



# **Espaço & Geografia**

## **ANÁLISE ESPACIAL DA ARBORIZAÇÃO DE VIAS PÚBLICAS EM ÁREAS URBANIZADAS E O IDHM: ESTUDO NO RIO GRANDE DO SUL BRASIL**

*Spatial analysis of reforestation of public streets in urbanized areas and  
MHDI: study in Rio Grande do Sul, Brazil*

*Análisis espacial de la floración de las vías públicas en las zonas  
urbanizadas y el IMDH: estudio en Rio Grande del Sur, Brasil*

<sup>1</sup>, **Claire Morrone Parfitt** <sup>2</sup> **Henrique Noguez da Cunha** <sup>3</sup> **Nádia Campos Pereira Bruhn**

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pelotas, Centro de Integração do MERCUSUL, Pelotas, Brasil. E-mail claremparfitt@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6890-2129>

<sup>2</sup> EMBRAPA Clima Temperado, Pelotas, Brasil E-mail.henriquencunha@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7306-7853>

<sup>3</sup> Universidade Federal de Pelotas, Centro de Integração do MERCUSUL, Pelotas, Brasil. E-mail nadiacbruhn@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8607-7081>

Recebido: 13 de outubro de 2024; Aceito: 02 de dezembro de 2024; Publicado: 06 de dezembro de 2024.

**DOI: 10.26512/2236-56562024e51164**

## RESUMO

A arborização provê benefícios sociais, econômicos e ambientais às cidades e serve de apoio a comunidades saudáveis. Essa pesquisa objetiva investigar o padrão da distribuição espacial da arborização viária em áreas urbanizadas dos municípios do Rio Grande do Sul, Brasil e sua relação com o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM). A análise espacial foi realizada através do Índice Global Moran para dados globais e Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA) para os 497 municípios do estado. O índice Global Moran mostrou correlação da arborização viária de áreas urbanizadas dos municípios do Rio Grande do Sul e o IDHM. O Mapa LISA evidenciou a presença de *hotspots* ou cluster espacial tipo *high-high* localizados a noroeste, na fronteira com a Argentina e no centro do estado; *low-high* ao norte e tipo *low-low* e tipo *high-low* a nordeste e sudeste do estado. É evidenciada a relação da espacialização desses clusters com o IDHM e a urgência de medidas quanto a planejamento; incentivo a arborização de vias públicas em áreas urbanizadas nos 24 municípios do cluster baixo-baixo, nas dos 8 municípios do cluster baixo-alto, e nas dos 16 municípios do cluster alto-baixo, especialmente na Região Funcional 3 de planejamento do estado do Rio Grande do Sul nos COREDES Campos de Cima da Serra, Serra e Hortênsias.

**Palavras-Chave:** Planejamento urbano, Rio Grande do Sul, Arborização viária

## ABSTRACT

Reforestation provides social, economic and environmental benefits to the cities and serves as a support to healthy communities. This research aims to investigate the standard of spatial distribution of street reforestation in urbanized areas of cities of Rio Grande do Sul, Brazil and its relationship with the Municipal Human Development Index (IDHM). The spatial analysis was carried out through the Moran Global Index for global data and Location Indicators of Spatial Association (LISA) for the 497 towns in the state. The Moran Global Index showed correlation of street reforestation of urbanized areas of the towns of Rio

Parfitt, Cunha & Bruhn

Grande do Sul and IDHM. The LISA Map highlighted the presence of hotspots or spatial cluster type high-high located to the northwest, on the border with Argentina and in the middle of the state; low-high in the north and type low-low and type high-low to the northeast and southeast of the state. The relationship of spatialization of these clusters with the IDHM is highlighted and the urgent measures concerning planning; incentive to reforestation of public roads in urbanized areas in the 24 towns of the low-low cluster, in the 8 towns of the low-high cluster, and in the 16 towns of the high-low cluster, mainly in the Functional Region 3 of planning of the state of Rio Grande do Sul in the COREDES Campos de Cima da Serra, Serra and Hortensias.

**Keywords:** Urban planning, Rio Grande do Sul state, Road afforestation

## RESUMEN

La forestación proporciona beneficios sociales, económicos y ambientales a las ciudades y apoya a las comunidades saludables. Esta investigación tiene como objetivo investigar el patrón de distribución espacial de la forestación vial en áreas urbanizadas en los municipios de Rio Grande do Sul, Brasil y su relación con el Índice de Desarrollo Humano Municipal (IDHM). El análisis espacial se realizó utilizando el Índice Global de Moran para datos globales y los Indicadores Locales de Asociación Espacial (LISA) para los 497 municipios del estado. El índice Global Moran mostró una correlación entre la forestación de caminos en áreas urbanizadas en los municipios de Rio Grande do Sul y el IDHM. El mapa LISA evidenció la presencia de *hotspots* o *clusters* espaciales *high-high* ubicados en el noroeste, en la frontera con Argentina y en el centro del estado; *low-high* en el norte y tipo *low-low* y alto-bajo en el noreste y sureste del estado. Se evidencia la relación entre la espacialización de estos *clusters* y el IDHM y la urgencia de medidas en materia de planificación; Fomentar la forestación de vías públicas en áreas urbanizadas en los 24 municipios del clúster *low-low*, en los 8 municipios del clúster *low-high* y en los 16 municipios del clúster *high-low*, especialmente en la Región Funcional 3 de la planificación del estado de Rio Grande do Sul en COREDES Campos de Cima da Serra, Serra y Hortensias.

**Palabras clave:** Planificación urbana, Rio Grande do Sul, Forestación de carreteras

## 1. Introdução

O Rio Grande do Sul está localizado no sul do Brasil, possui 497 municípios e mais de 85% da sua população vive em áreas urbanas, sendo um dos estados mais urbanizados do país (IBGE, 2022). Atualmente o estado enfrenta uma crise econômica acentuada; vários são os problemas identificados nos municípios e cidades gaúchas, dentre eles os relacionados a aspectos socioeconômicos e ambientais.

Dessa forma, estudos relativos à arborização de áreas urbanizadas, sua espacialização no território estadual, e relação com o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), assumem grande importância para as administrações municipais e para o planejamento regional. A arborização caracteriza e identifica as vias das cidades; aumenta a interação da comunidade e valor das propriedades; desempenha também um papel fundamental no apoio às comunidades urbanas saudáveis (BURDEN, 2006; SEAMANS, 2013 MOREIRA et al. 2020; WOLF et al., 2020; HUANG e LIN, 2023).

De acordo com Berthon et al (2021), Wood e Esaian (2020), Khodadad et al (2023); JAUNG, Wanggi et al (2020) a arborização contribui para o aumento da biodiversidade, na medida em que fornece alimentos, habitat para a fauna urbana. Reduz também o escoamento de águas pluviais, minimizando alagamentos e enchentes, melhora a qualidade do ar, armazenando carbono e também os efeitos urbanos das ilhas de calor.

