

# ***Racismo ambiental e saúde urbana: poluição, calor extremo e arborização nas Regiões Metropolitanas***

**Lucas Falcão<sup>1</sup>, Guilherme Cabrine<sup>2</sup>, Mariana Santos<sup>1</sup>, Maria Clara Capobianco<sup>1</sup>, Vinicius Peçanha<sup>1</sup>, Bruna Borges<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Instituto de Estudos para Políticas de Saúde (IEPS)

<sup>2</sup>Escola Brasileira de Economia e Finanças, Fundação Getúlio Vargas (EPGE/FGV)

## **Resumo**

Nesta Nota Técnica, analisamos como se dá a exposição a fatores ambientais adversos por raça/cor nas regiões metropolitanas brasileiras entre 2010 e 2022. Os principais achados são:

- As desigualdades raciais na exposição ambiental emergem ao comparar setores censitários dentro de cada região metropolitana, mas se atenuam em níveis mais desagregados. Esse padrão reflete a segregação espacial da população negra nas metrópoles brasileiras.
- Combinamos dados dos setores censitários dos Censos de 2010 e 2022 com informações de reanálise de satélite sobre poluição atmosférica, temperatura e cobertura vegetal, possibilitando análise granular da exposição ambiental.
- Comparando setores com população inteiramente preta versus inteiramente branca, há uma diferença média de exposição à poluição de  $3,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{2,5}$ , o que representa uma exposição 38,3% maior.
- Entre setores com população inteiramente preta e inteiramente branca, a diferença média é de cerca de 2 dias mensais com exposição a temperaturas elevadas – praticamente o dobro em termos relativos.
- Setores censitários com população inteiramente preta possuem, em média, 60 pontos percentuais a menos de cobertura vegetal densa em comparação aos setores com população inteiramente branca.

## **Introdução**

As mudanças climáticas aumentam os riscos ambientais, afetando desproporcionalmente populações vulneráveis e acentuando disparidades em saúde (WEF, 2024). A mortalidade por inundações, secas e tempestades é 15 vezes maior em países vulneráveis socioeconomicamente em comparação com aqueles de muito baixa vulnerabilidade (IPCC, 2023). Esta desigualdade não se limita à comparação entre países. Grupos vulneráveis dentro de um mesmo país também são mais afetados em relação ao restante da população, como nos EUA (Thamman et al., 2025) e Brasil (Da Silva e Requia, 2025; Da Rocha et al., 2018). Esta discriminação sistemática com base em fatores ambientais é conhecida como racismo ambiental (Holifield, 2001).

No Brasil, a escravidão somada à ausência de políticas de reparação levou à periferização da população negra, que passou a ocupar predominantemente

áreas mais afastadas dos centros urbanos ou regiões de risco, como encostas de morros e margens de rios (Reis Filho, 2006; Panta, 2019). As desigualdades de exposição a fenômenos ambientais nocivos estão associadas a esta distribuição espacial desigual da população negra (Beard et al., 2024; Northridge et al., 2003). Entretanto, o padrão de segregação territorial varia entre contextos, o que implica que as desigualdades raciais podem emergir em determinados níveis geográficos de comparação, mas não em outros. Nos EUA, por exemplo, a população negra concentra-se nos centros das cidades, áreas com maior poluição atmosférica (Wang et al., 2023). Quando reside em subúrbios, tende a ocupar aqueles próximos a zonas industriais (Pais, Crowder e Downey, 2014). No Brasil, onde o padrão de segregação é distinto, com concentração da população negra em municípios periféricos das regiões metropolitanas, torna-se fundamental investigar em quais níveis geográficos as desigualdades raciais na exposição a fatores ambientais



adversos se manifestam.

Nesta nota técnica exploramos como a raça/cor está associada a diferentes níveis de exposição à poluição atmosférica, temperaturas extremas e cobertura vegetal nas regiões metropolitanas brasileiras. O foco central reside na identificação do nível de comparação geográfica em que emergem as desigualdades: se no âmbito da região metropolitana ou em níveis mais desagregados, como município e bairro. Embora sejam fenômenos de escala ampla, estas dimensões ambientais manifestam-se de forma acentuada em regiões metropolitanas devido à concentração populacional e, conseqüentemente, maior poluição atmosférica, formação de ilhas de calor e necessidade de áreas verdes para mitigar impactos negativos sobre a saúde.

Para tanto, construímos um painel mensal entre 2010 e 2022 em nível de setor censitário, contendo a composição racial com base nos Censos Demográficos de 2010 e 2022 das regiões metropolitanas brasileiras. Comparamos as proporções de população preta e parda em relação à branca, investigando a possível acentuação das desigualdades conforme o tom de pele (Aguilar-Gomez, Cardenas e Salas Diaz, 2025). As medidas de exposição são oriundas de dados de reanálise de satélite, produtos que combinam informações de múltiplos sensores e calibrações estatísticas para gerar estimativas contínuas de variáveis ambientais. Utilizamos dados de concentração média mensal de  $PM_{2,5}$  (material particulado fino com diâmetro inferior a 2,5 micrômetros), temperatura diária próxima à superfície e índice de vegetação normalizada (NDVI) para cobertura vegetal, todos com resolução espacial de aproximadamente 1 km<sup>2</sup>. Essa abordagem supre a ausência de estações terrestres de monitoramento e permite capturar variações ambientais intraurbanas de forma granular.

Os resultados indicam desigualdades raciais substanciais na exposição a fatores ambientais adversos quando comparamos setores censitários dentro de cada região metropolitana. Especificamente, setores com população inteiramente preta apresentam concentração de material particulado fino  $PM_{2,5}$  38,3% superior (diferença de  $3,6 \mu g/m^3$ ) em relação àqueles com população inteiramente branca. Quanto à exposição a temperaturas médias extremas (acima de 29°C), a diferença é de aproximadamente 2 dias mensais, praticamente o dobro em termos relativos. Esta disparidade no calor extremo é parcialmente explicada pela menor cobertura arbórea: setores com população inteiramente preta possuem 60

pontos percentuais a menos de vegetação densa. Importante notar que estas desigualdades se atenuam em níveis espaciais mais desagregados (município e bairro), refletindo o padrão de segregação geográfica nas metrópoles brasileiras, onde a população preta concentra-se em municípios periféricos.

As três dimensões analisadas possuem consequências graves à saúde. O material particulado fino é capaz de ultrapassar a membrana pulmonar, causando problemas nos sistemas respiratório, cardiovascular e neurológico que resultam em mortes prematuras (Hao et al., 2023; Thangavel, Park e Lee, 2022). Temperaturas extremas podem levar não apenas a hipertermia e desidratação, mas também agravar doenças crônicas como asma, enfermidades cardiovasculares e renais, provocando mortes prematuras ao comprometer o funcionamento adequado de diferentes órgãos (Xu et al., 2025). Já a cobertura arbórea, além de atenuar temperaturas elevadas, está associada à melhora da saúde mental e bem-estar, reduzindo a prevalência de doenças crônicas (Gianfredi et al., 2021).

## Dados e Metodologia

Construímos um painel mensal de áreas mínimas de comparação (AMCs) de setores censitários entre 2010 e 2022, restrito às 75 regiões metropolitanas brasileiras identificadas pelo IBGE.<sup>1</sup> Para compatibilizar as malhas censitárias de 2010 e 2022, criamos AMCs aglutinando setores que sofreram desmembramento ou agregação, baseando-nos no Histórico de Formação dos Setores Censitários do IBGE.<sup>2</sup> Para simplificar, usaremos o termo *setor censitário* como sinônimo de *AMC*. Os dados de população por raça/cor e renda média foram reagregados nos respectivos setores e interpolados linearmente entre 2010 e 2022.

