDEX project: Executive summary of a European Union project on indoor air pollutants. *Allergy: European Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 63(7), 810–819. <https://doi.org/10.1111/j.1398-9995.2008.01740.x>
- Kumari, P., Woo, C., Yamamoto, N., & Choi, H. L. (2016). Variations in abundance, diversity and community composition of airborne fungi in swine houses across seasons. *Scientific Reports*, 6(June), 1–11. <https://doi.org/10.1038/srep37929>
- Kümmerer, K. (2004). Resistance in the environment. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 54(2), 311–320. <https://doi.org/10.1093/jac/dkh325>
- Lalas, K. M., & Erichsen, D. (2010). Sporadic *Pantoea agglomerans* bacteremia in a near-term female: Case report and review of literature. *Japanese Journal of Infectious Diseases*, 63(4), 290–291.
- Lanks, C. W., Musani, A. I., & Hsia, D. W. (2019). Community-acquired Pneumonia and Hospital-acquired Pneumonia. *Medical Clinics of North America*, 103(3), 487–501. <https://doi.org/10.1016/j.mcna.2018.12.008>
- Lányi, B., & Bergan, T. (1978). Serological Characterization of *Pseudomonas Aeruginosa*. *Methods in Microbiology*, 10(C), 93–168. [https://doi.org/10.1016/S0580-9517\(08\)70661-5](https://doi.org/10.1016/S0580-9517(08)70661-5)
- Leong, S. T., & Muttamara, S. (2003). Preliminary Study of Relationship between Outdoor and Indoor Air Pollutant Concentrations at Bangkok' s Major Streets. 8(3).
- Leung, M., & Chan, A. H. S. (2006). Control and management of hospital indoor air quality. *Medical Science Monitor: International Medical Journal of Experimental and Clinical Research*, 12(3), SR17-R23. <https://doi.org/6641> [pii]

- Li, Y., Leung, G. M., Tang, J. W., Yang, X., Chao, C. Y. H., Lin, J. Z., ... Yuen, P. L. (2007). Role of ventilation in airborne transmission of infectious agents in the built environment - A multidisciplinary systematic review. *Indoor Air*, 17(1), 2–18. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2006.00445.x>
- Liu, H., Zhang, X., Zhang, H., Yao, X., Zhou, M., Wang, J., ... Hu, B. (2018). Effect of air pollution on the total bacteria and pathogenic bacteria in different sizes of particulate matter. *Environmental Pollution*, 233, 483–493. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.10.070>
- Liu, R., Zhang, Y., Chen, P., Lin, H., Ye, G., Wang, Z., ... Ren, D. (2017). Genomic and phenotypic analyses of *Pseudomonas psychrotolerans* PRS08-11306 reveal a turnerbactin biosynthesis gene cluster that contributes to nitrogen fixation. *Journal of Biotechnology*, 253(May), 10–13. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2017.05.012>
- Lopes, L. M. M., & Santos, S. M. P. dos. (2010). Florence Nightingale – Apontamentos sobre. *Revista de Enfermagem Referência*, 3(2), 181–189. Acessado em: [www.scielo.mec.pt/pdf/ref/vserIIIIn2/serIIIIn2a19.pdf](http://www.scielo.mec.pt/pdf/ref/vserIIIIn2/serIIIIn2a19.pdf)
- Loupa, G., Zarogianni, A. M., Karali, D., Kosmadakis, I., & Rapsomanikis, S. (2016). Indoor/outdoor PM 2.5 elemental composition and organic fraction medications, in a Greek hospital. *Science of the Total Environment*, 550, 727–735. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.070>
- LQAI. (2013). Laboratório da Qualidade do Ar Interior, FCUP-FEUP
- Lü, H., Cai, Q. Y., Wen, S., Chi, Y., Guo, S., Sheng, G., ... Katsoyiannis, A. (2010). Carbonyl compounds and BTEX in the special rooms of hospital in Guangzhou, China. *Journal of Hazardous Materials*, 178(1–3), 673–679. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.01.138>
- Lugauskas A, Krikstaponis A, Sveistyte L. (2004). Airborne fungi in industrial environments – potential agents of respiratory diseases. *Ann Agric Environ Med* 11:19–25
- Madsen, A. M., Moslehi-Jenabian, S., Islam, M. Z., Frankel, M., Spilak, M., & Frederiksen, M. W. (2018). Concentrations of *Staphylococcus* species in indoor air as associated with other bacteria, season, relative humidity, air change rate, and *S. aureus*-positive occupants. *Environmental Research*, 160(October 2017), 282–291. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.10.001>
- Magalhães. (2009). Avaliação do contributo na qualidade do ar interior hospitalar da humidade e dos fungos.
- Manchanda, V., Mittal, M., & Saksena, R. (2015). *Bordetella trematum* bacteremia in an infant: A cause to look for. *Indian Journal of Medical Microbiology*, 33(2), 305. <https://doi.org/10.4103/0255-0857.154891>
- Margulis, L. & Chapman, J. M. (2009). Chapter one: kingdom prokaryotae (bacteria, monera, prokarya), 35-107.
- Maron, P., Lejon, D. P. H., Carvalho, E., Bizet, K., Lemanceau, P., Ranjard, L., & Mougel, C. (2005). Assessing genetic structure and diversity of airborne bacterial communities by DNA fingerprinting and 16S rDNA clone library. 39, 3687–3695. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.03.002>

