

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E CIÊNCIAS AMBIENTAIS

AURORA VIEIRA SANTOS LIMA

**DIAGNÓSTICO DAS CONDIÇÕES DA QUALIDADE DO AR INTERIOR,  
VENTILAÇÃO E CONFORTO TÉRMICO DE CONSULTÓRIOS ODONTOLÓGICOS  
EM ARACAJU**

São Cristóvão (SE)  
2025

AURORA VIEIRA SANTOS LIMA

**DIAGNÓSTICO DAS CONDIÇÕES DA QUALIDADE DO AR INTERIOR,  
VENTILAÇÃO E CONFORTO TÉRMICO DE ESTABELECIMENTOS  
ODONTOLÓGICOS DE ARACAJU**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. André Luis Dantas Ramos

Co-orientadora: Profa. Dra. Tatiana Pacheco Nunes

São Cristóvão (SE)  
2025

## AURORA VIEIRA SANTOS LIMA

DIAGNÓSTICO DAS CONDIÇÕES DA QUALIDADE DO AR INTERIOR,  
VENTILAÇÃO E CONFORTO TÉRMICO DE ESTABELECIMENTOS  
ODONTOLÓGICOS DE ARACAJU

Dissertação de Mestrado aprovada no Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia e Ciências Ambientais da Universidade Federal de Sergipe em 03  
de outubro de 2025

### BANCA EXAMINADORA:

Documento assinado digitalmente  
 ANDRE LUIS DANTAS RAMOS  
Data: 20/11/2025 12:45:54-0300  
Verifique em <https://validar.itd.gov.br>

---

Prof. Dr. André Luis Dantas Ramos  
(PPGECIA/UFS)

Documento assinado digitalmente  
 TATIANA PACHECO NUNES  
Data: 19/11/2025 15:24:56-0300  
Verifique em <https://validar.itd.gov.br>

---

Profa. Dra. Tatiana Pacheco Nunes  
(DTA/UFS)

Documento assinado digitalmente  
 CARLA FERNANDA BARBOSA TEIXEIRA  
Data: 25/11/2025 10:53:59-0300  
Verifique em <https://validar.itd.gov.br>

---

Profa. Dra. Carla Fernanda Barbosa Teixeira  
(DAU/UFS)

Documento assinado digitalmente  
 ITALO CESAR MONTALVAO GUEDES  
Data: 19/11/2025 10:03:55-0300  
Verifique em <https://validar.itd.gov.br>

---

Prof. Dr. Italo César Montalvão Guedes  
(PPGECIA/UFS)

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho à minha mãe, Lindiane Vieira Santos, ao meu pai, José Cláudio Lima, e ao meu padrasto, Nelson Conceição Santos, por todo o amor, incentivo e exemplo de força que sempre me inspiraram, como também a toda minha família. Estendo também essa dedicatória a todas as pessoas trans, que, com coragem e resiliência, transformam uma realidade muitas vezes marcada pela dureza em oportunidades de vida, dignidade e esperança.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu orientador, Prof. Dr. André Luis Dantas Ramos, pela orientação dedicada, pela paciência e pelas valiosas contribuições que enriqueceram esta pesquisa. À minha co-orientadora, Profa. Dra. Tatiana Pacheco Nunes, pelo acompanhamento constante, pelas sugestões sempre pertinentes e pelo incentivo ao meu crescimento acadêmico e pessoal.

Registro minha gratidão a João Victor, pelo apoio essencial na execução dos testes laboratoriais, e a Geovane, que compartilhou experiências e aprendizados durante o período do PIBIC, na mesma área desta pesquisa.

Agradeço ao Laboratório de Biotecnologia do Departamento de Alimentos da UFS, ao Laboratório de Análises Cromatográficas (LAC) da UFS, sob coordenação da Profa. Lisiane e do Prof. Diego, e ao Laboratório de Controle de Poluição Atmosférica do Departamento de Engenharia Ambiental, ao qual pertenço, por disponibilizarem estrutura, conhecimento e suporte técnico indispensáveis ao desenvolvimento deste trabalho.

À CAPES, pelo apoio financeiro por meio da concessão da bolsa de estudos, fundamental para a execução desta dissertação. Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais da UFS, pelo acolhimento e pela formação acadêmica proporcionada, e à secretaria Belaine, pelo apoio constante e pela atenção em todos os momentos necessários.

A todos os que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta pesquisa, deixo registrado o meu sincero agradecimento.

## RESUMO

A qualidade do ar interior em ambientes de saúde, especialmente em consultórios odontológicos, configura um desafio relevante devido ao risco de exposição a contaminantes biológicos e químicos em aerossóis. Este estudo teve como objetivo diagnosticar as condições de qualidade do ar em consultórios odontológicos públicos e privados de Aracaju-SE, considerando parâmetros microbiológicos, taxa de ventilação e conforto térmico. A metodologia envolveu medições de temperatura, umidade relativa e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), além da coleta de bioaerossóis (bactérias totais, fungos e Legionella) e de amostras de águas condensadas de sistemas de climatização, conforme normas nacionais e internacionais (ABNT NBR 17037:2023; ABNT NBR 7256:2021; ISO 11731:2017). A ventilação foi avaliada pelo método de decaimento de  $\text{CO}_2$  e o conforto térmico pelos índices PMV e PPD (ISO 7730:2005). Os resultados indicaram que, em termos de carga microbiana, a maioria dos consultórios atendeu aos limites normativos, mas o consultório C1 (P1) ultrapassou o valor de referência para bactérias mesófilas (512 UFC/m<sup>3</sup> frente ao limite de 500 UFC/m<sup>3</sup>), evidenciando maior risco em áreas próximas às cadeiras odontológicas. Para fungos, todos os ambientes apresentaram valores muito abaixo do limite de 750 UFC/m<sup>3</sup>, sem risco relevante. Quanto à ventilação, observou-se grande heterogeneidade: o C1 apresentou taxa de apenas 12,79 m<sup>3</sup>/h/pessoa, inferior ao exigido pela ABNT NBR 7256:2021, enquanto o C6 alcançou 96 m<sup>3</sup>/h/pessoa; porém, nenhum consultório atingiu os 126 m<sup>3</sup>/h/pessoa recomendados pela ANSI/ASHRAE 241:2023. De forma semelhante, em trocas de ar/hora (ACH), os ambientes não atenderam plenamente às referências da NBR 7256:2021 (2 ACH) e da ASHRAE 170 (3 ACH), confirmando insuficiência de renovação de ar em relação a padrões internacionais. No tocante ao conforto térmico, parte dos ambientes permaneceu dentro ou próximo da zona aceitável da ISO 7730, mas foram identificados extremos relevantes: C4 apresentou desconforto por calor (PMV = +1,10; PPD = 30,47%) e C6 por frio (PMV = -0,97; PPD = 24,68%). Esses achados demonstram que o cumprimento da faixa de temperatura prevista na NBR 7256:2021 (20–24 °C) não garante condições de conforto térmico adequadas. Em relação à Legionella, não foram encontradas colônias confirmadas, mas a interpretação deve ser cautelosa devido às limitações metodológicas, como contaminação fúngica das placas, ausência de cabine de biossegurança e número restrito de amostras, que reduzem a robustez da conclusão de ausência. Conclui-se que os consultórios avaliados apresentam inadequações significativas em termos de ventilação e conforto térmico, além de pontos críticos de contaminação bacteriana, reforçando a necessidade de manutenção preventiva dos sistemas de climatização, atualização da legislação brasileira, incluindo a carga de bactérias mesófilas como parâmetro de referência e adoção de planos de gestão de risco e monitoramento ambiental contínuo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ambientes climatizados; Ambientes de saúde; Bioaerossóis; Ambientes fechados; Conforto térmico.

## ABSTRACT

Indoor air quality in healthcare settings, particularly in dental offices, presents a significant challenge due to the risk of exposure to biological and chemical contaminants in aerosols. This study aimed to assess the air quality conditions in public and private dental offices in Aracaju, SE, considering microbiological parameters, ventilation rates, and thermal comfort. The methodology involved measurements of temperature, relative humidity, and carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ), in addition to the collection of bioaerosols (total bacteria, fungi, and Legionella) and condensed water samples from air-conditioning systems, in accordance with national and international standards (ABNT NBR 17037:2023; ABNT NBR 7256:2021; ISO 11731:2017). Ventilation was evaluated using the  $\text{CO}_2$  decay method, and thermal comfort was assessed using the PMV and PPD indices (ISO 7730:2005). The results indicated that, in terms of microbial load, most offices met regulatory limits; however, office C1 (P1) exceeded the reference value for mesophilic bacteria (512 CFU/m<sup>3</sup> versus the 500 CFU/m<sup>3</sup> limit), indicating higher risk in areas near dental chairs. For fungi, all environments presented values well below the limit of 750 CFU/m<sup>3</sup>, posing no significant risk. Regarding ventilation, considerable heterogeneity was observed: C1 had a rate of only 12.79 m<sup>3</sup>/h/person, below the requirement of ABNT NBR 7256:2021, while C6 reached 96 m<sup>3</sup>/h/person; however, no office met the 126 m<sup>3</sup>/h/person recommended by ANSI/ASHRAE 241:2023. Similarly, in terms of air changes per hour (ACH), the environments did not fully meet the references of NBR 7256:2021 (2 ACH) and ASHRAE 170 (3 ACH), confirming insufficient air renewal relative to international standards. Regarding thermal comfort, some environments remained within or close to the acceptable zone of ISO 7730, but relevant extremes were identified: C4 experienced heat discomfort (PMV = +1.10; PPD = 30.47%) and C6 experienced cold discomfort (PMV = -0.97; PPD = 24.68%). These findings demonstrate that merely complying with the temperature range specified in NBR 7256:2021 (20–24 °C) does not guarantee adequate thermal comfort conditions. Concerning Legionella, no confirmed colonies were found; however, interpretation should be cautious due to methodological limitations such as fungal contamination of plates, absence of a biosafety cabinet, and the limited number of samples, which reduce the robustness of the conclusion of absence.

It is concluded that the evaluated dental offices present significant inadequacies in terms of ventilation and thermal comfort, as well as critical points of bacterial contamination, reinforcing the need for preventive maintenance of air-conditioning systems, updates to Brazilian legislation including mesophilic bacterial load as a reference parameter, and the adoption of risk management plans and continuous environmental monitoring.

**KEYWORDS:** *Air-conditioned environments; Healthcare settings; Bioaerosols; Enclosed spaces; Thermal comfort.*

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Estudos sobre amostragem de bioaerossóis em diferentes ambientes.....	20
<b>Tabela 2:</b> Padrões de bactérias/fungos/aerodispersóides no ar.....	30
<b>Tabela 3:</b> Taxa de renovação de ar recomendadas por algumas organizações.....	31
<b>Tabela 4:</b> Caracterização da <i>legionella</i> .....	35
<b>Tabela 5:</b> Enumeração de fungos e bactérias dos consultórios analisados .....	54
<b>Tabela 6:</b> Medição de CO <sub>2</sub> no consultório 1.....	58

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Escala sétima da ASHRAE.....	23
<b>Figura 2:</b> Comparação entre ambientes condicionados artificialmente e ventilados naturalmente no modelo estatístico e adaptativo.....	25
<b>Figura 3:</b> Distribuição de casos legionários na União Europeia .....	34
<b>Figura 4:</b> Ciclo de vida e mecanismo de infecção da <i>Legionella pneumophila</i> .....	36
<b>Figura 5:</b> Mapa de localização de Aracaju.....	40
<b>Figura 6:</b> Localização dos consultórios.....	41
<b>Figura 7:</b> Consultórios odontológicos analisados (C1, C2, C3 e C6).....	43
<b>Figura 8:</b> Consultórios odontológicos analisados (C4 a C5).....	44
<b>Figura 9:</b> Procedimento para quantificação de <i>Legionella</i> segundo metodologia do CDC.....	46
<b>Figura 10:</b> Distribuição do CO <sub>2</sub> no consultório.....	47
<b>Figura 11:</b> Medidor digital de CO <sub>2</sub> .....	48
<b>Figura 12:</b> Colônias de bactérias e fungos do consultório C1 .....	52
<b>Figura 13:</b> Colônias de bactérias e fungos do consultório C2 .....	53
<b>Figura 14:</b> Placas de petri analisadas.....	64
<b>Figura 15:</b> Segundo teste em laboratório para <i>Legionella</i> .....	65
<b>Figura 16:</b> Aspectos das placas em crescimento bacteriano em meios BCYE (com cisteína) e BCYE (-) (sem cisteína) .....	66

## **LISTA DE GRÁFICOS**

<b>Gráfico 1:</b> Comparação das colônias amostradas com o padrão NBR 17037:2023...	54
<b>Gráfico 2:</b> Comparação de fungos amostrados com o padrão NBR 17037:2023.....	56
<b>Gráfico 3:</b> Comparação do decaimento de CO <sub>2</sub> nos seis consultórios.....	60
<b>Gráfico 4:</b> Análise de conforto térmico nos seis consultórios avaliados .....	62
<b>Gráfico 5:</b> Avaliação da correlação da taxa de ventilação x bactérias.....	67
<b>Gráfico 6:</b> Avaliação da correlação da taxa de ventilação x fungos.....	68

## **ANEXOS**

<b>Anexo A - Layout dos consultórios 1 e 2.....</b>	80
<b>Anexo B - Layout do consultório 3.....</b>	80
<b>Anexo C - Layout do consultório 4.....</b>	81
<b>Anexo D - Layout dos consultórios 5 e 6.....</b>	82

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**ACH:** *Air Changes per Hour* (Trocas de Ar por Hora)

**AGPs:** *Aerosol Generating Procedures* (Procedimentos Geradores de Aerossóis)

**ANSI/ASHRAE:** *American National Standards Institute/American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (Instituto Nacional Americano de Padrões/Normas Americanas de Aquecimento, Refrigeração e Engenharia de Ar-Condicionado)

**AVAC:** Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado

**ABNT NBR:** Associação Brasileira de Normas Técnicas - Norma Brasileira

**COVs:** Compostos Orgânicos Voláteis

**EPIs:** Equipamentos de Proteção Individual

**HEPA:** *High Efficiency Particulate Air* (Filtro de Ar de Partículas de Alta Eficiência)

**HVAC:** *Heating, Ventilation, and Air Conditioning*(Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado)

**MP2,5 e MP10:** Material Particulado de 2,5 micrômetros e 10 micrômetros, respectivamente

**nm:** Nanômetros

**NPIW:** *New Pneumonia Isolation Ward* (Ala de Isolamento de Nova Pneumonia)

**OMS:** Organização Mundial de Saúde

**PAHO:** *Pan American Health Organization*

**PMOC:** Plano de Manutenção, Operação e Controle

**PMV:** Predicted Mean Vote (Voto Médio Previsto)

**PPD:** *Predicted Percentage of Dissatisfied* (Percentual Previsto de Insatisfeitos)

**QAI:** Qualidade do Ar Interno

**RE:** Resolução de Especificação (da ANVISA)

**STPO:** Síndrome Tóxica do Pó Orgânico

**UFC/m<sup>3</sup>:** Unidades Formadoras de Colônia por Metro Cúbico

**µm:** Micrômetros

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	14
2. REVISÃO DA LITERATURA .....	17
2.1 Qualidade do Ar Interno .....	17
2.2 QAI em consultórios odontológicos .....	18
2.3 Ventilação em ambientes internos.....	22
2.4 Conforto térmico .....	24
2.5 Legislação pertinente .....	28
2.6 Bactéria <i>Legionella</i> .....	33
3. METODOLOGIA.....	40
3.1 Local de Estudo.....	40
3.2 Avaliação microbiológica .....	43
3.3 Caracterização física dos consultórios.....	42
3.4 Preparo dos meios de cultivo de fungos e bactérias.....	44
3.5 Preparo do ágar de <i>Legionella</i> e coleta da amostra para teste em laboratório ...	46
3.6 Avaliação da taxa de renovação de ar .....	47
3.7 Avaliação de Conforto Térmico .....	50
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	52
4.1 Enumeração microbiológica .....	52
4.2 Avaliação da taxa de ventilação .....	58
4.3 Avaliação de conforto térmico .....	62
4.4 Enumeração da <i>Legionella</i> .....	65
4.5 Correlação dos parâmetros .....	68
6.REFERÊNCIAS .....	74
ANEXOS.....	79

## **1. INTRODUÇÃO**

A saúde e o bem-estar dos funcionários e pacientes de estabelecimentos de saúde, especialmente nas consultórios odontológicos, é motivo de preocupação, visto que risco de contaminação infecciosa por aerossóis é elevado, devido aos procedimentos que utilizam materiais que dispersam os mesmos no ar. Isso ressalta os riscos associados à exposição a uma variedade de contaminantes químicos e biológicos (PAHO, 2023).

A temática ganhou ainda mais relevância após a pandemia da COVID-19, evidenciando a importância crítica da qualidade do ar interior na prevenção da propagação de doenças infecciosas. Sabe-se que os aerossóis podem transportar agentes infecciosos e permanecer suspensos no ar durante longos períodos, tornando essencial o desenvolvimento e a implementação de medidas eficazes de controle da qualidade do ar em ambientes de saúde, de acordo com recomendações de agências como a Organização Mundial da Saúde (OMS) e a Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS, 2023). Diante da necessidade urgente de melhorar as condições de exposição, especialmente em consultórios odontológicos, esta pesquisa incluirá investigações específicas, com diversos fatores motivando a sua execução.

A principal razão para isso é a proteção dos trabalhadores, bem como o bem-estar e a saúde dos pacientes. A exposição excessiva a substâncias químicas ou biológicas, como bactérias e fungos, pode representar riscos significativos tanto para os profissionais de saúde quanto para os pacientes. Nesse sentido, a gestão da qualidade do ar interior assume um papel fundamental, garantindo a segurança de todos por meio de estratégias eficazes de diagnóstico, monitoramento e para a melhoria da qualidade do ar.

Outra motivação é evitar a propagação de doenças infecciosas. Especialmente após uma pandemia da SARS-CoV-2 (COVID19), há uma preocupação crescente com a transmissão de patógenos por aerossóis. Além disso, é fundamental cumprir as normas e leis. A formulação de estratégias e políticas adequadas, alinhadas a esses regulamentos, representa um avanço significativo para garantir a segurança e a conformidade legal desses ambientes climatizados artificialmente.

Por fim, o presente estudo contribui para a ampliação do conhecimento científico sobre a qualidade do ar em ambientes de saúde. Especificamente uma investigação sobre os fatores que influenciam e a qualidade do ar nos consultórios odontológicos contribui para o avanço científico na área da qualidade do ar em ambientes internos.

## **OBJETIVOS**

### **Geral:**

- Diagnosticar as condições da qualidade do ar interno em consultórios odontológicos públicas e privadas em Aracaju-SE.

### **Específicos:**

- Monitorar a qualidade do ar, em especial o atendimento de padrões referenciais microbiológicos, envolvendo amostragem de bactérias totais, fungos e Legionella.
- Verificar a taxa de renovação do ar nos consultórios.
- Analisar as condições de conforto térmico dos consultórios.
- Correlacionar os parâmetros amostrados.

## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

A revisão da literatura tem como objetivo apresentar os fundamentos teóricos e estudos recentes relacionados à qualidade do ar interior em ambientes de saúde, com ênfase em consultórios odontológicos. Nesta seção são abordados aspectos da qualidade do ar interior, meios de transmissão de patógenos, ventilação em ambientes internos, conforto térmico para ambientes interiores climatizados e legislações aplicáveis aos temas.

### **2.1 Qualidade do Ar Interno**

A qualidade dos ambientes internos de estabelecimentos de saúde não é apenas uma questão de saúde, mas também de bem-estar dos funcionários e dos pacientes. Os funcionários passam grande parte do tempo dentro das instalações expostos a diversos tipos de poluentes químicos e biológicos (PAHO, 2023).

Várias questões afetam a Qualidade do Ar Interno (QAI) em estabelecimentos de saúde, como os materiais utilizados na construção do local, o sistema de ventilação e ar-condicionado, as variáveis ambientais (Ex: temperatura e umidade relativa), além das principais fontes de poluição nesses locais e contaminantes biológicos em aerossóis (Božić, 2019).

Algumas das fontes de poluição mais comuns incluem produtos de limpeza, carpetes, móveis, fungos, vírus e bactérias, que podem estar presentes em ambientes com mofo, além dos dutos de ar-condicionado e de taxas de ventilação exaustivas para diluir ou remover os poluentes (OPAS, 2023).

A questão da qualidade do ar interno se tornou ainda mais relevante após o período da pandemia de COVID-19 que assolou o mundo em 2020. Os aerossóis e gotículas se tornaram preocupantes por justamente transportar esses contaminantes biológicos por vias aéreas, podendo infectar as pessoas presentes no ambiente, levando ao questionamento se a taxa de ventilação era importante para diminuir as contaminações (Reis, 2023).

Pesquisadores enviaram cartas de recomendação à OMS, descrevendo que o vírus se propagava via aerossóis, encontrando vírus ativos em ambientes hospitalares por mais de 3 horas. Alguns estudos indicam que doenças respiratórias são disseminadas via aerossóis, elevando ainda mais a preocupação em ambientes de saúde (Sodiq *et al.*, 2021).

Os sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado -AVAC, muito utilizado também na sigla HVAC (do inglês *Heating, Ventilation and Air Conditioning*), são um ponto crítico em termos da QAI, por ser a porta de entrada da maior parte do ar circulado. A partícula potencialmente perigosa tem diâmetro aerodinâmico médio de 2,5 a 10 micrômetros e estas podem ser transportadas pelo ar, comparado a uma gota grande de água que varia de 50 a 100 micrômetros. O vírus SARS-CoV-2, por exemplo, possui diâmetro de 80 a 120 nm, sendo até 80 vezes menor que as partículas transportadas pelo ar, elevando a sensibilidade para os sistemas HVAC (Sodiq, 2021).

