



Correlação espacial entre média anual de material particulado 2,5 μ m e densidade demográfica em regiões metropolitanas do Nordeste do Brasil *Spatial correlation between the annual average of suspended particles of 2.5 μ m and the demographic density in the metropolitan regions of Northeast Brazil*

Israel Henrique Ribeiro Rios¹

¹ Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, Brasil;
Analista Ambiental da Secretaria de Meio Ambiente de Feira de Santana, Bahia.

Contato: israelhenriquerr@usp.br

Palavras-Chave

SIG
poluição atmosférica
regiões metropolitanas

RESUMO

O aumento da concentração de poluentes atmosféricos é uma realidade em muitas cidades do mundo, principalmente devido ao desenvolvimento industrial e ao aumento do número de veículos automotores. É importante a averiguação de estratégias para desenvolver políticas públicas de prevenção de desses poluentes, a fim de não alcançarem patamares que afetem a população ou o ecossistema envolvido. Fatores como a densidade demográfica, a população absoluta, a quantidade de áreas verdes e a frota de veículos podem estar relacionados com a concentração de poluentes atmosféricos nas cidades. Esse trabalho utiliza o indicador de poluição material particulado 2,5 μ m (MP2,5) obtido por dados de sensoriamento remoto do Centro de Aplicação e Dados Sócio Econômicos da NASA (SEDAC-NASA), em unidades de área regiões metropolitanas da região Nordeste, correlacionando-o com dados de densidade demográfica também coletados no SEDAC. Os dados espaciais foram analisados no Qgis e no GeoDa. observou-se uma tendência de correlação moderada da variável densidade demográfica com a concentração de material particulado – com coeficientes de determinação variando entre 0,25 e 0,55 – demonstrando como o inchamento das regiões metropolitanas pode ter um grau relevante de relação com a dinâmica da qualidade do ar dos espaços geográficos. É valioso investigar essas relações para futuros trabalhos de investigação envolvendo variáveis de poluição atmosférica, que tem a tendência de aumentar nas metrópoles sem o devido controle adequado.

Keyword

GIS
atmospheric pollution
metropolitan regions

ABSTRACT

The increase in the concentration of atmospheric pollutants is a reality in many cities around the world, mainly due to industrial development and the increase in the number of motor vehicles. It is important to investigate strategies to develop public policies to prevent these pollutants from reaching levels that affect the population or the ecosystem involved. Factors such as population density, absolute population, amount of green areas and vehicle fleet may be related to the concentration of atmospheric pollutants in cities. This work uses the 2.5 μ m particulate matter (PM2.5) pollution indicator obtained by remote sensing data from the NASA Socioeconomic Data and Application Center (SEDAC-NASA), in area units of metropolitan regions of the Northeast region, correlating it with population density data also collected at SEDAC. The spatial data were analyzed in Qgis and GeoDa. a tendency for moderate correlation between the population density variable and the concentration of particulate matter was observed – with determination coefficients ranging from 0.25 to 0.55 – demonstrating how the swelling of metropolitan regions may have a relevant degree of relationship with the dynamics of air quality in geographic spaces. It is valuable to investigate these relationships for future research work involving atmospheric pollution variables, which tend to increase in metropolises without adequate control.

Informações do artigo

Recebido: 23 de abril, 2024
Aceito: 18 de abril, 2025
Publicado: 30 de abril, 2025

Introdução

Conforme preconizado na Política Nacional de Meio Ambiente, entende-se por poluição a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente possam prejudicar a saúde, a segurança e o bem-estar da população; entre outros critérios.

A questão da poluição perpassa pelos compartimentos ambientais de modo que os recursos hídricos, atmosféricos e edáficos estão suscetíveis a uma eventual degradação ou aumento das concentrações naturais de certos parâmetros contidos neles. Nesse âmbito, com o advento das cidades, e o incremento de novas substâncias no meio ambiente, a importância do assunto tem se tornado maior e em alguns países o investimento no controle da poluição tem sido maior, a exemplo da China e Índia com índices de qualidade do ar bem baixos.