- Massa, A. C. (2010). Auditoria à Qualidade do Ar Interior nos edifícios da Universidade do Minho em Azurém. Dissertação para obtenção de Grau de Mestre em Engenharia Civil., Universidade do Minho, Guimarães
- Massey, D., Kulshrestha, A., Masih, J., & Taneja, A. (2012). Seasonal trends of PM10, PM5.0, PM2.5 & PM1.0 in indoor and outdoor environments of residential homes located in North-Central India. *Building and Environment*, 47(1), 223–231. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.07.018>
- Matos, J. L. de. (2014). Qualidade do Ar Interior em Ambiente Hospitalar: Identificação de Poluentes, Fontes e Estratégias para a Otimização dos Serviços de Saúde. 1–124. Acessado em: <http://hdl.handle.net/10362/12321>
- Mendes, A. C. P. (2008). Indoor air quality in hospital environments. 20th Congress of IFHE. XXVI Seminario de IH, Congreso Nacional.
- Mendes, A., Bonassi, S., Aguiar, L., Pereira, C., Neves, P., Silva, S., ... Teixeira, J. P. (2015). Indoor air quality and thermal comfort in elderly care centers. *Urban Climate*, 14, 486–501. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.07.005>
- Mentese, S., Mirici, N. A., Otkun, M. T., Bakar, C., Palaz, E., Tasdibi, D., ... Cotuker, O. (2015). Association between respiratory health and indoor air pollution exposure in Canakkale, Turkey. *Building and Environment*, 93(P1), 72–83. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.01.023>
- Meskin, I. (2007). Staphylococcus epidermidis. *Pediatrics in Review*, 19(3), 105–106. <https://doi.org/10.1542/pir.19-3-105>
- Mikolich, D., Kinsella, L. J., Skowron, G., Friedman, J., & Sugar, A. M. (1996). Aspergillus meningitis in an immunocompetent adult successfully treated with itraconazole. *Clinical Infectious Diseases*, 23(6), 1318–1319. <https://doi.org/10.1093/clinids/23.6.1318>
- Miyakubo, T., Todokoro, D., Makimura, K., & Akiyama, H. (2019). Fungal keratitis caused by *Didymella gardeniae* (formerly *Phoma gardeniae*) successfully treated with topical voriconazole and miconazole. *Medical Mycology Case Reports*, 24(April), 90–92. <https://doi.org/10.1016/j.mmcr.2019.04.006>
- Morrison, V. A., Haake, R. J., & Weisdorf, D. J. (1993). The spectrum of Non-Candida fungal infections following bone marrow transplantation. *Medicine (United States)*, Vol. 72, pp. 78–89. <https://doi.org/10.1097/00005792-199303000-00002>
- Nabarro, L., Morris-Jones, S., & Moore, D. A. J. (2019). Infections Acquired by Airborne Transmission. *Peter's Atlas of Tropical Medicine and Parasitology*, 244–281. <https://doi.org/10.1016/b978-0-7020-4061-0.00004-2>
- Nakajima, T., Oba, Y., Takashima, J., Ueno, K., Kikuchi, A., Yamada, T., & Fukunami, M. (2019). *Cryptococcus* endocarditis: A case report and review of the literature. *Journal of Infection and Chemotherapy*, (xxxx). <https://doi.org/10.1016/j.jiac.2019.05.003>
- Narendra Singh, P., Ranjana, K., Indiver Singh, Y., Priyokumar Singh, K., Surchandra Sharma, S., Kulachandra, M., ... Ajello, L. (1999). Indigenous disseminated *Penicillium marneffe* infection in the state of Manipur, India: Report of four autochthonous cases. *Journal of Clinical Microbiology*, 37(8), 2699–2702.

- Nastase, I., Croitoru, C., Vartires, A., & Tataranu, L. (2016). Indoor Environmental Quality in Operating Rooms: An European Standards Review with Regard to Romanian Guidelines. *Energy Procedia*, 85(November 2015), 375–382. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.264>
- Naveh, Y., Friedman, A., Merzbach, D., & Hashman, N. (2007). Endocarditis caused by *Rhodotorula* successfully treated with 5-fluorocytosine. *Heart*, 37(1), 101–104. <https://doi.org/10.1136/hrt.37.1.101>
- Nguyen, Y., Dodds, T., & Lowe, P. (2018). Cutaneous *Microspheeropsis arundinis* infection in renal transplant recipients—A report of 2 cases and review of the literature. *JAAD Case Reports*, 4(5), 415–417. <https://doi.org/10.1016/j.jidcr.2017.11.012>
- Niknam, N., Mankame, S., Ha, L., & Gautam-Goyal, P. (2017). *Acremonium* pneumonia in an AIDS patient. *IDCases*, 8(January), 75–76. <https://doi.org/10.1016/j.idcr.2017.04.009>
- O'Neill, J. (2014). Review on Antimicrobial Resistance. *Antimicrobial Resistance* (1) O'Neill, J. Review on Antimicrobial Resistance. *Antimicrobial Resistance: Tackling a Crisis for the Health and Wealth of Nations*, 2014. 2014, 4 (December): Tackling a Crisis for the Health a. 4(December). <https://doi.org/10.1038/510015a>
- Office of Disease Prevention and Health Promotion. National action plan to prevent health care-associated infections: road map to elimination. <http://health.gov/hcq/prevent-hai.asp>. Acessado em 06 de fev. 2019.
- Organização Mundial da Saúde. Global Action Plan on Antimicrobial Resistance. Geneva: OMS; 2015.
- Organización mundial de la salud. Prevención de las infecciones nosocomiales. WHO/CDC/CSR/EPH 2002. 12: 1-65. Disponível em: [https://www.who.int/csr/resources/publications/ES\\_WHO\\_CDS\\_CSR\\_EPH\\_2002\\_12.pdf](https://www.who.int/csr/resources/publications/ES_WHO_CDS_CSR_EPH_2002_12.pdf). Acessado em 25 de jan de 2019.
- Pemán, J., Zaragoza, R., & Salavert, M. (2013). Control y prevención de las infecciones nosocomiales y asociadas a cuidados sanitarios causadas por especies de *Candida* y otras levaduras. *Revista Espanola de Quimioterapia*, 26(4), 298–311.
- Penney, D., Benignus, V., Kephelopoulos, S., Kotzias, D., Kleinman, M., & Agnes Verrier. (2010). Guidelines for indoor air quality. *WHO Guidelines*, 9, 454. <https://doi.org/10.1186/2041-1480-2-S2-II>
- Pereira, R. G., Reis, D., Ambrósio, G. N., Raddi, M. S. G., Pedigone, M. A. M., & Martins, C. H. G. (2005). Bioaerossóis bacterianos em um hospital. *Revista de Ciências Farmaceuticas Basica e Aplicada*, 26(1), 77–81.
- Perniola, R., Faneschi, M. L., Manso, E., Pizzolante, M., Rizzo, A., Sticchi Damiani, A., & Longo, R. (2006). *Rhodotorula mucilaginosa* outbreak in neonatal intensive care unit: Microbiological features, clinical presentation, and analysis of related variables. *European Journal of Clinical Microbiology and Infectious Diseases*, 25(3), 193–196. <https://doi.org/10.1007/s10096-006-0114-2>
- Portaria 987-93 de 6.Out - Higiene e Segurança no Trabalho. (1993).
- Portaria n.º 353-A/2013. (4 de dezembro de 2013). Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, da Saúde e da Solidariedade, Emprego e Segurança Social.

