

ARTIGO

Avaliação dos níveis de poluição do ar em um ambiente hospitalar durante a pandemia

Gabriel G. De Barros¹

Eduarda Santa-Helena^{1,2}

Anna De Falco¹

Carlos Leonny R. Fragoso¹

Adriana Gioda^{1*}

¹ Departamento de Química, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rua Marquês de São Viveiro, 225, Gávea, Rio de Janeiro, RJ, CEP 22451-900

² Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Rio Grande, RS, Brasil

*Autor correspondente: agioda@puc-rio.br

RESUMO

Pesquisas sobre a qualidade do ar em ambientes internos começaram a ganhar destaque na década de 1970, especialmente no hemisfério norte, em resposta à crise energética daquela época. Para economizar energia, foram desenvolvidos edifícios "vedados", projetados para minimizar a troca de ar interno e externo. No entanto, essa abordagem resultou em uma ventilação inadequada, que aumentou significativamente os níveis de poluentes internos. Com o advento da pandemia da COVID-19, em 2020, voltou à tona a importância da ventilação para reduzir a transmissão do vírus SARS-CoV-2. Ambientes hospitalares tiveram atenção especial nesse período. Esse trabalho buscou avaliar a qualidade do ar em um hospital universitário considerando alguns parâmetros físico-químicos (material particulado (MP), CO₂, temperatura e umidade relativa) definidos pela Resolução no. 9 da Anvisa. Os resultados mostraram que, dentre os parâmetros analisados, apenas o CO₂ atendeu aos padrões de qualidade do ar. Os demais parâmetros não estavam em concordância com as legislações devido a maior troca interna/externa recomendados pelas agências sanitárias para evitar o acúmulo de vírus e a sua transmissão. Dessa forma, a abertura de portas e janelas para aumentar a ventilação fez com que a qualidade do ar interno e externo fosse similar.

Palavras-chave: *Poluentes do ar, legislação, recomendações sanitárias; COVID-19, hospitais*

ABSTRACT

Research on indoor air quality began to gain prominence in the 1970s, especially in the northern hemisphere, in response to the energy crisis of that time. To save energy, "sealed" buildings were developed, designed to minimize the exchange of indoor and outdoor air. However, this approach resulted in inadequate ventilation, significantly increasing the levels of indoor pollutants. With the advent of the COVID-19 pandemic in 2020, the importance of ventilation to reduce the transmission of the SARS-CoV-2 virus resurfaced. Hospital environments received special attention during this period. This study aimed to evaluate the air quality in a university hospital considering some physicochemical parameters (particulate matter (PM), CO₂, temperature, and relative humidity) defined by Anvisa Resolution No. 9. The results showed that, among the analyzed parameters, only CO₂ met air quality standards. The other parameters did not comply with the regulations due to the increased internal/external exchange recommended by health agencies to prevent virus accumulation and transmission. Thus, the opening of doors and windows to increase ventilation made the indoor and outdoor air quality similar.

Keywords: *Air pollutants, legislation, health recommendations, COVID-19, hospitals.*

INTRODUÇÃO

A qualidade do ar, desde a Revolução Industrial, tem piorado gradativamente com o passar dos anos. Segundo estudos da Organização Mundial da Saúde (OMS), praticamente, toda a população mundial (99 %) se encontra vivendo em cidades com a qualidade do ar além dos limites recomendados (WHO, 2022). Estudos sobre a Qualidade do Ar Interno (QAI), tiveram início na década de 1970, especialmente no hemisfério norte, em resposta à crise energética daquela década. Para economizar energia, foram desenvolvidos edifícios com vedação hermética, conhecidos como "edifícios selados", projetados para minimizar a troca de ar interno e externo e, assim, reduzir os custos de aquecimento e refrigeração. No entanto, essa abordagem resultou em uma ventilação inadequada, que aumentou significativamente os níveis de poluentes internos, como compostos orgânicos voláteis (COV), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), material particulado (MP) entre outros. Esses poluentes, acumulados devido à baixa renovação do ar, começaram a causar uma série de problemas de saúde entre os ocupantes dos edifícios, incluindo dores de cabeça, irritação dos olhos, nariz e garganta, e até doenças respiratórias crônicas. Em 1982, a OMS reconheceu a "Síndrome do Edifício Doente" (*Sick Building Syndrome* - SBS), descrevendo-a como uma condição na qual os ocupantes de um edifício experimentam sintomas agudos de saúde e desconforto que parecem estar ligados ao tempo passado no edifício, mas sem uma doença específica ou causa claramente identificável. Esse reconhecimento impulsionou uma série

