

INFRAESTRUTURA VERDE E SUSTENTABILIDADE URBANA: UMA ANÁLISE CIENCIOMÉTRICA GLOBAL

GREEN INFRASTRUCTURE AND URBAN SUSTAINABILITY: A GLOBAL SCIENCE- METRIC ANALYSIS

ANDERSON SACCOL FERREIRA

UNOESC - UNIVERSIDADE DO OESTE DE SANTA CATARINA

GILSON DITZEL SANTOS

Comunicação:

O XIII SINGEP foi realizado em conjunto com a 13th Conferência Internacional do CIK (CYRUS Institute of Knowledge), em formato híbrido, com sede presencial na UNINOVE - Universidade Nove de Julho, no Brasil.

Agradecimento à órgão de fomento:

Os autores agradecem o apoio da Fundação Araucária, da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação de Santa Catarina (FAPESC) e da CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

INFRAESTRUTURA VERDE E SUSTENTABILIDADE URBANA: UMA ANÁLISE CIENCIOMÉTRICA GLOBAL

Objetivo do estudo

Mapear padrões da produção científica sobre infraestrutura verde, sustentabilidade urbana e soluções baseadas na natureza, identificar lacunas e propor diretrizes para o planejamento urbano sustentável.

Relevância/originalidade

O estudo contribui para integrar infraestrutura ecológica, justiça socioambiental e governança, promovendo uma abordagem sistêmica das soluções baseadas na natureza no contexto urbano.

Metodologia/abordagem

Análise cienciométrica de 832 artigos indexados na base Scopus (2014–2024), utilizando os softwares Bibliometrix e VOSviewer para identificar padrões, redes e eixos temáticos.

Principais resultados

As coocorrências revelam articulação entre infraestrutura verde, saúde, resiliência e governança. Três frentes se destacam: ilhas de calor, priorização de áreas verdes e justiça ambiental.

Contribuições teóricas/metodológicas

Identificação de cinco eixos temáticos estruturantes e proposta de diretrizes integradas com base em evidências bibliométricas e análise de redes científicas globais.

Contribuições sociais/para a gestão

Propõe o uso de geotecnologias, planejamento multiescalar, participação social e redistribuição equitativa de áreas verdes para cidades mais resilientes e inclusivas.

Palavras-chave: Infraestrutura verde, Sustentabilidade urbana, Cidades inteligentes, Análise cienciométrica, Planejamento ambiental

GREEN INFRASTRUCTURE AND URBAN SUSTAINABILITY: A GLOBAL SCIENCE-METRIC ANALYSIS

Study purpose

To map patterns in scientific production on green infrastructure, urban sustainability, and nature-based solutions, identify gaps, and propose guidelines for sustainable urban planning.

Relevance / originality

The study contributes by integrating ecological infrastructure, socio-environmental justice, and governance, promoting a systemic approach to nature-based solutions in urban contexts

Methodology / approach

Scientometric analysis of 832 articles indexed in the Scopus database (2014–2024), using Bibliometrix and VOSviewer software to identify patterns, networks, and thematic axes.

Main results

Co-occurrence networks reveal a strong articulation between green infrastructure, health, resilience, and governance. Three main fronts stand out: urban heat island mitigation, prioritizing green areas, and promoting environmental justice.

Theoretical / methodological contributions

Identification of five structuring thematic axes and proposal of integrated guidelines based on bibliometric evidence and global scientific network analysis.

Social / management contributions

Proposes the use of geotechnologies, multiscale planning, social participation, and equitable redistribution of green areas to promote more resilient and inclusive cities.

Keywords: Green infrastructure, Urban sustainability, Smart cities, Scientometric analysis, Environmental planning

INFRAESTRUTURA VERDE E SUSTENTABILIDADE URBANA: UMA ANÁLISE CIENCIOMÉTRICA GLOBAL

1. Introdução

Nas últimas décadas, a intensificação das mudanças climáticas e a degradação ambiental têm ampliado os desafios enfrentados pelas cidades, o que exige soluções que integrem sustentabilidade, justiça social e inovação tecnológica. A literatura internacional tem destacado o papel da infraestrutura verde e das soluções baseadas na natureza como estratégias centrais para enfrentar problemas como ilhas de calor urbano, enchentes, perda de biodiversidade e desigualdade no acesso a espaços públicos (Gunawardena et al., 2017; Chan et al., 2018; Hui et al., 2023). Intervenções baseadas em infraestrutura ecológica torna-se estratégias para promover resiliência urbana e qualidade de vida, sobretudo em áreas densamente urbanizadas (Kadić et al., 2025; Hautamäki et al., 2025). Estudos recentes ampliam essa compreensão ao apontar que os pequenos espaços verdes urbanos têm alto valor ecológico e social, como forma de prolongar a vida útil da infraestrutura urbana e fortalecer o bem-estar comunitário (Webber et al., 2025; Pienaa et al., 2025; Taylor-Burns et al., 2025). Contudo, mesmo com o avanço teórico e empírico, há lacunas na compreensão sobre a distribuição, concentração e evolução dessa produção científica em nível global.

Neste contexto, o presente artigo tem como objetivo realizar uma revisão cientométrica da literatura recente sobre infraestrutura verde, soluções baseadas na natureza e sustentabilidade urbana, com ênfase na produção indexada na base Scopus entre 2014 e 2024. A partir dessa base, investiga-se: (a) como ocorreu a distribuição da produção qualitativa e quantitativa ao longo dos últimos anos; (b) quais periódicos concentram a maior parte dos estudos sobre o tema; (c) como essa produção está distribuída entre países e universidades; e (d) quais áreas apresentam maior concentração de pesquisas e quais são as tendências emergentes. As contribuições deste estudo se destacam por oferecer uma visão ampla e estruturada das redes temáticas, autorais e geográficas que configuram o campo de estudos sobre infraestrutura verde em cidades inteligentes. Assim, é possível identificar padrões, lacunas e oportunidades para orientar políticas públicas, promover justiça socioambiental e ampliar o uso de abordagens regenerativas e interdisciplinares no planejamento urbano. A análise proposta reforça o papel da ciência na formulação de estratégias urbanas mais eficazes, equitativas e alinhadas aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.

2. Metodologia

O mapeamento cientométrico trata-se de um processo complexo, estruturado em múltiplas etapas do sistema que envolve a articulação entre literatura científica, métricas e indicadores capazes de revelar padrões emergentes, além de teorias que explicam transformações no conhecimento e conexões intelectuais dentro de um sistema dinâmico (Aria & Cuccurullo, 2017; Chen, 2017). Neste estudo, a análise cientométrica concentrou-se na intersecção entre sustentabilidade ambiental e cidades inteligentes, com especial atenção ao papel da infraestrutura verde e das soluções baseadas na natureza. A sequência de consulta finalizada usada para pesquisa foi: *TITLE-ABS-KEY ((“green infrastructure” OR “nature-based solution*” OR “urban vegetation” OR “green corridor*” OR “climate adaptation” OR “green smart city” OR “smart ecological city” OR “eco-smart city”))*

A busca foi realizada na base de dados Scopus no dia 05 de agosto de 2025, com o uso de palavras-chave estruturadas com operadores booleanos *AND* e *OR*, composta por dois grupos temáticos principais. O primeiro grupo abrange o interesse pela infraestrutura ecológica, vegetação urbana e mecanismos de adaptação climática no ambiente urbano. Esses termos

indicam uma ênfase na sustentabilidade, nos serviços ecossistêmicos e na resiliência ambiental. O segundo grupo expressa um recorte específico sobre a convergência entre tecnologia urbana e princípios ecológicos. Esses conceitos representam um desdobramento das cidades inteligentes tradicionais, e incorporam critérios ambientais à governança urbana e às estratégias de inovação.