Para caracterizar áreas com diferentes níveis de exposição, utilizamos dados socioeconômicos do Censo 2022:<sup>3</sup> proporção de população preta e parda, renda média, proporção de mulheres responsáveis por domicílios, acesso à rede de esgoto, coleta de lixo, e proporções de pessoas entre 0-14 anos e com 60+ anos.

Os fatores ambientais provêm de dados de satélite de produtos de reanálise, que integram múltiplos sensores e calibrações estatísticas. Essa abordagem oferece maior cobertura espacial, preenchimento de valores ausentes e consistência metodológica para

<sup>1</sup>Disponível em: [IBGE - Recortes Metropolitanos](#).

<sup>2</sup>Disponível neste site. Acessado em 02/07/2025.

<sup>3</sup>Não utilizamos dados de 2010 devido à incompatibilidade dos questionários entre os dois censos.



todo o território nacional. A alta resolução espacial ( $0,01^\circ \times 0,01^\circ$ , aproximadamente  $1 \text{ km}^2$ ) permite capturar variações em níveis granulares, adequados para estudos de desigualdades intraurbanas. Para poluição do ar, utilizamos estimativas de concentração média mensal de  $PM_{2,5}$  (Shen et al., 2024). Para temperaturas extremas, obtivemos dados diários de temperatura próxima à superfície (Zhang et al., 2022), definindo como temperatura extrema os dias mensais em que a temperatura está acima do percentil 95, equivalente à  $29^\circ\text{C}$ . A cobertura vegetal foi mensurada via índice de vegetação normalizada (MODIS, MOD13A2),<sup>4</sup> computando a proporção de pixels entre 0,6 e 1, valores correspondentes à vegetação densa (NASA Earth Observatory, 2020).

Estimamos três especificações de regressão linear com efeitos fixos, variando o nível de controle espacial (região metropolitana, município ou bairro). A equação está no apêndice metodológico. Comparamos setores com diferentes composições raciais dentro de uma mesma unidade geográfica para identificar em qual nível emergem as desigualdades na exposição ambiental entre populações preta e parda em relação à branca. Os coeficientes estimados indicam quantas unidades adicionais do fator ambiental estão associadas ao aumento de um ponto percentual na proporção de população preta, mantendo constantes renda e características fixas da unidade de comparação.

Por último, regredimos a média temporal (2010-2022) das variáveis ambientais contra características socioeconômicas do Censo 2022 para comparar a magnitude do efeito da composição racial com outros fatores e compreender como a exposição se relaciona com múltiplas dimensões da desigualdade urbana.

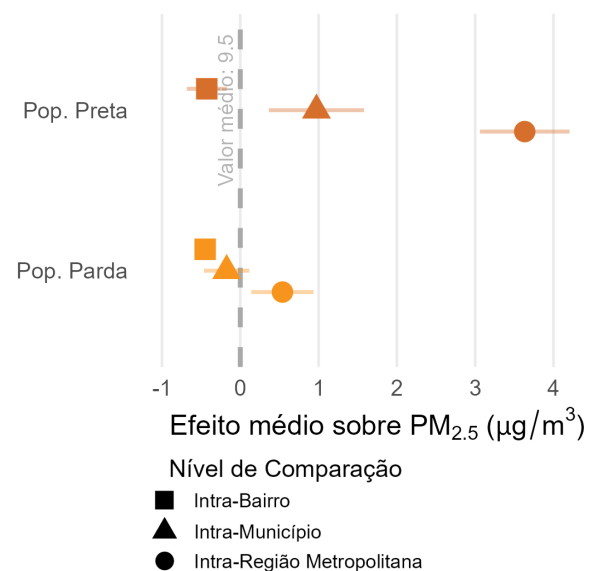
## Resultados

Antes de apresentar os resultados das análises econométricas, é útil visualizar os padrões espaciais das variáveis de interesse. No apêndice, apresentamos mapas para as principais regiões metropolitanas de cada região do país (com base na quantidade de habitantes, são elas Belém, Fortaleza, Brasília, São Paulo e Porto Alegre) mostrando a distribuição espacial da média temporal (2010-2022) da proporção de população preta (Figura A1), proporção de população negra (soma da população parda e preta, Figura A2), concentração de  $PM_{2,5}$  (Figura A3), temperatura média (Figura A4) e proporção de área com vegetação

densa (Figura A5). Os mapas revelam variações internas consideráveis nestas regiões metropolitanas, tanto na distribuição racial quanto nos fatores ambientais analisados. Entretanto, a identificação de padrões sistemáticos de associação entre composição racial e exposição ambiental requer o uso de métodos econométricos que controlem por características observáveis e não observáveis dos setores censitários, conforme descrito na seção de dados e métodos.

A Figura 1 evidencia desigualdade racial na exposição ao material particulado fino,  $PM_{2,5}$ . Em nível metropolitano, setores com maior proporção de população preta apresentam concentrações médias mensais significativamente mais elevadas de  $PM_{2,5}$ . Um setor com população inteiramente preta teria, em média, concentração de  $3,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  superior em relação a um setor com população inteiramente branca, um aumento de 38% em relação à média de  $9,48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Considerando o valor de referência anual da OMS de  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , um setor com população inteiramente preta ultrapassaria este limite em 2,6 vezes, enquanto um setor com população inteiramente branca o excederia em 1,9 vezes, resultando em uma diferença de 72 pontos percentuais.

**Figura 1. Efeito da Composição Racial na Média de  $PM_{2,5}$**



Fonte: Censos Demográficos 2010 e 2022; estimativas de  $PM_{2,5}$  de Shen et al. (2024). Nota: Coeficientes estimados em regressão linear com efeitos fixos de tempo e unidade geográfica (região metropolitana, município e bairro). Mostra o efeito médio da proporção de população preta ou parda sobre a concentração mensal de material particulado fino ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Ao comparar setores dentro de um mesmo município, o efeito se reduz para aproximadamente

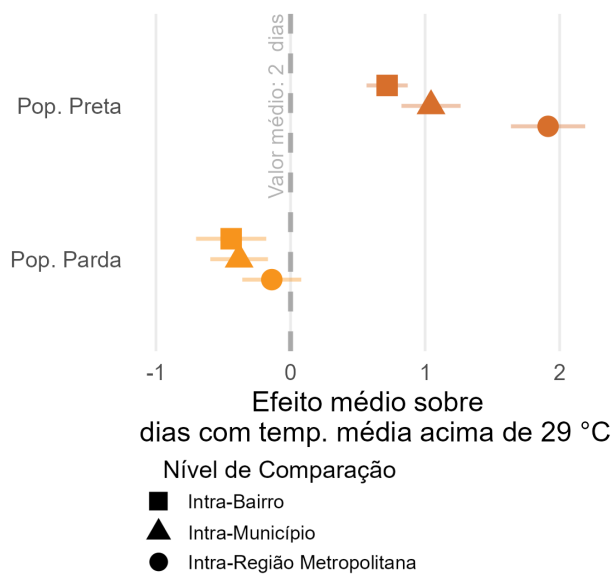
<sup>4</sup>A base possui observações até 2020.



0,97 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (cerca de 10% de aumento) e deixa de ser estatisticamente significativa para a população parda. Já ao controlar por diferenças entre bairros, a associação se inverte e os coeficientes tornam-se próximos de zero e não significantes.

A Figura 2 mostra que uma maior presença de população preta em um setor censitário está associada a um maior número de dias com temperatura média acima de 29°C. Na especificação a nível metropolitano, um setor 100% preto em comparação a um setor 100% branco estaria associado a 1,91 dias a mais por mês com temperaturas maiores que 29°C em relação à média. Quando comparamos apenas dentro do mesmo município, a magnitude cai para 1,04 dias a mais. Ao eliminar diferenças médias entre bairros, o efeito permanece positivo e significativo, cerca de 0,72 dias com temperaturas extremas.

