

RELATÓRIO ANUAL DE ACOMPANHAMENTO DA QUALIDADE DO AR 2025

SUMÁRIO EXECUTIVO





REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Presidente

Luiz Inácio Lula da Silva

Vice-Presidente

Geraldo Alckmin

Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima

Ministra

Marina Silva

Secretaria-Executiva

Secretário-Executivo

João Paulo Ribeiro Capobianco

**Secretaria Nacional de Meio Ambiente Urbano,
Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental**

Secretário

Adalberto Felício Maluf Filho

Departamento de Qualidade Ambiental

Diretora

Thaianne Resende Henriques Fábio

Coordenação-Geral de Qualidade Ambiental

Coordenadora-Geral

Cayssa Peres Marcondes de Araújo

RELATÓRIO ANUAL DE ACOMPANHAMENTO DA QUALIDADE DO AR 2025

SUMÁRIO EXECUTIVO

Brasília, DF

MMA

2025

© 2026 Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima

Permitida a reprodução sem fins lucrativos, parcial ou total, por qualquer meio, se citados a fonte do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima ou sítio da Internet no qual pode ser encontrado em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/qualidadeambiental-e-meio-ambiente-urbano/relatorio-anual-qualidade-do-ar-2025.pdf>

Coordenação técnica

Leonardo Hoinaski

Pesquisadores

Camilo Bastos Ribeiro

Robson Will

Fábio Castagna da Silva

Rafaela Chiminelli Borth

Igor Vinicius Reynaldo Tibúrcio

Bruno Joukoski Jalowski

Jean Eduardo da Silveira Schneider

Marcos Henrique Perrude

José Henrique Hess

Mariana Tiemy Yonezawa

Júlia Bachinski

Clarissa Dias Santana

Alice Battisti dos Santos

Pesquisadores Externos

Leila Droprinchinski Martins (UTF/PR)

Maria de Fátima Andrade (USP)

Neyval Costa Reis (UFES)

Rizzieri Pedruzzi (UERJ)

Taciana Toledo de Almeida Albuquerque (UFMG)

Diogo Lopes (UA/Portugal)

Diagramação: Júlio César A. Leitão

Essa publicação foi produzida no âmbito do Termo de Execução Descentralizada - TED Nº 001987/0002/2024 SQA, Projeto Instrumentos para a Gestão da Qualidade do Ar no Brasil. As ideias e opiniões expressas nesta publicação são dos autores e não refletem necessariamente a posição do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação - CIP

B823

Brasil. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima.

Relatório anual de acompanhamento da qualidade do ar 2025

[recurso eletrônico] : sumário executivo. – Brasília, DF : MMA, 2025.

96 p. : il.

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN: 978-85-7738-544-7

1. Gestão de qualidade. 2. Mudança climática. 3. Poluição atmosférica. I. Título.

CDU 502.175

IBAMA

Biblioteca Nacional do Meio Ambiente

Júlia G. de Menezes – CRB1/3001

Lista de Siglas

AC – Acre
ADT - Average Daily Traffic
AL - Alagoas
AM - Amazonas
AP – Amapá
AVC – Acidente Vascular Cerebral
BA - Bahia
CE - Ceará
CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CO - Monóxido de Carbono
Conama - Conselho Nacional do Meio Ambiente
COVs – Compostos Orgânicos Voláteis
DF - Distrito Federal
DPOC - Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica
ES - Espírito Santo
FMC - Fator de Multiplicação de Concentração
GO – Goiás
 H_2SO_4 – Ácido Sulfúrico
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEMA - Instituto de Energia e Meio Ambiente
IQAr - Índice de Qualidade do Ar
MA - Maranhão
MG - Minas Gerais
MMA - Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
MP - Material Particulado
 MP_{10} - Material Particulado menor que 10 μm
 $\text{MP}_{2,5}$ - Material Particulado menor que 2,5 μm
MS - Mato Grosso do Sul
MT - Mato Grosso

NO₂ - Dióxido de Nitrogênio

NO_x – Óxidos de Nitrogênio

O₃ - Ozônio

OEMA - Órgão Estadual de Meio Ambiente

OMS - Organização Mundial da Saúde

PA - Pará

Pb - Chumbo

PB - Paraíba

PF - Padrão Final

PI - Padrões Intermediários

PI - Piauí

PNQAr - Política Nacional de Qualidade do Ar

PQAr - Padrões Nacionais de Qualidade do Ar

PR - Paraná

Proconve - Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores

Promot - Programa de Controle da Poluição do Ar por Motocicletas e Veículos Similares

Pronar - Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar

PTS - Partículas Totais em Suspensão

RJ - Rio de Janeiro

RO - Rondônia

RR - Roraima

RS - Rio Grande do Sul

SC - Santa Catarina

SE - Sergipe

SIRGAS 2000 - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000

SO₂ - Dióxido de Enxofre

SO₃ – Trióxido de Enxofre

SP - São Paulo

TO - Tocantins

UF - Unidade da Federação

US EPA - Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

UTM - Universal Transverse Mercator

UV - Ultravioleta

Lista de Tabelas

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabela 1 | Origem das informações sobre o monitoramento da qualidade do ar pelos OEMAs..... | 17 |
| Tabela 2 | Métodos de monitoramento da qualidade do ar de referência, equivalentes e indicativos..... | 33 |
| Tabela 3 | Critérios de representatividade espacial das estações de monitoramento e aplicações | 34 |
| Tabela 4 | Critérios de representatividade temporal dos dados de estações de monitoramento | 35 |
| Tabela 5 | Padrões da qualidade do ar estabelecidos na resolução Conama n.506/2024 | 37 |
| Tabela 6 | Número total de estações de monitoramento da qualidade do ar no Brasil. Dados coletados no formulário aplicado pelo MMA..... | 45 |
| Tabela 7 | Número de estações de monitoramento da qualidade do ar de referência/equivalente ou indicativas no Brasil..... | 47 |
| Tabela 8 | Pontos de monitoramento por poluente por UF, status e categoria..... | 48 |
| Tabela 9 | Parâmetros da Resolução Conama n. 506/2024 monitorados por estações de referência ou equivalentes em 2024. Dados coletados no formulário aplicado pelo MMA..... | 49 |
| Tabela 10 | Lista de estações de monitoramento em cada UF, status e poluentes medidos | 50 |
| Tabela 11 | Categoria, funcionamento e calibração das estações por poluente | 51 |
| Tabela 12 | Finalidade do monitoramento em cada ponto de monitoramento por poluente | 53 |
| Tabela 13 | Posição de monitores de MP em relação às vias de tráfego | 55 |
| Tabela 14 | Posição de monitores de CO e SO2 em relação às vias de tráfego | 55 |
| Tabela 15 | Posição de monitores de NO2 em relação às vias de tráfego..... | 56 |
| Tabela 16 | Posição de monitores de O3 em relação às vias de tráfego | 56 |
| Tabela 17 | Representatividade espacial e elevação dos pontos de monitoramento | 58 |
| Tabela 18 | Número de estações e uso do solo predominante dentro do raio de representatividade espacial da estação. Classificação do uso do solo e dados do projeto..... | 66 |
| Tabela 19 | Estimativa da população atendida pelo monitoramento da qualidade do ar de referência (ou equivalente) e indicativo em cada UF. Análise realizada utilizando dados do IBGE (2019, 2022b, 2022a) | 69 |
| Tabela 20 | Identificação das estações de monitoramento incluídas na base de dados desenvolvida neste relatório | 72 |
| Tabela 21 | Tendências por UF e estação..... | 78 |

Lista de Figuras

| | | |
|-----------|---|----|
| Figura 1 | Exemplo de planilha padronizada no banco de dados de qualidade do ar | 18 |
| Figura 2 | Exemplo de ID usado para nomear as estações de monitoramento no banco de dados de qualidade do ar..... | 18 |
| Figura 3 | Ciclo de gestão da qualidade do ar | 22 |
| Figura 4 | Definição, fontes emissoras e impactos do Material Particulado (MP)..... | 23 |
| Figura 5 | Definição, fontes emissoras e impactos do Material Particulado Inalável (MP ₁₀)..... | 24 |
| Figura 6 | Definição, fontes emissoras e impactos do Material Particulado Fino (MP _{2,5})..... | 24 |
| Figura 7 | Definição, fontes emissoras e impactos do Dióxido de Enxofre (SO ₂)..... | 25 |
| Figura 8 | Definição, fontes emissoras e impactos do Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)..... | 25 |
| Figura 9 | Definição, fontes emissoras e impactos do Ozônio (O ₃)..... | 26 |
| Figura 10 | Definição, fontes emissoras e impactos da Fumaça (FMC)..... | 26 |
| Figura 11 | Definição, fontes emissoras e impactos do Monóxido de Carbono (CO)..... | 27 |
| Figura 12 | Definição, fontes emissoras e impactos das Partículas Totais em Suspensão (PTS)..... | 27 |
| Figura 13 | Definição, fontes emissoras e impactos do Chumbo (Pb)..... | 28 |
| Figura 14 | O ciclo da poluição atmosférica: Emissão, dispersão e recepção de poluentes no ar..... | 29 |
| Figura 15 | Os efeitos da poluição atmosférica na saúde humana | 30 |
| Figura 16 | Os efeitos da poluição atmosférica no ambiente e ecossistemas | 31 |
| Figura 17 | Estrutura da governança da qualidade do ar no Brasil | 36 |
| Figura 18 | Intervalos de valores de medição do IQAr por poluente | 39 |
| Figura 19 | Impactos dos poluentes na saúde e ambiente, por intervalos de medições do IQAr..... | 39 |
| Figura 20 | Número de estações de monitoramento por UF..... | 42 |
| Figura 21 | Acréscimo e decréscimo anual do número de estações de monitoramento por UF | 43 |
| Figura 22 | Número de pontos de monitoramento por poluente e UF | 44 |
| Figura 23 | Distribuição espacial das estações de monitoramento da qualidade do ar no Brasil por status | 46 |
| Figura 24 | Distribuição espacial das estações de monitoramento da qualidade do ar no Brasil por categoria (referência/equivalente e indicativa)..... | 48 |
| Figura 25 | Número de poluentes medidos por cada estação de monitoramento da qualidade do ar do Brasil..... | 50 |
| Figura 26 | Exemplo de estação com sua respectiva área de representatividade espacial e distâncias de vias e indústrias utilizados na análise | 57 |

| | | |
|-----------|--|----|
| Figura 27 | Áreas de representatividade espacial das estações de monitoramento da qualidade do ar no Brasil..... | 59 |
| Figura 28 | Percentual e estatística de cobertura das redes de monitoramento da qualidade do ar (ativas) nas UFs brasileiras considerando a área rural e área urbana..... | 60 |
| Figura 29 | Representatividade temporal das medições nas estações de monitoramento da qualidade do ar | 62 |
| Figura 30 | Uso do solo predominante dentro do raio de representatividade espacial da estação. Classificação do uso do solo e dados do projeto | 65 |
| Figura 31 | Representação espacial e numérica da população atendida pelo monitoramento da qualidade do ar de referência (ou equivalente) e indicativo. Análise realizada utilizando dados do IBGE (2019, 2022a, 2022b) | 68 |
| Figura 32 | Disposição espacial das estações de monitoramento da qualidade do ar | 73 |
| Figura 33 | Ferramenta de seleção, recorte e análise dos dados de monitoramento da qualidade do ar no Brasil..... | 74 |
| Figura 34 | Mapa interativo das tendências interanuais de CO, NO ₂ , SO ₂ , MP _{2,5} , MP ₁₀ e O ₃ no Brasil..... | 77 |
| Figura 35 | Mapa interativo da sazonalidade de CO, NO ₂ , SO ₂ , MP _{2,5} , MP ₁₀ e O ₃ no Brasil..... | 82 |
| Figura 36 | Faixas de ultrapassagens dos padrões de qualidade do ar, de acordo com a Conama 506/2024 | 87 |
| Figura 37 | Ferramenta de visualização de ultrapassagens dos padrões de qualidade do ar no Brasil | 89 |

Apresentação

A qualidade do ar é um tema central para a saúde pública, para a proteção dos ecossistemas e para o enfrentamento das mudanças climáticas. Nos últimos anos, o Brasil avançou de forma significativa na construção de uma governança nacional para o monitoramento e a gestão da poluição atmosférica.

Este Relatório Anual de Acompanhamento da Qualidade do Ar consolida, em formato acessível e transparente, as informações disponíveis sobre o monitoramento da poluição atmosférica no país. A partir de dados enviados pelos Órgãos Estaduais de Meio Ambiente e coletados em plataformas públicas, o documento reúne análises sobre a rede de monitoramento existente, sua evolução, cobertura, poluentes avaliados e a representatividade espaço temporal do conjunto de estações.

A publicação também apresenta os avanços na estruturação do banco de dados nacional e destaca as ferramentas interativas disponibilizadas na plataforma digital, que detalham e ampliam o acesso público às informações.

Ao reunir e organizar dados de 2024, este relatório busca fortalecer a tomada de decisão baseada em evidências, apoiar a formulação de políticas públicas e contribuir para o aprimoramento contínuo da gestão da qualidade do ar no Brasil..

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 12 |
| 1.1 Método de coleta de dados | 13 |
| 1.2 Origem dos dados..... | 16 |
| 1.3 Banco de dados | 18 |
| | |
| 2. DEFINIÇÕES, PADRÕES E PARÂMETROS DA QUALIDADE DO AR NO BRASIL..... | 22 |
| 2.1 Poluentes e fontes de emissão | 23 |
| Material Particulado - MP | 23 |
| Material Particulado Inalável - MP ₁₀ | 24 |
| Material Particulado Fino - MP _{2,5} | 24 |
| Dióxido de Enxofre - SO ₂ | 25 |
| Dióxido de Nitrogênio - NO ₂ | 25 |
| Ozônio - O ₃ | 26 |
| Fumaça | 26 |
| Monóxido de Carbono - CO | 27 |
| Partículas Totais em Suspensão - PTS | 27 |
| Chumbo Pb | 28 |
| 2.2 Emissão, transporte e recepção | 28 |
| 2.3 Impactos na saúde e meio ambiente | 29 |
| 2.4 Monitoramento da qualidade do ar | 31 |
| 2.5 Governança sobre a qualidade do ar no Brasil | 35 |
| 2.6 Padrões, classificação e metas de atendimento | 37 |

| | |
|---|---------------|
| 3. A REDE DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR NO BRASIL..... | 40 |
| 3.1 Distribuição espacial..... | 44 |
| 3.2 Equipamentos utilizados | 46 |
| 3.3 Poluentes monitorados | 49 |
| 3.4 Calibração das estações..... | 51 |
| 3.5 Finalidade do monitoramento..... | 52 |
| 3.6 Cobertura do monitoramento da qualidade do ar | 53 |
| 3.6.1 Representatividade espacial das estações..... | 54 |
| 3.6.2 Representatividade temporal..... | 61 |
| 3.6.3 Usos do solo nas áreas monitoradas | 62 |
| 3.6.4 Cobertura populacional..... | 66 |
| 4. QUALIDADE DO AR NO BRASIL..... | 70 |
| 4.1 Séries temporais das concentrações de poluentes atmosféricos no Brasil..... | 71 |
| 4.1.1 Visualização das séries temporais de cada estação | 71 |
| 4.1.2 Recorte e visualização customizada das séries temporais de cada estação..... | 73 |
| 4.2 Análise de tendências na qualidade do ar no Brasil..... | 76 |
| 4.3 Análise de sazonalidade na qualidade do ar no Brasil | 80 |
| 4.4 Ultrapassagens dos padrões de qualidade do ar no Brasil..... | 85 |
| 4.4.1 Ultrapassagens dos padrões de qualidade do ar no Brasil..... | 85 |
| 4.4.2 Ferramenta de visualização de ultrapassagens dos padrões de qualidade do ar no Brasil..... | 88 |
| 5. PERSPECTIVAS DE AMPLIAÇÃO DA REDE DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR NO BRASIL | 91 |
| 6. COMUNICAÇÃO E DIVULGAÇÃO DOS DADOS NOS ESTADOS BRASILEIROS | 94 |
| 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 95 |
| COMO CITAR | 96 |
| REFERÊNCIAS..... | 97 |

1

Introdução

A poluição do ar impacta negativamente o clima e os ecossistemas. A Organização Mundial da Saúde (OMS) alerta que a poluição do ar é o principal risco ambiental à saúde humana e estima que 99% da população mundial seja exposta às concentrações de poluentes superiores aos limites recomendados (OMS, 2024a).

É mandatório que estratégias integradas e coordenadas de gestão da qualidade do ar sejam implementadas nos âmbitos municipal, estadual e federal. Nesse contexto, foi instituída em 2024 a Política Nacional de Qualidade do Ar (BRASIL, 2024a), que estabelece princípios, objetivos e instrumentos voltados à gestão da qualidade do ar no Brasil.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) também publicou a Resolução nº 506, de 5 de julho de 2024 (BRASIL, 2024b), que revoga e atualiza diretrizes e padrões de qualidade do ar da Resolução Conama nº 491, de 19 de novembro de 2018 (BRASIL, 2018). Esses avanços normativos reforçam o compromisso dos entes federados e do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA) com a gestão da qualidade do ar.

O Relatório Anual de Acompanhamento da Qualidade do Ar é um dos instrumentos de gestão da qualidade do ar no âmbito federal. O objetivo é consolidar, de forma transparente e acessível, as informações sobre o monitoramento da poluição atmosférica no território nacional, permitindo avaliar tendências, identificar áreas críticas e subsidiar a formulação de políticas públicas baseadas em evidências.

Disponível em plataforma interativa e em relatório digital, este documento apresenta o estado da arte sobre a qualidade do ar no Brasil. Nas seções seguintes, são detalhadas informações sobre a rede de monitoramento da qualidade do ar, incluindo a evolução do número de estações, sua distribuição e abrangência espacial, os poluentes analisados, a representatividade espaço-temporal, além da população e dos tipos de uso do solo cobertos pelo monitoramento. São apresentadas as perspectivas de expansão da rede de monitoramento, as estratégias de comunicação e



NOTA

O relatório adota princípios metodológicos alinhados ao Guia Técnico para o Monitoramento e Avaliação da Qualidade do Ar (BRASIL, 2020) e às boas práticas da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA), adaptados ao contexto nacional, de modo a assegurar rigor técnico e comparabilidade das análises.



AVISO

Ressalta-se que são apresentados apenas os dados coletados até 2024 junto aos OEMAs, por meio de consultas na internet e formulário aplicado. A qualidade das informações está intimamente atrelada ao preenchimento correto do formulário e envio dos dados pelos OEMAs.

divulgação de dados, bem como informações sobre os Relatórios de Avaliação da Qualidade do Ar elaborados pelos Órgãos Estaduais de Meio Ambiente (OEMA).

A consolidação de um banco de dados nacional de monitoramento permitiu a realização de análises de tendência, sazonalidade e número de ultrapassagens dos padrões de qualidade do ar, trazendo informações inéditas sobre o tema. A plataforma disponibiliza, ainda, ferramentas de análise interativa e de download de dados, ampliando o acesso público às informações.

1.1 Método de coleta de dados

Neste relatório, foram utilizadas quatro fontes principais de informações para a obtenção dos dados de monitoramento da qualidade do ar no Brasil: (1) Formulário para os OEMAs aplicado pelo MMA (Consulta 2025); (2) Coleta de dados na plataforma do MonitorAr - Sistema Nacional de Gestão da Qualidade do Ar; (3) Coleta interna em plataformas estaduais (Coleta interna); (4) Coleta de dados na plataforma *PurpleAir* (*PurpleAir* 2025). A coleta de informações foi realizada com o objetivo de verificar a disponibilidade de informações referentes à qualidade do ar, as características da rede de monitoramento e a publicação de dados, relatórios e planos.

Com o objetivo de levantar informações atualizadas, foi encaminhado um formulário às Unidades Federativas (UFs). As respostas recebidas compõem a Consulta 2025, base de referência para o diagnóstico do cenário nacional.

O formulário foi estruturado em seções temáticas para que as UFs pudessem detalhar as ações em andamento, como:



AVISO

As informações obtidas por meio do questionário foram compiladas e, em alguns casos, complementadas com os dados disponíveis no Sistema Nacional de Gestão da Qualidade do Ar (MonitorAr), dados da plataforma de qualidade do ar do Instituto de Energia e Meio Ambiente - IEMA (IEMA, 2025) e coleta manual realizada pela equipe do projeto.

- **Estrutura da rede de monitoramento:** identificação das estações existentes em cada UF, discriminando estações de referência, de operação própria, vinculadas a licenças ambientais e indicativas (sensores de baixo custo). Também foram solicitadas informações sobre o número de unidades, categorias, métodos utilizados e calibração dos equipamentos;
- **Mudanças na rede:** registro de alterações ocorridas em 2024, como expansão, inativação ou reativação de estações e ampliação;
- **Dados de monitoramento:** levantamento sobre o tratamento e formatação dos dados, métodos utilizados, disponibilidade pública das informações e envio dos dados de monitoramento;
- **Integração ao Sistema MonitorAr:** verificação do grau de integração dos dados estaduais ao sistema nacional, identificação de estações ainda não integradas, parâmetros monitorados, localização e prazos estimados para conclusão da integração;
- **Relatórios de Avaliação da Qualidade do Ar:** verificação da publicação de relatórios nos últimos quatro anos e divulgação ao público;
- **Planos de Controle de Emissões Atmosféricas:** identificação da existência de planos publicados ou em elaboração;
- **Inventários de Emissões Atmosféricas:** verificação da publicação de inventários recentes e métodos utilizados (medições, estimativas ou outros);
- **Planos de Gestão da Qualidade do Ar:** existência e estágio de execução de planos de gestão estaduais.

1. Apresentação

Além disso, foi solicitado o preenchimento detalhado das informações técnicas das estações de monitoramento em operação nas UFs. Para cada estação, as UFs deveriam informar:

- Identificação do município;
- Proprietário;
- Operador;
- Tipo de funcionamento (automática ou manual);
- Categoria (referência ou indicativa);
- Status de funcionamento (ativa ou inativa);
- Método de amostragem;
- Calibração;
- Fabricante;
- Modelo;
- Certificação
- Poluentes monitorados;
- Localização geográfica (latitude, longitude e elevação);
- Início e fim de operação;
- Anos monitorados;
- Finalidade das medições;
- Informações sobre integração ao MonitorAr;
- Realocação de estações

Algumas UFs informaram que seus dados estão integrados ao sistema MonitorAr, enquanto outros indicaram o uso de plataformas próprias de monitoramento. Nesse caso, a equipe deste relatório realizou a extração direta dos dados, as categorizando como Coleta Interna.

O estado do Maranhão (MA) informou não possuir rede de monitoramento e o Estado da Bahia (BA) informou não ter acesso aos dados. No entanto, a equipe localizou plataformas públicas com dados disponíveis e desenvolveu rotinas automáticas de extração, acessíveis nos links abaixo (coleta interna):

**NOTA**

O questionário foi preenchido por todos os OEMAs do Brasil, atingindo uma taxa de retorno de 100%.



AVISO

O nível de detalhamento das informações foi variável em função das respostas das UFs. As informações faltantes foram indicadas como “**Não Declaradas**”.



NOTA

Todos os códigos de extração e tratamento dos dados estão disponíveis no repositório do projeto: https://github.com/LCQAr/RQAR_2025_book.

Para a coleta dos dados do Estado do RJ foi utilizado o script: https://github.com/LCQAr/RQAR_2025_book/blob/main/scripts/webScraper_RJ.py.



AVISO

A extração dos dados da plataforma PurpleAir contemplou exclusivamente metadados das estações, com foco em: situação de funcionamento, categoria, marca e modelo, poluentes monitorados, datas de início e fim de operação, latitude e longitude, e anos monitorados.

- webScraper_MA.py
(https://github.com/LCQAr/RQAR_2025_book/blob/main/scripts/webScraper_MA.py)
- webScraper_BA.py
(https://github.com/LCQAr/RQAR_2025_book/blob/main/scripts/webScraper_BA.py)

Os Estados do Rio de Janeiro (RJ) e São Paulo (SP) declararam que possuem plataformas específicas para obtenção dos dados. Para o RJ, foi desenvolvido um script de extração automática uma vez que, os dados não foram enviados pelo OEMA e a plataforma apresenta restrições de download. Os dados de SP foram obtidos utilizando o código desenvolvido pelo pesquisador Dr. Mario Gavidia Calderón, disponível no repositório qualR (Calderón; Kamigauti, 2024).

Adicionalmente, foram obtidas informações sobre a rede de sensores da plataforma PurpleAir (<https://www2.purpleair.com>). As informações foram obtidas via Interface de Programação de Aplicações (API) e o procedimento está disponível em [getPurpleAirData.ipynb](https://github.com/LCQAr/RQAR_2025_book/blob/main/scripts/getPurpleAirData.ipynb) (https://github.com/LCQAr/RQAR_2025_book/blob/main/scripts/getPurpleAirData.ipynb).

1.2 Origem dos dados

A **Tabela 1** mostra a origem das informações sobre o monitoramento da qualidade do ar coletadas para a elaboração do presente relatório.

No levantamento via formulário, os Estados de Rondônia (RO), Tocantins (TO), Piauí (PI) e Sergipe (SE) informaram não possuir rede de monitoramento de referência ou indicativa. Entretanto, na coleta interna realizada em diferentes bases de dados, foram encontradas informações de monitoramento para as UFs RO e TO. Por sua vez, os Estados do Acre (AC), Amazonas (AM), Roraima (RR) e Pará (PA) informaram não possuir estações de referência, porém declararam operar rede indicativa com sensores de baixo custo.

1. Apresentação

Tabela 1 - Origem das informações sobre o monitoramento da qualidade do ar pelos OEMAs.

| | UF | UF possui algum tipo de monitoramento? | Fonte |
|---|---------------------|--|--|
| | Norte | | |
|  | AC | Sim | PurpleAir 2025, Coleta interna |
|  | AP | Sim | PurpleAir 2025 |
|  | AM | Sim | PurpleAir 2025 |
|  | PA | Sim | PurpleAir 2025, MonitorAr |
|  | RO | Sim | PurpleAir 2025 |
|  | RR | Sim | PurpleAir 2025, Consulta 2025 |
|  | TO | Sim | PurpleAir 2025 |
| | Nordeste | | |
|  | AL | Sim | Consulta 2025 |
|  | BA | Sim | PurpleAir 2025, Coleta interna |
|  | CE | Sim | PurpleAir 2025, Consulta 2025 |
|  | MA | Sim | Consulta 2025, MonitorAr |
|  | PB | Sim | Consulta 2025 |
|  | PE | Sim | Consulta 2025 |
|  | PI | Não | - |
|  | RN | Sim | MonitorAr |
|  | SE | Não | - |
| | Centro-Oeste | | |
|  | DF | Sim | PurpleAir 2025, Coleta interna |
|  | GO | Não | - |
|  | MT | Sim | PurpleAir 2025, Coleta interna |
|  | MS | Sim | PurpleAir 2025, Coleta interna |
| | Sudeste | | |
|  | ES | Sim | PurpleAir 2025, Coleta interna |
|  | MG | Sim | PurpleAir 2025 |
|  | RJ | Sim | PurpleAir 2025, Coleta interna, Consulta 2025, MonitorAr |
|  | SP | Sim | PurpleAir 2025, Coleta interna |
| | Sul | | |
|  | PR | Sim | PurpleAir 2025, Consulta 2025 |
|  | RS | Sim | Consulta 2025 |
|  | SC | Sim | Consulta 2025 |

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

1.3 Banco de dados

O banco de dados atrelado a este relatório compreende a consolidação e padronização das séries históricas de qualidade do ar no Brasil, considerando as estações de monitoramento de referência e indicativas distribuídas em todo o território nacional. O objetivo principal foi garantir a uniformização das informações provenientes de diferentes agências ambientais e plataformas estaduais, assegurando a comparabilidade, integridade e acesso facilitado aos dados.

