

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DADOS OBSERVADOS E DE REANÁLISE DO MERRA-2 DA CONCENTRAÇÃO DE PM₁₀ NO ANO DE 2023 EM GUÁIBA/RS

MARCO ANTÔNIO FLORES DE MEDEIROS¹; ROSE ANE PEREIRA DE FREITAS²; MARCELO FÉLIX ALONSO³; JONAS DA COSTA CARVALHO⁴

¹Universidade Federal de Pelotas – contatomarcofmedeiros@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – rosefreitas78@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – mfapel@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – jonas.carvalho@ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

A poluição do ar é explicada pela presença de poluentes no ar atmosférico derivados de fontes naturais ou antropogênicas (Vieira, 2009). Áreas urbanizadas e industrializadas são caracterizadas pelas altas concentrações de veículos motorizados que consequentemente afetam a qualidade do ar. Hilary *et al.* (2025) comentam que a poluição do ar virou sinônimo de gravidade e desafio ambiental, porque a mesma modifica a biodiversidade do meio ambiente, os processos naturais e afeta a saúde humana.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), os veículos motorizados, indústrias, equipamentos domésticos de combustão (como lareira, fogão a lenha, aquecedor, etc) e incêndios florestais são fontes comuns de poluição do ar (OMS, 2025). Dentre os poluentes emitidos, o material particulado inalável (PM₁₀) é um dos poluentes que afeta diretamente a saúde humana, provocando grande procura pelos serviços de saúde, principalmente, durante as estações do inverno e da primavera.

O material particulado pode ser formado por uma gama de outros compostos e pode ser caracterizado por partículas de diversos tamanhos, muitas vezes visíveis a olho nu, como a fumaça ou a fuligem. O PM₁₀ corresponde à partículas iguais ou menores que 10 micrômetros e, quando inaladas, podem penetrar profundamente o pulmão e entrar na corrente sanguínea (OMS, 2025).

Diante do exposto, se faz importante avaliar as concentrações de poluentes emitidos por fontes antropogênicas e/ou naturais, pois podem afetar negativamente a saúde humana. O monitoramento da concentração de poluentes é a principal ferramenta para o controle da qualidade do ar e, no Rio Grande do Sul, a rede de monitoramento está sob a responsabilidade da FEPAM. Alternativamente, modelos computacionais disponibilizam dados de concentração de poluentes para diversas áreas do globo. Avaliações dos resultados desses modelos, através da comparação com dados observados de qualidade do ar, não são muito comuns para regiões no Brasil, incluindo o Estado do Rio Grande do Sul.

Nesse sentido, o objetivo deste estudo é realizar uma análise comparativa entre dados de concentração de material particulado inalável (PM₁₀) observados em superfície por uma estação de monitoramento automática e dados de reanálise gerados pelo modelo *Modern-Era Retrospective Analysis and Applications, version 2* (MERRA-2), desenvolvido pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA).

2. METODOLOGIA

Guaíba, município da região metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, está localizada a 30°06'50"S e 51°19'30"O e conta atualmente com 92.924 mil habitantes. A cidade possui uma área urbanizada de 22,60 km² e atualmente ocupa o 37º lugar no ranking de espaço total urbanizado em comparação aos demais municípios do estado (IBGE, 2025).

Os dados observados de concentração de PM₁₀, utilizados na presente análise, foram coletados pela estação de monitoramento de qualidade do ar de Guaíba (Estação Guaíba/Parque 35), que pertence à indústria de Celulose Riograndense (CMPC) e compõe a Rede Estadual de Monitoramento da Qualidade do Estado do Rio Grande do Sul (FEPAM, 2023).

Os dados de reanálise de PM₁₀ foram obtidos do MERRA-2, um modelo computacional desenvolvido pela NASA para simular diversas variáveis ambientais distribuídas no espaço e no tempo (Bosilovich *et al.*, 2025). A reanálise do MERRA-2 disponibiliza as concentrações de aerossóis presentes em vários níveis da atmosfera terrestre, com resolução horizontal de 0.5 ° x 0.625° e resolução temporal de 1 hora.

O período escolhido para a análise comparativa foi de um ano completo recente (de 1º de janeiro de 2023 e 31 de dezembro de 2023). Esse período permite desde uma análise de curtíssimo prazo (frequência horária) até uma avaliação sazonal da concentração de PM₁₀. A série de dados de PM₁₀, coletada durante o ano de 2023, apresenta poucas falhas e atende aos critérios de representatividade indicados pelo Órgão Ambiental do Estado do Rio Grande do Sul (FEPAM, 2023).