Um total de 26.213 documentos associados à temática foi encontrado. Em um segundo momento, aplicou-se o filtro *Document type* que resultou em 18.427 documentos. Foram excluídos, nesse processo, editoriais, resenhas, notas técnicas, anais de eventos, capítulos de livros e outras publicações sem revisão por pares, com o objetivo de garantir maior rigor científico à base de análise. Na etapa seguinte, foi aplicado o filtro temporal de 2014 a 2024, com o intuito de concentrar a análise nas publicações mais recentes e alinhadas com os avanços contemporâneos sobre sustentabilidade urbana e cidades inteligentes. Após esse refinamento, foram obtidos 14.361 documentos elegíveis para leitura exploratória de títulos e resumos. Para organizar e otimizar essa leitura, utilizaram-se os recursos *Sort by*. A partir dessa etapa, foram selecionados 832 documentos que apresentam alinhamento temático com os objetivos da pesquisa. A análise dos dados foi conduzida por meio do *software* Bibliometrix, operado em linguagem R, e do programa VOSviewer, utilizados para gerar os mapas e redes de visualização científica. Adicionalmente, os dados foram organizados e sistematizados em planilhas Excel, nas quais foram realizadas as tabulações e os fichamentos que subsidiaram as análises posteriores.

3. Resultados

3.1 Análise do Portfólio

A análise do portfólio composto por 832 documentos revelou um conjunto de 2.816 autores, com taxa de 27.76% de coautoria internacional, o que evidencia o caráter colaborativo e transnacional das pesquisas relacionadas à infraestrutura verde e cidades inteligentes. A taxa de crescimento anual dos artigos foi estimada em 20.32%, com uma expansão contínua do interesse acadêmico sobre o tema ao longo da última década. A idade média dos documentos analisados é de 4.76 anos, o que indica uma predominância de publicações recentes na base, o que mostra a atualidade e a pertinência do debate. Além disso, a média de citações por documento foi de 65.63, e sugere alto impacto científico da literatura selecionada.

Em termos cronológicos, observa-se uma tendência de crescimento consistente na produção científica: a análise dos dados entre 2014 e 2024 mostra crescimento no número de publicações, com variações no impacto médio. Em 2014, foram 28 artigos (134.71 citações acumuladas; 11.23 por artigo). Em 2015, 34 artigos (154.44; 14.04), e em 2016, 51 artigos (132.96; 13.30). O pico de impacto ocorreu em 2017 com 71 artigos (137.96; 15.33). A partir de 2018, nota-se queda gradual nas citações, apesar da alta produção: 2018 (61 artigos; 92.59; 11.57), 2019 (93; 82.24; 11.75), 2020 (81; 79.48; 13.25), 2021 (85; 51.54; 10.31), 2022 (79; 44.13; 11.03) e 2023 (71; 16.72; 5.57). Em 2024, houve aumento expressivo nas publicações (178 artigos), mas com baixo impacto inicial (1.21 citações acumuladas; 0.60 por artigo), reflexo da recente divulgação. Os dados mostram crescimento na produção científica sobre infraestrutura verde e cidades inteligentes entre 2014 e 2024, com maior volume a partir de 2017. Ao mesmo tempo, há queda no impacto médio por artigo, com redução nas citações. Isso indica consolidação do tema entre 2015 e 2020, seguida por possível saturação ou dispersão nas abordagens recentes.

A análise dos artigos mais citados revela contribuições para a compreensão do papel da infraestrutura verde no enfrentamento dos desafios urbanos contemporâneos. O primeiro estudo destaca o potencial das áreas verdes e azuis no resfriamento urbano, sobretudo por meio da

evapotranspiração e da melhoria da convecção, com ênfase nos espaços arborizados que oferecem maior alívio térmico em contextos de urbanização acelerada (Gunawardena et al., 2017). O segundo estudo apresenta um modelo de priorização para a implementação de infraestrutura verde urbana, baseado em quatro tipologias principais (parques públicos, árvores sombreadoras, coberturas verdes e fachadas vegetadas), o qual tem se mostrado eficaz na redução de temperatura, conservação da biodiversidade e melhoria da qualidade ambiental, em regiões de clima seco e quente (Norton et al., 2015). Outro estudo discute a integração entre os conceitos de *Green Economy*, *Circular Economy* e *Bioeconomy*, mostra que, embora essas abordagens sejam complementares, apresentam limitações por não questionarem diretamente o modelo de crescimento econômico, o que exige maior clareza conceitual para orientar políticas públicas sustentáveis (D’Amato et al., 2017).

O quarto estudo propõe o modelo GISP para o planejamento espacial de infraestrutura verde com base em critérios múltiplos, como águas pluviais, qualidade do ar e conectividade da paisagem, ou seja, mostra que muitas intervenções existentes não estão alocadas em áreas prioritárias, o que revela a necessidade de estratégias mais integradas (Meerow, 2017). O quinto estudo identifica desigualdades na distribuição de espaços verdes urbanos em função da densidade populacional, do perfil socioeconômico e da origem migratória, e reforça a importância de alinhar a oferta dessas áreas às preferências culturais e etárias dos usuários (Kabisch & Haase, 2014). O sexto estudo aborda a multifuncionalidade da infraestrutura verde como princípio central do planejamento urbano e sugere que essa característica pode ser operacionalizada por meio de ferramentas derivadas da pesquisa em serviços ecossistêmicos, de forma a favorecer o equilíbrio entre oferta e demanda e o manejo de *trade-offs* no ambiente urbano (Hansen, 2014).

O sétimo estudo propõe uma estrutura conceitual voltada à economia verde, com o objetivo de avaliar sua capacidade de promover transições sustentáveis a partir da identificação de diferentes níveis de substitutibilidade entre benefícios ambientais e econômicos, ou seja, considerar suas implicações para a sustentabilidade forte e fraca (Loiseau et al., 2016). O oitavo estudo enfatiza que a governança da infraestrutura verde deve considerar os sistemas socioecológicos e valorizar a atuação dos “guardiões locais” na produção e manutenção dos serviços ecossistêmicos urbanos, atores frequentemente negligenciados nos processos de planejamento (Andersson, 2014). O nono estudo explora o uso de veículos aéreos não tripulados (UAVs) combinados com análise de textura e algoritmos *Random Forest*, e mostra precisão na classificação da vegetação urbana, o que os torna ferramentas eficazes para o mapeamento e planejamento ambiental de alta resolução (Feng, 2015). Já o décimo estudo analisa a implementação do conceito de *Sponge City* na China, que demonstra a articulação entre espaços verdes e azuis pode oferecer soluções para o controle de enchentes, conservação hídrica e adaptação climática, ou seja, promove práticas integradas de planejamento urbano sustentável (Chan, 2018). Os artigos mais citados estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Artigos mais citados do portfólio

Autor	Título	Jornal	Citações
Gunawardena et al., 2017	<i>Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity.</i>	<i>The Science of the Total Environment</i>	932
Norton et al., 2015	<i>Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes.</i>	<i>Landscape and Urban Planning</i>	879
D’Amato et al., 2017	<i>Green, circular, bio economy: A comparative analysis of sustainability avenues</i>	<i>Journal of Cleaner Production</i>	768
Meerow & Newell, 2017	<i>Spatial planning for multifunctional green infrastructure: Growing resilience in Detroit.</i>	<i>Landscape and Urban Planning</i>	681