As árvores contribuem para as atividades mais prazerosas e saudáveis pois captam a poluição atmosférica, Venter et al (2023) especialmente ozônio, óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>); bem como diminuem o ruído e as temperaturas nas áreas urbanas (BIKIS ,2023; SAHANA, 2020). As árvores de rua podem também agregar renda aos negócios e valor nas propriedades urbanas, fato que é discutido por (VON DÖHREN E HAASE, 2019; SEO,2020).

Parfitt, Cunha & Bruhn

Tendo grandes efeitos nas temperaturas urbanas, as árvores influenciam o clima urbano, nos impactos combinados da urbanização e das mudanças climáticas (PEDERSEN et al; OGUNBODE ,2021; MASSON et al., 2020).

Assim, os benefícios da arborização urbana são facilmente compreendidos e o conhecimento da realidade municipal e regional é importante, pois pode servir de suporte aos tomadores de decisão às políticas públicas.

Nesse sentido, contrapondo-se ao Produto Interno Bruto PIB, o IDHM populariza o conceito de desenvolvimento centrado nas pessoas, e não na visão de que o desenvolvimento se limita a crescimento econômico. Ao sintetizar uma realidade complexa em um único número, o IDHM e seus três componentes Saúde (Longevidade), Educação e Renda viabilizam a comparação entre os municípios e regiões. Ressalta-se dessa forma, nesse estudo a importância da arborização e sua influência no IDHM nos três de seus componentes.

Embora se tenha dados sobre a arborização viária das áreas urbanizadas dos municípios do Rio Grande do Sul, não existem estudos que a relacionem com o Índice de Desenvolvimento Municipal, ou a influência da arborização de vias de áreas urbanizadas no IDHM.

No Brasil, alguns autores utilizam a temática arborização viária em suas análises, tais como; Duarte (2017), que analisou a arborização urbana no Brasil e sua relação com a injustiça ambiental ;Hernandez ,(2020) que realizou Mapeamento da arborização de calçadas nas vias públicas de Ponta Grossa-PR com uso de sensoriamento remoto; Felipe (2022) em análises diretivas para o processo de gestão da arborização de calçadas em São Pedro do Sul e Parfitt, Cunha e Bruhn (2022) ao analisarem espacialmente a arborização de vias urbanas com estudo do Brasil subtropical. Já a literatura internacional conta com estudos de LIU e Slik, (2022); Marselle et al. (2020); Kolimenakis (2021); Yao et al., (2022); Zhang e Tan, (2021); Venter et al. (2023) que abordaram principalmente os aspectos socioeconômicos e ambientais relacionados com planejamento.

Ainda, se constata a inexistência de estudos relacionados à arborização de vias públicas de áreas urbanizadas no Rio Grande do Sul, Brasil, que englobem

Parfitt, Cunha & Bruhn

todo o seu território, bem como não há uma profunda compreensão sobre os fatores responsáveis pela relação entre os percentuais de arborização no entorno dos domicílios e o IDHM. Essa pesquisa tem como objetivo investigar o padrão da distribuição espacial da arborização de vias públicas em áreas urbanizadas dos municípios do Rio Grande do Sul, Brasil e sua relação com o IDHM.

A ideia intuitiva foi descobrir se os valores de uma variável observada numa região específica apresentam uma associação com os valores de outra variável observada em regiões vizinhas. No caso específico descobrir se a arborização de vias de áreas urbanizadas está associada ao IDHM nas microrregiões vizinhas. Os valores da arborização de vias em áreas urbanizadas em dada região, ou de determinados municípios, pode refletir em valores correspondentes a altos ou baixos IDHM nas regiões adjacentes, ou áreas urbanizadas de municípios vizinhos.

Sua importância está em poder vir a melhorar a qualidade de vida e a justiça ambiental no estado do Rio Grande do Sul, e servir de base ao planejamento e gestão tanto a nível municipal e estadual.

## 2. Material e Métodos

O Rio Grande do Sul (área de estudo) é uma das 27 unidades federativas do Brasil, o estado mais meridional e está situado na Região Sul do país. Seus limites são: ao norte, com o estado de Santa Catarina; ao sul, com o Uruguai; ao leste com o oceano Atlântico; e ao oeste, com a Argentina. É composto por 497 municípios e sua área é de 281.707,156 km<sup>2</sup>, equivalente a 3,3% da superfície do Brasil, sua capital é Porto Alegre (Figura 1).

É o estado mais populoso da região Sul e o quinto do Brasil cuja população em 2022 foi de 10.882.965 habitantes IBGE, (2022) 5,4% da população brasileira sendo formada por descendentes de portugueses, alemães, italianos, africanos, libaneses e indígenas e em pequena parte por espanhóis, poloneses e franceses dentre outros imigrantes.

Parfitt, Cunha & Bruhn

As cidades com maior população são: Porto Alegre, (capital), Caxias do Sul, Canoas, Pelotas, Rio Grande e Santa Maria. A economia é centrada na agricultura com as culturas de soja, trigo, arroz e milho, na pecuária, indústria de couro e calçados, têxtil, alimentícia, madeireira, metalúrgica e química. De acordo com dados do IBGE, para o ano de 2023, o estado contou com R\$ 640,23 bilhões de PI, 5,9% do PIB nacional, superado apenas por São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, e seu IDH Índice de Desenvolvimento Humano foi 0,771.

Embora o estado esteja enfrentando uma crise econômica acentuada, tem uma das menores taxas de analfabetismo e a segunda maior expectativa de vida e mortalidade infantil do país, haja vista, apresente disparidade econômica entre a metade norte, considerada industrial, e a metade sul, considerada agrária.

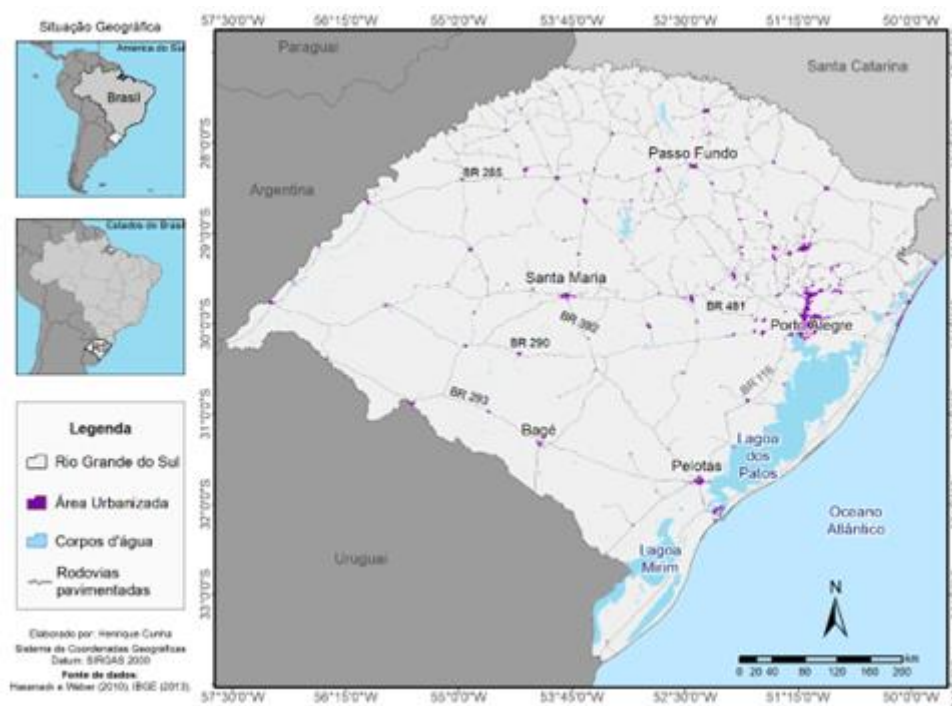


Figura 1. Situação geográfica do Rio Grande do Sul.