de estudos e regulamentações para melhorar a ventilação e a qualidade do ar interior, promovendo ambientes mais saudáveis e seguros. (Schirmer *et al.*, 2011) principalmente nos países desenvolvidos, e se destacou após a descoberta de que a diminuição das taxas de troca de ar nesses ambientes era a grande responsável pelo aumento da concentração de poluentes no ar interno. Admite-se que a ventilação seja um dos principais fatores que interferem na qualidade do ar interno e que os próprios ocupantes dos edifícios contribuem substancialmente com a poluição destes ambientes através de suas atividades. Sabe-se ainda que a má qualidade do ar interno está associada a doenças (como tosse, rinite, alergia, etc.). No Brasil, em 2001 foi publicada a Resolução no. 176 pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) que estabeleceu os padrões de qualidade do ar. Essa resolução foi atualizada em 2003 (Resolução no. 9 de 16 de janeiro de 2003, Anvisa – RE 9 Anvisa). A RE 9 Anvisa recomenda o CO₂ como indicador da troca de ar interno/externo e o MP como indicador do grau de pureza do ar e limpeza em ambientes climatizado.

A QAI voltou a estar em evidência em 2020 com a pandemia da COVID-19 e se tornou uma grande preocupação devido à natureza altamente contagiosa do vírus SARS-CoV-2 (Pereira *et al.*, 2021) resolutions, normative guidelines and technical standards issued mainly by the National Health Surveillance Agency (ANVISA). Essa relação do vírus com o ambiente interno é extremamente pertinente, uma vez que em ambientes fechados há uma menor troca de ar e maior acúmulo da carga viral sendo mais fácil a transmissão (Júnior *et al.*, 2023). Pesquisas

mostraram que o vírus SARS-CoV-2 pode permanecer viável por mais tempo em superfícies e no ar quando associado a partículas, aumentando potencialmente a duração da exposição e a capacidade de infectar indivíduos. Devido ao alto índice de internação, os ambientes hospitalares precisaram ter controle dobrado para manter a carga viral baixa em seus ambientes utilizando filtros e sistemas de ventilação modernos e eficientes. Pelo fato de ser uma doença respiratória grave, a boa qualidade do ar em um hospital é imprescindível.

O MP é considerado pela OMS o poluente mais tóxico dentre os contaminantes do ar. Material particulado, também conhecido como partículas em suspensão, refere-se a uma mistura de partículas sólidas e gotículas líquidas encontradas no ar. A toxicidade do MP se deve aos diferentes diâmetros, tamanhos que variam da escala nanométrica até os tamanhos micrométricos, mais representativa e perigosa para a saúde humana (Seinfeld; Pandis, 2006). O material particulado de 2,5 μm , conhecido como $\text{MP}_{2,5}$, consiste em partículas com diâmetros de até 2,5 μm , frequentemente denominadas de material particulado fino (Langenbacht *et al.*, 2022). Esse diâmetro é da ordem de 30 vezes menor que um fio de cabelo, sendo assim, essas partículas possuem uma alta capacidade de penetração, podendo alcançar os pulmões e penetrar na corrente sanguínea. O MP_{10} são partículas com diâmetros de até 10 μm , possuem menor capacidade de penetração no organismo que o $\text{MP}_{2,5}$ (Souza *et al.*, 2010). O diâmetro dessas partículas é crucial na identificação e determinação dos efeitos de sua exposição na saúde

humana e nos diversos ecossistemas existentes (Slezakova *et al.*, 2013; Lelieveld *et al.*, 2019). A exposição a concentrações de MP acima dos limites recomendados tem sérios impactos na saúde humana, particularmente nos sistemas respiratório e cardiovascular, além de aumentar o risco de câncer e outros problemas de saúde.

Em ambientes hospitalares, a qualidade do ar é ainda mais crucial devido à vulnerabilidade dos pacientes e à necessidade de um ambiente estéril. Estudos indicam que a exposição a altos níveis de MP pode piorar as condições respiratórias existentes, induzir novos problemas respiratórios, e comprometer a recuperação dos pacientes e dos funcionários. Esse estudo teve como objetivo avaliar a qualidade do ar em um ambiente hospitalar durante a pandemia. Para isso, foi monitorada a concentração de diferentes tamanhos de material particulado (MP_{10} e $\text{MP}_{2,5}$) e dióxido de carbono (CO_2), além de temperatura (T) e umidade relativa (UR) no hospital universitário Dr. Miguel Riet Corrêa Jr (HU-FURG/Ebserh), em Rio Grande, RS.

