



Monitoramento da poluição atmosférica no município de Itajaí - SC, por meio de estações de qualidade do ar de baixo custo

Bruno Esteves dos Santos | bruno.e03@aluno.ifsc.edu.br¹
Betina Giusti Boff | betina.gb@aluno.ifsc.edu.br²
José Flávio Retkwa | jose.fr1980@aluno.ifsc.edu.br³
Luigi Bertinatto Mendes Campi | luigi.bm08@aluno.ifsc.edu.br⁴
Wangles Henrique Oliveira Konrath | wangles.k@aluno.ifsc.edu.br⁵
Cássio Aurélio Suski | cassio.suski@ifsc.edu.br⁶

Edital nº 12/2025 – Programa de Apoio à Pesquisa do Câmpus Itajaí
Trabalho de Pesquisa

DT 2 – Meio Ambiente, Agroindústrias, Territórios e Sustentabilidade Socioambiental

Resumo: O interesse pelo estudo da qualidade do ar tem crescido devido ao seu impacto na saúde pública, impulsionando legislações específicas. Itajaí-SC não possuía estações de monitoramento atmosférico, e este estudo tem como objetivo investigar a qualidade do ar no município em 2025 e 2026, analisando CO, NO₂, O₃, SO₂, material particulado (MP10 e MP2,5) por meio de estações de baixo custo. Os dados foram coletados com frequência horária via estação comercial Syntetica com transmissão LoRaWAN, comparados com as diretrizes da *Organização Mundial da Saúde* (OMS) e a Resolução CONAMA nº 506/2024. No período monitorado (agosto/2025 a fevereiro/2026, ~210 dias), o NO₂ destacou-se com média de 38,83 µg/m³, superando em quase quatro vezes a diretriz anual da OMS, embora conforme o padrão nacional. O MP2,5 superou a diretriz anual da OMS (6,27 µg/m³ vs. 5 µg/m³). O O₃ apresentou comportamento variável, com média acima do valor-guia da OMS. O MP10, o SO₂ e o CO mantiveram-se em conformidade com ambos os referenciais. Os resultados oferecem base técnica inédita para o monitoramento ambiental local e contribuem para a formação acadêmica dos estudantes envolvidos.

Palavras-chave: qualidade do ar; poluição atmosférica; monitoramento; Itajaí; estações de baixo custo.

Introdução

A poluição atmosférica é um dos maiores riscos à saúde pública global, responsável por cerca de 9 milhões de mortes anuais (Fuller *et al.*, 2022), com relevância comparável ao tabagismo (WHO, 2021). Em áreas urbanas, resulta da interação entre

¹ Estudante do curso de Engenharia Elétrica – IFSC Câmpus Itajaí.

² Estudante do curso de Engenharia Elétrica – IFSC Câmpus Itajaí.

³ Estudante do curso de Engenharia Elétrica – IFSC Câmpus Itajaí.

⁴ Estudante do curso de Engenharia Elétrica – IFSC Câmpus Itajaí.

⁵ Estudante do curso de Engenharia Elétrica – IFSC Câmpus Itajaí.

⁶ Servidor – Coordenadoria do Curso Técnico em Mecânica – IFSC Câmpus Itajaí.

fatores naturais e atividades humanas, sendo um problema grave em países em desenvolvimento (Mayer, 1999; Tan *et al.*, 2021).

O município de Itajaí é um importante polo econômico de Santa Catarina, com intensa atividade industrial e portuária, mas sem nenhuma estação de monitoramento da qualidade do ar. O estado conta com apenas três estações privadas, no sul, enquanto São Paulo dispõe de 61 (CETESB, 2022). Diante desse cenário, este estudo teve como objetivo investigar a qualidade do ar no município em 2025 e 2026, analisando CO, NO₂, O₃, SO₂, MP10 e MP2,5, por meio de estações de baixo custo.

Fundamentação teórica

Os poluentes atmosféricos classificam-se em primários (CO, SO₂, NO) e secundários (O₃, NO₂), com a queima de combustíveis fósseis como principal fonte emissora urbana (Boubel *et al.*, 1994). Fatores meteorológicos como temperatura, precipitação e vento influenciam o transporte e a dispersão desses compostos (Balogun *et al.*, 2021).