Poluentes químicos também são uma questão de preocupação em ambientes internos, sendo material particulado (MP) - subdividido em MP<sub>10</sub> (partículas com diâmetro aerodinâmico menor que 2,5 µm) e MP<sub>2,5</sub> (partículas com diâmetro aerodinâmico menor que 2,5 µm) -, Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) – em especial o formaldeído -, ozônio, monóxido de carbono e óxido nitroso, os mais comuns em estabelecimentos de saúde. Vale ressaltar que nem todos os poluentes são encontrados ao mesmo tempo, necessitando de análises químicas e biológicas para identificar quais poluentes estão presentes (PAHO, 2023).

## **2.2 QAI em consultórios odontológicos**

Após a pandemia de COVID-19, os procedimentos odontológicos foram classificados como de risco muito alto devido à alta possibilidade de transmissão de doenças por aerossóis, já que muitos procedimentos envolvem uso de spray de água, que pode ser misturado com sangue, saliva e demais fluidos dos pacientes, colocando em risco a equipe de saúde e outros pacientes que adentrarão à sala (Cocârtã *et al.*, 2020).

A OMS definiu alguns procedimentos da prática odontológica que mais dispersam bioaerossóis no ar, eles incluem: spray de ar/água de três vias, a limpeza dentária com escalador ultrassônico, assim como o polimento, para o tratamento periodontal com escalador ultrassônico e qualquer tipo de preparação dentária com peça de mão de alta ou baixa velocidade. Esses procedimentos são classificados como Procedimentos Geradores de Aerossóis ou *Aerosol-Generating Procedures - AGPs* (Fennelly *et al.*, 2022).

Robertson *et al.* (2022) definiram que os AGPs mais comuns incluem peças de mão de alta velocidade, seringas 3 em 1, escaladores sônicos/ultrassônicos e peças de mão cirúrgicas. Apesar dos documentos indicarem o uso desses AGPs em pessoas sem COVID-19, 21% das publicações são dos autores esclarecendo cuidados especiais, recomendando sua aplicação apenas em situações de urgência odontológica. Ademais, a fala, a tosse, a respiração e os espirros também são meios que dispersam aerossóis infecciosos no ar, esses meios são altamente perigosos quando acontecem surtos locais ou pandemias que chegam a afetar também a prática odontológica (Zemouri *et al.*, 2020).

Nos consultórios odontológicos, as doenças mais comuns transmitidas por aerossóis incluem a peste pneumônica, tuberculose, gripe, doença dos legionários e síndrome respiratória aguda grave. Os aerossóis possuem diâmetro menor que 50 µm que são suficientes para permanecer no ar por 3 horas (Harrel; Molinari, 2004). Além dessas doenças, Dutil *et al.* (2008) destacam que os bioaerossóis são partículas biológicas suspensas no ar, formadas total ou parcialmente por microrganismos vivos ou mortos e por seus subprodutos. Essas partículas podem incluir bactérias, fungos, vírus, esporos, pólen, fragmentos de células, endotoxinas e micotoxinas, entre outros componentes biológicos. Também podem ser responsáveis por condições alérgicas e respiratórias, como asma, rinite, alveolite alérgica e síndrome tóxica do pó orgânico (STPO).

Em 2024, o Brasil registrou 84.308 casos novos de tuberculose, correspondendo a um coeficiente de incidência de 39,7 casos por 100 mil habitantes, o que representa um aumento de 21% no período pós-pandemia de covid-19 (2020 a 2024). No mesmo período, o país contabilizou 6.025 óbitos por tuberculose em 2023, resultando em um coeficiente de mortalidade de 2,8 óbitos por 100 mil habitantes, com aumento de 3% em relação a 2022. A análise epidemiológica evidencia que, embora haja indícios de desaceleração na taxa de crescimento, o número de óbitos por TB aumentou 31,9% entre 2020 e 2023, alcançando patamares não observados desde 1999. Em 2023, os estados do Amazonas (5,1/100 mil hab.), Pernambuco (4,8/100 mil hab.) e Rio de Janeiro (4,6/100 mil hab.) apresentaram as maiores taxas de mortalidade, refletindo disparidades regionais significativas e desafios persistentes no enfrentamento da doença (Brasil, 2025).

Apesar dos avanços observados nos últimos anos, a tuberculose continua sendo um dos principais desafios de saúde pública no Brasil. Em 2023, a doença

voltou a ocupar o posto de principal causa de morte por um único agente infeccioso no mundo, superando a covid-19. Estima-se que 10,8 milhões de pessoas adoeceram por TB e 1,25 milhão morreram globalmente (WHO, 2024). O Brasil, junto com o Peru, figura entre os países das Américas com alta carga da doença, sendo o único a constar simultaneamente nas listas de alta carga de TB e TB-HIV da Organização Mundial da Saúde. Os determinantes sociais, como pobreza, condições habitacionais precárias, desnutrição e barreiras de acesso aos serviços de saúde, seguem influenciando fortemente a distribuição da doença. O governo brasileiro, por meio do Programa Brasil Saudável - Unir para Cuidar (Decreto nº 11.908/2024) e do Comitê Interministerial para a Eliminação da Tuberculose e Outras Doenças Determinadas Socialmente, tem intensificado esforços para eliminar a TB como problema de saúde pública até 2030, em alinhamento com a Agenda 2030 e as metas globais da OMS (Brasil, 2025).

A propagação aérea de aerossóis em consultórios odontológicos geralmente está misturada com saliva ou sangue dos pacientes, e os equipamentos de alta rotação dispersam aerossóis no ar, além de tosse, respiração e espirros (Thomé *et al.*, 2020). Os aerossóis infecciosos carregam os patógenos e permanecem no ar por tempo prolongado devido ao seu tamanho, sendo necessário uma taxa de ventilação adequada para diluir os contaminantes e diminuir a chance de causar infecções em humanos (Fennelly, 2020).

Em consultórios odontológicos, Mirhoseini *et al.* (2021) identificaram concentrações significativamente elevadas de bactérias e fungos próximos às cadeiras odontológicas, confirmando que os procedimentos clínicos são importantes fontes de bioaerossóis e reforçando a importância do controle ambiental nesses locais.

A qualidade microbiológica do ar é um fator essencial para garantir ambientes internos seguros, pois diversas atividades humanas, como falar, espirrar, tossir e se movimentar, assim como elementos presentes no local, incluindo alimentos, plantas, poeira e materiais de construção, liberam partículas biológicas no ar. Além disso, <sup>1</sup>condições ambientais, como temperatura, umidade relativa, taxa de troca de ar, ventilação e estrutura dos edifícios, influenciam diretamente o desenvolvimento de

---

<sup>1</sup> Swab é um termo em inglês que se refere a um instrumento semelhante a um cotonete, utilizado para a coleta de amostras biológicas em superfícies, mucosas ou equipamentos, com o objetivo de posterior análise microbiológica.

microrganismos, e o aumento da incidência de doenças respiratórias, como asma, infecções pulmonares e sintomas como tosse e chiado no peito. Dessa forma, compreender os níveis de bactérias e fungos em ambientes fechados, e dos fatores que os afetam, é fundamental para garantir a qualidade do ar e a saúde ocupacional (Hayleeyesus; Manaye, 2014).

Estudos têm abordado métodos de quantificação de microrganismos, como bactérias e fungos, em ambientes internos para avaliar a qualidade do ar e os riscos associados à saúde humana. A escolha do método depende das características do ambiente analisado e dos objetivos da pesquisa, podendo variar desde técnicas passivas de coleta de partículas em suspensão até métodos ativos mais sofisticados, como o uso de bioimpactadores. A Tabela 1 apresenta exemplos de estudos que empregaram diferentes métodos para avaliar microrganismos em ambientes distintos.

**Tabela 1:** Estudos sobre amostragem de bioaerosol em diferentes ambientes

Autor(es)/Ano	Tipo de ambiente	Método
HAYLEEYESUS,; MANAYE, 2014.	Biblioteca	Amostragem passiva por sedimentação
ANDUALEM <i>et al.</i> 2019.	Salas de aula	Amostragem passiva por sedimentação
ALEXANDRE BAUDET <i>et al.</i> , 2021.	Consultórios odontológicos	Swab <sup>1</sup> e placas e bioimpactador de 1 estágio

**Fonte:** Autora, 2024.

A Tabela 1 evidencia abordagens disponíveis para o monitoramento microbiológico em ambientes internos. De modo geral, essas abordagens podem ser classificadas em métodos passivos e métodos ativos, cada um com suas características específicas.

Os métodos passivos, como a sedimentação gravimétrica, baseiam-se na deposição natural de partículas no ar sobre superfícies ou meios de cultura, sem o uso de equipamentos que forcem o fluxo de ar. Já os métodos ativos utilizam equipamentos específicos, como bioimpactadores ou amostradores de ar, que forçam

a passagem de um volume conhecido de ar por um meio de cultura, capturando de forma mais eficiente os microrganismos presentes.

A escolha entre método passivo ou ativo deve considerar as particularidades do ambiente, os objetivos do estudo e as condições de ventilação e ocupação. A aplicação dessas técnicas em locais como bibliotecas, salas de aula e consultórios odontológicos reforça a importância de selecionar o procedimento mais adequado para garantir resultados representativos e eficazes.

### 2.3 Ventilação em ambientes internos

Dentro da hierarquia da QAI, a ventilação está em um patamar inferior à redução dos contaminantes na fonte, mas muitas vezes se mostra eficaz no sentido de diminuir a concentração dos poluentes, sejam químicos e biológicos, através da diluição. Esses poluentes, quando não diluídos, podem causar infecções por aerossóis e a deposição em superfícies que posteriormente podem contaminar humanos (Hiwar *et al.*, 2022).

Uma metodologia eficaz para avaliar a ventilação envolve o uso de modelos baseados nos níveis de CO<sub>2</sub> no estado estacionário. A taxa de ventilação, em trocas de ar por hora (*Air Change per Hour - ACH*), pode ser estimada pela Equação 1 (Huang *et al.*, 2021).

$$ACH_{ss} = 6 \times 10^4 n G_p / [V(C_{ss} - C_R)] \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

- $n$  é o número de pessoas na sala.
- $G_p$  é a taxa média de geração de CO<sub>2</sub>.
- $V$  é o volume da sala em metros cúbicos (m<sup>3</sup>).
- $C_{ss}$  é nível de CO<sub>2</sub> interno em estado estacionário em ppm.
- $C_R$  é o nível de CO<sub>2</sub> externo

Esta fórmula foi aplicada no estudo de HUANG (2021) para calcular as taxas de ventilação durante procedimentos odontológicos em consultórios com diferentes condições de ventilação. Dois valores para  $G_p$  foram utilizados, 0,30 L/min e 0,46 L/min, baseados em dados da literatura sobre geração de CO<sub>2</sub> por seres humanos em repouso e em atividade leve, respectivamente (Batterman, 2017). Isso permitiu avaliar o efeito da taxa de geração de CO<sub>2</sub> nos cálculos de ventilação. Os resultados

mostraram que os valores encontrados de trocas de ar – ACH correlacionaram-se bem com a de ventilação mecânica medida diretamente, especialmente para ambientes com baixa taxa de troca de ar (abaixo de 6 ACH), sendo mais preciso com  $G_p=0,30$  L/min nesse cenário (Huang *et al.*, 2021).

Em seu estudo, Hiwar *et al.* (2022) chegaram à conclusão de que uma taxa de ventilação ideal para reduzir aerossóis no ar foi de 6 ACH, mantendo uma concentração de  $\pm 350$  ufc/m<sup>3</sup>, enquanto com 3 ACH, a quantidade presente de microrganismos era superior, chegando a  $\pm 565$  ufc/m<sup>3</sup>. Isso indica que o aumento da taxa de ventilação em ambientes internos pode reduzir os riscos de infecção por aerossóis.

Durante a pandemia de COVID-19, a OMS alertou aos profissionais de saúde, especialmente da odontologia, que o uso de EPIs deve ser integrado a uma boa taxa de ventilação em seus consultórios. Os Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) são barreiras físicas que protegem os profissionais dos respingos e da inalação de aerossóis infecciosos. Além disso, a ventilação pode ser utilizada de forma artificial (ventilação mecânica) ou natural, abrindo as janelas entre um atendimento e outro para diluir a concentração de aerossóis dentro da sala, e salas com pressão negativa apresentam uma boa efetividade na redução de contaminação (Yue, 2020).

Por outro lado, Mohammadi *et al.* (2023) dizem que aumentar a taxa de ventilação nem sempre reduz o risco de infecção, a taxa de ventilação deve ser conforme a necessidade do ambiente e pode ser aliada a outras medidas eficazes para diluir os aerossóis, como distância da fonte de disseminação de aerossóis e tipos de projeto de engenharia que permitam uma maior taxa de ventilação nestes ambientes.

Alguns controles de engenharia citados por Dey *et al.* (2023) incluem aumentar a taxa de ventilação, utilizar unidades portáteis de filtragem de partículas de alta eficiência, conhecidos como filtros HEPA, e dispositivos de sucção extra-orais, também conhecidos como ventilação localizada, porém os autores ressaltam que esses controles ainda não são universalmente utilizados.

Apesar do uso de sistemas de filtragem HEPA ser uma prática recomendada, Santos e Hasslocher-Moreno (2024) observaram que sua eficácia depende diretamente da manutenção e do planejamento adequado do sistema, visto que

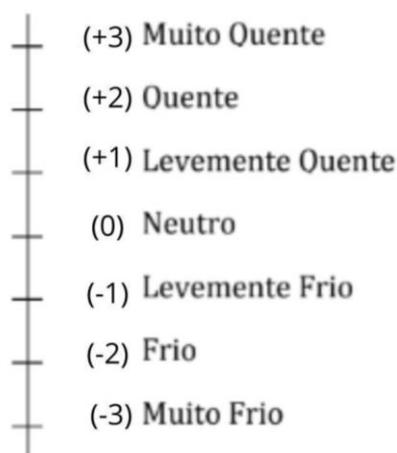
identificaram concentrações microbianas elevadas mesmo em ambientes hospitalares com essa tecnologia.

## 2.4 Conforto térmico

Segundo a ANSI/ASHRAE 55 (2010, p. 5), o conforto térmico é definido como “aquele condição mental que expressa satisfação com o ambiente térmico e é avaliada por meio de avaliação subjetiva”. O conforto térmico pode ser avaliado por diferentes índices, entre os quais se destacam o PMV (Predicted Mean Vote) e o PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied), definidos pela norma ISO 7730, que consideram variáveis ambientais e pessoais para estimar a sensação térmica média e o percentual de insatisfeitos no ambiente (Yüksel *et al.*, 2021).

A percepção térmica dos indivíduos é essencial para a análise do conforto térmico em ambientes internos. Um dos métodos mais consagrados para essa avaliação é a escala de sete pontos da ASHRAE vista na Figura 1, também conhecida como escala de Fanger. Essa metodologia, amplamente empregada em estudos de conforto térmico, permite a quantificação subjetiva das sensações térmicas dos ocupantes, variando de "muito frio" (-3) a "muito quente" (+3). A seguir, apresenta-se a representação da escala séptima, que continua sendo utilizada em estudos para determinar o conforto térmico em diferentes condições ambientais.

**Figura 1:** Escala séptima da ASHRAE



Fonte: Adaptado de Antônio *et al.*, 2016

A aplicação da escala de sete pontos possibilita a obtenção de dados subjetivos que, combinados com parâmetros ambientais objetivos, como temperatura, umidade relativa e velocidade do ar, fornecem uma visão abrangente do conforto térmico. Essa

abordagem é especialmente relevante em ambientes como consultórios odontológicos, onde o bem-estar térmico dos profissionais e pacientes é crítico para a produtividade e saúde. Além disso, a simplicidade da escala permite sua aplicação prática em diversos estudos, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias de otimização do conforto térmico em espaços fechados.

Fanger (1970) desenvolveu um modelo estático através de câmaras climatizadas na Dinamarca, com o auxílio de pessoas que responderam um questionário dando nota numa escala de até 7 pontos. Nessa pesquisa ele introduziu o PMV e o PPD para avaliar o índice de conforto térmico. O método é previsto também na ISO 7730 (1994) e é validado pela mesma (Reis, 2023), no geral, as normas recomendam manter o PMV entre -0,5 e + 0,5 e o PPD abaixo de 10%, que indica que o ambiente está confortável termicamente

Ma *et al.* (2023) examinaram a percepção térmica dos profissionais de saúde em Ningbo, China. A pesquisa trabalhou com dados coletados no recorte temporal de dezembro de 2021 a novembro de 2022 e centrou-se principalmente no conceito de temperatura ideal, revelando uma preferência entre os profissionais por ambientes mais frescos, especialmente em ambientes médicos privados. Para melhor alinhar-se às preferências desses indivíduos, foram formulados modelos adaptativos para modificar os níveis de conforto térmico. O estudo concluiu que os atuais modelos adaptativos podem não refletir com precisão a experiência térmica dos profissionais de saúde, embora os resultados estejam alinhados com as diretrizes aplicáveis para a construção de estruturas de saúde.

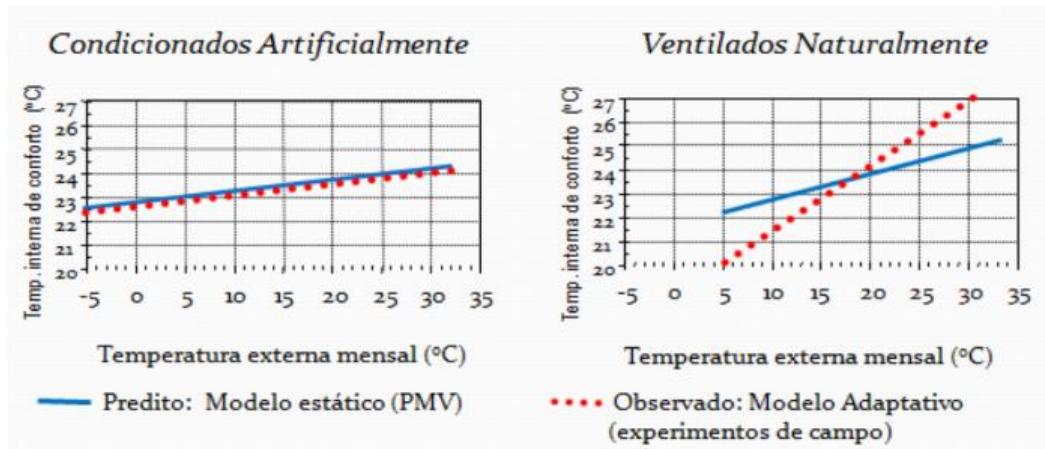
Em contraste com os modelos estáticos, os modelos adaptativos de conforto térmico partem do princípio de que os indivíduos não reagem de forma passiva ao ambiente térmico, mas se ajustam constantemente às condições ao seu redor. Esses ajustes podem ser comportamentais (como abrir janelas ou trocar de roupa), fisiológicos (como a aclimatação ao calor), ou psicológicos (como expectativas baseadas no clima típico da região). Dessa forma, o conforto térmico não depende apenas de variáveis fixas, mas também da interação dinâmica entre as pessoas e o ambiente, especialmente em locais com ventilação natural.

Nesse contexto, Humphreys (1979) foi um dos primeiros pesquisadores a formalizar o modelo adaptativo, ao observar que os resultados obtidos em câmaras climatizadas muitas vezes não condiziam com as sensações térmicas relatadas em ambientes naturalmente ventilados. Ele também destacou que a aceitação térmica

tende a ser mais flexível em regiões onde há maior variação climática, já que os indivíduos desenvolvem uma tolerância mais ampla às mudanças de temperatura.

Humphreys (1979) identificou duas razões principais para o crescente interesse pelo modelo adaptativo. A primeira está relacionada à constatação de que os resultados obtidos em ambientes controlados, como câmaras climatizadas, frequentemente não coincidem com as sensações térmicas observadas em ambientes naturalmente ventilados. A segunda razão é que as pessoas, na maioria das vezes, aceitam uma faixa de temperaturas muito mais ampla do que o modelo racional de conforto térmico propõe, pois estão acostumadas às condições climáticas locais. Essa adaptação ao ambiente leva a uma percepção de conforto térmico que vai além da temperatura interna do ambiente, incorporando fatores como a temperatura externa, a estação do ano e o contexto social. A Figura 2 apresenta gráficos comparativos entre os modelos, estático e adaptativo, para ambientes condicionados artificialmente e ventilados naturalmente.

**Figura 2:** Comparação entre ambientes condicionados artificialmente e ventilados naturalmente no modelo estático e adaptativo, respectivamente.



Fonte: Antônio et al, 2016.

Os resultados apresentados nos gráficos da Figura 2, destacam diferenças significativas entre os ambientes condicionados artificialmente e os ventilados naturalmente. Enquanto o modelo estático (PMV) prevê uma temperatura interna de conforto praticamente constante em ambientes climatizados, o modelo adaptativo reflete a influência direta da temperatura externa nos ambientes ventilados naturalmente.

O modelo adaptativo também considera os diversos mecanismos de adaptação que o corpo humano utiliza para lidar com as variações térmicas. Estes mecanismos podem ser divididos em ajustes comportamentais, fisiológicos e psicológicos. Os ajustes comportamentais incluem mudanças conscientes ou inconscientes, como a escolha de roupas, a prática de atividades ou a alteração de condições ambientais (como abrir janelas ou usar ventiladores). Já os ajustes fisiológicos envolvem adaptações no sistema termorregulador do corpo, como a aclimatação, que ocorre ao longo do tempo, permitindo que o organismo se ajuste às variações térmicas. Por fim, os ajustes psicológicos referem-se à percepção das condições térmicas e à adaptação mental do indivíduo às condições ambientais, considerando suas expectativas e experiências anteriores (Antônio et al, 2016).