O estudo trata de análise espacial que buscou identificar as taxas de arborização de vias públicas das áreas urbanizadas dos municípios do Rio Grande do Sul além de avaliar a correlação de taxas de prevalência da arborização de vias entre os municípios vizinhos e sua relação com o IDHM, Índice de Desenvolvimento Humano Municipal. Para realização das análises consideraram-se os casos identificados de arborização de vias públicas de áreas

Parfitt, Cunha & Bruhn

urbanizadas no Rio Grande do Sul em 2010 utilizando os dados do último Censo demográfico, já os valores do IDHM foram tabulados com base o Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil, PNUD, IPEA, 2013.

Nesse estudo a auto correlação global foi averiguada num contexto bivariado Anselin (1995), ou seja, buscando identificar a auto correlação espacial entre arborização de vias de áreas públicas de urbanizadas e IDHM.

Foram construídos mapas temáticos para uma melhor compreensão sobre o fenômeno pesquisado. As análises de auto correlação espacial foram feitas usando o Índice Moran Bivariado, com nível de significância de 95% e 99 permutações. Assim, serão áreas com auto correlação espacial estatisticamente significativa aquelas cujo valor for menor ou igual a 0,05. Para a construção dos mapas temáticos foi utilizado o software GeoDa versão 1.4.1.

Para verificar se a distribuição dos casos de arborização de vias áreas urbanizadas por município ocorreu de maneira aleatória no espaço, ou se a ocorrência de casos nos municípios influencia a ocorrência de IDHM em municípios vizinhos, optou-se por utilizar o Índice Global de Moran (I), bem como os Indicadores Locais de Associação Espacial (Lisa) para os 497 municípios do Rio Grande do Sul.

Os resultados dos índices de Moran global (I) e Lisa identificam a existência de auto correlação espacial, identificando a relação entre observações com proximidade espacial. Ou seja, considera que observações próximas espacialmente possuem valores parecidos.

O Índice de Moran Global (Moran I) fornece uma única medida para o conjunto de todos os municípios, desta forma caracterizando toda a região de estudo. Esse índice testa se as áreas vizinhas apresentam maior semelhança quanto ao indicador estudado do que se espera ao acaso e seu resultado pode variar de -1 a +1, sendo que e valores positivos (ou seja, entre 0 e +1) indicam auto correlação positiva, sugerindo que o objeto tende a ser semelhante aos valores dos seus vizinhos. Valores negativos para este indicador (ou seja, entre 0

Parfitt, Cunha & Bruhn

e -1) correspondem a uma correlação inversa, ou seja, sugerindo que uma região não é dependente dos valores dessa mesma variável em áreas diferentes.

Os resultados de auto correlação espacial Lisa produziram um valor específico para cada município, permitindo, assim, a visualização de agrupamentos de municípios com valores similares para os indicadores selecionados. Os índices Lisa são assim categorizados: (i) municípios classificados como *high-high* apresentam altas proporções do indicador, cercados de outros municípios com altas proporções do outro indicador; (ii) municípios classificados como *low-low* indicam municípios com baixa proporção do indicador, cercados por municípios com baixa proporção do outro indicador; (iii) municípios classificados como *high-low* denotam municípios com alta proporção do indicado cercados por municípios com baixa proporção do outro indicador; e (iv) municípios classificados como *low-high* são aqueles com baixa proporção do indicador cercados de municípios com alta proporção do outro indicador.

De forma complementar, os dados foram apresentados segundo o diagrama de espalhamento de Moran no qual os valores padronizados dos atributos (variáveis)  $z$  e a média dos vizinhos (também padronizados)  $wz$  são divididos nos seguintes quadrantes: Q1 (valores e médias positivas) e Q2 (valores e médias negativas) indicam áreas de associação espacial positiva, sugerindo que em uma região existem vizinhos semelhantes, enquanto Q3 (valores positivos, médias negativas) e Q4 (valores negativos, médias positivas) indicam áreas de associação espacial negativa onde as localizações com vizinhos apresentam valores distintos.

Os padrões de distribuição dos indicadores Lisa produziram um valor específico para cada município, permitindo a visualização de agrupamentos de municípios com valores similares para os indicadores selecionados, cujos resultados - entre -1 e +1 - sugerem que valores positivos (entre 0 e +1) indicam auto correlação positiva, indicando que o objeto tende a ser semelhante aos valores dos seus vizinhos, enquanto valores negativos (entre 0 e -1) sugerem a

Parfitt, Cunha & Bruhn

uma correlação inversamente proporcional, indicando que o atributo em uma região não é dependente dos valores dessa mesma variável em áreas diferentes.

A auto correlação local Lisa é feita buscando satisfazer os seguintes critérios: (i) deve possuir, para cada município, uma indicação de agrupamentos espaciais significantes de valores similares em torno do município; (ii) o somatório dos indicadores Lisas para todos os municípios é proporcional ao I de Moran Global (ANSELIN, 1995; ARAÚJO et al., 2014).