Kabisch & Haase, 2014	<i>Green justice or just green? Provision of urban green spaces in Berlin, Germany</i>	<i>Landscape and Urban Planning</i>	645
Hansen & Pauleit, 2014	<i>From multifunctionality to multiple ecosystem services? A conceptual framework for multifunctionality in green infrastructure planning for urban areas.</i>	<i>Ambio</i>	559
Loiseau et al., 2016	<i>Green economy and related concepts: An overview.</i>	<i>Journal of Cleaner Productio</i>	554
Andersson et al., 2014	<i>Reconnecting cities to the biosphere: stewardship of green infrastructure and urban ecosystem services.</i>	<i>Ambio</i>	507
Feng et al., 2015	<i>UAV remote sensing for urban vegetation mapping using Random Forest and texture analysis.</i>	<i>Remote Sensing,</i>	505
Chan et al., 2018	<i>“Sponge City” in China-A breakthrough of planning and flood risk management in the urban context.</i>	<i>Land Use Policy</i>	450

Os artigos analisados indicam que a infraestrutura verde e azul é essencial para enfrentar os impactos urbanos associados às mudanças climáticas, como ilhas de calor, enchentes, perda de biodiversidade e desigualdade no acesso a áreas verdes. As soluções baseadas na natureza demonstram potencial para reduzir temperaturas, melhorar a gestão hídrica, aumentar a qualidade ambiental e promover bem-estar urbano (Gunawardena et al., 2017; Norton et al., 2015; Chan, 2018). Além dos benefícios ecológicos, os estudos destacam a importância da integração com tecnologias como UAVs, sistemas de informação geográfica e análise espacial para orientar o planejamento urbano de forma mais eficaz (Feng, 2015; Meerow, 2017). Também apontam a necessidade de políticas sensíveis às diferenças culturais e sociais, de forma a considerar preferências locais e justiça socioambiental (Kabisch, 2014; Andersson, 2014). No contexto das cidades inteligentes, os achados reforçam que a articulação entre natureza, tecnologia e governança é chave para promover sustentabilidade, resiliência e inclusão urbana (Hansen, 2014; Loiseau et al., 2016; D’Amato et al., 2017).

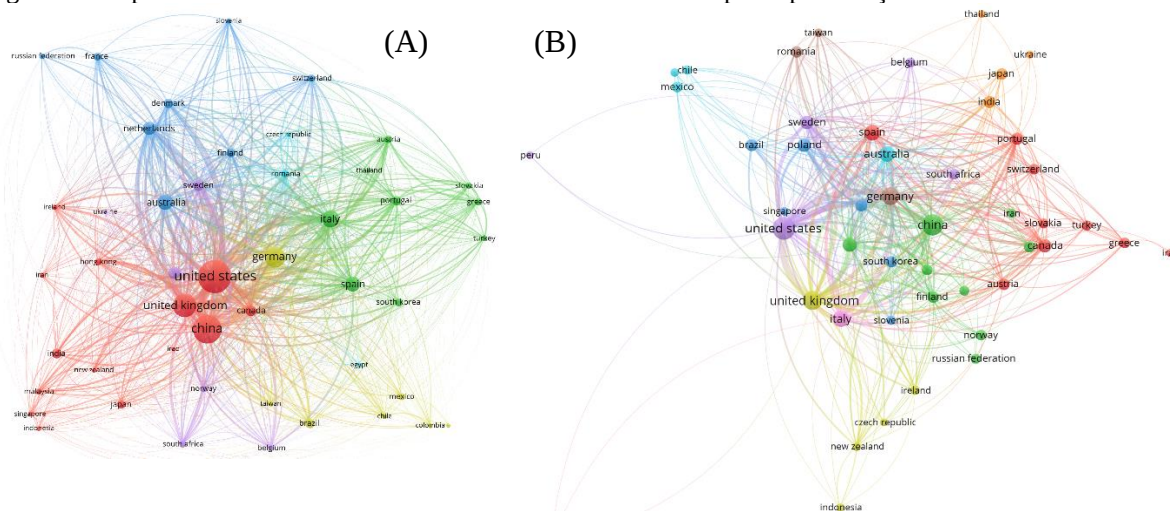
3.2 Análise dos Países e Afiliações mais relevantes

A análise revela uma concentração da produção científica em poucos países, com destaque para a China (105 artigos, 12.6%) com um total de 6.732 citações, os Estados Unidos (87 artigos, 10.5%) e o Reino Unido (56 artigos, 6.7%, 6.205 citações). Esses países lideram em volume de publicações e apresentam forte inserção nas redes internacionais de produção e circulação do conhecimento. A China, por exemplo, registra 33.3% de seus artigos em coautoria internacional (MCP), enquanto o Reino Unido atinge 30.4% e demonstra participação estratégica em redes globais. A Figura 1 (A) apresenta o mapa de coautoria internacional por país, construído com base nas relações de coautoria entre autores de diferentes países. Os nós maiores indicam maior número de publicações em colaboração, sendo evidente a centralidade dos Estados Unidos, do Reino Unido e da China, que formam o núcleo da rede. Os agrupamentos coloridos refletem blocos com padrões semelhantes de colaboração científica: o cluster vermelho (América do Norte e potências asiáticas), o azul (Europa Ocidental), o verde (Europa Central e Mediterrâneo) e o amarelo (América Latina e África). As Figuras evidenciam a elevada densidade de interações entre os países centrais e a inserção periférica de países como Brasil, México, Colômbia e Egito, que mantêm vínculos mais limitados no sistema global de coautoria.

A Figura 1 (B), por sua vez, representa o mapa de citações entre países, que mostra o impacto científico das publicações. Os nós maiores, como Estados Unidos, Reino Unido,

Alemanha e China, indicam países cujos artigos são mais citados por outros. As conexões revelam fluxos de citação e influência entre os países, com destaque para os blocos europeu, asiático e norte-americano. Países como Brasil, México, Chile e Peru apresentam menor densidade de conexões, e reflete a dependência de centros mais citados para obter visibilidade internacional. A comparação entre as duas figuras mostra que a centralidade na coautoria (Figura 1A) nem sempre corresponde ao impacto por citação (Figura 1B), evidenciando diferentes dinâmicas de inserção no sistema científico global. A estrutura dessas redes revela assimetrias importantes: países do Norte global ocupam posições dominantes tanto em produção quanto em influência, enquanto países do Sul global buscam ampliar sua inserção por meio de colaborações, ainda que com menor visibilidade.

Figura 1 - Mapas de Redes Científicas Internacionais: Coautoria e Impacto por Citações entre Países



Nota: Figura A – Mapa de Coautoria entre Países com Agrupamentos Colaborativos. Figura B – Mapa de Citações entre Países com Agrupamento por Continente.

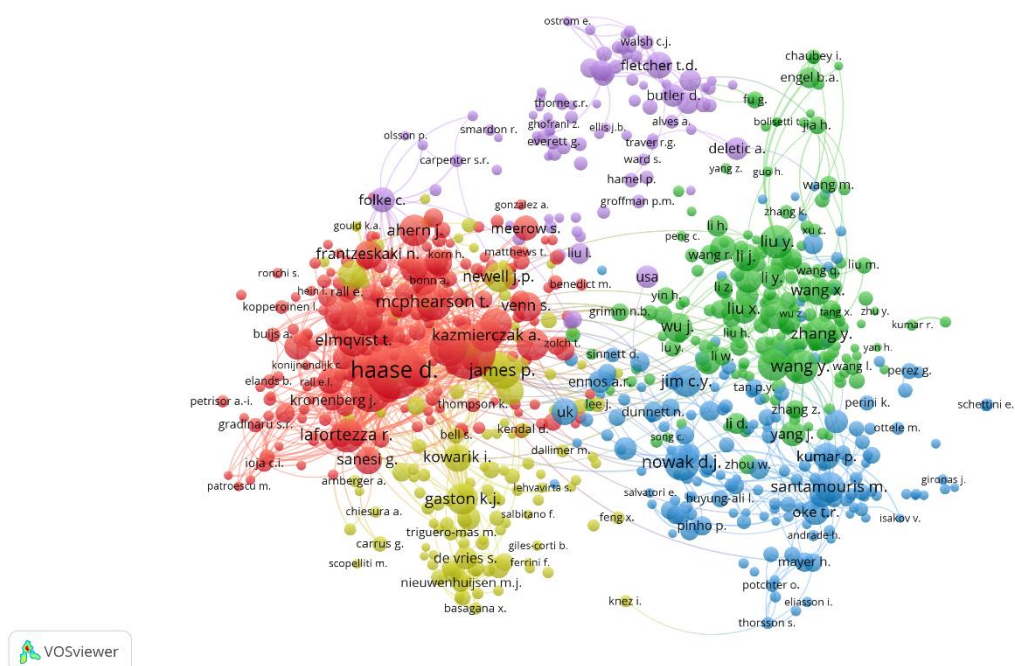
Países como Brasil, México e Chile ocupam posições periféricas, com menor densidade de conexões e dependência de centros mais citados para visibilidade internacional. Essa configuração da rede revela assimetrias na circulação do conhecimento científico, em que países do Norte global mantêm posições dominantes na produção e difusão acadêmica, enquanto países do Sul global buscam inserção por meio de colaborações pontuais e menos citadas.