É uma realidade no Brasil o número limitado de estações de monitoramento da concentração de poluentes no ar nas cidades e a consequente falta de informações adequadas sobre as condições atmosféricas. Além disso, existe um baixo investimento nesta área e uma ausência de compreensão da população sobre as causas e consequências da poluição atmosférica.

Nesse âmbito, é importante a implementação de metas e ações, visando resultados a médio e longo prazo, investimentos em mecanismos de controle e mitigação das emissões de poluentes. Ainda na discussão do contexto brasileiro, Silva et al (2021) traz que a utilização de imagens de satélite para estudos de monitoramento e estimativa da qualidade do ar tem sido fundamental, uma vez que para algumas regiões como o Nordeste do Brasil são escassas de investimentos em redes de monitoramento.

É interessante averiguar a influência de alguns fatores no aumento da poluição em aglomerados urbanos. O aumento de contingentes populacionais, da frota de veículos, das zonas industriais por exemplo são alguns destes fatores. Segundo Carozzi e Roth (2023), um aumento na densidade demográfica está associado a forças de congestionamento, e possivelmente níveis mais altos de poluição do ar. Estudar a relação empírica entre densidade urbana e poluição ambiental é de particular importância [...] a poluição tem efeitos adversos substanciais na saúde e no bem-estar humanos.

Dentro do estudo de Carozzi e Roth (2022), foi encontrada uma relação positiva e estatisticamente significativa entre a densidade populacional no nível da cidade e a exposição residencial à poluição do ar ambiente, em que inferiu-se um aumento de 1% na densidade aumentando a exposição residencial média de MP2,5 (material particulado) em 0,14%.

O efeito da densidade na exposição local à poluição do ar só é economicamente relevante caso se traduza em efeitos significativos na saúde e no bem-estar dos habitantes, uma visão valiosa para o desenho de políticas públicas e planejamento urbano em particular. Os resultados obtidos enfatizam que, apesar da alegação usual de que cidades mais densas tendem a ser mais ambientalmente corretas (em termos de menores emissões de gases de efeito estufa), a exposição residencial à poluição do ar é maior em cidades mais densas.

Isso significa que pode haver um trade-off entre possíveis reduções de emissões e aumentos locais na concentração de poluentes associados a mudanças na densidade. Além disso, as elasticidades e estimativas de custo podem ajudar os planejadores da cidade a realizar análises de custo-benefício de diferentes políticas de densificação.

O aumento da população mundial e, conseqüentemente, a elevação das emissões de poluentes derivados da queima de combustível oriundos de veículos automotores e indústrias resultam na maior degradação da qualidade do ar, que representa um importante fator de ameaça à saúde humana, especialmente nos centros urbanos. (Abe e Miraglia, 2018).

A emissão de poluentes atmosféricos em grandes centros está relacionada à frota veicular que circula pelas vias, e a idade dos veículos é um fator determinante para a qualidade do ar (KUHNS et al., 2004; KRECL et al., 2015).

Considerando a variável demográfica da densidade, em regiões metropolitanas, unidades de espaço com área abrangente para a análise, investigar a correlação entre os dados de concentração de material particulado estimado por sensoriamento remoto, indicador de contaminação, e essa variável fortalece as discussões sobre a influência humano no meio ambiente.

O objetivo deste trabalho é analisar o grau de correlação espacial entre a concentração de material particulado 2,5µm (MP2,5) estimado por sensoriamento remoto e densidade demográfica, através de correlação espacial, de regiões metropolitanas da região Nordeste.