**Figura 2. Efeito da Composição Racial em Temperaturas Extremas**

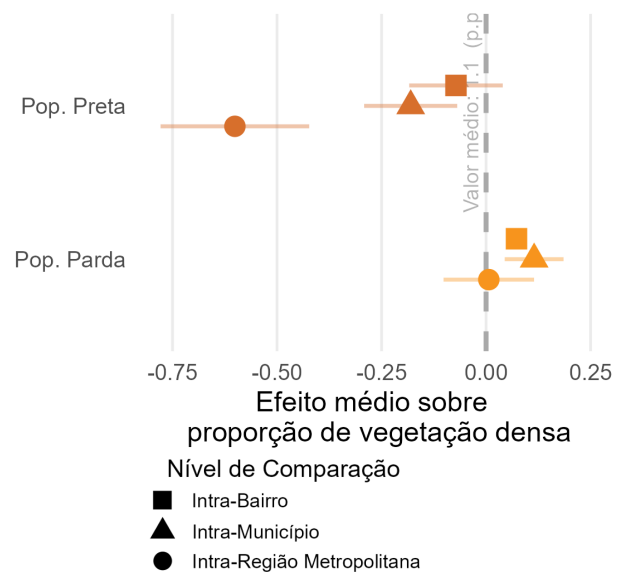


Fonte: Censos Demográficos 2010 e 2022; temperatura média diária de Zhang et al. (2022). Nota: Coeficientes estimados em regressão linear com efeitos fixos de tempo e unidade geográfica (região metropolitana, município e bairro). Mostra o efeito médio da proporção de população preta ou parda sobre o número médio de dias mensais com temperatura acima de 29°C.

A Figura 3 reforça esse padrão de desigualdade ambiental, mostrando que as disparidades raciais na cobertura vegetal ocorrem no nível metropolitano. Setores com população inteiramente preta apresentam proporção de vegetação densa 60 pontos percentuais inferior em relação a setores com população inteiramente branca. Essa ausência de vegetação está diretamente relacionada às temperaturas elevadas observadas anteriormente: um setor totalmente co-

berto por vegetação densa está associado a uma redução média de 0,3 dias com temperaturas extremas no mês e temperatura média mensal 0,5°C inferior.<sup>5</sup> Mesmo ao controlar por diferenças entre municípios, os efeitos de menor vegetação e maior exposição ao calor permanecem significativos, indicando que a segregação racial no espaço urbano está associada tanto à escassez de áreas verdes quanto à intensificação de ilhas de calor.

**Figura 3. Efeito da Composição Racial na Exposição a Vegetação**



Fonte: Censos Demográficos 2010 e 2022; MODIS-MOD13A2. Nota: Coeficientes estimados em regressão linear com efeitos fixos de tempo e unidade geográfica (região metropolitana, município e bairro). Mostra o efeito médio da proporção de população preta ou parda sobre a proporção de área com vegetação densa (NDVI entre 0,6 e 1).

Para contextualizar as desigualdades raciais em relação a outras dimensões de vulnerabilidade social e compreender como múltiplas características socioeconômicas se relacionam simultaneamente com a exposição ambiental, estimamos regressões *cross-section* utilizando a média temporal (2010-2022) das variáveis ambientais e características dos setores censitários do Censo 2022. Esta análise permite comparar a magnitude da associação entre composição racial e exposição ambiental com outros fatores socioeconômicos.

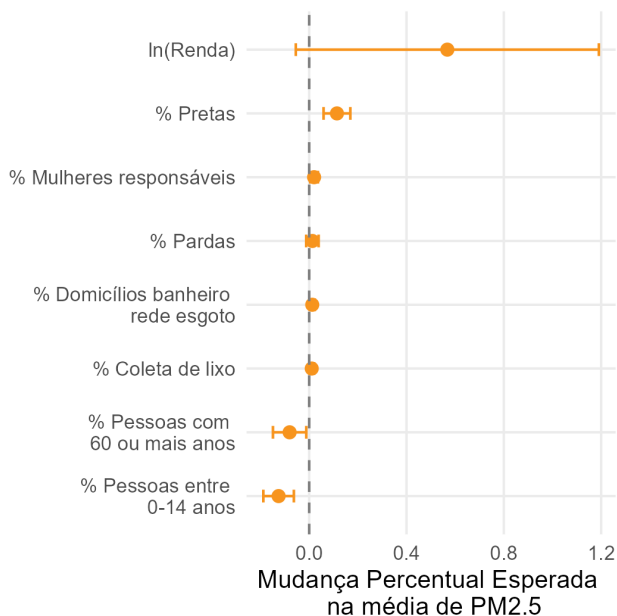
A Figura 4 apresenta os coeficientes padronizados em termos de mudança percentual esperada na con-

<sup>5</sup>Estas estimativas derivam de regressão linear com variável dependente sendo dias mensais com temperatura acima de 29°C (ou temperatura média mensal) e variável explicativa a proporção da área do setor com vegetação densa, controlando por efeitos fixos de tempo e região metropolitana.



centração média de  $PM_{2,5}$ . A proporção de população preta apresenta o maior efeito positivo e estatisticamente significativo (0,11), indicando que setores com um ponto percentual adicional de população preta registram concentrações 0,11% mais elevadas de  $PM_{2,5}$ . A associação positiva com proporção de mulheres responsáveis por domicílios (0,02) reforça a concentração de grupos vulneráveis em áreas de pior qualidade do ar. Variáveis de infraestrutura urbana – esgotamento sanitário (0,01) e coleta de lixo (0,01) – também se associam positivamente à poluição, sugerindo que áreas mais densamente urbanizadas concentram maiores emissões. Em contraste, maior proporção de crianças e idosos apresenta relação negativa (-0,13 e -0,08, respectivamente), possivelmente refletindo localização em áreas menos centrais. Esses resultados evidenciam mecanismos estruturais de desigualdade ambiental, como segregação residencial e maior proximidade de bairros com maioria preta a fontes poluidoras.

**Figura 4. Efeito das Características Socioeconômicas Sobre a Exposição a  $PM_{2,5}$**

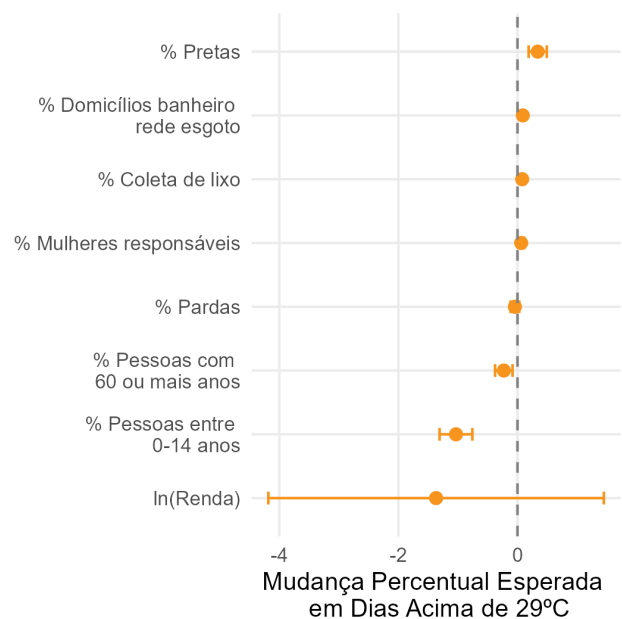


Fonte: Censo Demográfico 2022; estimativas de  $PM_{2,5}$  de Shen et al. (2024). Nota: Coeficientes padronizados de regressão *cross-section* (2010–2022) mostrando a variação percentual esperada da concentração média de  $PM_{2,5}$  segundo variáveis socioeconômicas (renda, raça/cor, sexo da pessoa responsável, infraestrutura e faixa etária).