Portnoy, J. M., Barnes, C. S., & Kennedy, K. (2004). Sampling for indoor fungi. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 113(2), 189–198. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2003.11.021>

Portuguese Government. (1997). Decree-Law No. 84/97, of 16 April, which regulates the protection of the safety and health of workers against the risks arising from exposure to biological agents at work and transposes to the internal legal order the Directives 90/679/EEC, of 26 November. *Diário Da República / Official Journal of the Portuguese Republic*, I-A(89), 1702–1709. Acessado em: <https://dre.pt/application/file/a/468681>

Primary Cutaneous Aspergillosis in Human Immunodeficiency Virus-Infected Patients: Two Cases and Review Author ( s): Sevtap Arikan , Ömrüm Uzun , Yeşim Çetinkaya , Sesin Kocagöz , Murat Akova and Serhat Ünal Published by : Oxford University Press Stable. (2016). 27(3), 641–643.

Priorit, P. (2018). *Infeções e Resistências aos Antimicrobianos*.

PUC-Rio. (1986). *Revisão Bibliográfica: Aerossóis*. 15–34.

Putaud, J. P., Raes, F., Van Dingenen, R., Brüggemann, E., Facchini, M. C., Decesari, S., ... Wiedensohler, A. (2004). A European aerosol phenomenology - 2: Chemical characteristics of particulate matter at kerbside, urban, rural and background sites in Europe. *Atmospheric Environment*, 38(16), 2579–2595. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.01.041>

Putus, T., Tuomainen, A., & Rautiala, S. (2004). Chemical and microbial exposures in a school building: Adverse health effects in children. *Archives of Environmental Health*, 59(4), 194–201. <https://doi.org/10.3200/AEOH.59.4.194-201>

Pyrri, I., & Kapsanaki-Gotsi, E. (2012). Diversity and annual fluctuations of culturable airborne fungi in Athens, Greece: A 4-year study. *Aerobiologia*, 28(2), 249–262. <https://doi.org/10.1007/s10453-011-9233-z>

Quadros, M. E., Lisboa, H. de M., Oliveira, V. L. de, & Schirmer, W. N. (2009a). Qualidade do ar em ambientes internos hospitalares: estudo de caso e análise crítica dos padrões atuais. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 14(3), 431–438. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522009000300017>

Quadros, M. E., Lisboa, H. de M., Oliveira, V. L. de, & Schirmer, W. N. (2009b). Qualidade do ar em ambientes internos hospitalares: estudo de caso e análise crítica dos padrões atuais. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 14(3), 431–438. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522009000300017>

Quintero, E., Rivera-Mariani, F., & Bolaños-Rosero, B. (2010). Analysis of environmental factors and their effects on fungal spores in the atmosphere of a tropical urban area (San Juan, Puerto Rico). *Aerobiologia*, 26(2), 113–124. <https://doi.org/10.1007/s10453-009-9148-0>

Ramos, C. (2013). *Qualidade do Ar Interior em Ginásios - Exposição a poluentes do ar interior durante a atividade física*. Dissertação de Mestrado Em Gestão Integrada Da Qualidade, Ambiente e Segurança.

Ramos-Castañeda, J. A., Ruano-Ravina, A., Barbosa-Lorenzo, R., Paillier-Gonzalez, J. E., Saldaña-Campos, J. C., Salinas, D. F., & Lemos-Luengas, E. V. (2018). Mortality due to KPC carbapenemase-producing *Klebsiella pneumoniae* infections: Systematic review and

meta-analysis: Mortality due to KPC *Klebsiella pneumoniae* infections. *Journal of Infection*, 76(5), 438–448. <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2018.02.007>

Rivera-Mariani, F. E., & Bolaños-Rosero, B. (2012). Allergenicity of airborne basidiospores and ascospores: Need for further studies. *Aerobiologia*, 28(2), 83–97. <https://doi.org/10.1007/s10453-011-9234-y>

Rose, H. D., & Kurup, V. P. (1977). *Sabouraudia* (1977) 15, 251–256. 251–256.