Inicialmente, todos os dados coletados foram submetidos a um processo de padronização de formato e nomenclatura, de modo a harmonizar o conteúdo entre diferentes fontes. Essa padronização incluiu a adequação das colunas, cabeçalhos e unidades de medida, bem como a adoção de um formato único de registro temporal, em escala horária. A estrutura padronizada adotada para todas as estações segue o modelo exemplificado na **Figura 1**.

Figura 1 - Exemplo de planilha padronizada no banco de dados de qualidade do ar.

| DATETIME | ANO | MÊS | DIA | HORA | VALOR | VALOR_ORIGINAL | UNIDADE | QAQC_INTERNO | QAQC_MMA |
|------------------|------|-----|-----|------|-------|----------------|---------|--------------|----------|
| 03/07/2002 01:00 | 2002 | 7 | 3 | 1 | 26.0 | 26.0 | µg/m3 | True | True |
| 03/07/2002 02:00 | 2002 | 7 | 3 | 2 | 24.0 | 24.0 | µg/m3 | True | True |
| 03/07/2002 03:00 | 2002 | 7 | 3 | 3 | 21.0 | 21.0 | µg/m3 | True | True |
| 03/07/2002 04:00 | 2002 | 7 | 3 | 4 | 14.0 | 14.0 | µg/m3 | True | True |
| 03/07/2002 05:00 | 2002 | 7 | 3 | 5 | 38.0 | 38.0 | µg/m3 | True | True |
| 03/07/2002 06:00 | 2002 | 7 | 3 | 6 | 30.0 | 30.0 | µg/m3 | True | True |
| 03/07/2002 07:00 | 2002 | 7 | 3 | 7 | 10.0 | 10.0 | µg/m3 | True | True |
| 03/07/2002 08:00 | 2002 | 7 | 3 | 8 | 7.0 | 7.0 | µg/m3 | True | True |
| 03/07/2002 09:00 | 2002 | 7 | 3 | 9 | 14.0 | 14.0 | µg/m3 | True | True |
| 03/07/2002 10:00 | 2002 | 7 | 3 | 10 | 19.0 | 19.0 | µg/m3 | True | True |
| 03/07/2002 11:00 | 2002 | 7 | 3 | 11 | 43.0 | 43.0 | µg/m3 | True | True |
| 03/07/2002 12:00 | 2002 | 7 | 3 | 12 | | | | True | False |
| 03/07/2002 13:00 | 2002 | 7 | 3 | 13 | 64.0 | 64.0 | µg/m3 | True | True |
| 03/07/2002 14:00 | 2002 | 7 | 3 | 14 | 96.0 | 96.0 | µg/m3 | True | True |
| 03/07/2002 15:00 | 2002 | 7 | 3 | 15 | 93.0 | 93.0 | µg/m3 | True | True |
| 03/07/2002 16:00 | 2002 | 7 | 3 | 16 | 38.0 | 38.0 | µg/m3 | True | True |
| 03/07/2002 17:00 | 2002 | 7 | 3 | 17 | 34.0 | 34.0 | µg/m3 | True | True |
| 03/07/2002 18:00 | 2002 | 7 | 3 | 18 | 26.0 | 26.0 | µg/m3 | True | True |

1. Apresentação

| DATETIME | ANO | MÊS | DIA | HORA | VALOR | VALOR_ORIGINAL | UNIDADE | QAQC_INTERNO | QAQC_MMA |
|------------------|------|-----|-----|------|-------|----------------|---------|--------------|----------|
| 03/07/2002 19:00 | 2002 | 7 | 3 | 19 | 13.0 | 13.0 | µg/m3 | True | True |
| 03/07/2002 20:00 | 2002 | 7 | 3 | 20 | 21.0 | 21.0 | µg/m3 | True | True |
| 03/07/2002 21:00 | 2002 | 7 | 3 | 21 | 11.0 | 11.0 | µg/m3 | True | True |
| 03/07/2002 22:00 | 2002 | 7 | 3 | 22 | 4.0 | 4.0 | µg/m3 | True | True |
| 03/07/2002 23:00 | 2002 | 7 | 3 | 23 | 3.0 | 3.0 | µg/m3 | True | True |
| 04/07/2002 00:00 | 2002 | 7 | 4 | 0 | 3.0 | 3.0 | µg/m3 | True | True |
| 04/07/2002 01:00 | 2002 | 7 | 4 | 1 | 4.0 | 4.0 | µg/m3 | True | True |

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

As unidades de medida de todos os poluentes foram convertidas conforme as recomendações da Resolução Conama nº 506/2024, garantindo coerência para a comparação com os padrões nacionais de qualidade do ar.

O banco de dados passou por duas etapas complementares de controle de qualidade:

(1) Controle interno: realizado a partir das *tags* de controle fornecidas pelas agências ambientais, identificando dados validados, suspeitos ou inválidos com base nos critérios de consistência interna, falhas de medição e manutenção dos equipamentos. Entre esses, estão o Espírito Santo (ES), São Paulo (SP), Santa Catarina (SC), Rio de Janeiro (RJ) e Bahia (BA). Nos demais estados, os conjuntos de dados fornecidos não incluíram informações explícitas sobre a validação interna ou sobre a classificação de dados inválidos. Os registros válidos são indicados como 'True' na coluna QA/QC_interno.

(2) Controle externo: executado de forma independente, com aplicação de limites físicos recomendados pela US EPA (U.S. Environmental Protection Agency) (EPA, 2015). Essa etapa visou detectar e invalidar valores fora dos limites considerados adequados para cada poluente, evitando a influência de medições incorretas. Os registros validados após essa verificação são indicados por 'True' na coluna QAQC_MMA.



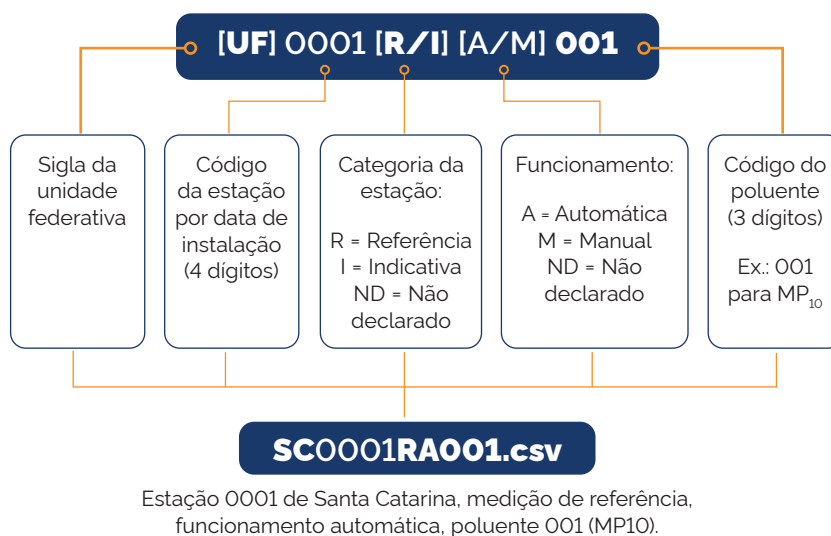
Apenas os registros com ambas as tags internas e externas marcadas como 'True' foram considerados válidos para análises subsequentes.

Para garantir e facilitar o uso das informações, o banco de dados foi estruturado em um sistema de pastas, organizado conforme o poluente monitorado. Cada pasta corresponde a um poluente específico e contém um conjunto de arquivos no formato .csv, onde cada arquivo representa uma estação de monitoramento. O conteúdo de cada arquivo compreende toda a série temporal disponível para aquele poluente e estação, incluindo as *tags* de validação QA/QC.

A identificação única de cada estação e poluente foi construída a partir de um identificador (ID) padronizado (**Figura 2**), composto pela concatenação das seguintes informações:

- Sigla da unidade federativa (UF);
- Código numérico da estação dentro do estado;
- Categoria da estação (referência, indicativa ou não declarado);
- Tipo de funcionamento (automática, manual ou não declarado);
- Tipo de poluente monitorado.

Figura 2 - Exemplo de ID usado para nomear as estações de monitoramento no banco de dados de qualidade do ar.



AVISO

No caso das estações em que os estados não reportaram a categoria ou tipo de funcionamento, foi utilizado a sigla "ND" (Não declarado), conforme exemplo: BA0001ND001.csv.



NOTA

O resultado desse processo é um banco de dados nacional padronizado e validado de qualidade do ar, abrangendo todas as estações da rede de monitoramento em operação no Brasil. Esse banco fornece uma base para análises temporais, espaciais e estatísticas, e constitui uma ferramenta para avaliações de tendência, estudos de exposição populacional e validação de modelos de qualidade do ar.



DICA

A planilha de metadados está disponível no link https://arquivos.lcqar.ufsc.br/data/databases/stations/fases_CONAMA506.csv

Além da base de dados em escala horária, foram geradas séries agregadas em escala diária, mensal e anual, seguindo os critérios de representatividade temporal estabelecidos no Guia Técnico de Monitoramento e Avaliação da Qualidade do Ar do MMA (BRASIL, 2020). A criação dessas séries agregadas seguiu critérios de completude mínima de dados, garantindo que apenas períodos com cobertura suficiente de medições horárias fossem considerados válidos para o cálculo das médias. A estrutura de pastas e nomenclatura foi mantida entre as diferentes escalas temporais, assegurando consistência entre os níveis de agregação e facilitando o cruzamento entre séries horárias, diárias, mensais e anuais.

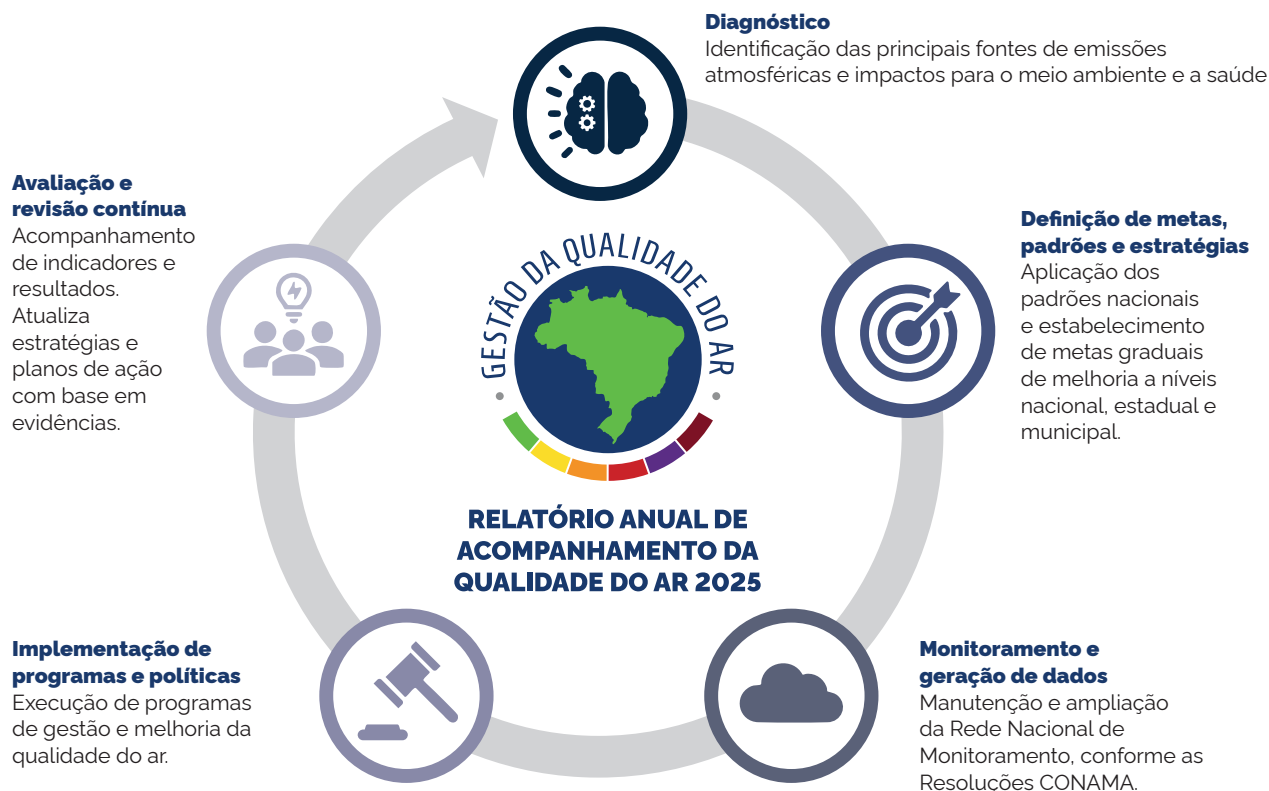
Adicionalmente, foi elaborada uma planilha de metadados contendo informações descritivas e operacionais de cada estação da rede nacional de monitoramento. Essa planilha reúne dados sobre a localização geográfica (latitude e longitude), nome oficial da estação conforme declarado pelo respectivo OEMA, tipo e finalidade do monitoramento, categoria de representatividade espacial, bem como os poluentes monitorados e os parâmetros de controle de qualidade associados.

2

Definições, padrões e parâmetros da qualidade do ar no Brasil

A gestão da qualidade do ar é um processo cíclico que envolve o diagnóstico, definição de metas, monitoramento, implementação de programas e revisão contínua (**Figura 3**). Nes se ciclo, o Relatório Anual de Acompanhamento da Qualidade do Ar consolida e assegura a transparência sobre os dados de qualidade do ar no território nacional. O relatório segue as diretrizes da Resolução Conama nº 506, de 5 de julho de 2024, ao apresentar, anualmente, o panorama nacional da qualidade do ar.

Figura 3 - Ciclo de gestão da qualidade do ar.



A gestão da qualidade do ar baseia-se em padrões nacionais, em redes de monitoramento e no controle de emissões das fontes. Os padrões de qualidade do ar definem os níveis máximos de poluentes considerados seguros para a saúde e o meio ambiente, enquanto o monitoramento fornece registros desses níveis e orienta ações de controle e prevenção. A Resolução Conama nº 506/2024, estabelece os padrões nacionais de qualidade do ar e as diretrizes para sua aplicação em todo o território nacional. Atualizada com base nas diretrizes da OMS, a resolução propõe a restrição gradual dos padrões de qualidade do ar.




2.1 Poluentes e fontes de emissão

Segundo a Resolução Conama nº 506/2024, *considera-se poluente atmosférico qualquer substância presente no ar em quantidade ou concentração capaz de torná-lo nocivo à saúde humana, prejudicial ao meio ambiente ou incômodo ao bem-estar da população*. A seguir, são apresentados os principais poluentes monitorados no Brasil, conforme estabelecido pela Resolução vigente.

Material Particulado - MP

Material particulado é a mistura de partículas sólidas e gotículas líquidas suspensas no ar, de diferentes tamanhos e composições (EPA, 2025). Uma síntese da definição, potenciais fontes emissoras e efeitos na saúde causados pelo MP é apresentada na **Figura 4**.

Figura 4 - Definição, fontes emissoras e impactos do Material Particulado (MP).




| Material Particulado (MP) | |
|---|---|
|  DEFINIÇÃO | Mistura de partículas sólidas e líquidas suspensas no ar, com variação de tamanho, forma e composição química. Pode incluir frações orgânicas e inorgânicas, metais e diferentes formas de carbono, da fuligem a poeira mineral. Para fins regulatórios, são classificados conforme seu diâmetro aerodinâmico: MP ₁₀ até 10 µm e MP _{2,5} até 2,5 µm. |
|  FONTES | As fontes variam conforme a composição. O material particulado pode ser emitido diretamente por processos industriais, queima de combustíveis em veículos e poeira em ressuspensão, ou formar-se na atmosfera a partir de gases como dióxido de enxofre (SO ₂), óxidos de nitrogênio (NOx) e compostos orgânicos voláteis (COVs). |
|  SAÚDE | Na atmosfera, o MP reduz a visibilidade e deposita-se em plantas, solos e corpos d'água. Componentes como o carbono negro tendem a aquecer o clima, enquanto nitratos e sulfatos têm efeito de resfriamento. Metais e compostos orgânicos quando inalados, podem causar problemas respiratórios, cardiovasculares e inflamações no organismo humano. |

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Material Particulado Inalável - MP₁₀

Partículas sólidas ou líquidas suspensas no ar, como poeira, neblina, aerossóis e fuligem, com diâmetro aerodinâmico de até 10 micrômetros (µm) (BRASIL, 2024b). A definição, potenciais fontes emissoras e efeitos na saúde causados pelo MP₁₀ são apresentados na **Figura 5**.

Figura 5 - Definição, fontes emissoras e impactos do Material Particulado Inalável (MP₁₀).




| Material Particulado Inalável 10 (MP ₁₀) | |
|---|---|
|  DEFINIÇÃO | Partículas finas em suspensão no ar, com diâmetro aerodinâmico menor que 10 µm. |
|  FONTES | A emissão de MP ₁₀ tem como principais fontes a ressuspensão de poeira do solo, o tráfego, obras, processos industriais, queima de resíduos, queimadas e incêndios florestais. Há também contribuições naturais, como sal marinho e poeira transportada pelo vento. Parte do MP ₁₀ é formado secundariamente na atmosfera e passa a integrar a fração grossa por agregação de partículas. |
|  SAÚDE | A exposição à curto prazo está associada ao agravamento de doenças respiratórias como asma e Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC), com aumento de internações e atendimentos de emergência. Grupos sensíveis como crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias são os mais afetados. |

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Material Particulado Fino - MP_{2,5}

Partículas ainda mais finas, com diâmetro de até 2,5 micrômetros (µm). São formadas principalmente pela queima de combustíveis fósseis e processos industriais (BRASIL, 2024b) (**Figura 6**).

Figura 6 - Definição, fontes emissoras e impactos do Material Particulado Fino (MP_{2,5}).




| Material Particulado Fino (MP _{2,5}) | |
|---|---|
|  DEFINIÇÃO | Partículas finas em suspensão no ar, com diâmetro aerodinâmico inferior a 2,5 µm. |
|  FONTES | É emitido através da queima de carvão e outros combustíveis fósseis, emissões veiculares, processos industriais e queima de resíduos e biomassa, além de algumas fontes naturais. Parte do MP _{2,5} é formado de maneira secundária na atmosfera, a partir de gases como SO ₂ , NOx e COVs. |
|  SAÚDE | A curto prazo, a exposição ao MP _{2,5} eleva as internações e óbitos por causas respiratórias e cardiovasculares. Já a exposição contínua reduz o crescimento da função pulmonar em crianças e aumenta o risco de doenças crônicas e óbito prematuro, incluindo câncer de pulmão, infecções respiratórias, AVC, demência e desfechos adversos na gestação. |

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Dióxido de Enxofre - SO₂

Gás incolor e solúvel em água, liberado principalmente pela queima de combustíveis fósseis em indústrias, usinas e sistemas de aquecimento (CETESB, 2024a) (Figura 7).

Figura 7 - Definição, fontes emissoras e impactos do Dióxido de Enxofre (SO₂).




| Dióxido de Enxofre (SO ₂) | |
|---|---|
|  DEFINIÇÃO | Gás incolor, de odor forte e irritante. Em presença de umidade pode oxidar-se a SO ₃ e formar ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄), altamente solúvel em água. Atua como precursor de sulfatos que compõem o material particulado. |
|  FONTES | A maior fonte emissora é a combustão de combustíveis fósseis em usinas de geração elétrica e instalações industriais. Outras fontes incluem processos industriais como extração e fundição de metais, veículos e equipamentos pesados, navios e locomotivas. A principal fonte natural de SO ₂ são as erupções vulcânicas. |
|  SAÚDE | A exposições a curto prazo por SO ₂ afeta o sistema respiratório, principalmente em pessoas com asma, em especial crianças e idosos. Os SOx podem reagir na atmosfera e formar partículas finas de sulfato, que penetram profundamente nos pulmões e agravam problemas respiratórios e cardiovasculares. No ambiente contribui para a chuva ácida, reduz a visibilidade e causa corrosão de superfícies. |

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Dióxido de Nitrogênio - NO₂

Gás de cor marrom-avermelhada e odor forte, formado na queima de combustíveis em veículos, indústrias e usinas termelétricas. É um oxidante potente e pode participar da formação de ozônio e material particulado (OMS, 2024b) (Figura 8).

Figura 8 - Definição, fontes emissoras e impactos do Dióxido de Nitrogênio (NO₂).




| Dióxido de Nitrogênio (NO ₂) | |
|---|---|
|  DEFINIÇÃO | Gás marrom-avermelhado, de odor forte, pertencente ao grupo dos óxidos de nitrogênio (NO _x). É altamente reativo, corrosivo e oxidante, participando de reações atmosféricas que levam à formação de O ₃ e MP _{2,5} |
|  FONTES | Sua emissão está associada à combustão de combustíveis fósseis em veículos, usinas termelétricas e processos industriais. Em menor escala, é emitido por queimadas e incêndios florestais. Em ambientes internos, as principais fontes são equipamentos a gás e lareiras. |
|  SAÚDE | Provoca irritação das vias respiratórias e está associado ao aumento de sintomas e crises de asma, especialmente em crianças e em pessoas com doenças respiratórias crônicas. A exposição prolongada pode prejudicar o desenvolvimento pulmonar e elevar o risco de infecções. Contribui para chuva ácida, redução da visibilidade, favorece eutrofização e desequilíbrios em ecossistemas aquáticos. |

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Ozônio - O₃

Gás secundário formado por reações fotoquímicas entre poluentes como óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis (COVs), sob a ação da luz solar (OMS, 2024b) (**Figura 9**).

Figura 9 - Definição, fontes emissoras e impactos do Ozônio (O₃).




| Ozônio (O ₃) | |
|---|---|
|  DEFINIÇÃO | Poluente secundário gerado por reações fotoquímicas entre NOx e COVs na presença de luz solar. Na baixa atmosfera, o ozônio é tóxico a saúde humana e ao meio ambiente. Na estratosfera, filtra a radiação ultravioleta (UV) e é essencial à manutenção da vida na Terra. |
|  FONTES | Os precursores do O ₃ são originados por transporte veicular, processos industriais, queima de combustíveis fósseis e incêndios florestais. Em menor escala, há contribuição de COVs biogênicos emitidos por florestas. Altas temperaturas e incidência solar favorecem sua formação e elevam a frequência de episódios de má qualidade do ar. |
|  SAÚDE | A exposição pode causar irritação das vias respiratórias, redução da função pulmonar e agravamento de doenças crônicas. O ozônio também atua como gás de efeito estufa de vida curta, contribuindo para o aquecimento global e para o desequilíbrio climático. |

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Fumaça

Está relacionada ao material particulado gerado pela queima de combustíveis e outros processos de combustão. Esse parâmetro indica o grau de escurecimento da atmosfera e está diretamente associado à poluição por material particulado (CETESB, 2024b) (**Figura 10**).

Figura 10 - Definição, fontes emissoras e impactos da Fumaça (FMC).




| Fumaça (FMC) | |
|---|--|
|  DEFINIÇÃO | A fumaça é um indicador da fração mais escura do material particulado proveniente de processos de combustão. É uma mistura complexa de vapor d'água, gases, incluindo CO, NOx e VOCs, e particulados. |
|  FONTES | É resultado do processo de combustão em caldeiras, fornos e motores, incluindo veículos rodoviários, geradores, processos industriais e termelétricas. A combustão incompleta favorece a formação de CO e fuligem. Emissões associadas à queima podem conter também NOx e SO ₂ . |
|  SAÚDE | Sua presença aumenta a opacidade do ar e reduz a visibilidade, deposita-se em superfícies e acelera a degradação de materiais. A fração fina da fumaça é inalável, podendo agravar doenças respiratórias e cardiovasculares, sobretudo em grupos sensíveis. Os componentes da fumaça tendem a formar partículas secundárias e de chuva ácida, afetando ecossistemas. |

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Monóxido de Carbono – CO

Gás incolor e inodoro produzido pela queima incompleta de combustíveis como gasolina, carvão, lenha e gás natural. A principal fonte atmosférica é o tráfego veicular (OMS, 2024b) (Figura 11).

Figura 11 - Definição, fontes emissoras e impactos do Monóxido de Carbono (CO).




| Monóxido de Carbono (CO) | |
|---|---|
|  DEFINIÇÃO | Gás incolor e inodoro gerado por combustão incompleta de combustíveis fósseis. |
|  FONTES | Em ambientes externos, é emitido pela queima incompleta de combustíveis fósseis em veículos leves e pesados, máquinas e queimadas florestais. Em ambientes internos, sua emissão está associada ao uso de aquecedores, fogões à gás, lareiras e chaminés. |
|  SAÚDE | Ao ser inalado em elevadas quantidades, o CO liga-se à hemoglobina, reduzindo o transporte de oxigênio aos órgãos vitais como coração e cérebro. No curto prazo, pode causar dor de cabeça, tontura, náusea e confusão mental. |

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Partículas Totais em Suspensão – PTS

Conjunto de partículas sólidas ou líquidas presentes no ar, com diâmetro de até 50 micrômetros (µm). Incluem poeiras, fumaça e aerossóis que interferem na visibilidade (BRASIL, 2024b) (Figura 12).

Figura 12 - Definição, fontes emissoras e impactos das Partículas Totais em Suspensão (PTS).




| Partículas Totais em Suspensão (PTS) | |
|---|---|
|  DEFINIÇÃO | Conjunto de partículas sólidas e líquidas em suspensão no ar, com diâmetro aerodinâmico de até 50 µm. Abrange toda a faixa de tamanhos particulados, logo, inclui as frações mais finas como MP ₁₀ e MP _{2,5} . |
|  FONTES | Entre as fontes naturais estão poeira do solo ressuspensa pelo vento e fumaça de queimadas florestais. Entre as antrópicas destacam-se queima de combustíveis, processos industriais e termelétricos, atividades de construção e demolição, além de emissões de tráfego que ressuspendem poeira das vias. |
|  SAÚDE | As partículas mais grossas, acima de 10 µm, são retidas nas vias aéreas superiores causando incômodo, reduzindo a visibilidade e acelerando a corrosão e o desgaste de materiais. Já as partículas mais finas, estão associadas ao agravamento de doenças respiratórias e cardiovasculares. |

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Chumbo – Pb

Metal pesado liberado na atmosfera principalmente por processos industriais, fundições e queima de combustíveis (OMS, 2024b) (**Figura 13**).

Figura 13 - Definição, fontes emissoras e impactos do Chumbo (Pb).

| Chumbo (Pb) | |
|---|--|
|  DEFINIÇÃO | Metal pesado tóxico e persistente no ambiente. No ar, o chumbo aparece principalmente aderido ao material particulado, podendo ser inalado e ingerido por meio da poeira. |
|  FONTES | As emissões variam regionalmente, mas predominam o processamento de minérios e metais, fundições de chumbo, fabricação e reciclagem de baterias chumbo-ácido, incineradores de resíduos e algumas atividades industriais. As maiores concentrações atmosféricas costumam ocorrer nas proximidades de fundições. |
|  SAÚDE | O Pb afeta a saúde humana mesmo em baixas concentrações. Dependendo da exposição, pode comprometer o sistema nervoso, rins, sistema imune, reprodução e desenvolvimento, além do sistema cardiovascular, e reduzir a capacidade do sangue de transportar oxigênio. No ambiente, se acumula no solo por deposição atmosférica, podendo reduzir crescimento e reprodução de plantas e animais. |

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

2.2 Emissão, transporte e recepção

A presença desses poluentes (reportados na seção 2.1) na atmosfera está diretamente relacionada às fontes que os emitem, sejam elas naturais ou antropogênicas. Essas fontes podem ser classificadas como fixas ou móveis, cada uma com características próprias e diferentes impactos na qualidade do ar (SOGA, 2025).

Fontes fixas: também chamadas de fontes pontuais ou estacionárias, são instalações ou equipamentos que liberam poluentes de forma contínua ou intermitente, como indústrias, usinas, caldeiras e fornos. Essas fontes permanecem em local fixo e estão entre as principais responsáveis pelas emissões associadas a processos produtivos e geração de energia.



NOTA

De acordo com a Resolução Conama nº 506/24, a unidade de medida para a concentração dos poluentes atmosféricos é micrograma por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), com exceção do Monóxido de Carbono - CO, que é reportado como partes por milhão (ppm).