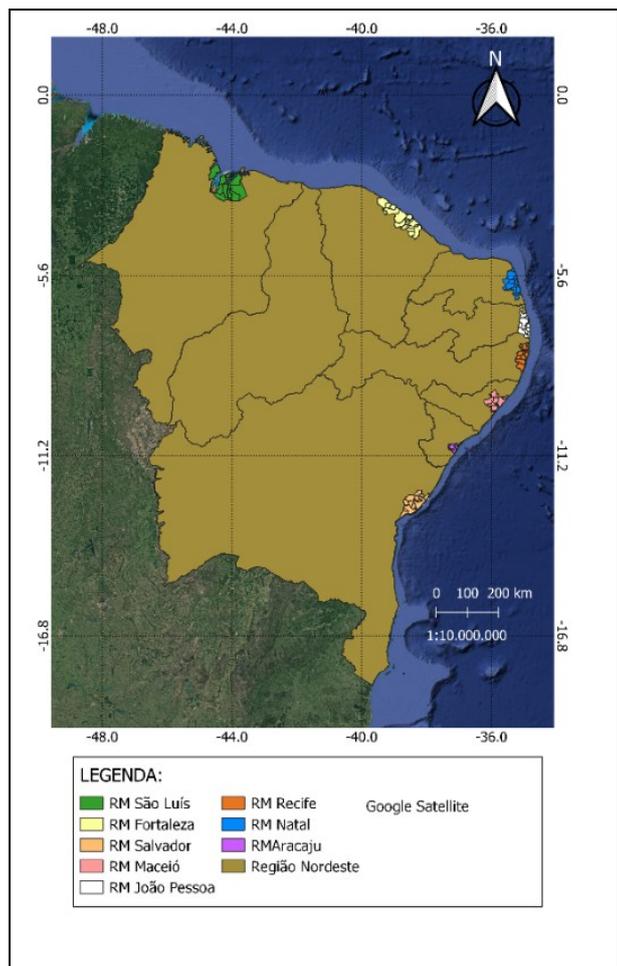
Material e Métodos

Para a execução deste trabalho, foram utilizados dados do Centro de Aplicações e Dados Socioeconômicos da Agência Espacial dos Estados Unidos (SEDAC-NASA) para coleta dos dados de concentração de particulado e de densidade demográfica.

O SEDAC é um centro de dados que agrega informações do sistema de observação da Terra da NASA (National Aeronautics and Space Administration). Esses dados, segundo o site da organização, são projetados para ajudar os usuários a integrar e aplicar dados socioeconômicos e de ciências da Terra em suas pesquisas, atividades educacionais, análises e tomadas de decisão.

As regiões metropolitanas escolhidas foram escolhidas sob o critério de que possuíam todas as informações disponíveis no Atlasbr. As Regiões Metropolitanas de Aracaju, Fortaleza, João Pessoa, Maceió, Natal, Recife, Salvador e São Luís – como mostrado na Figura 1.

Figura 1. Regiões Metropolitanas envolvidas



Fonte: Autor (2023)

O indicador de poluição atmosférica utilizado foi a média da concentração de material particulado 2,5µm entre os anos 2015 e 2019 (média de cinco anos), sendo realizado o cálculo da média espacial entre os anos de 2015, 2016, 2017, 2018 e 2019. Já os dados de densidade demográfica, devido à limitação de existência de dados de cinco em cinco anos, foi coletado e considerado o dado espacial do ano de 2015. Esses dados foram estimados a partir de sensoriamento remoto do Centro de Aplicações e Dados Sócio-econômicos da NASA, dados estes que estão em formato matricial. Esses dados foram mostrados através de mapas para comparação visual.

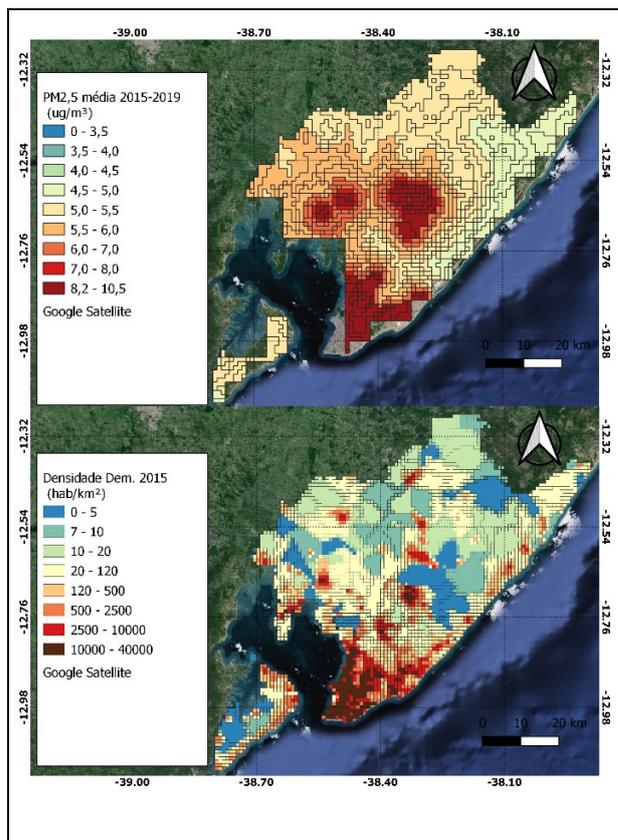
Para entender o impacto, a relação entre as duas variáveis espacialmente, foi utilizado o software GeoDa, próprio para análises geoestatísticas. Nesse contexto, através de regressão linear foi inferido o coeficiente de determinação entre essas duas variáveis para cada região de análise.