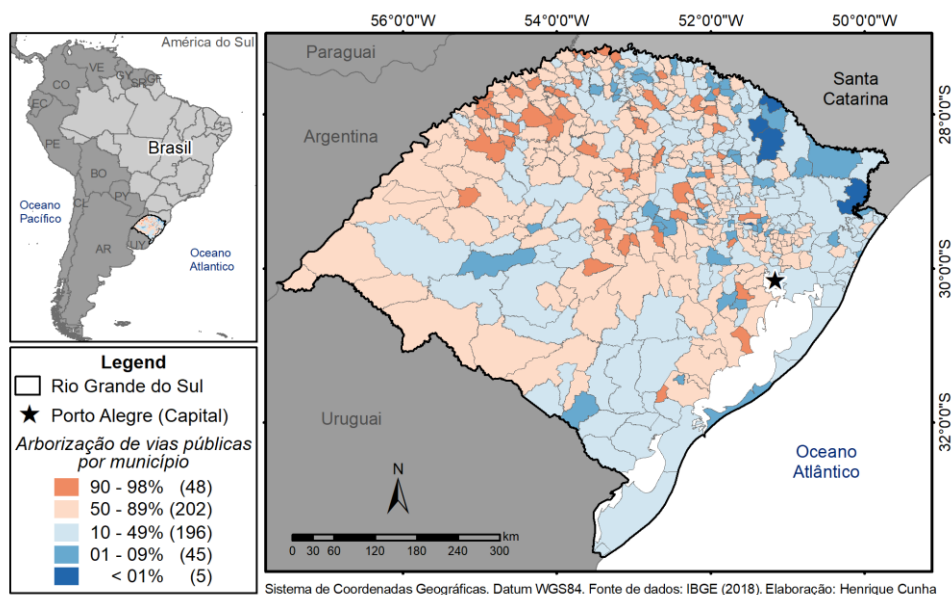
### 3. Resultados e discussão

O conjunto de dados a seguir, acompanhados de uma breve descrição, tem como objetivo embasar a análise espacial da arborização viária das áreas urbanizadas dos municípios pertencentes a ao estado do Rio Grande do Sul, Brasil e sua relação com o IDHM.

#### 3.1. Arborização em áreas urbanizadas no Rio Grande do Sul e o IDHM

Os dados obtidos sobre a arborização no entorno do domicílio no Censo IBGE 2010, se mostram importantes pois permitem o entendimento da realidade da arborização urbana no estado do Rio Grande do Sul.

A Figura 2 apresenta a distribuição do percentual de domicílios urbanos em vias públicas com arborização dos municípios do Rio Grande do Sul. A análise da distribuição indica que os municípios que apresentaram, predominantemente, maiores valores do indicador estão localizados à noroeste, centro, na fronteira sudoeste do estado com o Uruguai e na margem oeste da Lagoa dos Patos. Já os que apresentaram menores valores, estão localizados à nordeste, norte, sudoeste e sul. Dentre os extremos, os valores mais altos foram presentes em alguns pontos esparsos na metade norte do estado e os valores mais baixos, à nordeste, norte e espalhados no centro do território estadual (Figura 2).



**Figura 2.** Percentual de domicílios urbanos em vias públicas com arborização dos municípios do Rio Grande do Sul.

Os dados de arborização, tanto em pequenas cidades, quanto em médias, bem como na metrópole, Porto Alegre, tem um papel fundamental no apoio a comunidades saudáveis (Wolf et al., 2020) com menor poluição do ar (BIKIS, 2023).

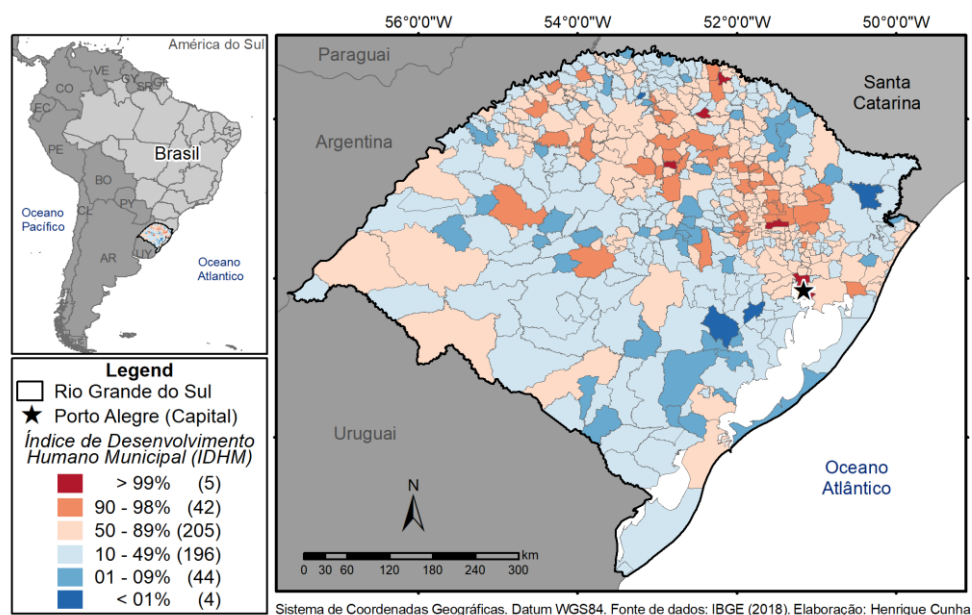
As árvores de rua, na medida em que fornecem alimento e habitat para a fauna urbana Berthon, Thomas e Bekessy, (2021), proporcionam aumento da biodiversidade Liu e Slik (2022) e também no valor nas propriedades nessas cidades (VON DÖHREN e HAASE, 2019; SEO,2020).

A espacialização do IDHM no território estadual é apresentada na figura 3, onde os municípios com maior valor no índice estão situados no centro norte, já os municípios com menores valores estão predominantemente localizados na parte sul e nordeste do estado.

Essa dualidade pode ser explicada porque historicamente a metade norte do Rio Grande do Sul é mais desenvolvida do que a metade sul (CARGNIN, 2014). Nesse sentido, é observado que os municípios com maiores índices de saúde (longevidade), educação e renda são localizados, de forma predominante, na metade norte do estado enquanto os menores valores desses indicadores na metade sul.

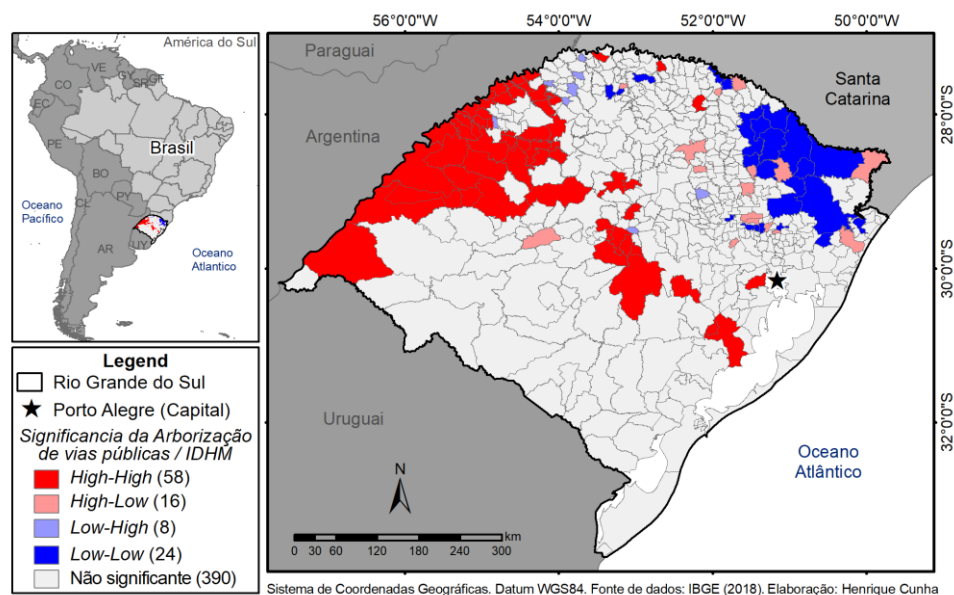
Parfitt, Cunha & Bruhn

No entanto, os maiores IDHMs são presentes nos municípios de Porto Alegre (0,805), Carlos Barbosa (0,796), Três Arroios (0,791), Ipiranga do Sul (0,791), Lagoa dos Três Cantos (0,789), Garibaldi (0,786), Nova Araçá (0,785), Casca (0,785) e Ivoti (0,784). É possível observar, também, um polo de maiores valores no entorno de Caxias do Sul e nos municípios do norte gaúcho, como Passo Fundo e sua região de entorno (Figura 3).