MÉTODOS

O local do estudo foi a ala de enfermagem do Hospital Universitário Dr. Miguel Riet Corrêa Jr. (HU-FURG/Ebserh), localizado na cidade de Rio Grande, RS, que estava recebendo pacientes de todas as regiões para o tratamento da COVID-19. A amostragem foi realizada na área interna e externa do hospital de janeiro de 2022 a janeiro de 2023. As amostras foram coletadas semanalmente, resultando em um total de 54 amostras de cada local.

As medidas de $MP_{2,5}$, MP_{10} , CO_2 , temperatura (T) e umidade relativa (UR) foram realizadas utilizando o equipamento Temtop M2000 (2ª geração). O equipamento mede em tempo real os parâmetros a cada 1 min e registra em uma base de dados. Para a amostragem interna, o dispositivo foi posicionado na recepção localizada na ala da enfermaria. Por ser uma área de passagem junto com um corredor, o ambiente apresentava grande circulação de pessoas. Como as medições foram realizadas no ápice da pandemia, os quartos e a ala da enfermaria foram orientados a manter suas janelas e portas abertas, a fim de manter o ambiente arejado. A amostragem externa foi realizada nas proximidades da porta de entrada do hospital. Os resultados obtidos foram transferidos para o computador e analisados através de ferramentas estatísticas contidas no software GraphPad.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação da qualidade do ar na ala da enfermaria no período de janeiro de 2022 a janeiro de 2023 foi realizada através de medidas de CO_2 e MP, além de temperatura e umidade relativa. A comparação com o ambiente externo foi usada para identificar se as fontes eram internas ou externas.

As concentrações internas de CO_2 variaram de 398 a 672 ppm, enquanto as externas variaram de 416 a 702 ppm. A Figura 1 mostra a variação temporal das concentrações internas e externas. O perfil é semelhante para ambos os ambientes e não há diferença estatística entre as medidas. As concentrações internas de CO_2 ficaram abaixo de 800 ppm, indicando que há renovação de ar, estando de acordo com a resolução da Resolução no. 9 da Anvisa (1000 ppm).

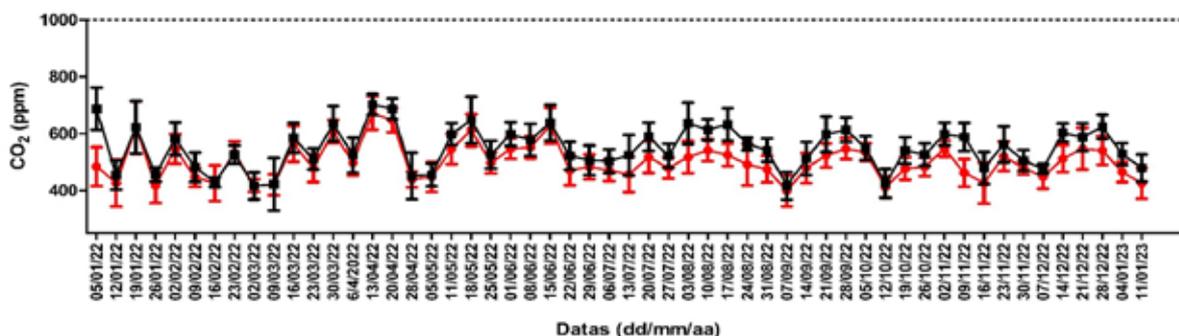


Figure 1. Concentração média semanal de CO_2 (ppm) de janeiro de 2022 a janeiro de 2023 medidas na área interna (vermelho) e externa (preto) do hospital. A linha tracejada representa o limite máximo permitido pela Resolução no. 9 da Anvisa (1000 ppm).

A Figura 2 mostra a variação temporal das concentrações de material particulado. O valor máximo de aerodispersóides totais no ar, que corresponde ao MP_{10} , é de $80 \mu\text{g m}^{-3}$, segundo a RE 9 da Anvisa. Nesse estudo também foram comparadas as concentrações de $MP_{2,5}$ e MP_{10} com os limites diários da OMS, ou seja, $15 \mu\text{g m}^{-3}$ para $MP_{2,5}$ e $45 \mu\text{g m}^{-3}$ para MP_{10} .