Já as afiliações mais recorrentes reforçam a centralidade de instituições acadêmicas com forte inserção internacional na produção científica sobre infraestrutura verde e sustentabilidade urbana. Destacam-se a *Universitat Autònoma* de Barcelona (Espanha) e a *University of Copenhagen* (Dinamarca), ambas com 38 publicações, seguidas pela *Tsinghua University* (China), com 35, *University of Bucharest* (Romênia), com 30, e *University of Tehran* (Irã), com 27. A presença dessas universidades está diretamente associada à atuação de autores altamente produtivos no campo, como Francesc Baró e Gabriel Pérez, vinculados à *Universitat Autònoma* de Barcelona, que investigam os efeitos socioespaciais da gentrificação verde em contextos urbanos europeus (Venter et al., 2021). Já Dagmar Haase, frequentemente associada a instituições na Alemanha e em parceria com a *University of Copenhagen*, discute a distribuição desigual de áreas verdes e a justiça ambiental no planejamento urbano (Kabisch & Haase, 2014). Além disso, autores como Raffaele Laforteza e Stephan Pauleit, que contribuem para o debate sobre políticas públicas e soluções baseadas na natureza, integram redes de pesquisa consolidadas em universidades europeias (Sanesi et al., 2017).

3.3 Análise dos Autores mais Relevantes e Fator de Impacto

A análise da rede de coautoria mostra cinco agrupamentos de pesquisadores que atuam de forma interconectada em torno de temáticas relacionadas à infraestrutura verde, resiliência urbana e sustentabilidade em contextos urbanos. Cada *cluster* mostrado na Figura 2 identifica um eixo temático com destaque para autores centrais que impulsionam a produção científica internacional. O primeiro grupo, destacado em vermelho, é liderado por autores como Haase, D., Frantzeskaki, N., Aherns, J., McPherson, T. E., Kazmierczak, A., cuja produção concentra-se em justiça ambiental, planejamento urbano resiliente e soluções baseadas na natureza. Esses pesquisadores atuam em contextos europeus, e contribuem para o entendimento das dinâmicas socioecológicas urbanas e da integração das infraestruturas verdes no tecido urbano (Haase et al., 2020; Frantzeskaki, 2019). O segundo *cluster*, em verde, está associado à intensa produção chinesa, com destaque para Wang, Y., Liu, Y., Zhang, Y. e Li, X. Os trabalhos desse grupo abordam modelagens tridimensionais de redes ecológicas, serviços ecossistêmicos urbanos e indicadores de sustentabilidade aplicados ao planejamento territorial. A abordagem técnica e orientada por dados geoespaciais caracteriza esses estudos, com forte presença de análises multiescalares (Wang et al., 2021; Liu, 2022; Zhang, 2023).

Figura 2 – Rede de coautoria dos principais autores.



Nota: A imagem apresenta agrupamentos de autores conectados por colaborações científicas, organizados por cores que indicam afinidades temáticas.

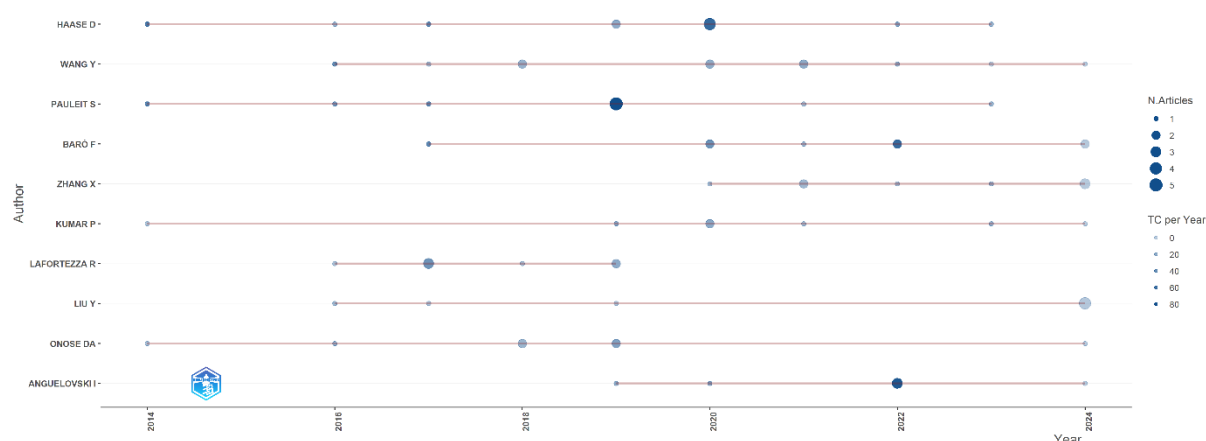
No *cluster* azul, destacam-se autores como Santamouris, M., Kumar, P., Nowak, D. J. e Mayer, H., com foco na mitigação das ilhas de calor urbanas, climatologia aplicada e monitoramento térmico. Esses trabalhos priorizam a quantificação dos efeitos climáticos das áreas verdes e a formulação de estratégias urbanas de adaptação com base em evidências empíricas (Santamouris, 2015; Nowak, 2018; Abhijith & Kumar, 2019). O *cluster* em amarelo reúne pesquisadores como Gaston, K. J., S. e Nieuwenhuijsen, M., que articulam o uso de áreas verdes com saúde urbana, bem-estar e percepção social do ambiente. Os estudos priorizam a

perspectiva da qualidade de vida e a relação entre espaços naturais e saúde pública, especialmente em grandes centros urbanos (Nieuwenhuijsen, 2017).

O *cluster* roxo concentra autores como Butler, D., Deletic, A. E., Fletcher, T. D., vinculados ao debate sobre infraestrutura azul-verde, sistemas urbanos de drenagem sustentável e governança ambiental. Esses pesquisadores integram engenharia, planejamento urbano e políticas públicas na construção de cidades resilientes à variabilidade climática (Fletcher et al., 2015; Kuller et al., 2019). A posição central de Haase, D. E. Wang, Y. nas conexões entre os *clusters* confirma sua relevância como autores-pivôs na articulação entre os campos temáticos, ou seja, há um diálogo entre ecologia urbana, modelagem espacial, infraestrutura verde e políticas adaptativas (Hansen et al., 2023; Wang et al., 2024).