**Figura 3.** índice de Desenvolvimento Humano no Rio Grande do Sul.

Nessa pesquisa, a auto correlação global foi averiguada num contexto bivariado, cujas variáveis correspondem a arborização de vias de áreas urbanizadas e IDHM. A Figura 4 apresenta o *Lisa Cluster Map* para as referidas variáveis - arborização de vias públicas de áreas urbanizadas e IDHM para o estado do Rio Grande do Sul.



**Figura 4.** *Local Indicators of Spatial Association (LISA)* aplicado para a arborização de áreas urbanizadas do Rio Grande do Sul.

Na figura 4, a cor vermelha representa o quadrante *high-high*, que indica o agrupamento de casos de áreas urbanizadas com maior média de arborização e maior média de IDHM presente no estado. Esses grupos, ou *clusters*, possuem desvio positivo. Todas as áreas em vermelho indicam os municípios e regiões adjacentes que apresentaram forte correlação espacial entre si. Pode-se notar que a maior proporção desses municípios (com forte correlação entre si) estão concentrados em 58 municípios à noroeste e centro do estado, e também podem ser observados pequenos nichos na margem da Lagoa dos Patos e ao norte do território Rio-Grandense.

A cor azul correspondente ao quadrante *low-low* e representa as áreas que apresentaram as variáveis arborização e IDHM abaixo da média global. Essas áreas estão localizadas à nordeste do estado e em pontos esparsos ao norte, totalizando 24 municípios.

O quadrante baixo-alto (*low-high*), em azul claro (figura 4), apresenta os municípios com indicador de arborização de vias abaixo da média e cujos vizinhos tem média acima da média global, (total de 8 municípios) localizados na metade norte do estado. Ainda, foram classificados 16 municípios no quadrante alto-baixo (*high-low*), em vermelho claro (figura 4), distribuídos de

Parfitt, Cunha & Bruhn

forma esparsa ao norte do estado, que representam maior densidade da arborização de vias urbanas com vizinhos que apresentam valor baixo de IDHM.

Para complementar os dados, a figura 5 apresenta o diagrama de dispersão dos dados, o *Moran Global* e a distribuição espacial de significância.

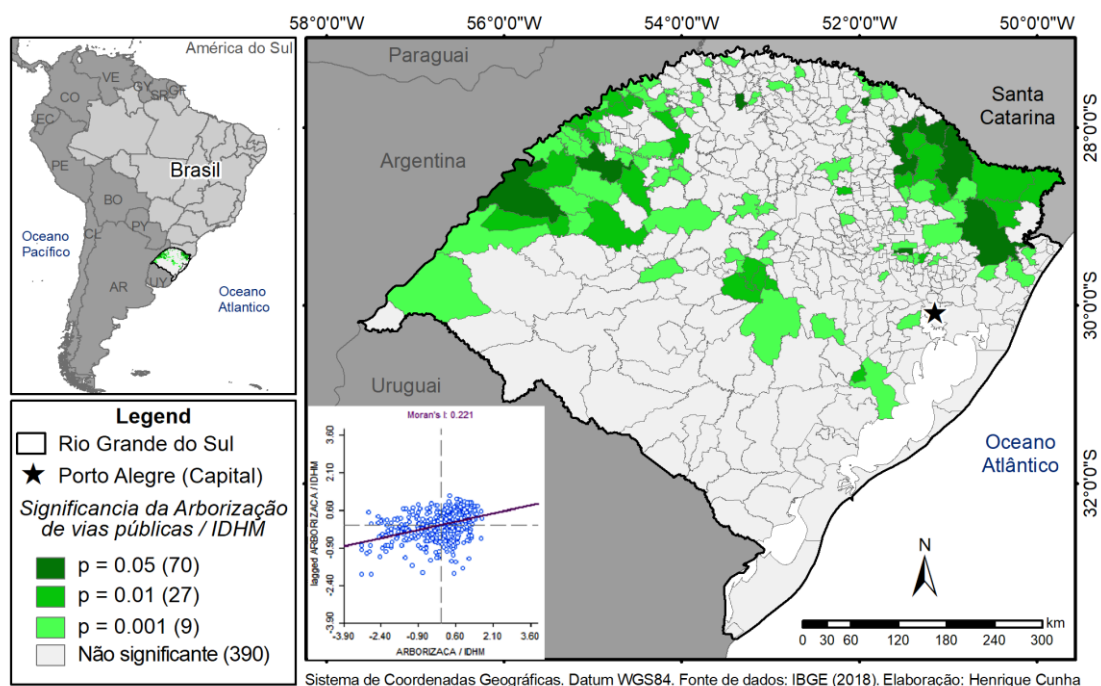


Figura 5. Significância *LISA* para arborização de áreas urbanizadas Rio Grande do Sul: (a) Diagrama de dispersão e *Global Moran's I*; (b) Distribuição geográfica.

Em termos método e resultados em abrangência regional, a presente pesquisa pode ser relacionada com os seguintes estudos o de Sesse Filho (2020) que analisou a dinâmica populacional dos municípios do estado do Paraná com o uso da Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) no período 2001-2020. As variáveis do estudo foram a variação da população em valores percentuais e o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) dos municípios. Os resultados encontrados demonstram que o planejamento e implementação de estratégias de desenvolvimento regional devem ser tarefas conjuntas de grupos de municípios que participam dos clusters, pois as ações realizadas por uma localidade têm impacto sobre seus vizinhos. Esse resultado se aproxima com os encontrados na pesquisa em questão

Parfitt, Cunha & Bruhn

Nessa mesma linha Maciel, Castro-Silva e Farias (2020) analisaram a distribuição espacial da incidência de Covid-19 e sua correlação com o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) dos municípios do estado do Ceará. Nessa pesquisa, os autores concluem que o mapeamento desigual de Covid 19 e sua relação com o IDHM no Ceará podem contribuir com ações de enfrentamento regional à pandemia.