A avaliação do conforto térmico realizada por Zhang et al. (2024) produziu resultados relevantes. Eles recomendam manter a temperatura do ar fornecida ao NPIW (*negative pressure isolation wards* ou Enfermarias de Pressão Negativa) de Tianjin entre 24 e 26°C durante o verão. O ajuste da temperatura do ar fornecido para 24°C quando a ACH aumentou resultou em pacientes com uma leve sensação de frio devido aos sistemas CSCR (*Ceiling Supply Floor Return* ou Fornecimento pelo Teto e Retorno pelo Chão) e ACV (*Air Curtain Ventilation* ou Ventilação com Cortina de Ar). Entre as diversas opções de ventilação, os sistemas HVAC revelam-se os mais vantajosos, principalmente quando regulados nos 10 ACH recomendados e com uma temperatura do ar fornecido de 26°C. Este *design* otimizado não só prioriza o conforto do paciente e a segurança dos profissionais de saúde no NPIW, mas também aumenta a eficiência energética. Estas descobertas oferecem informações valiosas para o desenvolvimento de especificações de projeto para NPIWs hospitalares, contribuindo, em última análise, para a melhoria das instalações de saúde.

A pesquisa realizada por Yüksel et al. (2021) enfatiza a importância das estratégias passivas, como ventilação cruzada e sombreamento, na melhoria do conforto térmico. Esta noção levanta a questão: estas soluções deveriam ser mais exploradas e pesquisadas? No entanto, o estudo também destaca a necessidade de examinar diferentes modelos para avaliar o conforto térmico, incluindo PMV/PPD e modelos adaptativos, uma vez que estas investigações impactam diretamente a eficácia das recomendações operacionais do projeto para ar-condicionado nos ambientes internos.

A escolha do método estático de Fanger para este presente estudo é baseada na robustez e na ampla utilização dessa abordagem em estudos e normativas relacionadas ao conforto térmico e pelo fato que praticamente todos os consultórios odontológicos são condicionados artificialmente, onde se espera que o modelo estático preveja bem o conforto térmico dos ocupantes. O modelo PMV é amplamente reconhecido e utilizado como referência, principalmente em ambientes climatizados, devido à sua capacidade de considerar variáveis fisiológicas e ambientais, como temperatura, umidade, velocidade do ar e roupas, para prever o conforto térmico de forma quantitativa. Essa abordagem é particularmente adequada para ambientes condicionados artificialmente, onde as condições internas são controladas de forma precisa e independente do clima externo. Além disso, a escolha permite uma comparação clara com o modelo adaptativo, destacando diferenças metodológicas e práticas entre as estratégias de conforto térmico.

## **2.5 Legislação pertinente**

A legislação brasileira sobre qualidade do ar interior em ambientes climatizados vem sendo construída ao longo das últimas décadas, a partir da crescente preocupação com os impactos da má ventilação sobre a saúde ocupacional e pública.

O marco inicial foi a Portaria n.º 3.523/1998, do Ministério da Saúde, que estabeleceu diretrizes para garantir a manutenção preventiva e corretiva dos sistemas de climatização, por meio da obrigatoriedade de um Plano de Manutenção, Operação e Controle (PMOC). A portaria enfatizava que todos os edifícios de uso público e coletivo com ar-condicionado deviam manter um PMOC atualizado para minimizar riscos à saúde dos ocupantes (BRASIL, 1998). A Portaria 3.523/1998 no seu Art. 6º destaca que:

Implantar e manter disponível no imóvel um Plano de Manutenção, Operação e Controle - PMOC, adotado para o sistema de climatização. Este Plano deve conter a identificação do estabelecimento que possui ambientes climatizados, a descrição das atividades a serem desenvolvidas, a periodicidade das mesmas, as recomendações a serem adotadas em situações de falha do equipamento e de emergência, para garantia de segurança do sistema de climatização e outros de interesse, conforme especificações contidas no Anexo I deste Regulamento Técnico e NBR 13971/97 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (BRASIL, 1998,p.1.).

O avanço mais significativo veio com a Lei Federal nº 13.589/2018, que tornou obrigatório o PMOC em todos os edifícios públicos e coletivos com climatização artificial, incorporando exigências mais rígidas quanto ao controle da qualidade do ar. A lei reforça a importância do cumprimento das normas técnicas vigentes e da vigilância contínua da carga microbiológica do ar (BRASIL, 2018). A lei nº 13.589/2018 estabelece que:

Todos os edifícios de uso público e coletivo que possuem ambientes de ar interior climatizado artificialmente devem dispor de um Plano de Manutenção, Operação e Controle – PMOC dos respectivos sistemas de climatização, visando à eliminação ou minimização de riscos potenciais à saúde dos ocupantes (BRASIL, 2018, p.1 ).

Esta lei nº 13.589/2018 ainda cita que o PMOC deve atender aos padrões de qualidade do ar para ambientes climatizados artificialmente, atentando-se especialmente aos poluentes de natureza biológica, química e física (BRASIL, 2018).

Mais recentemente, a Norma ABNT NBR 7256:2021 atualizou e ampliou os requisitos técnicos para sistemas de tratamento de ar em estabelecimentos de saúde, incluindo parâmetros de filtragem, renovação de ar e controle de contaminantes microbiológicos. Esta norma é voltada especialmente para ambientes hospitalares, como centros cirúrgicos, UTIs e consultórios, onde a qualidade do ar é um fator crítico para a prevenção de infecções (ABNT, 2021).

A Norma ABNT NBR 17037 (ABNT, 2023) atualizou a Resolução 09/2003 da ANVISA e preencheu várias lacunas em termos de recomendações para a qualidade do ar interno. Ela estabelece padrões de referência de qualidade do ar interior em ambientes não residenciais climatizados artificialmente, como no caso de estabelecimentos de saúde, principalmente consultórios odontológicos, que é o foco principal desta revisão bibliográfica, e delimitar valores máximos para concentrações de poluentes químicos e biológicos. A Resolução – RDC N° 886, de 10/07/2024, revogou as normas anteriores editadas pela ANVISA nesta área (Ex: Resolução 09/2003), tornando a Norma NBR 17037/2023 referência para padrões de qualidade do ar interno.

Além das normas brasileiras, também é fundamental considerar referências internacionais que complementam e enriquecem a base normativa sobre qualidade do ar e conforto ambiental em ambientes internos.

Em termos de legislação e normas internacionais, é importante citar a norma ANSI/ASHRAE 241 (2023), que estabelece requisitos mínimos para controle de aerossóis infecciosos e técnicas para reduzir as infecções. A norma ainda define alguns requisitos para projeto, instalação, comissionamento, operação e manutenção de sistemas de filtração, ventilação e purificação de ar, visando reduzir as infecções.

A norma ISO 7730:2005, da Organização Internacional de Normalização (ISO), estabelece os critérios para o conforto térmico em ambientes internos, com base no modelo preditivo de Fanger. Ela define os índices PMV (*Predicted Mean Vote*) e PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*) como parâmetros para avaliar a percepção térmica dos ocupantes. Essa norma é amplamente utilizada em ambientes climatizados artificialmente, como consultórios, por permitir o controle preciso das condições térmicas e ajudar a garantir o conforto dos usuários (ISO, 2005).

Já a norma ANSI/ASHRAE 62.1:2022, da *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE), é uma das referências internacionais mais respeitadas no que se refere à ventilação para qualidade aceitável do ar interior. Essa norma define taxas mínimas de ventilação para diferentes tipos de edificações, incluindo ambientes de saúde, levando em conta fatores como ocupação, área do ambiente e tipo de atividade realizada. Ela também traz recomendações sobre controle de contaminantes, filtragem e renovação do ar, servindo como parâmetro técnico para projetos e diagnósticos de sistemas de climatização (ASHRAE, 2022).

Os contaminantes fazem um caminho desde a fonte até o receptor, para isso ela precisa de alguma força motriz que movimenta esses poluentes até o paciente, neste caso, a fonte por si só não significa um problema de QAI. O sistema HVAC é o principal agente que faz recircular os contaminantes pelos ambientes internos (PAHO, 2023).

Conforme a NBR 17037 (ABNT, 2023), o Aerossol “é um conjunto de partículas suspensas no ar” (ABNT, 2023, p. 1), que pode estar em forma sólida ou líquida. Os aerossóis podem carregar os fungos e bactérias contaminantes por vias aéreas, sendo necessário estabelecer padrões para estes poluentes biológicos.

A Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA) destaca que PMOC “É o conjunto de documentos onde constam todos os dados da edificação, do sistema de climatização, do responsável técnico, bem como procedimentos e rotinas de manutenção comprovando sua execução” (ABRAVA, p. 195, 2019).

A resolução RE 09 (2003) da ANVISA, determinava alguns padrões referenciais para qualidade do ar interior em ambientes artificialmente climatizados (Vale ressaltar que esta resolução foi revogada pela norma ABNT NBR 17037:2023). O Valor Máximo Recomendável (VMR) para contaminação microbiológica é estabelecido em 750 ufc/m<sup>3</sup> de fungos, com base em uma relação entre a quantidade de fungos no ambiente interior (I) e no ambiente exterior (E), representada pela equação I/E = 1,5. Caso o VMR seja ultrapassado ou se a relação I/E for maior que 1,5, é necessário realizar um diagnóstico das fontes poluentes presentes no ambiente para identificar a necessidade de intervenção, os valores, tanto da RE 09:2002 quanto da NBR 17037:2023, encontram-se na Tabela 2.

**Tabela 2 - Padrões de bactérias/fungos/aerodispersóides no ar**

Organização	Tipo	Padrões
RE 09 (2003)	fungos	750 ufc/m <sup>3</sup>
ABNT NBR 17037 (2023)	Fungos/bactérias mesófilas	750 ufc/m <sup>3</sup> e 500 ufc/m <sup>3</sup> Respectivamente
RE 09 (2003)	aerodispersóides	80 µg/m <sup>3</sup>

Fonte: A autora, 2024.

Já para aerodispersóides, a NBR 17037:2023, destaca que serve como indicador do grau de pureza do ar e limpeza do ambiente climatizado. Para a taxa de ventilação ideal em ambientes artificialmente climatizados, a RE 09 (2003) trazia uma taxa de ventilação mínima adequada e a ANSI/ASHRAE 241 (2023) traz outra taxa para controle de aerossóis infecciosos.

**Tabela 3** - Taxa de renovação de ar recomendadas por algumas organizações

Legislação	Trocas por horas $T (h^{-1})$	Taxa de renovação de ar recomendada
ANVISA 09 (2003)	-	27m <sup>3</sup> /h/pessoa
ABNT NBR 7256 (2021)	2	-
ASHRAE 62.1 (2019)	-	5L/s/pessoa (18 m <sup>3</sup> /h/pes)
ANSI/ASHRAE 170 (2021)	3	5 L/s/pessoa (18 m <sup>3</sup> /h/pes)
ANSI/ASHRAE 241 (2023)	-	35L/s/pessoa (126 m <sup>3</sup> /h/pes)

Fonte: A autora, 2024.

No âmbito internacional, duas normas da American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) destacam-se por sua relevância para a qualidade do ar em ambientes internos. A ANSI/ASHRAE 170:2021 – Ventilation of Health Care Facilities, publicada em 2021, estabelece requisitos técnicos específicos para estabelecimentos de saúde, incluindo taxas mínimas de renovação de ar, critérios de pressurização, filtragem e diretrizes de projeto voltadas à prevenção da transmissão de agentes infecciosos. Já a ANSI/ASHRAE 62.1:2019 – Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, editada em 2019, apresenta diretrizes gerais de ventilação aplicáveis a diferentes tipos de edificações, com foco na determinação das taxas mínimas de ar exterior por ocupante, no controle de contaminantes e na garantia da qualidade aceitável do ar interior. Essas normas complementam a legislação nacional ao oferecerem parâmetros técnicos que reforçam a importância da ventilação adequada como medida de saúde pública e ocupacional.

Levando em consideração a utilização de CO<sub>2</sub> como gás de avaliação de taxa de ventilação em ambientes internos, no estudo de Cui et al. (2014), a utilização do método de decaimento da concentração do gás traçador CO<sub>2</sub> é abordada como uma técnica eficiente para medir a taxa de renovação do ar em ambientes internos. O CO<sub>2</sub>, um dos principais produtos da respiração humana, é comumente empregado como indicador do grau de ventilação, pois sua concentração no ar tende a aumentar conforme a quantidade de pessoas presentes em um espaço fechado, especialmente em locais com baixa renovação de ar.

O método proposto pelos autores é baseado na medição da redução da concentração de CO<sub>2</sub> ao longo do tempo, o que permite calcular a taxa de renovação do ar de maneira precisa e confiável. A técnica é amplamente aplicada em estudos de qualidade do ar interior, uma vez que a correta renovação do ar é fundamental para a manutenção de condições adequadas de conforto e saúde dos ocupantes. Segundo CUI et al. (2014), o monitoramento da concentração de CO<sub>2</sub> pode fornecer uma avaliação direta da eficiência dos sistemas de ventilação em espaços fechados, sendo uma ferramenta essencial para o controle de ambientes internos, como escritórios, escolas e hospitais.

## 2.6 Bactéria *Legionella*

Uma bactéria que merece destaque pela alta taxa de letalidade é a *Legionella pneumophila*. A mortalidade da doença do legionário, sua forma mais grave, varia entre 7% e 25%, dependendo das características imunológicas dos pacientes. O primeiro caso documentado de infecção por *Legionella* ocorreu em 1968, afetando funcionários e pacientes do Departamento de Saúde em Pontiac, Michigan. Este caso foi significativo, pois representou a descoberta inicial da *Legionella* como uma causa de doença em humanos, apresentando sintomas respiratórios. A doença se mostrou mais branda, sem pneumonia ou morte, sendo denominada de "Febre de Pontiac". Embora menos grave que outros casos de legionelose, a alta taxa de infecção entre os trabalhadores da saúde (95%) sugeriu que o patógeno era transmitido pelo ar via aerossóis infecciosos (Talapko et al., 2022).

No Brasil, a presença da *Legionella pneumophila* tem recebido atenção crescente devido à ocorrência de casos pontuais e à escassez de estudos sistemáticos sobre a bactéria em sistemas prediais de água. De acordo com o Conselho Federal de Química (2021), foram registrados episódios de contaminação e surtos associados à bactéria em diferentes estados brasileiros, especialmente em ambientes com sistemas de climatização e reservatórios de água quente e fria. A entidade destaca a importância de discussões técnicas e da atualização das normas nacionais relacionadas à detecção e controle da *Legionella*, considerando o risco de proliferação em torres de resfriamento, chuveiros e equipamentos odontológicos. O CFQ também ressalta que a subnotificação e a ausência de protocolos padronizados dificultam a avaliação da real incidência da bactéria no país, reforçando a necessidade

de vigilância e de regulamentações específicas voltadas à prevenção dessa contaminação ambiental.

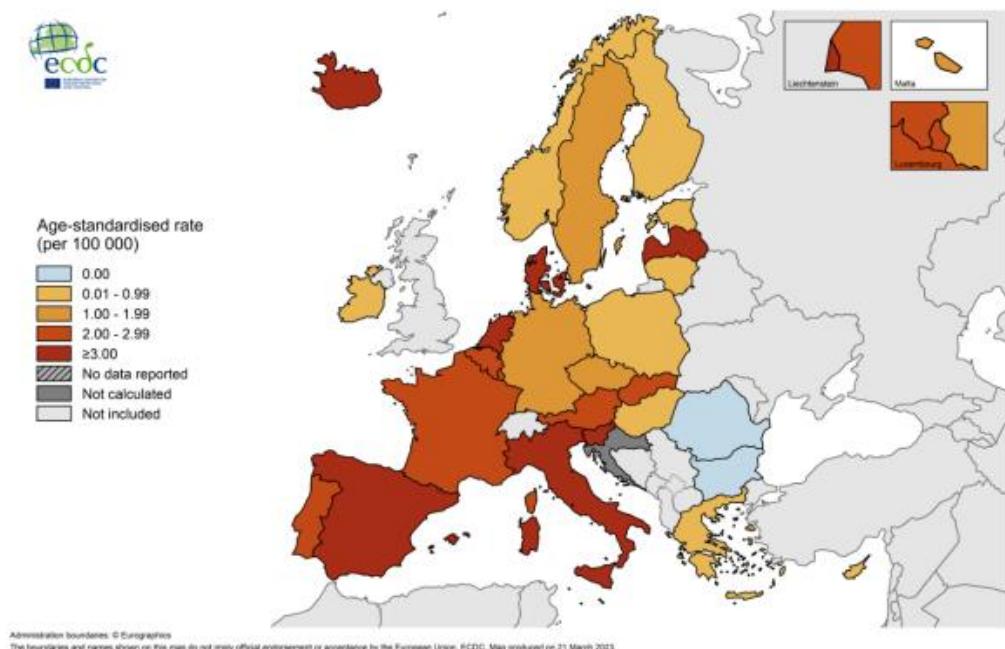
Dados recentes da Ecolab (2025) indicam que, no Brasil, aproximadamente 15% das amostras de sistemas de água analisadas apresentaram resultado positivo para a presença de *Legionella pneumophila*. A empresa reporta que dentre os estados com maior incidência estão o Distrito Federal (27 %) e Minas Gerais (7 %), seguidos por Paraná e São Paulo (ambos 5 %). Ressalta-se que a doença causada pela bactéria não faz parte da lista de notificação obrigatória no país, o que contribui para subnotificação e dificuldade de mensuração do real impacto epidemiológico da legionelose no contexto nacional. (trazer nbr)

De acordo com Pareek et al. (2025), observa-se um aumento expressivo na incidência global da Doença dos Legionários nos últimos anos, com destaque para o ano de 2024, quando foram relatados diversos surtos em diferentes continentes. Na Austrália, especificamente na região de Laverton North, em Melbourne, ocorreram 114 casos e 2 óbitos, associados a uma torre de resfriamento contaminada. Na Itália, na região da Lombardia, foram registrados 53 casos e 4 óbitos até agosto de 2024, sugerindo falhas na manutenção dos sistemas prediais de água. No Reino Unido, até setembro do mesmo ano, 30 casos e 2 óbitos foram confirmados na cidade de Londres. Situações semelhantes foram descritas nos Estados Unidos, com 10 casos e 3 óbitos em Albany, Nova Iorque, e um agrupamento de 9 casos em Gaston County, Carolina do Norte. Casos também foram relatados na Ásia, como em Hong Kong, onde se confirmaram 2 ocorrências comunitárias, e na Nova Zelândia, que contabilizou 108 casos até setembro de 2024. Segundo os autores, esses surtos evidenciam uma tendência global de crescimento dos casos de legionelose, impulsionada por fatores como falhas na vigilância ambiental, manutenção inadequada de sistemas de climatização e aumento das temperaturas médias globais, condições que favorecem o desenvolvimento e disseminação de *Legionella pneumophila*. Tal cenário reforça a necessidade urgente de protocolos de monitoramento e prevenção contínuos, especialmente em sistemas prediais de água e ar-condicionado, a fim de reduzir o risco de novos surtos e proteger populações vulneráveis em ambientes urbanos e hospitalares.

A Figura 3 apresenta a distribuição dos casos notificados da Doença dos Legionários por 100.000 habitantes nos países da União Europeia (UE) e do Espaço Econômico Europeu (EEE) no ano de 2021, conforme dados do Centro Europeu de

Prevenção e Controle de Doenças (ECDC). Os dados são apresentados em taxas padronizadas por idade, o que permite comparações mais justas entre países com diferentes estruturas etárias.

**Figura 3:** Distribuição de casos de doença dos legionários por 100000 mil habitantes na UE



Fonte: ECDC, 2023.

Observa-se que países como Itália, França, Eslovênia e Espanha apresentam as maiores taxas de incidência, com valores superiores a 2,00 casos por 100.000 habitantes, sendo classificados na categoria mais elevada do mapa (vermelho escuro). Esses países são seguidos por uma faixa intermediária de países com taxas entre 1,00 e 1,99 (laranja), incluindo Alemanha, Bélgica e Países Baixos. Em contraste, regiões como a Península Escandinava, partes do Leste Europeu e os países bálticos apresentam taxas mais baixas (0,01–0,99), indicadas em amarelo claro. Alguns países, como a Islândia, Letônia, Lituânia, Bulgária e Romênia, não reportaram dados ou tiveram dados não calculados, o que é representado em tons de cinza. A ausência de informações pode refletir limitações nos sistemas de vigilância epidemiológica, subnotificação ou dificuldades de diagnóstico, especialmente em países com menos recursos para saúde pública.

A *Legionella Pneumophila* causa pneumonia em humanos, na maioria dos casos, cerca de 80% dos casos da doença ocorrem por contaminação do sorogrupo 1 da bactéria, os casos variam de 2% a 15% com a forma mais grave da doença, mas

os estudos a longo prazo para avaliar os efeitos da doença em humanos ainda são escassos, pois eles se concentram mais na fase aguda da doença, ou seja, durante a hospitalização (Serrano *et al.*, 2023)

As infecções em humanos ocorrem, exclusivamente, pela inalação de aerossóis contaminados, que podem ser encontrados em sistemas de ar-condicionado, torres de resfriamento, spas, fontes, máquinas de gelo, pulverizadores de plantas, equipamentos odontológicos e chuveiros. O tipo de material utilizado na construção do sistema de tubulação exerce uma influência significativa no surgimento de altas concentrações de bactérias (Talapko *et al.*, 2022).