Rossetto AL, Dellatorre G, Pérsio RA, Romero JCM, C. R. (2010). Feo-hifomicose subcutânea por. *An Bras Dermatol.*, 85(4), 517–520. Acessado em: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Feo-hifomicose+subcut?nea+por#3>

Rothe, C., Schlaich, C., & Thompson, S. (2013). Healthcare-associated infections in sub-Saharan Africa. *Journal of Hospital Infection*, 85(4), 257–267. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2013.09.008>

Rouby, Y., Combourieu, E., Perrier-Gros-Claude, J. D., Saccharin, C., & Huerre, M. (1998). A case of aspergillus myocarditis associated with septic shock. *Journal of Infection*, 37(3), 295–297. [https://doi.org/10.1016/S0163-4453\(98\)92262-9](https://doi.org/10.1016/S0163-4453(98)92262-9)

Ruiz-Gaitán, A., Moret, A. M., Tacias-Pitarch, M., Aleixandre-López, A. I., Martínez-Morel, H., Calabuig, E., ... Pemán, J. (2018). An outbreak due to *Candida auris* with prolonged colonisation and candidaemia in a tertiary care European hospital. *Mycoses*, 61(7), 498–505. <https://doi.org/10.1111/myc.12781>

Sadyś, M., & West, J. S. (2017). Intra-diurnal and daily changes in *Didymella* ascospore concentrations in the air of an urban site. *Fungal Ecology*, 27, 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2017.03.002>

Salehi, M., Zibafar, E., Mahmoudi, S., Hashemi, S. J., Gatmiri, S. M., Gerami Shoar, M., ... Daie Ghazvini, R. (2019). First report of invasive pulmonary infection by *Didymella microchlamydospora* and successful treatment with voriconazole. *Clinical Microbiology and Infection*, 25(3), 392–393. <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2018.10.018>

Samarasinghe, H., & Xu, J. (2018). Hybrids and hybridization in the *Cryptococcus neoformans* and *Cryptococcus gattii* species complexes. *Infection, Genetics and Evolution*, 66, 245–255. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2018.10.011>

Samonis, G., Anatiotiaki, M., Apostolakou, H., Maraki, S., Mavroudis, D., & Georgoulas, V. (2001). Transient fungemia due to *Rhodotorula rubra* in a cancer patient: Case report and review of the literature. *Infection*, 29(3), 173–176. <https://doi.org/10.1007/s15010-001-1066-1>

Sattayakorn, S., Ichinose, M., & Sasaki, R. (2017). Clarifying thermal comfort of healthcare occupants in tropical region: A case of indoor environment in Thai hospitals. *Energy and Buildings*, 149, 45–57. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.05.025>

Sautour, M., Sixt, N., Dalle, F., L'Ollivier, C., Fourquenot, V., Calinon, C., ... Bonnin, A. (2009). Profiles and seasonal distribution of airborne fungi in indoor and outdoor environments at a French hospital. *Science of the Total Environment*, 407(12), 3766–3771. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.02.024>

- Savini, V., Sozio, F., Catavittello, C., Talia, M., Manna, A., Febbo, F., ... D'Antonio, D. (2008). Femoral prosthesis infection by *Rhodotorula mucilaginosa*. *Journal of Clinical Microbiology*, 46(10), 3544–3545. <https://doi.org/10.1128/JCM.00873-08>
- Schelenz, S., Hagen, F., Rhodes, J. L., Abdolrasouli, A., Chowdhary, A., Hall, A., ... Fisher, M. C. (2016). First hospital outbreak of the globally emerging *Candida auris* in a European hospital. *Antimicrobial Resistance and Infection Control*, 5(1), 1–7. <https://doi.org/10.1186/s13756-016-0132-5>
- Schell, W. A. (2000). Unusual fungal pathogens in fungal rhinosinusitis. *Otolaryngologic Clinics of North America*, 33(2), 367–373. [https://doi.org/10.1016/S0030-6665\(00\)80011-0](https://doi.org/10.1016/S0030-6665(00)80011-0)
- Schneider, R. D. C. de S., De Melo Machado, E. C., Limberger, V. C., & Corbellini, V. A. (2016). Avaliação da qualidade do ar de um centro cirúrgico de um hospital do sul do Brazil. *Revista de Salud Pública*, 18(3), 447. <https://doi.org/10.15446/rsap.v18n3.47894>
- Sepahvand, A., Shams-Ghahfarokhi, M., Allameh, A., & Razzaghi-Abyaneh, M. (2013). Diversity and distribution patterns of airborne microfungi in indoor and outdoor hospital environments in Khorramabad, Southwest Iran. *Jundishapur Journal of Microbiology*, 6(2), 186–192. <https://doi.org/10.5812/jjm.5074>
- Seto, W. H. (2015). Airborne transmission and precautions: Facts and myths. *Journal of Hospital Infection*, 89(4), 225–228. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2014.11.005>
- Settimo, G. (2017). Indoor Air Quality in Healthcare Facilities. 13–27. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-49160-8>
- Sharma, K. (2011). Concentration and species diversity of airborne fungi of Dongargarh. 1(9), 34–36.
- Shubov, A., Jagannathan, P., & Chin-Hong, P. V. (2011). *Pantoea agglomerans* pneumonia in a heart-lung transplant recipient: Case report and a review of an emerging pathogen in immunocompromised hosts. *Transplant Infectious Disease*, 13(5), 536–539. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3062.2011.00630.x>
- Silva, J., Regueiro, E., & Dinis, M. A. (2007). Avaliação da qualidade do ar interior num bloco operatório e numa central de esterilização utilizando como indicador a concentração de dióxido de carbono. *Revista Da Faculdade de Ciência e Tecnologia*, 4, 499–1646. Acessado em: <http://hdl.handle.net/10284/390>
- Silva, L. M. T. P. da. (2015). Avaliação do conforto térmico e da qualidade do ar interior nos edifícios A e B do Instituto Pedro Nunes.
- Simon, F., Scheuerle, A., Soell, A., Groeger, M., McCook, O., Radermacher, P., ... Schelzig, H. (2010). Comparison of carbamylated versus recombinant erythropoietin during spinal cord ischemia/reperfusion injury. *Critical Care*, 14(Suppl 1), P1. <https://doi.org/10.1186/cc8233>
- Singh, N., & Paterson, D. L. (2005). *Aspergillus* infections in transplant recipients. *Clinical Microbiology Reviews*, 18(1), 44–69. <https://doi.org/10.1128/CMR.18.1.44-69.2005>
- Smets, W., Moretti, S., Denys, S., & Lebeer, S. (2016). Airborne bacteria in the atmosphere: Presence, purpose, and potential. *Atmospheric Environment*, 139(2016), 214–221. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.05.038>