Resultados e Discussões

As Figura 2 a 8 a seguir mostram as regiões envolvidas no trabalho, com a concentração de material particulado estimado para o período e a densidade demográfica pelos dados do SEDAC-NASA. Importante notar como as concentrações são maiores nas áreas envolvendo ou próximas às capitais – as densidades demográficas também são maiores próximas das capitais dos estados. Salienta-se também que o padrão final preconizado pela resolução CONAMA 491/2018 (10 µg/m³) da concentração média anual

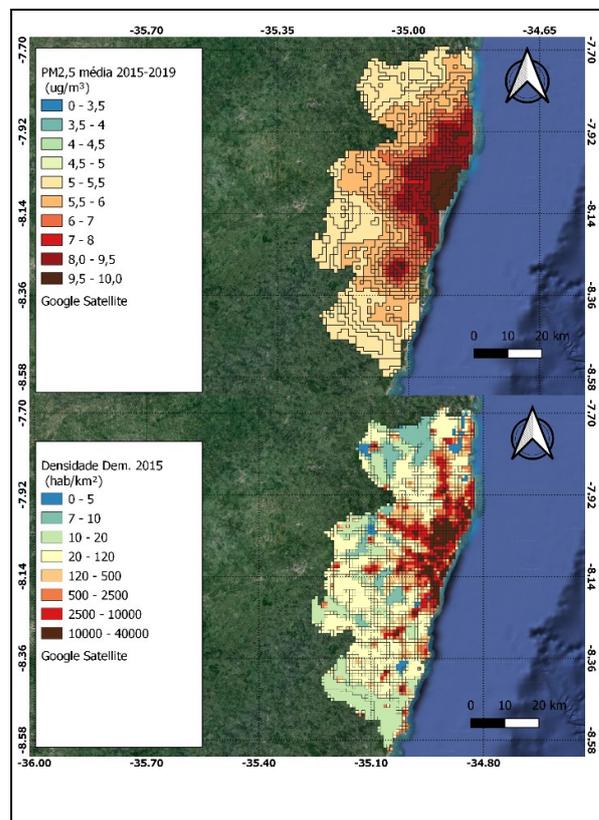
não foi ultrapassado nos locais, com exceção de uma pequena faixa de território da R.M. São Luís.

Figura 2. Média de MP2,5 estimado via sensoriamento e densidade demográfica da R. Metropolitana de Salvador



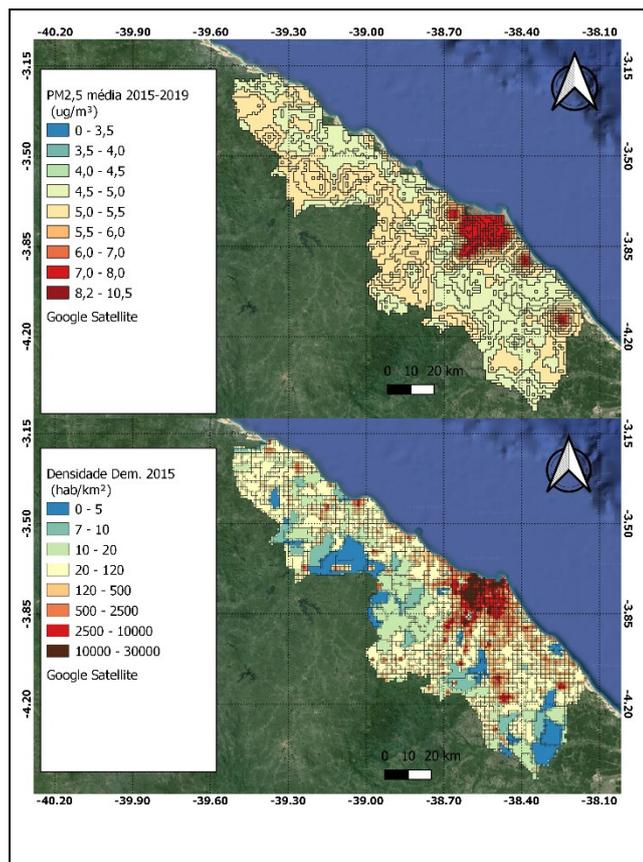
Fonte: Autor (2024)