A Tabela 4 apresenta as principais características biológicas, fisiológicas e ecológicas da *Legionella pneumophila*, espécie bacteriana responsável pela maioria dos casos de Doença dos Legionários em humanos. Trata-se de uma bactéria pertencente à família *Legionellaceae*, de morfologia bacilar, Gram-negativa, e de metabolismo aeróbico. Essas características estruturais e metabólicas têm implicações diretas na sua resistência ambiental e nos métodos utilizados para sua detecção e controle em sistemas aquáticos.

**Tabela 4:** Caracterização da *Legionella*

Características	<i>Legionella pneumophila</i>
Família	<i>Legionellaceae</i>
Forma	Bacilo
Coloração por grama	Gram (-)
Metabolismo	Aeróbico
pH	5–8,5
Habitat	Ambientes aquáticos (biofilme, dentro de organismos multicelulares)
Temperatura de reprodução	25–37 °C
Temperatura de sobrevivência	0–63 °C
Nutrientes	Aminoácidos (L-cisteína), ferro
Sensibilidade	Secagem, cloro, radiação UV

**Fonte:** Adaptado de Talapko *et al.*, 2022.

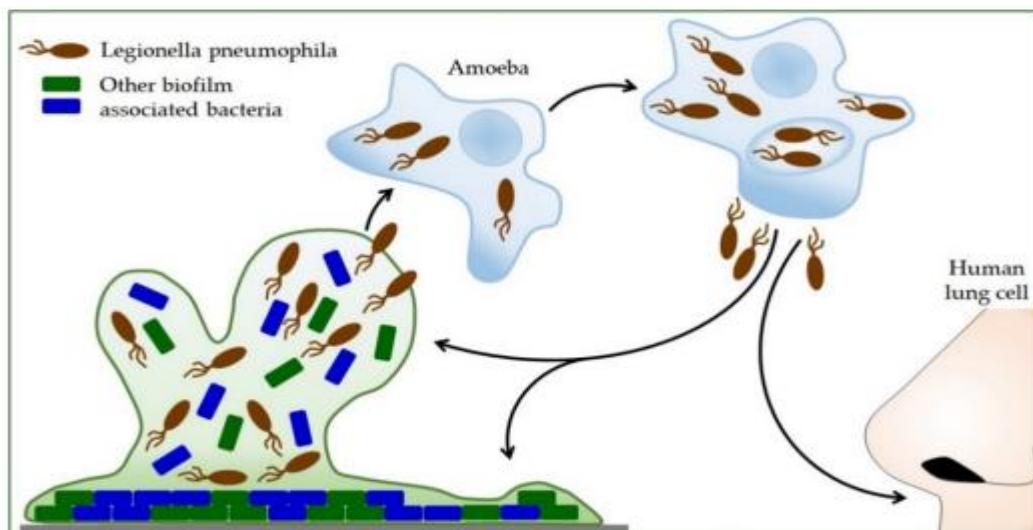
O crescimento da *Legionella* ocorre preferencialmente em ambientes aquáticos, especialmente em biofilmes e dentro de organismos multicelulares, como protozoários, o que contribui para sua resistência a condições adversas. A faixa ideal de temperatura para sua multiplicação varia entre 25 °C e 37 °C, embora seja capaz de sobreviver entre 0 °C e 63 °C, o que favorece sua presença em sistemas artificiais de água aquecida. Além disso, apresenta exigências nutricionais específicas, como a necessidade de aminoácidos (L-cisteína) e ferro, sendo sensível à radiação UV, à

secagem e ao cloro, embora sua proteção em biofilmes reduza essa vulnerabilidade (Talapko *et al*, 2021).

Essas características tornam a *Legionella pneumophila* um microrganismo de relevância crescente na área da saúde ambiental, especialmente em sistemas de abastecimento de água e climatização artificial. Sua presença em ambientes construídos representa um desafio para a vigilância sanitária, exigindo medidas específicas de monitoramento e controle (Talapko *et al*, 2022).

A Figura 4 ilustra o ciclo de vida ambiental da *Legionella pneumophila* e seu mecanismo de infecção em humanos, evidenciando sua interação com biofilmes e amebas como parte fundamental de sua ecologia e patogenicidade. Inicialmente, a bactéria coloniza ambientes aquáticos por meio da formação de biofilmes, onde coexistem com outras bactérias. Esses biofilmes funcionam como um nicho ecológico que favorece sua multiplicação e proteção contra fatores externos, como agentes desinfetantes e variações ambientais.

**Figura 4:** Ciclo de vida e mecanismo de infecção da *Legionella pneumophila*.



Fonte: Talapko *et al*, 2022.

A *Legionella pneumophila* pode ser fagocitada por amebas de vida livre presentes nesses ambientes, onde continua a se replicar intracelularmente, utilizando a célula hospedeira como abrigo e meio de disseminação. Após a lise<sup>2</sup> da ameba, as

<sup>2</sup> Lise é o processo de destruição ou ruptura da célula, geralmente resultante da degradação de sua membrana, levando à liberação do conteúdo intracelular. No caso da ameba fagocitada pela *Legionella pneumophila*, a lise permite que as bactérias sejam liberadas novamente no ambiente, continuando o ciclo de infecção.

bactérias são liberadas novamente no ambiente, potencializando a colonização de novos hospedeiros. Esse ciclo intracelular é análogo ao processo que ocorre no organismo humano, quando aerossóis contaminados são inalados e a bactéria atinge os pulmões. Nos pulmões, a bactéria pode infectar células epiteliais e alveolares, provocando a Doença dos Legionários, uma pneumonia potencialmente grave. Esse mecanismo evidencia o papel central das amebas na amplificação e disseminação da bactéria no ambiente, além de ressaltar os riscos associados à inalação de partículas contaminadas em ambientes artificiais mal higienizados (Talapko *et al*, 2022).

As legislações específicas para o controle de *Legionella*, como a ISO 11731/2017 e a NBR 16824/2020, desempenham um papel fundamental na prevenção da contaminação por *Legionella pneumophila*, especialmente em sistemas de água. A ISO 11731/2017 estabelece os métodos para detecção da bactéria em ambientes aquáticos, sendo uma referência essencial para a realização de análises microbiológicas, como a coleta de amostras e o uso de meios de cultura adequados para identificar a presença de *Legionella*. Essa norma é crucial para garantir a segurança em sistemas de água, principalmente em locais com alto risco de infecção, como hospitais e instalações de saúde (ISO, 2017). Já a NBR 16824/2020, estabelecida pela ABNT, especifica as boas práticas para o controle da *Legionella* em torres de resfriamento e sistemas de climatização. Ela destaca a necessidade de medidas rigorosas para controlar a temperatura da água e o tratamento de sistemas para prevenir a proliferação da bactéria, além de sugerir a implementação de um plano de gestão de risco, que inclui o monitoramento constante e a resposta a possíveis surtos de infecção.

Nas últimas décadas, a Doença dos Legionários tem emergido como uma ameaça crescente à saúde pública, especialmente em contextos urbanos com infraestrutura hidráulica complexa. Em 2024, observou-se um aumento expressivo de surtos em diferentes partes do mundo, como Austrália, Itália, Reino Unido e Estados Unidos, totalizando centenas de casos e diversas mortes associadas a sistemas artificiais de água contaminados, como torres de resfriamento, fontes e spas. Esse cenário evidencia a urgência de estratégias mais eficazes de vigilância epidemiológica e prevenção ambiental (Pareek *et al.*, 2024).

A resposta a esse desafio sanitário deve ser baseada em medidas preventivas robustas e bem estruturadas. O Plano de Prevenção Primária e Controle da *Legionella*, implementado em Portugal, é um exemplo de política pública que articula

estratégias técnicas, legais e educativas para mitigar os riscos de contaminação. O documento propõe a adoção de planos específicos para cada edifício ou instalação, com avaliação contínua de risco, manutenção regular de sistemas de água e capacitação dos responsáveis técnicos, contribuindo para a segurança hídrica e sanitária dos espaços públicos e privados (Portugal, 2024)

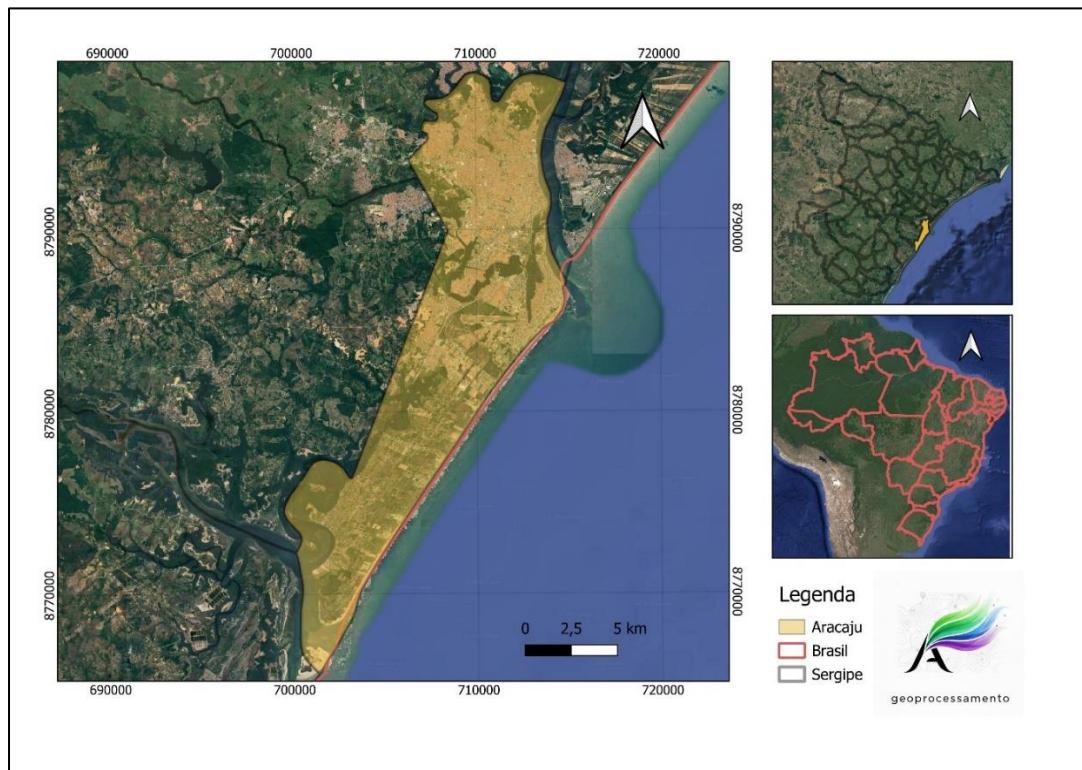
### **3. METODOLOGIA**

Este item tem como objetivo descrever a metodologia adotada nesta pesquisa, uma abordagem quanti-qualitativa para o levantamento e tratamento de dados essenciais ao diagnóstico das condições de qualidade do ar interior, ventilação e conforto térmico em estabelecimentos odontológicos no município de Aracaju. A pesquisa abrange a coleta de dados de variáveis relacionados ao conforto térmico e ventilação (temperatura, umidade relativa, CO<sub>2</sub>) e amostras de materiais presentes nos dutos de ar dos sistemas de ar-condicionado dos consultórios, fundamental para a caracterização das condições sanitárias do maquinário térmico e microbiológico, por meio da análise da água acumulada nos dutos.

#### **3.1 Local de Estudo**

Aracaju, capital de Sergipe, foi fundada em 1855 como cidade planejada para atender às demandas econômicas da província, especialmente a necessidade de um porto para o escoamento da produção açucareira do Vale do Cotinguiba. Localizada no litoral sergipano, possui 181,9 km<sup>2</sup> de área, altitude média de 2 metros e limita-se com Barra dos Coqueiros, Nossa Senhora do Socorro, São Cristóvão e Itaporanga D'Ajuda como observado na Figura 5. O clima é tropical úmido, com temperatura média anual de 26 °C e regime pluviométrico de cerca de 1.573 mm, concentrado entre março e agosto. A hidrografia é marcada pelas bacias dos rios Sergipe e Vaza-Barris, além do Rio Poxim e outros cursos d'água menores (EMDAGRO, 2019).

**Figura 5:** Mapa de localização de Aracaju



**Fonte:** Elaboração própria, 2025.

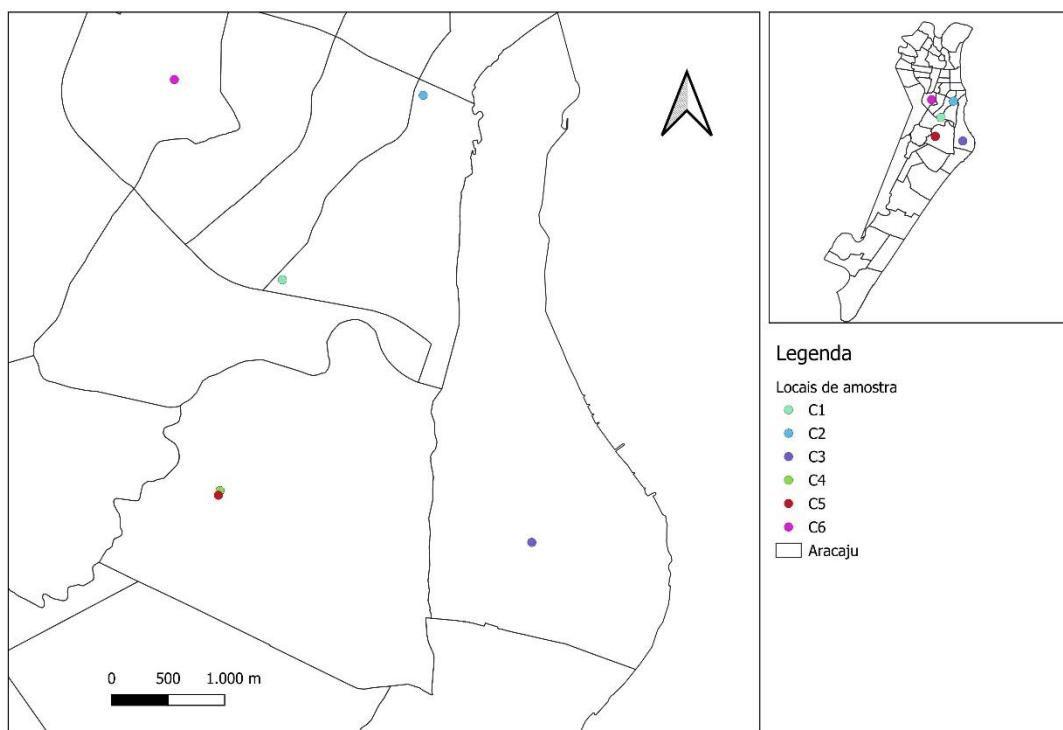
Com população predominantemente urbana, Aracaju registrou crescimento de aproximadamente 24% entre 2000 e 2010, alcançando mais de 570 mil habitantes e densidade superior a 3.100 hab/km<sup>2</sup>. A economia é fortemente concentrada no setor de serviços, embora a indústria e o comércio também contribuam de forma significativa. O município apresenta Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) considerado alto (0,770 em 2010), refletindo avanços em educação, renda e longevidade. Assim, a cidade se consolida como centro administrativo, econômico e cultural do estado de Sergipe (EMDAGRO, 2019).

O monitoramento da qualidade do ar em Aracaju apresenta sérias limitações, sendo realizado apenas por uma estação localizada no distrito industrial da cidade (DIA). Implantada em 2008, essa estação registra concentrações de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), fumaças e material particulado grosso (PTS), operando de forma manual e permitindo apenas coletas diárias. Segundo Castelhano e Pinto (2022), tais limitações metodológicas comprometem a análise espaço-temporal dos dados, já que essa estação representa a única fonte primária disponível sobre a qualidade do ar em Sergipe. Os autores destacam ainda que a escassez de informações e pesquisas

evidencia a necessidade de ampliar o monitoramento e os diagnósticos ambientais, sobretudo diante do crescimento expressivo da frota veicular na capital, que tem impacto significativo nos níveis de poluição atmosférica.

Para compreender a distribuição e as condições ambientais dos consultórios odontológicos na cidade de Aracaju, foram selecionados 6 consultórios com base em critérios como localização, tipo de atendimento (público ou privado) e os procedimentos realizados. A análise da disposição geográfica desses consultórios permite identificar padrões relevantes para o acesso aos serviços odontológicos e o impacto da infraestrutura urbana na qualidade do atendimento. O mapa apresentado na figura 6 ilustra a localização estratégica dos consultórios investigados, distribuídos em diferentes bairros da cidade, como Jardins, Farolândia, Ponto Novo e Coroa do Meio.

**Figura 6:** Localização dos consultórios odontológicos



**Fonte:** Elaboração própria, 2024.

Conforme indicado no mapa, os consultórios 1, 2, 3, 4, 5 e 6 foram selecionadas para o estudo e denominadas como C1, C2, C3, C4, C5 e C6, abrangendo áreas centrais e periféricas de Aracaju. Os 1 e 2 são privados e estão localizados em uma área de fácil acesso no bairro Jardins, de alto padrão social. Já o consultório 3 é

público e está situado no bairro Coroa do Meio, que oferece atendimento de pessoas de baixa condição social e no momento da coleta estava sem atendimento. O consultório 4 localiza-se no bairro Ponto Novo, sendo uma UBS, já o 5 e o 6, são dois consultórios de uma mesma Unidade Básica de Saúde. Essa distribuição reflete a diversidade geográfica e social da cidade, permitindo uma análise comparativa entre consultórios com diferentes perfis e contextos. Esses dados serão essenciais para avaliar as condições ambientais e propor melhorias direcionadas.

### **3.2 Avaliação microbiológica**

As amostragens ocorreram em 6 consultórios, o número de pontos de coleta foi definido, seguindo as diretrizes da resolução ANVISA 09/2003, que determina a quantidade de pontos de coleta para cada ambiente. Neste caso, foi determinado um ponto por consultório devido ao tamanho de cada ambiente (Pela NBR 17037:2023 ambientes com até 1.000m<sup>2</sup>, deve-se adotar 1 ponto para amostragem). Os anexos A a D mostram o *layout* dos consultórios estudados.

### **3.3 Caracterização física dos consultórios**

A Figura 7 apresenta os consultórios analisados nesta pesquisa (C1, C2, C3 e C6. Os consultórios C1 e C2, correspondem a ambientes privados de atendimento odontológico, ambos caracterizados por estrutura física moderna, materiais de acabamento de fácil higienização e climatização artificial por sistema de ar-condicionado tipo split. As salas apresentavam boas condições de conservação, organização do mobiliário e iluminação predominantemente artificial por luminárias de LED, complementada, no caso do consultório C1, por ampla incidência de luz natural proveniente de janelas envidraçadas, que também favoreciam a ventilação eventual.

Os revestimentos de piso e parede eram em porcelanato de tonalidade clara, contribuindo para maior refletância luminosa e manutenção da assepsia do ambiente. Ambos dispunham de pia, bancada de trabalho, armários planejados e equipamentos odontológicos completos, incluindo cadeira odontológica e refletor. A disposição física e o padrão de acabamento atendiam às recomendações da RDC nº 50/2002 da ANVISA, no que se refere à adequação de superfícies, ventilação e iluminação em estabelecimentos assistenciais de saúde, refletindo condições adequadas de conforto térmico, assepsia e funcionalidade.

**Figura 7:** Consultórios odontológicos analisados (C1, C2, C3 e C6)



Fonte: Arquivo pessoal, 2025.

O consultório C3 possui configuração individual e dimensões médias, apresentando piso em granilite polido e paredes parcialmente revestidas com azulejos brancos. O forro é de PVC branco, e a iluminação é predominantemente artificial, fornecida por luminárias fluorescentes lineares. O ambiente conta com climatização por aparelho de ar-condicionado tipo split. O mobiliário é composto por cadeira odontológica, bancada lateral e armários de apoio, dispostos de forma a favorecer o uso funcional do espaço.

O consultório C6 está localizado em uma instalação pública de ensino, configurando-se como um ambiente coletivo subdividido por painéis de drywall, formando três compartimentos independentes. O espaço apresenta piso em cimento polido, paredes revestidas com azulejos cerâmicos brancos e pé-direito médio. A iluminação é predominantemente artificial, proveniente de luminárias fluorescentes, e há ventilação natural por janelas altas basculantes com caixilhos de vidro. O ambiente não dispõe de climatização mecânica individual. A figura 8 apresenta os consultórios C4 e C5, diferentes salas de um mesmo empreendimento público.

**Figura 8:** Consultórios odontológicos analisados (C4 a C5)



Fonte: Arquivo pessoal, 2025.

Os consultórios C4 e C5 apresentam características arquitetônicas semelhantes, ambos localizados em edificações de padrão construtivo convencional. Possuem piso em cerâmica, paredes revestidas até meia altura com cerâmica esmaltada e forro em madeira natural. A iluminação é mista, com luminárias de teto e aberturas envidraçadas basculantes. Ambos os ambientes dispõem de climatização artificial por aparelhos de ar-condicionado tipo split. O mobiliário é composto por cadeira odontológica, bancadas e armários fixos, com disposição semelhante entre os dois espaços.