- Sorenson, W. G., Jones, W., Simpson, J., & Davidson, J. I. (1984). Aflatoxin in respirable airborne peanut dust. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 14(4), 525–533. <https://doi.org/10.1080/15287398409530603>
- Spengler, J. D., Samet, J. M., & McCarthy, J. F. (2001). *Indoor Air Quality Handbook*. Citation. *Indoor Air Quality Handbook*.
- Stres, B., Sul, W. J., Murovec, B., & Tiedje, J. M. (2013). Recently Deglaciaded High-Altitude Soils of the Himalaya: Diverse Environments, Heterogenous Bacterial Communities and Long-Range Dust Inputs from the Upper Troposphere. *PLoS ONE*, 8(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0076440>
- Sundell, J. (2004). On the history of indoor air quality and health. *Indoor Air, Supplement*, 14(SUPPL. 7), 51–58. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00273.x>
- Supparatpinyo, K., Chiewchanvit, S., Hirunsri, P., Uthammachai, C., Nelson, K. E., & Sirisanthana, T. (1992). *Penicillium marneffeii* Infection in Patients Infected with Human Immunodeficiency Virus. *Clinical Infectious Diseases*, 14(4), 871–874. <https://doi.org/10.1093/clinids/14.4.871>
- Swain, P., Nayak, S. K., Nanda, P. K., & Dash, S. (2008). Biological effects of bacterial lipopolysaccharide (endotoxin) in fish: A review. *Fish and Shellfish Immunology*, 25(3), 191–201. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2008.04.009>
- Telejko, M. (2017). Attempt to Improve Indoor Air Quality in Computer Laboratories. *Procedia Engineering*, 172, 1154–1160. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.134>
- Tellier, R. (2009). Aerosol transmission of influenza A virus: a review of new studies. *Journal of The Royal Society Interface*, 6(Suppl\_6), S783–S790. doi:10.1098/rsif.2009.0302.focus
- Tellier, R. (2009). Review of aerosol transmission of influenza A virus. *Emerging Infectious Diseases*, 12(11), 1657–1662. <https://doi.org/10.3201/eid1211.060426>
- Tham, K. W. (2016). Indoor air quality and its effects on humans—A review of challenges and developments in the last 30 years. *Energy and Buildings*, 130, 637–650. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.08.071>
- Tong, S. Y. C., Davis, J. S., Eichenberger, E., Holland, T. L., & Fowler, V. G. (2015). *Staphylococcus aureus* infections: epidemiology, pathophysiology, clinical manifestations, and management. *Clinical Microbiology Reviews*, 28(3), 603–661. <https://doi.org/10.1128/CMR.00134-14>
- Tong, X., Xu, H., Zou, L., Cai, M., Xu, X., Zhao, Z., ... Li, Y. (2017). High diversity of airborne fungi in the hospital environment as revealed by meta-sequencing-based microbiome analysis. *Scientific Reports*, 7(June 2016), 1–8. <https://doi.org/10.1038/srep39606>
- Tungjai, A., & Kubaha, K. (2017). Indoor Air Quality Evaluation of Isolation Room for Hospital in Thailand. *Energy Procedia*, 138, 858–863. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.100>
- Turnbull, P. C. B. (1996). *Bacillus* (Chapter 15). *Medical Microbiology*.
- Uhrbrand, K., Schultz, A. C., Koivisto, A. J., Nielsen, U., & Madsen, A. M. (2017). Assessment of airborne bacteria and noroviruses in air emission from a new highly-

advanced hospital wastewater treatment plant. *Water Research*, 112, 110–119. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.01.046>

Umscheid, C. A., Mitchell, M. D., Doshi, J. A., Agarwal, R., Williams, K., & Brennan, P. J. (2011). Estimating the Proportion of Healthcare-Associated Infections That Are Reasonably Preventable and the Related Mortality and Costs. *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 32(02), 101–114. <https://doi.org/10.1086/657912>

Urasaki; I. B. M. S. A. G. J. (2008). Sistemas de tratamento de ar em salas cirúrgicas: Estudo numérico e experimental do escoamento e distribuição de partículas. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA.

