



Monitoramento de material particulado e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos como indicadores da qualidade do ar em área verde urbana na região metropolitana de Porto Alegre, Brasil

Monitoring of particulate matter and polycyclic aromatic hydrocarbons as indicators of air quality in an urban green area in the metropolitan region of Porto Alegre, Brazil

 Cleisson Guimarães Bueno¹,  Daiane Bolzan Berlese¹,  Daniela Müller de Quevedo¹

RESUMO

A poluição atmosférica urbana, especialmente por material particulado (MP2,5 e MP10) e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), representa um grave problema ambiental e de saúde pública, exigindo monitoramento contínuo. Este estudo avaliou a influência de uma área verde urbana sobre a qualidade do ar em Novo Hamburgo/RS, comparando o Parque Municipal Henrique Luís Roessler (Parcão) e uma via de tráfego intenso (Rua Barão de Santo Ângelo com Rua Sapiranga). Foram realizadas 17 campanhas simultâneas, totalizando 68 amostras de MP2,5 e MP10. As médias no Parcão foram de 5,58 µg/m³ e 9,26 µg/m³, enquanto na via de tráfego atingiram 14,97 µg/m³ e 25,76 µg/m³, respectivamente, demonstrando diferença significativa. Compostos como benzo[a]pireno, criseno e benzo[b]fluoranteno foram detectados até 0,910 ng/m³ na área de tráfego, enquanto no Parcão os valores ficaram abaixo do limite de quantificação. Os resultados evidenciam que a vegetação urbana contribui de forma expressiva para a redução de poluentes atmosféricos, funcionando como barreira física e bioquímica. Assim, reforça-se a importância das áreas verdes na mitigação da poluição e na promoção da saúde pública, além da necessidade de políticas públicas voltadas à conservação e expansão desses espaços e ao monitoramento sistemático da qualidade do ar em ambientes urbanos.

Palavras-chave: Monitoramento ambiental; Poluição atmosférica; Qualidade do ar; Saúde ambiental; Vegetação urbana.

ABSTRACT

Urban air pollution, particularly from particulate matter (PM2.5 and PM10) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), represents a major environmental and public health issue that requires continuous monitoring. This study evaluated the influence of an urban green area on air quality in Novo Hamburgo, southern Brazil, by comparing two contrasting sites: the Henrique Luís Roessler Municipal Park ("Parcão") and a high-traffic roadway (Barão de Santo Ângelo and Sapiranga streets). Seventeen simultaneous sampling campaigns were conducted, totaling 68 samples of PM2.5 and PM10. Average concentrations in the park were 5.58 µg/m³ and 9.26 µg/m³, while in the traffic site they reached 14.97 µg/m³ and 25.76 µg/m³, respectively, showing a significant difference. Compounds such as benzo[a]pyrene, chrysene, and benzo[b]fluoranthene were detected up to 0.910 ng/m³ at the traffic site, whereas in the park, most samples were below the quantification limit. The results demonstrate that urban vegetation effectively reduces atmospheric pollutants, acting as a physical and biochemical barrier. These findings highlight the essential role of green areas in mitigating air pollution and protecting public health, emphasizing the need for public policies focused on the conservation and expansion of urban vegetation and on systematic air quality monitoring.

Keywords: Air quality; Atmospheric pollution; Environmental monitoring; Environmental health; Urban vegetation.

¹ Universidade Feevale.

Autor correspondente: cleissonbue@gmail.com

Recebido em: 14/07/2025. Aceito em: 27/04/2026.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado. 

1 INTRODUÇÃO

A qualidade do ar é uma das principais preocupações ambientais nas áreas urbanas contemporâneas, dado seu impacto direto sobre a saúde humana, o equilíbrio ecológico e a qualidade de vida das populações expostas. Entre os poluentes atmosféricos mais relevantes estão o material particulado e os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, ambos associados a doenças respiratórias, cardiovasculares e ao aumento da morbimortalidade em centros urbanos (OMS, 2021; Ravindra et al., 2008).

O material particulado, especialmente nas frações MP_{10} (diâmetro aerodinâmico $\leq 10 \mu m$) e $MP_{2,5}$ ($\leq 2,5 \mu m$), possui a capacidade de penetrar no trato respiratório humano e se acumular em diferentes regiões pulmonares, podendo transportar adsorvidos diversos compostos tóxicos. Entre esses, destacam-se os HPAs, compostos orgânicos semi-voláteis formados principalmente durante a combustão incompleta de matéria orgânica e derivados de petróleo. A toxicidade dos HPAs varia conforme sua estrutura, sendo alguns classificados como carcinogênicos e mutagênicos (IARC, 2012; Rogula-Kozłowska et al., 2014).

Em ambientes urbanos, a principal fonte de emissão de HPAs e MP é o tráfego veicular, seguido por processos industriais e queima de biomassa. A interação entre esses poluentes contribui para agravar os efeitos sobre a saúde pública, especialmente em regiões com baixa ventilação e presença limitada de barreiras naturais (CETESB, 2023; Fernandes et al., 2020).

Nesse contexto, as áreas verdes urbanas têm sido apontadas como ferramentas fundamentais na mitigação da poluição atmosférica. Estudos mostram que a vegetação urbana atua como filtro natural para partículas em suspensão e gases, reduzindo os níveis de poluentes em seu entorno (Nowak et al., 2014; Selmi et al., 2016). Além disso, contribui para o microclima local e a redução do efeito de ilha de calor, favorecendo a dispersão de poluentes e melhorando o conforto térmico da população (Santos et al., 2022).