Em um terceiro estudo, Marconato (2020) analisou as condições de saúde básica nos municípios brasileiros no ano de 2010 e verificou sua relação com as variáveis renda per capita, gasto per capita com saúde, educação e infraestrutura domiciliar. A metodologia utilizada foi a Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) e os modelos econométricos espaciais. Os resultados apontaram auto correlação espacial positiva do indicador de saúde nos municípios brasileiros. A análise local revelou que os clusters com elevado indicador estão situados nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste e as aglomerações com baixo índice estão no Norte e Nordeste.

Nesse contexto, os dados de vários autores indicam que no IDHM, também uma vida longa e saudável é medida pela expectativa de vida ao nascer (Longevidade). Os autores, Donovan (2017); Nowak et al. (2018), Piracha e Chaudhary (2022) e Bikis (2023) afirmam que um dos mais importantes benefícios da arborização urbana é a redução da poluição do ar. O material particulado, ozônio e monóxido de carbono estão ligados a vários tipos de doenças respiratórias.

A literatura também documenta a existência de uma relação entre árvores, espaços verdes e mortalidade (NOWAK et al., 2018). A presença de árvores provê benefícios diretos e indiretos à saúde humana e bem-estar a partir da remoção da poluição (HEWITT, ASHWORTH e MACKENZIE, 2020). Acarreta, também, benefícios diretos e indiretos à saúde física e psicológica humana e bem-estar.

A medida do IDHM Educação, também parece estar relacionada à arborização urbana. Os espaços verdes podem ter impactos benéficos no desenvolvimento cognitivo e atenção das crianças (FERNANDES ,2023)

Parfitt, Cunha & Bruhn

(SAENEN et al, 2023). A pesquisa conduzida por Dadvand et al. (2015) analisou a relação entre a exposição a áreas verdes e o desenvolvimento cognitivo em um grupo de 2.593 crianças que frequentavam escolas primárias. Os resultados indicaram uma melhora na memória de trabalho e uma redução nos níveis de desatenção durante o processo de aprendizagem, associadas à presença de áreas verdes tanto dentro das escolas quanto em seus arredores. Esses efeitos positivos para a saúde podem ser atribuídos, entre outros fatores, à capacidade das áreas verdes de atenuar ruídos ambientais que poderiam prejudicar o desenvolvimento cognitivo.

Na mesma linha, o trabalho de Fridrich (2021) teve como principal objetivo avaliar os benefícios que os espaços verdes nos ambientes escolares proporcionam ao sistema educacional, ao bem-estar e à saúde dos alunos. Esses espaços verdes são considerados um recurso valioso, pois promovem a socialização, a melhoria da qualidade de vida e contribuem para um desempenho acadêmico superior por parte dos estudantes.

As árvores podem impactar positivamente na qualidade da educação, o que é vantajoso para a sociedade. A cobertura de árvores está fortemente ligada à performance acadêmica do estudante (BERMAN et al. 2008; KUO, et al., 2018; KWEON et al., 2017). A visão de árvores e arbustos na escola em oposição à grama estavam fortemente relacionados a planos futuros de educação e taxas de graduação. A visão de árvores e ambiente verde das salas de aula contribuem substancialmente mais no teste de medição de atenção. Dessa forma, o Déficit de Atenção (ADD) e Déficit de Hiperatividade (ADHD) pode impactar no desempenho do estudante na escola. Estudantes que atuam na presença de árvores e natureza tem mais engajamento na sala de aula (KUO, BROWNING E PENNER, 2018).

A árvores de rua conforme descritas por Seo (2020), podem também aumentar o valor das propriedades e contribuir para o desenvolvimento da economia local e o turismo (YUAN,2018) Esses fatores podem estar relacionados ao aumento da renda de um dado local.

Parfitt, Cunha & Bruhn

Quanto a questão socioeconômica, os parques, reservas naturais e áreas verdes incluindo a arborização viária são extremamente valorizados pelos benefícios materiais e simbólicos para a saúde, mas não oferecem os mesmos benefícios a todas as comunidades.

O acesso desigual a recursos importantes como comércios, parques e áreas verdes no ambiente construído de áreas urbanas tem sido um problema social significativo do estudo de cientistas sociais.

Dessa forma, estudos de justiça urbana e ambiental correspondem a um problema estrutural, fator que molda a desigualdade ambiental espacial nas cidades surgindo como um sinônimo da má aplicação dos direitos ambientais direcionadas a populações com menor representatividade, ligadas principalmente a pobreza; menor IDHM como no caso de estudo nos municípios a sul do Rio Grande do Sul.

Na presente pesquisa foram identificadas áreas de altos valores das variáveis arborização de áreas urbanizadas e IDHM em clusters de municípios localizados à noroeste, na fronteira com a Argentina, centro e em um ponto específico na margem oeste da Lagoa dos Patos. Já os valores baixos dessas variáveis são encontrados à nordeste do estado na fronteira com Santa Catarina.

Os resultados demonstraram que existe correspondência entre o padrão da distribuição espacial da arborização de vias nas áreas urbanizadas e o IDHM, contemplando indicadores de Saúde (Longevidade), Educação e Renda no estado do Rio Grande do Sul.

Do ponto de vista territorial, o estado, embora seja um dos mais desenvolvidos do Brasil Cargnin (2014), ainda apresenta desigualdades, que se manifestam no IDHM e nos dados da arborização de vias de áreas urbanizadas. As disparidades entre as regiões e municípios são significativas, com especial destaque ao contraste entre os municípios do noroeste e do centro e os do nordeste e sul do estado.

Neste cenário, vislumbra-se que a arborização de áreas urbanizadas se tornou mais um, entre inúmeros elementos de segregação socioespacial no Rio

Parfitt, Cunha & Bruhn

Grande do Sul à medida que seu acesso é proporcional às condições de desenvolvimento Humano.

Portanto, a arborização urbana no estado do Rio Grande do Sul reflete uma situação de injustiça ambiental, o que Wolchet et al. (2014;); De Sousa et al (2018); Cruz-Sandoval, Ortego e Roca (2020) ;Juskus (2023) definem como uma desigualdade no acesso aos recursos ambientais e, também, socioeconômicos.

O estudo reflete uma situação de injustiça ambiental, o que Wolchet et al. (2014;); De Sousa et al (2018); Duarte (2017) Cruz-Sandoval, Ortego e Roca (2020); Juskus (2023) definem como uma desigualdade no acesso aos recursos ambientais e, também, socioeconômicos.

Os dados obtidos indicam a urgência de medidas de planejamento, incentivo à arborização de vias públicas em áreas urbanizadas nos 24 municípios do cluster *low-low*, nos 8 municípios do cluster *low-high* e por fim, nos 16 municípios do cluster *high-low*, especialmente na Região Funcional 3 de planejamento do estado do Rio Grande do Sul nos COREDES Campos de Cima da Serra, Serra e Hortênsias.