Desde 1987, a OMS publica diretrizes de qualidade do ar para MP2,5, MP10, O₃, NO₂, SO₂ e CO, atualizadas em 2021 com limites mais restritivos baseados em evidências científicas recentes (WHO, 2021). No Brasil, os padrões são regulamentados pelo CONAMA, com última atualização pela Resolução nº 506/2024 (BRASIL, 2024).

A exposição aos poluentes atmosféricos está associada ao aumento da morbimortalidade por doenças respiratórias e cardiovasculares (WHO, 2021). O NO₂, exemplo de um dos gases analisados nesse estudo, emitido sobretudo por veículos automotores, irrita as vias aéreas, agrava a asma e a bronquite e reduz a resistência a infecções respiratórias, atingindo principalmente crianças e idosos (IMA, 2024).

Embora o monitoramento contínuo seja escasso, estudos realizados em municípios litorâneos próximos, como Florianópolis, apontam que as médias anuais de MP10 violam as metas de segurança recomendadas pela OMS, o que reforça a urgência de expandir essa vigilância para o eixo de Itajaí (ABES, 2023).

Procedimentos metodológicos

A pesquisa foi desenvolvida em três etapas metodológicas complementares. Na primeira etapa, realizou-se o monitoramento contínuo da qualidade do ar por meio de uma estação comercial Synetica, adquirida pelo projeto e instalada no Câmpus Itajaí do IFSC. Os dados horários dos poluentes listados foram transmitidos via *LoRaWAN* para um Gateway cadastrado no servidor de rede TTN (*The Things Network*). O monitoramento abrange o período de agosto de 2025 a agosto de 2026, com levantamentos sazonais das estações DJF, MAM, JJA e SON.

Na segunda etapa, os dados foram submetidos a tratamento estatístico descritivo (médias horárias, diárias e mensais, valores extremos e gráficos temporais) e comparados com as diretrizes da WHO (2021) e a Resolução CONAMA nº 506/2024 (BRASIL, 2024). Na terceira etapa, analisou-se a sazonalidade por meio de médias móveis de três meses para identificação de tendências temporais.

Resultados e discussões

Entre agosto/2025 e fevereiro/2026 foram coletados 217.114 registros horários. O Quadro 1 apresenta as médias dos poluentes comparadas às diretrizes da OMS (WHO, 2021) e à Resolução CONAMA nº 506/2024 (BRASIL, 2024).

O dióxido de nitrogênio (NO_2) configurou-se como o poluente de maior relevância ambiental e sanitária no período. A concentração média registrada foi de $38,83 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valor que se aproxima do limite anual estabelecido pelo CONAMA ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e supera em quase quatro vezes a diretriz anual da OMS ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Em 76,4% das medições horárias, a concentração de NO_2 superou o valor-guia de 24 horas da OMS ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$), demonstrando que a exposição elevada não se restringe a episódios pontuais (WHO, 2021; BRASIL, 2024).

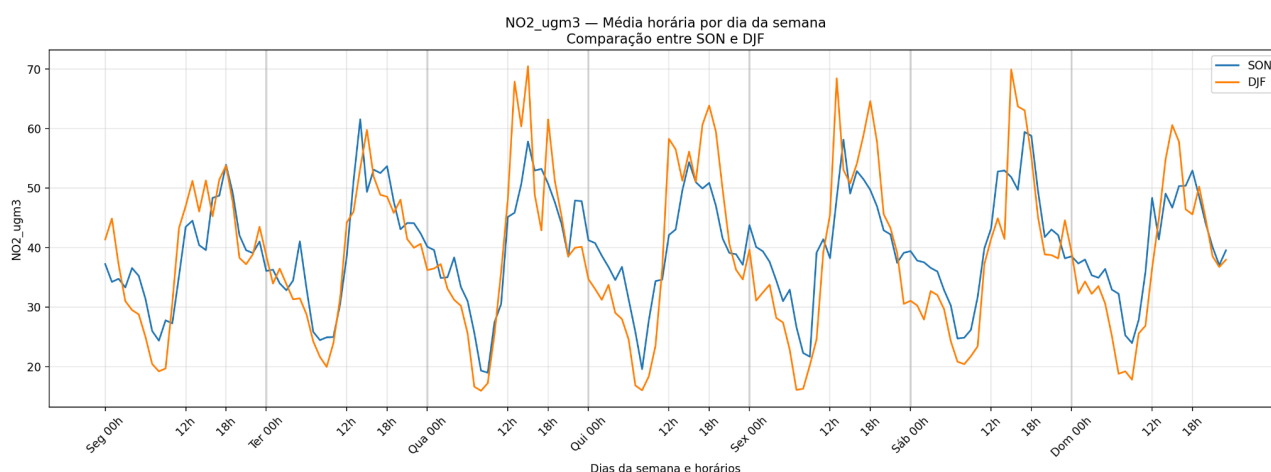
O padrão diário do NO_2 (Figura 1) é coerente com a dinâmica urbana: mínimas pela manhã ($21,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ às 8h) e pico às 18h ($54,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$), no horário de maior tráfego. Esse ciclo reforça o tráfego como principal fonte emissora em Itajaí (Mayer, 1999).