A Figura 5 reforça os padrões de desigualdade espacial na exposição a dias de calor extremo. A proporção de população preta exibe coeficiente positivo expressivo (0,34), indicando que setores com maior presença desse grupo populacional estão associados a maior frequência de dias acima de  $29^{\circ}C$ ,

consistente com residência em áreas mais urbanizadas e vulneráveis às ilhas de calor. O acesso à rede de esgoto (0,09) também se associa positivamente ao calor extremo, refletindo consolidação urbana em regiões mais impermeabilizadas. Em contraste, maior proporção de crianças (0–14 anos) e idosos (60+ anos) apresenta coeficientes negativos (-1,03 e -0,23, respectivamente), sugerindo menor exposição ao calor, possivelmente devido à localização em áreas periféricas menos densas.

**Figura 5. Efeito das Características Socioeconômicas Sobre a Exposição a Dias com Temperatura Extrema**

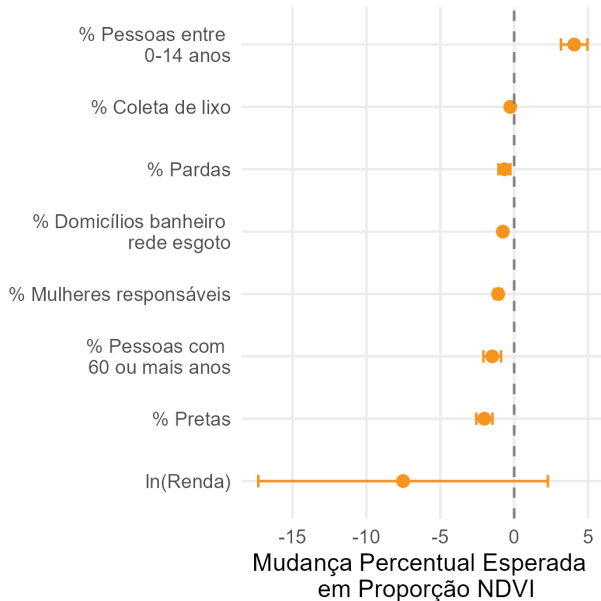


Fonte: Censo Demográfico 2022; temperatura de Zhang et al. (2022). Nota: Coeficientes padronizados de regressão *cross-section* relacionando características socioeconômicas à frequência de dias com temperatura média acima de  $29^{\circ}C$ .

Essa disparidade é acentuada ao observar a cobertura vegetal, apresentada na Figura 6. A proporção de população preta é negativamente associada à vegetação densa (-2,01), indicando que um aumento de 1 p.p. nesse grupo correlaciona-se com redução de 2,01% na cobertura vegetal. A proporção de população parda (-0,66) e o acesso à rede de esgoto (-0,77) também apresentam relações negativas, reforçando o padrão de urbanização intensiva e escassez de áreas verdes em regiões consolidadas. Em contraste, a proporção de pessoas entre 0–14 anos (4,06) apresenta coeficiente positivo expressivo, sugerindo que áreas com maior concentração de crianças possuem maior cobertura vegetal, possivelmente refletindo localização em bairros residenciais de menor densidade.



**Figura 6. Efeito das Características Socioeconômicas Sobre a Exposição a Vegetação Densa**



Fonte: Censo Demográfico 2022; MODIS-MOD13A2. Nota: Coeficientes padronizados de regressão *cross-section* relacionando variáveis socioeconômicas à proporção de área com vegetação densa.

## Conclusão

Esta Nota Técnica analisou as desigualdades raciais na exposição a fatores ambientais adversos nas regiões metropolitanas brasileiras entre 2010 e 2022. Os resultados evidenciam padrões sistemáticos de racismo ambiental que expõem a população preta a condições ambientais significativamente mais nocivas em comparação à população branca.

Setores censitários com população inteiramente preta apresentam concentração de material particulado fino ( $PM_{2,5}$ ) 38,3% superior, aproximadamente 2 dias mensais adicionais com temperaturas acima de 29°C (praticamente o dobro), e 60 pontos percentuais a menos de cobertura vegetal densa em comparação a setores com população inteiramente branca. As desigualdades são menos intensas quando comparamos a população parda com a população branca, expondo que as disparidades acentuam-se com o tom da pele (Aguilar-Gomez, Cardenas e Salas Diaz, 2025). Essas disparidades emergem especialmente ao comparar setores dentro de regiões metropolitanas, refletindo o padrão histórico de segregação espacial que concentra a população negra em municípios periféricos das metrópoles brasileiras.

A população preta está simultaneamente mais ex-

posta à poluição atmosférica (que causa doenças respiratórias, cardiovasculares e neurológicas), a temperaturas extremas (que agravam doenças crônicas e levam a mortes prematuras), e à ausência de áreas verdes (que poderiam mitigar esses impactos). Esses fatores ambientais adversos somam-se às vulnerabilidades socioeconômicas estruturais que afetam a população negra brasileira, criando um quadro de profunda desigualdade em saúde e qualidade de vida (Morello-Frosch et al., 2011).

Os resultados apontam para a necessidade de políticas públicas que enfrentem o racismo ambiental de forma estrutural e integrada. Em consonância com a *Declaração de Belém sobre o Combate ao Racismo Ambiental* (2023), que reconhece que “populações negras, indígenas e comunidades tradicionais são desproporcionalmente afetadas por impactos ambientais negativos”, as evidências aqui apresentadas reforçam a necessidade de ações concretas e territorializadas. Especificamente no contexto do SUS, a COP30 levou o governo brasileiro a elaborar o *Plano de Ação de Belém para a Adaptação do Setor da Saúde às Mudanças Climáticas*, que também menciona a justiça climática.

A complexidade das desigualdades identificadas demanda programas que integrem questões ambientais e sociais, utilizando abordagens territorializadas e participativas (Mashhoodi, 2021; Da Silva e Requia, 2025). É fundamental envolver as populações afetadas no monitoramento, diagnóstico e planejamento das ações (Hsu et al., 2021; Bressane, Loureiro e Negri, 2024). Nesse sentido, destaca-se a necessidade de expandir a rede de estações de monitoramento nas regiões metropolitanas, facilitando, por exemplo, a emissão de alertas via celular por meio do programa Defesa Civil Alerta para sinalizar eventos extremos.

O planejamento urbano voltado ao aumento da cobertura vegetal emerge como estratégia central para mitigar ilhas de calor. Recomenda-se a implementação de áreas verdes em zonas com maiores disparidades sociais, acompanhadas de mecanismos que evitem a gentrificação verde – processo que desloca justamente os residentes que as políticas visam proteger (Hsu et al., 2021; Da Silva e Requia, 2025; Bressane, Loureiro e Negri, 2024).

No âmbito da saúde, é essencial fortalecer a atenção primária e integrar ao SUS a discussão sobre impactos de ondas de calor e poluição atmosférica (Monteiro Dos Santos et al., 2024). Essa preparação deve focar nos grupos mais vulneráveis, com desenvol-



vimento de sistemas de alerta precoce e planos de adaptação regionalmente específicos, além de melhorar a vigilância em saúde para subsidiar o gerenciamento de risco (Monteiro Dos Santos et al., 2024).

Em síntese, os achados demonstram que o racismo ambiental no Brasil resulta de padrões sistemáticos de segregação espacial que concentram populações negras em áreas ambientalmente degradadas. Enfrentar essa realidade exige reconhecimento político do problema, compromisso com políticas territorializadas e participativas, e alocação de recursos que priorizem as populações historicamente marginalizadas. Somente com ações integradas e estruturais será possível avançar em direção à justiça ambiental e reduzir as profundas desigualdades na exposição a riscos climáticos e ambientais que afetam a população negra brasileira.