A relevância das áreas verdes vai além da estética paisagística, sendo reconhecida por seu papel ecológico e funcional nas cidades. Em países com urbanização acelerada e crescente motorização, como o Brasil, compreender o papel dessas estruturas vegetadas no controle da poluição atmosférica torna-se essencial para a formulação de políticas públicas sustentáveis.

Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar a influência de uma área verde urbana sobre a qualidade do ar por meio da análise das concentrações de MP e HPAs, em comparação com uma área urbana exposta ao tráfego intenso, no município de Novo Hamburgo, RS.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi conduzido no bairro Hamburgo Velho, em Novo Hamburgo/RS, município integrante da Região Metropolitana de Porto Alegre, com forte urbanização e relevante concentração de fontes emissoras de poluentes atmosféricos, especialmente o

tráfego veicular. A escolha da área de estudo baseou-se na proximidade geográfica entre os dois pontos amostrados e em suas distintas características ambientais e funcionais.

O ponto de coleta está localizado sob as coordenadas Lat.-29.686509; Long.-51.109662 no sistema de graus decimais, no interior do Parque Municipal Henrique Luís Roessler (Parcão) uma Unidade de Conservação (UC) de proteção integral, classificada como Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) segundo o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC).

O parque possui aproximadamente 54,5 hectares, sendo reconhecido por sua função ecológica, educacional e de lazer, e gerido pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Novo Hamburgo (SEMAM). De acordo com o Plano de Manejo elaborado pelo município, cerca de 46% da área do parque está classificada como Zona de Uso Restrito, destinada exclusivamente à preservação da biodiversidade e à pesquisa científica, apresentando cobertura vegetal densa, presença de nascentes, solo úmido e baixa intervenção antrópica (Novo Hamburgo, 2022).

A vegetação do Parcão é composta majoritariamente por espécies nativas da Mata Atlântica, além de elementos de ambientes paludosos e de borda, resultando em uma estrutura vertical complexa e biodiversa, capaz de atuar como barreira à poluição atmosférica. A topografia suavemente ondulada e a presença de vegetação arbórea estratificada promovem redução da velocidade dos ventos, deposição de partículas em suspensão e aumento da umidade relativa local, conforme relatado em estudos similares (Nowak et al., 2014; Selmi et al., 2016). Ainda segundo a Fundação Estadual de Proteção Ambiental – FEPAM (RS), a vegetação nativa exerce papel essencial na mitigação de poluentes veiculares, especialmente em áreas urbanas com circulação elevada.

Em contraste, o Ponto B está situado nas coordenadas Lat.-29.690270; Long.-51.108259, no sistema de graus decimais, na interseção entre a Rua Barão de Santo Ângelo e a Rua Sapiranga, a poucos metros do Parcão, mas em uma região com perfil viário intenso e reduzida arborização. A via é paralela ao parque, porém sem as barreiras naturais que atenuam a dispersão de poluentes. Essa área apresenta forte exposição a fontes móveis de emissão, como veículos leves e pesados, sendo caracterizada por edificações adensadas, baixa permeabilidade do solo e ausência de infraestrutura ecológica.

A proximidade geográfica entre os pontos A e B, aliada à diferença na cobertura vegetal e no uso do solo, proporciona um cenário adequado para a comparação do impacto da vegetação sobre os níveis de poluição atmosférica. Esta metodologia permite avaliar, de forma localizada e controlada, o papel das áreas verdes urbanas na melhoria da qualidade do ar e no sequestro de compostos tóxicos como o MP e os HPAs.

2.2 COLETA DO MATERIAL PARTICULADO E HIDROCARBONETOS POLICICLICOS AROMÁTICOS

As coletas foram realizadas semanalmente entre os meses de novembro de 2024 e fevereiro de 2025, totalizando 17 campanhas simultâneas em dois pontos de monitoramento, conforme demonstrado na Figura 1. Em cada campanha, foram coletadas amostras de MP_{2,5} e MP₁₀ em duplicata por ponto, resultando em um total de 68 amostras. As coletas foram preferencialmente executadas em dias com condições climáticas estáveis, evitando períodos de precipitação. Em duas datas específicas, entretanto,

ocorreu chuva leve ao final do período de amostragem, o que pode ter influenciado levemente as massas coletadas.