### 03.4 Preparo dos meios de cultivo de fungos e bactérias

Os meios de cultivo para bactérias e fungos seguiram os procedimentos dos fabricantes, sendo o Ágar para Contagem de Placas (PCA - *Plate Count Agar*) da HIMEDIA M091-500g para bactérias e o Ágar Sabouraud Dextrose (PDA - *Potato Dextrose Agar*) da HIMEDIA M096-500g para fungos. Os meios sólidos foram diluídos em água destilada e autoclavados a 121°C por 15 minutos, sendo distribuídos em placas de Petri estéreis. Essas placas foram colocadas em um bioimpactador tipo Andersen de 1 estágio e deixadas por um tempo de amostragem de 10 minutos para ambos os meios seguindo recomendação da resolução NBR 17037:2023. Funciona com base no princípio da impactação inercial. O Bioimpactador suga o ar ambiente por meio de uma bomba de vácuo, que o conduz através de uma série de estágios com orifícios progressivamente menores. Em cada estágio, o fluxo de ar acelera e partículas suspensas com maior diâmetro aerodinâmico impactam diretamente sobre a superfície de placas de Petri contendo meio de cultura. As partículas menores, que

não são retidas, seguem para os estágios seguintes, sendo coletadas em função de seu tamanho até o sexto estágio, que retém as mais finas.

A contagem de colônias para ambos os grupos foi expressa em unidades formadoras de colônias por metro cúbico de ar (UFC/m<sup>3</sup>). O volume de ar coletado durante o processo de amostragem foi determinado a partir da relação entre a vazão do equipamento e o tempo total de coleta, de acordo com a fórmula da equação 2.

$$V = \frac{Q \cdot t}{1.000} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

- $V$  é o volume de ar coletado, expresso em metros cúbicos ( $m^3$ );
- $Q$  é a vazão do bioimpactador, medida em litros por minuto ( $l/min$ );
- $t$  é o tempo de amostragem, em minutos;
- O fator 1000 é utilizado para converter o volume de litros para metros cúbicos.

Para determinar a concentração de partículas viáveis por unidade de volume de ar, o número total de colônias (UFC) foi dividido pelo volume total de ar amostrado, expresso em metros cúbicos ( $m^3$ ). Com a vazão da bomba constante de 28,3 L/min e um tempo de amostragem de 10 minutos, o volume de ar coletado foi de 0,283 m<sup>3</sup>. Assim, o número total de unidades formadoras de colônias (UFC) em cada placa foi dividido por este volume, obtendo-se a concentração de microrganismos em UFC/m<sup>3</sup>, representando a carga microbiana do ar interior nas áreas analisadas. Os resultados obtidos foram comparados com os padrões de referência da Norma ABNT NBR 17037/2023.

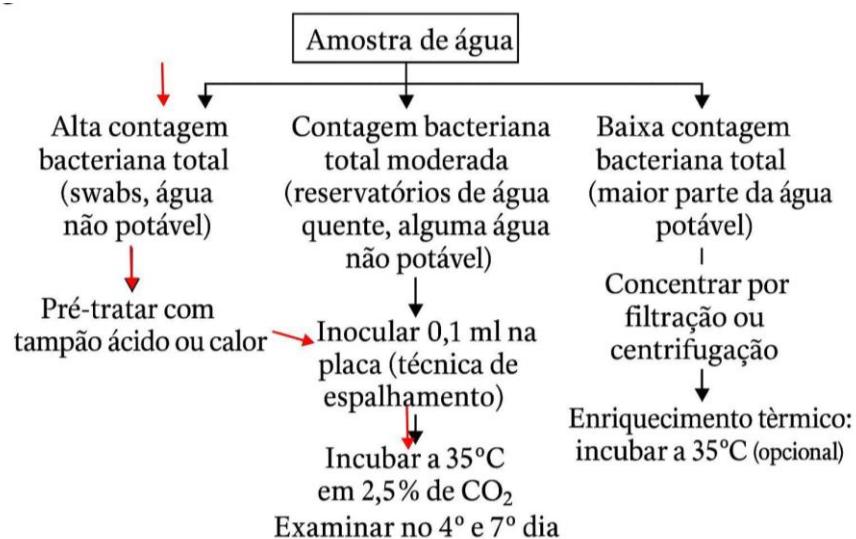
### **3.5 Preparo do ágar de *Legionella* e coleta da amostra para teste em laboratório**

O preparo de ágar de cultivo da *Legionella* foi feito seguindo a metodologia da ISO 11731 (2017) e do *Centers for Disease Control and Prevention* (CDC). A princípio, os reagentes foram misturados em água destilada e autoclavado a 121°C por 15 minutos e depositados em placas de Petri estéreis, deixadas esfriar para posterior inoculação.

A amostra contendo 1L de água foi coletada de um ar-condicionado no departamento de fisiologia na UFS, essa amostra seguiu o procedimento do CDC.

Considerando que o condensado do aparelho de ar-condicionado não é classificado como água potável, foi adotado o percurso destacado em vermelho na Figura 9.

**Figura 9:** Procedimento para quantificação de *Legionella* segundo metodologia do CDC



**Fonte:** Adaptado de CDC, 2005.

Esse passo a passo permitiu uma avaliação direta da amostra de maneira simplificada e atingindo os objetivos da enumeração da bactéria nas linhas d'água de sistemas de ar-condicionado.

O ágar foi preparado com Cisteína (BCYE) e sem Cisteína (BCYE-). O crescimento de *Legionella* é positivo quando cresce no meio BCYE e não cresce no meio BCYE (-), sendo negativo quando cresce em ambos os meios, pois a *Legionella* depende da Cisteína para crescimento (ANVISA, 2020).

### 3.6 Avaliação da taxa de renovação de ar

A taxa de renovação de ar foi calculada a partir do método de decaimento de CO<sub>2</sub> proposta por Cui *et al.* (2014) que usa o CO<sub>2</sub> como gás traçador e calcula pelo método de multipontos o tempo de decaimento do gás. Essa metodologia também foi aplicada por Reis (2023) em salas de aula e se mostrou eficiente para determinar a taxa de renovação de ar em ambientes internos. Os resultados obtidos foram comparados com a norma ANSI/ASHRAE 241 (2023) que define os requisitos mínimos para o controle de aerossóis infecciosos e apresenta técnicas para mitigar as infecções. Além disso, a norma estabelece diretrizes para o projeto, instalação,

comissionamento, operação e manutenção de sistemas de filtração, ventilação e purificação de ar, com o intuito de reduzir as infecções.

A metodologia utilizada para avaliar a taxa de renovação de ar nos consultórios odontológicos foi baseada no uso de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), uma técnica amplamente reconhecida por sua precisão e aplicabilidade em ambientes internos. O experimento foi conduzido em condições controladas, sem a presença de pessoas no ambiente, para evitar interferências nos resultados (emissão de  $\text{CO}_2$  pelo indivíduo) e assegurar a confiabilidade das medições. Inicialmente, a concentração de  $\text{CO}_2$  no consultório foi artificialmente elevada até atingir 2000 ppm, por meio da liberação do gás no ambiente, como observado na Figura 10. Esse nível foi escolhido por ser suficientemente superior à concentração atmosférica média (aproximadamente 400 ppm), permitindo acompanhar de forma clara o decaimento da concentração do gás ao longo do tempo.

**Figura 10:** Distribuição do  $\text{CO}_2$  no consultório



**Fonte:** Autora, 2024.

Após atingir a concentração desejada de  $\text{CO}_2$ , o monitoramento foi realizado utilizando um medidor digital (Figura 11), capaz de registrar a concentração em intervalos regulares. Fotos do dispositivo foram capturadas a cada cinco minutos, documentando a redução gradual dos níveis de  $\text{CO}_2$  no ambiente. O experimento foi conduzido até que a concentração retornasse a níveis próximos aos da atmosfera externa, garantindo que o ciclo de renovação de ar fosse completamente registrado. Durante o processo, fatores como a ventilação natural ou mecânica e a vedação do ambiente foram cuidadosamente analisados, uma vez que influenciam diretamente a taxa de renovação de ar.

**Figura 11:** Medidor digital de CO<sub>2</sub>



Fonte: A autora 2024.

A norma ANSI/ASHRAE 241 (2023) determina a taxa ideal para o fluxo de ar na zona respirável (Vecai), que se refere à quantidade de ar exterior que deve ser introduzida na zona de respiração de um espaço ocupado de acordo com a equação 3.

$$V_{ECAi} = ECAi \times Pz, IRMM. \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

- ECAi = taxa equivalente de fluxo de ar exterior necessário por população de zona exigida no Modo de Gerenciamento de Risco de Infecção (cfm/pessoa, L/s/pessoa), conforme determinado na Tabela 5 da norma.
- Pz IRMM = população da zona, o número máximo de pessoas permitidas em cada zona de ventilação durante o IRMM.

O número de pessoas levado em consideração nesse estudo foi de 3 pessoas, sendo o dentista, o auxiliar e o paciente. O valor pode ser menor que o valor de projeto de ocupação normalmente se o IRMM especificar ocupações permitidas mais baixas. Os dados obtidos foram analisados estatisticamente para avaliar a precisão e a confiabilidade das medições. Aplicou-se os dados no modelo matemático de decaimento de CO<sub>2</sub> descrito na Equação 4 (que está linearizada) para obtenção da vazão de renovação Q.

$$\ln \ln [C(t) - C_E] = \ln \ln (C_0 - C_E) - \frac{Q}{V} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

- $C(t)$  é a concentração em um determinado tempo.
- $C_E$  é a concentração do poluente na corrente que entra no ambiente interno.
- $C_0$  é a concentração inicial do poluente no ambiente (em  $t=0$ ).

Por fim, serão consideradas as variações na concentração CO<sub>2</sub> de fundo, garantindo uma análise abrangente e precisa da ACR no contexto dos ambientes fechados. Para o cálculo da Troca de ar por hora T ( $h^{-1}$ ) levou em consideração a equação 5, a equação leva em consideração a divisão da vazão obtida durante a amostragem, pelo volume da sala.

$$T = \frac{Q}{V} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

- T é a trocas por hora
- Q é a vazão
- V é o volume da sala

### 3.7 Avaliação de Conforto Térmico

O conforto térmico seguiu o método proposto pela ISO 7730 (ISO, 2005) que também valida o método de Fanger (1970), onde é possível obter o PMV (*Predicted Mean Vote*) e o PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*) de cada sala, indicando o nível de conforto térmico ideal para cada ambiente e suas atividades. Para o tempo de medição foi utilizada a norma NHO-06 (2017) que estabelece critérios e procedimentos para avaliar a exposição ocupacional ao calor, sendo definida 1 hora para amostragem representativa com tempo de medição de 5 em 5 minutos.

Os equipamentos utilizados para esta avaliação foram um termômetro de globo digital portátil (modelo ITWTG2000), cedido pelo Laboratório de Conforto Ambiental (LABCON/DAU/UFS) e um termo-higro-anemômetro digital portátil (modelo KR825).

Foi definido um ponto central na sala e durante um intervalo contínuo de 1 hora, a cada minuto, foram coletadas as seguintes variáveis: temperatura do ar (°C), umidade relativa (%), temperatura de globo (°C) e velocidade do vento (m/s) das salas. Posteriormente, esses dados das variáveis coletadas foram tratados em planilha e inseridos no programa de análise de conforto térmico Analysis C.S.T. 2.1, *software* desenvolvido por pesquisadores da Universidade Federal de Santa Catarina no

Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE), onde é possível obter os índices PMV e PPD para avaliar o conforto térmico dos consultórios.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Nesta seção, são apresentados e analisados os principais achados da pesquisa, buscando relacioná-los com a literatura existente e com os objetivos propostos no estudo. Inicialmente, são discutidos os resultados obtidos na identificação e quantificação de bactérias totais e fungos e quanto à presença de *Legionella* nas amostras de água analisadas, comparando-os com padrões normativos nacionais e internacionais. Em seguida, avalia-se a taxa de ventilação e conforto térmico dos consultórios amostrados.

### **4.1 Enumeração microbiológica**

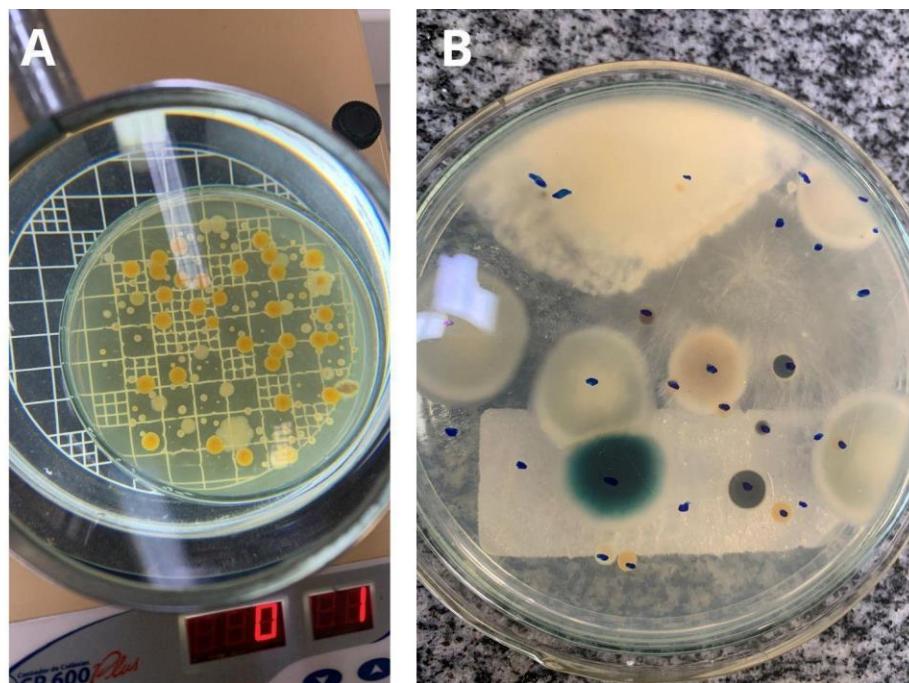
Os resultados obtidos a partir da contagem de colônias bacterianas foram organizados de acordo com os seis consultórios odontológicos analisados (C1, C2, C3, C4, C5 e C6) e seus respectivos pontos de coleta (P1 e P2). Cada ponto foi estrategicamente escolhido para avaliar a distribuição de partículas viáveis em diferentes áreas do ambiente interno, com o objetivo de diagnosticar possíveis variações na qualidade do ar. Os dados foram comparados com o limite de 500 UFC/m<sup>3</sup> estabelecido pela Norma NBR 17037/2023, norma vigente para ambientes internos climatizados.

As colônias bacterianas que foram coletadas na amostragem do consultório C1, observadas na Figura 12A, apresentam cores predominantemente amarelas ou esbranquiçadas, o que sugere a presença de espécies produtoras de pigmentos, como *Staphylococcus aureus* ou outras bactérias com pigmentação carotenoide<sup>3</sup>. O formato das colônias bacterianas é regular, com bordas arredondadas e bem definidas, o que é típico de crescimento em meios sólidos. Além disso, as colônias possuem superfícies lisas e brilhantes, refletindo a natureza não-filamentosa das bactérias. Em termos de tamanho, as colônias bacterianas são relativamente uniformes, o que é esperado, já que o crescimento bacteriano é mais homogêneo em condições controladas.

---

<sup>3</sup> Carotenoides são pigmentos naturais de cor amarela, laranja ou vermelha, pertencentes à classe dos terpenoides, amplamente encontrados em plantas, algas e microrganismos. Em bactérias, esses compostos atuam como antioxidantes e podem contribuir para a proteção celular contra danos oxidativos, além de influenciar a coloração das colônias.

**Figura 12:** Colônias de bactérias e fungos do consultório C1 vistas em lupa

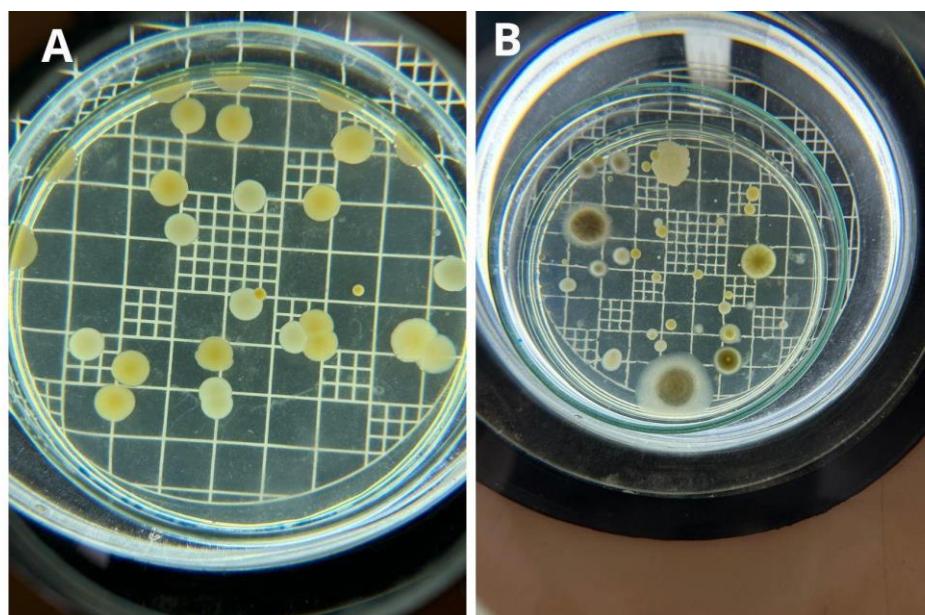


Fonte: A autora, 2024.

Por outro lado, as colônias fúngicas vistas na figura 12B exibem uma variedade de cores, como branco, verde-azulado, amarelo e preto. Esses pigmentos são indicadores da diversidade de espécies presentes, com possíveis representantes de gêneros como *Aspergillus*, *Penicillium* e leveduras (Costa, 2022). A presença de pigmentos escuros, como o preto, pode sugerir espécies como *Aspergillus niger*, conhecidas por sua capacidade de sobreviver em ambientes com baixa qualidade do ar (Costa, 2022).

Na Figura 13 do consultório 2, observa-se o crescimento de colônias bacterianas, caracterizadas por sua forma arredondada e bem delimitada na Figura 13A. A pigmentação predominante é esbranquiçada a amarelada, com superfícies lisas e brilhantes, sugerindo a presença de bactérias não-filamentosas. As colônias apresentam tamanhos relativamente homogêneos e uma distribuição uniforme no meio, organizada sobre uma matriz quadriculada, o que facilita a contagem e análise quantitativa.

**Figura 13:** Colônias de bactérias e fungos do consultório C2.



**Fonte:** A autora, 2024.

Já a Figura 13B apresenta colônias de fungos, que exibem características visivelmente distintas das bactérias. As colônias fúngicas possuem bordas irregulares e estrutura mais difusa, com crescimento radial evidente. Além disso, há uma diversidade de cores, como tons esbranquiçados, marrons e amarelados, características que podem estar associadas à produção de pigmentos secundários por diferentes espécies de fungos. A superfície das colônias é texturizada, variando entre estruturas lisas e aspecto cotonoso, típico de fungos filamentosos. As colônias também apresentam tamanhos variados, refletindo diferentes taxas de crescimento e comportamento metabólico entre as espécies.

A Tabela 5 apresenta a quantidade de colônias de bactérias e fungos, expressa em UFC/m<sup>3</sup>, obtida na amostragem realizada em todos os consultórios avaliados. Foi possível observar diferenças significativas na concentração de microrganismos (bactérias e fungos) entre os pontos de coleta nos consultórios, refletindo características específicas de ventilação, fluxo de pessoas e outras condições ambientais. Essas variações são esperadas, uma vez que fatores como movimentação de ar, presença de equipamentos em funcionamento e níveis de ocupação podem influenciar diretamente a carga microbiana do ar.

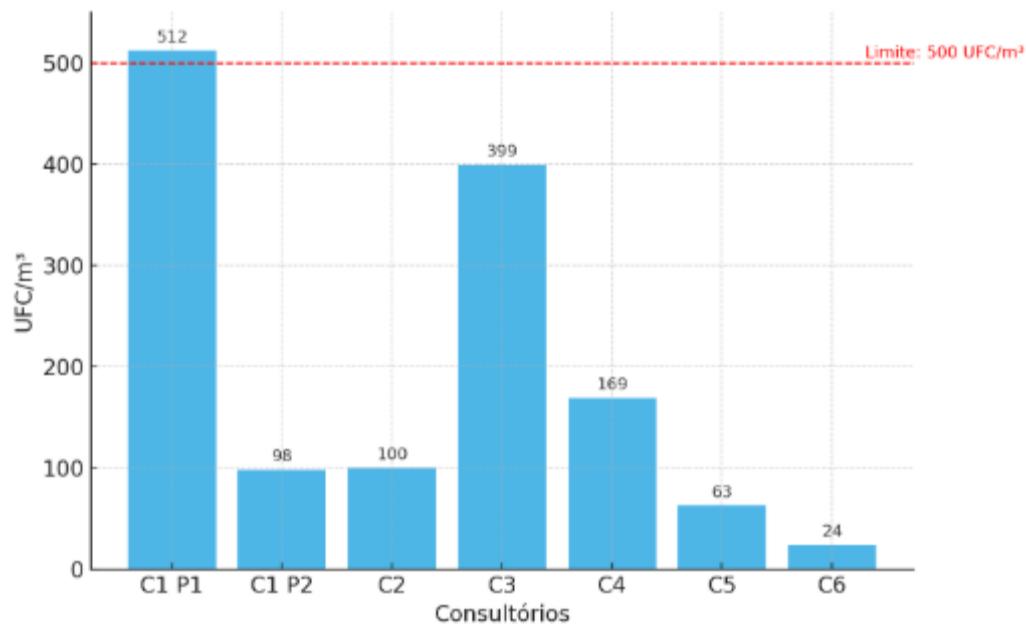
**Tabela 5:** Enumeração de fungos e bactérias dos consultórios analisados

Consultório	Ponto	Bactérias UFC/m <sup>3</sup>	Limite 17037:2023 bactérias (UFC/m <sup>3</sup> )	NBR	Fungos UFC/m <sup>3</sup>	Limite 17037:2023 fungos (UFC/m <sup>3</sup> )	NBR
C1	1	512			24		
C1	2	98			14		
C2	1	100	500		106	750	
C3	1	399			7		
C4	1	169			3		
C5	1	63			0		
C6	1	24			0		

**Fonte:** A autora, 2025.

O Gráfico 1 apresenta a contagem de bactérias no ar nos 6 consultórios (2 pontos no consultório C1). As barras azuis representam as contagens de bactérias em unidades formadoras de colônias por metro cúbico de ar (UFC/m<sup>3</sup>), enquanto a linha vermelha indica o limite estabelecido na NBR 17037 (2023) com 500 UFC/m<sup>3</sup>.