Vasile, V., Petran, H., Dima, A., & Petcu, C. (2016). Indoor Air Quality - A Key Element of the Energy Performance of the Buildings. *Energy Procedia*, 96(October), 277–284. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.150>

Verdier, T., Coutand, M., Bertron, A., & Roques, C. (2014). A review of indoor microbial growth across building materials and sampling and analysis methods. *Building and Environment*, 80, 136–149. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.05.030>

Viegas, C., Almeida, B., Gomes, A. Q., Carolino, E., & Caetano, L. A. (2019). *Aspergillus* spp. prevalence in Primary Health Care Centres: Assessment by a novel multi-approach sampling protocol. *Environmental Research*, 175(May), 133–141. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.05.015>

Vornanen-Winqvist, C., Toomla, S., Ahmed, K., Kurnitski, J., Mikkola, R., & Salonen, H. (2017). The effect of positive pressure on indoor air quality in a deeply renovated school building - A case study. *Energy Procedia*, 132, 165–170. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.679>

Walterson, A. M., & Stavriniades, J. (2015). *Pantoea*: Insights into a highly versatile and diverse genus within the Enterobacteriaceae. *FEMS Microbiology Reviews*, 39(6), 968–984. <https://doi.org/10.1093/femsre/fuv027>

Wan, G. H., Chung, F. F., & Tang, C. S. (2011). Long-term surveillance of air quality in medical center operating rooms. *American Journal of Infection Control*, 39(4), 302–308. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2010.07.006>

Wang, S., Ang, H. M., & Tade, M. O. (2007). Volatile organic compounds in indoor environment and photocatalytic oxidation: State of the art. *Environment International*, 33(5), 694–705. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2007.02.011>

WHO - Resistência microbiana – Disponível em: <https://www.who.int/antimicrobial-resistance/en/> Acessado em 03/07/2019.

WHO. (2002). Prevention of hospital-acquired infections - A Practical Guide. World Health Organization, Lyon, France.

WHO. (2005a). Air Quality Guidelines - Global Update 5. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.

WHO. (2005a). Air Quality Guidelines - Global Update 5. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.

- WHO. (2005a). Air Quality Guidelines - Global Update 5. World Health Organization, Copenhagen, Denmark.
- WHO. (2005a). Air Quality Guidelines - Global Update 5. World Health Organization, Copenhagen, Denmark.
- WHO. (2005b). Diretrizes da OMS sobre higienização das mãos na assistência à saúde. World Health Organization, Copenhagen, Denmark.
- WHO. (2006a). Development of WHO Guidelines for Indoor Air Quality. World Health Organization, Copenhagen, Denmark.
- WHO. (2009). WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould. World Health Organization, Copenhagen, Denmark.
- WHO. (2010). WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. World Health Organization, Copenhagen, Denmark.
- WHO. (2013). Review of evidence on health aspects of air pollution - REVIHAAP Project. World Health Organization, Copenhagen, Denmark.
- WHO. (2013a). World Health Organization. Obtido em 21 de 10 de 2013, de [www.who.int/indoorair](http://www.who.int/indoorair)
- Wild, C. P., & Gong, Y. Y. (2009). Mycotoxins and human disease: A largely ignored global health issue. *Carcinogenesis*, 31(1), 71–82. <https://doi.org/10.1093/carcin/bgp264>
- Wirth, F., & Goldani, L. Z. (2012). Epidemiology of rhodotorula: An emerging pathogen. *Interdisciplinary Perspectives on Infectious Diseases*, 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/465717>
- Wong, S. S. Y., Wong, K. H., Hui, W. T., Lee, S. S., Lo, J. Y. C., Cao, L., & Yuen, K. Y. (2001). Differences in clinical and laboratory diagnostic characteristics of penicilliosis marneffeii in human immunodeficiency virus (HIV)- and non-HIV-infected patients. *Journal of Clinical Microbiology*, 39(12), 4535–4540. <https://doi.org/10.1128/JCM.39.12.4535-4540.2001>
- World Health Organisation. (2015). Global action plan on antimicrobial resistance. WHO Press, 1–28. <https://doi.org/ISBN 978 92 4 150976 3>
- World Health Organization. Report on the Burden of Endemic Health Care-Associated Infection Worldwide 2011:1–88
- Xu, H., Gasparini, A., Ishigami, J., Mzayen, K., Su, G., Barany, P., ... Carrero, J. J. (2017). eGFR and the risk of community-acquired infections. *Clinical Journal of the American Society of Nephrology*, 12(9), 1399–1408. <https://doi.org/10.2215/CJN.00250117>
- Yamamoto, N., Bibby, K., Qian, J., Hospodsky, D., Rismani-Yazdi, H., Nazaroff, W. W., & Peccia, J. (2012). Particle-size distributions and seasonal diversity of allergenic and pathogenic fungi in outdoor air. *ISME Journal*, 6(10), 1801–1811. <https://doi.org/10.1038/ismej.2012.30>
- Yeatts, K., Svendsen, E., Creason, J., Alexis, N., Herbst, M., Scott, J., ... Peden, D. B. (2007). Coarse particulate matter (PM<sub>2.5-10</sub>) affects heart rate variability, blood lipids, and circulating eosinophils in adults with asthma. *Environmental Health Perspectives*, 115(5), 709–714. <https://doi.org/10.1289/ehp.9499>

- Yoo, K., Lee, T. K., Choi, E. J., Yang, J., Shukla, S. K., Hwang, S. il, & Park, J. (2017). Molecular approaches for the detection and monitoring of microbial communities in bioaerosols: A review. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 51, 234–247. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2016.07.002>
- Yu, J., Hu, Q., Xie, Z., Kang, H., Li, M., Li, Z., & Ye, P. (2013). Concentration and size distribution of fungi aerosol over oceans along a cruise path during the fourth chinese arctic research expedition. *Atmosphere*, 4(4), 337–348. <https://doi.org/10.3390/atmos4040337>
- Zannoni, D. (1989). The respiratory chains of pathogenic pseudomonads. *BBA - Bioenergetics*, 975(3), 299–316. [https://doi.org/10.1016/S0005-2728\(89\)80337-8](https://doi.org/10.1016/S0005-2728(89)80337-8)
- 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(January), 74–90. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.01.007>
- Zhou, Q., Lyu, Z., Qian, H., Song, J., & Möbs, V. C. (2015). Field-Measurement of CO<sub>2</sub> Level in General Hospital Wards in Nanjing. *Procedia Engineering*, 121, 52–58. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.1018>

Anexo A. Tabela de conversão para o número mais provável de colônias.