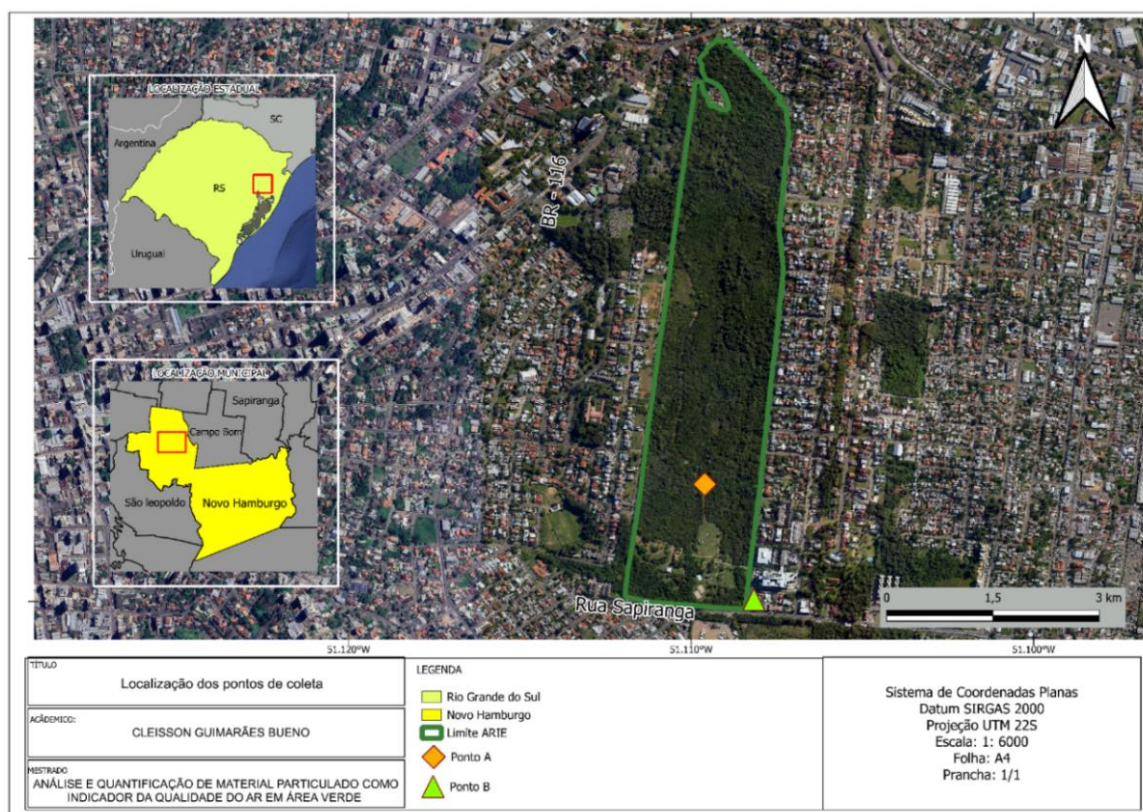


Figura 1. Localização dos pontos de estudo. Fonte: Autor (2025).

As amostragens foram realizadas utilizando uma bomba de vácuo de alto desempenho (modelo 131/132) com capacidade de 10 L/min, operando durante 24 horas contínuas. O sistema de coleta consistia em um holder com estrutura em série, em que o filtro de MP₁₀ ficava diretamente exposto ao fluxo de entrada, e o filtro de MP_{2,5} posicionado a jusante, capturando apenas as partículas de menor diâmetro aerodinâmico. Ambos os filtros utilizados eram do tipo PTFE (politetrafluoretileno) com granulometria específica para cada fração.

Os filtros foram previamente condicionados em dessecador por no mínimo 24 horas e pesados em balança analítica de precisão 0,0001 g, antes e após a coleta, conforme norma gravimétrica para MP. Após o término da coleta, foram devidamente armazenados em sacos de teflon esterilizados e mantidos sob congelamento a -18 °C até a análise.

A concentração de material particulado foi calculada com base na massa coletada (µg) e no volume de ar total amostrado em 24 horas, conforme a equação:

$$\text{Concentração de MP } (\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{\text{Massa coletada } (\mu\text{g})}{\text{Volume de ar amostrado } (\text{m}^3)}$$

O volume foi determinado a partir da vazão da bomba (10 L/min) convertida para metros cúbicos por hora (0,60 m³/h), totalizando 14,40 m³ por coleta de 24 horas, ou volumes proporcionais nos casos em que houve variação no tempo de amostragem.

2.3 ANÁLISE DO MATERIAL PARTICULADO E HIDROCARBONETOS

Após as coletas, os filtros foram armazenados sob congelamento a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ até o momento da análise. A concentração de MP foi determinada por gravimetria, considerando a diferença de massa dos filtros antes e após a amostragem, em conjunto com o volume de ar amostrado, sendo os resultados expressos em microgramas por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

A análise dos HPAs foi realizada exclusivamente na fração $\text{MP}_{2,5}$, dado que esses compostos orgânicos persistentes tendem a se adsorver preferencialmente às partículas finas (Cheng et al., 2020). A extração dos HPAs foi conduzida por ultrassonicação com solvente diclorometano:hexano (1:1), seguida de concentração em evaporador rotativo, conforme metodologia descrita por Gonçalves et al. (2021).

A separação, identificação e quantificação foram realizadas por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM), utilizando cromatógrafo GC-2010 Plus (Shimadzu®) equipado com coluna capilar Rxi-5Sil MS ($30\text{ m} \times 0,25\text{ mm} \times 0,25\text{ }\mu\text{m}$). Foram empregados padrões analíticos certificados dos 16 HPAs prioritários listados pela U.S. Environmental Protection Agency (EPA).

A identificação baseou-se na comparação dos tempos de retenção e espectros de massa com padrões de referência. A quantificação foi realizada por meio de curva analítica com coeficiente de correlação (R^2) superior a 0,995. O LQ do método foi de $0,10\text{ ng}/\text{m}^3$. Os resultados foram expressos em nanogramas por metro cúbico (ng/m^3).

Para fins comparativos entre o Parcão e o Ponto B, os dados foram submetidos a análise descritiva, com cálculo de média, desvio padrão, mediana e percentis. Para a testar a normalidade dos dados foi utilizado Teste de Kolmogorov-Smirnov, os dados foram não-paramétricos, portanto, para a comparação do MP nos Pontos A e B, foi utilizado o teste de Teste Mann-Whitney. Não foi possível realizar esta análise para os HPAs, porque no Parcão, a maioria das amostras apresentaram valores abaixo do limite de detecção.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises realizadas permitiram avaliar a variabilidade espacial e temporal dos poluentes atmosféricos entre os dois pontos amostrados, com destaque para as concentrações $\text{MP}_{2,5}$ e MP_{10} . O quadro 1 apresenta as concentrações obtidas de $\text{MP}_{2,5}$ e MP_{10} ao longo das 17 campanhas simultâneas de amostragem realizadas entre os meses de novembro de 2024 e fevereiro de 2025, tanto no Parcão quanto no Ponto B, localizado na interseção das ruas Barão de Santo Ângelo e Sapiranga, fora da área verde.