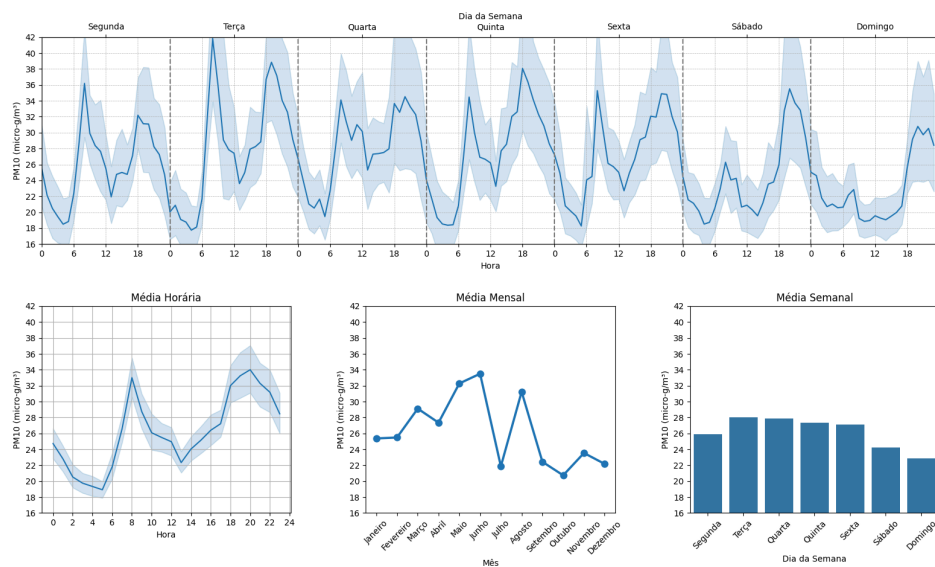
Por fim, foram aplicados alguns parâmetros estatísticos para avaliar a comparação entre dados simulados e dados observados de material particulado, quais foram: Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) e o Erro de Viés Médio (Viés). RMSE é uma medida da diferença entre os valores previstos pelo modelo e os valores observados a partir do ambiente que está sendo simulado e o Viés representa a tendência dos valores simulados de subestimar ou superestimar os valores observados. Quanto mais próximo de zero for o valor do RMSE, melhor será a simulação. Quanto mais próximos de zero for o Viés, melhor é a simulação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

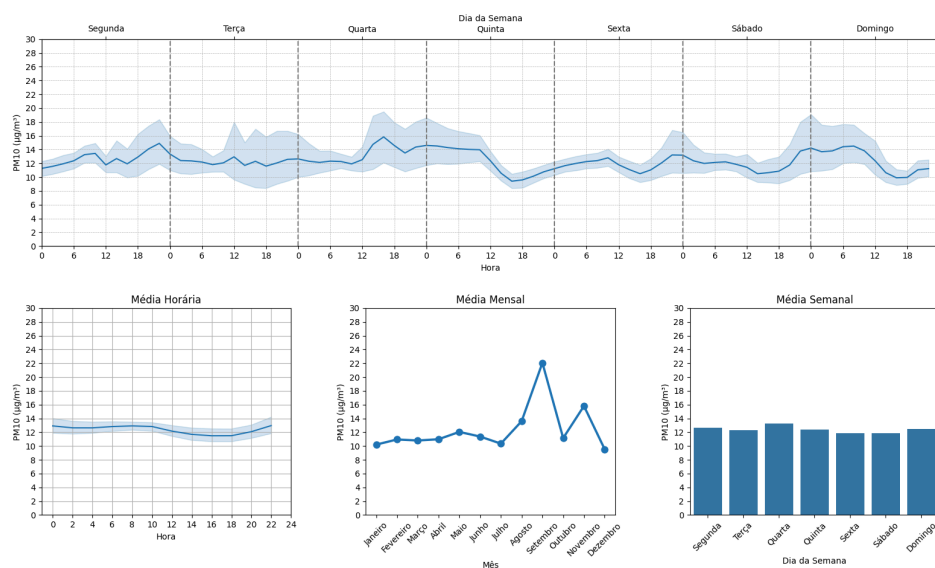
A Figura 1 apresenta a série temporal da concentração do poluente atmosférico PM₁₀ medido na estação de monitoramento Guaíba/Parque 35 (Figura 1a) e previsto pela reanálise do MERRA-2 (Figura 1b). Os gráficos apresentam o comportamento semanal (segunda à domingo), considerando o intervalo de confiança de 95% e as médias diária, horária e mensal da concentração durante todo período avaliado. Ao analisar o comportamento sazonal do poluente percebe-se que os picos de concentração aconteceram entre as estações de primavera e inverno, possivelmente causado pela configuração pós-frontal dos sistemas de frentes que atuam sobre o RS (Cavalcanti *et al.*, 2009). Onde, após a passagem de uma frente fria há a presença de uma massa de ar frio, a qual mantém a atmosfera estável, o que resulta na interferência da ascensão vertical dos poluentes, mantendo-os assim, em suspensão na superfície.