Quadro 1 – Concentrações médias dos poluentes e comparação com as diretrizes da OMS e CONAMA

Poluente	Média medida	Diretriz OMS	Padrão CONAMA	Situação
NO ₂	38,83 µg/m ³	10 µg/m ³ (anual)	40 µg/m ³ (anual)	Acima da OMS
MP2,5	6,27 µg/m ³	5 µg/m ³ (anual)	8 µg/m ³ (anual)	Acima da OMS
MP10	7,31 µg/m ³	15 µg/m ³ (anual)	40 µg/m ³ (anual)	Conforme
O ₃	75,77 ppb	~51 ppb (8h)	~73 ppb (8h)	Acima da OMS
SO ₂	13,99 µg/m ³	40 µg/m ³ (24h)	365 µg/m ³ (24h)	Conforme
CO	~0 ppb	4 mg/m ³ (24h)	9 ppm (8h)	Conforme

Fonte: Elaborado pelos próprios autores (2026).

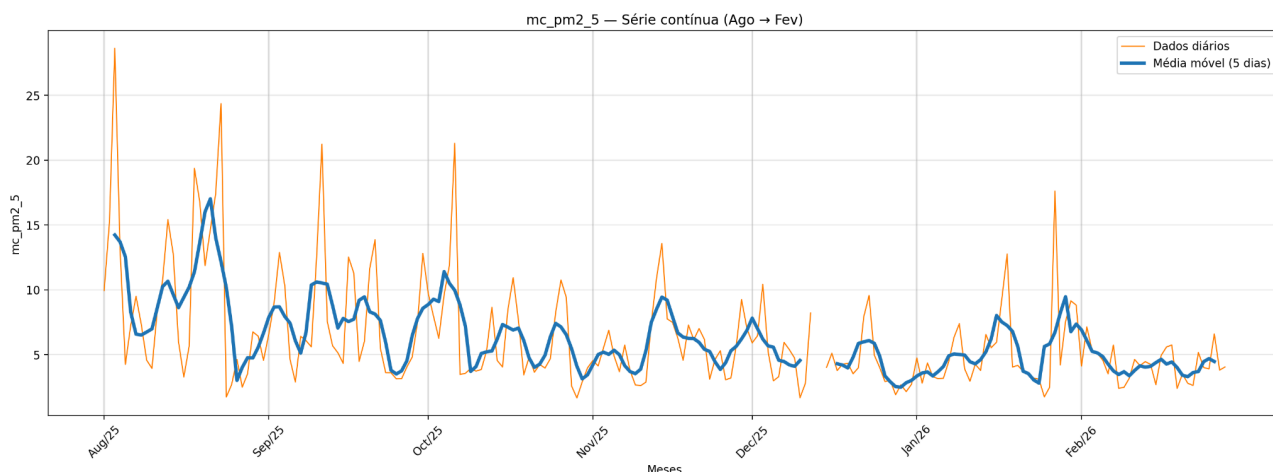
Figura 1 – Média horária por dia da semana nos períodos SON e DJF (NO₂)



Fonte: Elaborado pelos próprios autores (2026).