**Gráfico 1:** Comparação do número de colônias de bactérias amostradas com o padrão NBR 17037 (2023)



**Fonte:** A autora 2024.

Os dados apresentados no Gráfico 1 evidenciam que as concentrações bacterianas variaram entre os pontos e consultórios avaliados. Exceto o ponto 1 do consultório C1, os demais valores ficaram abaixo do limite de referência estabelecido pela legislação (500 UFC/m<sup>3</sup>).

Os autores Gama *et al.* (2020) ressaltam que consultórios odontológicos em funcionamento apresentam uma maior carga microbiana no ar devido à geração de aerossóis e partículas durante procedimentos clínicos, como o uso de equipamentos odontológicos de alta rotação. Isso explica os resultados mais elevados em C1 no ponto P1, reforçando que a prática odontológica ativa influencia diretamente a qualidade microbiológica do ar. Além disso, o fluxo de pessoas, como pacientes e equipe, contribui para a elevação do número de partículas viáveis no ambiente, como evidenciado pela literatura.

O ponto P2 do consultório C1, localizado em área distante da estação de trabalho do dentista (cadeira odontológica), apresentou concentração mais baixa de bactérias, evidenciando a influência direta da proximidade com as fontes geradoras de bioaerossóis na qualidade do ar. Essa observação está alinhada com os achados de Gama *et al.* (2020), que destacam que os aerossóis odontológicos, gerados por procedimentos clínicos, se concentram mais intensamente nas proximidades da cadeira odontológica, onde os equipamentos são utilizados. Além disso, Santos *et al.* (2021) reforçam que a distribuição espacial de micro-organismos no ambiente está diretamente relacionada às atividades realizadas e ao fluxo de partículas no local, explicando porque áreas mais afastadas da prática clínica tendem a apresentar menor contaminação. Esses dados ressaltam a importância de posicionar sistemas de ventilação ou purificação de ar de forma estratégica, priorizando áreas próximas às fontes de geração de aerossóis para reduzir os níveis de contaminação em ambientes críticos.

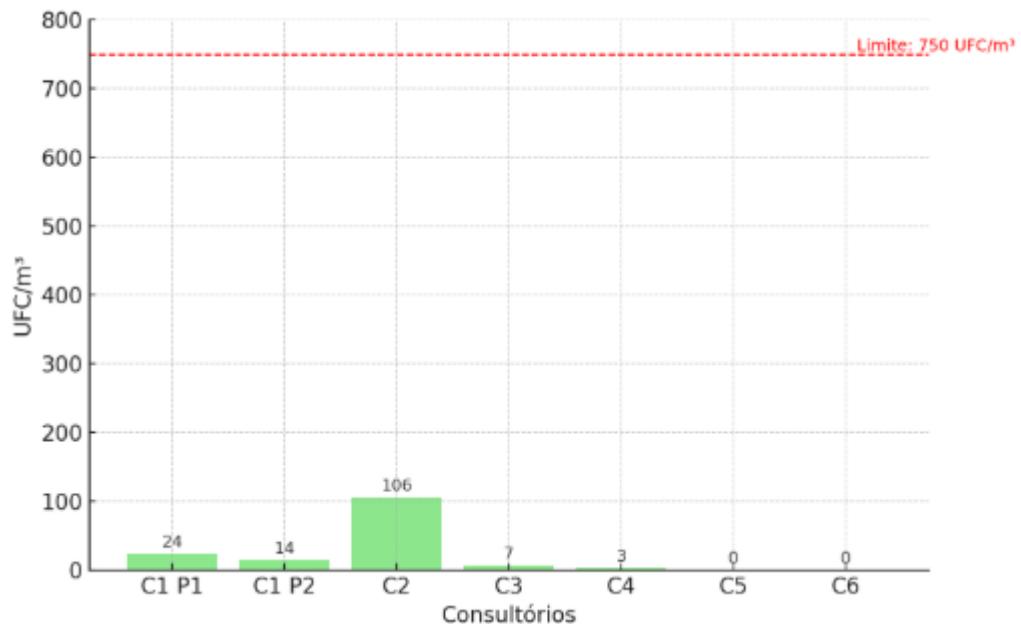
Por outro lado, o consultório C3, mesmo sendo um ambiente público de uma UBS, apresentou concentrações relativamente baixas, o que pode ser atribuído à ausência de atendimento odontológico durante a coleta. Essa situação reflete o impacto da ausência de geração ativa de bioaerossóis, como descrito no artigo Santos *et al.* (2021), que aponta que a quantidade de micro-organismos no ar é consideravelmente menor em ambientes sem atividades clínicas. Contudo, mesmo sem atendimento, é possível que microrganismos estejam presentes devido a fontes residuais, como superfícies contaminadas e circulação de ar insuficiente, elementos que devem ser monitorados constantemente.

Mirhoseini *et al.* (2021) evidenciaram concentrações elevadas de bactérias e fungos aerotransportados em clínicas odontológicas, especialmente em distâncias menores da fonte geradora de aerossóis, como as cadeiras odontológicas. De forma

semelhante, observou-se nos consultórios avaliados em Aracaju a predominância de colônias bacterianas e fúngicas próximas aos locais de atendimento, o que indica que os procedimentos odontológicos são importantes fontes de bioaerossóis.

O Gráfico 2 compara a quantidade de colônias de fungos coletadas em diferentes pontos de coleta nos consultórios odontológicos avaliados com o limite máximo estabelecido pela Norma NBR 17037/2023 que é de 750 UFC/m<sup>3</sup>. Em todos os pontos de coleta, os valores observados ficaram abaixo desse limite normativo, variando de 14 UFC/m<sup>3</sup> a 339 UFC/m<sup>3</sup>.

**Gráfico 2:** Comparação da concentração de fungos amostrados com o padrão NBR 17037 (2023)



Fonte: A autora, 2024.

Não foram detectadas colônias de fungos nos pontos únicos dos consultórios C5 e C6, indicando uma contaminação reduzida nessas áreas. Valores mais elevados foram observados no ponto 1 do consultório C1 e no ponto único do consultório C3, com contagens de 24 UFC/m<sup>3</sup> e 106 UFC/m<sup>3</sup>, respectivamente. Mesmo assim, todos os resultados permaneceram dentro do limite de segurança da NBR 17037:2023, o que indica condições aceitáveis de qualidade do ar interior nos ambientes avaliados em relação a este padrão referencial.

Esses resultados corroboram com as informações presentes na literatura. Segundo o estudo de Ciofi-Silva (2016), a contaminação microbiana em consultórios odontológicos é diretamente influenciada pela qualidade da ventilação, pela higienização de superfícies e pela manutenção de sistemas de ar-condicionado.

Santos *et al.* (2021) afirmam que mesmo concentrações moderadas de fungos no ar podem representar riscos à saúde, principalmente para indivíduos sensíveis, como alérgicos ou imunossuprimidos. Embora os valores observados estejam abaixo do limite normativo, é importante destacar que os fungos são micro-organismos que podem causar problemas respiratórios e alérgicos mesmo em concentrações baixas, dependendo da suscetibilidade dos indivíduos expostos.

A quantidade de fungos é inferior à de bactérias, e pode ser explicada pelas diferentes origens e formas de disseminação dos fungos e bactérias no ambiente. Enquanto as bactérias muitas vezes estão associadas à presença humana, secreções e superfícies contaminadas, os fungos são frequentemente trazidos do ambiente externo, podendo proliferar em locais úmidos e com má ventilação. Assim, a quantidade de fungos no ar pode estar mais relacionada à umidade relativa do ambiente e à presença de materiais orgânicos do que propriamente à carga bacteriana (Mirhoseini *et al.*, 2021).

#### **4.2 Avaliação da taxa de ventilação**

A taxa de ventilação dos ambientes foi determinada pelo método de decaimento do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), utilizado como gás traçador, permitindo estimar a renovação de ar por pessoa em cada consultório avaliado. Esse parâmetro é essencial para a verificação da conformidade dos ambientes com os padrões normativos nacionais e internacionais de qualidade do ar interior, uma vez que valores inadequados podem comprometer tanto o conforto quanto a segurança sanitária. A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos para cada consultório.

Quanto ao volume dos consultórios, este variou entre 34,6  $\text{m}^3$  e 156  $\text{m}^3$ , refletindo diferenças arquitetônicas significativas. De acordo com Arsal *et al.* (2023), o conforto térmico e a qualidade do ar interno não dependem unicamente da dimensão física do ambiente, mas sim da interação entre fatores como volume, vazão de ar e modo de ventilação, que precisam estar equilibrados para assegurar salubridade. Segundo Kumar *et al.* (2022), a ventilação desempenha papel central na remoção de poluentes e no controle da concentração de contaminantes em ambientes internos, sendo que em espaços reduzidos ou mal ventilados essa concentração tende a se elevar mais rapidamente. Em contrapartida, consultórios com volumes maiores, como o de 156  $\text{m}^3$ , permitem maior diluição de poluentes, porém demandam sistemas de

ventilação proporcionalmente mais potentes para garantir a taxa de renovação de ar necessária.

**Tabela 6:** Taxa de renovação de ar por consultório

Consultório	Volume V (m <sup>3</sup> )	Vazão Q (m <sup>3</sup> /h)	Trocas por hora T (h <sup>-1</sup> )	Taxa de renovação de ar por pessoa Q1 (m <sup>3</sup> /h/pessoa)
C1	51	38,4	0,75	12,79
C2	51,4	91,4	1,00	30,71
C3	34,6	109,8	3,17	36,50
C4	156	171,2	1,09	57,06
C5	39	123,8	3,17	41,24
C6	50	288,0	5,76	96,00

Fonte: A autora, 2025.

No que diz respeito à vazão de renovação de ar Q, observou-se uma variação de 38,36 m<sup>3</sup>/h a 288,00 m<sup>3</sup>/h entre os consultórios. Embora esse parâmetro seja frequentemente utilizado como indicativo da eficiência do sistema de ventilação, sua interpretação isolada pode induzir a equívocos, visto que a renovação do ar é função não só da vazão de ar insuflada, mas também do volume do recinto. Além disso, o número de pessoas no ambiente influencia a vazão necessária para manter o ambiente salubre. O que se sabe é que vazões de renovação maiores são atingidas ou devido a uma maior vazão de infiltração no recinto ou a um sistema de insuflação mais potente.

O número de trocas de ar por hora (T), parâmetro amplamente utilizado como referência internacional, apresentou resultados variando entre 0,75 h<sup>-1</sup> e 5,76 h<sup>-1</sup>. Esse indicador merece atenção especial, pois é justamente o parâmetro utilizado em normas que tratam especificamente de ambientes assistenciais de saúde. A Tabela 3 mostra os valores recomendados tanto em legislações nacionais quanto internacionais. De acordo com a ABNT NBR 7256:2021, que dispõe sobre os requisitos para sistemas de tratamento de ar em estabelecimentos de saúde, consultórios odontológicos devem apresentar taxa mínima de 2 trocas de ar por hora em sala de atendimento odontológico, podendo chegar a 12 em ambientes de maior complexidade (ABNT, 2021). Já a ANSI/ASHRAE 170:2021 recomenda uma ACH total de 3 trocas por hora. Assim, constata-se que apenas os consultórios C3, C5 e C6 atingem o valor mínimo exigido das duas legislações, sendo o consultório C1 o de

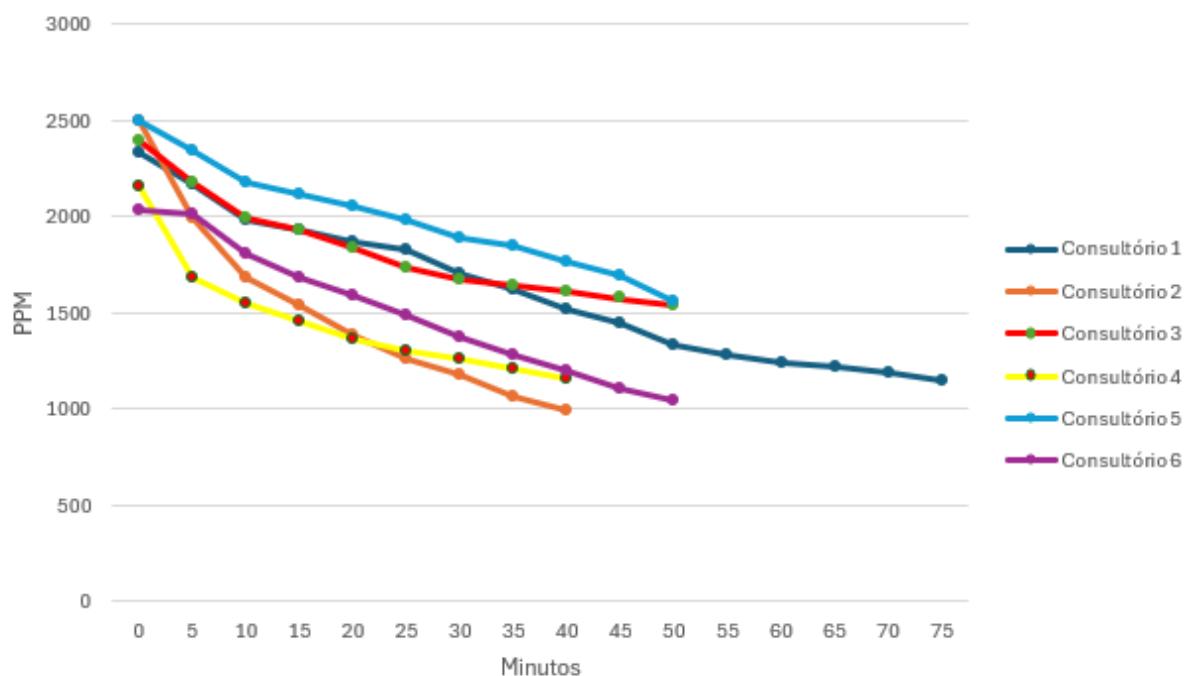
menor número de trocas por hora. Este resultado justifica o maior número de bactérias mesófilas encontradas no consultório C1, em especial no ponto 1, mais próximo da cadeira odontológica, o único que ultrapassou o limite legal.

No que se refere à taxa de renovação de ar por pessoa (Q1), os valores oscilaram entre 12,79 m<sup>3</sup>/h/pessoa e 96,00 m<sup>3</sup>/h/pessoa. Conforme mostra a Tabela 3, a norma ANVISA 09/2003 recomenda a vazão mínima de renovação de 27 m<sup>3</sup>/h/pessoa como suficiente para ambientes de atendimento coletivo (ANVISA, 2003). Já a norma ANSI/ASHRAE 241 (2023), específica para controle de aerossóis infecciosos, recomenda um valor bem maior para sala de pacientes, de 126 m<sup>3</sup>/h/pessoa. Este valor não é atingido por nenhum dos 6 consultórios. Utilizando a norma nacional como parâmetro, é possível observar que alguns consultórios, como o 3 (36,50 m<sup>3</sup>/h/pessoa), 4 (57,06 m<sup>3</sup>/h/pessoa) e 5 (41,24 m<sup>3</sup>/h/pessoa), situam-se dentro ou acima da faixa sugerida, o que indica condições relativamente adequadas de ventilação sob a ótica da ocupação. Em contrapartida, o consultório 1 (12,79 m<sup>3</sup>/h/pessoa) encontra-se muito abaixo do mínimo exigido, evidenciando risco significativo. Este alerta já tinha sido observado neste consultório pelo número de bactérias mesófilas e pelo número de trocas por hora. O consultório 2 (30,71 m<sup>3</sup>/h/pessoa) está no limite inferior da faixa aceitável. O consultório 6 apresenta um valor de 96,00 m<sup>3</sup>/h/pessoa, muito superior ao recomendado, embora abaixo do que recomenda a ANSI/ASHRAE.

O Gráfico 3 apresenta a comparação do decaimento da concentração de dióxido de carbono ao longo de 70 minutos nos seis consultórios odontológicos amostrados. Este decaimento deve estar relacionado com o número de trocas por hora dos consultórios. Observa-se que todos os ambientes iniciam o experimento com concentrações elevadas de CO<sub>2</sub>, entre 2000 e 2500 ppm, que foram se reduzindo até atingir valores próximos à concentração atmosférica externa (465 ppm). Essa redução segue uma curva exponencial característica, que reflete o desempenho do sistema de ventilação e a eficiência da renovação de ar no ambiente.

De modo geral, os resultados demonstram que, embora todos os consultórios tenham apresentado tendência de decaimento da concentração de CO<sub>2</sub> ao longo do tempo, a velocidade e a intensidade dessa redução variaram consideravelmente entre os ambientes avaliados.

**Gráfico 3:** Comparação do decaimento de CO<sub>2</sub> nos seis consultórios



**Fonte:** A autora, 2024.

O Consultório 2 apresentou o decaimento mais acentuado entre os avaliados, reduzindo de cerca de 2400 ppm para próximo de 1000 ppm em aproximadamente 40 minutos. O Consultório 1 apresentou uma curva de decaimento mais gradual, partindo de aproximadamente 2300 ppm e alcançando valores em torno de 1200 ppm após 70 minutos. Este consultório já tinha indicado uma ventilação mais precária anteriormente.

A ANVISA determina que os serviços odontológicos devem possuir ventilação natural ou forçada, para evitar o acúmulo de fungos (bolores), gases e vapores condensados, sendo que sua eliminação não deve causar danos ou prejuízos às áreas próximas. Os equipamentos de ar condicionado de janela e minisplits apresentam o inconveniente de não efetuar a renovação do ar necessária para a manutenção de uma boa qualidade do ar ambiente de interiores” (BRASIL, 2006).

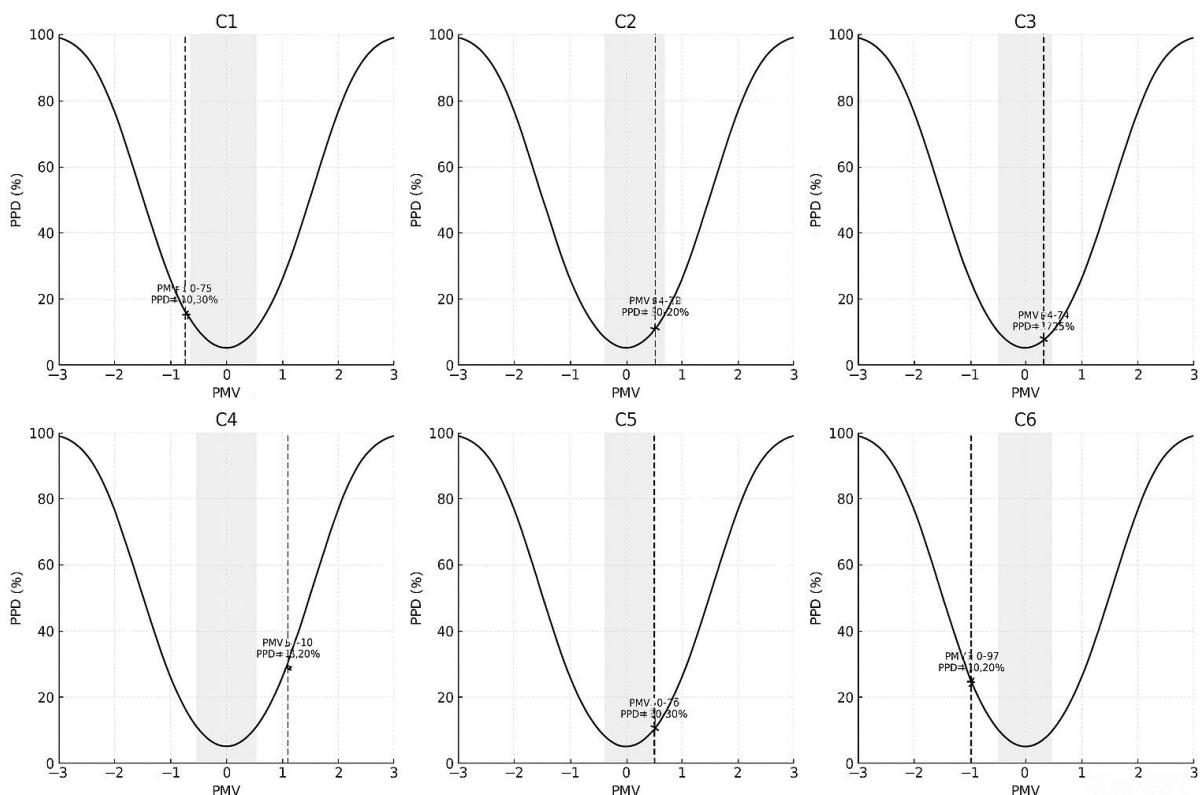
A Tabela 3 evidencia uma diferença significativa entre as legislações internacionais mais recentes, voltadas para o controle de aerossóis infecciosos, e outras diretrizes ainda adotadas em diversos contextos. A ANSI/ASHRAE 241 propõe critérios mais rigorosos, com uma taxa de renovação de ar consideravelmente superior — chegando a ser cerca de nove vezes maior que os valores recomendados

por outras normas. Essa discrepância reflete o avanço das diretrizes internacionais diante de novas evidências científicas sobre o papel da ventilação na prevenção da transmissão de doenças infecciosas, especialmente em ambientes ocupados. A norma americana destaca a necessidade de taxas elevadas de renovação do ar para garantir maior segurança e conforto, sobretudo em ambientes com alto risco de exposição a aerossóis contaminantes.