Figura 1. Comportamento semanal, horário e mensal do PM₁₀ monitorado na estação Guaíba/Parque 35 (a) e pela reanálise do MERRA-2 (b) para Guaíba/RS no ano de 2023.

a)



b)



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Durante o comportamento semanal do poluente, os picos de concentração destacam-se em função dos horários em que ocorrem, em virtude de que, no período matutino e ao final do dia (ao anoitecer), são marcados pela forte circulação veicular. Um exemplo comum, seria a locomoção trabalho-casa e casa-trabalho, que acontece nestes mesmos horários registrados e marcados pelas concentrações superiores de poluentes. Um estudo realizado por Alonso (2011) ressaltou que, em regiões urbanizadas, as concentrações de poluentes no ar são um problema intensificado pela frota veicular obsoleta, além do uso de combustíveis fósseis.

Ao avaliar a média semanal, é possível observar uma certa diminuição da concentração de PM_{10} aos finais de semana, possivelmente causada pela frequência de circulação de veículos automotores ser inferior nesses dias da semana, tipicamente associados à feriados.

Com a finalidade de quantificar a diferença entre as medições da estação de monitoramento de qualidade do ar e a reanálise do MERRA-2 foram aplicados alguns parâmetros estatísticos, conforme a Tabela 1 apresenta abaixo.

Tabela 1. Análise dos erros entre o PM_{10} observado e a reanálise do MERRA-2.

Métricas		
	RMSE	Viés
Valor	29.68 $\mu g/m^3$	-14.16 $\mu g/m^3$

O valor do RMSE apresentado na Tabela 1 acima mostrou que, em média, a diferença entre o poluente observado e estimado é de aproximadamente 30 $\mu g/m^3$, significativamente elevada. O erro de Viés é extremamente baixo, e negativo, indicando que a reanálise do modelo MERRA-2 subestima as concentrações do material particulado (PM_{10}) na região analisada.

4. CONCLUSÕES

O presente estudo permite concluir que a reanálise do MERRA-2 não representa satisfatoriamente o comportamento da concentração de PM_{10} para o local analisado. Tal diferença pode ser explicada em razão da limitação quanto à resolução horizontal da grade do modelo e, também, devido à deficiência na informação das emissões, qualitativa e quantitativamente, disponível nos inventários de emissão (dados de emissão dos poluentes informados ao modelo). Inventários de emissões no Brasil e em toda a América do Sul carecem de informações e/ou registros regionais de alta resolução, impossibilitando que modelos computacionais de qualidade do ar apresentem melhores resultados quando comparados com dados observados. Ressalta-se, também, a importância que os dados monitorados por estações de superfície apresentam no contexto do controle da qualidade do ar, justamente por representarem muito bem o comportamento e as concentrações do poluente PM_{10} na área de estudo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOSILOVICH, M. *et al.* **MERRA-2: Initial evaluation of the climate**. NASA Technical Report Series on Global Modelling and Data Assimilation. NASA/TM-2015-104606, v. 43, 145 p., 2015. Disponível em: <https://gmao.gsfc.nasa.gov/pubs/docs/Bosilovich803.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2025.

CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; SILVA DIAS, M. A. F. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 463 p.

HILARY, Uguru *et al.* **Exposure to airborne pollutants in urban and rural areas**: levels of metals and microorganisms in PM_{10} and gaseous pollutants in ambient air. *Air Quality, Atmosphere & Health*, v. 18, n. 2, p. 317–332, 1 fev. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11869-024-01644-w>. Acesso em: 16 jun. 2025.

VIEIRA, Neise Ribeiro. **Poluição do ar**: indicadores ambientais. 1. ed. Rio de Janeiro: E-Papers, 2009. 220 p. ISBN 978-85-7650-215-9.