### Agradecimentos

Agradecemos a Rudi Rocha, Julia Guerra, Frederica Padilha e Lívia Almeida pelas sugestões e comentários e a Helena Ciorra pelo apoio na edição deste documento.

### Referências

- Aguilar-Gomez, Sandra, Juan Camilo Cardenas e Ricardo Salas Diaz. 2025. “Environmental Justice beyond Race: Skin Tone and Exposure to Air Pollution”. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 122, n. 10 (março): e2407064122. Acesso em 9 de novembro de 2025.
- Beard, Sharon et al. 2024. “Racism as a Public Health Issue in Environmental Health Disparities and Environmental Justice: Working toward Solutions”. *Environmental Health* 23, n. 1 (janeiro): 8. Acesso em 6 de novembro de 2025.
- Bressane, Adriano, Anna Isabel Silva Loureiro e Rogério Galante Negri. 2024. “Environmental Racism in the Accessibility of Urban Green Space: A Case Study of a Metropolitan Area in an Emerging Economy”. *Urban Science* 8, n. 4 (novembro): 224. Acesso em 10 de novembro de 2025.
- Da Rocha, Diogo Ferreira, Marcelo Firpo Porto, Tania Pacheco e Jean Pierre Leroy. 2018. “The Map of Conflicts Related to Environmental Injustice and Health in Brazil”. *Sustainability Science* 13, n. 3 (maio): 709–719.
- Da Silva, Hosana Gomes e Weeberb J. Requia. 2025. “Racial and Economic Disparities in High-Temperature Exposure in Brazil”. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 22, n. 2 (janeiro): 200. Acesso em 6 de novembro de 2025.
- Gianfredi, Vincenza et al. 2021. “Association between Urban Greenspace and Health: A Systematic Review of Literature”. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18, n. 10 (maio): 5137. Acesso em 7 de novembro de 2025.
- Hao, Hua et al. 2023. “National Cohort Study of Long-Term Exposure to PM<sub>2.5</sub> Components and Mortality in Medicare American Older Adults”. *Environmental Science & Technology* 57, n. 17 (maio): 6835–6843. Acesso em 6 de novembro de 2025.
- Holifield, Ryan. 2001. “Defining Environmental Justice and Environmental Racism”. *Urban Geography* 22, n. 1 (fevereiro): 78–90. Acesso em 6 de novembro de 2025.
- Hsu, Angel, Glenn Sheriff, Tirthankar Chakraborty e Diego Manya. 2021. “Disproportionate Exposure to Urban Heat Island Intensity across Major US Cities”. *Nature Communications* 12, n. 1 (maio): 2721. Acesso em 10 de novembro de 2025.
- Intergovernmental Panel On Climate Change. 2023. *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 1ª ed. Cambridge University Press, junho. Acesso em 6 de novembro de 2025.
- Mashhoodi, Bardia. 2021. “Environmental Justice and Surface Temperature: Income, Ethnic, Gender, and Age Inequalities”. *Sustainable Cities and Society* 68 (maio): 102810. Acesso em 3 de novembro de 2025.
- Monteiro Dos Santos, Djacinto et al. 2024. “Twenty-First-Century Demographic and Social Inequalities of Heat-Related Deaths in Brazilian Urban Areas”. *PLOS ONE* 19, n. 1 (janeiro): e0295766. Acesso em 10 de novembro de 2025.
- Morello-Frosch, Rachel, Miriam Zuk, Michael Jerrett, Bhavna Shamasunder e Amy D. Kyle. 2011. “Understanding The Cumulative Impacts Of Inequalities In Environmental Health: Implications For Policy”. *Health Affairs* 30, n. 5 (maio): 879–887. Acesso em 3 de novembro de 2025.



- NASA Earth Observatory. 2020. “Measuring Vegetation (NDVI & EVI)”. Accessed: 20 Jun. 2024. <https://science.nasa.gov/earth/earth-observatory/measuring-vegetation-ndvi-evi/>.
- Northridge, Mary E., Gabriel N. Stover, Joyce E. Rosenthal e Donna Sherard. 2003. “Environmental Equity and Health: Understanding Complexity and Moving Forward”. *American Journal of Public Health* 93, n. 2 (fevereiro): 209–214. Acesso em 6 de novembro de 2025.
- Organização Mundial da Saúde. 2021. *WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide*. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. Geneva: World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>.
- Pais, J., K. Crowder e L. Downey. 2014. “Unequal Trajectories: Racial and Class Differences in Residential Exposure to Industrial Hazard”. *Social Forces* 92, n. 3 (março): 1189–1215. Acesso em 3 de novembro de 2025.
- Panta, M. 2019. “População negra e o direito à cidade: interfaces sobre raça e espaço urbano no Brasil”. Acesso em: 20 jun. 2024, *Acervo* 33 (1): 79–100. <https://revista.arquivonacional.gov.br/index.php/revistaacervo/article/view/1521>.
- Reis Filho, Nestor Goulart. 2006. *Notas sobre urbanização dispersa e novas formas de tecido urbano*. Via das Arte.
- Shen, Siyuan et al. 2024. “Enhancing Global Estimation of Fine Particulate Matter Concentrations by Including Geophysical *a Priori* Information in Deep Learning”. *ACS ES&T Air* 1, n. 5 (maio): 332–345. Acesso em 7 de novembro de 2025.
- Thamman, Ritu, Samar A. Nasser, Keith C. Ferdinand, Sadeer Al-Kindi e Eric Brandt. 2025. “Exposing Inequality”. *JACC: Advances* 4, n. 7 (julho): 101875. Acesso em 6 de novembro de 2025.
- Thangavel, Prakash, Duckshin Park e Young-Chul Lee. 2022. “Recent Insights into Particulate Matter (PM<sub>2.5</sub>)-Mediated Toxicity in Humans: An Overview”. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19, n. 12 (junho): 7511. Acesso em 6 de novembro de 2025.
- Wang, Yifan et al. 2023. “Disparities in Ambient Nitrogen Dioxide Pollution in the United States”. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 120, n. 16 (abril): e2208450120. Acesso em 6 de novembro de 2025.
- World Economic Forum. 2024. *Quantifying the Impact of Climate Change on Human Health*. Insight Report. In collaboration with Oliver Wyman. Geneva, Switzerland: World Economic Forum, janeiro. <https://www.weforum.org>.
- Xu, Jiayu et al. 2025. “Effects of Extreme Heat on Physiology, Morbidity, and Mortality under Climate Change: Mechanisms and Clinical Implications”. *BMJ* 391 (outubro): e084675. Acesso em 7 de novembro de 2025.
- Zhang, T., Y. Zhou, K. Zhao, Z. Zhu, G. Chen, J. Hu e L. Wang. 2022. “A global dataset of daily maximum and minimum near-surface air temperature at 1 km resolution over land (2003–2020)”. *Earth System Science Data* 14 (12): 5637–5649. <https://essd.copernicus.org/articles/14/5637/2022/>.

---

### Instituto de Estudos para Políticas de Saúde

Falcão, L., Cabrine, G., Santos, M., Capobianco, M. C., Peçanha, V., Borges, B. (2025). *Racismo ambiental e saúde urbana: poluição, calor extremo e arborização nas Regiões Metropolitanas*. Nota Técnica n. 42. São Paulo: Instituto de Estudos para Políticas de Saúde.