Os autores mais produtivos são: Haase D. e Wang Y., ambos com 11 artigos. Haase publicou entre 2014 e 2023, com média de 33.47 citações por ano, enquanto Wang produziu entre 2016 e 2024, com média de 15.95. Pauleit S. soma 10 artigos (2014-2023) e registra o maior impacto médio, com 37.81 citações/ano. Baró F. tem 8 publicações (2017-2024) e média de 31.61. Zhang X., com 8 artigos (2020-2024), apresenta média de 10,01. Haase e Pauleit se destacam tanto em volume quanto em impacto acadêmico. A Figura 3 representa a produção científica ao longo do tempo dos autores mais relevantes na área de infraestrutura verde e cidades sustentáveis. Cada linha corresponde a um autor, e os círculos indicam a quantidade de artigos publicados por ano, enquanto o tamanho e a intensidade da cor do círculo refletem o impacto medido pelo número de citações anuais (*Total Citations per Year*).

Figura 3 - Produção científica dos autores ao longo do tempo.



Nota: Distribuição temporal das publicações dos autores mais produtivos no campo da sustentabilidade urbana, com destaque para a quantidade de artigos publicados por ano (tamanho dos círculos) e a média de citações anuais recebidas (intensidade da cor).

Observa-se que autores como Haase, D., Wang, Y., Pauleit, S. e Baró, F. mantêm produção consistente entre 2016 e 2024, com destaque para Pauleit, S. em 2019 e Haase, D. em 2021, cujos trabalhos apresentam alto impacto (círculos maiores e mais escuros). Laforteza, R. e Kumar, P. demonstram contribuições relevantes, enquanto autores como Anguelovski, I. e Onose, D. A. possuem produção mais concentrada em anos específicos, porém com elevado número de citações, o que indica trabalhos pontuais de destaque.

As revistas mais relevantes concentram parcela expressiva da produção científica no campo da sustentabilidade urbana e infraestrutura verde, conforme Journal Citation Reports (2024). A revista *Urban Forestry and Urban Greening* lidera com 63 artigos, com 7.57% do total, e apresenta fator de impacto (JCR) de 6.7. Em seguida, *Landscape and Urban Planning* contabiliza 43 publicações (5.17%) e destaca-se com JCR de 9.2. A revista *Sustainability (Switzerland)* possui 33 artigos (3.97%) e JCR de 3.3. Já *Science of the Total Environment*

reúne 32 publicações (3.85%) e apresenta JCR de 8.0. Por fim, a revista *Land* contabiliza 23 artigos (2.76%) com JCR de 3.2. Além do volume de publicações, chama a atenção o elevado impacto de *Landscape and Urban Planning* (JCR de 9.2) e *Science of the Total Environment* (JCR de 8), o que confirma sua relevância nas áreas de planejamento ambiental e sustentabilidade aplicada.

3.4 Análise das Palavras-Chave

As palavras-chave expressam o eixo central das pesquisas científicas, o que torna ponto-chave para identificar o direcionamento temático dos estudos (Jiang et al., 2021). A análise de coocorrência dessas palavras permite mapear conexões conceituais recorrentes em diferentes trabalhos, de forma a mostrar o grau de integração entre abordagens e temas (Zhao et al., 2019). Assim, a ocorrência e associação entre palavras-chave revelam as fronteiras do conhecimento, seus conceitos estruturantes e a evolução de questões-chave dentro de um domínio específico (Zhao et al., 2019).

Com base na análise das palavras-chave, temos um total de 12.588 ocorrências; destaca-se que o termo *greenspace*, com 271 menções, representa 2.15% do total. Em seguida, aparece *green infrastructure*, com 194 ocorrências (1.54%), o que mostra o foco dos estudos na relação entre infraestrutura ecológica e planejamento urbano. A palavra-chave *urban planning* surge com 188 registros (1.49%), seguida por *climate change* com 173 (1.37%) e *urban area* com 154 (1.22%). Esses dados apontam para um campo de investigação centrado na interseção entre sustentabilidade, planejamento urbano e respostas às mudanças climáticas. Os termos mais citados indicam a predominância de estudos voltados à adaptação climática urbana, valorização de espaços verdes e aplicação de soluções baseadas na natureza. A ênfase em *greenspace* e *green infrastructure* revela a priorização de estratégias ecológicas voltadas à mitigação dos impactos urbanos, com forte articulação entre meio ambiente e políticas de uso e ocupação do solo.

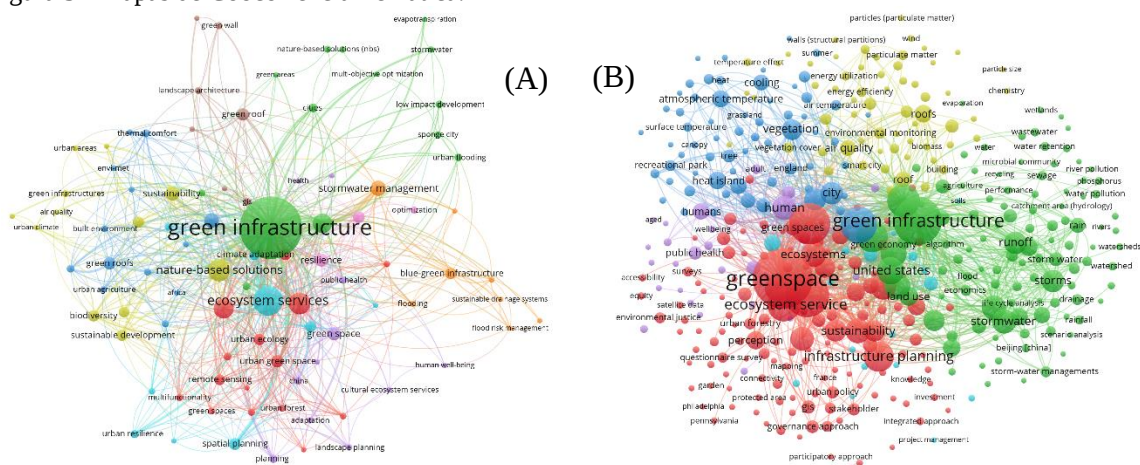
A *green infrastructure* desponta como alternativa estratégica para mitigar os efeitos das mudanças climáticas, ou seja, promove benefícios ecológicos, sociais e urbanos (Zhang et al., 2024). A implementação de *green spaces* em cidades asiáticas tem demonstrado potencial para fortalecer a resiliência urbana e melhorar a qualidade de vida, em contextos de alta densidade populacional (Kim & Li, 2023). Em cidades latino-americanas, observa-se a adoção de *nature-based solutions* com destaque para a função estruturante do planejamento urbano na superação de barreiras institucionais (Oliveira et al., 2023). No contexto das megacidades chinesas, o planejamento urbano eficaz amplia os efeitos positivos da infraestrutura verde (Wang et al., 2023). Já na Europa, a distribuição desigual de *greenspaces* evidencia questões de justiça socioambiental e acesso equitativo aos serviços ecossistêmicos (Rigolon et al., 2021). Essas evidências apontam para uma convergência temática nas pesquisas recentes, que reforçam a centralidade das soluções ecológicas no enfrentamento dos desafios urbanos contemporâneos. A literatura sinaliza um movimento global de incorporação da infraestrutura verde como eixo estratégico de políticas públicas voltadas à sustentabilidade urbana, com ênfase em resiliência, equidade e planejamento integrado.

A Figura 4 apresenta uma rede de coocorrência de palavras-chave com foco central em *green infrastructure* e destaca os principais eixos temáticos da literatura recente. O termo aparece fortemente conectado a *ecosystem service*, *urban area*, *stormwater*, *sustainability* e *infrastructure planning*, o que reflete uma abordagem multifuncional da infraestrutura verde na gestão urbana. O cluster verde agrupa termos como *stormwater*, *runoff*, *floods* e *drainage*, e mostra o uso da infraestrutura verde no controle hídrico e na mitigação de inundações (Marando et al., 2022). Já o cluster vermelho traz temas ligados à *biodiversity*, *public health*, *urban green space* e *cultural ecosystem services*, ou seja, os benefícios sociais e ambientais das áreas verdes

9

urbana, controle de enchentes e desenvolvimento urbano sustentável. A segmentação temática indica o fortalecimento de abordagens integradas. Por exemplo, o *cluster* laranja associa infraestrutura verde à gestão de águas pluviais e estratégias de adaptação a eventos extremos, como enchentes urbanas, enquanto o azul-claro e o ciano concentram-se em planejamento espacial, resiliência urbana e conforto térmico. Os agrupamentos roxos e vermelhos exploram aspectos culturais, percepção pública e ecologia urbana, com crescente interesse em impactos sociais e subjetivos dos espaços verdes (Hui et al. 2023; Anguelovski et al., 2022). Já o *cluster* amarelo reforça a importância do clima urbano, da qualidade do ar e do conforto térmico (Iungman et al., 2023).