#### **4.3 Avaliação de conforto térmico**

O Gráfico 4 apresenta os resultados encontrados dos índices PMV e PPD nos 6 consultórios estudados. Os resultados estão sobrepostos à curva de conforto térmico, destacando que a zona de conforto térmico B recomendada pela ISO 7730:2005 é o PMV entre -0,5 e +0,5 (zona destacada em cinza). Nessa faixa, o PPD é inferior a 10%, indicando que 90% das pessoas se sentem termicamente confortável. Além desta zona, a norma também estabelece uma zona mais restritiva, a zona A (PMV entre -0,22 e +0,22, PPD inferior a 6%) e uma menos restritiva, a zona C (PMV entre -0,69 e +0,69, PPD inferior a 15%). A escolha entre as 3 zonas depende das exigências do projeto.

**Gráfico 4:** Análise de conforto térmico nos 6 consultórios avaliados



**Fonte:** A autora, 2025.

Nos dados obtidos no consultório C1, a temperatura do ar foi de 21,0 °C, valor que se encontra exatamente no limite inferior da faixa recomendada pela ABNT NBR 17037:2023<sup>4</sup>, a qual estabelece temperaturas entre 21 °C e 26 °C para ambientes climatizados artificialmente não residenciais. A umidade relativa do ar (UR) medida foi de 57%, permanecendo dentro do intervalo normativo de 35 a 65%, o que favorece tanto a saúde dos ocupantes quanto a sensação de conforto térmico. Embora a ausência de movimentação do ar (0,00 m/s) possa contribuir para uma percepção de estagnação, a combinação entre temperatura e UR atende aos requisitos legais. O ponto apresentado no gráfico 4 do C1 revela um valor de PMV = -0,75, posicionado na escala de sensação entre Neutro e Levemente Frio. O índice PPD correspondente é 10,22%, fora da faixa da zona de conforto térmico B da norma ISO 7730, mas ainda dentro da zona de conforto C, a menos restritiva.

<sup>4</sup> A ABNT NBR 17037:2023 define parâmetros de conforto térmico, qualidade do ar e taxas de renovação para ambientes climatizados artificialmente de uso não residencial, incluindo consultórios e clínicas de saúde.

Por outro lado, o consultório C2 apresentou uma temperatura do ar de 21,00 °C e uma temperatura radiante média igualmente de 21,00 °C, indicando que as superfícies do ambiente não estão influenciando significativamente a sensação térmica por radiação. A temperatura do globo, que combina a temperatura do ar e a radiação térmica, também foi de 21,00 °C, confirmando que as condições térmicas são homogêneas. A umidade relativa do ar foi de 46%, valor que se encontra dentro da faixa recomendada pela Norma NBR 17037/2023, entre 35% e 65%. Esse nível de umidade é importante para evitar tanto a sensação de secura quanto o desconforto causado pela umidade excessiva. A pressão de vapor de 1,14 kPa e a temperatura de orvalho de 8,83 °C refletem um ar com moderada quantidade de vapor d'água, mantendo um equilíbrio que contribui para a sensação de conforto.

Com relação à velocidade do ar, novamente não foi detectado valor acima de 0,00 m/s, indicando ausência de corrente de ar no ambiente. Essa condição, embora possa ser confortável por evitar correntes de ar frias, também pode reduzir a sensação de frescor, especialmente em ambientes com carga térmica maior ou em períodos de maior atividade.

O valor de PMV encontrado para o consultório C2 foi de 0,52, levemente acima do limite superior da faixa de conforto térmico B recomendada da norma ISO 7730, que varia de -0,5 a +0,5. Isso indica que o ambiente pode ser percebido como ligeiramente quente por alguns ocupantes.

Nos consultórios 3 e 5, os resultados foram mais equilibrados. O consultório 3 apresentou um PMV de 0,32 e PPD de 7,13%, dentro da faixa de conforto B, indicando que o ambiente foi considerado termicamente adequado pela maioria dos ocupantes. Já o consultório 5, com PMV de 0,53 e PPD de 10,94%, mostrou tendência semelhante ao consultório 2, com leve desconforto térmico associado ao calor, ainda que em níveis moderados.

O consultório 4 se destacou negativamente, com PMV de 1,10 e PPD de 30,47%, configurando um ambiente termicamente insatisfatório, na escala de sensação entre levemente quente e quente. Essa condição térmica pode comprometer o desempenho profissional, além de aumentar o risco de fadiga e queda da produtividade. A adoção de medidas corretivas, como revisão dos equipamentos

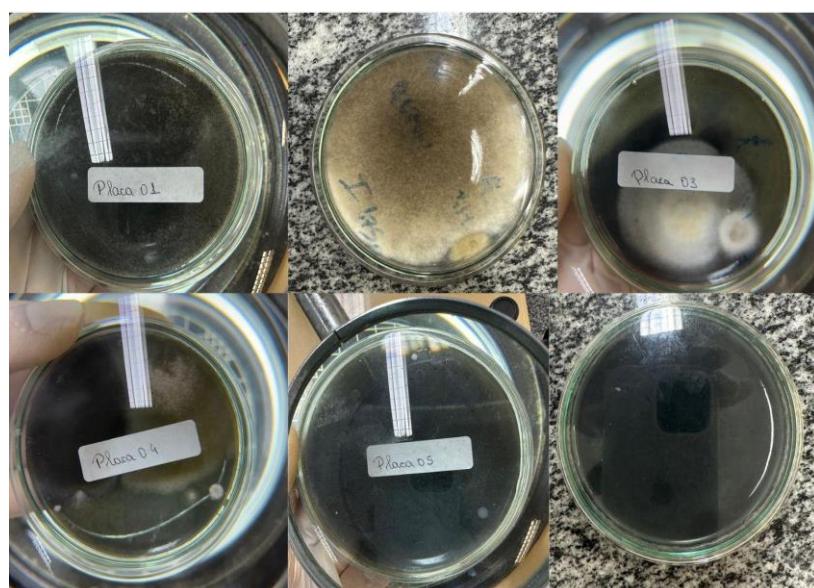
de climatização, inserção de barreiras solares e aumento da ventilação, é recomendada.

Por fim, o consultório 6 apresentou um cenário oposto, com PMV de -0,97 e PPD de 24,68%, indicando uma sensação de levemente frio (PMV = -1). O valor elevado de PPD reforça que mais de um quarto dos ocupantes pode se sentir insatisfeito com o ambiente térmico, o que pode ser resultado de excesso de climatização ou baixa radiação térmica. Essa situação também requer atenção, pois ambientes excessivamente frios podem gerar desconforto fisiológico e até riscos ocupacionais, como dores musculares ou agravamento de doenças respiratórias. Em geral somente o consultório C1 e C2 (21º respectivamente) tiveram temperaturas do ar dentro do recomendado pela ABNT NBR 7256:2021 que é na faixa de 20º-24º.

#### 4.4 Enumeração da *Legionella*.

Os resultados da primeira análise de *Legionella* não foram satisfatórios em termos de conclusões, a maioria das placas, incluindo placas de controle, foram contaminadas com fungos de diversas espécies, indicando a necessidade de mudança na metodologia. Foram encontrados erros como a falta de cabine de biossegurança, que seria essencial para garantir a esterilidade na hora da inoculação da amostra nas placas representadas na figura 14.

**Figura 14:** Placas de petri analisadas



Fonte: A autora, 2024.

A placa 05 foi a única que cresceu uma colônia de cor branca, aspecto translúcido com brilho ligeiramente opalescente e bordas lisas regulares, colônias característica da *Legionella*, porém, a análise microscópica e testes para confirmação da *Legionella* não foram aplicados, além da ocorrência de contaminação da placa por fungos, não podendo ser validados os resultados.

Em um teste posterior, foi feita uma análise do mesmo sistema de ar condicionado, e foi possível obter crescimento de colônias suspeitas, as mesmas foram esgotadas em placas BCYE e BCYE(-) para observar seu crescimento. Nesta segunda análise, como observada na Figura 15, o teste deu negativo para *Legionella*, pois a colônia suspeita cresceu nos dois meios, negativando a amostra para a bactéria.

**Figura 15:** Segundo teste em laboratório para *Legionella*



**Fonte:** A autora, 2025.

Em uma terceira etapa da análise laboratorial, foi realizada a subcultura de uma colônia suspeita proveniente da amostra coletada no sistema de ar-condicionado avaliado. Essa colônia foi semeada em meios BCYE (com cisteína) e BCYE(-) (sem cisteína), específicos para o isolamento e identificação de *Legionella*. Como mostrado na Figura 16, observou-se crescimento microbiano em ambas as placas.

**Figura 16:** Aspectos das placas em crescimento bacteriano em meios BCYE (com cisteína) e BCYE(-) (sem cisteína)



**Fonte:** A autora, 2025.

O desenvolvimento de colônias nos dois meios indica que a bactéria isolada não apresenta dependência de cisteína para seu crescimento, característica fundamental para o diagnóstico de *Legionella*. Dessa forma, o resultado obtido foi negativo para *Legionella*, reforçando que a colônia suspeita não pertence a esse gênero bacteriano. Durante essa análise laboratorial não foram identificadas colônias confirmadas de *Legionella*. No entanto, observou-se o desenvolvimento de morfotipos com características compatíveis com o gênero, como crescimento lento em meio seletivo e colônias de aspecto translúcido, o que reforça a importância da diferenciação laboratorial adequada, uma vez que a bactéria apresenta nicho ecológico específico em sistemas artificiais de água aquecida (CDC, 2025)

A pesquisa realizada neste estudo não identificou a presença de *Legionella spp.* nas amostras de água coletadas no ar condicionado avaliado. Esse achado pode estar relacionado à ausência de condições ideais para proliferação da bactéria, como estagnação hídrica, temperaturas entre 25 °C e 42 °C e presença de biofilmes em sistemas de água. No entanto, dados internacionais demonstram que a *Legionella* representa um risco crescente. Em 2021, a União Europeia registrou a maior taxa de notificação já observada para a Doença dos Legionários, com 2,4 casos por 100 mil habitantes, sendo a maioria dos casos de origem comunitária (ECDC, 2023).

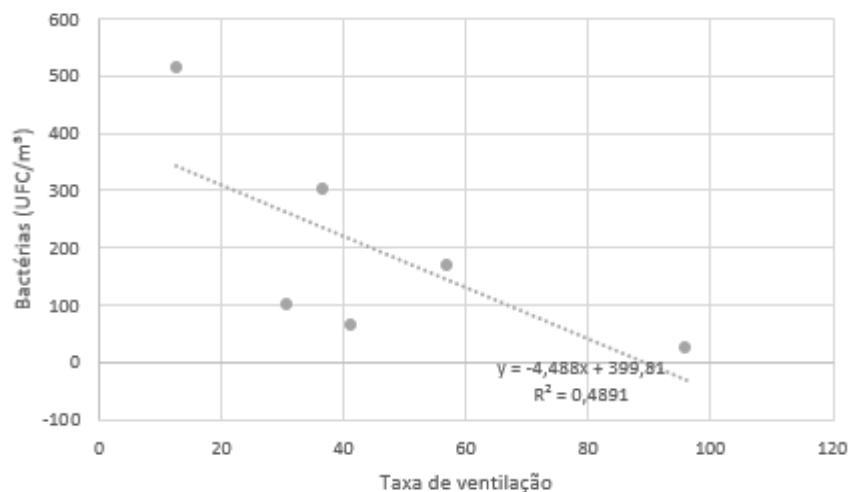
Além disso, a literatura destaca a importância da identificação genotípica da *Legionella spp.* em ambientes de risco, especialmente com o uso de métodos baseados na amplificação do gene mip (*macrophage infectivity potentiator*), como demonstrado por Fry *et al.* (2007), que relataram alta eficácia e precisão em laboratórios de referência europeus. A *L. pneumophila* é o principal agente etiológico da Doença dos Legionários, uma infecção respiratória grave. Aproximadamente 90% dos casos de legionelose são atribuídos a essa espécie, sendo os surtos frequentemente associados a sistemas artificiais de abastecimento de água, como torres de resfriamento e sistemas de climatização (Wang *et al.*, 2025).

A vigilância ambiental se faz necessário e reforça a necessidade de estratégias preventivas em ambientes de atenção à saúde, como os consultórios odontológicos. A vigilância contínua é essencial, considerando a subnotificação em diversos países e o risco de exposição em sistemas hidráulicos inadequadamente monitorados.

#### **4.5 Correlação dos parâmetros**

A ventilação é um dos principais fatores associados à qualidade microbiológica do ar interior, especialmente em ambientes clínicos fechados como consultórios odontológicos, onde há produção constante de aerossóis durante os atendimentos. Neste contexto, foi avaliada a correlação entre a taxa de ventilação (medida em  $\text{m}^3/\text{h/pessoa}$ ) e a concentração de bactérias viáveis no ar ( $\text{UFC}/\text{m}^3$ ), conforme demonstrado no gráfico 5.

**Gráfico 5:** Avaliação da correlação da taxa de ventilação x bactérias

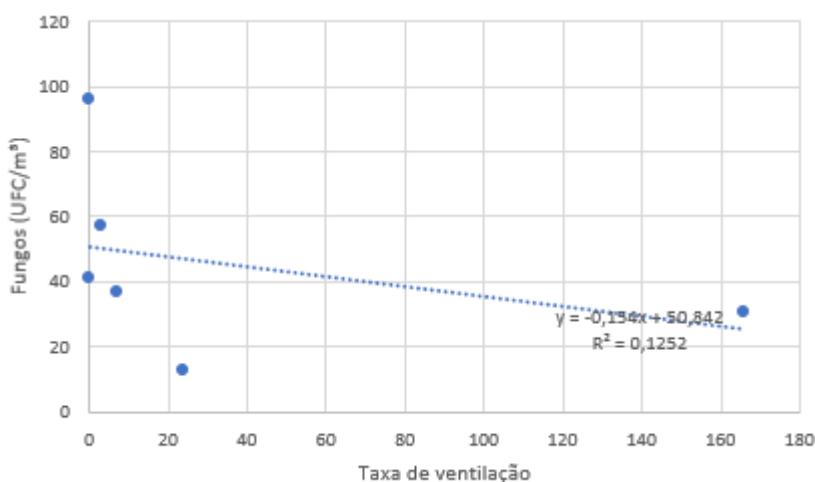


**Fonte:** A autora, 2025.

A análise demonstrou uma correlação negativa de intensidade forte ( $r = -0,6993$ ), indicando que o aumento da taxa de ventilação tende a reduzir a concentração de bactérias no ambiente. Essa relação é representada pela equação da reta de tendência, onde se observa uma redução média de aproximadamente 4,5 unidades de  $\text{UFC}/\text{m}^3$  para cada aumento de  $1 \text{ m}^3/\text{h/pessoa}$  na taxa de ventilação. O coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,4891$ ) revela que cerca de 49% da variação nas concentrações bacterianas pode ser explicada pela taxa de ventilação, sendo o restante influenciado por variáveis como frequência de limpeza, número de pessoas no ambiente e tempo de uso do ar-condicionado, entre outros.

Além das bactérias, também foi investigada a relação entre a taxa de ventilação e a presença de fungos viáveis no ar dos consultórios odontológicos avaliados, como representada no gráfico 6 apresentando os resultados da análise de correlação entre essas duas variáveis. Ademais, tal como apontado por Hallier *et al.* (2010), que demonstraram redução significativa na concentração de bioaerossóis com o uso de sistemas de purificação de ar, os dados desta pesquisa reforçam a necessidade de estratégias complementares ao uso de EPIs e ventilação natural, como sistemas de filtração ativa, principalmente em consultórios com baixa taxa de renovação de ar.

**Gráfico 6:** Avaliação da correlação da taxa de ventilação x fungos



**Fonte:** A autora, 2025.

A correlação identificada foi negativa e de baixa intensidade ( $r = -0,3538$ ), sugerindo uma tendência de diminuição da concentração de fungos à medida que aumenta a taxa de ventilação. No entanto, o coeficiente de correlação ( $R^2 = 0,1252$ )

indica que apenas 12,5% da variação na quantidade de fungos pode ser explicada pela taxa de ventilação. A equação da reta de regressão linear revela uma queda muito sutil na concentração fúngica por unidade de aumento da ventilação, o que sugere uma relação fraca entre os dois parâmetros neste estudo.

Essa avaliação reforça com os achados de Santos e Hasslocher-Moreno (2024), que identificaram ineficiência microbiológica em sistemas de ventilação hospitalar com filtragem HEPA. Assim como evidenciado no estudo hospitalar, os consultórios desta pesquisa apresentaram concentrações microbianas acima dos valores recomendados, especialmente em ambientes com baixa taxa de renovação de ar e ventilação ineficaz. A correlação entre umidade relativa elevada e maior carga de bioaerossóis também foi observada, apontando para a necessidade de manutenção periódica e adequada dos sistemas de climatização.

Os dados obtidos demonstraram que a correlação entre a taxa de ventilação e a carga de bactérias mesófilas foi mais consistente do que aquela observada em relação à carga fúngica. Esse achado sugere que as bactérias mesófilas podem ser indicadores mais sensíveis e representativos das condições de ventilação e da qualidade do ar interior em ambientes odontológicos. Diante disso, reforça-se a importância de revisar e atualizar as legislações brasileiras vigentes, para incluir de forma mais enfática os parâmetros de bactérias mesófilas como referência obrigatória nos padrões de qualidade do ar. Tal inclusão pode aprimorar significativamente a vigilância sanitária em ambientes climatizados artificialmente, contribuindo para um controle mais eficaz dos riscos microbiológicos.

## **5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Os resultados desta pesquisa evidenciaram aspectos relevantes sobre a qualidade do ar em consultórios odontológicos de Aracaju, com pontos fortes e fragilidades que merecem destaque crítico.

Do ponto de vista microbiológico, observou-se que, em geral, as cargas bacterianas e fúngicas se mantiveram abaixo dos limites de referência da NBR 17037/2023. No entanto, o consultório C1 (P1) ultrapassou o limite de bactérias mesófilas ( $512 \text{ UFC/m}^3$  frente ao valor de  $500 \text{ UFC/m}^3$ ), resultado expressivo por ocorrer próximo à cadeira odontológica, local de maior geração de aerossóis. Esse achado reforça que, embora a maioria dos consultórios esteja em conformidade normativa, pontos críticos próximos às fontes de contaminação podem ultrapassar valores de referência, devendo ser considerados em protocolos de monitoramento. Em contrapartida, os fungos apresentaram valores muito abaixo dos limites (máximo de  $106 \text{ UFC/m}^3$ ), não configurando risco significativo.

A ventilação se mostrou um dos parâmetros mais problemáticos e merece análise ampliada. Avaliando-se em  $\text{m}^3/\text{h/pessoa}$ , o consultório C1 apresentou taxa de apenas  $12,79 \text{ m}^3/\text{h/pessoa}$ , valor considerado insuficiente diante das exigências de qualidade do ar em ambientes de saúde. Já os consultórios C2, C3, C4 e C5 apresentaram taxas intermediárias, enquanto o C6 atingiu  $96 \text{ m}^3/\text{h/pessoa}$ , destacando-se positivamente. Entretanto, nenhum dos consultórios alcançou os  $126 \text{ m}^3/\text{h/pessoa}$  recomendados pela ANSI/ASHRAE 241:2023 para ambientes de risco com geração de aerossóis, confirmando a insuficiência generalizada das taxas de ventilação em relação a padrões internacionais.

Além disso, a análise em trocas de ar por hora (ACH), conforme apresentado na Tabela 3, reforça essa conclusão. Segundo a ABNT NBR 7256:2021, ambientes de atendimento em saúde devem atender a pelo menos 2 trocas de ar/hora, enquanto a ASHRAE 170 recomenda 3 trocas de ar/hora para consultórios odontológicos e similares. Nos resultados obtidos, verificou-se que consultórios como o C1 apresentaram taxas abaixo desses parâmetros, evidenciando ventilação insuficiente, enquanto outros se aproximaram dos valores mínimos, ainda que sem atingir plenamente os critérios da ASHRAE 170. Essa avaliação mostra que, tanto pelo critério de vazão por pessoa quanto pelo critério de trocas de ar/hora, a maioria dos consultórios não atende a padrões normativos mais atuais de qualidade de ar interior, com risco potencial de acúmulo de contaminantes biológicos.

A análise de correlação demonstrou ainda que a ventilação influenciou fortemente a carga bacteriana ( $R^2 \approx 0,49$ ), mas não os fungos, sugerindo que as bactérias mesófilas são melhores indicadoras das condições de ventilação — um ponto que reforça a necessidade de revisão normativa brasileira.

Quanto ao conforto térmico, os resultados apontaram discrepâncias significativas. Os consultórios C3 e C2 permaneceram em zona de conforto próxima ao recomendado pela ISO 7730 (PMV entre -0,5 e +0,5 e PPD < 10%). Porém, C4 apresentou PMV de +1,10 e PPD de 30,47%, indicando ambiente claramente insatisfatório por calor excessivo, enquanto o C6 apresentou PMV de -0,97 e PPD de 24,68%, configurando desconforto por frio. Esses extremos revelam que o cumprimento da faixa de temperatura estabelecida na NBR 7256:2021 (20–24 °C) não garante condições adequadas de conforto térmico, uma vez que variáveis como velocidade do ar, radiação térmica e atividade influenciam diretamente os índices PMV e PPD.