[www.ieps.org.br](http://www.ieps.org.br)  
[contato@ieps.org.br](mailto:contato@ieps.org.br)



## Apêndice

### Modelos Econométricos

A equação estimada é:

$$Y_{it} = \beta_1 \text{Preta}_{it} + \beta_2 \text{Parda}_{it} + \beta_3 \ln(\text{Renda}_{it}) + \alpha_g + \delta_t + \epsilon_{it} \quad (1)$$

onde  $Y_{it}$  representa a variável ambiental de interesse no setor censitário  $i$  no mês  $t$ ;  $\text{Preta}_{it}$  e  $\text{Parda}_{it}$  são as proporções de população preta e parda, respectivamente;  $\ln(\text{Renda}_{it})$  é o logaritmo da renda média domiciliar;  $\alpha_g$  são efeitos fixos geográficos que variam entre as especificações (região metropolitana, município ou bairro); e  $\delta_t$  são efeitos fixos de mês-ano que controlam as tendências temporais comuns. Os coeficientes  $\beta_1$  e  $\beta_2$  capturam as diferenças na exposição a fatores ambientais associadas à composição racial, mantendo constantes a renda e as características não observadas da unidade geográfica de comparação.

Para compreender a relação com as demais características socioeconômicas, estimamos o seguinte modelo para cada variável ambiental:

$$\bar{Y}_i = \beta_0 + \beta_1 \text{Preta}_i + \beta_2 \text{Parda}_i + \beta_3 \ln(\text{Renda}_i) + \beta_4 \text{Mulher\_Resp}_i + \beta_5 \text{Esgoto}_i + \beta_6 \text{Lixo}_i + \beta_7 \text{Pop\_60+}_i + \beta_8 \text{Pop\_0-14}_i + \epsilon_i \quad (2)$$

onde as variáveis explicativas são provenientes do Censo 2022 e definidas como:

- $\bar{Y}_i$ : média da variável ambiental no período de análise no setor censitário  $i$ .
- $\text{Preta}_i$  e  $\text{Parda}_i$ : proporção (em pontos percentuais) de população preta e parda, respectivamente
- $\ln(\text{Renda}_i)$ : logaritmo natural da renda média domiciliar dos responsáveis
- $\text{Mulher\_Resp}_i$ : proporção (em pontos percentuais) de domicílios com mulheres como responsáveis
- $\text{Esgoto}_i$ : proporção (em pontos percentuais) de domicílios com banheiro ligado à rede de esgoto
- $\text{Lixo}_i$ : proporção (em pontos percentuais) de domicílios com coleta de lixo
- $\text{Pop\_60+}_i$ : proporção (em pontos percentuais) de pessoas com 60 anos ou mais
- $\text{Pop\_0-14}_i$ : proporção (em pontos percentuais) de pessoas entre 0 e 14 anos

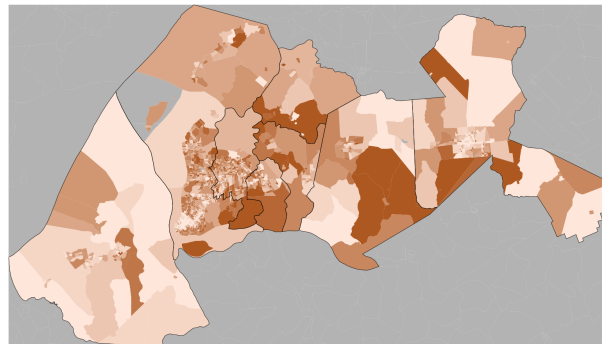
A análise foi restrita a setores censitários urbanos localizados em regiões metropolitanas.

Para facilitar a comparação entre coeficientes de diferentes escalas, transformamos os coeficientes estimados em mudanças percentuais. Especificamente, para um coeficiente  $\hat{\beta}_j$  e uma variação  $\Delta X_j = 1$  (um ponto percentual para variáveis em proporção, ou uma unidade de logaritmo para renda), computamos:

$$\text{Mudança Percentual} = \frac{\hat{\beta}_j \times \Delta X_j}{\bar{Y}} \times 100 \quad (3)$$

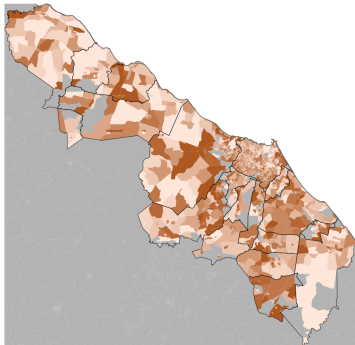
onde  $\bar{Y}$  é a média da variável dependente na amostra. Esta transformação permite interpretar os coeficientes como: "o aumento de um ponto percentual em  $X_j$  está associado a uma mudança de  $Z\%$  na variável ambiental". Por exemplo, se o coeficiente transformado para proporção de população preta for 5% na regressão de  $PM_{2,5}$ , isso significa que um setor com 10 pontos percentuais a mais de população preta tende a ter concentração de  $PM_{2,5}$  50% superior, mantendo constantes as demais características.

## Mapas

**Figura A1. Mapa: População Preta**

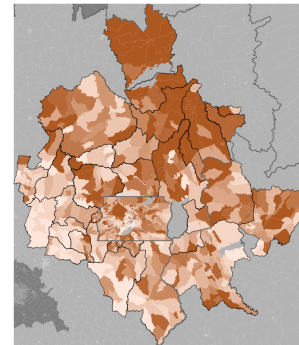
Proporção de Pop. Preta (%)

2 a 5	6 a 7	8 a 9	9 a 10	11 a 13
-------	-------	-------	--------	---------

**(a) Belém - PA**

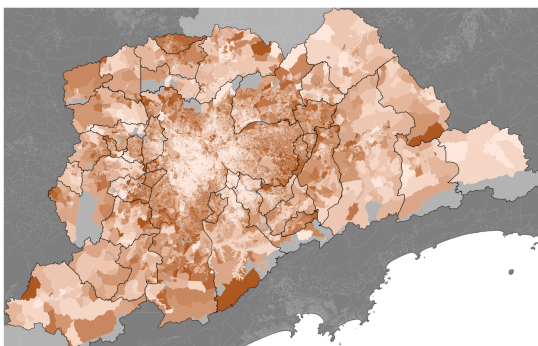
Proporção de Pop. Preta (%)

0 a 3	3 a 4	5 a 5	6 a 7	7 a 9
-------	-------	-------	-------	-------

**(b) Fortaleza - CE**

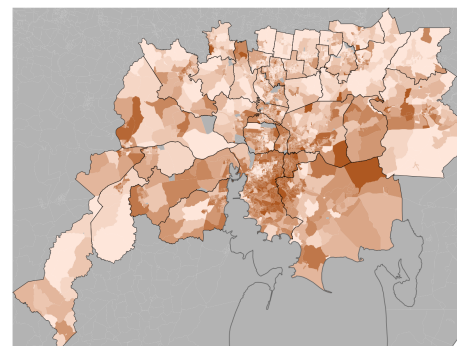
Proporção de Pop. Preta (%)

0 a 4	6 a 7	8 a 9	10 a 11	12 a 14
-------	-------	-------	---------	---------

**(c) Brasília - DF**

Proporção de Pop. Preta (%)

0 a 2	4 a 5	6 a 8	9 a 10	11 a 13
-------	-------	-------	--------	---------

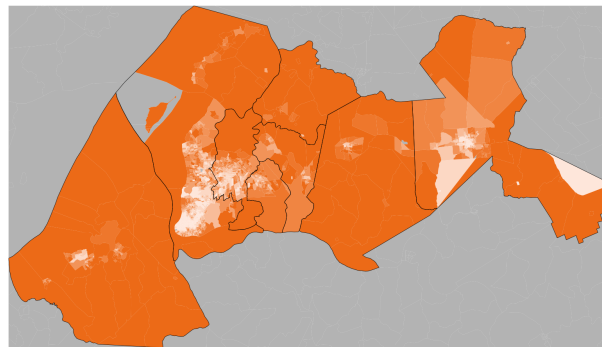
**(d) São Paulo - SP**

Proporção de Pop. Preta (%)

0 a 1	2 a 3	4 a 5	7 a 9	12 a 16
-------	-------	-------	-------	---------

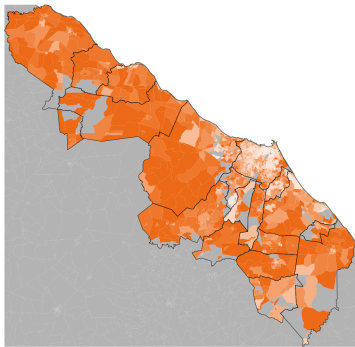
**(e) Porto Alegre - RS**

Fonte: Censo Demográfico 2010 e 2022. Nota: Distribuição espacial da proporção de população preta nos setores censitários das regiões metropolitanas de Belém, Fortaleza, Brasília, São Paulo e Porto Alegre (média 2010–2022).