A tabela 1 apresenta os resultados das análises de MP, os dados foram expressos como: mínimo, máximo, média, mediana e desvio padrão da média, em relação aos dois pontos amostrados no estudo.

Os dados referentes às concentrações de material particulado $\text{MP}_{2,5}$ e MP_{10} entre os pontos de coleta foram analisados por meio do teste de Mann-Whitney. Observou-se diferença estatisticamente significativa entre os grupos, tanto para o $\text{MP}_{2,5}$ ($U = 0,00$; $Z = -4,982$; $p < 0,001$) quanto para o MP_{10} ($U = 0,00$; $Z = -4,980$; $p < 0,001$), onde o ponto B tende a apresentar concentrações significativamente maiores em comparação ao Parcão.

Quadro 1. Concentração de Material Particulado MP_{2,5} e MP₁₀ no Parcão e no Ponto B.

Coleta Nº	Data da Coleta	MP _{2,5} (µg/m ³)			MP ₁₀ (µg/m ³)		
		Parcão	Ponto B	%	Parcão	Ponto B	%
1	08/11/2024	8,33**	13,89	66,7	10,42	25,01	140,10
2	15/11/2024	6,94	15,93	129,4	11,11	27,77	149,93
3	22/11/2024	6,25	20,18	222,9	15,97**	34,03**	113,04
4	29/11/2024	5,56	16,32	193,8	10,56	25,35	140,13
5	06/12/2024	4,86	20,83**	328,6	11,11	24,31	118,75
6	13/12/2024	4,86	12,85	164,3	6,94	20,13*	189,87
7	20/12/2024	2,78*	12,50	350,0	5,56*	20,49	268,75
8	27/12/2024	3,47	11,38*	227,7	7,64	20,83	172,73
9	03/01/2025	3,47	13,17	279,4	6,94	25,69	269,94
10	10/01/2025	6,94	13,91	100,3	9,03	26,74	196,15
11	17/01/2025	6,60	15,28	131,6	10,42	27,78	166,67
12	24/01/2025	6,25	15,28	144,4	9,03	29,17	223,08
13	31/01/2025	6,25	13,89	122,2	6,94	31,23	349,71
14	07/02/2025	5,33	17,33	225,0	8,00	30,67	283,33
15	14/02/2025	6,09	14,74	142,1	8,65	25,64	196,30
16	21/02/2025	6,17	12,46	101,8	9,26	20,99	126,67
17	28/02/2025	4,76	14,88	212,5	9,82	22,02	124,24

Legenda: * valores mínimos, ** valores máximos.

Tabela 1. Análise descritivas e comparativa do MP_{2,5} e MP₁₀ nos Pontos A e B (n= 68).

Parâmetro	MP _{2,5} (µg/m ³)		MP ₁₀ (µg/m ³)	
	Ponto A	Ponto B	Ponto A	Ponto B
Mínimo	2,78	11,11	5,56	20,14
Máximo	8,33	20,83	15,97	34,03
Média	5,58	14,97	9,26	25,76
Mediana	6,09	14,74*	9,03	25,64*
Desvio padrão	1,43	2,61	2,39	4,08

* Teste Mann-Whitney, p <0,001. Fonte: Autor (2025).

Estes resultados indicam que áreas verdes tendem a exercer um papel fundamental na mitigação da poluição atmosférica, especialmente na redução das concentrações de MP, contribuindo para a melhoria da qualidade do ar. Diversos estudos corroboram esses efeitos positivos. Em Curitiba, Oliveira et al. (2022) identificaram que áreas com vegetação densa apresentaram reduções de até 40% nas concentrações médias de MP_{2,5} em relação a zonas urbanas sem cobertura vegetal.

De forma semelhante, Coelho et al. (2023) relataram reduções superiores a 60% de partículas finas em áreas verdes de São Paulo em comparação a corredores viários com grande fluxo veicular.

Além disso, Fernandes et al. (2020) realizaram uma análise estatística comparativa em cidades brasileiras e também constataram diferenças significativas nos níveis de MP entre regiões arborizadas e áreas expostas a fontes de emissão, como avenidas e zonas industriais, reforçando os benefícios da vegetação urbana na qualidade do ar.

Os resultados apresentam diferenças entre os dois pontos amostrados. No Parcão, as concentrações de MP_{2,5} oscilaram de 2,78 µg/m³ (em 20/12/2024) a 8,33 µg/m³ (em

08/11/2024) (Figura 2), com média de $5,58 \mu\text{g}/\text{m}^3$. No Ponto B, variaram de $11,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (em 27/12/2024) a $20,83 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (em 06/12/2024) (Figura 3), com média de $14,97 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Os valores de MP_{10} variaram de $5,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (em 20/12/2024) a $15,97 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (em 22/11/2024) no Parcão, e de $20,14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (em 13/12/2024) a $34,03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (em 22/11/2024) no Ponto B, resultando em médias de $9,26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $25,76 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente.