O MP2,5 apresentou concentração média de 6,27 µg/m³ (Quadro 1), valor que supera a diretriz anual da OMS (5 µg/m³), mas permanece abaixo do padrão de qualidade anual estabelecido pela legislação nacional (8 µg/m³). Episódios pontuais superaram o valor-guia de 24h da OMS (Figura 2). A concentração mensal mais elevada foi registrada em agosto de 2025, período que coincide com a maior incidência de queimadas na região amazônica e o transporte de material particulado para o Sul do Brasil via Jato de Baixos Níveis (Oliveira et al., 2024)

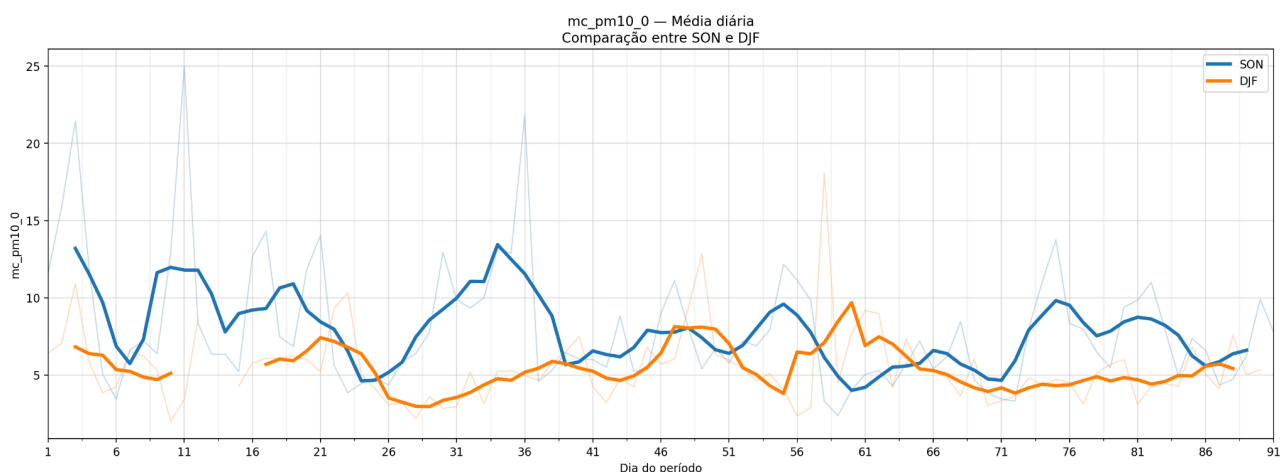
Figura 2 – Média diária MP2,5 ao longo do período Agosto (2025) até Fevereiro (2026).



Fonte: Elaborado pelos próprios autores (2026).

O MP10 apresentou comportamento menos crítico, com média de 7,31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Quadro 1), com situação geral (Figura 3) bem abaixo dos padrões da OMS (15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) e do CONAMA (40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) na maior parte do tempo (BRASIL, 2024; WHO, 2021).

Figura 3 – Média diária MP10 ao longo dos dias no período SON e DJF.

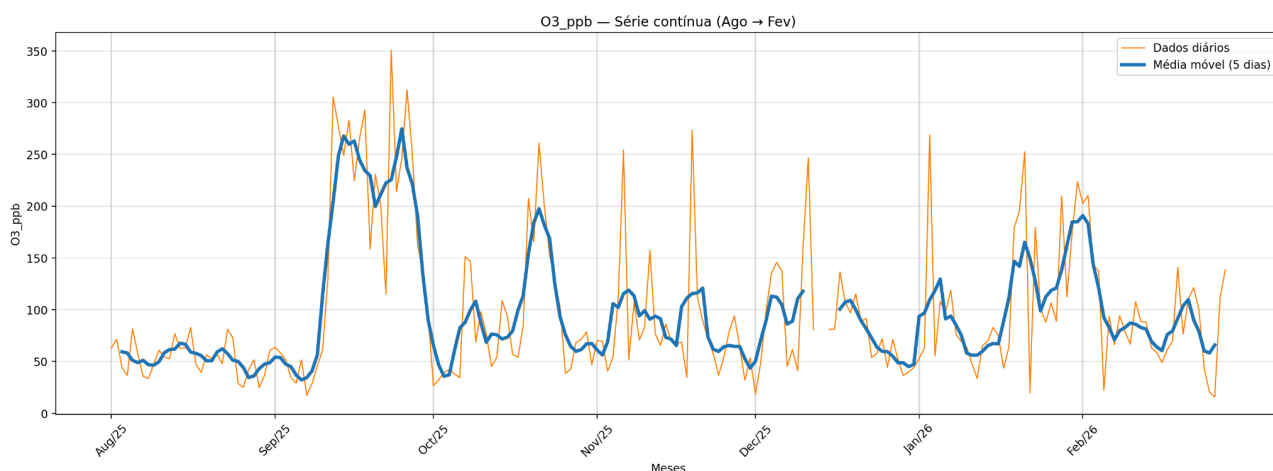


Fonte: Elaborado pelos próprios autores (2026).