**Figura A2. Mapa: População Negra**

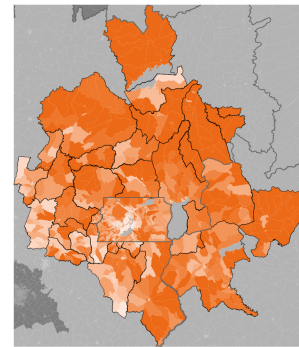
Proporção de Pop. Negra (%)

35 a 62 69 a 72 74 a 76 78 a 79 81 a 83

**(a) Belém - PA**

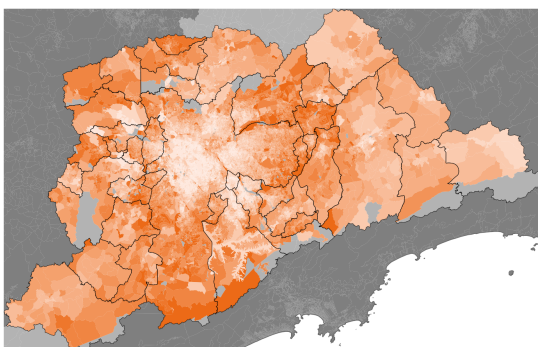
Proporção de Pop. Negra (%)

10 a 51 59 a 63 66 a 69 71 a 73 76 a 79

**(b) Fortaleza - CE**

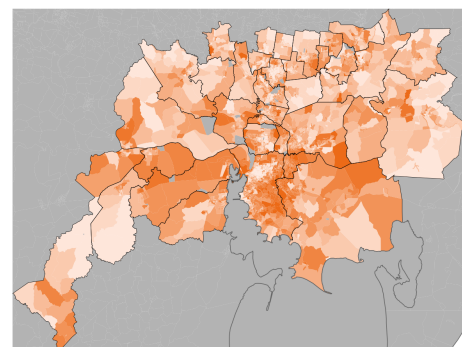
Proporção de Pop. Negra (%)

0 a 36 48 a 56 61 a 64 67 a 69 72 a 75

**(c) Brasília - DF**

Proporção de Pop. Negra (%)

0 a 12 21 a 29 36 a 43 48 a 53 58 a 62

**(d) São Paulo - SP**

Proporção de Pop. Negra (%)

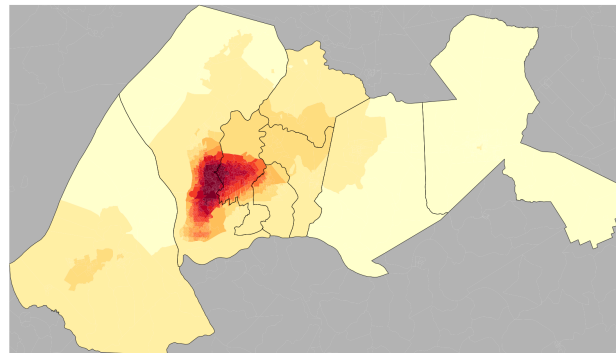
0 a 6 9 a 11 13 a 16 18 a 22 27 a 34

**(e) Porto Alegre - RS**

Fonte: Censo Demográfico 2010 e 2022. Nota: Distribuição espacial da proporção de população negra (soma da população parda e preta) nos setores censitários das regiões metropolitanas de Belém, Fortaleza, Brasília, São Paulo e Porto Alegre (média 2010–2022).



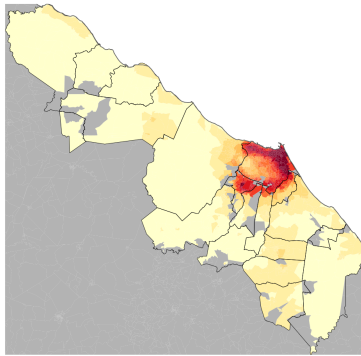
**Figura A3. Mapa: média de  $PM_{2,5}$**



PM2.5 Médio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

11.23 a 12.34	13.59 a 14.09	14.61 a 14.79	15.02 a 15.38	15.64 a 15.8
---------------	---------------	---------------	---------------	--------------

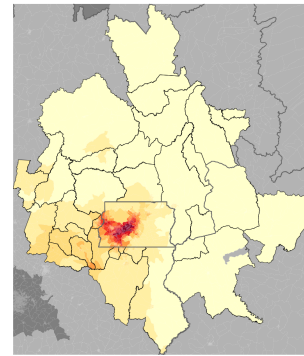
**(a) Belém - PA**



PM2.5 Médio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

6.26 a 7.58	8.77 a 10.62	10.8 a 11.03	11.3 a 11.73	11.99 a 12.25
-------------	--------------	--------------	--------------	---------------

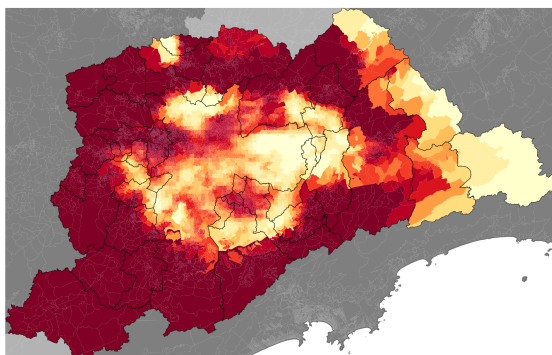
**(b) Fortaleza - CE**



PM2.5 Médio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

8.19 a 10.54	11.26 a 11.67	11.92 a 12.24	12.55 a 12.81	13.14 a 13.46
--------------	---------------	---------------	---------------	---------------

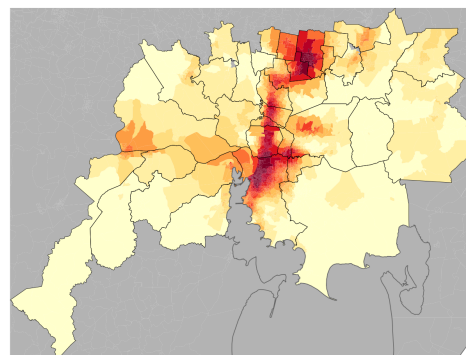
**(c) Brasília - DF**



PM2.5 Médio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

13.87 a 14.49	14.81 a 15	15.17 a 15.33	15.5 a 15.69	15.89 a 16.28
---------------	------------	---------------	--------------	---------------

**(d) São Paulo - SP**



PM2.5 Médio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

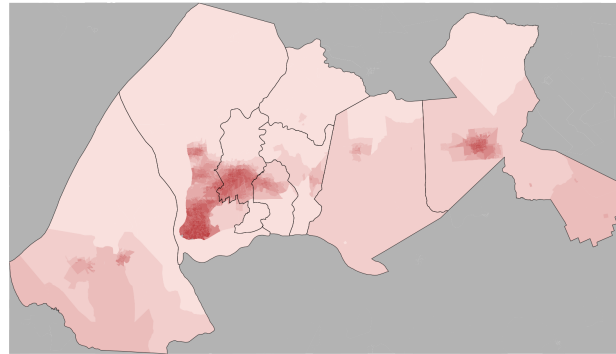
9.8 a 10.94	11.39 a 11.79	12.27 a 12.75	13.13 a 13.48	13.84 a 14.36
-------------	---------------	---------------	---------------	---------------

**(e) Porto Alegre - RS**

Fonte: Shen et al. (2024). Nota: Concentração média de material particulado fino ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) entre 2010 e 2022 nos setores censitários das regiões metropolitanas analisadas.