Em relação à *Legionella*, não foram encontradas colônias confirmadas nas amostras analisadas. Apesar desse resultado positivo, as limitações metodológicas, como a contaminação fúngica das placas, a ausência de cabine de biossegurança e o número restrito de amostras, reduzem a robustez da conclusão de ausência. Assim, o achado deve ser interpretado com cautela, à luz das diretrizes da ISO 11731/2017 e da NBR 16824/2020, que exigem protocolos mais abrangentes de coleta e confirmação. A ausência de detecção, portanto, não equivale à eliminação do risco, reforçando a necessidade de monitoramento contínuo em sistemas de climatização.

Considerando os achados e limitações desta pesquisa, recomenda-se que trabalhos futuros avancem em diferentes direções. Em primeiro lugar, é fundamental ampliar a amostragem, incluindo um número maior de consultórios localizados em diferentes regiões da cidade, de forma a contemplar variáveis como porte dos estabelecimentos, tempo de funcionamento, tipo de climatização e rotinas de manutenção. Também se faz necessária a realização de monitoramentos sazonais, capazes de identificar como as variações climáticas ao longo do ano influenciam a qualidade do ar, a prevalência de microrganismos e as condições de conforto térmico, superando a limitação do recorte temporal adotado neste estudo.

Outra frente importante refere-se à investigação mais aprofundada dos sistemas de climatização e de água, como torres de resfriamento, reservatórios e aparelhos centrais de ar condicionado, tendo em vista que a ausência de detecção de

*Legionella* neste estudo não exclui riscos futuros, especialmente diante das fragilidades metodológicas observadas, como contaminação cruzada e ausência de métodos moleculares de confirmação. Nesse sentido, o uso de técnicas complementares, como PCR e sequenciamento, pode oferecer maior robustez aos resultados e reduzir a possibilidade de falsos negativos.

No campo da ventilação, sugere-se que pesquisas futuras avaliem não apenas as vazões em  $\text{m}^3/\text{h}/\text{pessoa}$ , mas também as trocas de ar por hora (ACH), comparando de forma sistemática os valores medidos com as referências da NBR 7256:2021 e da ASHRAE 170. Estudos experimentais que testem soluções de aumento da renovação de ar, incluindo ventilação mecânica controlada e estratégias híbridas, poderiam contribuir para reduzir a discrepância observada entre as exigências nacionais e os parâmetros mais rigorosos de normas internacionais, como a ASHRAE 241.

Também se mostra relevante integrar os achados ambientais com indicadores epidemiológicos, relacionando a exposição ocupacional em ambientes odontológicos com doenças respiratórias e outros desfechos clínicos em profissionais e pacientes. Paralelamente, recomenda-se a avaliação de tecnologias mitigadoras que possam ser incorporadas na prática odontológica, como sistemas de filtragem HEPA, radiação germicida por UV-C e até mesmo soluções de biofiltração com plantas de baixo custo.

Por fim, destaca-se a necessidade de articulação entre universidades, órgãos de vigilância sanitária e conselhos profissionais, a fim de desenvolver protocolos de monitoramento contínuo, programas de capacitação para equipes e campanhas de conscientização voltadas à relevância da qualidade do ar interior.

## 6.REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7256:2021 – Sistemas de tratamento de ar – Requisitos para projeto e execução de instalações para estabelecimentos assistenciais de saúde. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7256: Sistemas de climatização - Requisitos de ventilação para ambientes fechados. ABNT, 1997. Disponível em: <https://www.abnt.org.br/>.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 17037: 2023. Qualidade do Ar Interior em Ambientes Não Residenciais Climatizados Artificialmente – Padrões Referenciais. Rio de Janeiro, 2023.

ABRAVA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR-CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO. Recomendação Normativa RN 07 - 2018. Manutenção de sistemas de climatização, 2018.

ALEXANDRE BAUDET *et al.* Microbiological Contamination of the Office Environment in Dental and Medical Practice. *Antibiotics*, v. 10, n. 11, p. 1375–1375, 10 nov. 2021.

ANDUALEM, Z. *et al.* Indoor bacterial load and its correlation to physical indoor air quality parameters in public primary schools. *Multidisciplinary Respiratory Medicine*, v. 14, n. 1, 22 jan. 2019.

ANSI/ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. ASHRAE Standard 62.1-2019: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Atlanta, 2019.

ANSI/ASHRAE - AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE; AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS; AMERICAN SOCIETY FOR HEALTHCARE ENGINEERING. ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2021: *Ventilation of Health Care Facilities*. Atlanta, GA: ASHRAE, 2021.

ANSI/ASHRAE - AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE / AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS - ANSI/ASHRAE 241 – 2023. Control of Infectious Aerosols, 2023.

ANTONIO, A. *et al.* UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA CENTRO TECNOLÓGICO -DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL CONFORTO E STRESS TÉRMICO. [s.l]: 2016].

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Guia da Qualidade para Sistemas de Tratamento de Ar e Monitoramento Ambiental na Indústria Farmacêutica. Brasília, 2013.

ANVISA, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Módulo 6 - Detecção e Identificação de Bactérias de Importância Médica, 2020.

ARSAD, Fadly Syah; HOD, Rozita; AHMAD, Norfazilah; BAHAROM, Mazni; JA'AFAR, Mohd Hasni. Assessment of indoor thermal comfort temperature and related behavioural adaptations: a systematic review. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 30, p. 73137–73149, 2023.

ASHRAE. Standard 55 – Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Disponível em: <<https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-55-thermal-environmental-conditions-for-human-occupancy>>.

BATTERMAN, S. et al. Ventilation rates in recently constructed U.S. school classrooms. *Indoor Air*, v. 27, n. 5, p. 880–890, 3 maio 2017.

BOZIC, Jelena. LLIC, Predrag. ILIC, Svetlana. Indoor Air Quality in the Hospital: The Influence of Heating, Ventilating and Conditioning Systems. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. Vol.62: e19180295, 2019.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RE nº 9, de 16 de janeiro de 2003. Dispõe sobre padrões referenciais de qualidade do ar interior em ambientes climatizados artificialmente. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 2003.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. *Serviços Odontológicos: prevenção e controle de riscos*. Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 156 p. (Série A. Normas e Manuais Técnicos). ISBN 84-334-1050-6.

BRASIL. Lei 13.589 de 4 de janeiro de 2018. Dispõe sobre a manutenção de instalações e equipamentos de sistemas de climatização de ambientes. Brasília, DF: *Diário Oficial da União*, 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 3.523, de 28 de agosto de 1998. Dispõe sobre o regulamento técnico contendo medidas básicas para garantir a qualidade do ar interior em ambientes climatizados artificialmente. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 1998.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 176, de 24 de outubro de 2000. Dispõe sobre regulamento técnico de funcionamento dos sistemas de climatização de interesse para a saúde. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 2000.

CASTELHANO, Francisco Jablinski; PINTO, Josefa Eliane Santana de Siqueira. Aspectos geográficos da qualidade do ar em Aracaju, Brasil. *Caminhos de Geografia*, Uberlândia, v. 23, n. 87, p. 191-205, jun. 2022.

CDC, Centers for Disease Control and Prevention. *Procedures for the Recovery of Legionella from the Environment*. 2005.

COCARȚĂ, D. M. et al.. Indoor Air Pollution with Fine Particles and Implications for Workers' Health in Dental Offices: A Brief Review. *Sustainability*, v. 13, n. 2, p. 599, 10 jan. 2021.

CONSELHO FEDERAL DE QUÍMICA. CRQ IV promove discussão sobre a *Legionella*. Brasília, 12 abr. 2021.

COSTA, Klebson Cordeiro. Qualidade microbiológica do ar em ambientes climatizados. 2022. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2022.

CUI, S., COHEN, M., STABAT, P., MARCHIO, D. CO<sub>2</sub> tracer gas concentration decay method for measuring air change rate, Building and Environment, v. 84, p. 162-169, ISSN 0360-1323, 2014.

DEY, S. et al. Quantifying strategies to minimize aerosol dispersion in dental clinics. Experimental and Computational Multiphase Flow/Experimental and computational multiphase flow, v. 5, n. 3, p. 290–303, 28 mar. 2023.

DUTIL, S. et al. Measurement of Airborne Bacteria and Endotoxin Generated During Dental Cleaning. Journal of Occupational and Environmental Hygiene, v. 6, n. 2, p. 121–130, 30 dez. 2008.

ECDC, European Centre for Disease Prevention and Control. Legionnaires' disease. Annual Epidemiological Report for 2021. Stockholm: ECDC; 2023.

ECOLAB BRASIL. *Falta de recursos e acompanhamento público resultam em subnotificação de casos de Legionella no Brasil*. São Paulo, 21 mai. 2025.

FANGER, P. O. Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering. Danish Technical Press. P. 244, 1970.

FENNELLY, K. P. Particle sizes of infectious aerosols: implications for infection control. The Lancet Respiratory Medicine, v. 8, n. 9, p. 914–924, 1 set. 2020.

FRY, N. K. et al. Identification of *Legionella* spp. by 19 European reference laboratories: results of the European Working Group for *Legionella* Infections External Quality Assessment Scheme using DNA sequencing of the macrophage infectivity potentiator gene and dedicated online tools. Clinical Microbiology and Infection, v. 13, n. 11, p. 1119–1124, nov. 2007.

GAMA, T. M. et al. Avaliação do nível de contaminação por bioaerossóis no ambiente clínico da Policlínica Odontológica da Universidade do Estado do Amazonas. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 6, p. 37397-37410, 2020.

GIAMPAOLI, Eduardo, et al. Norma de Higiene Ocupacional NHO 06 Avaliação da exposição ocupacional ao calor Procedimento técnico 2 a edição. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://apisobrecarga.fundacentro.gov.br/doc/NHO06.pdf>>.

HALLIER, C. et al. A pilot study of bioaerosol reduction using an air cleaning system during dental procedures. British Dental Journal, v. 209, n. 8, p. E14, 2010. DOI: 10.1038/sj.bdj.2010.975.

HAYLEYESUS, S. F.; MANAYE, A. M. Microbiological Quality of Indoor Air in University Libraries. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, v. 4, p. S312–S317, maio 2014.

HARREL, SK, MOLINARI J. Aerosols and splatter in dentistry: a brief review of the literature and infection control implications. *J Am Dent Assoc*. 2004.

HIWAR, W. et al. The impact of ventilation rate on reducing the microorganisms load in the air and on surfaces in a room-sized chamber. *Indoor Air*, v. 32, n. 11, nov. 2022.

HUANG, Q. et al. Ventilation Assessment by Carbon Dioxide Levels in Dental Treatment Rooms. *Journal of Dental Research*, p. 002203452110144, 11 maio 2021.

HUMPHREYS, M. A. The variation of comfortable temperatures. *International Journal of Energy Research*, v. 3, n. 1, p. 13–18, 1979.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 7730: 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*. Geneva: ISO, 200

KUMAR, Ashok et al. Ventilation and indoor air quality. *Atmosphere*, v. 13, n. 10, p. 1730, 2022.

MA, Siyu et al. Investigation of thermal comfort and preferred temperatures for healthcare staff in hospitals in Ningbo, China. *Journal of Building Engineering*, v. 80, p. 108029, 1 dez. 2023.

MIRHOSEINI, Seyed Hamed et al. Quantitative and qualitative assessment of microbial aerosols in different indoor environments of a dental school clinic. *Aerobiologia*, v. 37, p. 217–224, 2021.

MOHAMMADI, Hamzeh et al. Ventilation system performance and its influence on indoor bioaerosols and thermal comfort in a COVID-19-designated hospital, Tehran. *Journal of housing and the built environment*, v. 38, n. 4, p. 2669–2685, 29 ago. 2023.

MUJAN, Igor et al. Development of indoor environmental quality index using a low-cost monitoring platform. *Journal of Cleaner Production*, 312, 27846, 2021.

OMS. Organização Mundial da Saúde. *Air Quality Guidelines: Global Update 2005*. World Health Organization, 2006.

PAHO. Pan American Health Organization. *Guidance on Indoor Environmental Quality in Health Care Facilities*. 2023.

PAREEK, Ashutosh *et al.* Global surge of Legionnaires' disease in 2024: urgent call for heightened awareness and preparedness. *The Lancet Microbe*, v. 6, n. 4, p. 101031, 2025.

PORTUGAL. Direção-Geral da Saúde. Plano de Prevenção Primária e Controlo da *Legionella*. Lisboa: Direção-Geral da Saúde, 2024.

REIS, Danillo Viana Andrade. QUALIDADE AMBIENTAL DE SALAS DE AULA BASEADA NA AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO E DA QUALIDADE DO AR INTERIOR. 2023, 85 p. dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, 2023.

S NAGRAJ, Kumbargere. P, Eachempati, M, Paisi, M, Nasser. G, Sivaramakrishnan, JH, Verbeek. Interventions to Reduce Contaminated Aerosols Produced During Dental Procedures for Preventing Infectious Diseases. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, Issue 10. Art. No.: CD013686, 2020.

SANTOS, VICTOR LUIZ DE CASTRO *et al.* Avaliação do alcance da contaminação por bioaerossóis durante a prática dentária em uma clínica universitária. *RSBO*, v. 18, n. 2, p. 4334–440, 1 dez. 2021.

SANTOS, R. A.; HASSLOCHER-MORENO, A. M. Study of the Microbiological Efficiency of a Hospital Ventilation System with Hepa Filtration in the Prevention of Airborne Pathogens. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, v. 18, n. 11, p. e09641–e09641, 6 nov. 2024.

SERRANO, Leyre *et al.* Short- and long-term prognosis of patients with community-acquired *Legionella* or pneumococcal pneumonia diagnosed by urinary antigen testing. *International journal of infectious diseases*, v. 134, p. 106–113, 1 set. 2023.

SODIQ, Ahmed. KHAN, Moazzam Ali. NAAS, Mahmoud. AMHAMED, Abdulkarem. Addressing COVID-19 contagion through the HVAC systems by reviewing indoor airborne nature of infectious microbes: Will an innovative air recirculation concept provide a practical solution. *Environmental Research*, 2021.

SUNG, Wen-Tsai; HSIAO, Sung-Jung. Building an indoor air quality monitoring system based on the Internet of Things architecture. *J Wireless Com Network* 2021, 153 (2021).

TALAPKO, Jasminka *et al.* *Legionella pneumophila*—Virulence Factors and the Possibility of Infection in Dental Practice. *Microorganisms*, v. 10, n. 2, p. 255, 24 jan. 2022.

THOMÉ, Geninho. BERNADES, Sérgio Rocha. GUANDALINI, Sérgio. GUIMARÃES, Maria Claudia Vieira. Manual de Boas Práticas em Biossegurança para ambientes Odontológicos. Conselho Federal de Odontologia, 2020.

WANG, Yuehua *et al.* The hidden dancers in water: the symbiotic mystery of *Legionella pneumophila* and free-living amoebae. *Frontiers in Microbiology*, v. 16, e1634806, 2025.

WHO. World Health Organization. Guidelines for Indoor Air Quality: Household Fuel Combustion. Geneva, 2014.

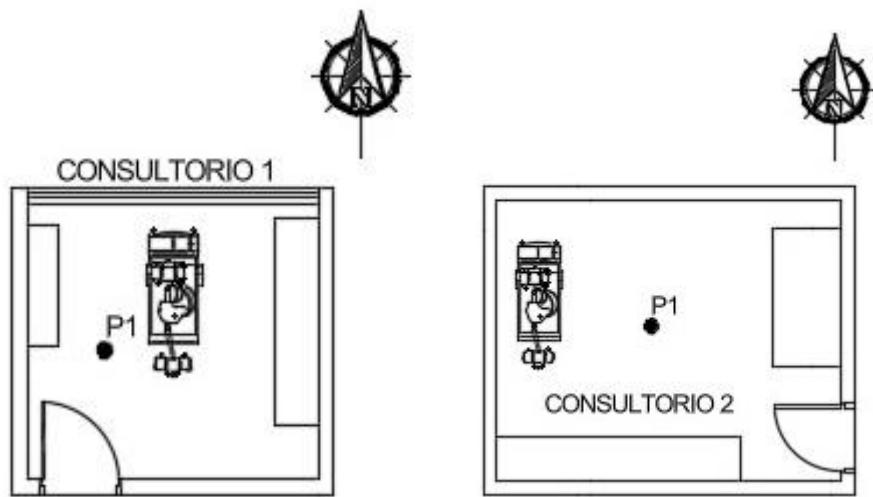
YÜKSEL, Ahmet *et al.* A review on thermal comfort, indoor air quality and energy consumption in temples. Journal of Building Engineering, v. 35, p. 102013, mar. 2021.

ZEMOURI, C. *et al.* Modeling of the Transmission of Coronaviruses, Measles Virus, Influenza Virus, Mycobacterium tuberculosis, and *Legionella pneumophila* in Dental Clinics. Journal of Dental Research, v. 99, n. 10, p. 1192–1198, 1 set. 2020.

ZHANG, Jiaxin *et al.* Assessment of COVID-19 infection Risk, thermal Comfort, and energy efficiency in negative pressure isolation wards with varied ventilation modes. Energy and buildings, v. 308, p. 114002–114002, 1 abr. 2024.

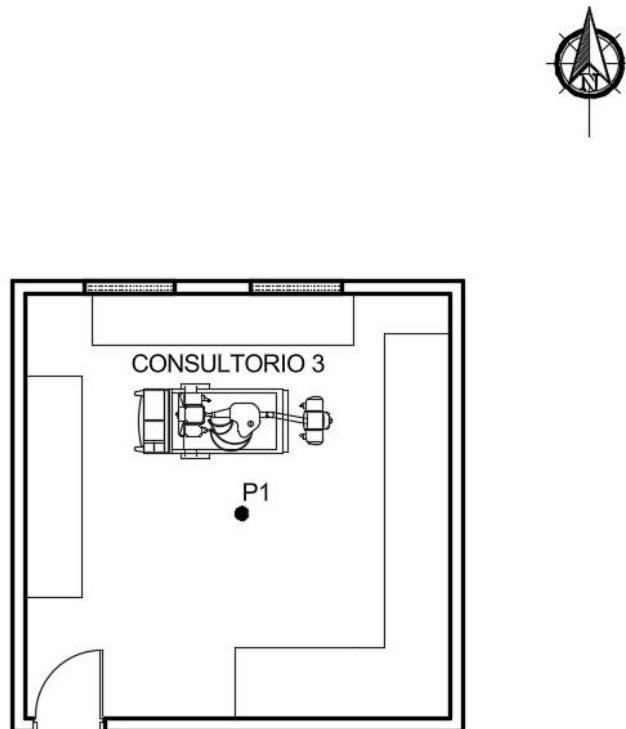
## **ANEXOS**

Anexo A - layout dos consultórios 1 e 2



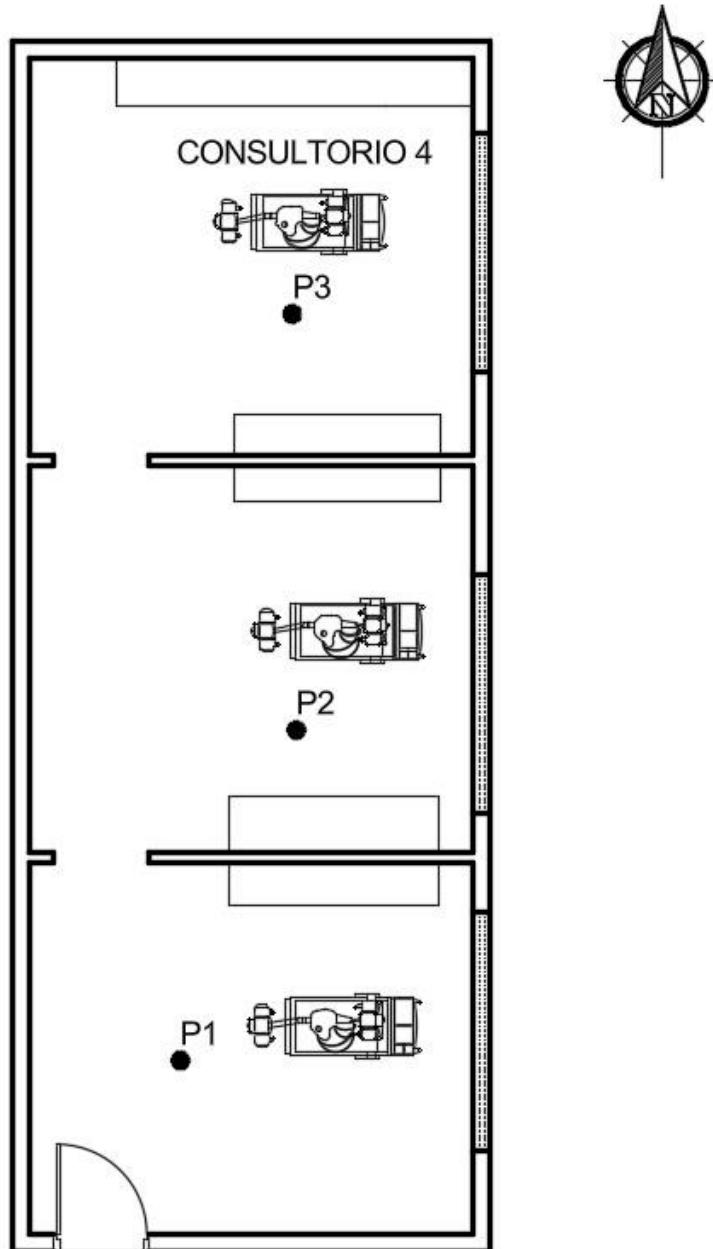
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Anexo B - Layout do consultório 3



Fonte: Elaboração própria, 2025.

Anexo C - Layout do consultório 4



Fonte: Elaboração própria, 2025.

Anexo D - Layout dos consultórios 5 e 6



Fonte: Elaboração própria, 2025.