Fontes móveis: são meios de transporte e equipamentos que se deslocam e emitem poluentes durante seu funcionamento, como automóveis, caminhões, ônibus, motocicletas, navios, aeronaves, e máquinas móveis. Essas fontes liberam gases e partículas resultantes da combustão de combustíveis fósseis.

A emissão de poluentes ocorre quando substâncias gasosas ou particuladas são lançadas na atmosfera por essas fontes. Após a emissão, os poluentes passam por um processo de dispersão atmosférica, no qual são transportados e diluídos pelo movimento do ar. Esse processo é influenciado por fatores como direção e velocidade dos ventos, umidade e temperatura do ar e topografia (**Figura 14**).

A recepção dos poluentes acontece quando as substâncias dispersas no ar entram em contato com as pessoas e o meio ambiente. Elas podem ser inaladas ou depositar-se sobre plantas, solos e corpos d'água, completando o ciclo da poluição atmosférica.

Figura 14 - O ciclo da poluição atmosférica: Emissão, dispersão e recepção de poluentes no ar.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

2.3 Impactos na saúde e meio ambiente

Os impactos da poluição do ar variam no tempo e no espaço e podem se propagar por longas distâncias, alcançando áreas distantes das fontes emissoras. A poluição do ar pode impactar principalmente a saúde pública (**Figura 15**), ambiente e ecossistemas (**Figura 16**), economia e produtividade e justiça social, conforme detalhado a seguir.



AVISO

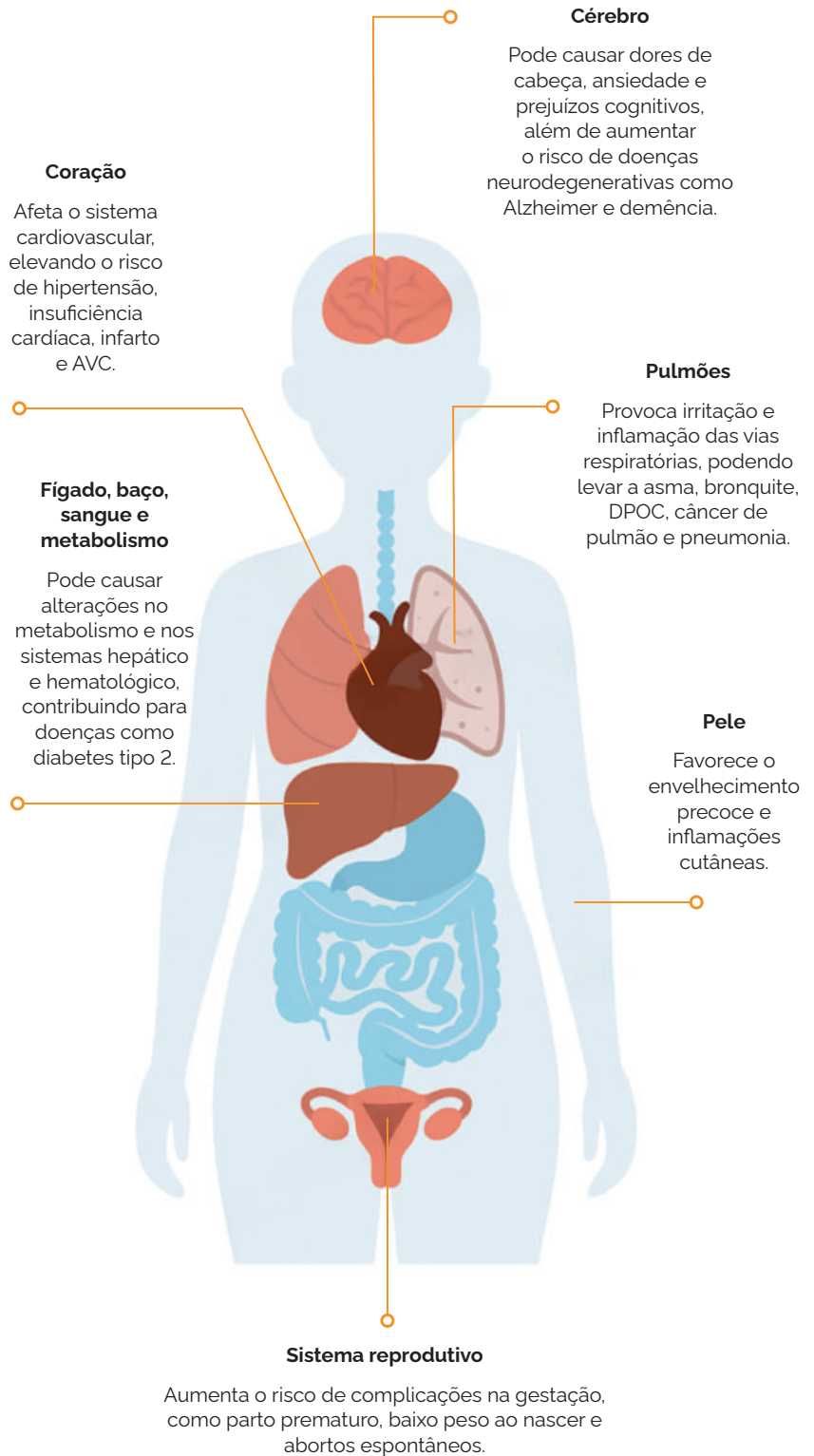
Saúde pública:

A exposição de curto prazo aos poluentes no ar está associada à irritação das vias aéreas, tosse, chiado e falta de ar, com aumento de atendimentos de emergência e internações hospitalares por causas respiratórias e cardiovasculares durante episódios de má qualidade do ar. A exposição prolongada eleva o risco de doenças crônicas, incluindo asma e Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC), declínio da função pulmonar, doença isquêmica do coração, acidente vascular cerebral, câncer de pulmão, diabetes tipo 2, demência e desfechos adversos na gestação. Crianças, idosos, gestantes e pessoas com doenças pré-existentes formam o grupo mais sensível aos efeitos.

Ambiente e ecossistemas:

A deposição de poluentes no solo e na vegetação provoca danos nas folhagens, redução do crescimento e alterações na composição de comunidades vegetais. Em ambientes aquáticos, a deposição de enxofre e nitrogênio contribui para acidificação e eutrofização, com perda de biodiversidade e alteração da qualidade da água. Partículas finas podem prejudicar a visibilidade e deteriorar superfícies. Materiais, edificações e patrimônios sofrem corrosão e escurecimento por deposição. O carbono negro absorve radiação e aquece o clima, enquanto sulfatos e nitratos tendem a refletir luz e exercer efeito de resfriamento, o que evidencia a interação entre qualidade do ar e clima. Metais e compostos orgânicos adsorvidos nas partículas podem bioacumular e alcançar cadeias alimentares.

Figura 15 - Os efeitos da poluição atmosférica na saúde humana.



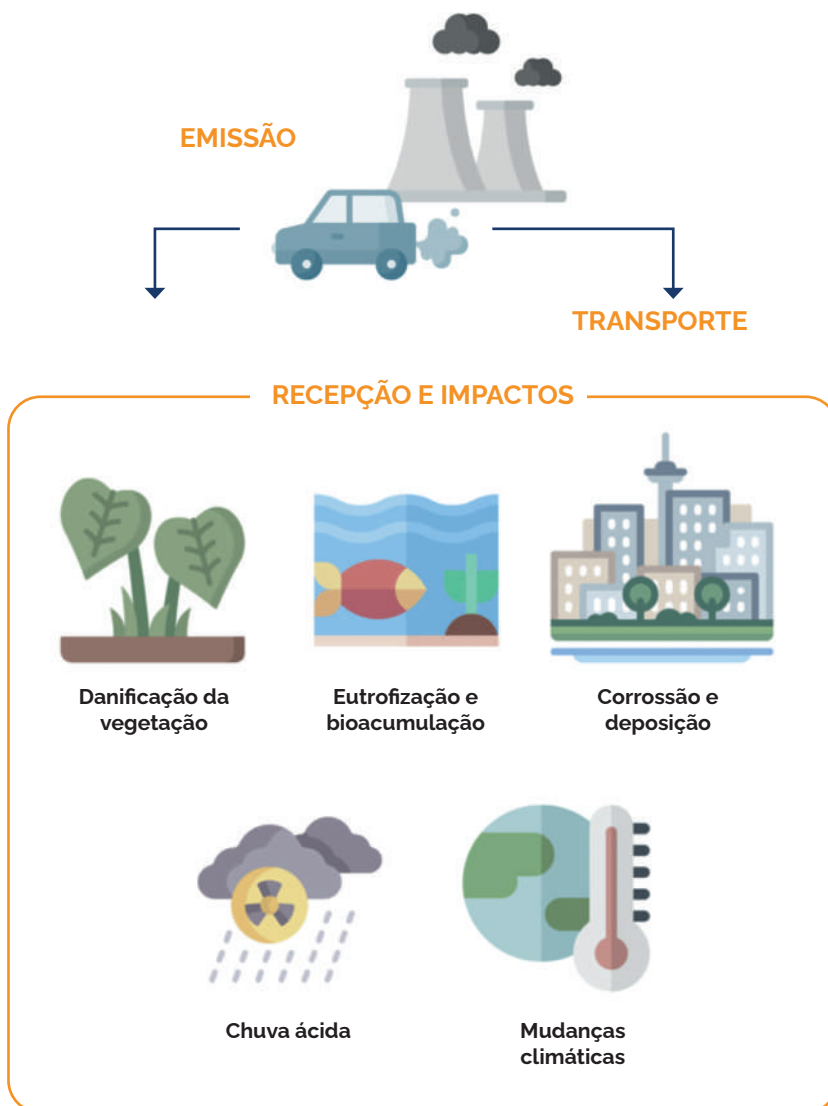
Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Figura 16 - Os efeitos da poluição atmosférica no ambiente e ecossistemas.**DICA****Economia e produtividade:**

A poluição do ar também está relacionada a impactos negativos na economia. Os custos diretos e indiretos incluem gastos em saúde, perda de produtividade por afastamento de colaboradores, redução do rendimento escolar e impactos sobre o turismo em regiões afetadas por neblina, baixa visibilidade e menor qualidade de vida.

**AVISO****Justiça social:**

A distribuição dos riscos não é uniforme. Populações de menor renda costumam residir mais próximas às fontes emissoras, passam mais tempo expostas aos poluentes, têm menor acesso a serviços de saúde e a ambientes internos adequadamente ventilados e, por consequência, suportam maior carga de doença.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

2.4 Monitoramento da qualidade do ar

O monitoramento é um pilar central da gestão da qualidade do ar. Medições consistentes e confiáveis das concentrações de poluentes permitem identificar o grau de exposição da população e impactos sobre ecossistemas, verificar o cumprimento dos padrões legais do Conama e a convergência com valores-guia da OMS e do Conama, além de orientar o planejamento, a priorização e a avaliação de medidas de controle de emissões (BRASIL, 2020).

2. Definições, padrões e parâmetros da qualidade do ar no Brasil

O Guia Técnico para o Monitoramento e Avaliação da Qualidade do Ar estabelece os requisitos mínimos para redes de monitoramento (BRASIL, 2020). O documento estabelece objetivos de medição e parâmetros prioritários, classifica tipos de estações e suas escalas de representatividade, e apresenta critérios de implantação que consideram fontes emissoras, densidade populacional, relevo e ventos predominantes. Também padroniza métodos de referência e métodos equivalentes, define procedimentos de controle da qualidade e calibração, e fixa metas de completude e disponibilidade de dados para assegurar comparabilidade entre redes e séries históricas.

Para fins regulatórios, devem ser utilizadas estações de monitoramento que operem com métodos de referência ou métodos equivalentes. Para objetivos como pesquisa, educação ambiental ou apoio à gestão, podem ser utilizadas tecnologias indicativas baseadas em sensores, desde que seus limites e incertezas sejam considerados. Em síntese:

Métodos de referência: técnicas de medição reconhecidas pela acurácia, rastreabilidade e confiabilidade, adotadas como padrão oficial para verificação do atendimento aos padrões de qualidade do ar.

Métodos equivalentes: técnicas de medição que demonstram desempenho compatível com métodos de referência, de acordo com critérios definidos no Guia Técnico, podendo ser utilizadas para os mesmos fins regulatórios após validação.

Métodos indicativos: tecnologias baseadas em sensores, usadas para complementar redes oficiais e ampliar a cobertura espacial. Apresentam maior incerteza e sensibilidade, razão pela qual não devem ser utilizadas para fins regulatórios.

As estações de monitoramento podem operar de forma manual ou automática, de acordo com o método adotado e os objetivos da rede:

**NOTA**

No Brasil, orientações sobre os métodos de medição do ar aceitáveis constam no Guia Técnico para o Monitoramento e Avaliação da Qualidade do Ar, incluindo certificações da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA).

2. Definições, padrões e parâmetros da qualidade do ar no Brasil

Estações manuais: realizam a coleta de amostras em campo, com análise posterior em laboratório, gerando valores de períodos específicos, razão pela qual não são indicadas quando há necessidade de dados contínuos em tempo real.

Estações automáticas: realizam medições contínuas diretamente no local de amostragem, produzindo séries temporais de alta resolução e permitindo a identificação rápida de episódios de poluição.

A **Tabela 2** mostra uma síntese de métodos de referência, equivalentes e indicativos comumente utilizados para monitoramento da qualidade do ar.

Tabela 2 - Métodos de monitoramento da qualidade do ar de referência, equivalentes e indicativos.

| Método | Categoria | Funcionamento | Poluentes monitorados |
|--|--------------|---------------------------|--|
| Fluorescência UV | Referência | Automática; Contínua | SO ₂ |
| Amostrador de Grande Volume (AGV) | Referência | Manual; Período de 24h | PTS |
| Método gravimétrico | Referência | Manual; Período de 24h | MP ₁₀ |
| Fotometria infravermelha Não Dispersiva (NDIR) | Referência | Automática; Contínua | CO |
| Quimiluminescência | Referência | Automática; Contínua | O ₂ , NO, NO ₂ , NO _x |
| Analísadores automáticos | Equivalência | Automática; Contínua | SO ₂ , CO, O ₃ , NO, NO ₂ , NO _x |
| Monitores baseados em microbalança* | Equivalência | Automática; Semi-contínua | MP ₁₀ , MP _{2,5} |
| Sensores eletroquímicos | Indicativo | Automática; Contínua | SO ₂ , CO, O ₃ , NO, NO ₂ , NO _x |
| Sensores ópticos | Indicativo | Automática; Contínua | MP ₁₀ , MP _{2,5} , PTS |

Legenda: * Pode ser considerado referência dependendo da norma/regulação adotada.

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

A representatividade espacial corresponde à área de abrangência potencialmente coberta por cada estação de monitoramento da qualidade do ar. Essa classificação depende do uso e ocupação do solo, das fontes de emissão predominantes, da localização geográfica e poluente monitorado pelas estações. Nesse caso, são estabelecidos critérios específicos de representatividade espacial para diferentes poluentes e a abrangência é classificada em diferentes escalas (microescala, me-soescala, bairro e urbana). A **Tabela 3** mostra os critérios de representatividade espacial e orientações de alocação das estações.

Tabela 3 - Critérios de representatividade espacial das estações de monitoramento e aplicações.

| Escala | Representatividade | Características principais | Exemplos de uso |
|------------------|---|---|--|
| Microescala | Áreas de até 100 metros de extensão | Captura efeitos locais, como borda de via de tráfego ou fonte pontual próxima | Avaliação de exposição em vias e Indústrias |
| Mesoescala | Conjuntos de quadras ou trechos urbanos entre 100 e 500m | Representa condições de vias ou zona urbana específica | Monitoramento de impacto de vias arteriais, polos geradores de tráfego |
| Escala de bairro | Áreas de bairros urbanos com atividade uniforme e dimensões de 500 e 4.000 metros | Integra emissões de múltiplos vias de tráfego e fontes locais | Avaliação de exposição média da população em áreas residenciais ou mistas |
| Escala urbana | Cobertura de cidade ou região metropolitana, de 4 a 50km | Representa uma região, com área sem dominância de uma única fonte | Tendências de longo prazo, comparação com padrões nacionais modelagem regional |

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

A representatividade temporal refere-se à qualidade e completude das séries de dados registradas pelas estações de monitoramento. Falhas de operação, manutenção ou comunicação são esperadas, mas devem ser mantidas em níveis que não comprometam as análises anuais, sazonais ou diárias. Para isso, adotam-se critérios mínimos de validade para médias horárias, diárias, mensais e anuais, bem como exigências de frequência de amostragem para monitores contínuos e manuais.

Quando esses critérios não são atendidos, os dados devem ser mantidos e divulgados com as devidas ressalvas, podendo apoiar análises exploratórias, mas não servindo para verificação regulatória. A **Tabela 4** mostra os critérios de representatividade temporal estabelecidos no Guia Técnico para o Monitoramento e Avaliação da Qualidade do Ar (BRASIL, 2020).



NOTA

A classificação de uma estação deve ser revista se houver mudanças relevantes em seu entorno (novas vias, empreendimentos, alterações de uso do solo).

Tabela 4 - Critérios de representatividade temporal dos dados de estações de monitoramento.

| Tipo de Média | Critério de Validação |
|---------------|---|
| Média horária | 3/4 das medidas válidas na hora |
| Média diária | 2/3 das médias horárias válidas no dia |
| Média mensal* | 2/3 das médias diárias válidas no mês |
| Média anual | 1/2 das médias diárias válidas obtidas em cada quadrimestre (jan/abr; mai/ago; set/dez) |

Legenda: * Usada apenas quando necessário; não substitui o critério específico para validação da média anual.

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

A combinação entre métodos adequados, estações corretamente posicionadas e séries históricas com completude conhecida é o que assegura que a rede de monitoramento produza informações comparáveis, confiáveis e úteis ao planejamento e à gestão da qualidade do ar.

2.5 Governança sobre a qualidade do ar no Brasil

A governança da qualidade do ar no Brasil foi fortalecida pela Lei nº 14.850, de 2 de maio de 2024, que instituiu a Política Nacional de Qualidade do Ar (PNQAr). Essa política define princípios, objetivos e instrumentos para garantir um ar mais limpo e saudável em todo o território nacional, alinhando-se às metas de saúde pública, bem-estar social e combate às mudanças climáticas. A **Figura 17** apresenta de forma sintética o fluxograma da estrutura da governança da qualidade do ar no Brasil.

A governança é baseada em uma atuação integrada entre diferentes níveis de governo. A União, por meio do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima e do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), é responsável por estabelecer diretrizes, padrões nacionais de qualidade do ar, limites máximos de emissão e coordenar o Plano Nacional de Gestão da Qualidade do Ar. Também cabe à União manter o Sistema Nacional de Gestão da Qualidade do Ar (MonitorAr), que reúne e divulga dados gerados pelas redes estaduais de monitoramento, além de elaborar o Guia Técnico para o Monitoramento e Avaliação da Qualidade do Ar, documento que orienta as metodologias de medição e comunicação do Índice de Qualidade do Ar (IQA_r).

As UFs são responsáveis por operar as redes estaduais de monitoramento, integrar suas informações ao MonitorAr, elaborar os Relatórios Anuais de Avaliação da Qualidade do Ar, desenvolver seus inventários de emissão e Planos Estaduais de Gestão da Qualidade do Ar. Esses planos devem conter diagnósticos das principais fontes poluidoras, cenários, metas e prazos para alcançar os padrões nacionais. Já os municípios contribuem com dados locais sobre emissões e circulação de veículos, auxiliando na elaboração dos inventários estaduais.

2. Definições, padrões e parâmetros da qualidade do ar no Brasil

Entre os principais instrumentos de gestão previstos estão os padrões nacionais de qualidade do ar definidos pelo Conama, os limites máximos de emissão, o monitoramento da qualidade do ar, os inventários de emissões, os planos e programas de controle da poluição, além dos incentivos voltados à adoção de tecnologias limpas e ao fortalecimento da gestão ambiental. Os programas nacionais de maior destaque são o Pronar (Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar), o Proconve (Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores) e o Promot (Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares).

Os objetivos centrais da PNQAr incluem proteger a saúde da população, reduzir as emissões e concentrações de poluentes, garantir o acesso público a dados de monitoramento, incentivar a pesquisa e inovação tecnológica e alinhar as políticas de qualidade do ar com as ações de mitigação climática. A política também estabelece mecanismos de transparência e controle social, determinando que as informações sobre qualidade do ar sejam divulgadas em linguagem acessível e atualizadas periodicamente (BRASIL, 2024a).

A governança da qualidade do ar no Brasil busca equilibrar desenvolvimento econômico e preservação ambiental, promovendo uma gestão integrada, técnica e participativa.

Figura 17 - Estrutura da governança da qualidade do ar no Brasil.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

2.6 Padrões, classificação e metas de atendimento

Os padrões nacionais de qualidade do ar representam valores de concentração de poluentes definidos para proteger a saúde humana e o meio ambiente. Esses padrões são estabelecidos no Brasil pela Resolução Conama nº 506/2024 (BRASIL, 2024b) e seguem uma estratégia gradual de implementação, com metas intermediárias e um padrão final, conforme a **Tabela 5**.

Os Padrões Intermediários (PI) correspondem a valores temporários que devem ser alcançados em etapas sucessivas, permitindo a adaptação progressiva das políticas públicas e o avanço tecnológico no controle das emissões. Já o Padrão Final (PF) reflete os valores recomendados pela OMS em 2021, representando as condições ideais de qualidade do ar para a preservação da saúde e do meio ambiente.

Tabela 5 - Padrões da qualidade do ar estabelecidos na resolução Conama n.506/2024.

| Poluente Atmosférico | Período de Referência | PI-1 | PI-2 | PI-3 | PI-4 | PF | Unidade |
|---|-----------------------|------|------|------|------|-----|---------|
| Material Particulado (MP ₁₀) | 24 horas | 120 | 100 | 75 | 50 | 45 | µg/m³ |
| | Anual ¹ | 40 | 35 | 30 | 20 | 15 | µg/m³ |
| Material Particulado (MP _{2,5}) | 24 horas | 60 | 50 | 37 | 25 | 15 | µg/m³ |
| | Anual ¹ | 20 | 17 | 15 | 10 | 5 | µg/m³ |
| Dióxido de Enxofre (SO ₂) | 24 horas | 125 | 50 | 40 | 40 | 40 | µg/m³ |
| | Anual ¹ | 40 | 30 | 20 | 20 | 20 | µg/m³ |
| Dióxido de Nitrogênio (NO ₂) | 1 hora ² | 260 | 240 | 220 | 200 | 200 | µg/m³ |
| | Anual ¹ | 60 | 50 | 45 | 40 | 10 | µg/m³ |
| Ozônio (O ₃) | 8 horas ³ | 140 | 130 | 120 | 100 | 100 | µg/m³ |
| Fumaça | 24 horas | 120 | 100 | 75 | 50 | 45 | µg/m³ |
| | Anual ¹ | 40 | 35 | 30 | 20 | 15 | µg/m³ |
| Monóxido de Carbono (CO) | 8 horas ³ | - | - | - | - | 9 | ppm |
| Partículas Totais em Suspensão (PTS) | 24 horas | - | - | - | 240 | - | µg/m³ |
| | Anual ⁴ | - | - | - | 80 | - | µg/m³ |
| Chumbo (Pb ⁵) | Anual ¹ | - | - | - | 0,5 | - | µg/m³ |

Legenda: 1 - média aritmética anual; 2 - máxima média horária obtida no dia; 3 - máxima média móvel obtida no dia; 4 - média geométrica anual; 5 - medido nas partículas totais em suspensão.

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

2. Definições, padrões e parâmetros da qualidade do ar no Brasil

A adoção dos padrões ocorrerá de forma sequencial, conforme cronograma definido na Resolução:

- PI-1: em vigor até 31 de dezembro de 2024;
- PI-2: a partir de 1º de janeiro de 2025;
- PI-3: a partir de 1º de janeiro de 2033;
- PI-4: a partir de 1º de janeiro de 2044, com possibilidade de antecipação ou prorrogação por até quatro anos;
- PF (Padrão Final): em data a ser definida pelo Conama.

O atendimento dos padrões é verificado por meio de métodos de medição de referência ou equivalentes, assegurando comparabilidade e confiabilidade dos dados. Esses valores servem como base para a definição de metas e elaboração de políticas públicas, promovendo a redução gradual dos níveis de poluição e a melhoria contínua da qualidade do ar no Brasil.






Para fins de comunicação e informação à população, é utilizado como valor base o IQAr, que relaciona as concentrações dos poluentes monitorados aos possíveis efeitos adversos à saúde (BRASIL, 2024b). Os valores de concentração que classificam a qualidade do ar como "boa" são os valores recomendados pela OMS como mais protetivos à saúde humana.

Os poluentes que fazem parte do índice são: Material Particulado Inalável (MP_{10}); Material Particulado Fino ($MP_{2,5}$); Ozônio (O_3); Monóxido de carbono (CO); Dióxido de nitrogênio (NO_2); e Dióxido de enxofre (SO_2).

Para cada poluente monitorado é calculado um índice, que é um valor adimensional. Dependendo do índice obtido, o ar recebe uma qualificação, que consiste em uma nota para a qualidade do ar, além de uma cor, conforme mostrado nas **Figuras 18 e 19** a seguir (BRASIL, 2020).

2. Definições, padrões e parâmetros da qualidade do ar no Brasil

Figura 18 - Intervalos de valores de medição do IQAr por poluente.

| Qualidade do Ar | Índice | Efeitos |
|---|-----------|--|
|  N1 - Boa | 0 - 40 | Condições adequadas. Seguro para a população e meio ambiente. |
|  N2 - Moderada | 41 - 80 | Grupos sensíveis, como crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias ou cardíacas, podem apresentar sintomas leves como tosse seca e cansaço. A população em geral tende a não apresentar efeitos relevantes. |
|  N3 - Ruim | 81 - 120 | Sintomas podem ocorrer em toda a população, como tosse seca, cansaço e ardor nos olhos, no nariz e na garganta. Em grupos sensíveis, a intensidade dos efeitos é maior. |
|  N4 - Muito Ruim | 121 - 200 | Sintomas mais intensos na população em geral, com possibilidade de falta de ar e respiração ofegante, além de piora de doenças respiratórias e cardiovasculares. Em grupos sensíveis, aumenta o risco de complicações. |
|  N5 - Péssima | 201 - 400 | Risco elevado de eventos respiratórios e cardiovasculares Na população como um todo. Entre grupos sensíveis, cresce a probabilidade de desfechos graves, incluindo aumento de mortalidade prematura. |

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Figura 19 - Impactos dos poluentes na saúde e ambiente, por intervalos de medições do IQAr.

| Qualidade do Ar | Índice | MP10 - 24h (µg/m³) | MP2,5 - 24h (µg/m³) | O ₃ - 8h (µg/m³) | CO - 8h (ppm) | NO ₂ - 1h (µg/m³) | SO ₂ - 24h (µg/m³) |
|-----------------|-----------|--------------------|---------------------|-----------------------------|---------------|------------------------------|-------------------------------|
| N1 - Boa | 0 - 40 | 0 - 45 | 0 - 15 | 0 - 100 | 0 - 9 | 0 - 200 | 0-20 |
| N2 - Moderada | 41 - 80 | >45 - 100 | >15 - 50 | >100 - 130 | >9 - 11 | >200 - 240 | >20 - 40 |
| N3 - Ruim | 81 - 120 | >100 - 150 | >50 - 75 | >130 - 160 | >11 - 13 | >240 - 320 | >40 - 365 |
| N4 - Muito Ruim | 121 - 200 | >150 - 250 | >75 - 125 | >160 - 200 | >13 - 15 | >320 - 1130 | >365 - 800 |
| N5 - Péssima | 201 - 400 | >250 - 600 | >125 - 300 | >200 - 800 | >15 - 50 | >1130 - 3750 | >800 - 2620 |

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

3

A Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar no Brasil



NOTA

É importante destacar que as estações indicativas são integradas em plataformas internacionais com finalidade científica, exploratória e informativa. A gestão dos dados ocorre por meio da integração dos equipamentos na plataforma. Em alguns casos, a operação e supervisão é realizada pelos OEMAs.