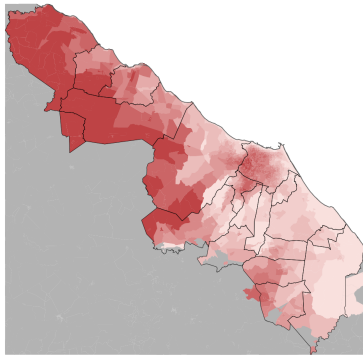
**Figura A4. Mapa: Temperatura Média**



Temp. Média Máx. (°C)

32.4 a 32.7	32.7 a 32.8	32.8 a 32.9	32.9 a 33	33 a 33.1
-------------	-------------	-------------	-----------	-----------

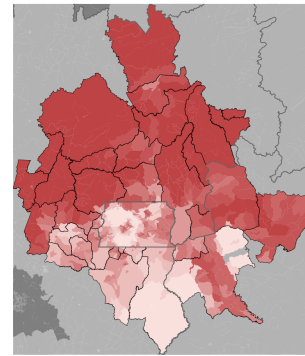
**(a) Belém - PA**



Temp. Média Máx. (°C)

0 a 32.5	32.6 a 32.7	32.7 a 32.8	32.8 a 32.9	32.9 a 32.9
----------	-------------	-------------	-------------	-------------

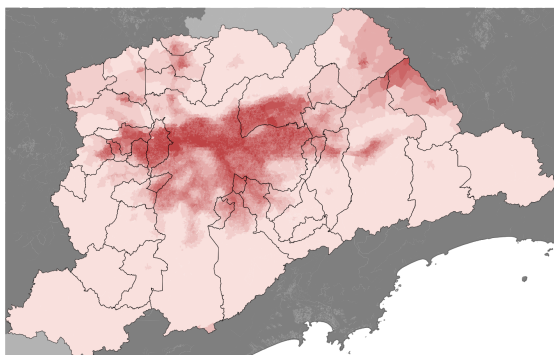
**(b) Fortaleza - CE**



Temp. Média Máx. (°C)

30 a 30.7	30.8 a 30.8	30.8 a 30.9	30.9 a 31	31 a 31.3
-----------	-------------	-------------	-----------	-----------

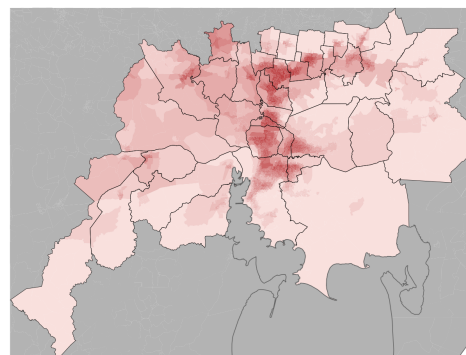
**(c) Brasília - DF**



Temp. Média Máx. (°C)

25.5 a 26.5	26.7 a 26.8	26.9 a 27	27 a 27.1	27.1 a 27.2
-------------	-------------	-----------	-----------	-------------

**(d) São Paulo - SP**



Temp. Média Máx. (°C)

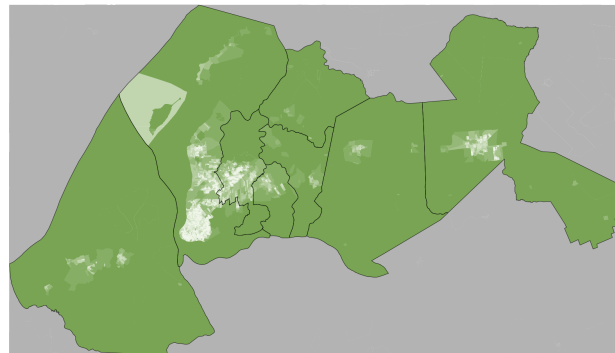
9.1 a 25.3	25.4 a 25.6	25.6 a 25.7	25.8 a 25.9	26 a 26
------------	-------------	-------------	-------------	---------

**(e) Porto Alegre - RS**

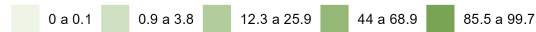
Fonte: Zhang et al. (2022). Nota: Temperatura média mensal máxima (°C) entre 2010 e 2022 por setor censitário em cada região metropolitana.



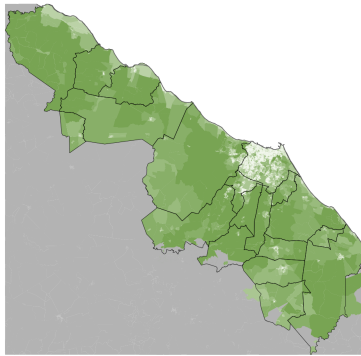
**Figura A5. Mapa: Vegetação Densa**



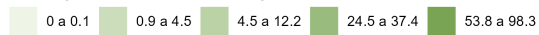
Proporção de Área com Vegetação Densa (%)



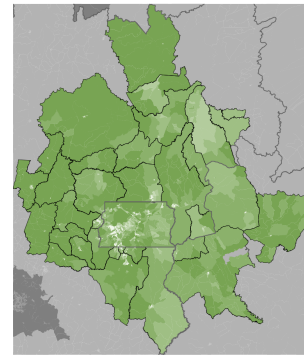
**(a) Belém - PA**



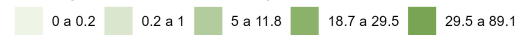
Proporção de Área com Vegetação Densa (%)



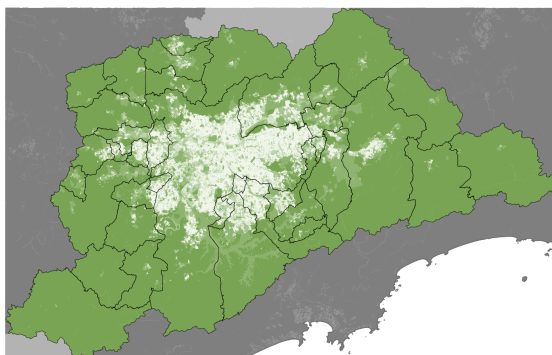
**(b) Fortaleza - CE**



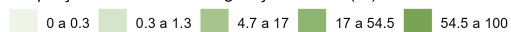
Proporção de Área com Vegetação Densa (%)



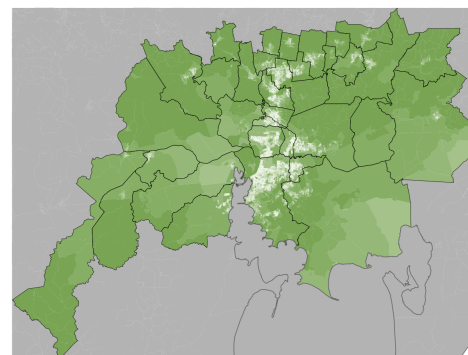
**(c) Brasília - DF**



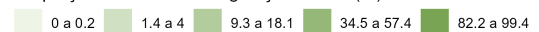
Proporção de Área com Vegetação Densa (%)



**(d) São Paulo - SP**



Proporção de Área com Vegetação Densa (%)



**(e) Porto Alegre - RS**

Fonte: MODIS. Nota: Proporção média da área com vegetação densa (NDVI entre 0,6 e 1) entre 2010 e 2020 nas regiões metropolitanas de Belém, Fortaleza, Brasília, São Paulo e Porto Alegre.