Figura 3. Média de MP2,5 estimado via sensoriamento e densidade demográfica da R. Metropolitana de Recife



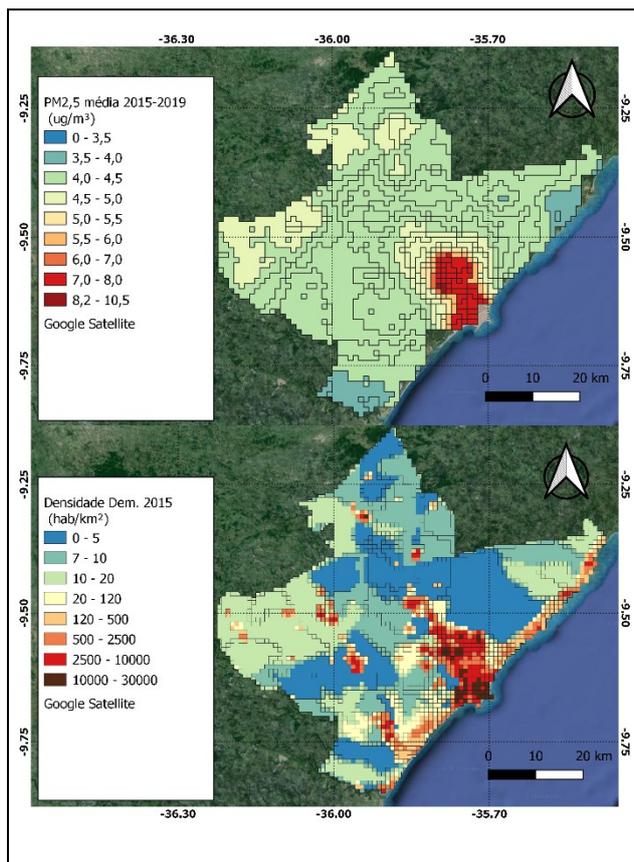
Fonte: Autor (2024)

Figura 4. Média de MP2,5 estimado via sensoriamento e densidade demográfica da R. Metropolitana de Fortaleza



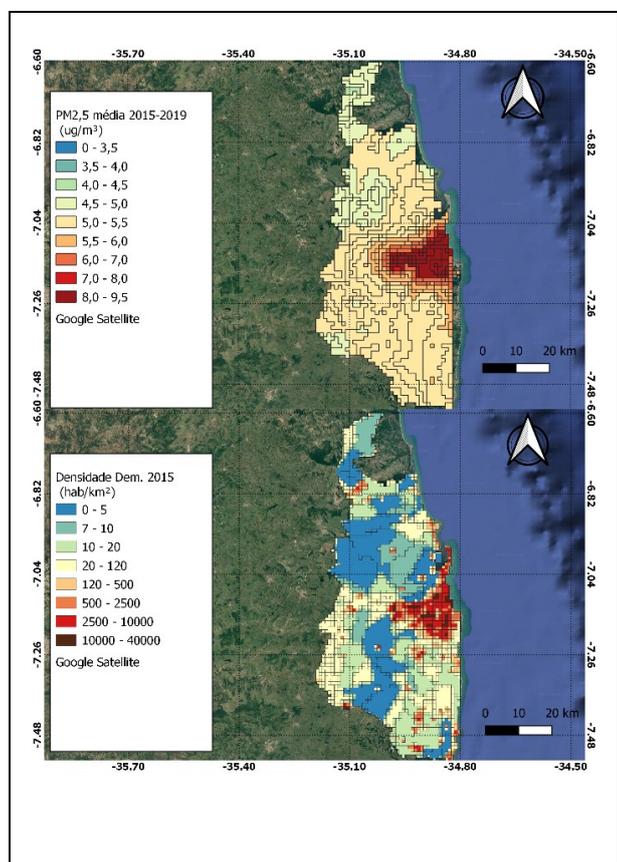
Fonte: Autor (2024)