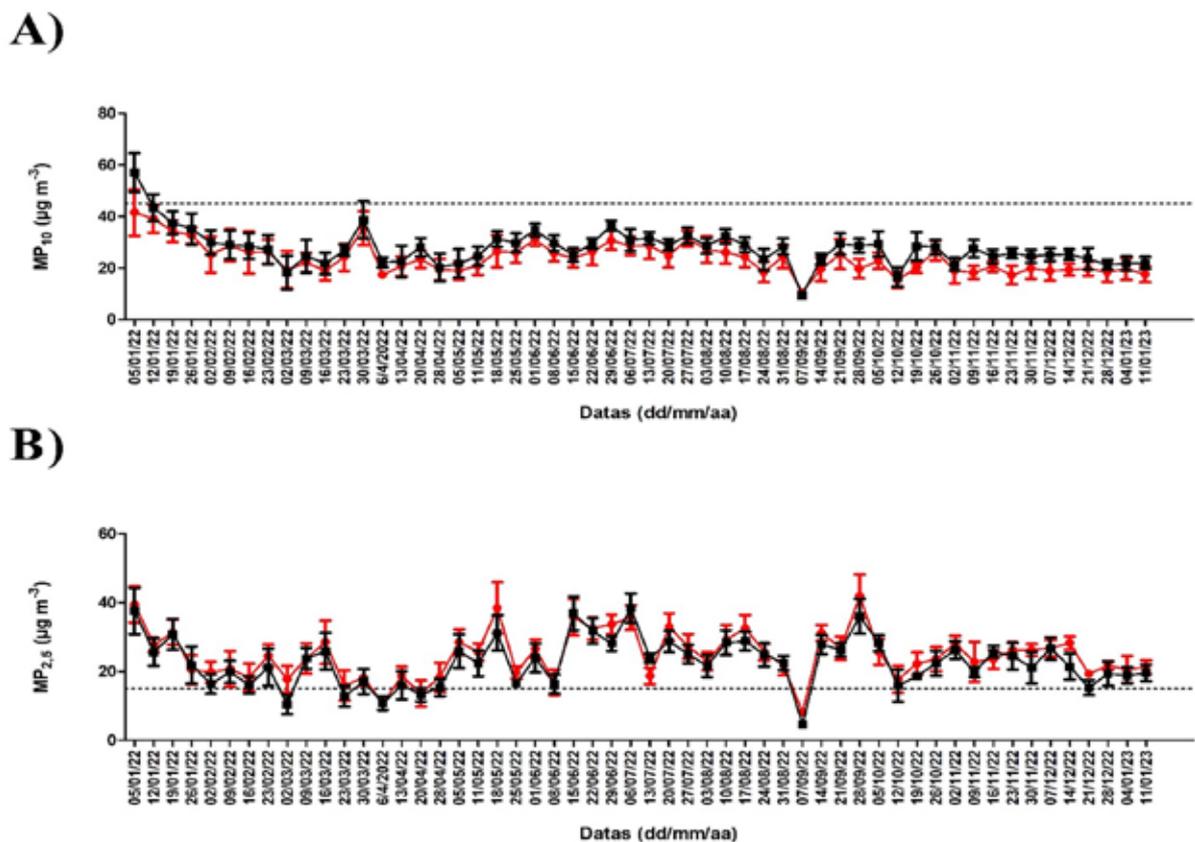


Figure 2. Concentração média semanal de (A) MP_{10} ($\mu\text{g m}^{-3}$) e (B) $MP_{2,5}$ ($\mu\text{g m}^{-3}$) de janeiro de 2022 a janeiro de 2023 medidas na área interna (vermelho) e externa (preto) do hospital. A linha tracejada representa o limite máximo permitido pela OMS, MP_{10} é de $45 \mu\text{g m}^{-3}$ e $MP_{2,5}$ é de $15 \mu\text{g m}^{-3}$.