Estas estações são equipadas com instrumentos e sensores não considerados equivalentes às estações de referência. As estações indicativas são capazes de monitorar a concentração de alguns poluentes atmosféricos em tempo real, no entanto, podem apresentar um grau de incerteza relevante em relação ao dado gerado, principalmente quando não são calibradas e operadas adequadamente.

No presente relatório, foram contabilizadas **570 estações** de monitoramento da qualidade do ar no Brasil, um aumento de 91 unidades em relação ao relatório com ano base 2023. Do total de estações em 2024, **367 utilizam método de referência ou equivalente**, indicando redução de 18 unidades em comparação ao levantamento anterior. **As estações indicativas somam 194**, um aumento de 100 unidades frente a 2023, enquanto em **9 estações o método de monitoramento não foi informado pela UF**.

Quanto ao status de funcionamento, **as estações de referência somam 280 ativas, 68 inativas e 18 sem declaração de status**. Entre as **indicativas, 190 estão ativas, 1 inativa e 3 sem informação**, enquanto no grupo com **método não declarado há 4 estações ativas e 5 inativas**.

Assim, no conjunto da rede em 2024, **474 estações estavam ativas, 75 inativas e 21 não tiveram seu status informado**, o que reflete também limitações no envio de dados por parte dos estados.

Cabe ressaltar que os acréscimos e reduções observados em comparação a 2023 nem sempre correspondem à instalação ou desativação de estações no período. Em muitos casos, podem estar associados a falhas de reporte pelas UFs, de modo que parte das estações contabilizadas em 2024 podem não terem sido informadas em levantamentos anteriores.



NOTA

As estações sem registro de início e fim de operação foram contabilizadas apenas nos anos de 2023 e 2024. Alguns períodos de operação foram estimados a partir da data de instalação e operação.

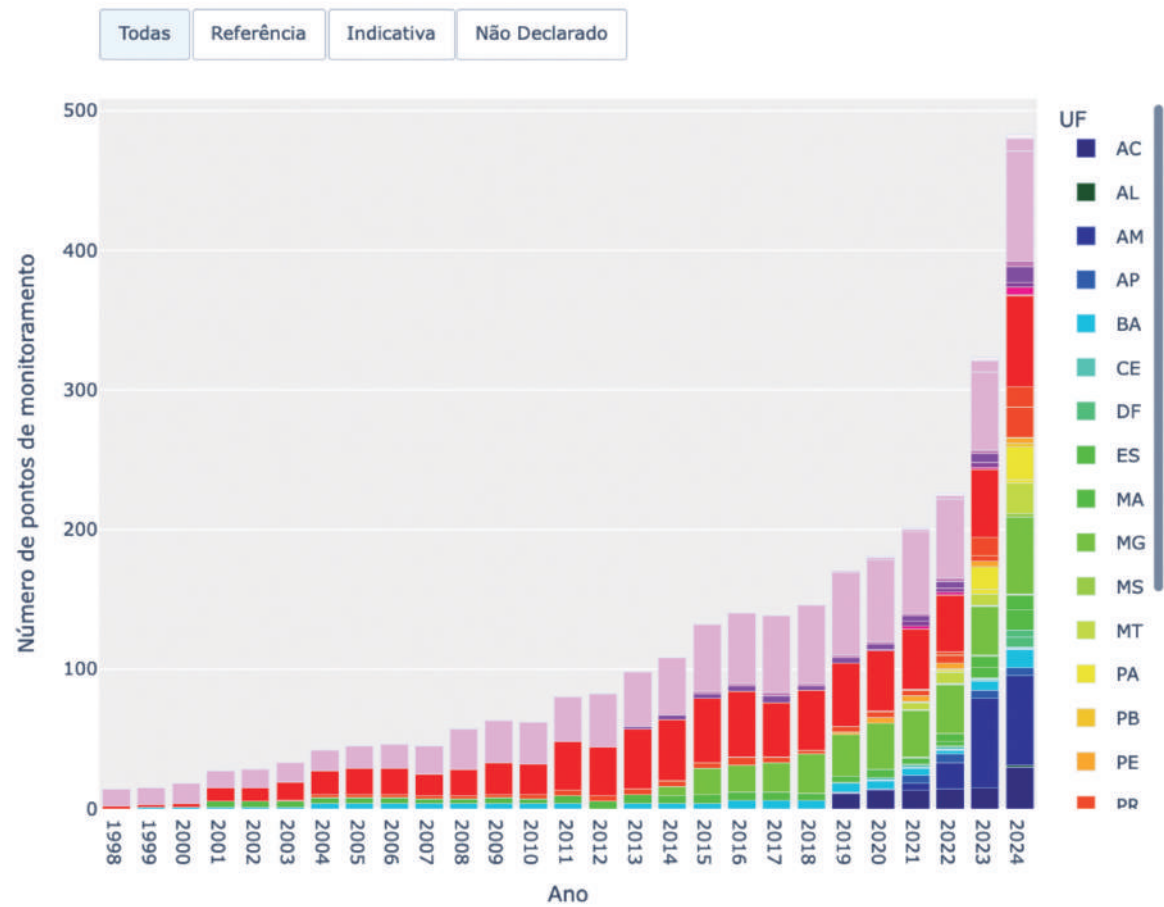
Os números reportados acima referem-se às instalações físicas com infraestrutura para abrigar os equipamentos de medição das concentrações de poluentes. Desta forma, destaca-se que uma mesma estação de monitoramento pode medir, simultaneamente, múltiplos poluentes.

Neste caso, nas seguintes seções do relatório, alguns resultados são organizados e discutidos de acordo com o número de pontos de monitoramento disponíveis para cada poluente específico.

É importante ressaltar que as estações indicativas não atendem aos critérios estabelecidos pelo Guia Técnico para o Monitoramento e Avaliação da Qualidade do Ar, mas podem fornecer informações relevantes sobre a qualidade do ar, principalmente em locais sem nenhuma estação de referência ou equivalente.

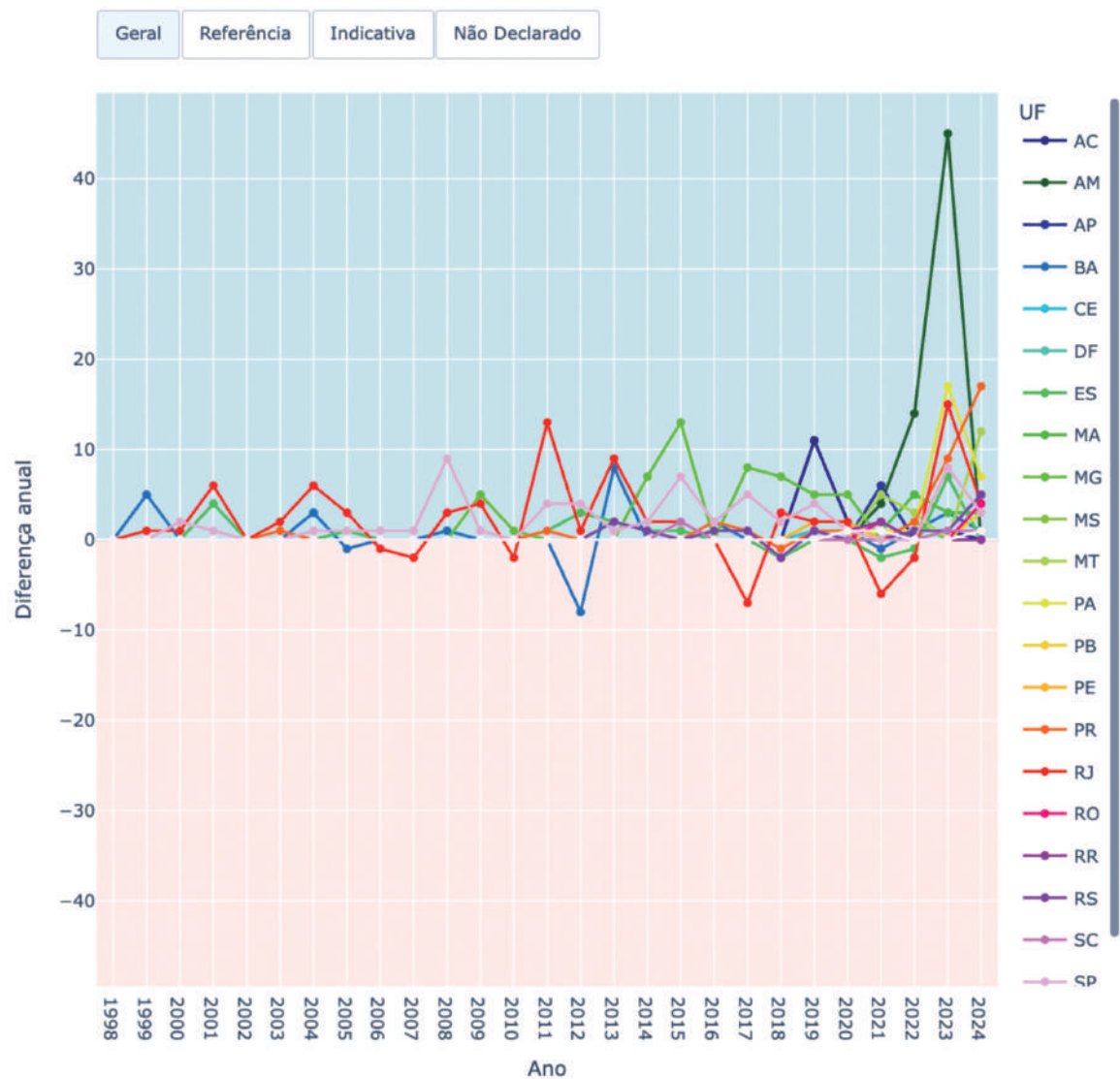
As **Figuras 20, 21 e 22** mostram, respectivamente, a evolução do número de estações de monitoramento em cada UF no Brasil, variação anual de estações na rede estadual, e o número de pontos de monitoramento por poluente que foram registrados na base de dados desenvolvida neste relatório. Na Figura 22 foram considerados apenas os pontos de monitoramento que possuem registro de início e fim de operação.

Figura 20 - Número de estações de monitoramento por UF.



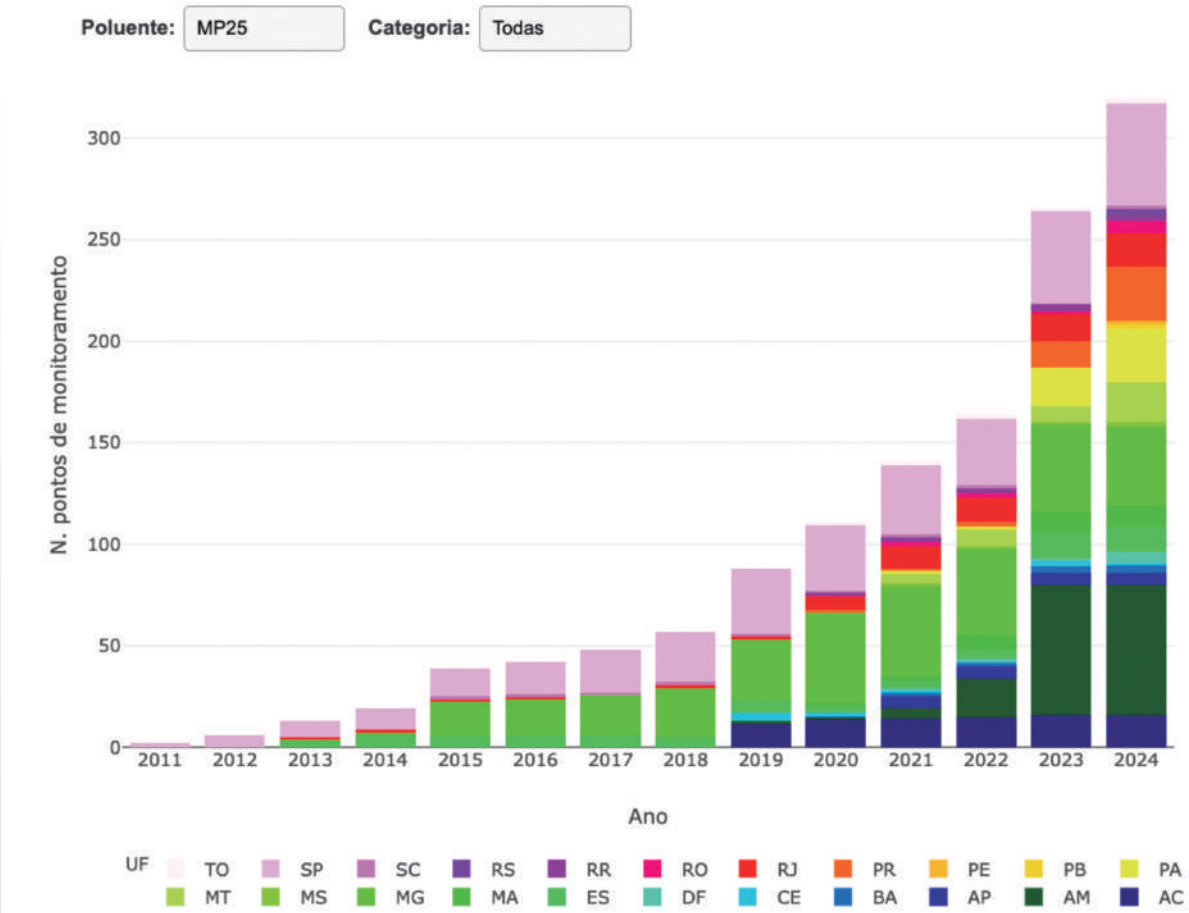
Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Figura 21 - Acréscimo e decréscimo anual do número de estações de monitoramento por UF.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Figura 22 - Número de pontos de monitoramento por poluente e UF.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

3.1 Distribuição espacial

Nesta seção, é apresentada a distribuição espacial das estações de monitoramento da qualidade do ar no Brasil e os status de operação.

A **Tabela 6** apresenta o número de estações de monitoramento reportadas pelos OEMAs nos anos de 2023 e 2024, bem como a variação no período. A **Figura 23** apresenta um mapa interativo com a localização geográfica das estações de monitoramento no Brasil, onde as cores representam o status de operação (inativa em vermelho e ativa em verde).































AVISO

Não foram obtidas as informações sobre status do monitoramento em 35 estações de monitoramento. Estas foram marcadas como “Não declarado”.

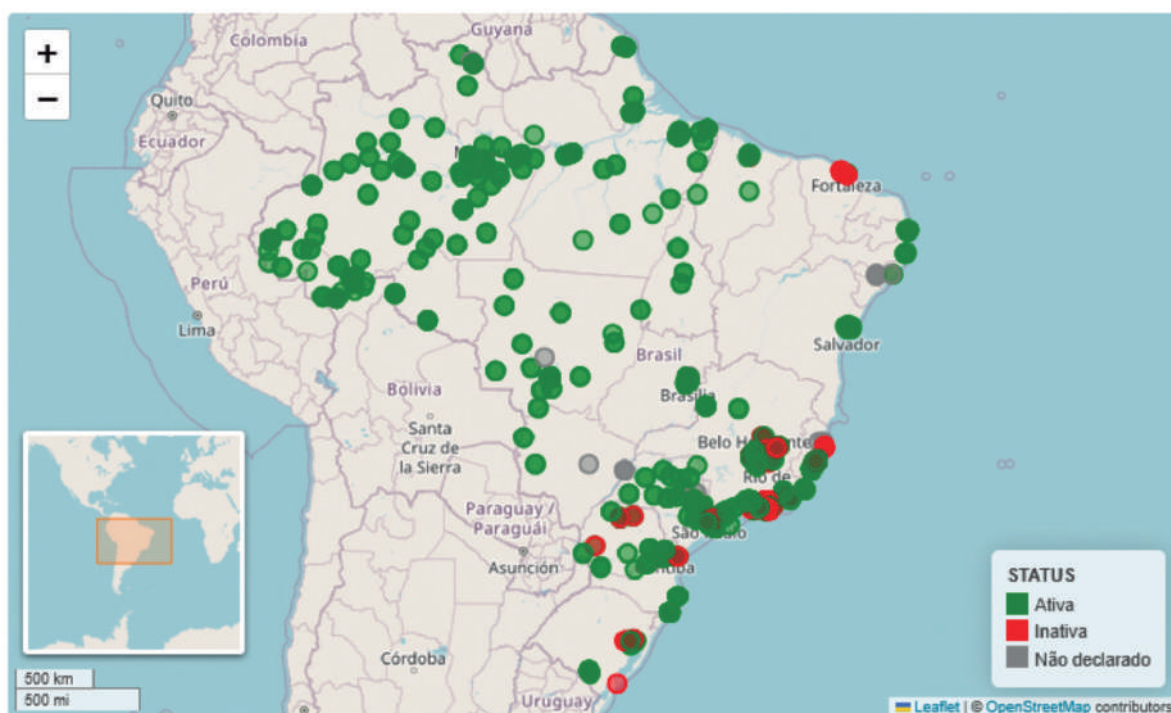
3. A Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar no Brasil

Tabela 6 - Número total de estações de monitoramento da qualidade do ar no Brasil.
Dados coletados no formulário aplicado pelo MMA.

| | | INDICATIVA | | | REFERÊNCIA | | | NÃO DECLARADO | | |
|---|--------------|------------|---------|---------------|------------|---------|---------------|---------------|---------|---------------|
| | UF | Ativa | Inativa | Não declarado | Ativa | Inativa | Não declarado | Ativa | Inativa | Não declarado |
| | Norte | | | | | | | | | |
|  | AC | 30 | - | - | - | - | - | - | - | - |
|  | AP | 6 | - | - | - | - | - | - | - | - |
|  | AM | 64 | - | - | - | - | - | - | - | - |
|  | PA | 23 | - | - | 3 | - | - | - | - | - |
|  | RO | 6 | - | - | - | - | - | - | - | - |
|  | RR | 3 | - | 2 | - | - | - | - | - | - |
|  | TO | 3 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Nordeste | | | | | | | | | |
|  | AL | - | - | - | 1 | - | 7 | - | - | - |
|  | BA | 1 | - | - | 13 | 1 | - | - | - | - |
|  | CE | 1 | - | - | - | 2 | - | - | 2 | - |
|  | MA | - | - | - | 11 | - | - | 1 | 1 | - |
|  | PB | - | - | - | - | - | - | 3 | - | - |
|  | PE | - | - | - | 4 | - | - | - | - | - |
|  | PI | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
|  | RN | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
|  | SE | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Centro-Oeste | | | | | | | | | |
|  | DF | 5 | - | - | 7 | - | 1 | - | - | - |
|  | GO | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
|  | MT | 22 | - | 1 | - | - | - | - | - | - |
|  | MS | 2 | - | - | - | - | 4 | - | - | - |
| | Sudeste | | | | | | | | | |
|  | ES | - | - | - | 13 | 4 | - | - | - | - |
|  | MG | - | - | - | 50 | 10 | - | - | 2 | - |
|  | RJ | 1 | - | - | 64 | 34 | - | - | - | - |
|  | SP | 9 | 1 | - | 79 | 5 | 6 | - | - | - |
| | Sul | | | | | | | | | |
|  | PR | 14 | - | - | 21 | 7 | - | - | - | - |
|  | RS | - | - | - | 10 | 6 | - | - | - | - |
|  | SC | - | - | - | 4 | - | - | - | - | - |
|  | BR | 190 | 1 | 3 | 280 | 69 | 18 | 4 | 5 | - |

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Figura 23 - Distribuição espacial das estações de monitoramento da qualidade do ar no Brasil por status.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)





























3.2 Equipamentos utilizados

A **Tabela 7** apresenta o número de estações de monitoramento de referência/equivalente e indicativas no Brasil. Foram registradas 371 estações de referência e 197 indicativas. Foram marcadas como “Não declarado” (9 estações), aquelas que o estado não forneceu a informação e não foram encontradas evidências sobre o tipo de equipamentos utilizados em busca na internet.

Um mapa interativo com os pontos de monitoramento classificados por tipo de equipamento utilizado pode ser visto na **Figura 24**.

3. A Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar no Brasil

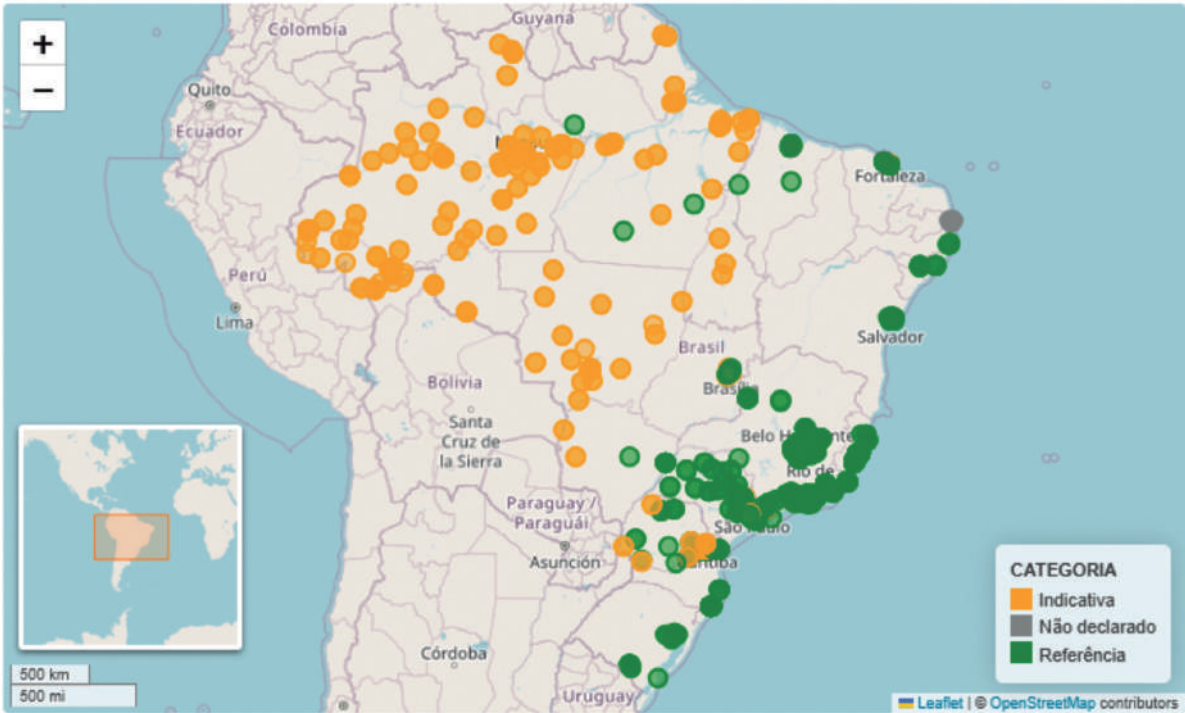
Tabela 7 - Número de estações de monitoramento da qualidade do ar de referência/equivalente ou indicativas no Brasil.

| | UF | Indicativa | Referência | Não declarado |
|---|---------------------|------------|------------|---------------|
| | Norte | | | |
|  | AC | 30 | - | - |
|  | AP | 6 | - | - |
|  | AM | 64 | - | - |
|  | PA | 23 | 3 | - |
|  | RO | 6 | - | - |
|  | RR | 5 | - | - |
|  | TO | 3 | - | - |
| | Nordeste | | | |
|  | AL | - | 8 | - |
|  | BA | 1 | 14 | - |
|  | CE | 1 | 2 | 2 |
|  | MA | - | 11 | 2 |
|  | PB | - | - | 3 |
|  | PE | - | 4 | - |
|  | PI | - | - | - |
|  | RN | - | - | - |
|  | SE | - | - | - |
| | Centro-Oeste | | | |
|  | DF | - | 8 | - |
|  | GO | - | - | - |
|  | MT | - | - | - |
|  | MS | - | 4 | - |
| | Sudeste | | | |
|  | ES | - | 17 | - |
|  | MG | - | 60 | 2 |
|  | RJ | 1 | 98 | - |
|  | SP | 11 | 90 | - |
| | Sul | | | |
|  | PR | 14 | 28 | - |
|  | RS | - | 16 | - |
|  | SC | - | 4 | - |
|  | BR | 194 | 367 | 9 |

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

3. A Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar no Brasil

Figura 24 - Distribuição espacial das estações de monitoramento da qualidade do ar no Brasil por categoria (referência/equivalente e indicativa).



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

A **Tabela 8** detalha a lista de pontos de monitoramento por poluente, classificados por UF, status e categoria.

Tabela 8 - Pontos de monitoramento por poluente por UF, status e categoria.

UF

x

Aa↑

#↑

^

AC

31

AL

11

AM

64

AP

6

BA

16

CE

10

DF

14

...

...

Status

x

Aa↑

#↑

^

Ativa

757

Inativa

149

Não declarado

31

Categoria

x

Aa↑

#↑

^

Indicativa

198

Não declarado

15

Referência

724

Copy

CSV

Search:

UF

ID_OEMA

Poluente

Status

Categoria

Funcionamento

AC

MPAC_ACL_01_promotoria

MP25

Ativa

Indicativa

Automatica

AC

MPAC_ABR_01_promotoria

MP25

Ativa

Indicativa

Automatica

AC

MPAC_ABR_02_SEMSA

MP25

Ativa

Indicativa

Automatica

AC

MPAC_BRL_01_promotoria

MP25

Ativa

Indicativa

Automatica

AC

MPAC_BRL_02_radiofm90.3

MP25

Ativa

Indicativa





























Automatica

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

3.3 Poluentes monitorados

A Tabela 9 apresenta o número de pontos de monitoramento de cada poluente nas UF.

Tabela 9 - Parâmetros da Resolução Conama n. 506/2024 monitorados por estações de referência ou equivalentes em 2024. Dados coletados no formulário aplicado pelo MMA.

| | UF | ACETAL | BEN | CH ₄ | CO | ERT | ETBEN | FMC | CH ₂ O | H ₂ S | HCNM | HCT | MP1 | MP ₁₀ | MP ₂₅ | NO | NO ₂ | NO _x | NO _x | NO _x | NO _x | NO _x | NO _x | NO _x |
|--|--------------|--------|-----|-----------------|-----|-----|-------|-----|-------------------|------------------|------|-----|-----|------------------|------------------|-----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Norte | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | AC | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 31 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
|  | AP | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 6 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
|  | AM | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 64 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
|  | PA | - | - | - | 2 | - | - | - | - | - | - | - | - | 3 | 26 | - | 2 | - | 2 | - | 2 | - | - | - |
|  | RO | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 6 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
|  | RR | - | - | 2 | 2 | - | - | - | - | - | - | 2 | - | - | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | - | - |
|  | TO | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Nordeste | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | AL | - | - | - | 4 | - | - | 1 | - | - | - | - | - | 8 | 8 | 1 | 4 | 1 | 3 | 8 | 8 | - | - | - |
|  | BA | - | - | - | 14 | - | - | - | - | - | - | - | - | 14 | 15 | - | 14 | - | 14 | - | 14 | - | - | - |
|  | CE | - | 4 | 4 | 4 | - | - | - | - | - | 4 | 4 | - | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | - | 4 | 4 | - | - |
|  | MA | - | - | - | 9 | - | - | - | - | - | - | - | - | 13 | 11 | - | 10 | - | 9 | - | 10 | - | - | - |
|  | PB | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 3 | 3 | 3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
|  | PE | - | - | - | 4 | - | - | - | - | - | - | - | - | 4 | 1 | - | 4 | - | 4 | - | 4 | - | - | - |
|  | PI | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
|  | RN | - | - | - | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | - | 4 | - | 1 | - | 1 | - | - | - |
|  | SE | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Centro-Oeste | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | DF | - | - | - | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | 8 | 7 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | - | - | - |
|  | GO | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
|  | MT | - | - | - | 5 | - | - | - | - | - | - | - | - | 5 | 24 | - | 5 | - | 5 | - | 5 | - | - | - |
|  | MS | - | - | - | 3 | - | - | - | - | 1 | - | - | - | 3 | 4 | - | 4 | - | 4 | 3 | 2 | - | - | - |
| | Sudeste | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | ES | - | - | 3 | 10 | - | - | - | - | - | 3 | 3 | - | 15 | 14 | 15 | 15 | 15 | 6 | 13 | 12 | - | - | - |
|  | MG | - | 9 | 9 | 30 | - | 9 | - | - | - | 9 | 9 | - | 62 | 54 | 9 | 30 | 9 | 31 | 47 | 29 | 9 | - | - |
|  | RJ | - | 19 | 47 | 56 | - | 17 | - | - | 9 | 47 | 47 | - | 71 | 23 | 68 | 69 | 64 | 75 | 34 | 62 | 19 | 15 | - |
|  | SP | 1 | 7 | - | 26 | 3 | - | 6 | 1 | - | 1 | - | - | 74 | 55 | 57 | 57 | 57 | 62 | 3 | 25 | 7 | - | - |
| | Sul | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | PR | - | - | - | 11 | - | - | - | - | - | - | - | - | 16 | 31 | - | - | 14 | 11 | 2 | 14 | - | - | - |
|  | RS | - | - | - | 16 | - | - | - | - | - | - | - | - | 16 | 3 | - | 16 | - | 16 | 1 | 16 | - | - | - |
|  | SC | - | - | - | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | 3 | 2 | 1 | 4 | 1 | 4 | 3 | 3 | - | - | - |
|  | BR | 1 | 39 | 65 | 199 | 3 | 26 | 7 | 1 | 10 | 64 | 65 | 3 | 322 | 399 | 158 | 242 | 168 | 254 | 125 | 214 | 39 | 15 | - |

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Tabela 10 – Lista de estações de monitoramento em cada UF, status e poluentes medidos.