Figura 6. Média de MP2,5 estimado via sensoriamento e densidade demográfica da R. Metropolitana de Maceió



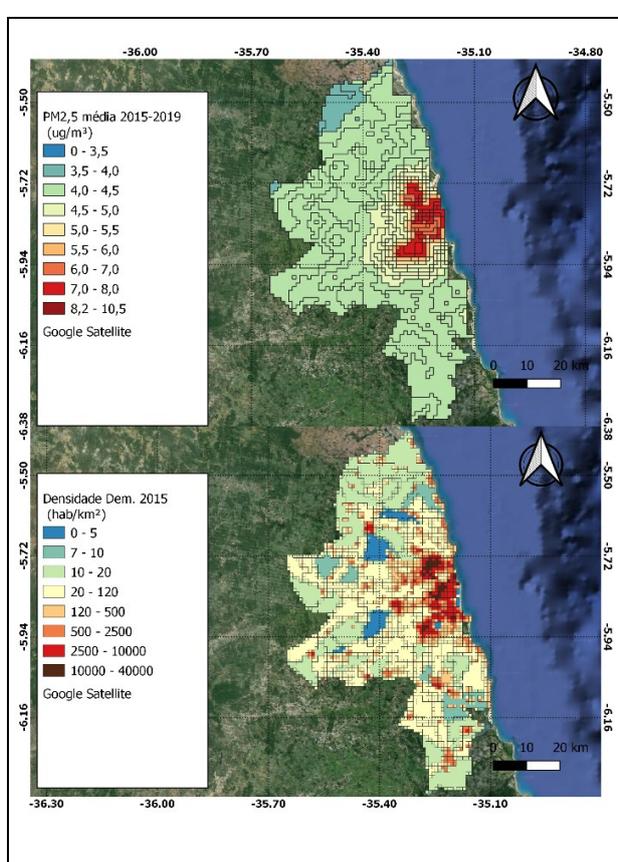
Fonte: Autor (2024)

Figura 5. Média de MP2,5 estimado via sensoriamento e densidade demográfica da R. Metropolitana de João Pessoa



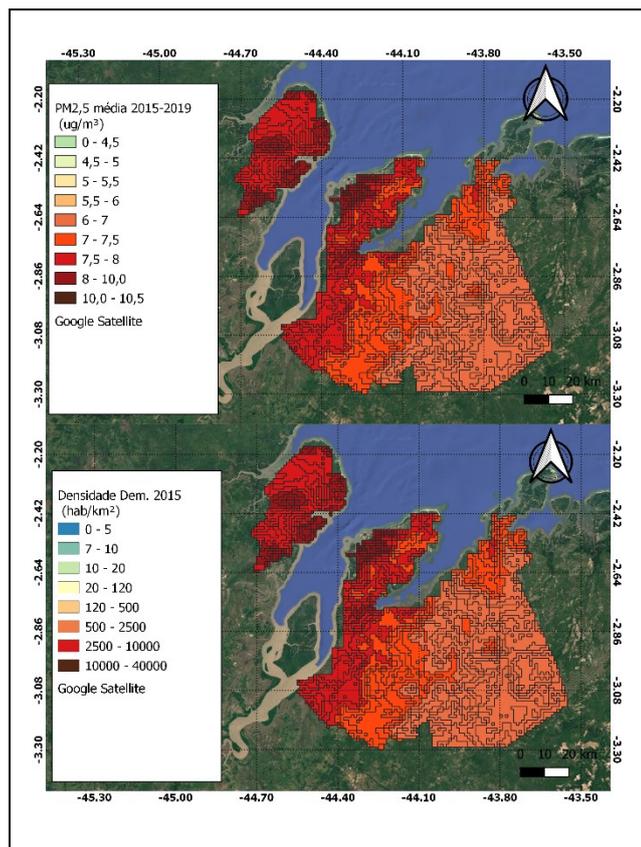
Fonte: Autor (2024)