As concentrações de MP_{10} variaram de 9 a $57 \mu\text{g m}^{-3}$ na área externa, e de 10 a $42 \mu\text{g m}^{-3}$ na interna (Fig. 2A). A área externa teve alguns dias com limites acima dos recomendados pela OMS. Em ambos os ambientes o comportamento foi similar não apresentando diferença estatística. O $MP_{2,5}$ na área externa variou de 4 a $38 \mu\text{g m}^{-3}$ e de 8 a $42 \mu\text{g m}^{-3}$ na interna (Fig. 2 B). Na maior

parte dos dias, as concentrações de $MP_{2,5}$ ficaram acima do limite sugerido tanto no ambiente interno como externo, indicando riscos à população exposta.

A Figura 3 mostra a variação da umidade relativa e da temperatura ao longo dos meses de estudo.

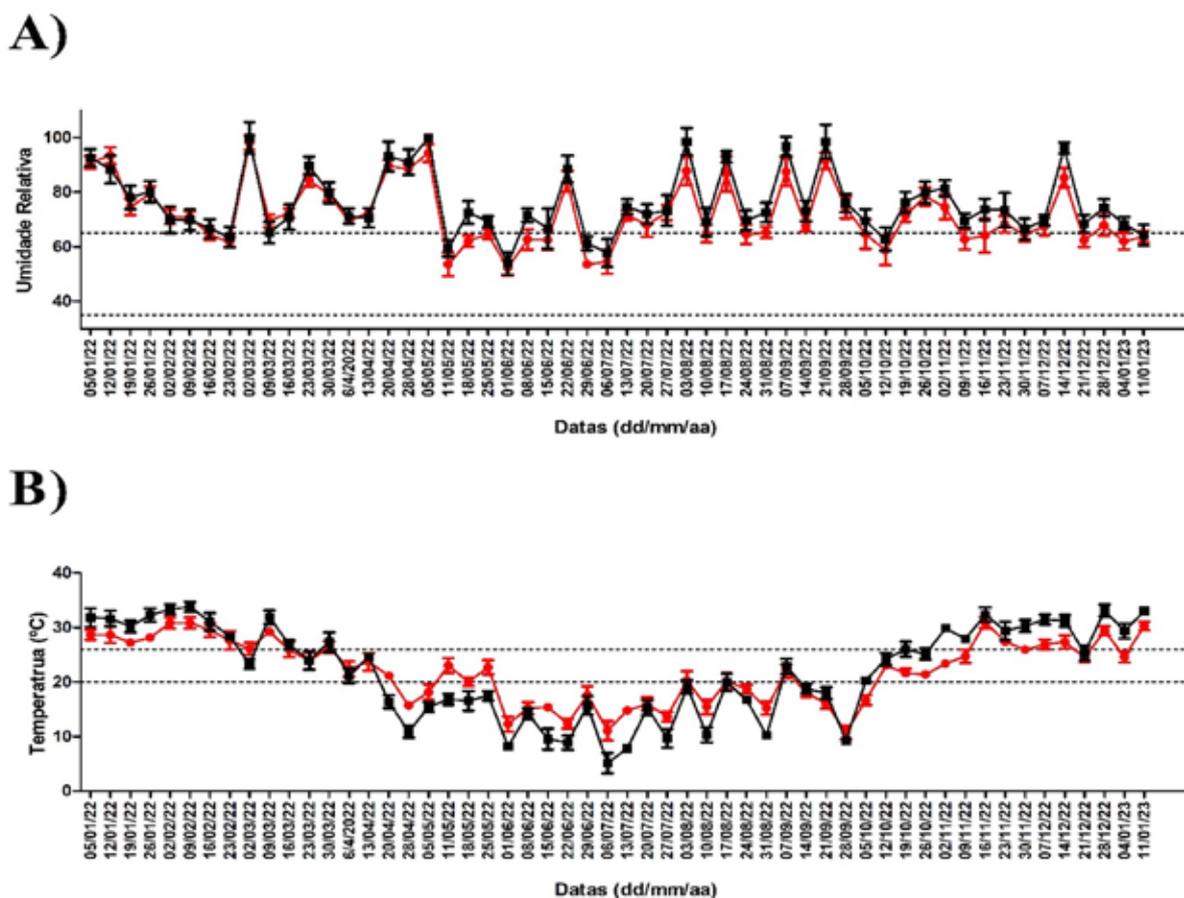


Figure 3.Variação da (A) umidade relativa (UR) e (B) temperatura (T) medidas de janeiro de 2022 a janeiro de 2023 medidas na área interna (vermelho) e externa (preto) do hospital. A linha tracejada representa o limite máximo permitido pela Resolução no. 9 da Anvisa.