UF

SC

3

Status

Ativa

3

Poluente

CO

1

MP10

3

MP25

2

NO, NOX

1

NO2

4

O3

4

PTS

3

Copy

CSV

Search:

| UF | ID_OEMA | Status | Poluente | Nº Poluentes Medidos | Categoria | Funcionamento |
|----|-------------|--------|----------|----------------------|------------|---------------|
| SC | Capivari | Ativa | MP10 | 1 | Referência | Automatica |
| SC | SãoBernardo | Ativa | MP10 | 1 | Referência | Automatica |
| SC | VilaMoema | Ativa | MP10 | 1 | Referência | Automatica |

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

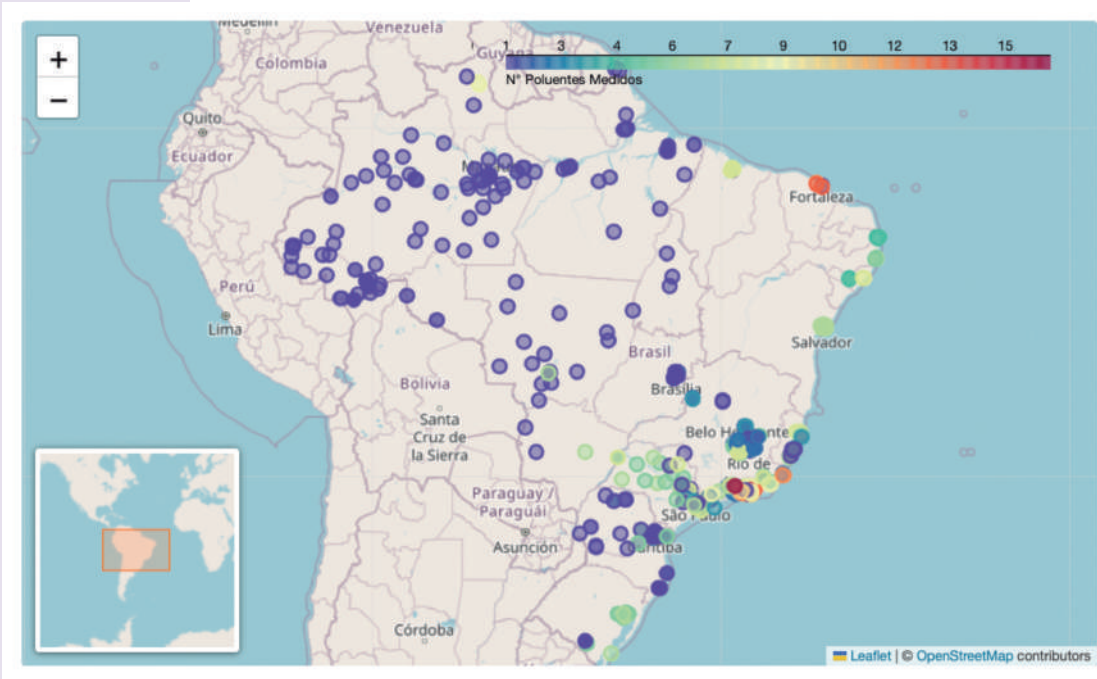


DICA

Através da tabela interativa (Tabela 10) é possível selecionar as estações por estado, status e poluente monitorado

A Figura 25 mostra que o número de poluentes monitorados é maior nos estados do RJ e SP.

Figura 25 - Número de poluentes medidos por cada estação de monitoramento da qualidade do ar do Brasil.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)



DICA

A Tabela 11 apresenta informações sobre a categoria, funcionamento e calibração das estações. A ferramenta permite ao usuário selecionar a UF de interesse e visualizar as informações sobre as estações.

3.4 Calibração das estações

Esta seção apresenta informações sobre a frequência de calibração das estações de monitoramento da qualidade do ar e os procedimentos adotados para o controle de qualidade de dados. As informações referentes às calibrações foram declaradas pelos OEMAs durante a etapa de coleta de dados. A calibração periódica dos analisadores é essencial para assegurar a confiabilidade das medições, conforme recomendado por normas nacionais e internacionais (BRASIL, 2020).

Tabela 11 - Categoria, funcionamento e calibração das estações por poluente.

UF

×

Aa↑

#↑

^

| | |
|----|----|
| AC | 31 |
| AL | 11 |
| AM | 64 |
| AP | 6 |
| BA | 29 |
| CE | 15 |
| DF | 14 |

Status

×

Aa↑

#↑

^

| | |
|---------------|-----|
| Ativa | 781 |
| Inativa | 162 |
| Não declarado | 31 |

Calibração

×

Aa↑

#↑

^

Bimestral

Calibração feita - Sem especifica

Diária

Mensal

Não declarado

Semanal

Sob demanda

Copy

CSV

Search:

| UF | ID_OEMA | Status | Poluente | Categoria | Funcionamento | Calibração | Método | Marca | Modelo |
|----|-------------------------|--------|----------|------------|---------------|---------------|---------------|-----------|---------------|
| AC | MPAC_ACL_01_promotoria | Ativa | MP25 | Indicativa | Automatica | Não declarado | Não declarado | PurpleAir | Não declarado |
| AC | MPAC_ABR_01_promotoria | Ativa | MP25 | Indicativa | Automatica | Não declarado | Não declarado | PurpleAir | PA-II-SI |
| AC | MPAC_ABR_02_SEMSA | Ativa | MP25 | Indicativa | Automatica | Não declarado | Não declarado | PurpleAir | Não declarado |
| AC | MPAC_BRL_01_promotoria | Ativa | MP25 | Indicativa | Automatica | Não declarado | Não declarado | PurpleAir | PA-II-SI |
| AC | MPAC_BRL_02_radiofm90.3 | Ativa | MP25 | Indicativa | Automatica | Não declarado | Não declarado | PurpleAir | Não declarado |

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

3.5 Finalidade do monitoramento

O monitoramento da qualidade do ar possui diferentes funções, como avaliar a extensão da poluição em diferentes regiões, fornecer dados de poluição ao público, apoiar o cumprimento de metas ou padrões de qualidade do ar, verificar a eficácia das estratégias de controle de emissões, acompanhar tendências, subsidiar modelos de qualidade do ar e apoiar pesquisas, incluindo estudos de longo prazo sobre efeitos à saúde (BRASIL, 2020).

Esta seção do relatório mostra o objetivo central declarado pelos OEMAs em relação a cada estação de monitoramento instalada. Nesse caso, foram definidas categorias de finalidade e palavras-chave associadas, utilizadas de forma padronizada nas tabelas de consolidação dos dados. As categorias consideradas foram:

- **Extensão da poluição:** avaliar a extensão da poluição em diferentes regiões.
- **Fornecer dados:** disponibilizar dados de poluição atmosférica ao público em tempo hábil.
- **Apoiar metas:** apoiar a implementação e o acompanhamento de metas ou padrões de qualidade do ar.
- **Eficácia das estratégias:** avaliar a eficácia das estratégias e medidas de controle de emissões.
- **Informação sobre tendências:** fornecer informações sobre as tendências da qualidade do ar ao longo do tempo.
- **Avaliação de modelos:** disponibilizar dados para a avaliação e calibração de modelos de qualidade do ar.
- **Pesquisa:** apoiar pesquisas, incluindo estudos sobre os impactos da poluição do ar na saúde e no ambiente.
- **Licenciamento ambiental:** estação utilizada como parte do processo de licenciamento ambiental;

Essas categorias e suas palavras-chave permitiram comparar as diferentes finalidades atribuídas às redes de monitoramento no território nacional (**Tabela 12**).



DICA

A **Tabela 12** possibilita filtrar as estações em cada UF no Brasil e visualizar a finalidade do monitoramento.

Tabela 12 - Finalidade do monitoramento em cada ponto de monitoramento por poluente.

UF

×

AA↑

#↓

^

| | |
|----|-----|
| RN | 1 |
| RO | 6 |
| RR | 7 |
| RS | 21 |
| SC | 21 |
| SP | 174 |
| TO | 3 |

Status

×

AA↑

#↓

^

| | |
|-------|----|
| Ativa | 21 |
|-------|----|

Finalidade

×

AA↑

#↓






^

| | |
|-------------------------|----|
| Fornecer dados | 4 |
| Licenciamento ambiental | 17 |

Copy

CSV

Search:

| UF | ID_OEMA | Poluente | Status | Categoria | Funcionamento | Finalidade |
|--|----------|----------|--------|------------|---------------|------------------------|
|  SC | Capivari | NO2 | Ativa | Referência | Automática | Licenciament ambiental |
|  SC | Capivari | MP10 | Ativa | Referência | Automática | Licenciament ambiental |
|  SC | Capivari | PTS | Ativa | Referência | Automática | Licenciament ambiental |
|  SC | Capivari | O3 | Ativa | Referência | Automática | Licenciament ambiental |
|  SC | Capivari | SO2 | Ativa | Referência | Automática | Licenciament ambiental |

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

3.6 Cobertura do monitoramento da qualidade do ar

Esta seção apresenta as informações referentes à cobertura espacial e temporal da rede de monitoramento da qualidade do ar no Brasil. O objetivo principal foi caracterizar a extensão da área representada pelas estações, considerando os poluentes monitorados e o tipo de representatividade atribuída a cada ponto de medição (por exemplo, local, regional etc.).

Com base na localização geográfica e no raio de influência estimado de cada estação, foram avaliadas as áreas de cobertura e sua relação com os diferentes tipos de uso do solo predominantes. Essa análise permite identificar se as estações estão situadas em regiões urbanas densas, áreas industriais ou zonas de transição, contribuindo para a avaliação da representatividade espacial da rede. Além disso, foi estimada a população residente dentro das áreas de cobertura de cada estação, a fim de indicar o alcance potencial do monitoramento em termos de exposição humana.

A seção também aborda a representatividade temporal dos dados de cada poluente em cada estação, considerando a completude das séries temporais disponíveis.

Mapas temáticos e tabelas interativas acompanham esta seção, permitindo ao usuário selecionar os poluentes e as estações de interesse. Esses recursos visuais facilitam a exploração dos resultados, possibilitando a identificação das áreas cobertas, dos tipos de uso do solo e da população estimada sob influência de cada ponto de monitoramento.

3.6.1 Representatividade espacial das estações

A representatividade espacial refere-se à extensão geográfica em que as medições de uma estação de monitoramento podem ser consideradas válidas para caracterizar a qualidade do ar. Essas áreas foram utilizadas para avaliar a cobertura espacial da rede e verificar a sobreposição ou dispersão das estações entre diferentes regiões e tipos de uso do solo. O resultado permite identificar áreas monitoradas e regiões com baixa densidade de cobertura, subsidiando o planejamento de novas estações e o fortalecimento da rede nacional de monitoramento da qualidade do ar.

A determinação da representatividade espacial das estações seguiu as diretrizes do Guia Técnico para o Monitoramento e Avaliação da Qualidade do Ar (BRASIL, 2020).

As análises foram conduzidas em duas etapas. Na primeira, realizou-se a padronização e integração dos dados georreferenciados: (a) vetor de geometrias das vias do Brasil; (b) dados de fluxo médio diário de veículos (ADT – *Average Daily Traffic*); (c) localização das estações de monitoramento; e (d) localização de indústrias e outras fontes pontuais, como mineração e aterros.

Após a conversão dos fluxos médios horários para diários, manteve-se apenas as vias com ADT superior a 1.000 veículos/dia, definidas como "vias principais" para fins de representatividade.

Na segunda etapa, calculou-se a distância de cada estação de monitoramento em relação à via e à fonte emissora mais próxima, considerando o sistema de referência SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas). No caso dos cálculos das distâncias das vias, foram consideradas as diferentes faixas de fluxo veicular e o tipo de poluente monitorado, conforme indicado pelo Guia de Monitoramento do MMA.

A seguir, são apresentadas as escalas de medição e característica dos poluentes.

- **Material Particulado (MP):** a representatividade é fortemente influenciada pela proximidade com vias de tráfego e pela ressuspensão de poeira (**Tabela 13**).

Tabela 13 - Posição de monitores de MP em relação às vias de tráfego.

| Número médio de veículos/dia (via principal) | Microescala (m) | Mesoescala (m) | Urbana (>m) |
|--|-----------------|----------------|-------------|
| < 15.000 | 15 | 15 a 80 | > 80 |
| 20.000 | 15 a 20 | 20 a 90 | > 90 |
| 30.000 | 15 a 30 | 30 a 100 | > 100 |
| 40.000 | 15 a 40 | 40 a 110 | > 110 |
| 50.000 | 15 a 50 | 50 a 120 | > 120 |
| 60.000 | 15 a 60 | 60 a 130 | > 130 |
| 70.000 | 15 a 70 | 70 a 140 | > 140 |
| > 80.000 | 15 a 80 | > 80 | - |

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

- **Monóxido de Carbono (CO) e Dióxido de Enxofre (SO₂):** As distâncias entre os monitores de CO e SO₂ e as vias são definidas em função do volume de tráfego, na escala de bairro (**Tabela 14**). Estações instaladas entre 2 e 10 metros de vias com tráfego intenso são classificadas como representativas de microescala.

Tabela 14 - Posição de monitores de CO e SO₂ em relação às vias de tráfego.

| Número médio de veículos/dia (via principal) | Distância mínima (m) |
|--|----------------------|
| < 10.000 | 10 |
| 15.000 | 25 |
| 20.000 | 45 |
| 30.000 | 80 |
| 40.000 | 115 |
| 50.000 | 135 |
| > 60.000 | 150 |

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

- **Dióxido de Nitrogênio (NO₂):** Para garantir que os dados em escala de bairro ou urbana sejam representativos, reduz-se a influência direta das vias de tráfego, representada pelas distâncias mínimas entre estação e via (**Tabela 15**).

Tabela 15 - Posição de monitores de NO₂ em relação às vias de tráfego.

| Número médio de veículos/dia (via principal) | Distância mínima (m) |
|--|----------------------|
| < 10.000 | 10 |
| 15.000 | 20 |
| 20.000 | 30 |
| 40.000 | 50 |
| 70.000 | 100 |
| > 110.000 | 250 |

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

- **Ozônio (O₃):** O ozônio não é emitido diretamente pelas fontes de poluição, mas formado na atmosfera na presença de luz solar e dos precursores NO_x e COVs. Já o monóxido de nitrogênio (NO), gerado na queima de combustíveis, consome o ozônio disponível, fazendo com que as concentrações de O₃ sejam, em geral, baixas nas proximidades de vias de tráfego.
- Por esse motivo, recomenda-se que as estações de ozônio sejam instaladas o mais afastado possível das vias, reduzindo a influência do NO. Desta forma, as distâncias mínimas entre a estação e a via, em função do volume de tráfego, são caracterizadas por bairro ou urbana (**Tabela 16**).

Tabela 16 - Posição de monitores de O₃ em relação às vias de tráfego.

| Número médio de veículos/dia (via principal) | Distância mínima (m) |
|--|----------------------|
| 10.000 | 10 |
| 15.000 | 20 |
| 20.000 | 30 |
| 40.000 | 50 |
| 70.000 | 100 |
| > 110.000 | 250 |

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

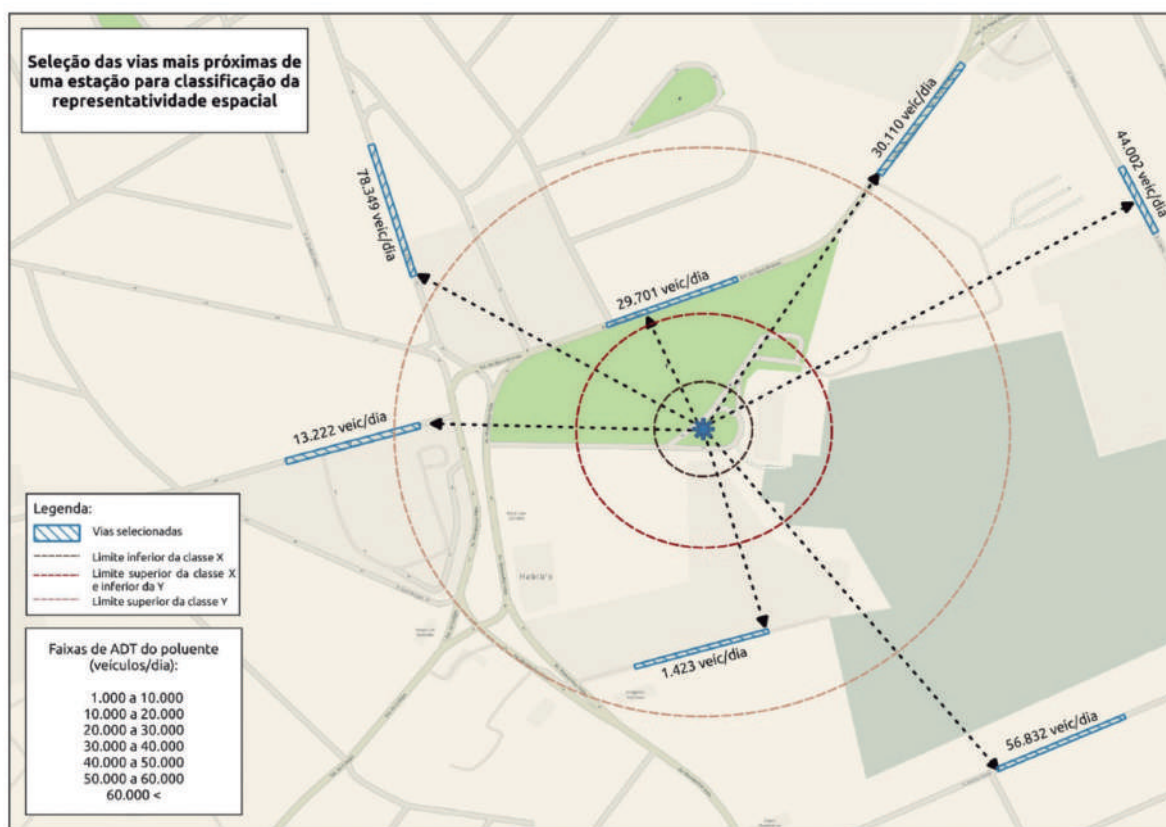
Os dados de cada zona UTM (Universal Transverse Mercator) foram processados separadamente, de modo a garantir precisão nas medições. Para cada estação, foi identificada a via mais próxima em cada categoria de ADT (1k, 10k, 20k, 30k, 40k, 50k e >60k veículos/dia). Em seguida, foram geradas as tabelas de referência de representatividade para cada poluente (CO, NO₂, MP_{2,5}, MP₁₀, PTS, SO₂ e O₃).

3. A Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar no Brasil

Para cada faixa de fluxo veicular, o enquadramento de classe de representatividade foi estabelecido com base nos limites mínimos e máximos de distância entre uma determinada estação de monitoramento e a via mais próxima. Cada estação foi enquadrada na classe mais restritiva aplicável, seguindo a hierarquia: microescala < mesoescala < bairro < urbana. Nesse caso, a microescala representa áreas mais localizadas (como pontos de tráfego intenso) e a urbana representa áreas mais amplas.

Para representar visualmente a área de influência de cada estação, foram criadas *áreas de abrangência* circulares com raio definido de acordo com os valores máximos de representatividade espacial de cada classe. Essas áreas indicam a extensão geográfica aproximada coberta pelas medições de cada estação. A **Figura 26** mostra um exemplo de estação com sua respectiva área de representatividade espacial e distâncias de vias e indústrias utilizados na análise.

Figura 26 - Exemplo de estação com sua respectiva área de representatividade espacial e distâncias de vias e indústrias utilizados na análise.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

UF

x

Aa↑

#↑

^

AC31

AL46

AM64

AP6

BA85

CE52

DF22

Poluente

x

Aa↑

#↑

^

ACETAL1

BENZENO38

CH463

CO197

ERT3

ETILBENZENO25

FMC7

Status

x

Aa↑

#↑

^

Ativa1825

Inativa454

Nao declarado103

Categoria

x

Aa↑

#↑

^

Indicativa230

Nao declarado78

Referencia2074

Representação espacial declarada

x

Aa↑

#↑

^

Bairro660

Mesoescala70

Micro e Mesoescala6

Microescala134

Nao declarado1336

Urbana176

Representação espacial estimada

x

Aa↑

#↑

^

Bairro1796

Meso43

Micro45

Nao declarado455

Rural5

Urbana38

Copy

CSV

Search:

| | UF | ID_OEMA | Poluente | Status | Categoria | Representação espacial declarada | Representação espacial estimada |
|---|----|--------------------------------|----------|--------|------------|----------------------------------|---------------------------------|
|  | AC | MPAC_PTA_01_Sec.infraestrutura | MP25 | Ativa | Indicativa | Nao declarado | Bairro |
|  | AC | MPAC_FIJ_01_promotoria | MP25 | Ativa | Indicativa | Nao declarado | Bairro |
|  | AC | MPAC_BJR_01_promotoria | MP25 | Ativa | Indicativa | Nao declarado | Bairro |
|  | AC | MPAC_BRL_01_promotoria | MP25 | Ativa | Indicativa | Nao declarado | Bairro |
|  | AC | MPAC_TRC_02_ifac | MP25 | Ativa | Indicativa | Nao declarado | Bairro |

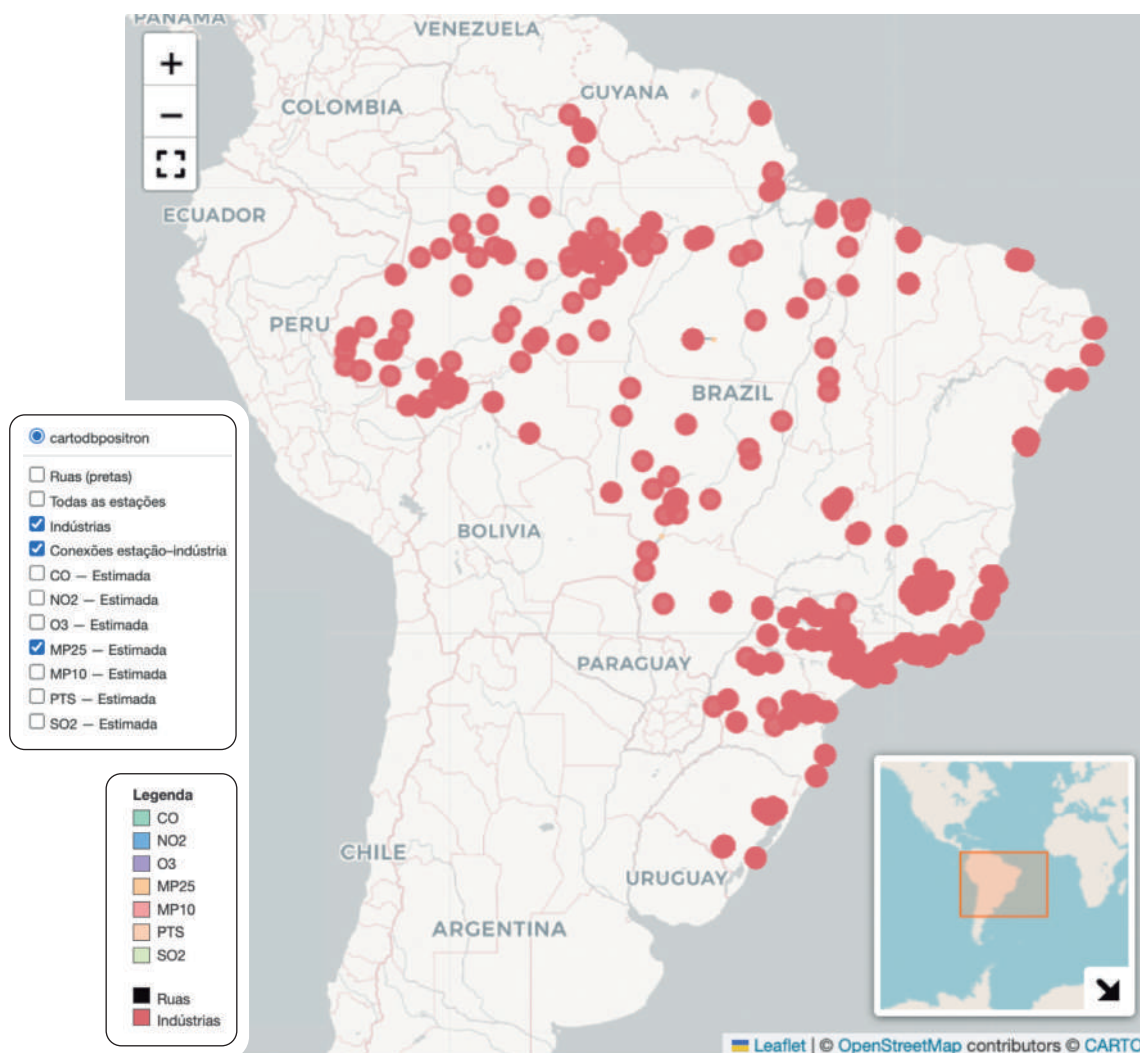
Fonte: Elaborado pelos autores (2025)



DICA

Através da **Tabela 17** é possível filtrar as estações e seus tipos de representatividade espacial.

Figura 27 – Áreas de representatividade espacial das estações de monitoramento da qualidade do ar no Brasil.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)



DICA

As áreas de representatividade de cada estação de monitoramento da qualidade do ar podem ser analisadas na **Figura 27**. Na mesma figura, estão sinalizadas as indústrias mais próximas e vias com fluxo significativo.

Figura 28 - Percentual e estatística de cobertura das redes de monitoramento da qualidade do ar (ativas) nas UFs brasileiras considerando a área rural e área urbana.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)



NOTA

O Estado do RJ é o que possui maior cobertura de monitoramento, seguido pelo DF, ES, SP e MG (Figura 28). Portanto, o Sudeste do Brasil é a região que detém a rede de monitoramento mais desenvolvida.