Figura 7. Média de MP2,5 estimado via sensoriamento e densidade demográfica da R. Metropolitana de Natal



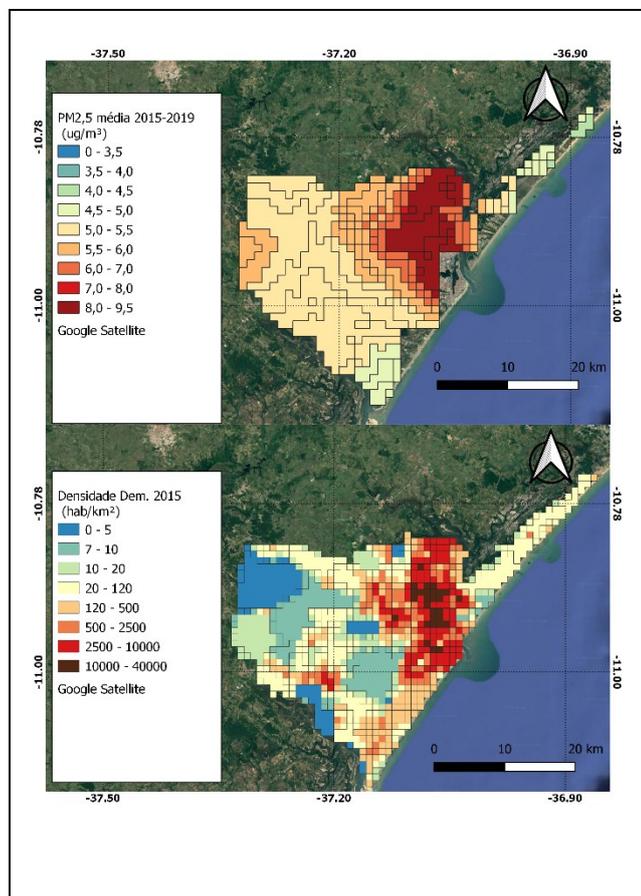
Fonte: Autor (2024)

Figura 8. Média de MP2,5 estimado via sensoriamento e densidade demográfica da R. Metropolitana de São Luís



Fonte: Autor (2024)

Figura 9. Média de MP2,5 estimado via sensoriamento e densidade demográfica da R. Metropolitana de Aracaju



Fonte: Autor (2024)

A Tabela 1 a seguir mostra a média de material particulado para cada R.M. com o número de observações averiguados juntamente com os coeficientes de determinação denotando o impacto da correlação das densidades demográficas no valor do material particulado. Pode-se averiguar um valor de R² moderado nas áreas de Recife, Fortaleza, Maceió, Natal e João Pessoa. Uma correlação fraca foi observada nas regiões de Salvador, Aracaju e São Luís. Importante colocar que os dados de material particulado da região de São Luís demonstram estar bastante aquém do valor real, podendo denotar algum tipo de superestimação nos dados de satélite dessa região. A média, de forma geral, demonstra que as regiões mais populosas (Salvador e Recife) tem concentrações médias de material particulado maior que as outras regiões.

Tabela 1. Dados da correlação espacial entre densidade e PM2,5

Variável ind.	Variável dep.	Região Metropolitana	Média da Variável dep.	D.P da Variável dep.	R ²	Número de observações
Densidade Demográfica	PM2,5	Salvador	6,158	1,333	0,255	4660
		Recife	6,779	1,554	0,409	4265
		Fortaleza	5,378	0,793	0,539	8495
		Maceió	4,925	1,108	0,447	2206
		Natal	4,880	0,936	0,430	3702
		João Pessoa	5,933	1,205	0,475	2664
		Aracaju	6,308	1,448	0,371	1217
		São Luís	7,506	0,641	0,250	6016

Fonte: Autor (2024)

Conclusão

O aumento das aglomerações, sobretudo em regiões metropolitanas, muda a dinâmica do espaço e do ambiente. Neste trabalho, através de dados secundários obtidos por sistemas de informação, correlacionou-se dados demográficos e de porcentagem de áreas verdes com a média anual de um parâmetro de qualidade do ar (material particulado 2,5µm).