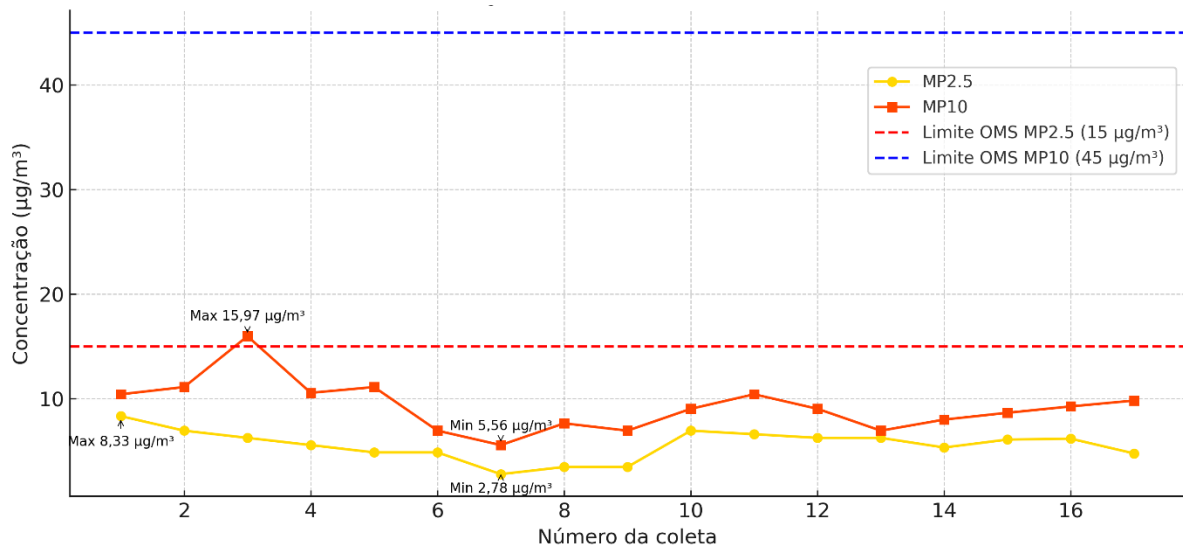


Figura 2. Concentração de $\text{MP}_{2,5}$ e MP_{10} no Parcão. Fonte: Autor (2025).

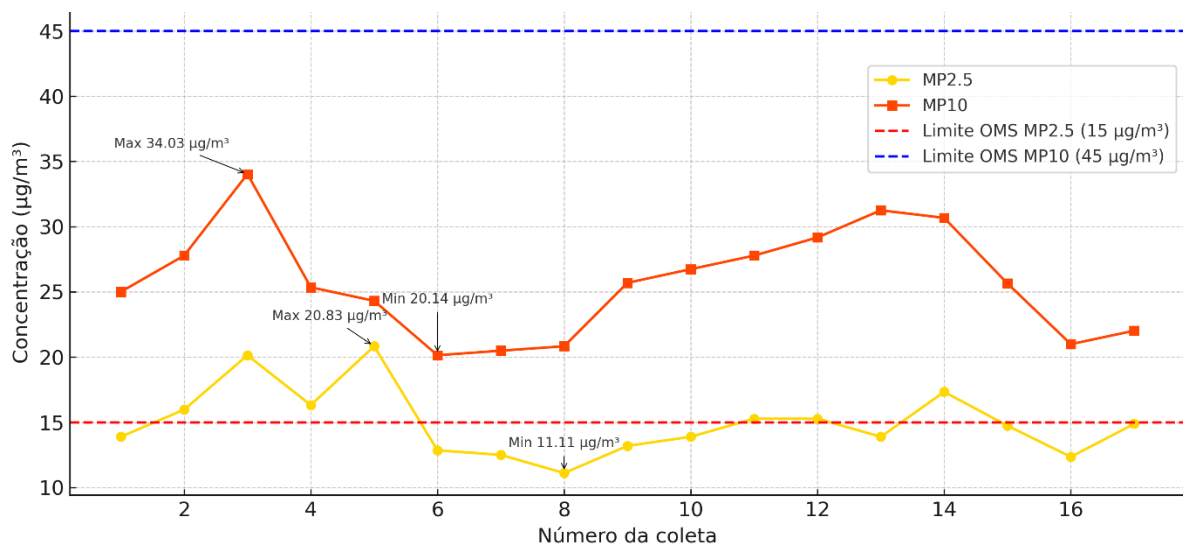


Figura 3. Concentração de $\text{MP}_{2,5}$ e MP_{10} no Ponto B. Fonte: Autor (2025).

Os valores obtidos no Parcão mantiveram-se abaixo dos limites diários recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS, 2021), de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $\text{MP}_{2,5}$ e $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para MP_{10} , denotando uma boa qualidade do ar em área verde preservada. No ponto B, 35% das coletas ultrapassaram o limite para $\text{MP}_{2,5}$, o que representa risco potencial à saúde pública, conforme apontado por Fernandes et al. (2020), que observaram relação direta entre picos de $\text{MP}_{2,5}$ e internações por doenças respiratórias em áreas urbanas brasileiras.

Esse cenário é coerente com estudos realizados em áreas urbanas de São Paulo e Belo Horizonte, onde zonas verdes apresentaram até 60% menos partículas finas em comparação a corredores viários adjacentes, conforme estudo de Coelho et al. (2023). De forma semelhante, Oliveira et al. (2022), em estudo realizado em Curitiba, demonstraram que parques urbanos reduzem em média 40% das concentrações de MP_{2,5}, devido à retenção física das partículas pela copa das árvores e à modificação microclimática proporcionada pela vegetação.