3.6.2 Representatividade temporal

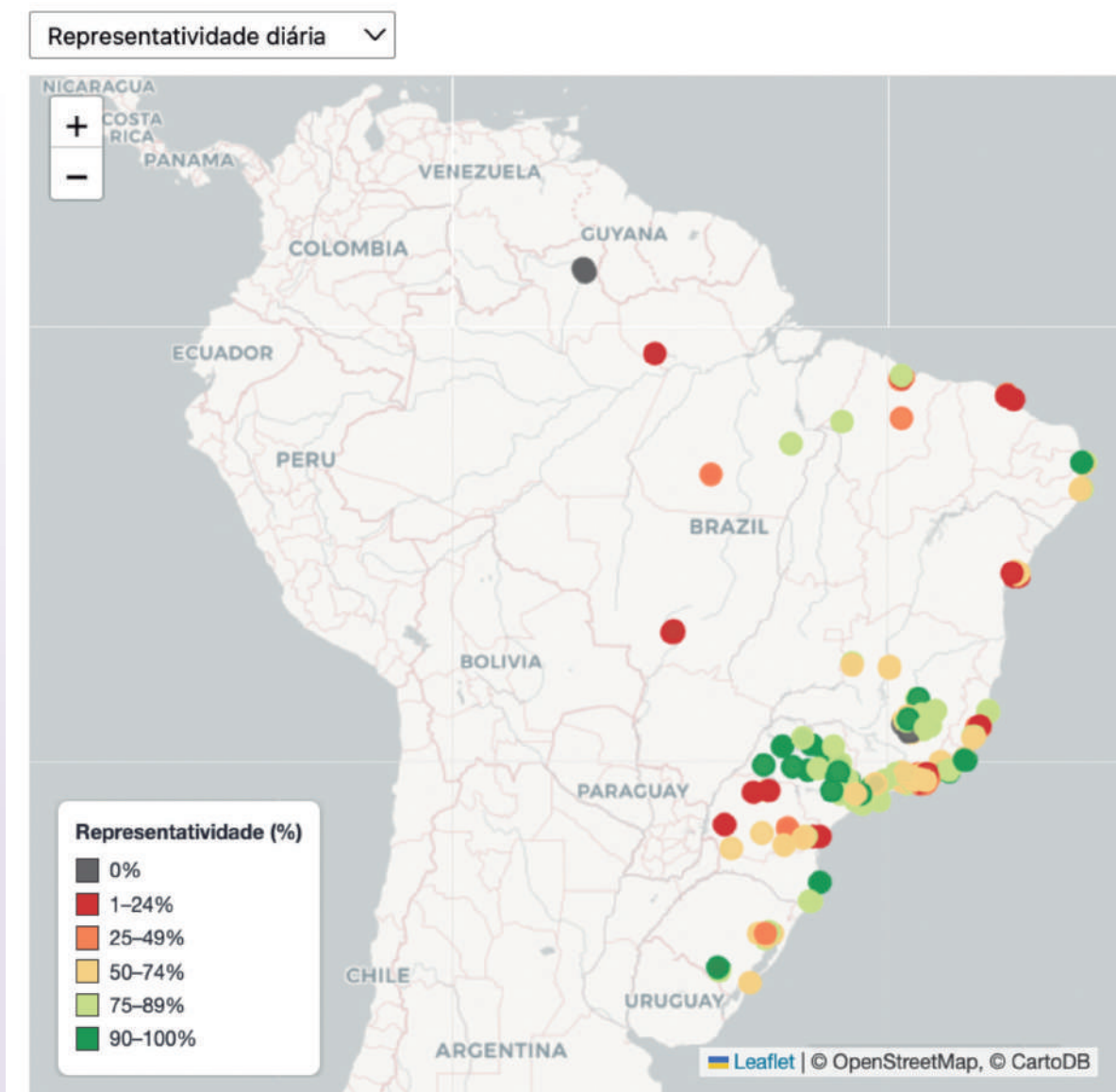
Esta subseção apresenta a avaliação da representatividade temporal dos dados medidos pelas estações da rede de monitoramento da qualidade do ar no Brasil. O objetivo foi verificar a completude das séries temporais e identificar o grau de representatividade dos dados em diferentes escalas de tempo (horária, diária, mensal e anual), conforme as recomendações do Guia Técnico de Monitoramento e Avaliação da Qualidade do Ar do Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2020).

A representatividade temporal foi calculada a partir da proporção de dados válidos em cada intervalo de agregação, considerando critérios mínimos de completude definidos para cada nível temporal. Esses critérios asseguram que os dados utilizados nas análises apresentem cobertura suficiente ao longo do tempo. Os critérios adotados foram os seguintes:

- **Média horária:** pelo menos 3/4 das medições válidas dentro da hora;
- **Média diária:** pelo menos 2/3 das médias horárias válidas no dia;
- **Média mensal:** pelo menos 2/3 das médias diárias válidas no mês;
- **Média anual:** pelo menos 1/2 das médias diárias válidas obtidas em cada quadrimestre (jan-abr; mai-ago; set-dez).

A **Figura 29** mostra os percentuais de dados válidos por estação e poluente, permitindo a visualização da completude temporal das séries em diferentes escalas.

Figura 29 - Representatividade temporal das medições nas estações de monitoramento da qualidade do ar.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)



DICA

Na Figura 29, os anos destacados em verde representam períodos com dados considerados representativos, indicando maior consistência e disponibilidade de informações para análise.

3.6.3 Usos do solo nas áreas monitoradas

A análise do uso e cobertura do solo nas áreas de influência das estações foi realizada com base nos dados do MapBiomas, referentes ao ano de 2024 (MapBiomas, 2024). O objetivo foi identificar os tipos de ambiente predominantes no entorno das estações e avaliar potenciais influências territoriais sobre as medições.

A primeira etapa da análise foi a criação de uma área no entorno de cada estação, cujo raio corresponde ao valor de representatividade espacial estimado para o poluente monitorado (Seção 3.6.1). Dentro dessa área circular, foram contabilizados os pixels do MapBiomias pertencentes a cada classe de uso e cobertura. As classes originais foram agrupadas em seis categorias principais: (a) Floresta, (b) Herbácea, (c) Agropecuária, (d) Não vegetada, (e) Urbanizada e Mineração.

Em seguida, foi calculada a proporção (%) de cada categoria dentro da área e determinada a classe predominante, ou seja, o tipo de uso do solo que ocupa a maior fração da área de influência da estação. Essas informações foram consolidadas **Figura 30** e **Tabela 18**, permitindo ao usuário visualizar o uso do solo predominante que circunda cada ponto de monitoramento da qualidade do ar no Brasil.

O tamanho da representatividade espacial utilizado para estabelecer a área de cobertura pode variar de acordo com o poluente analisado, por isso os resultados são apresentados de maneira individual para cada espécie de poluente. Uma síntese dos resultados para cada poluente é apresentada a seguir:

Ozônio (O₃)

Predominância de áreas urbanizadas, principalmente nas Regiões Centro-Oeste, Nordeste e Sul, onde mais de 50% da área de representatividade das estações é urbana. Na Região Nordeste, a predominância é de áreas de agropecuária (31%), porém com 29% da área ao redor das estações sendo considerada de floresta. Na Região Norte, a predominância também é de áreas de agropecuária (69%).



NOTA

Os resultados desta seção foram obtidos com base na Coleção 8 (2023) do MapBiomias, considerando a agregação das classes originais em seis categorias principais. Essas informações estão integradas ao mapa interativo disponível no capítulo de representatividade espacial

Monóxido de Carbono (CO)

Predominância de áreas urbanizadas nas Regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul, todas acima de 50%. Na Região Nordeste, a área de representatividade engloba principalmente áreas agropecuárias (37,4%), enquanto na Região Norte, a área de floresta é majoritária ao redor das estações.

Dióxido de Nitrogênio (NO₂)

Majoritariamente áreas urbanizadas, ocorrendo essa predominância nas Regiões Centro-Oeste (60,7%), Sudeste (53,4%) e Sul (36,7%). A Região Nordeste apresenta prevalência de uso agropecuário (37,4%), enquanto a Região Norte apresenta 52,5% de floresta dentro da área de representatividade das estações.

Dióxido de Enxofre (SO₂)

Principalmente em áreas urbanizadas nas Regiões Centro-Oeste (59%), Sudeste (51,2%) e Sul (52,3%). Na Região Nordeste, a maior parte da área ao redor das estações é agropecuária (37,4%), enquanto na Região Norte, predominam áreas de floresta dentro da área de representatividade das estações.

Material Particulado Fino (MP_{2,5})

Diferentes padrões de uso e cobertura do solo entre as regiões brasileiras. Nas Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, a predominância é de áreas urbanizadas (55,7%, 48,2% e 45,0%, respectivamente). Na Região Nordeste, a predominância é de áreas de agropecuária (38,0%). Na Região Norte, a predominância é de áreas de floresta (54,6%).

Material Particulado Inalável (MP₁₀)

Predominância de áreas urbanas nas Regiões Centro-Oeste (50,8%), Sudeste (49,1%) e Sul (57,2%). Na Região Nordeste existe a predominância de representatividade de áreas agropecuária com 31,8%, sendo essa a região com maior divisão de uso do solo. Na Região Norte o uso da terra encontrado dentro da zona de representatividade é majoritariamente florestal, com 48,8%.

Figura 30 – Uso do solo predominante dentro do raio de representatividade espacial da estação. Classificação do uso do solo e dados do projeto.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)






Tabela 18 - Número de estações e uso do solo predominante dentro do raio de representatividade espacial da estação. Classificação do uso do solo e dados do projeto.

| UF | Poluente | Categoria |
|----|----------|---------------|
| AC | CO | Indicativa |
| AL | MP10 | Nao declarado |
| AM | MP25 | Referencia |
| AP | NO2 | |
| BA | O3 | |
| CE | PTS | |
| DF | SO2 | |
| ES | | |

Copy

CSV

Search:

| Bandeira | UF | Poluente | Categoria | População atendida | Número de estações |
|---|----|----------|------------|--------------------|--------------------|
|  | AC | MP10 | Indicativa | 344834 | 15 |
|  | AC | MP25 | Indicativa | 459639 | 28 |
|  | AL | CO | Referencia | 302885 | 2 |
|  | AL | MP10 | Referencia | 312424 | 6 |
|  | AL | MP25 | Referencia | 312424 | 6 |

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

3.6.4 Cobertura populacional

A estimativa da cobertura populacional das estações de monitoramento foi realizada com base em dados populacionais distribuídos em setores censitários estabelecidos no Censo populacional de 2022 disponibilizados pelo IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022a), integrados às áreas de representatividade espacial (seção 3.6.1) de cada estação. O objetivo foi estimar a população coberta por cada ponto da rede de monitoramento da qualidade do ar.

A população atendida foi estimada por meio da interseção espacial entre as áreas de abrangência e os setores censitários. Para cada setor que se sobrepôs uma área, calculou-se a fração da área do setor contida no polígono e aplicou-se essa proporção à população total do setor (**Figura 31**).



DICA

A **Tabela 18** possibilita o filtro das estações por UF e poluente para a visualização das características de usos do solo. É possível realizar o download dos dados filtrados através da ferramenta interativa.

Além do cálculo da cobertura de cada estação, também foi estimada a população total coberta pela rede de monitoramento agregada, obtida pela fusão das áreas e posterior interseção com os setores censitários (**Tabela 19**).

Ozônio (O₃)

Em 2024, os estados da Região Sudeste concentraram a maior parcela da população atendida pelo monitoramento de ozônio, totalizando 25,7 milhões de habitantes (cerca de 30% da população regional) e 275 estações em operação. No Sul, a cobertura alcançou 7% da população regional, seguida pelo Centro-Oeste (4%), Nordeste (3,2%) e Norte, onde apenas Roraima forneceu dados das estações de monitoramento para esse poluente, correspondendo a 0,3% da população da região.

Monóxido de Carbono (CO)

Cerca de 20,5 milhões de brasileiros viviam, em 2024, em áreas com monitoramento de CO, dos quais 16 milhões localizados na Região Sudeste (aproximadamente 19% da população regional). A cobertura atingiu ainda 6% da população no Sul, 3,8% no Centro-Oeste, 3,6% no Nordeste e 0,3% no Norte.

Dióxido de Nitrogênio (NO₂)

Em 2024, a Região Sudeste concentrou cerca de 26% da população coberta pelo monitoramento de NO₂, respondendo por mais de 85% da população atendida no país. Em seguida, o Sul apresentou cobertura de aproximadamente 4,5%, o Centro-Oeste de 3,9%, o Nordeste de 3,3% e o Norte de 0,3%.

Dióxido de Enxofre (SO₂)

O monitoramento de SO₂, em 2024, abrangeu aproximadamente 17,3% da população da Região Sudeste, que concentrou a maior parte da cobertura nacional para esse poluente. No Sul, a população atendida correspondeu a 6,9%, enquanto no Centro-Oeste e Nordeste os valores foram semelhantes, em torno de 3,6% e 3,3%, respectivamente. No Norte, a cobertura foi reduzida, alcançando apenas 0,3% da população regional, com Roraima sendo o único estado com monitoramento ativo desse poluente.

Material Particulado Fino (MP_{2,5})

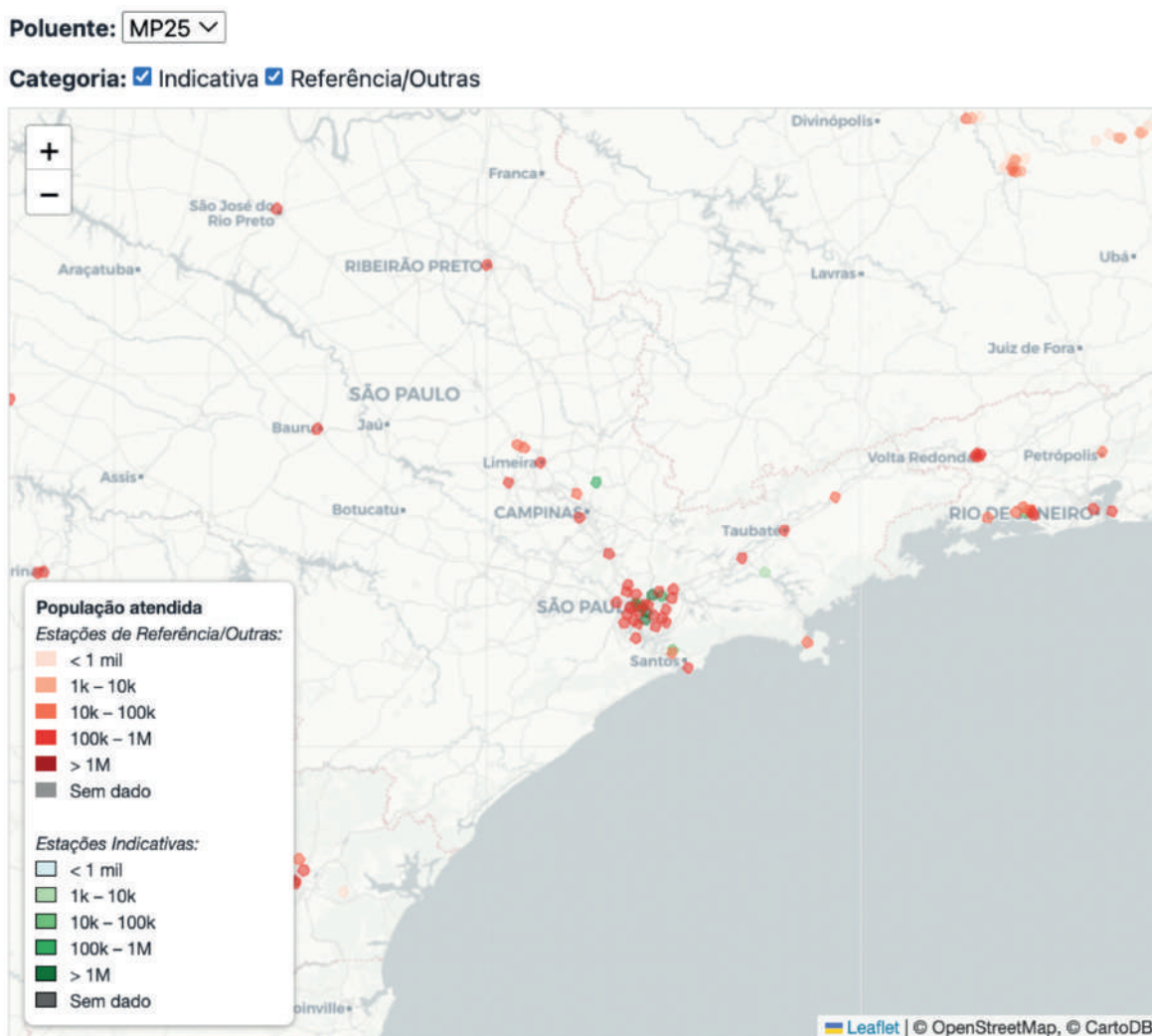
O monitoramento de MP_{2,5} apresentou a maior concentração de estações na Região Sudeste, onde cerca de 25,7 milhões de habitantes, equivalentes a 22,8% da população regional, viviam em áreas com medições desse poluente. Contudo, o maior

percentual de cobertura populacional foi observado na Região Norte, onde aproximadamente 29,7% da população estava abrangida pelo monitoramento, realizado majoritariamente por equipamentos indicativos. No Sul, a cobertura alcançou 8% da população, enquanto no Centro-Oeste correspondeu a 7,7% e no Nordeste, 3,5%.

Material Particulado Inalável (MP₁₀)

O monitoramento de MP₁₀ apresentou maior cobertura populacional na Região Sudeste, onde aproximadamente 26,8% da população vivia em áreas com estações que realizam medições desse poluente. Em seguida, a Região Sul apresentou cobertura de 7,9%, o Centro-Oeste de 6,5% e o Nordeste de 3,0%. Na Região Norte, não houve registro de monitoramento ativo de MP₁₀ nas áreas consideradas.

Figura 31 - Representação espacial e numérica da população atendida pelo monitoramento da qualidade do ar de referência (ou equivalente) e indicativo. Análise realizada utilizando dados do IBGE (2019, 2022a, 2022b).



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)






Tabela 19 - Estimativa da população atendida pelo monitoramento da qualidade do ar de referência (ou equivalente) e indicativo em cada UF. Análise realizada utilizando dados do IBGE (2019, 2022b, 2022a).

| UF | Poluente | Categoria |
|--|---|---|
| <div> <div>×</div> <div>Aa↑</div> <div>#↑</div> <div>^</div> </div> <div> <div>AC</div> <div>2</div> </div> <div> <div>AL</div> <div>7</div> </div> <div> <div>AM</div> <div>2</div> </div> <div> <div>AP</div> <div>2</div> </div> <div> <div>BA</div> <div>8</div> </div> <div> <div>CE</div> <div>10</div> </div> <div> <div>DF</div> <div>9</div> </div> | <div> <div>×</div> <div>Aa↑</div> <div>#↑</div> <div>^</div> </div> <div> <div>CO</div> <div>18</div> </div> <div> <div>MP10</div> <div>32</div> </div> <div> <div>MP25</div> <div>31</div> </div> <div> <div>NO2</div> <div>17</div> </div> <div> <div>O3</div> <div>19</div> </div> <div> <div>PTS</div> <div>13</div> </div> <div> <div>SO2</div> <div>18</div> </div> | <div> <div>×</div> <div>Aa↑</div> <div>#↑</div> <div>^</div> </div> <div> <div>Indicativa</div> <div>36</div> </div> <div> <div>Nao declarado</div> <div>19</div> </div> <div> <div>Referencia</div> <div>93</div> </div> |

Copy

CSV

Search:

| Bandeira | UF | Poluente | Categoria | População atendida | Número de estações |
|---|----|----------|------------|--------------------|--------------------|
|  | AC | MP10 | Indicativa | 344834 | 15 |
|  | AC | MP25 | Indicativa | 459639 | 28 |
|  | AL | CO | Referencia | 302885 | 2 |
|  | AL | MP10 | Referencia | 312424 | 6 |
|  | AL | MP25 | Referencia | 312424 | 6 |

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

4

Qualidade do ar no Brasil

Esta seção apresenta uma avaliação da qualidade do ar no Brasil, considerando toda a rede de monitoramento nacional e o período de dados disponíveis para cada estação. Os dados foram obtidos a partir de diferentes fontes, incluindo informações fornecidas pelos OEMAs através do formulário aplicado pelo MMA, coleta de dados na plataforma do MonitorAr, coleta de dados interna em plataformas estaduais e coleta de dados interna na plataforma PurpleAir.

A coleta de informações abrangeu todo o período de monitoramento disponível para as estações instaladas nos estados brasileiros. O intervalo temporal de cada série pode variar em função da data de instalação das estações, atualizações nos equipamentos ou interrupções operacionais pontuais.

As análises apresentadas nesta seção concentram-se nos poluentes regulamentados pela Resolução Conama nº 506/2024 (BRASIL, 2024b), permitindo uma visão consolidada da situação da qualidade do ar no país.

As subseções a seguir incluem (4.1) uma ferramenta interativa para visualização das séries temporais das concentrações de poluentes atmosféricos; (4.2) análise de tendências na qualidade do ar; (4.3) análise de sazonalidade na qualidade do ar; (4.4) avaliação da frequência de ultrapassagens dos padrões de qualidade do ar, conforme os limites estabelecidos na legislação vigente.

4.1 Séries temporais das concentrações de poluentes atmosféricos no Brasil

Neste relatório, são disponibilizadas ferramentas para a visualização e análise das séries temporais das estações de monitoramento obtidas. Os usuários podem analisar as médias diárias, mensais, horárias e semanais. Além disso, é possível recortar janelas temporais e métricas estatísticas customizadas.

4.1.1 Visualização das séries temporais de cada estação

Esta subseção apresenta uma ferramenta interativa para a visualização das séries temporais das concentrações de poluentes atmosféricos monitorados no Brasil. A interface disponibiliza uma tabela dinâmica que permite filtrar os dados por estado, estação e poluente, possibilitando uma análise detalhada dos registros disponíveis em cada localidade.

O usuário pode exportar os dados filtrados em formato .csv, facilitando o uso posterior em análises complementares, estudos regionais ou comparações com outras bases de dados.

Além da tabela, a subseção inclui um mapa interativo que permite a seleção visual das estações de monitoramento conforme sua localização geográfica. O mapa diferencia as estações de referência das estações indicativas, permitindo a seleção direta das estações de interesse para consulta das séries temporais correspondentes.



DICA

O banco de dados completo também está disponível no link <https://hoinaski.prof.ufsc.br/files/> na pasta RQAr_2025. A série bruta é disponibilizada na pasta MQAr e as médias em conformidade com a Resolução Conama 506/2024 em MQAr_averages.

A planilha com os identificadores e demais metadados de cada estação de monitoramento levantada está disponível em:

https://hoinaski.prof.ufsc.br/files/RQAr_2025/Monitoramento_QAr_BR.csv



AVISO

Ressalta-se que não foram obtidas as séries temporais de todas as estações do Brasil, apenas daquelas que o acesso aos dados está disponível.

Tabela 20 – Identificação das estações de monitoramento incluídas na base de dados desenvolvida neste relatório.

UF

PA49

PB6

PE4

PR79

RJ227

RN1

RO12

Poluente

CO

CO, MP10

CO, MP10, NOX, O3, SO2

CO, MP10, O3

CO, MP10, O3, SO2

MP10

MP10, MP25, O3

Base de dados






Não47

Sim32

Copy

CSV

Search:

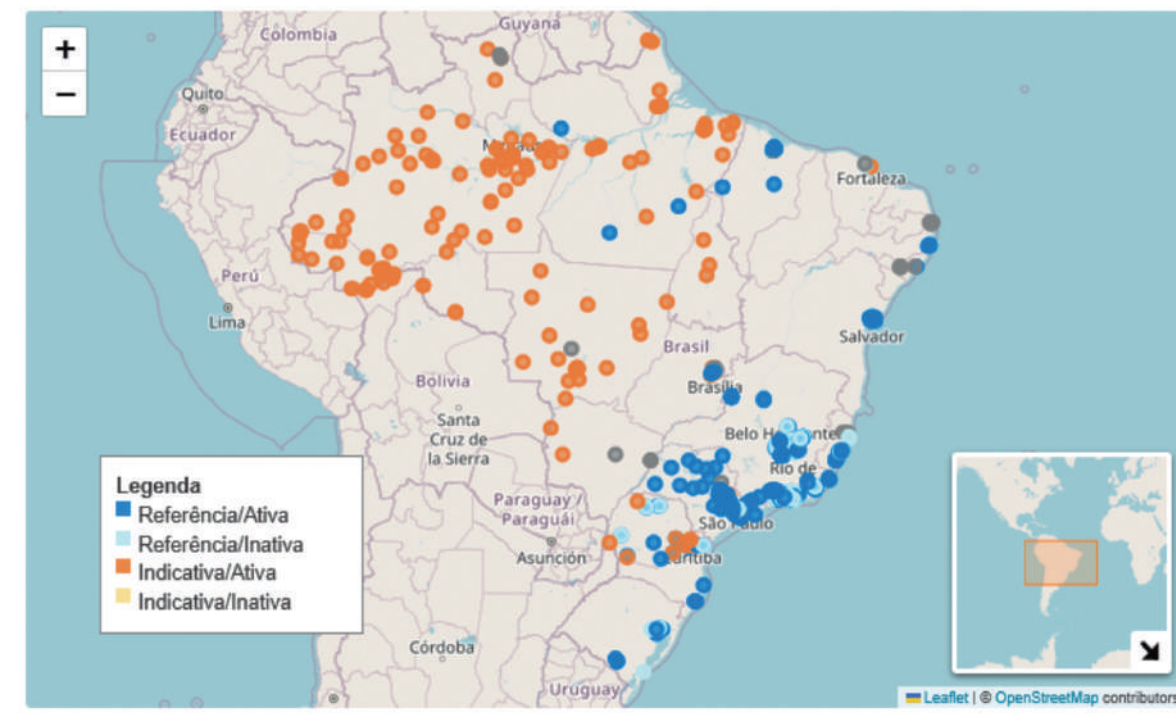
| UF | ID_OEMA | Status | Poluente | Base de dados |
|---|---------|-------------|------------------------|---------------|
|  | PR | CSN Inativa | NOX | Sim |
|  | PR | CSN Inativa | O3, SO2 | Sim |
|  | PR | DCA Inativa | CO, MP10, NOX, O3, SO2 | Não |
|  | PR | GPC Ativa | MP10, PTS | Sim |
|  | PR | GPC Ativa | MP25 | Sim |

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)



DICA

A Tabela 20 possibilita identificar as estações por UF e poluente que estão na base de dados desenvolvida neste relatório.

Figura 32 - Disposição espacial das estações de monitoramento da qualidade do ar.