De acordo com a resolução, a faixa recomendável para UR no verão é de 40 % a 65 % e no inverno de 35 % a 65 %. A UR média anual interna foi de 68,6 %, enquanto a externa foi de 74,0 % nesse período. Pelo gráfico observa-se que em muitos dias a UR interna esteve acima de 70 %, indicando uma não conformidade. Os valores mais baixos de umidade são observados entre os meses de maio e julho, durante o período de inverno, que é mais seco. Ambientes úmidos são propícios ao crescimento de mofo e fungos. Esses micro-organismos podem liberar esporos e micotoxinas no ar, que podem ser inalados, causando problemas respiratórios, alergias e outras doenças. Além disso, a exposição prolongada a altos níveis de umidade pode exacerbar condições respiratórias preexistentes, como asma e bronquite.

A temperatura mínima na área interna foi de 10,7 °C e máxima de 30,9 °C e a externa foi de 5,1 °C e máxima de 33,9 °C (Fig. 3B). Nota-se que as temperaturas mais quentes foram em janeiro e fevereiro e as mais frias em junho e julho, como esperado por serem meses de verão e inverno, respectivamente. A faixa recomendável de T nas condições internas para verão é de 23 °C a 26 °C, e no inverno de 20 °C a 22 °C. As temperaturas estiveram fora das faixas recomendadas tanto no inverno quanto no verão. Assegurar que a temperatura esteja dentro da faixa recomendada é crucial para o conforto, a saúde e a eficiência energética dos ambientes internos.

Esse é um estudo inédito neste hospital e mostrou a importância do monitoramento contínuo da qualidade do ar. Os indicadores de qualidade do

ar são imprescindíveis para nortear ações preventivas e remediativas em um ambiente e assim mantê-lo saudável para os pacientes e as equipes.

CONCLUSÕES

Nesse estudo foi realizado o monitoramento da qualidade do ar na ala da enfermaria do Hospital Universitário da FURG durante o período de pandemia. Os resultados mostraram que a faixa de concentrações de MP_{10} , $MP_{2,5}$ e CO_2 foram similares tanto no ambiente interno quanto externo. O mesmo comportamento se observou para T e UR. Essa similaridade pode ser explicada pelo fato de ter sido em um momento pandêmico onde a abertura de portas e janelas era recomendado. Dessa forma, qualidade do ar apresentava características similares. Por um lado foi bom, pois os níveis de CO_2 foram mais baixos que os recomendados, indicando troca de ar interno/externo adequado. Por outro lado, os níveis de $MP_{2,5}$ foram maiores que os recomendados pela OMS, colocando risco os pacientes expostos. Além disso, a T e UR estavam fora dos padrões podendo causar desconforto aos ocupantes do local. O monitoramento da qualidade do ar em ambiente hospital é imprescindível para a boa saúde dos pacientes e funcionários.

AGRADECIMENTOS/FINANCIAMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) - código de financiamento 001. Os autores agradecem

a FAPERJ e CNPq pelo financiamento. A.D.F. e E.S.H. gostariam de agradecer à FAPERJ pelas bolsas de pós-doutorado e auxílio científico (E_02/2016 - CNM -MCTI/FINEP/FNDCT/FAPERJ-2017). G.G.d.B. agradece à FAPERJ pela bolsa de iniciação científica (E-26/ SEI-260003/012358/2021). A.G. gostaria de agradecer ao CNPq pela Bolsa de Produtividade e à FAPERJ pelo auxílio Cientista do Nosso Estado. Os autores gostariam de agradecer todos os membros do Laboratório e o Hospital Universitário Dr. Miguel Riet Corrêa Jr. (HU-FURG/Ebserh) por terem permitido o desenvolvimento do projeto.

COLABORAÇÕES

Gabriel G. De Barros - Escrita do artigo/análise/tratamento de dados: <https://orcid.org/0000-0003-0983-2623>

Eduarda Santa Helena – Coorientação, coletas, escrita e revisão <https://orcid.org/0000-0003-3286-8771>

Anna De Falco - Coorientação, escrita e revisão-<https://orcid.org/0000-0001-9549-2711>

Carlos Leonny R. Fragoso - Tratamento estatístico-<https://orcid.org/0000-0001-9495-3889>

Adriana Gioda – Orientação e revisão do artigo - <https://orcid.org/0000-0002-5315-5650>

CONFLITO DE INTERESSES

Os autores não têm conflitos de interesses financeiros ou não financeiros a serem declarados.