A eficiência da vegetação urbana na remoção de material particulado também foi demonstrada em revisão de Salvador et al. (2019), que analisou 31 cidades europeias e observou que espécies arbóreas com copa densa e folhas pilosas aumentam significativamente a taxa de deposição de MP. No Parcão, a presença predominante de espécies da Mata Atlântica com grande área foliar e estrutura vertical complexa parece ter favorecido esse mecanismo de retenção, como indicado por estudos anteriores (Nowak et al., 2014; Selmi et al., 2016).

Além disso, a baixa rugosidade das superfícies do Ponto B, associada à ausência de vegetação, alta densidade de edificações e tráfego constante, promove a ressuspensão de poeira e o acúmulo de poluentes em suspensão, em conformidade com observações feitas por Sanches et al. (2021) em estudos sobre corredores de tráfego em Porto Alegre e região metropolitana.

Cabe destacar ainda que, apesar do Ponto B não exceder os limites da OMS para MP₁₀, a exposição crônica a valores médios elevados (25,76 µg/m³) pode intensificar sintomas respiratórios em grupos sensíveis, como asmáticos e idosos, segundo a CETESB (2023). Assim, o contraste entre os dois ambientes demonstra não apenas a diferença entre ambientes monitorados, mas o papel funcional das áreas verdes urbanas como barreiras físicas e químicas à poluição atmosférica, reforçando o conceito de infraestrutura verde como estratégia de saúde pública urbana.

A análise cromatográfica dos filtros de MP_{2,5} apresentou diferenças na ocorrência e concentração de HPAs entre os dois pontos de amostragem (Tabela 2). No Parcão, apenas três coletas apresentaram detecção de HPAs. Na coleta 3 (21/11/2024) foram detectados benzo[a]antraceno (BaA) e pireno (PIR), com concentrações de 0,29 ng/m³ e 0,33 ng/m³, respectivamente. Nas coletas 10 (10/01/2025) e 15 (14/02/2025) foram identificados fluoranteno (FLT) (0,27 ng/m³) e criseno (CRI) (0,41 ng/m³). Todas as demais amostras apresentaram concentrações inferiores ao LQ do método, fixado em 0,10 ng/m³.

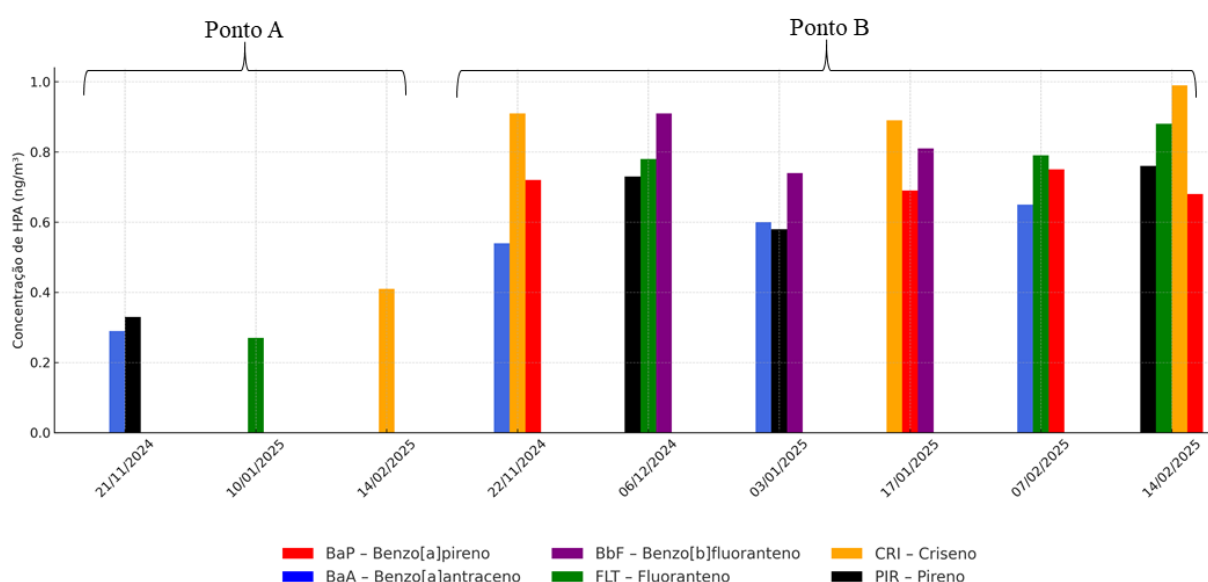
Em contraste, no Ponto B, foram registradas seis coletas com detecção de HPAs em níveis superiores ao LQ, muitas vezes com múltiplos compostos por coleta. O destaque foi a coleta 15 (14/02/2025), na qual foram detectados quatro HPAs: BaP (0,68 ng/m³), CRI (0,99 ng/m³), FLT (0,88 ng/m³) e PIR (0,76 ng/m³). Os demais compostos, como BaA, BbF e BaP, apresentaram variações entre 0,54 e 0,91 ng/m³, indicando presença consistente de HPAs nesse local de maior impacto veicular.

A Figura 4 apresenta os resultados das concentrações de HPAs que estavam presentes nos pontos A e B ao longo do período de amostragem.

Tabela 2. Concentração de HPA nos pontos A e B com detecção positiva.