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

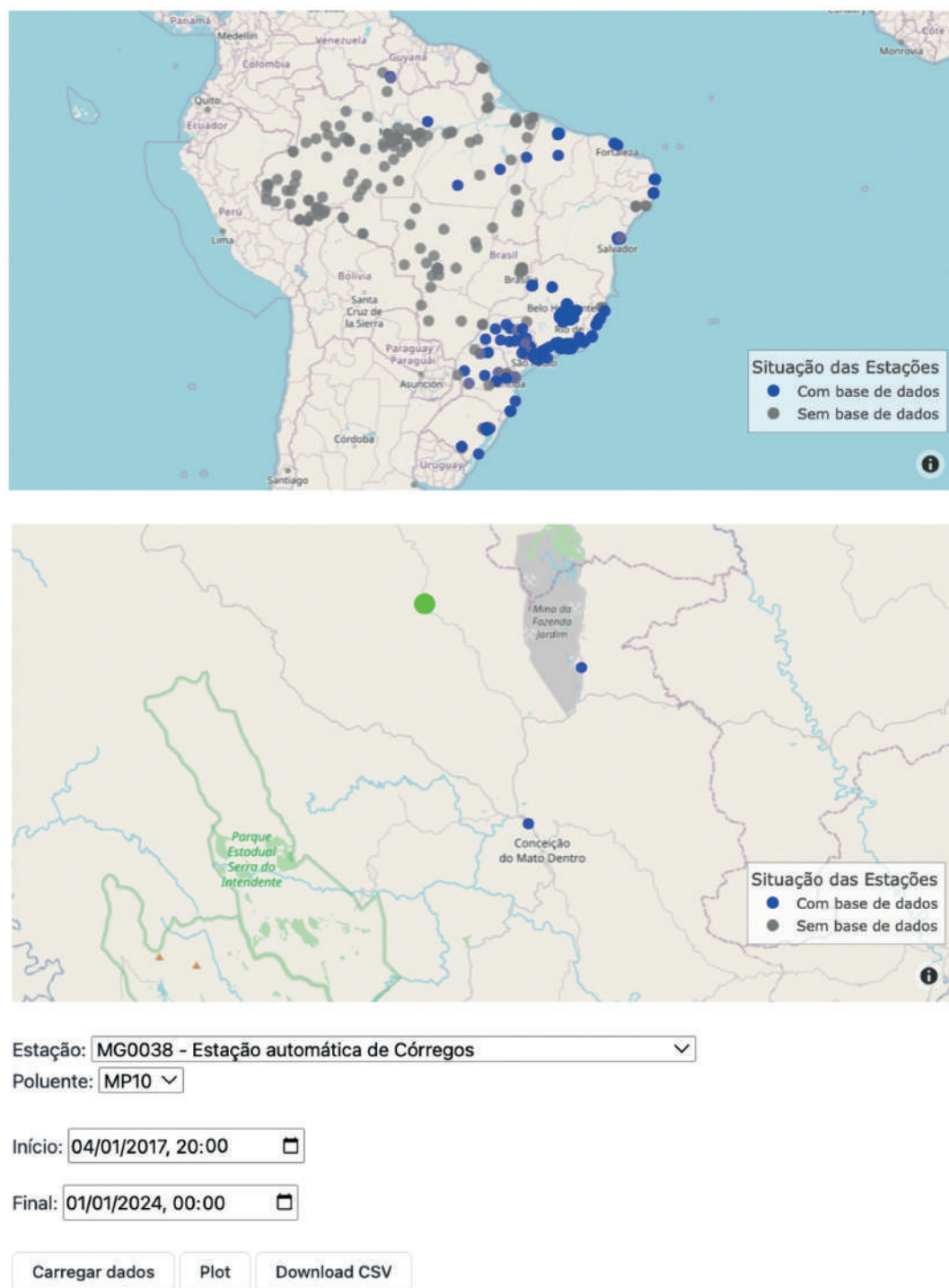
**DICA**

Na **Figura 32**, as séries temporais podem ser visualizadas para cada uma das estações a partir da seleção dentro dos pop-ups. É possível analisar a série bruta, médias diárias, mensais, em cada hora e dia da semana. As figuras auxiliam na identificação de padrões e potenciais fontes associadas ao acréscimo das concentrações.

4.1.2 Recorte e visualização customizada das séries temporais de cada estação

Esta subseção fornece um mapa interativo para a visualização das séries temporais das concentrações de poluentes atmosféricos no Brasil. Essa ferramenta possibilita a seleção da estação conforme a sua localização, bem como a seleção do poluente e do período de interesse. A ferramenta também possibilita que o usuário faça o download dos dados em arquivos .csv.

Figura 33 – Ferramenta de seleção, recorte e análise dos dados de monitoramento da qualidade do ar no Brasil.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

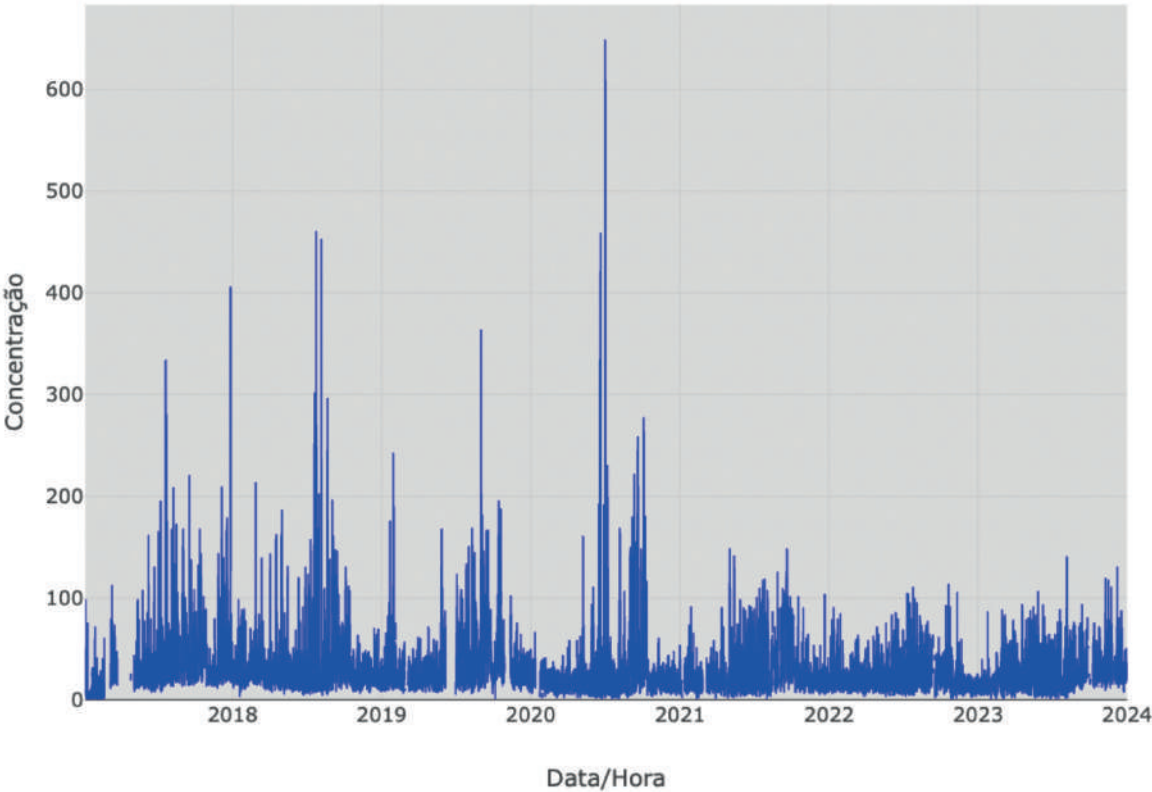


DICA

A **Figura 33** possibilita a seleção de cada estação de monitoramento, poluente e período de interesse para a visualização da série temporal e estatísticas descritivas.

Figura 33 (continuação)

Série temporal - MG0038 - MPIO



| Estatística | Valor |
|-----------------|--------|
| Média | 26.12 |
| Mínimo | 1.00 |
| Máximo | 649.00 |
| 90º Percentil | 44.00 |
| 95º Percentil | 55.00 |
| 99º Percentil | 89.00 |
| Valores válidos | 49481 |
| Valores nulos | 11772 |
| % Não nulos | 80.78% |

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

4.2 Análise de tendências na qualidade do ar no Brasil

Essa seção do relatório apresenta a avaliação de tendências para os poluentes CO, NO₂, SO₂, MP_{2,5}, MP₁₀ e O₃, considerando apenas as estações de monitoramento de referência com mínimo de três anos de dados anuais representativos. A representatividade temporal dos dados foi definida com base nos critérios do Guia Técnico de Monitoramento e Avaliação da Qualidade do Ar (BRASIL, 2020). Os anos classificados como não representativos foram tratados como anos inválidos e excluídos da análise.

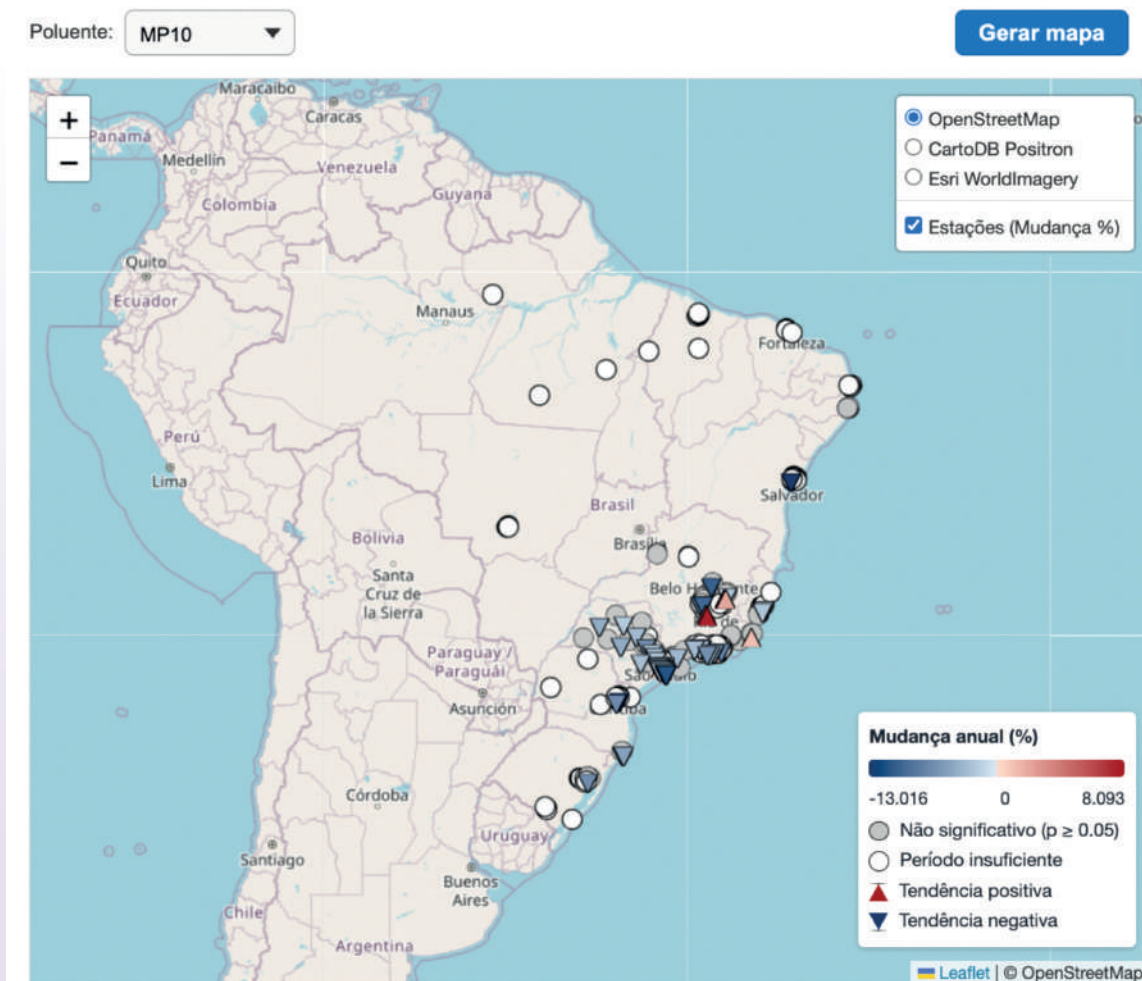
As tendências foram avaliadas a partir de duas técnicas estatísticas não paramétricas: (a) Teste de *Mann-Kendall* (Kendall, 1975; Mann, 1945), empregado para determinar a significância estatística e a direção da tendência (aumento, redução ou ausência de tendência); (b) Estimador de *Theil-Sen* (Theil, 1950), utilizado para calcular a declividade da tendência.

As análises foram realizadas com base em médias anuais representativas e resultam em indicadores de tendência individualizados para cada estação e poluente. A mudança percentual anual foi estimada a partir da declividade calculada pelo método de *Theil-Sen* em relação à mediana da série histórica de cada poluente e estação.

O mapa interativo (**Figura 34**) apresentado a seguir possibilita a visualização desses resultados em todas as estações de monitoramento da qualidade do ar no Brasil. A interface permite explorar o período de análise (ano inicial e final considerado), a ocorrência de anos inválidos, o p-valor do teste de Mann-Kendall, a declividade estimada, a mediana da série e o percentual anual de mudança para cada estação e poluente. Essa visualização espacial possibilita a identificação dos locais onde a qualidade do ar vem melhorando, se mantendo estável ou se deteriorando.

A **Tabela 21** mostra uma síntese das tendências de CO, NO₂, SO₂, MP_{2,5}, MP₁₀ e O₃. A tabela interativa possibilita filtrar a UF de interesse e visualizar as tendências nas concentrações dos poluentes registradas nas estações. Foram incluídas na **Tabela 21** apenas as estações com tendências significativas.

Figura 34 – Mapa interativo das tendências interanuais de CO, NO₂, SO₂, MP_{2,5}, MP₁₀ e O₃ no Brasil.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)



DICA

A **Figura 34** possibilita a seleção de cada poluente para a visualização das tendências. Ao clicar no pop-up de cada ponto de monitoramento, o usuário pode visualizar o nome da estação, o período de análise, o número de anos invalidados e os resultados da análise de tendências..

Tabela 21 - Tendências por UF e estação.

Filters Active - 1 Collapse All Show All Clear All

UF

MG14

PE1

PR3

RJ28

RS2

SC2

SP49

ID_OEMA

Araraquara1

Araçatuba1

Bauru1







Campinas-Centro1

Campinas-V.União1

Capão Redondo1

Carapicuíba1

Show 25 entries Copy CSV Search:

| Bandeira | UF | ID_OEMA | CO | MP10 | MP25 | NO2 | O3 | SO2 |
|---|----|------------------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----|
|  | SP | S.André-Paço Municipal | -8.617827 | -4.641310 | NaN | NaN | NaN | NaN |
|  | SP | Presidente Prudente | NaN | NaN | NaN | -1.956989 | NaN | NaN |
|  | SP | Santa Gertrudes | NaN | -6.032377 | NaN | NaN | NaN | NaN |
|  | SP | Santo Amaro | -3.313966 | -4.224132 | NaN | NaN | -1.964075 | NaN |
|  | SP | Santos | NaN | -6.696950 | NaN | NaN | NaN | NaN |
|  | SP | Santos-Ponta da Praia | NaN | -10.933102 | -3.081557 | NaN | NaN | NaN |

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Na **Figura 34**, os círculos brancos representam as estações com período insuficiente de dados anuais representativos para a análise de tendência. Os círculos cinza indicam tendências não significativas ($p \geq 0,05$), refletindo a ausência de variação estatisticamente detectável nas concentrações ao longo do período disponível para cada estação. Essa condição pode estar associada à extensão temporal muito curta ou muito longa dos dados considerados, o que reduz a sensibilidade do teste estatístico.

Os triângulos vermelhos indicam tendência positiva significativa ($p < 0,05$), ou seja, aumento das concentrações no período analisado, enquanto os triângulos invertidos azuis representam tendência negativa significativa, correspondendo à redução das concentrações do respectivo poluente. Uma síntese dos resultados para cada poluente é apresentada a seguir:

Ozônio (O₃)

Os resultados indicaram tendências de aumento de O₃ até ~11%, com maior evidência nos Estados do RJ (estações Lab. INEA, Lourenço Jorge, Porto das Caixas e Sambaetiba), MG (estações Basílica e Lobo Leite), ES (EMQAR Sul 04) e BA (estações Lamarão, Câmara e Escola). As maiores magnitudes de aumento de O₃ foram detectadas em MG.

Por outro lado, foram observadas tendências de redução de O₃ até cerca de - 3,5%, especialmente em SP e RJ, que representam os estados com maior densidade de estações de monitoramento da qualidade do ar. Também foram identificados casos isolados de redução de O₃ em MG (estações Bom Retiro e Cidade Nobre) e RS (Guaíba Parque 35).

Monóxido de Carbono (CO)

Foram detectadas tendências de aumento de CO até 17%, restritas a poucas localidades, incluindo RS (estação Canoas - P. Universitário), RJ (estação Lourenço Jorge) e PE (estação RNEST - Escola Ipojuca). A maior magnitude de aumento de CO foi detectada no RS.

Em contrapartida, tendências de redução de CO até -9,5% foram detectadas de forma mais ampla, principalmente em SP, RJ e ES, com ocorrências adicionais no PR (estação BOQ) e BA (estações Machadinho e Gravatá).

Dióxido de Nitrogênio (NO₂)

Os resultados indicaram tendências positivas de NO₂ até 22%, detectadas em SP (estações Paulínia Sul e Limeira), RJ (estação Mato Escuro - 5º Distrito), ES (RGV6 - Ibes), MG (estações Lobo Leite e Centro Administrativo Betim) e BA (estações Escola, Gravatá, Leandrino e Concórdia). A tendência positiva de NO₂ com maior magnitude foi detectada no RJ.

Foram detectadas tendências negativas de NO₂ até -12%, com predominância em SP e RJ, além de ocorrências em MG (estações Bom Retiro e Cidade Nobre).

Dióxido de Enxofre (SO₂)

Foram detectadas tendências de aumento de SO₂ até 16%, concentradas no RJ (estações Largo do Bodegão, Adalgisa Nery e Monte Serrat), MG (estação Centro Administrativo Betim) e ES (estação EMQAR Sul 06). As maiores magnitudes de aumento de SO₂ ocorreram no ES.

As tendências de redução de SO_2 alcançaram -20%, distribuídas principalmente entre SP e RJ, com reduções adicionais no PR (estação Fospár), ES (RGV6 - Ibes e RGV4 - Enseada do Suá), MG (estações Cariru, Cidade Nobre e Veneza) e BA (estações Câmara, Gravatá e Cobre).

Material Particulado Fino ($\text{MP}_{2,5}$)

Foram identificadas tendências significativas de redução de $\text{MP}_{2,5}$, variando entre -8,4% e -1,6%. As reduções ocorreram em SP (estações Santos - Ponta da Praia, São Bernardo - Centro, Grajaú - Parelheiros e Congonhas) e ES (estação RGV4 - Enseada do Suá).

Material Particulado Inalável (MP_{10})

As tendências de aumento de MP_{10} atingiram até ~8%, detectadas principalmente em MG (estações Lobo Leite, Novo Plataforma, Escola Sementinha e Senac), sendo a maior magnitude registrada na estação Escola Sementinha (8,1%).

As tendências de redução de MP_{10} alcançaram cerca de 13%, distribuídas principalmente em SP, RJ, MG e ES, com casos adicionais no RS (estações Canoas - P. Universitário), PR (estações UEG e BOQ), BA (estação Malemba) e SC (estações Vila Moema e Capivari).

4.3 Análise de sazonalidade na qualidade do ar no Brasil

Esta seção do relatório apresenta a avaliação da sazonalidade para os poluentes CO , NO_2 , SO_2 , $\text{MP}_{2,5}$, MP_{10} e O_3 . O objetivo foi identificar se existe um padrão consistente de aumento ou redução desses poluentes em determinados meses do ano. Esse tipo de análise ajuda a identificar se os poluentes tendem a se elevar em algum período específico, fornecendo informações para a gestão da qualidade do ar e para comunicação sobre o risco à população.

Para garantir representatividade nas análises, foram considerados apenas anos completos, com todos os 12 meses disponíveis para cada estação de monitoramento. Quando um determinado ano apresentava meses faltantes ou sem representatividade temporal, ele foi classificado como inválido.

As métricas utilizadas descrevem diferentes aspectos do comportamento sazonal:

- Teste de Kruskal–Wallis (Kruskal; Wallis, 1952): verifica se as diferenças entre os meses são grandes o suficiente para não serem atribuídas ao acaso. Essa análise é utilizada para responder à pergunta: *“as concentrações entre os meses realmente se comportam de forma diferente ou as oscilações são pequenas e irregulares?”*
- Amplitude: mostra a diferença entre o mês mais poluído e o menos poluído. É uma medida direta da intensidade da variação ao longo do ano.
- Força relativa da sazonalidade: indica quanto da variabilidade total das concentrações de um determinado poluente pode ser explicada pelo padrão sazonal. Valores mais altos significam que o comportamento mensal é bem definido, enquanto valores baixos sugerem que as concentrações variam por razões não sazonais.
- Índice de Markham (MSI) (Markham, 1970): mede o quanto a sazonalidade é concentrada em poucos meses. Quanto mais próximo de 1, mais a série é dominada por pequenos períodos do ano; quanto mais próximo de 0, mais a variação é distribuída ao longo dos 12 meses.
- Meses de pico e de vale: identificam em que mês ocorre a maior e a menor média mensal, fornecendo uma leitura intuitiva de quando o poluente tende a ser mais crítico e quando se encontra em níveis mais baixos.

No mapa interativo a seguir, cada estação mostra no pop-up o período analisado, número de anos válidos, anos inválidos, p-valor da análise de Kruskal-Wallis, amplitude, força relativa, MSI e meses de máximo e mínimo. Três camadas estão disponíveis (Força relativa, MSI e Amplitude) para a visualização no mapa interativo, sendo possível localizar espacialmente áreas com sazonalidade mais intensa, mais concentrada ou de maior magnitude absoluta.

Figura 35 - Mapa interativo da sazonalidade de CO, NO₂, SO₂, MP_{2,5}, MP₁₀ e O₃ no Brasil.

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)



DICA

A **Figura 35** possibilita a seleção de cada poluente para a visualização das métricas de sazonalidade. Ao clicar no pop-up de cada ponto de monitoramento, o usuário pode visualizar o nome da estação, o período de análise, o número de anos invalidados e os resultados de cada métrica.

Na **Figura 35**, os pontos em cinza representam as estações com período insuficiente de dados para a análise, considerando-se válidas apenas aquelas com 12 meses de dados representativos em pelo menos um ano completo. Uma síntese dos resultados para cada poluente é apresentada a seguir:

Ozônio (O₃)

- **Força relativa:** padrões de alta força relativa foram observados principalmente nos Estados do PR, SP, RJ e MG, com ocorrências adicionais na BA, PE, CE e AM.

4. Qualidade do ar no Brasil

- **MSI:** valores geralmente baixos, variando entre 0,1 e 0,2, indicando sazonalidade moderada. O maior valor foi detectado no PR (estação JDA), com MSI máximo de 0,382.
- **Amplitude:** entre 10 e 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na maioria das estações, com amplitudes superiores a 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no Sudeste, especialmente no RJ (estação Cidade Alegria) e MG (estação Lobo Leite), onde atingiram valores acima de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Monóxido de Carbono (CO)

- **Força relativa:** elevada em praticamente todos os estados com monitoramento, com destaque para o RS (estações Esteio - Parque de Exposição e Vila Ezequiel), PR (estações SIX e BOQ), SP (estações Cid. Universitária - USP - Ipen e São José dos Campos), RJ (estações Lab. INEA, Lourenço Jorge, RJ - Centro e São Bernardo), MG (estação Cidade Industrial), ES (estação RGV8 - Vila Capixaba), BA (estações Botelho e Malemba), PE (estações RNEST - CPRH e EDCUPE) e CE (estação CIPP).
- **MSI:** predominantemente baixo (geralmente < 0,1), com máximos de 0,207 observados no PR (estação CIC) e RJ (estação Manguinhos).
- **Amplitude:** entre 0,1 e 0,5 ppm na maioria das estações, com valores acima de 1 ppm no RJ (estação Manguinhos) e ES (estação Norte 02 - Cacimbas).

Dióxido de Nitrogênio (NO₂)

- **Força relativa:** elevada em quase todas as estações de SP, com outras ocorrências relevantes no RS (estações Vila Ezequiel, Canoas P. Universitário e Triunfo - Polo Móvel), RJ (estações VR - Nossa Sra. das Graças, Piranema e Lourenço Jorge), MG (estações Cidade Administrativa, Cidade Industrial e Cecília Meireles), ES (estações RGV8 - Vila Capixaba, RGV9 - Cidade Continental, Norte 01 e Norte 02 - Cacimbas), BA (estação Gamboa), PE (estação Escola Ipojuca) e CE (estação CIPP).
- **MSI:** relativamente baixo (máximo de 0,190), com alta variabilidade espacial. Os maiores valores concentram-se em SP (estações São José do Rio Preto, Bauru, Catanduva e Campinas - Taquaral).
- **Amplitude:** entre 2 e 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na maior parte das estações, com valores superiores a 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ principalmente em SP, chegando a >30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no RJ (estação Lourenço Jorge) e SP (estação Centro).

Dióxido de Enxofre (SO₂)

- **Força relativa:** elevada em diversas regiões, com destaque para BA e MG, além de ocorrências pontuais no RS (estação Triunfo - Polo Móvel), PR (estações CSN e JDA), SP (estações Sorocaba, Ibirapuera e Santo André - Capuava), RJ (esta-

4. Qualidade do ar no Brasil

ções VR - Nossa Sra. das Graças e Taquara), ES (estações RGV9 - Cidade Continental e RGV8 - Vila Capixaba) e AM (estação FEMARH).

- **MSI:** geralmente baixo, com valores acima de 0,2 em MG (estações Centro Administrativo Betim, Petrovale, Cidade Nobre e Cariru), SP (estação Sorocaba), ES (estação RGV9 - Cidade Continental), BA (estações Gamboa, Areias II, Malemba e Concórdia) e PE (estação RNEST - Escola Ipojuca).
- **Amplitude:** entre 1 e 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na maioria das estações, com picos superiores a 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no RS (estação Esteio - Parque de Exposição), RJ (RJ - Centro) e SC (estações Vila Moema e Capivari). A maior amplitude foi registrada no PR (estação CSN) e MA (estação Anjo da Guarda), ultrapassando 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Material Particulado Fino ($\text{MP}_{2,5}$)

- **Força relativa:** alta entre SP e MG, com ocorrências adicionais no PR (estação LDA), RJ (estações Adalgisa Nery, Euclidelândia e Manguinhos), ES (estações Carapina e RGV1 - Laranjeiras), BA (estações Machadinho e Leandrino) e MA (estações Anjo da Guarda, Maranhão e Santa Bárbara).
- **MSI:** entre 0,1 e 0,2 na maioria das estações, com valores acima de 0,2 no PR (estação LDA), SP (estações Carapicuíba e Itaim Paulista), MG (estações Petrovale e Centro) e MA (estação Anjo da Guarda). Os maiores valores foram observados em SC (estação Vila Moema) e MG (estações PUC Barreiro e Centro - Av. do Contorno).
- **Amplitude:** entre 5 e 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na maior parte dos pontos, com picos acima de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ em MG (estações Petrovale, PUC Barreiro e Centro - Av. do Contorno). A maior amplitude foi observada em SC (estação Vila Moema), atingindo cerca de 168 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Material Particulado Inalável (MP_{10})

- **Força relativa:** elevada com maior evidência em SP, e ocorrências adicionais no RS, PR, RJ, MG, ES, BA e MA.
- **MSI:** entre 0,05 e 0,2 na maioria das estações, com valores acima de 0,2 no PR (estação CIC), SP (estações Ribeirão Preto e Catanduva), MG (estações Célvia, Centro Administrativo Betim e Comunidade do Feijão) e MA (estação Anjo da Guarda). Os maiores valores foram observados no PR (estação LON) e SC (estação Capivari).
- **Amplitude:** entre 5 e 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na maioria das estações, com picos acima de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ em MG (estações Petrovale, PUC Barreiro e Centro - Av. do Contorno).

Síntese geral

As maiores amplitudes anuais, ou seja, as maiores diferenças entre o mês mais poluído e o menos poluído, foram observadas para $MP_{2,5}$ e MP_{10} , sobretudo em MG e SC. Isso evidencia que o material particulado apresenta forte variação sazonal nessas regiões, com períodos do ano em que as concentrações se elevam de maneira significativa. Em termos práticos, isso reforça a importância de estratégias específicas para o controle de material particulado, especialmente em meses críticos, e mostra que a população pode estar mais exposta a riscos à saúde em determinadas épocas do ano e deve ser alertada sobre medidas preventivas.

4.4 Ultrapassagens dos padrões de qualidade do ar no Brasil

Esta subseção apresenta a avaliação das ultrapassagens dos padrões de qualidade do ar no Brasil, conduzida com base nos limites estabelecidos pela Resolução Conama nº 506/2024 (BRASIL, 2024b). A análise considerou os períodos de referência definidos na referida resolução, contemplando os níveis de exposição de curto e longo prazo para cada poluente regulamentado.

Os cálculos de ultrapassagens foram realizados a partir dos valores diários e anuais das concentrações observadas pelas estações de referências e equivalentes, previamente submetidos a uma avaliação de representatividade temporal conforme os critérios estabelecidos no Guia Técnico de Monitoramento e Avaliação da Qualidade do Ar (BRASIL, 2020). Esse procedimento assegura que apenas dados com completude mínima e representatividade adequada sejam considerados na avaliação da conformidade com os padrões de qualidade do ar.