REFERÊNCIAS

ANVISA. 2003. Resolução-RENo9, de 16 de Janeiro de 2003. Revisa e atualiza a RE/ANVISA No 176, de 24 de outubro de 2000, sobre Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior em Ambientes Climatizados Artificialmente de Uso Público e Coletivo. 2003: 1-1. https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2003/rdc0009_16_01_2003.html. Acessado em 1 abril 2024.

Júnior, M.E.dos R.; De Paula; L.D.R.; Rosa, D.de J.Q. (2023). Engenharia civil e a criação de ambientes hospitalares promotores da prevenção de infecções: fatores de projeto em foco, 2023. <https://periodicos.famig.edu.br/index.php/parametrica/article/view/436>. Acessado em 30 março 2024.

Langenbach, T.; Alfredo, H. M.; Maize, M. C.; De Falco, A.; Aucélio, R.; Campos, T.M. e Caldas, Q. A.L.; (2022). The use of hedgerows to mitigate pesticide exposure of a population living in a rural area. *Integrated Environmental Assessment and Management* 18 (1): 19-24. DOI:[10.1002/ieam.4452](https://doi.org/10.1002/ieam.4452).

Lelieveld, J., Klingmüller, K., Pozzer, A., Pöschl, U., Fnais, M., Daiber, A. and Münzel, T. (2019). Cardiovascular disease burden from ambient air pollution in Europe reassessed using novel hazard ratio functions. *European Heart Journal*, 40(20). DOI:[10.1093/eurheartj/ehz135](https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz135)

Pereira, M. V.E.; Machado, L.; Duarte, W.M.; Cançado, K.N.; (2021). Inovação Tecnológica: Os novos rumos da Engenharia Mecânica e Industrial. *Qualidade Do Ar Em Ambiente Hospitalar No Contexto Da Covid-19 Sob A Perspectiva Da Norma NBR ABNT 7256/2021*". In , 1-11. São Paulo: Anais do XXII CONEMI - Congresso Internacional de Engenharia Mecânica e Industrial. <https://www.even3>.

com.br/anais/xxiiconemi/568604-qualidade-do-ar-em-ambiente-hospitalar-no-contexto-da-covid-19-sob-a-perspectiva-da-norma-nbr-abnt-72562021/. Acessado em 2 abril 2024.

Schirmer, W.N., Pian, L.B., Szymanski, M.S.E. and Gauer, M.A. (2011). A poluição do ar em ambientes internos e a síndrome dos edifícios doentes. *Ciência & Saúde Coletiva*, [online] 16, pp.3583–3590. DOI:[10.1590/S1413-81232011000900026](https://doi.org/10.1590/S1413-81232011000900026)

Seinfeld, J, e Spyros, N. P. (2006). *Atmospheric Chemistry And Physics From Air Pollution To Climate Change*. John Wiley & Sons, Inc. 2º ed. New Jersey: JOHN WILEY & SONS, INC. <https://download.e-bookshelf.de/download/0000/7532/93/L-G-0000753293-0002366430.pdf>. Acessado em 2 março 2024.

Slezakova, K., Morais, S. and Carmo Pereir, M. (2013). Atmospheric Nanoparticles and Their Impacts on Public Health. *Current Topics in Public Health*. [online] DOI:<https://doi.org/10.5772/54775>

Souza, P.; Mello, W.R.M.; e Sella,S. (2010). Caracterização Do Material Particulado Fino E Grosso E Composição Da Fração Inorgânica Solúvel Em Água Em São José Dos Campos (SP). *Química Nova*, fevereiro. <https://www.scielo.br/j/qn/a/kQfNG6NsTrPNMNkVNYfs4ZM/?format=pdf&lang=pt>. Acessado em 2 abril 2024.

Vanetti, M.D., Oliveira, C.D.C., Almeida, B.C. and Vanetti, M.C.D. (2020). Bioaerossóis em ambientes hospitalares. *Boletim do Curso de Medicina da UFSC*, 6(2), pp.24–30. DOI: 10.32963/bcmufsc.v6i2.4346

WHO, World Health Organization (2022). Over 6000 cities now monitor air quality. <https://www.who.int/news/item/04-04-2022-billions-of-people-still-breathe-unhealthy-air-new-who-data>. Acessado em 2 abril 2024.