Local	Coleta da N ^o	Data da Coleta	HPAs	ng/m ³
Parcão	3	21/11/2024	BaA ¹	0,29
			PIR ²	0,33
	10	10/01/2025	FLT ³	0,27
	15	14/02/2025	CRI ⁴	0,41
Ponto B	3	22/11/2024	BaA ¹	0,54
			CRI ⁴	0,91
			BaP ⁵	0,72
	5	06/12/2024	PIR ²	0,73
			FLT ³	0,78
			BbF ⁶	0,91
	9	03/01/2025	BaA ¹	0,6
			PIR ²	0,58
			BbF ⁶	0,74
	11	17/01/2025	CRI ⁴	0,89
			BaP ⁵	0,69
			BbF ⁶	0,81
	14	07/02/2025	BaA ¹	0,65
			FLT ³	0,79
			BaP ⁵	0,75
	15	14/02/2025	PIR ²	0,76
			FLT ³	0,88
			CRI ⁴	0,99
			BaP ⁵	0,68

Legenda: 1 - Benzo[a]antraceno, 2 - Pireno, 3 - Fluoranteno, 4 - Criseno, 5 - Benzo[a]pireno, 6 - Benzo[b]fluoranteno. Fonte: Autor (2025).

**Figura 4.** Concentração de HPA nas amostras positivas dos pontos A e B. Fonte: Autor (2025).

Embora nenhuma coleta tenha ultrapassado o limite estabelecido pela União Europeia (EU, 2005) para o benzo[a]pireno (1,0 ng/m³), os valores próximos desse limiar

em mais de uma amostra sugerem potencial risco à saúde em exposições prolongadas, especialmente para grupos vulneráveis.

Os HPAs são compostos orgânicos persistentes (POPs) oriundos da combustão incompleta de matéria orgânica e derivados fósseis. São altamente tóxicos e cancerígenos, conforme classificado pela IARC (2012). A literatura reforça o tráfego veicular como a principal fonte urbana desses compostos. Em estudo realizado por Silva et al. (2022) em Salvador/BA, foram reportadas concentrações de BaP entre 0,60 e 1,20 ng/m³ em áreas com tráfego intenso, comparadas a níveis inferiores a 0,30 ng/m³ em áreas arborizadas.

De forma semelhante, Gonçalves et al. (2021) registraram concentrações médias de CRI (0,78 ng/m³) e BaP (0,64 ng/m³) em avenidas de Belo Horizonte, valores consideravelmente superiores aos de parques urbanos (<0,20 ng/m³), com a vegetação sendo apontada como fator mitigador da poluição atmosférica.

Além da deposição e filtração mecânica promovida pelas copas das árvores, a vegetação urbana modifica o microclima, reduzindo a temperatura e aumentando a umidade relativa — condições que afetam a dispersão, deposição e degradação de HPAs (Nowak et al., 2014; Selmi et al., 2016).

O estudo He et al. (2023), demonstraram que áreas verdes urbanas podem apresentar até 65% menos HPAs adsorvidos em MP_{2,5} em comparação com áreas densamente pavimentadas e com pouco sombreamento. Em consonância, Cheng et al. (2020) observaram que mais de 90% dos HPAs em ambientes urbanos se concentram na fração fina do material particulado, reforçando a importância da análise específica nessa fração.

Neste estudo, as coletas com maior concentração de MP_{2,5} no Ponto B coincidiram com a presença simultânea de múltiplos HPAs, evidenciando a correlação entre esses dois indicadores de qualidade do ar. Apesar dos valores estarem dentro dos limites estabelecidos, a possibilidade de bioacumulação e efeitos crônicos deve ser considerada na formulação de políticas públicas ambientais (OMS, 2021).

Esses achados corroboram estudos brasileiros mais recentes que reforçam o papel das áreas verdes como barreiras naturais contra poluentes atmosféricos. Em trabalho conduzido por Coutinho et al. (2021) em Belém/PA, foi demonstrado que a presença de parques urbanos reduziu em até 45% as concentrações de MP_{2,5}, especialmente em locais com vegetação densa e diversificada. De modo semelhante, Fernandes et al. (2023) verificaram menores níveis de HPAs em bairros com maior índice de vegetação, associando a presença arbórea ao aumento da deposição seca e à maior degradação desses compostos. A análise integrada entre MP_{2,5} e HPAs em diferentes ambientes urbanos, como a realizada neste estudo, permite uma compreensão mais ampla das dinâmicas de dispersão e deposição desses poluentes.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo permitiu uma análise detalhada sobre a influência da cobertura vegetal na qualidade do ar em ambiente urbano, a partir do monitoramento das concentrações de material particulado e HPAs. Os resultados demonstraram diferenças significativas entre os locais, com concentrações médias de MP_{2,5} e MP₁₀ notadamente menores no interior da área verde, reforçando o papel da vegetação na interceptação de

partículas em suspensão e na melhoria das condições microclimáticas. Além disso, os níveis de HPAs, especialmente benzo[a]pireno (BaP), criseno (CRI) e benzo[b]fluoranteno (BbF), foram mais frequentes e intensos no ponto de maior exposição veicular, enquanto no interior do parque permaneceram, na maioria das coletas, abaixo do limite de quantificação.

Esses achados são consistentes com estudos recentes e evidenciam que a vegetação urbana atua como uma barreira natural contra poluentes atmosféricos, contribuindo para a proteção da saúde pública e para o equilíbrio ambiental em áreas urbanizadas. A associação entre MP_{2,5} e HPAs também reforça a importância de monitoramentos integrados que considerem tanto poluentes inorgânicos quanto compostos orgânicos tóxicos.