<b>55mm contact plates - 90mm Petri Plates - 219 holes 1,00 mm</b>											
<b>r</b>	<b>Pr</b>	<b>r</b>	<b>Pr</b>	<b>r</b>	<b>Pr</b>	<b>r</b>	<b>Pr</b>	<b>r</b>	<b>Pr</b>	<b>r</b>	<b>Pr</b>
1	1	38	42	75	92	112	156	149	249	186	412
2	2	39	43	76	93	113	158	150	252	187	418
3	3	40	44	77	95	114	160	151	255	188	425
4	4	41	45	78	96	115	162	152	258	189	432
5	5	42	46	79	98	116	165	153	261	190	439
6	6	43	48	80	99	117	167	154	265	191	447
7	7	44	49	81	101	118	169	155	268	192	455
8	8	45	50	82	102	119	171	156	271	193	463
9	9	46	51	83	104	120	173	157	275	194	471
10	10	47	53	84	106	121	176	158	278	195	480
11	11	48	54	85	107	122	178	159	282	196	489
12	12	49	55	86	109	123	180	160	286	197	499
13	13	50	57	87	110	124	182	161	289	198	508
14	14	51	58	88	112	125	185	162	293	199	519
15	15	52	59	89	114	126	187	163	297	200	530
16	17	53	60	90	116	127	189	164	301	201	542
17	18	54	62	91	117	128	192	165	305	202	554
18	19	55	63	92	119	129	194	166	309	203	567
19	20	56	64	93	121	130	196	167	313	204	580
20	21	57	66	94	122	131	199	168	317	205	595
21	22	58	67	95	124	132	201	169	322	206	611
22	23	59	69	96	126	133	204	170	326	207	627
23	24	60	70	97	128	134	206	171	331	208	646
24	25	61	71	98	130	135	209	172	335	209	666
25	26	62	73	99	131	136	212	173	340	210	687
26	28	63	74	100	133	137	214	174	344	211	712
27	29	64	76	101	135	138	217	175	349	212	739
28	30	65	77	102	137	139	220	176	354	213	770
29	31	66	78	103	139	140	222	177	359	214	807
30	32	67	80	104	141	141	225	178	365	215	851
31	33	68	81	105	142	142	228	179	370	216	905
32	34	69	83	106	144	143	231	180	375	217	978
33	36	70	84	107	146	144	234	181	381	218	1088
34	37	71	86	108	148	145	237	182	387	219	1307
35	38	72	87	109	150	146	240	183	393		
36	39	73	88	110	152	147	243	184	399		
37	40	74	90	111	154	148	246	185	405		

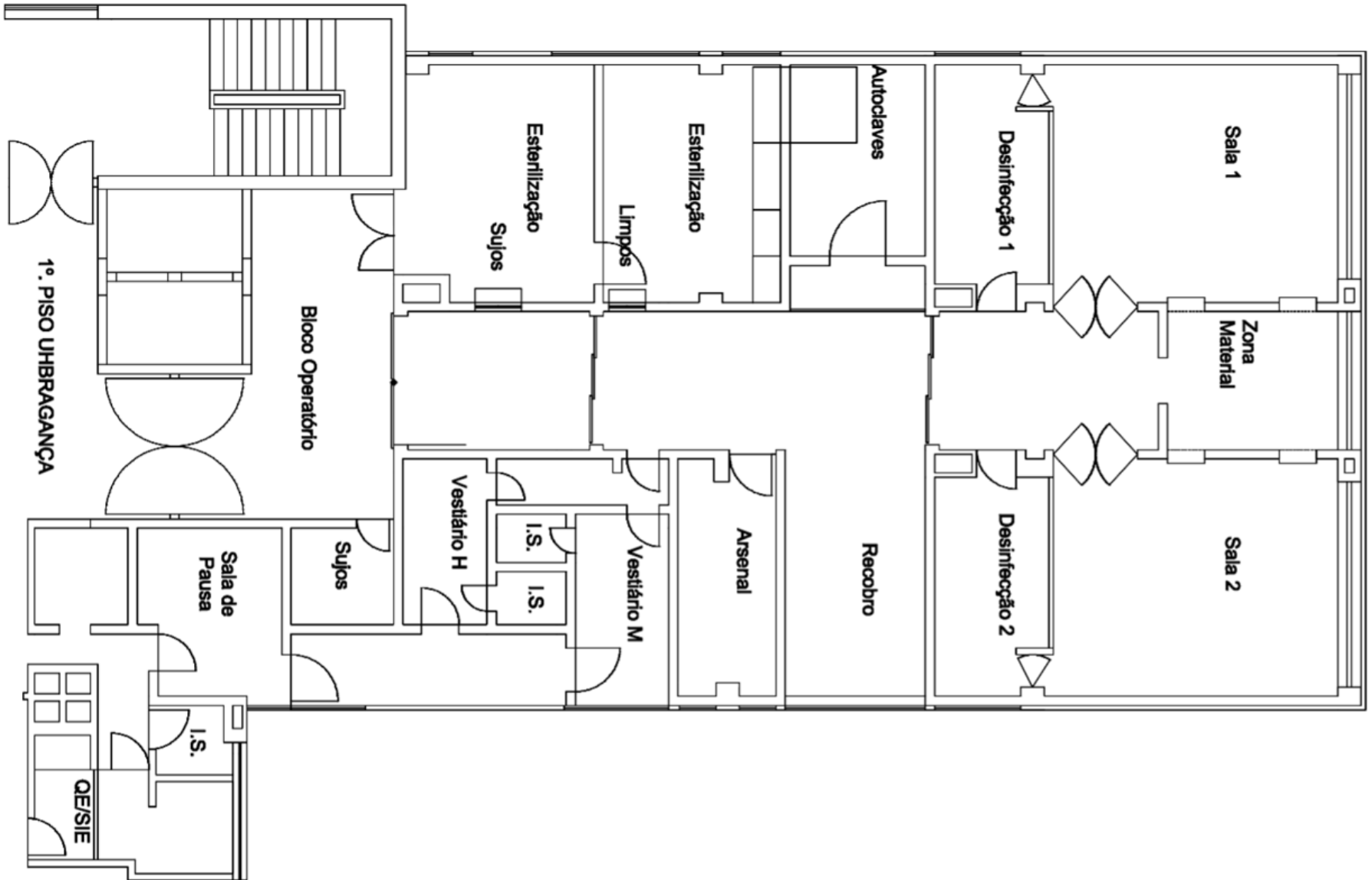
**Anexo B. Resultados do sequenciamento de bactérias e código de acesso na plataforma BLAST.**