O ozônio (O_3) apresentou comportamento mais variável (Figura 4) em relação aos demais poluentes, com média de 75,77 ppb (Quadro 1) e desvio padrão de 69,19 ppb,

indicando elevada instabilidade na série. A concentração média supera o valor-guia de 8 horas da OMS (~51 ppb) e se aproxima do limite do CONAMA (~73 ppb), sinalizando que este poluente merece atenção especial na continuidade do monitoramento (BRASIL, 2024; WHO, 2021).

Figura 4 – Média diária O_3 ao longo do período Agosto (2025) até Fevereiro (2026).

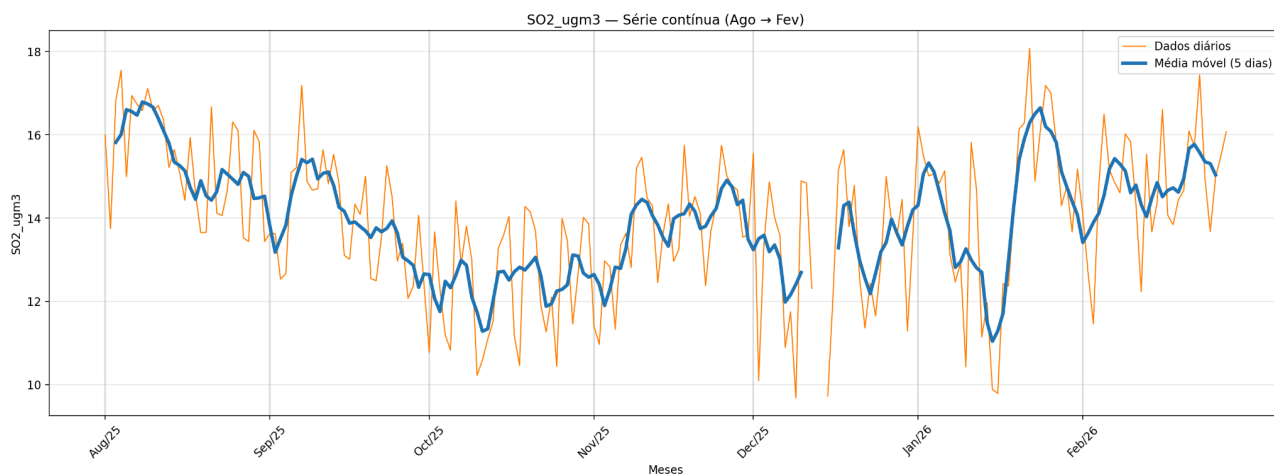


Fonte: Elaborado pelos próprios autores (2026).

O dióxido de enxofre (SO_2) apresentou concentração média de $13,99 \mu g/m^3$ (Quadro 1), com comportamento estável ao longo do período (Figura 5) e sem aproximação aos limites da OMS ($40 \mu g/m^3$ para 24h) ou do CONAMA ($365 \mu g/m^3$ para 24h) (BRASIL, 2024; WHO, 2021).

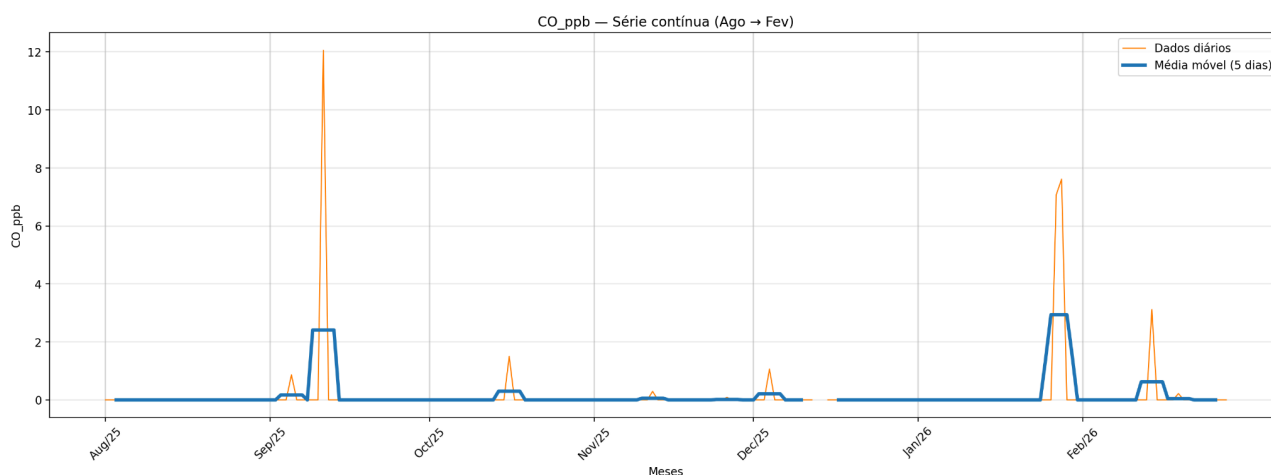
O monóxido de carbono (CO) registrou concentrações médias próximas de zero ao longo de praticamente todo o período, sem configurar situação de risco à luz dos padrões vigentes (Quadro 1; Figura 6).