Figura 5 - Mapas de Coocorrência Temática.



Nota: Figura 5 (A): Rede de Coocorrência Temática em Pesquisas sobre Espaços Verdes e Sustentabilidade Urbana; Figura 5 (B): Interconexões entre Infraestrutura Verde, Soluções Baseadas na Natureza e Serviços Ecosistêmicos.

Essas visualizações confirmam a importância das soluções baseadas na natureza como estratégias multifuncionais para responder aos desafios urbanos contemporâneos, de forma a integrar aspectos ambientais, sociais e técnicos. A presença recorrente de termos como *stormwater management*, *urban resilience* e *public health* sinaliza um direcionamento crescente da literatura para abordagens sistêmicas que superam a fragmentação setorial. Estudos de Li et al. (2025) e Hautamäki et al. (2025) apontam a necessidade de considerar a conectividade, a escala das intervenções e a quantificação dos benefícios ecológicos, como sequestro de carbono e mitigação climática.

3.5 Discussões

A evolução da produção científica ao longo da última década no campo da infraestrutura verde e cidades inteligentes apresenta um padrão de crescimento consistente, com marcos temporais que sinalizam mudanças no foco das pesquisas e uma ampliação do volume de publicações. Entre 2014 e 2024, observou-se um crescimento com destaque para o período entre 2015 e 2020, quando o número de publicações aumentou de forma expressiva e o impacto médio por artigo foi mais elevado. A partir de 2021, nota-se uma queda no impacto médio das publicações, apesar da continuidade no crescimento do número de artigos. Essa tendência pode refletir a dispersão temática ou a diversificação de abordagens, o que é corroborado pela análise dos clusters. Foram identificados cinco agrupamentos principais na rede de coautoria, os quais representam eixos temáticos distintos e interligados: (i) justiça ambiental e soluções baseadas na natureza; (ii) modelagem espacial e sustentabilidade urbana; (iii) mitigação de ilhas de calor e climatologia aplicada; (iv) saúde urbana e percepção ambiental; e (v) infraestrutura azul-verde

e governança ambiental (Ignatieva et al., 2020; Yafei Wang et al., 2021; Santamouris, 2015; Fletcher et al., 2015).

Esses *clusters* estabelecem conexões intertemáticas robustas. Por exemplo, o grupo liderado por Haase, Frantzeskaki e McPhearson atua como suporte teórico-metodológico para os demais ao integrar ecologia urbana com políticas públicas e planejamento socioambiental (Frantzeskaki, 2019; Hansen et al., 2023). Já o *cluster* chinês, centrado em Wang, Zhang e Liu, oferece base analítica por meio de modelagens tridimensionais e sistemas de informação geográfica, de forma a contribuir com dados geoespaciais que sustentam estratégias de planejamento ecológico (Zhang, 2023; Liu, 2022). A relação entre *clusters* se manifesta na incorporação de abordagens técnicas (como UAVs e algoritmos de classificação ambiental) em debates sobre saúde pública, bem-estar urbano e justiça ambiental, ou seja, indica que a um movimento de integração entre evidências empíricas e formulação de políticas (Feng, 2015; Nieuwenhuijsen, 2017).

Ao longo do tempo, os temas centrais evoluíram da ênfase na mitigação das ilhas de calor e adaptação climática para uma abordagem mais ampla e multifuncional da infraestrutura verde, com a incorporação da justiça ambiental, governança participativa e impactos sobre a saúde e qualidade de vida. Essa mudança é evidenciada na literatura recente, que amplia o escopo para incluir percepção social, gentrificação verde e integração de soluções baseadas na natureza em políticas urbanas regenerativas (Anguelovski et al., 2022; Hui et al., 2023). A análise de palavras-chave confirma essa tendência, com destaque para os termos *green infrastructure*, *urban resilience*, *public health* e *stormwater management*, que aparecem interligados nos mapas de coocorrência, o que sinaliza uma consolidação de abordagens interdisciplinares e sistêmicas.

A análise cientométrica revela que campos interdisciplinares passaram a exercer forte influência sobre os estudos voltados à infraestrutura verde e à sustentabilidade urbana, de forma a consolidar uma abordagem sistêmica que articula ecologia urbana, ciência ambiental, planejamento urbano, saúde pública e ciência de dados. Essa convergência é visível na incorporação de tecnologias como sensoriamento remoto, sistemas de informação geográfica e algoritmos de aprendizado de máquina para mapeamento de vegetação e análise de serviços ecossistêmicos (Feng et al., 2015; Zhang, 2023). Além disso, há crescente diálogo com áreas como epidemiologia ambiental, estudos sobre percepção social e justiça climática, o que amplia o alcance da pesquisa para além das soluções técnicas e ecológicas, e inclui fatores socioespaciais e culturais (Kabisch & Haase, 2014; Nieuwenhuijsen, 2017).

Essa ampliação interdisciplinar revela uma mudança no direcionamento da pesquisa, com ênfase em estratégias integradas, baseadas na natureza e sustentadas por dados empíricos, que consideram tanto as dimensões físicas quanto subjetivas do ambiente urbano. Os achados mais relevantes da literatura apontam que a infraestrutura verde e azul pode mitigar ilhas de calor, controlar enchentes, melhorar a qualidade do ar, promover saúde pública e contribuir para a justiça ambiental (Gunawardena et al., 2017; Norton et al., 2015; Chan et al., 2018; Hui et al., 2023). No contexto das cidades inteligentes, esses resultados reforçam a necessidade de políticas públicas orientadas por dados e baseadas em soluções socioecológicas que unam tecnologia, governança e participação comunitária (Hansen et al., 2023; Wang et al., 2024).

Tais evidências oferecem subsídios concretos para o planejamento urbano, o que sugere diretrizes que vão desde a priorização de áreas verdes multifuncionais até a adoção de ferramentas de geoprocessamento para gestão territorial. Os estudos alertam para a urgência de incorporar critérios de equidade, uma vez que a distribuição desigual de espaços verdes gera exclusões socioambientais e reforça desigualdades estruturais (Andersson et al., 2014; Anguelovski et al., 2022). A articulação entre soluções baseadas na natureza e políticas de uso do solo pode, assim, redefinir a lógica de expansão urbana, promover resiliência climática e elevar a qualidade de vida nas cidades. Apesar dos avanços, existem lacunas relevantes na

literatura. Persistem limitações quanto à avaliação de impactos em zonas densamente urbanizadas, à integração entre escalas de planejamento e à mensuração sistemática dos serviços ecossistêmicos prestados pelas infraestruturas verdes (Li et al., 2025; Hautamäki et al., 2025). Além disso, são escassos os estudos sobre o papel da infraestrutura verde na neutralidade de carbono em contextos urbanos, bem como análises comparativas que envolvam cidades de médio porte ou países do Sul global, que permanecem com baixa visibilidade científica (Turcu, 2025; Marando et al., 2022).