Nessa situação, é ressaltado que o papel do estado do Rio Grande do Sul, a partir de suas políticas de planejamento e incentivo voltadas para a arborização de vias nas áreas urbanizadas dos municípios, pode vir a contribuir efetivamente para a melhoria do IDHM e assim, da saúde, renda e educação da população gaúcha.

## 5. Considerações Finais

A pesquisa em questão procurou analisar o padrão de distribuição espacial da arborização de vias públicas das áreas urbanizadas no estado do Rio Grande do Sul e sua relação com o IDHM.

Os resultados do estudo tornaram possível identificar que os valores da arborização de vias públicas das áreas urbanizadas apresentam uma relação com os valores de IDHM observados em municípios vizinhos. No caso específico, a arborização de vias de áreas urbanizadas está associada ao IDHM nas

Parfitt, Cunha & Bruhn

microrregiões vizinhas. Assim, a arborização de vias em áreas urbanizadas em dada região, ou de determinados municípios, pode contribuir para valores correspondentes a altos ou baixos de IDHM nas regiões adjacentes, ou áreas urbanizadas de municípios vizinhos.

A maior proporção dos municípios com agrupamento de casos de áreas urbanizadas com maior média de arborização de vias públicas e maior média do IDHM (áreas *high-high*) está concentrada à noroeste e centro do estado, totalizando 58 municípios. As áreas *low-low*, com menor média de arborização de vias públicas e menor média do IDHM, somam 24 municípios e localizam-se à nordeste do estado. As áreas *high-low*, com valores altos cercados por valores baixos, são representadas por 16 municípios e estão localizadas à nordeste e, por fim, as áreas *low-high*, que apresentam valores baixos cercados por altos valores das variáveis, são representadas por 8 municípios localizados ao norte do Rio Grande do Sul.

A análise do padrão espacial da arborização viária mostra áreas de concentração de casos de alta arborização de vias públicas em áreas urbanizadas e alto IDHM, particularmente em municípios localizados à noroeste e centro do estado, enquanto que na região nordeste do estado o indicador foi baixo.

Para concluir, a metodologia se mostrou adequada e os dados resultantes podem servir de apoio ao processo de tomada de decisões no que tange o desenvolvimento local e regional, bem como na melhoria da qualidade de vida da população em geral.

## 6. Referências Bibliográficas

ANSELIN, L. Local indicators of spatial association - LISA. **Geographical Analysis**, Columbus, v.27, n. 2, p. 93-115, 1995. DOI: 10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338. x.

ARAUJO, E. C. de; URIBE-OPAZO, M. A.; JOHANN, J. A. Modelo de regressão espacial para estimativa da produtividade da soja associada a variáveis agro

Parfitt, Cunha & Bruhn

meteorológicas na região oeste do estado do Paraná. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 2, p. 286-299, 2014. DOI: 10.1590/S0100-69162014000200010.

BERMAN, M. G.; JONIDES, J.; KAPLAN, S. The cognitive benefits of interacting with nature. **Psychological Science**, 19(12), pp. 1207-1212, 2008. DOI: 10.1111/j.1467-9280.2008.02225.x.

BERTHON, K.; THOMAS, F.; BEKESSY, S. The role of nativeness in urban greening to support animal biodiversity. **Landscape and Urban Planning**, 205, p, 1-11, 2021. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2020.103959.

BIKIS, A. Urban air pollution and greenness in relation to public health. **Journal of Environmental and Public Health**, v. 2023, n. 1, p. 8516622, 2023.

BURDEN, D. 22 benefits of urban street trees. **Glatting Jackson, Walkable Communities**, Inc, 2006. Disponível em: <[https://www.walkable.org/download/22\\_benefits.pdf/](https://www.walkable.org/download/22_benefits.pdf/)>.

CARGNIN, A. P. Política nacional de desenvolvimento regional e repercussões no Rio Grande do Sul. **Mercator** (Fortaleza), v. 13, p. 19-35, 2014. DOI: 10.4215/RM2014.1301.0002.

CRUZ-SANDOVAL, M.; ORTEGO, M. I.; ROCA, E. Tree ecosystem services, for everyone? A compositional analysis approach to assess the distribution of urban trees as an indicator of environmental justice. **Sustainability**, 12, 1215, 2020. DOI: 10.3390/su12031215.

DADVAND, P. et al. Green spaces and cognitive development in primary schoolchildren. **PNAS**. v.112, n.26, p.7937-42, 2015.

DE SOUSA, C. S.; VIEGAS, I.; PANAGOPOULOS, T.; BELL, S. Environmental Justice in Accessibility to Green. **Land**, 7, 1-23, 2018. DOI: 10.3390/land7040134.

DONOVAN, G. H. Including public-health benefits of trees in urban-forestry decision making. **Urban Forestry and Urban Greening**, 22, pp.120-123, 2017. DOI: 10.1016/j.ufug.2017.02.010.

Parfitt, Cunha & Bruhn

DUARTE, T. E. P. N. Arborização urbana no Brasil: um reflexo de injustiça ambiental. **Terra Plural**, Ponta Grossa, v.11, n.2, pp. 291-303, 2017.

FELIPPE, B. M. et al. Análises diretivas para o processo de gestão da arborização de calçadas em São Pedro do Sul, RS. **Ciência Florestal**, v. 32, n. 4, p. 2035-2056, 2022.

FRIDRICH, G. A. A Contribuição das áreas verdes para o bem-estar e saúde ambiental no ambiente escolar. **Environmental Smoke**, v. 4, n. 3, p. 1-13, 2021.

HASENACK, H.; WEBER, E.(org.) Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2010. 1 DVD-ROM.

HUANG, W.; LIN, G. The relationship between urban green space and social health of individuals: A scoping review. **Urban forestry & urban greening**, v. 85, p. 127969, 2023.

HEWITT, C. N.; ASHWORTH, K.; MACKENZIE, A. Rob. Using green infrastructure to improve urban air quality (GI4AQ). **Ambio**, v. 49, n. 1, p. 62-73, 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Bases Cartográficas - Malhas Digitais Municipais, Estaduais e de Países**. 2018. Disponível em: < ftp://geoftp.ibge.gov.br/>.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo demográfico. Rio de Janeiro, 2010b. Disponível em: < <https://censo2010.ibge.gov.br/>>.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo demográfico. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: < <https://censo2010.ibge.gov.br/>>.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE Cidades**. 2010a. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/>>.

Parfitt, Cunha & Bruhn

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Índice de Desenvolvimento Humano Municipal Brasileiro Brasília: PNUD, Ipea, FJP; Série **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil**. 95 p., 2013.

JAUNG, W. et al. Temperature and air pollution reductions by urban green spaces are highly valued in a tropical city-state. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 55, p. 126827, 2020.

JUSKUS, R. Sacrifice zones: A genealogy and analysis of an environmental justice concept. **Environmental Humanities**, v. 15, n. 1, p. 3-24, 2023

KHODADAD, M.; AGUILAR-BARAJAS, I.; KHAN, A. Z. Green infrastructure for urban flood resilience: a review of recent literature on bibliometrics, methodologies, and typologies. **Water**, v. 15, n. 3, p. 523, 2023.