Figura 5 – Média diária SO_2 ao longo do período Agosto (2025) até Fevereiro (2026).



Fonte: Elaborado pelos próprios autores (2026).

Figura 6 – Média diária CO ao longo do período Agosto (2025) até Fevereiro (2026).



Fonte: Elaborado pelos próprios autores (2026).

Considerações finais

Os resultados obtidos demonstram a viabilidade técnica e a relevância científica do projeto para o município de Itajaí. O NO_2 emerge como o poluente de maior atenção, sinalizando a influência do tráfego veicular sobre a composição atmosférica do município



e indicando situação de atenção do ponto de vista sanitário quando comparado às diretrizes da OMS.

O MP2,5 superou as diretrizes da OMS, porém abaixo do CONAMA; o O₃ aproximou-se do limite do CONAMA, superando os da OMS; SO₂ e CO mantiveram-se em faixas seguras e o MP10 apresentou conformidade plena (BRASIL, 2024; WHO, 2021).

A análise integral da sazonalidade depende da conclusão do ciclo anual, previsto para 2026. Como perspectivas, recomenda-se completar a série, ampliar os pontos de medição com estações de baixo custo desenvolvidas no IFSC e produzir publicações científicas.

Referência ao fomento recebido

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito do projeto PIITJ4564-2025, vinculado ao Edital nº 12/2025, com apoio do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC).

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL (ABES). Comparação das concentrações de MP10 monitoradas na cidade de Florianópolis com padrões de qualidade do ar. In: Anais Eletrônicos do 32º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte: ABES, 2023.

BALOGUN, A. L. *et al.* A review of the inter-correlation of climate change, air pollution and urban sustainability using novel machine learning algorithms and spatial information science. *Urban Climate*, v. 40, 2021.

BOUBEL, R. W. *et al.* *Fundamentals of Air Pollution*. 3. ed. Academic Press, 1994.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 506, de 4 de julho de 2024. Dispõe sobre os padrões de qualidade do ar. Brasília, DF: CONAMA, 2024. Disponível em: <https://www.in.gov.br/>. Acesso em: 30 Abr. 2026.

CETESB. Sistema QUALAR. 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/qualar>. Acesso em: 27 set. 2024.

FULLER, R. *et al.* Pollution and health: a progress update. *Lancet Planet Health*, 2022. DOI: 10.1016/S2542-5196.



IMA. Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina. Poluentes monitorados. Florianópolis, 2024. Disponível em: <https://www.ima.sc.gov.br/index.php/qualidade-ambiental/menu-qualidade-ar/poluentes-monitorados>. Acesso em: 8 jun. 2026.

MAYER, H. Air pollution in cities. Atmospheric Environment, v. 33, p. 4029-4037, 1999.

OLIVEIRA, R. de; QUADRO, M. F. L. de; HERDIES, D. L.; ANDRADE, H. N. Seasonal climatology of cold fronts in south-central South America from an automated detection system. Ciência e Natura, Santa Maria, v. 46, e85472, 2024. DOI: 10.5902/2179460X85472. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/85472>. Acesso em: 8 jun. 2026.

TAN, X. et al. A review of current air quality indexes and improvements under the multi-contaminant air pollution exposure. Journal of Environmental Management, v. 279, 2021.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Global Air Quality Guidelines: Update 2021. Geneva: WHO, 2021.