4.4.1 Ultrapassagens dos padrões de qualidade do ar no Brasil

Uma síntese geral dos resultados é apresentada a seguir:

Ozônio (O_3)

Foram registradas ultrapassagens do PI-2 de O_3 em praticamente todos os estados que monitoraram esse poluente durante 2024, com exceção da BA, PA e RR. A Região Sudeste concentrou os maiores percentuais de ultrapassagens, com destaque para estações localizadas em SP, MG e RJ, onde até cerca de 35% dos dias com dados válidos registraram valores acima do limite. Quando comparado ao PF, o cenário é ainda mais preocupante, onde mais de 50% dos dias com dados válidos excederam o PF no Sudeste.

Monóxido de Carbono (CO)

Em geral, foram registradas poucas ultrapassagens do PF de CO ao longo de 2024. A maioria dos estados registrou conformidade com o padrão, com exceções pontuais observadas no PR, MG e RJ. O maior número de ultrapassagens de CO foi registrado no MA (estação Santa Bárbara, com representatividade espacial em escala de bairro), alcançando cerca de 18% dos dias com dados válidos.

Dióxido de Nitrogênio (NO₂)

As ultrapassagens do PI-2 para NO₂ foram pouco frequentes na maior parte do território nacional durante 2024, com exceção de alguns pontos de monitoramento no Estado do MA. Um padrão similar foi observado em relação ao PF.

Dióxido de Enxofre (SO₂)

As ultrapassagens do PI-2 de SO₂ foram mais evidentes nos Estados de SC, RJ, ES e MA. Em 2024, alguns pontos chegaram a quase 50% dos dias com dados válidos acima do PI-2 e ultrapassaram 50% em estações específicas do RJ (Campos Elíseos) e MA (Coqueiro). O comportamento em relação ao PF foi similar, com percentuais ainda mais elevados.

Material Particulado Fino (MP_{2,5})

As ultrapassagens do PI-2 de MP_{2,5} ocorreram em praticamente todos os estados com monitoramento ativo durante 2024, com ênfase no Sudeste, especialmente em alguns pontos em SP, MG e RJ, onde mais de 35% dos dias com dados válidos ultrapassaram o limite. Em relação ao PF, a situação é ainda mais grave, onde alguns pontos no Sudeste excederam o limite em mais 95% dos dias com dados válidos.

Material Particulado Inalável (MP₁₀)

Foram detectadas ultrapassagens frequentes do PI-2 de MP₁₀ em praticamente todos os estados com monitoramento. As maiores frequências foram observadas no Sudeste, com ênfase em MG, onde alguns pontos registraram ultrapassagens em mais de 80% dos dias com dados válidos. Considerando o PF, as ultrapassagens atingiram mais de 60% dos dias com dados válidos em praticamente todos os estados.

Síntese Geral

De forma geral, os resultados indicam que as concentrações de diversos poluentes atmosféricos frequentemente ultrapassam os limites dos padrões intermediários



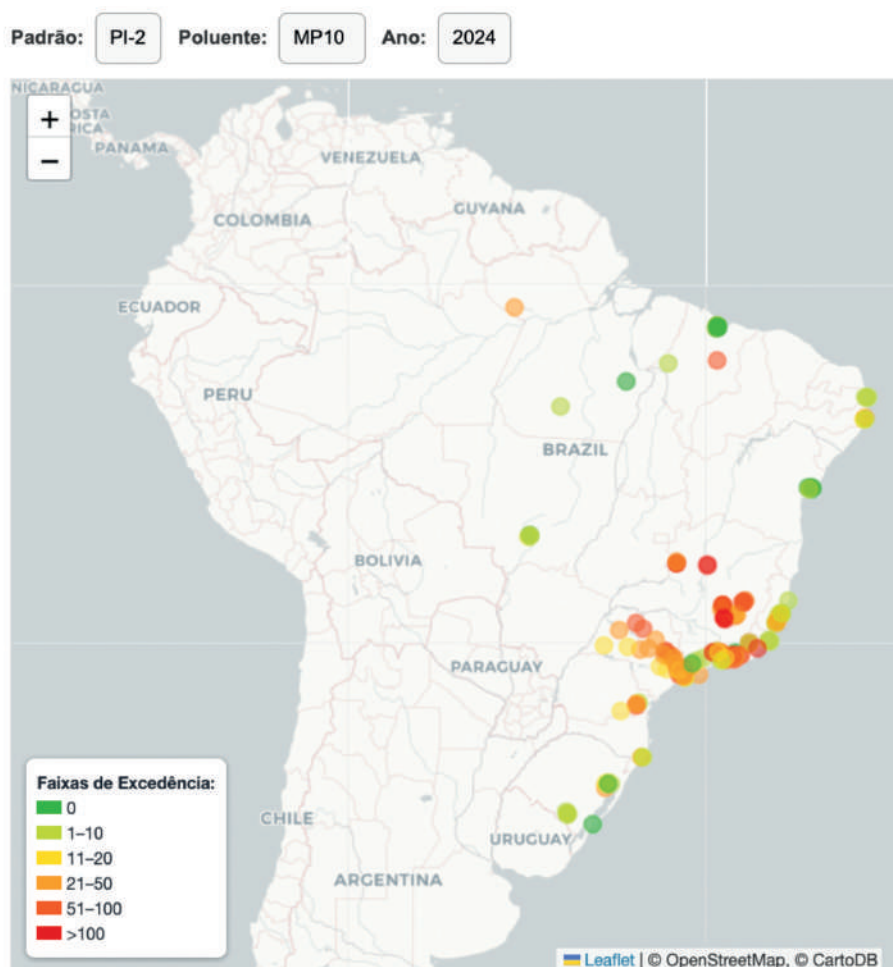
DICA

A **Figura 36** possibilita a seleção de cada poluente e período de interesse para a visualização da frequência de ultrapassagens dos padrões de qualidade do ar estabelecidos na Resolução Conama 506/2024 (BRASIL, 2024). Ao clicar no popup de cada ponto de monitoramento, o usuário pode visualizar o nome da estação e a frequência de excedências dos padrões. Para essa visualização, foram consideradas apenas estações de referência.

(PI-2) e, de forma ainda mais expressiva, os padrões finais (PF) estabelecidos na Resolução Conama 506/2024. Os resultados evidenciam que, mesmo nas regiões mais monitoradas, como o Sudeste, a qualidade do ar permanece aquém das metas estabelecidas na Resolução vigente.

Esses resultados reforçam a necessidade de implementação e fortalecimento de planos estaduais de gestão da qualidade do ar, com estratégias integradas de controle de emissões, desenvolvimento de inventários de emissões e expansão das redes de monitoramento.

Figura 36 - Faixas de ultrapassagens dos padrões de qualidade do ar, de acordo com a Conama 506/2024.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

4.4.2 Ferramenta de visualização de ultrapassagens dos padrões de qualidade do ar no Brasil

Esta subseção apresenta uma ferramenta interativa (**Figura 37**) para a visualização da frequência de ultrapassagens dos padrões de qualidade do ar, considerando os períodos de referência de exposição de curto e longo prazo definidos pela Resolução Conama nº 506/2024.

O mapa interativo permite ao usuário selecionar as estações de monitoramento conforme sua localização geográfica, bem como filtrar as informações por poluente e período de interesse. Dessa forma, é possível identificar espacialmente as áreas e estações com maior ocorrência de ultrapassagens aos padrões estabelecidos.

Essa funcionalidade complementa a subseção anterior (4.4.1), oferecendo uma interface visual e interativa para a exploração dos resultados da avaliação de conformidade da qualidade do ar no Brasil.

Utilizando o menu abaixo, é possível visualizar os dados de cada estação de monitoramento da qualidade do ar no Brasil nos respectivos tempos de média para cada poluente listado na Conama 506/2024 (BRASIL, 2024b). São disponibilizados os registros das estações no banco de dados montado neste relatório. O sistema monta uma tabela com as estatísticas de ultrapassagens dos padrões de qualidade do ar, conforme a resolução.



DICA

A ferramenta também disponibiliza a opção de download dos dados filtrados em formato .csv, permitindo o uso dos resultados em análises complementares, relatórios técnicos ou estudos regionais.



DICA

O usuário pode escolher a janela temporal para atualizar a figura e tabela de ultrapassagens.

2. Definições, padrões e parâmetros da qualidade do ar no Brasil

Figura 37 - Ferramenta de visualização de ultrapassagens dos padrões de qualidade do ar no Brasil

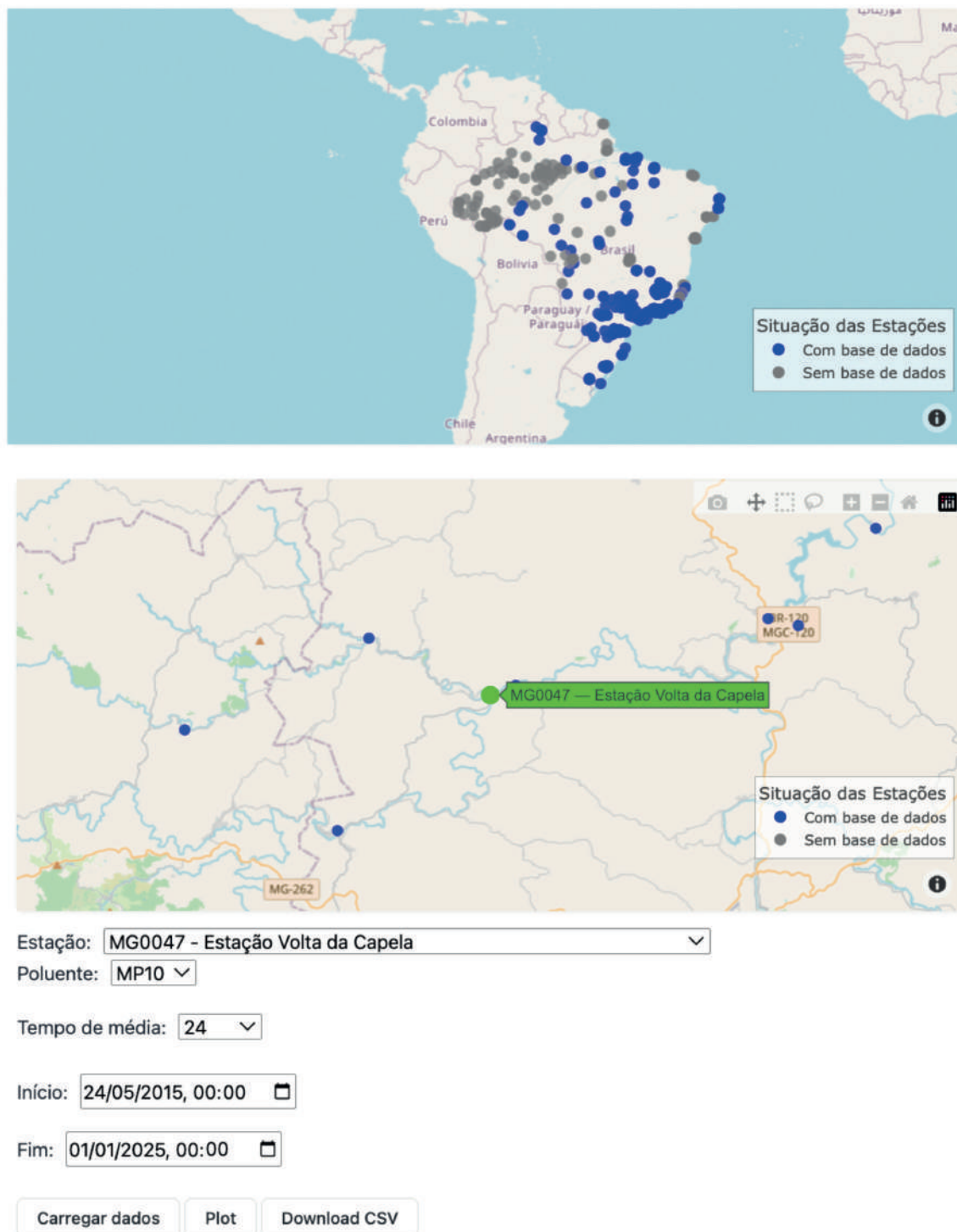
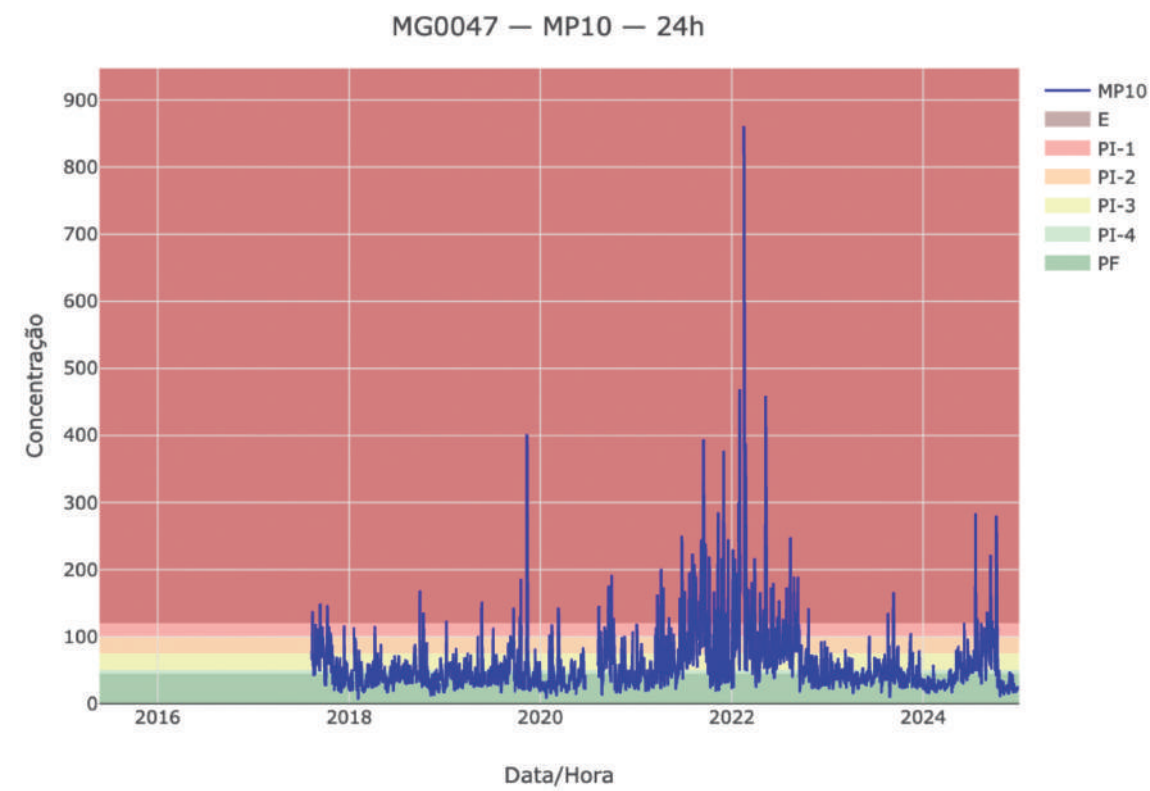


Figura 37 (continuação)



| Padrão/Fase | Limite (µ/m³) | Excedências | % Excedência |
|-------------|---------------|-------------|--------------|
| PI-1 | 120 | 151 | 5.9% |
| PI-2 | 100 | 269 | 10.5% |
| PI-3 | 75 | 504 | 19.6% |
| PI-4 | 50 | 1047 | 40.8% |
| PF | 45 | 1248 | 48.6% |

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)



AVISO

Não obtivemos o registro histórico de todas as estações de monitoramento instaladas no Brasil.



Perspectivas de ampliação da Rede de Monitoramento da Qualidade de Ar no Brasil

Os OEMAs também foram questionados sobre suas perspectivas de curto prazo para a ampliação da rede de monitoramento em suas respectivas UFs. Existem projetos em andamento para a ampliação da rede de monitoramento de referência ou equivalente em pelo menos 17 UFs.

Na Região Sudeste, o OEMA de São Paulo declarou que pretende incluir a sistemas de medição para o poluente MP_{2,5} nas estações Cerqueira César, Itaquera, Santo Amaro, Bauru, Cubatão Centro e Presidente Prudente. O OEMA do Espírito Santo declarou que pretende realocar e reativar duas estações que estão atualmente desativadas.

Na Região Centro-Oeste, todas as UFs possuem perspectiva de curto prazo para a ampliação da rede de monitoramento da qualidade do ar. Os OEMAs do Distrito Federal e Mato Grosso declararam que pretendem iniciar o monitoramento com estações de baixo custo, enquanto em Goiás, existe perspectiva de ampliação da rede estadual de referência. No Mato Grosso do Sul, há proposta para a instalação de equipamentos de baixo custo, além da previsão de implantação de uma estação de referência na região do Pantanal, no município de Corumbá.

Na Região Sul, todas as UFs também possuem perspectiva de ampliação da rede estadual. O OEMA do Paraná declarou que será priorizada a inclusão de equipamentos de monitoramento de MP_{2,5} em todas as estações operadas pelo órgão ambiental. O OEMA do Rio Grande do Sul declarou que serão instaladas 9 novas estações, sendo 8 demandadas em processos de licenciamento ambiental. Além disso, a prefeitura de Porto Alegre também instalou 5 estações indicativas e 1 estação de referência com operação por empresa contratada. O OEMA de Santa Catarina também declarou que pretende instalar 1 estação em Otacílio Costa e 1 em Joinville.

até o final do ano de 2025. Em 2026, há expectativa de instalação de 6 estações nos municípios de Blumenau, Criciúma, Chapecó, Itajaí, Joinville e Jaraguá do Sul.

Na Região Nordeste, os OEMAs do Maranhão, Paraíba, Pernambuco e Sergipe possuem perspectiva de curto prazo para ampliação da rede. Os OEMAs do Maranhão e Sergipe declararam que pretendem iniciar o monitoramento com estações de baixo custo, enquanto na Paraíba e Pernambuco, existe perspectiva de expandir o monitoramento com estações de referência. Segundo o OEMA da Paraíba, a perspectiva é de instalação de quatro estações de monitoramento de MP até o final do ano de 2025, distribuídas nas cidades de João Pessoa, Campina Grande, Patos e Sousa. O mesmo OEMA também afirma que 4 estações indicativas serão realocadas junto aos monitores certificados para servir de comparativo entre o monitoramento indicativo e o monitoramento certificado dos parâmetros MP10 e MP2,5. Os demais monitores indicativos da Paraíba serão realocados periodicamente em diversos municípios menores, como estratégia de monitoramento exploratório.

Na região Norte, os OEMAs do Amapá, Amazonas e Pará declararam que possuem perspectivas de curto prazo para a ampliação do monitoramento por meio de estações de baixo custo. O Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima informou ter assinado um termo de execução descentralizada com a Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), para implementar 5 estações de monitoramento de MP2,5 na região amazônica, ao longo de 2026, nos municípios de Manaus, Belém, Santarém, Porto Velho e Rio Branco.

Além disso, a tendência de incorporar estações indicativas, embora contribua para a ampliação da cobertura e obtenção de dados em tempo real, deve ser complementada pela manutenção e expansão das estações de referência ou equivalentes, conforme recomendado pelo Guia Técnico de Monitoramento e Avaliação de Qualidade do Ar. Essa abordagem integrada garante uma avaliação mais robusta e precisa da qualidade do ar, atendendo aos padrões regulatórios técnicos e às necessidades de gestão ambiental.

6

Comunicação e Divulgação dos Dados nos Estados Brasileiros



NOTA

As ferramentas utilizadas pelos estados para comunicação e divulgação incluem os relatórios anuais de acompanhamento da qualidade do ar, a disponibilização de boletins diários e mensais, séries históricas com dados de monitoramento e plataformas informativas que apresentam a classificação da qualidade do ar. No entanto, observa-se que nem todos os estados adotam integralmente essas ferramentas, havendo variações quanto ao nível de divulgação e à periodicidade das informações disponibilizadas.

Desde a publicação da Resolução Conama nº 491 de 2018, atualizada pela Resolução Conama nº 506/2024, 11 UFs no Brasil elaboraram e publicaram alguma versão do Relatório de Avaliação da Qualidade do Ar. Essas unidades incluem Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso do Sul, Ceará, Acre, Espírito Santo, São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Paraná e Rio Grande do Sul, totalizando 40,7% do país.

Na Região Sudeste, todos os OEMAs elaboram relatórios de avaliação da qualidade do ar, com períodos de publicação e cobertura anual que variam entre os estados. O OEMA do Espírito Santo possui relatórios publicados desde 2002, além de uma plataforma visual com o IQAr diário e as séries históricas de dados disponíveis para download. O OEMA de São Paulo divulga relatórios de avaliação da qualidade do ar desde 1985, bem como séries históricas de dados, uma plataforma com informações em tempo real, dados das configurações das estações de monitoramento e boletins diários da qualidade do ar e meteorológicos. O OEMA de Minas Gerais disponibiliza relatórios referentes ao período de 1995 a 2020 e séries históricas de dados para download. O OEMA do Rio de Janeiro publicou um relatório de avaliação referente ao

período de 2019 a 2022 e mantém uma plataforma que disponibiliza séries históricas de dados para download, além de exibir o IQAr em tempo real.

Na Região Sul, os OEMAs do Paraná e Rio Grande do Sul elaboram relatórios de avaliação da qualidade do ar. O Paraná possui relatórios anuais da qualidade do ar no estado entre 2020 e 2024, além de relatórios anuais para Curitiba e a Região Metropolitana de 2001 a 2018. No Rio Grande do Sul, os relatórios de acompanhamento são elaborados desde 2002 até o presente momento. Em Santa Catarina, embora os relatórios anuais de avaliação da qualidade do ar ainda não sejam elaborados, o OEMA mantém uma plataforma que disponibiliza a situação diária do IQAr.

Na região Centro-Oeste, os OEMAs de Goiás e Mato Grosso ainda não elaboram relatórios anuais de avaliação da qualidade do ar, mas utilizam outras ferramentas, como boletins mensais e plataformas que disponibilizam dados diários do IQAr nas estações do estado. O OEMA do Mato Grosso do Sul já disponibiliza relatórios anuais e boletins mensais e diários da qualidade do ar. O OEMA do Distrito Federal também disponibiliza relatórios anuais desde 2005 até o presente momento, relatórios mensais, séries históricas de dados para download e informações sobre as características das estações de monitoramento.

Na Região Nordeste, apenas a Prefeitura de Fortaleza apresenta relatórios mensais de avaliação da qualidade do ar, referentes ao monitoramento conduzido pela estação localizada em Fortaleza. Os OEMAs do Maranhão e Pernambuco mantêm plataformas de divulgação da qualidade do ar, enquanto o OEMA da Bahia disponibiliza os dados da série histórica para download.

Na Região Norte, apenas o OEMA do Acre divulga dados da qualidade do ar, por meio de informativos semanais e relatórios mensais.

7

Considerações Finais

Este relatório apresenta uma compilação detalhada e abrangente de análises sobre a rede brasileira de monitoramento da qualidade do ar. O documento examina sua distribuição espacial, representatividade espaço-temporal e abrangência populacional, reunindo informações estratégicas para subsidiar o planejamento, a gestão e o aprimoramento das políticas públicas voltadas ao controle da poluição atmosférica e à promoção da saúde e bem-estar da população.

Além das análises apresentadas, o relatório traz a análise sobre a qualidade do ar e disponibiliza um banco de dados nacional padronizado e ferramentas de análise desenvolvidas especificamente para este fim, que permitem a avaliação de tendências temporais das concentrações de poluentes atmosféricos, a identificação de ultrapassagens aos padrões de qualidade do ar e a produção de indicadores de suporte à tomada de decisão.

Os resultados demonstram avanços na manutenção da rede de monitoramento e ampliação significativa no número de estações indicativas, além da redução das concentrações de determinados poluentes em algumas regiões do país. Entretanto, o controle dos impactos da poluição atmosférica permanece um desafio presente e futuro, especialmente considerando as dimensões continentais do território brasileiro, suas disparidades regionais e as vulnerabilidades socioambientais que caracterizam o país.

Por fim, este relatório representa um avanço significativo na gestão da qualidade do ar em nível nacional, ao consolidar informações, padronizar metodologias e oferecer ferramentas de apoio que fortalecem as capacidades institucionais dos estados e municípios. Trata-se de um instrumento estratégico de governança ambiental, que contribui para o fortalecimento da política nacional de qualidade do ar, para a integração entre as esferas de governo e para o cumprimento dos compromissos nacionais e internacionais assumidos pelo Brasil no âmbito da sustentabilidade e da proteção ambiental.

Como citar

Referência completa do Relatório Anual – Formato ABNT:

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Relatório Anual de Acompanhamento da Qualidade do Ar: 2025. Brasília, DF: MMA, 2026. ISBN 978-85-7738-544-7

Citação completa do Relatório Anual – Formato ABNT:

(BRASIL, 2026)

Referência completa do Repositório de Códigos - Formato ABNT:

MMA. Códigos do relatório anual de acompanhamento da qualidade do ar no Brasil – Ano base 2025. Versão 1.0.0. Zenodo, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17883761>.

Citação completa do Repositório de Códigos - Formato ABNT:

(MMA, 2025)

Referências

BRASIL. **Resolução Conama no 491, de 19 de novembro de 2018**. https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=766. Brasília, DF, 21 nov. 2018.

BRASIL. **Guia Técnico para o Monitoramento e Avaliação da Qualidade do Ar**. <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/qualidade-ambiental-e-meio-ambiente-urbano/qualidade-do-ar/guia-tecnico-para-o-monitoramento-e-avaliacao-da-qualidade-do-ar.pdf>. Brasília, 2020.

BRASIL. **Lei nº 14.850, de 02 de maio de 2024**. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/L14850.htm. Brasília, DF, 3 maio 2024a.

BRASIL. **Resolução Conama nº 506, de 05 de julho de 2024**. https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=827. 9 jul. 2024b.

CALDERÓN, Mario Gavidia; KAMIGAUTI, Leonardo. **qualR.py**. <https://github.com/quishqa/qualR.py>, 2024.

CETESB. **Ficha de Informação Toxicológica: Dióxido de Enxofre**. <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2020/07/Dio%CC%81xido-de-enxofre.pdf?video%20977%20pcie%20card%20slot.shtm>. 2024a.

CETESB. **Poluentes atmosféricos**. <https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>, 2024b.

EPA. **AQS Data Coding Manual**. https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-09/documents/aqs_data_coding_manual_0.pdf, 2 jun. 2015.

IBGE. **Bases de dados e tabelas: Áreas Urbanizadas 2019 – Brasil (shapefile)**. <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/redes-geograficas/15789-a-reas-urbanizadas.html?=&t=acesso-ao-produto>, 2019.

IBGE. **Censo Demográfico 2022**. <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-demografico/demografico-2022/inicial>, 2022a.

IBGE. **Malhas territoriais**. <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>, 2022b.

IEMA. **Plataforma da Qualidade do Ar - Instituto de Energia e Meio Ambiente**. <https://energiaeambiente.org.br/qualidadedoar/>, 2025.

KENDALL, MG. Rank Correlation Methods. **Charles Griffin**, v. 4 edn, 1975.

KRUSKAL, William H.; WALLIS, W. Allen. Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis. **Journal of the American Statistical Association**, v. 47, n. 260, p. 583–621, 1952.

MANN, Henry B. Nonparametric Tests Against Trend. **Econometrica**, v. 13, n. 3, p. 245, jul. 1945.

MAPBIOMAS. **Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil, Coleção 7**. <https://mapbiomas.org>, 2024.

MARKHAM, Charles G. Seasonality of Precipitation in the United States. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 60, n. 3, p. 593–597, 1970.

OMS. **Air Pollution**. https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1, 2024a.

OMS. **Air quality, energy and health**. <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-and-health/health-impacts/types-of-pollutants>, 2024b.

SOGA. **State of Global Air Report 2025**. <https://www.stateofglobalair.org/resources/report/state-global-air-report-2025>, 2025.

THEIL, H. A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis, Part III. **Proc. R. Netherlands Acad. Sci**, v. 12, n. 173, 1950.



MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE E
MUDANÇA DO CLIMA

GOVERNO DO
BRASIL
DO LADO DO POVO BRASILEIRO