Dessa forma, é possível propor um conjunto de estratégias integradas para mitigar os principais problemas urbanos identificados, especialmente aqueles relacionados às mudanças climáticas, desigualdades socioespaciais e degradação ambiental. Os dados revelam que a infraestrutura verde e azul desempenha papel central na resiliência urbana, mas sua efetividade depende da forma como é planejada, distribuída e integrada às políticas públicas (Gunawardena et al., 2017; Chan et al., 2018; Kabisch & Haase, 2014).

As propostas a seguir estão ancoradas nos achados do estudo: (a) A aplicação de tecnologias como sensoriamento remoto e SIG pode orientar decisões mais precisas sobre a localização e tipologia das infraestruturas verdes, de forma a considerar critérios como densidade populacional, vulnerabilidade climática e acesso desigual aos serviços ecossistêmicos; (b) A criação e requalificação de parques, corredores ecológicos e fachadas vegetadas deve priorizar bairros vulneráveis e regiões com baixa cobertura vegetal; (c) Incorporação da infraestrutura verde aos planos diretores, zoneamentos e regulamentos de uso do solo; (d) A valorização dos chamados guardiões locais e a promoção de mecanismos de participação cidadã são fundamentais para fortalecer o cuidado; (e) Políticas públicas devem ser orientadas por critérios de equidade, com redistribuição de investimentos urbanos, reconhecimento de vulnerabilidades socioambientais e planejamento sensível às diversidades culturais (f) A literatura destaca a importância de considerar simultaneamente escalas local, municipal e metropolitana; (g) A inclusão de métricas de valoração de serviços ecossistêmicos pode auxiliar na priorização de investimentos e no convencimento político-institucional.

Diante das evidências apresentadas, a infraestrutura verde deve ocupar posição central nas estratégias de planejamento urbano voltadas à mitigação dos impactos das mudanças climáticas e à promoção de cidades mais resilientes, equitativas e sustentáveis. A proposta delineada neste estudo reflete os avanços teóricos e tecnológicos da última década e uma mudança de paradigma na forma como o ambiente urbano é compreendido e transformado. Ao integrar dados espaciais, justiça socioambiental, governança participativa e soluções baseadas na natureza, delineia-se um caminho promissor para reconfigurar as cidades em direção a modelos mais regenerativos, nos quais natureza e sociedade atuam em sinergia. A adoção dessas diretrizes, fundamentadas na literatura científica recente, pode contribuir para orientar políticas públicas mais eficazes, promover inovação institucional e consolidar um planejamento urbano comprometido com a transição ecológica.

4. Considerações Finais

O estudo identificou uma trajetória de crescimento e diversificação temática nas publicações científicas sobre infraestrutura verde, soluções baseadas na natureza e sustentabilidade urbana. Os principais resultados apontam para a consolidação de um campo de pesquisa interligado a disciplinas como ecologia urbana, climatologia, saúde pública e ciência de dados, com forte influência de autores e instituições da Europa, China e Estados Unidos. A literatura evidencia que a infraestrutura verde e azul exerce papel na mitigação das ilhas de calor, no controle de enchentes e na promoção da saúde ambiental, sobretudo quando articulada a tecnologias espaciais e estratégias participativas de governança. Como contribuição, o estudo oferece um panorama abrangente e atualizado da produção científica entre 2014 e 2024, com

ênfase em padrões de coautoria, redes temáticas, impacto dos autores e tendências conceituais. Destaca-se a proposta de diretrizes integradas para o planejamento urbano, com base nos achados mais recorrentes, o que amplia a aplicabilidade da análise para a formulação de políticas públicas.

Entre as limitações estão: (a) a concentração de estudos em contextos urbanos de países do Norte global, o que restringe a representatividade das experiências do Sul global; (b) a ausência de análises qualitativas aprofundadas sobre os impactos sociais e culturais da infraestrutura verde em territórios específicos. Futuros estudos podem: (a) expandir a análise para cidades de médio porte, especialmente da América Latina, da África e do Sudeste Asiático, onde os desafios socioambientais e a desigualdade urbana apresentam dinâmicas distintas; (b) integrar abordagens qualitativas e participativas que considerem a percepção da população sobre os benefícios e riscos associados à implantação de soluções baseadas na natureza. Essas direções são essenciais para fortalecer o vínculo entre ciência, planejamento urbano e justiça socioambiental.

Referências

- Abhijith, K. V., & Kumar, P. (2019). Field investigations for evaluating green infrastructure effects on air quality in open-road conditions. *Atmospheric Environment (Oxford, England: 1994)*, 201, 132–147. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.12.036>
- Andersson, E., Barthel, S., Borgström, S., Colding, J., Elmqvist, T., Folke, C., & Gren, Å. (2014). Reconnecting cities to the biosphere: stewardship of green infrastructure and urban ecosystem services. *Ambio*, 43(4), 445–453. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0506-y>
- Anguelovski, I., Connolly, J. J. T., Cole, H., Garcia-Lamarca, M., Triguero-Mas, M., Baró, F., Martin, N., Conesa, D., Shokry, G., Del Pulgar, C. P., Ramos, L. A., Matheney, A., Gallez, E., Oscilowicz, E., Máñez, J. L., Sarzo, B., Beltrán, M. A., & Minaya, J. M. (2022). Green gentrification in European and North American cities. *Nature Communications*, 13(1), 3816. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31572-1>
- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Chan, F. K. S., Griffiths, J. A., Higgitt, D., Xu, S., Zhu, F., Tang, Y.-T., Xu, Y., & Thorne, C. R. (2018). “Sponge City” in China—A breakthrough of planning and flood risk management in the urban context. *Land Use Policy*, 76, 772–778. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.03.005>
- Chen, C. (2017). Science mapping: A systematic review of the literature. *Journal of Data and Information Science*, 2(2), 1–40. <https://doi.org/10.1515/jdis-2017-0006>
- CLARIVATE. (2024). *Journal Citation Reports*. 2024. <https://jcr-clarivate.ez48.periodicos.capes.gov.br/jcr/home?app=jcr&Init=Yes&authCode=null&SrcApp=IC2LS>
- D’Amato, D., Droste, N., Allen, B., Kettunen, M., Lähtinen, K., Korhonen, J., Leskinen, P., Matthies, B. D., & Toppinen, A. (2017). Green, circular, bio economy: A comparative analysis of sustainability avenues. *Journal of Cleaner Production*, 168, 716–734. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.053>
- de Santana, K. V. de S., Oliver, S. L., Mauad, T., de Oliveira, M. A., Carla Lopes Moreira, T., Susan Lanham-New, & Ribeiro, H. (2022). *Áreas verdes e status de vitamina D*: <https://doi.org/10.18055/FINIS28605>