Diante dos resultados, destaca-se a necessidade de valorizar e conservar as áreas verdes urbanas, promovendo sua expansão como medida estratégica de mitigação da poluição do ar. Reforça-se, ainda, a importância do monitoramento contínuo da qualidade do ar em diferentes tipologias urbanas, visando subsidiar políticas públicas mais eficazes no enfrentamento da degradação ambiental urbana e na promoção da qualidade de vida.

REFERÊNCIAS

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo – 2022**. São Paulo: CETESB, 2023. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/>. Acesso em: 20 jun. 2025.

CHENG, H. R. et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient PM_{2.5} in China: Source apportionment and cancer risk assessment. **Science of the Total Environment**, v. 705, p. 135-137, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135137>.

COELHO, A. R. et al. Efeitos de áreas verdes sobre a concentração de material particulado em São Paulo/SP. **Revista Árvore**, v. 47, 2023. <https://doi.org/10.1590/1806-908820230000002>.

COELHO, M. S. et al. Avaliação da influência de áreas verdes na concentração de material particulado em centros urbanos. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, São Paulo, n. 64, p. 45-58, 2023. <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820230064>

COUTINHO, A. F. et al. Efeitos da vegetação urbana na concentração de material particulado fino (MP_{2,5}) em áreas centrais de Belém/PA. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 10, n. 1, p. 112-121, 2021. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v10e12021112-121>

EPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Priority Pollutant List – Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)**. Washington, D.C., 1993. Disponível em: <https://www.epa.gov>. Acesso em: 20 jun. 2025.

EUROPEAN UNION. **Directive 2004/107/EC of the European Parliament and of the Council**. Official Journal of the European Union, Brussels, 2005.

FEPAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL. **Diretrizes para vegetação urbana e qualidade ambiental**. Porto Alegre: FEPAM, 2021.

FERNANDES, J. P. R. et al. Avaliação da exposição a MP_{2,5} e MP₁₀ em áreas urbanas brasileiras: revisão sistemática e análise comparativa. **Revista Ambiente & Sociedade**, v. 23, p. 1–18, 2020. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20190094r1vu202011ao>.

FERNANDES, M. L. et al. Avaliação da presença de HPAs em função do índice de vegetação em zonas urbanas de médio porte. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 58, p. 89–99, 2023. <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820230058>

FERNANDES, R. C. et al. Análise comparativa da qualidade do ar entre áreas verdes e urbanizadas em cidades brasileiras. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 4, p. 699–708, 2020. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522020196013>

GONÇALVES, T. S. et al. Avaliação de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos em partículas atmosféricas em áreas urbanas de Belo Horizonte/MG. **Química Nova**, v. 44, n. 7, p. 749–755, 2021. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170657>.

HE, J. et al. Variations and source apportionment of PAHs in urban green and non-green spaces. **Atmospheric Environment**, v. 289, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.119350>.

IARC – INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. **Some non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons and some related exposures**. Lyon: WHO Press, 2012. (IARC Monographs, v. 92).

MEINCKE, M. **Biomonitoramento da qualidade do ar através de HPAs em folhagens de árvores urbanas na Bacia do Rio dos Sinos – RS**. 2018. Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental) – Universidade Feevale, Novo Hamburgo, 2018.

NOVO HAMBURGO. **Plano de Manejo do Parque Municipal Henrique Luís Roessler – Encarte IV**. Novo Hamburgo: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2022.

NOWAK, D. J. et al. Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. **Environmental Pollution**, v. 193, p. 119–129, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.05.028>.

OLIVEIRA, L. C. et al. Concentração de MP_{2,5} e qualidade do ar em área urbana de Curitiba. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 27, n. 3, p. 565–574, 2022. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522022196863>.

OLIVEIRA, L. T. et al. Impacto da vegetação na redução de poluentes atmosféricos: estudo de caso em Curitiba (PR). **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Curitiba, v. 11, n. 2, p. 188–199, 2022. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v11e2022188-199>

OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and**

carbon monoxide. Geneva: WHO, 2021. Disponível em:
<https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>. Acesso em: 10 jun. 2025.

RAVINDRA, K.; WAFER, M.; VAN GRIEKEN, R. Variation in particulate PAHs levels and their relation with the transboundary movement of the air masses. **Science of the Total Environment**, v. 396, n. 2–3, p. 100–110, 2008.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.02.018>.

ROGULA-KOZŁOWSKA, W.; NAWROT, A.; WRÓBEL, J. Particulate matter mass and chemical composition in Katowice urban area during smog episodes. **Atmospheric Pollution Research**, v. 5, n. 2, p. 242–250, 2014. <https://doi.org/10.5094/APR.2014.028>.

SALVADOR, P. et al. Urban trees and air quality in European cities: A meta-analysis of ecosystem services. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 38, p. 158–168, 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.12.003>.

SANCHES, J. M. et al. Qualidade do ar e corredores viários em Porto Alegre/RS: estudo de material particulado respirável. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 23, p. 65–77, 2021. <https://doi.org/10.7867/rea.v23n1.2021.65>.

SANTOS, R. M. dos et al. A importância das áreas verdes urbanas para a sustentabilidade das cidades brasileiras. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 6, p. 2154–2170, 2022. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.6.p2154-2170>.

SELMİ, W. et al. Air pollution removal by urban trees in the city of Strasbourg, France. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 17, p. 192–201, 2016.
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.04.010>.

SILVA, F. R. et al. Avaliação dos HPAs em área urbana com tráfego intenso em Salvador – BA. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental e Sustentável**, v. 9, n. 4, p. 68–76, 2022. <https://doi.org/10.18378/rebea.v9i4.1047>.