KUO, M., BROWNING, M. H. E. M., SACHDEVA, S., LEE, K., WESTPHAL, L. Might school performance grow on trees? Examining the link between 'greenness' and academic achievement in urban, high-poverty schools. **Frontiers in Psychology**, 25, 1669, 2018. DOI: 10.3389/fpsyg.2018.01669.

KWEON, B. S.; ELLIS, C. D.; LEE, J.; JACOBS, K. The link between school environments and student academic performance. **Urban Forestry and Urban Greening**, 23, pp. 35-43, 2017. DOI: 10.1016/j.ufug.2017.02.002.

LIU, Jiajia; SLIK, Ferry. Are street trees friendly to biodiversity? **Landscape and Urban Planning**, v. 218, p. 104304, 2022.

MACIEL, J. A. C.; CASTRO-SILVA, I. I.; FARIAS, M. R. de. Análise inicial da correlação espacial entre a incidência de COVID-19 e o desenvolvimento humano nos municípios do estado do Ceará no Brasil. **Revista brasileira de epidemiologia**, v. 23, p. 1-17, 2020. DOI: 10.1590/1980-5497202000057.

MARCONATO, M.; DAL MORO, O. F.; PARRE, J. L.; FRAVO, J. Uma análise espacial sobre a saúde nos municípios brasileiros em 2010. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 18, n. 1, p. 1-26, 2020. DOI: 10.25070/rea.v18i1.7926.

MARSELLE, M. R. et al. Urban street tree biodiversity and antidepressant prescriptions. **Scientific reports**, v. 10, n. 1, p. 22445, 2020.

Revista Espaço & Geografia, v. 27, 2024 (DOI: 10.26512/2236-56562024e51164)

<https://periodicos.unb.br/index.php/espacoegografia/index>

Parfitt, Cunha & Bruhn

MASSON, V. et al. Urban climates and climate change. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 45, n. 1, p. 411-444, 2020.

MOREIRA, T. C. L.; POLIZEL, J. L.; SANTOS, I. D. S.; SILVA FILHO, D. F.; BENSENOR, I.; LOTUFO, P. A.; MAUAD, T. Green Spaces, Land Cover, Street Trees and Hypertension in the Megacity of São Paulo. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, 17, 725, 2020. DOI: 10.3390/ijerph17030725.

NOWAK, D. J.; HIRABAYASHI, S.; DOYLE, M.; MCGOVERN, M.; PASHER, J. Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health. **Urban Forestry and Urban Greening**, 29, pp. 40-48, 2018. DOI: 10.1016/j.ufug.2017.10.019.

OGUNBODE, T. O.; ASIFAT, J. T. Sustainability and challenges of climate change mitigation through urban reforestation-a review. **Journal of forest and environmental science**, v. 37, n. 1, p. 1-13, 2021.

PARFITT, C. M.; DA CUNHA, Henrique Noguez; BRUH, Nadia Campos Pereira. Análise exploratória espacial da arborização de vias em áreas urbanizadas: estudo no Brasil Subtropical. **Geografia (Londrina)**, v. 31, n. 2, p. 213-232, 2022.

PEDERSEN ZARI, M. et al. Regenerative living cities and the urban climate-biodiversity-wellbeing nexus. **Nature Climate Change**, v. 12, n. 7, p. 601-604, 2022.

PIRACHA, A.; CHAUDHARY, M. T. Urban air pollution, urban heat island and human health: a review of the literature. **Sustainability**, v. 14, n. 15, p. 9234, 2022.

SAHANA, S.; KARTHIGAYINI, S. Design Strategies to Reduce the Impact of Visual and Noise Pollution in Urban Areas. **History**, v. 7, n. 1, p. 67-71, 2020.

SEO, Y. Varying effects of urban tree canopies on residential property values across neighborhoods. **Sustainability**, v. 12, n. 10, p. 4331, 2020.

SAENEN, N. D. et al. Residential green space improves cognitive performances in primary schoolchildren independent of traffic-related air pollution exposure. **Environmental Health**, v. 22, n. 1, p. 33, 2023.

Parfitt, Cunha & Bruhn

SEAMANS, G. S. Mainstreaming the environmental benefits of street trees. **Urban Forestry & Urban Greening**, 12(1), pp. 20–21, 2013. DOI: 10.1016/j.ufug.2012.08.004.

SEO, Y. Varying effects of urban tree canopies on residential property values across neighborhoods. **Sustainability**, v. 12, n. 10, p. 4331, 2020.

SESSO FILHO, U. A. Dinâmica populacional dos municípios do estado do Paraná: uma análise exploratória de dados espaciais. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, v. 42, n. 141, 2021.

VENTER, Zander S. et al. Environmental justice in a very green city: Spatial inequality in exposure to urban nature, air pollution and heat in Oslo, Norway. **Science of The Total Environment**, v. 858, p. 160193, 2023.

VENTER, Zander S. et al. Environmental justice in a very green city: Spatial inequality in exposure to urban nature, air pollution and heat in Oslo, Norway. **Science of The Total Environment**, v. 858, p. 160193, 2023.

VON DÖHREN, P.; HAASE, D. Risk assessment concerning urban ecosystem disservices: The example of street trees in Berlin. Germany. **Ecosystem Services**, 40, 101031, pp. 1-13, 2019. DOI: 10.1016/j.ecoser.2019.101031.

WOLCH, J. R.; BYRNE, J.; NEWELL, J. P. Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities 'just green enough'. **Landscape and Urban Planning**, 125, 234–244, 2014. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2014.01.017.

WOLF, K. L.; LAM, S. T.; MCKEEN, J. K.; RICHARDSON, G. R.; VAN DEN BOSCH, M.; BARDEKJIAN, A. C. Urban trees and human health: A scoping review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, 17, 4371, 2020. DOI: 10.3390/ijerph17124371.

WOOD, E. M.; ESAIAN, S. The importance of street trees to urban avifauna. **Ecological Applications**, 30, pp. 1-20, 2020. DOI: 10.1002/eap.2149.

YAO, J. et al. The spatial variation of air purification benefit provided by street tree assemblages in Shenyang, China. **Urban Ecosystems**, p. 1-8, 2022.

Revista Espaço & Geografia, v. 27, 2024 (DOI: 10.26512/2236-56562024e51164)

<https://periodicos.unb.br/index.php/espacoegografia/index>

Parfitt, Cunha & Bruhn

YUAN, J. et al. Urban tourism attributes and overall satisfaction: An asymmetric impact-performance analysis. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 30, p. 169-181, 2018.

ZHANG, L.; TAN, P. Y.; RICHARDS, D. Relative importance of quantitative and qualitative aspects of urban green spaces in promoting health. **Landscape and urban planning**, v. 213, p. 104131, 2021.