- Feng, Q., Liu, J., & Gong, J. (2015). UAV remote sensing for urban vegetation mapping using Random Forest and texture analysis. *Remote Sensing*, 7(1), 1074–1094. <https://doi.org/10.3390/rs70101074>
- Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., Trowsdale, S., Barraud, S., Semadeni-Davies, A., Bertrand-Krajewski, J.-L., Mikkelsen, P. S., Rivard, G., Uhl, M., Dagenais, D., & Viklander, M. (2015). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, 12(7), 525–542. <https://doi.org/10.1080/1573062x.2014.916314>
- Frantzeskaki, N. (2019). *Urban sustainability transitions in Europe: Diverse scenarios of local transitions driven by structural drivers*. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 33, 1–10.
- Gong, F.-Y., & Wang, C. (2023). Evaluating the performance of the greenbelt policy in Beijing using multi-source long-term satellite observations from 2000 to 2020. *Remote Sensing*, 15(19), 4766. <https://doi.org/10.3390/rs15194766>
- Gunawardena, K. R., Wells, M. J., & Kershaw, T. (2017). Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity. *The Science of the Total Environment*, 584–585, 1040–1055. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.158>
- Hansen, R., Buizer, M., Buijs, A., Pauleit, S., Mattijssen, T., Fors, H., van der Jagt, A., Kabisch, N., Cook, M., Delshammar, T., Randrup, T. B., Erlwein, S., Vierikko, K., Nieminen, H., Langemeyer, J., Soson Texereau, C., Luz, A. C., Nastran, M., Olafsson, A. S., ... Konijnendijk, C. (2023). Transformative or piecemeal? Changes in green space planning and governance in eleven European cities. *European Planning Studies*, 31(12), 2401–2424. <https://doi.org/10.1080/09654313.2022.2139594>
- Hansen, R., & Pauleit, S. (2014). From multifunctionality to multiple ecosystem services? A conceptual framework for multifunctionality in green infrastructure planning for urban areas. *Ambio*, 43(4), 516–529. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0510-2>
- Hautamäki, R., Kulmala, L., Ariluoma, M., & Järvi, L. (2025). How urban green infrastructure contributes to carbon neutrality. *Buildings & Cities*, 6(1), 272–280. <https://doi.org/10.5334/bc.586>
- Hui, C. X., Dan, G., Alamri, S., & Toghraie, D. (2023). Greening smart cities: An investigation of the integration of urban natural resources and smart city technologies for promoting environmental sustainability. *Sustainable Cities and Society*, 99(104985), 104985. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104985>
- Ignatieva, M., Haase, D., Dushkova, D., & Haase, A. (2020). Lawns in cities: From a globalised urban green space phenomenon to sustainable nature-based solutions. *Land*, 9(3), 73. <https://doi.org/10.3390/land9030073>
- Iungman, T., Cirach, M., Marando, F., Pereira Barboza, E., Khomenko, S., Masselot, P., Quijal-Zamorano, M., Mueller, N., Gasparrini, A., Urquiza, J., Heris, M., Thondoo, M., & Nieuwenhuijsen, M. (2023). Cooling cities through urban green infrastructure: a health impact assessment of European cities. *Lancet*, 401(10376), 577–589. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(22\)02585-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(22)02585-5)
- Jiang, Y., Shuai, Y., He, X., Wen, X., & Lou, L. (2021). An energy-efficient street lighting approach based on traffic parameters measured by wireless sensing technology. *IEEE sensors journal*, 21(17), 19134–19143. <https://doi.org/10.1109/jsen.2021.3089208>
- Kabisch, N., & Haase, D. (2014). Green justice or just green? Provision of urban green spaces in Berlin, Germany. *Landscape and Urban Planning*, 122, 129–139. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.11.016>
- Kadić, A., Maljković, B., Rogulj, K., & Pamuković, J. K. (2025). Green infrastructure's role in climate change adaptation: Summarizing the existing research in the most benefited policy sectors. *Sustainability*, 17(9), 4178. <https://doi.org/10.3390/su17094178>

- Kuller, M., Bach, P. M., Roberts, S., Browne, D., & Deletic, A. (2019). A planning-support tool for spatial suitability assessment of green urban stormwater infrastructure. *The Science of the Total Environment*, 686, 856–868. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.051>
- Li, L., & Carter, J. (2025). Exploring the relationship between urban green infrastructure connectivity, size and multifunctionality: a systematic review. *Landscape Ecology*, 40(3), 61. <https://doi.org/10.1007/s10980-025-02069-1>
- Liu, Y. (2022). Measuring and mapping urban ecosystem services: A case from Shanghai. *Ecological Indicators*, v, 134.
- Loiseau, E., Saikku, L., Antikainen, R., Droste, N., Hansjürgens, B., Pitkänen, K., Leskinen, P., Kuikman, P., & Thomsen, M. (2016). Green economy and related concepts: An overview. *Journal of Cleaner Production*, 139, 361–371. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.024>
- Marando, F., Heris, M. P., Zulian, G., Udías, A., Mentaschi, L., Chrysoulakis, N., Parastatidis, D., & Maes, J. (2022). Urban heat island mitigation by green infrastructure in European Functional Urban Areas. *Sustainable Cities and Society*, 77(103564), 103564. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103564>
- Marando, F., Salvatori, E., Sebastiani, A., Fusaro, L., & Manes, F. (2019). Regulating Ecosystem Services and Green Infrastructure: assessment of Urban Heat Island effect mitigation in the municipality of Rome, Italy. *Ecological Modelling*, 392, 92–102. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.11.011>
- Meerow, S., & Newell, J. P. (2017). Spatial planning for multifunctional green infrastructure: Growing resilience in Detroit. *Landscape and Urban Planning*, 159, 62–75. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.10.005>
- Nieuwenhuijsen, M. J. (2017). *Green space, urbanity, and health: how strong is the relation?* *Current Environmental Health Reports*. 158–165.
- Norton, B. A., Coutts, A. M., Livesley, S. J., Harris, R. J., Hunter, A. M., & Williams, N. S. G. (2015). Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 134, 127–138. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.018>
- Nowak, D. J. (2018). *Modeled PM2.5 removal by trees in ten U.S. cities and associated health effects*. *Environmental Pollution*, v. 178, 395–402.
- Pienaaah, C. K. A., Kansanga, M. M., Arku, G., & Luginaah, I. (2025). Community-led nature-based solutions for enhancing climate change preparedness and resilience in semi-arid environments. *World Development Sustainability*, 7(100237), 100237. <https://doi.org/10.1016/j.wds.2025.100237>
- Sanesi, G., Colangelo, G., Laforteza, R., Calvo, E., & Davies, C. (2017). Urban green infrastructure and urban forests: a case study of the Metropolitan Area of Milan. *Landscape Research*, 42(2), 164–175. <https://doi.org/10.1080/01426397.2016.1173658>
- Santamouris, M. (2015). *Regulating the damaged thermostat of the cities-Status, impacts and mitigation challenges*. *Energy and Buildings*, v. 91. 43–56.
- Taylor-Burns, R., Reguero, B. G., Barnard, P. L., & Beck, M. W. (2025). Nature-based solutions extend the lifespan of a regional levee system under climate change. *Scientific Reports*, 15(1), 16218. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-99762-7>
- Turcu, C. (2025). Urban greenspace, climate adaptation and health co-benefits: Municipal policy and practice in London. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 22(3). <https://doi.org/10.3390/ijerph22030409>
- Venter, Z. S., Barton, D. N., Martinez-Izquierdo, L., Langemeyer, J., Baró, F., & McPhearson, T. (2021). Interactive spatial planning of urban green infrastructure – Retrofitting green

- roofs where ecosystem services are most needed in Oslo. *Ecosystem Services*, 50(101314), 101314. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101314>
- Vries, S. (2013). Streetscape greenery and health: stress, social cohesion and physical activity as mediators. *Social Science & Medicine*, v, 94, 26–33.
- Wang, Yafei, Ni, Z., Hu, M., Chen, S., & Xia, B. (2021). A practical approach of urban green infrastructure planning to mitigate urban overheating: A case study of Guangzhou. *Journal of Cleaner Production*, 287(124995), 124995. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124995>
- Wang, Yiqiao, Wu, B., Liu, X., & Li, W. (2024). Boundary green infrastructure patches: Bridging spaces that connect natural and built-up spaces. *Journal of digital landscape architecture: JoDLA*. <https://doi.org/10.14627/537752061>
- Webber, M. K., Mei, L., & Samaras, C. (2025). Bridging the gap: riverine nature-based solutions for climate resilient transportation infrastructure in the United States. *Npj Urban Sustainability*, 5(1). <https://doi.org/10.1038/s42949-025-00215-x>
- Zhang, Y. (2023). Urban ecological security patterns based on ecosystem services. *Ecological Indicators*, v, 145.
- Zhao, L., Tang, Z.-Y., & Zou, X. (2019). Mapping the knowledge domain of smart-city research: A bibliometric and scientometric analysis. *Sustainability*, 11(23), 6648. <https://doi.org/10.3390/su11236648>