<i>Espécie</i>	E-value	Identidade (%)	Código de acesso
<i>Pseudomonas</i> sp.	0	100	MH769552.1
<i>Staphylococcus</i> sp.	0	100	MK256255.1
<i>Bacillus circulans</i>	0	100	MG988229.1
<i>Bacillus</i> sp.	0	100	MF045089.1
<i>Pseudomonas psychrotolerans</i>	0	100	KY623077.1
<i>Pantoea</i> sp.	0	100	MK312601.1
<i>Micrococcus</i> sp.	0	97	MG815862.1
<i>Micrococcus luteus</i>	0	100	EU071593.1
<i>Bacillus pumilus</i>	0	100	MK640705.1
<i>Bacillus clausii</i>	0	99	KX156230.1
<i>Bacillus zhangzhouensis</i>	0	100	MK712418.1
<i>Bacillus subtilis</i>	0	100	MK660023.1
<i>Pseudomonas</i> sp.	0	100	MK572006.1
<i>Bacillus megaterium</i>	0	100	MG709235.1
<i>Bacillus licheniformis</i>	0	100	MK431497.1
<i>Staphylococcus</i> sp.	0	100	KX784912.1
<i>Bacillus</i> sp.	0	100	MK704289.1
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	0	100	KY194740.1
<i>Micrococcus yunnanensis</i>	0	100	MG996869.1

**Anexo C. Resultados do sequenciamento de fungos e código de acesso na plataforma BLAST.**

<b>Espécie</b>	<b>E-value</b>	<b>Identidade (%)</b>	<b>Código de acesso</b>
<i>Didymella</i> sp.	0,0	100	MK100199.1
<i>Rhodotorula mucilaginosa</i>	0,0	100	MK080558.1
<i>Cladosporium</i> sp.	0,0	100	MH102114.1
<i>Naganishia</i> sp.	0,0	100	MK690556.1
<i>Penicillium</i> sp.	0,0	100	MK643348.1
<i>Penicillium</i> sp.	0,0	100	MK643348.1
<i>Penicillium</i> sp.	0,0	100	KM063196.1
<i>Penicillium</i> sp.	0,0	100	LN901118.1
<i>Aspergillus</i> sp.	0,0	100	MF319897.1
<i>Cladosporium</i> sp.	0,0	100	MK605937.1
<i>Cladosporium ramotenellum</i>	0,0	100	MK267417.1
<i>Microsphaeropsis</i> sp.	0,0	100	KU900320.1
<i>Aspergillus</i> sp.	0,0	100	MK605985.1
<i>Naganishia</i> sp.	0,0	100	MK690556.1
<i>Penicillium</i> sp.	0,0	100	KF881755.1
<i>Aureobasidium pullulans</i>	0,0	100	MK299146.1
<i>Penicillium</i> sp.	0,0	100	MH879249.1
<i>Sarocladium</i> sp.	0,0	100	JQ649355.1
<i>Rhodotorula mucilaginosa</i>	0,0	100	MK263185.1
<i>Penicillium chrysogenum</i>	0,0	100	MK696383.1
<i>Penicillium chrysogenum</i>	0,0	100	MK643348.1
<i>Penicillium</i> sp.	0,0	100	MK643350.1
<i>Rhodotorula</i> sp.	0,0	100	MK226218.1
<i>Rhodotorula mucilaginosa</i>	0,0	100	MK192013.1
<i>Penicillium chrysogenum</i>	0,0	100	MH865988.1
<i>Penicillium</i> sp.	0,0	100	MK635003.1
<i>Penicillium digitatum</i>	0,0	100	MH864871.1
<i>Penicillium chrysogenum</i>	0,0	100	MH865988.1
<i>Penicillium</i> sp.	0,0	100	MH879249.1
<i>Cladosporium</i> sp.	0,0	100	MK690548.1
<i>Alternaria</i> sp.	0,0	99	LC440600.1
<i>Aureobasidium pullulans</i>	0,0	100	MK686043.1
<i>Aspergillus</i> sp.	0,0	100	MK131715.1
<i>Alternaria alternata</i>	0,0	100	MK713548.1
<i>Penicillium</i> sp.	0,0	100	MK635003.1
<i>Alternaria</i> sp.	0,0	100	MG020315.1
<i>Penicillium glabrum</i>	0,0	100	MK611771.1
<i>Filobasidium magnum</i>	0,0	100	MK690551.1

**Anexo D. Planta baixa do Bloco operatório e Serviço de esterilização.**



Anexo E. Diagrama de conforto térmico disponibilizado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET-Brasil).