Os mapas da média de material particulado e das densidades demográficas mostraram visualmente uma concentração maior desta variável, mensurando poluente, nas regiões mais próximas às capitais das Regiões Metropolitanas, locais de maiores contingentes populacionais e de veículos .

Com a avaliação dos dados, observou-se uma tendência de correlação moderada da variável densidade demográfica com a concentração de material particulado – com coeficientes de determinação variando entre 0,25 e 0,55 – demonstrando como o inchamento das regiões metropolitanas pode ter um grau relevante de relação com a dinâmica da qualidade do ar dos espaços geográficos, principalmente devido ao aumento da frota de veículos, do advento das regiões industriais, entre outras fontes de emissão de poluentes atmosféricos.

No caso específico da capital de São Luís, esta teve dados de material particulado mais altos nos dados de satélite coletados, sendo necessário confirmação dessas informações em estudos posteriores. Essa análise preliminar é um importante estudo para investigar como a mudança demográfica das cidades pode interferir nas variáveis ambientais do meio.

Espera-se outros estudos com dados atuais de variáveis de poluentes a fim de relacioná-los com novos dados de variáveis demográficas, a fim de entender como essa relação pode estar acontecendo com o passar do desenvolvimento dos municípios e regiões metropolitanas.

Por fim, a qualidade do ar deve ser encarada pela sociedade e esferas governamentais não apenas como uma questão política e social, mas uma questão de saúde pública. Não há solução permanente, mas deve haver atenção contínua para que os níveis de contaminantes no ar respirado pelos cidadãos nas cidades brasileiras sejam minimamente adequados a boa qualidade de vida e para que não gere desconforto ou riscos à saúde.

Agradecimentos

Agradeço à instituição de fomento à pesquisa Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo incentivo à pesquisa do autor.

Referências

ATLAS BRASIL. NOVA PLANILHA. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha>>. Acessado em 18 jan. 2024.

CAROZZI, Felipe; ROTH, Sefi. Dirty density: Air quality and the density of American cities. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 118, p. 102767, 2023.

CENTRO DE APLICAÇÕES E DADOS SÓCIO ECONÔMICOS (NASA). Global (GL) Annual PM2.5 Grids from MODIS, MISR and SeaWiFS Aerosol Optical Depth (AOD), v4.03 (1998–2019). Disponível em: <<https://sedac.ciesin.columbia.edu/data/set/sdei-global-annual-gwr-pm2-5-modis-misr-seawifs-aod-v4-gl-03>>. Acessado em 18 jan. 2024.

DA SILVA, Alexandre Fernando; VIEIRA, Carlos Alexandre. Aspectos da poluição atmosférica: uma reflexão sobre a qualidade do ar nas cidades brasileiras. **Ciência e Sustentabilidade**, v. 3, n. 1, p. 166-189, 2017.

ESCUCIATTO, Edson; DZIEDZIC, Maurício; VASCONCELOS, Eliane Carvalho. A influência da renovação da frota de veículos na qualidade do ar na região central de Curitiba. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)**, n. 42, p. 2-11, 2016.

JANHÁLL, Sara. Review on urban vegetation and particle air pollution—Deposition and dispersion. **Atmospheric environment**, v. 105, p. 130-137, 2015.

KRECL, Patricia et al. Characterisation and source apportionment of submicron particle number size distributions in a busy street canyon. **Aerosol and Air Quality Research**, v. 15, n. 1, p. 220-233, 2015.

MARTINS, Ana Paula Garcia et al. Infraestrutura verde para monitorar e minimizar os impactos da poluição atmosférica. **Estudos Avançados**, v. 35, p. 31-57, 2021.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. Frota de Veículos – 2015. Disponível em: <<https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/frota-de-veiculos-2015>>. Acessado em 18 jan. 2024.

Prática de regressão espacial. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/vitor_vasconcelos/prtica-de-regresso-espacial#1>. Acessado em 23 abr. 2024.

SILVA, Marta Luma Batista et al. Estimativa da qualidade do ar nas principais áreas metropolitanas de nordeste brasileiro. Dissertação – Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2021.