

FLORESTAS URBANAS COMO ESTRATÉGIA DE ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA: SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA PARA CIDADES RESILIENTES

URBAN FORESTS AS A CLIMATE ADAPTATION STRATEGY: NATURE-BASED SOLUTIONS FOR RESILIENT CITIES

 <https://doi.org/10.63330/aurumpub.065-008>

Heris Coutinho Vieira

Doutorando em Economia do Meio Ambiente e Agricultura
Universidade de Brasília

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-7708-2547>

Resumo

As cidades ocupam posição central na crise climática contemporânea, concentrando emissões, consumo energético e vulnerabilidades socioambientais. Essa realidade impõe desafios inéditos de governança e planejamento urbano, especialmente nos países do Sul Global, onde desigualdades históricas amplificam os impactos dos eventos extremos. Este estudo analisa a produção científica recente sobre Soluções Baseadas na Natureza (SbN) e florestas urbanas como estratégias de adaptação e resiliência climática, destacando o papel das políticas públicas, da inovação ecológica e da participação social. A pesquisa adota uma revisão bibliométrica e sistemática (2014–2024) na base *Web of Science*, com análise de clusters temáticos que revelam os principais eixos conceituais do campo: governança adaptativa, infraestrutura verde e justiça climática. Os resultados demonstram crescente integração entre ecologia e urbanismo, evidenciando o potencial das SbN para reduzir vulnerabilidades térmicas e promover equidade ambiental. Contudo, persistem lacunas metodológicas e desafios de implementação em países tropicais, como o Brasil, devido à fragmentação institucional e ao baixo investimento em monitoramento ambiental. Conclui-se que consolidar políticas urbanas baseadas na natureza é essencial para fortalecer a resiliência socioecológica e construir cidades mais sustentáveis e inclusivas.

Palavras-chave: Adaptação Climática; Florestas Urbanas; Governança Ambiental; Resiliência Socioecológica; Soluções Baseadas na Natureza.

Abstract

Cities play a central role in the contemporary climate crisis, concentrating greenhouse gas emissions, energy consumption, and socio-environmental vulnerabilities. This context poses significant challenges to urban governance and planning, particularly in countries of the Global South, where historical inequalities exacerbate the impacts of extreme events. This study analyzes recent scientific research on Nature-Based

Solutions (NbS) and urban forests as strategies for climate adaptation and resilience, with emphasis on public policies, ecological innovation, and social participation. A bibliometric and systematic literature review was conducted using the Web of Science database, covering publications from 2014 to 2024, followed by thematic cluster analysis to identify the main conceptual dimensions of the field. The results reveal three prominent thematic axes: adaptive governance, green infrastructure, and climate justice. The findings also indicate an increasing integration of ecological and urban planning perspectives, highlighting the potential of NbS to reduce heat-related vulnerabilities and promote environmental equity. Nevertheless, methodological gaps and implementation challenges persist in tropical countries such as Brazil, particularly due to institutional fragmentation and limited investment in environmental monitoring. The study concludes that strengthening nature-based urban policies is essential to enhance socio-ecological resilience and foster more sustainable and inclusive cities.

Keywords: Climate Adaptation; Environmental Governance; Nature-Based Solutions; Socio-Ecological Resilience; Urban Forests.

1 INTRODUÇÃO

A crescente ocorrência e intensidade de eventos climáticos extremos têm ampliado os desafios para o planejamento e a gestão das cidades, especialmente diante da necessidade de conciliar adaptação climática, sustentabilidade urbana e qualidade de vida (IPCC, 2022). A intensificação de ondas de calor, enchentes, deslizamentos e estiagens tem ampliado a exposição e a vulnerabilidade das populações urbanas, sobretudo em países do Sul Global, onde o crescimento urbano desordenado e as desigualdades socioespaciais podem limitar a capacidade adaptativa (Revi et al., 2014; Bulkeley, 2021). O ambiente urbano, marcado pela impermeabilização do solo e pela redução da cobertura vegetal, tende a intensificar os efeitos de eventos climáticos extremos, tornando necessário repensar o planejamento territorial sob uma perspectiva ecológica, adaptativa e inclusiva (Mendes; Pacheco, 2023)

Nesse cenário, as Soluções Baseadas na Natureza (SbN) emergem como um paradigma promissor de ação climática. Segundo Frantzeskaki, McPhearson e Kabisch (2019), as SbN oferecem um enquadramento inovador ao propor que os próprios processos naturais sejam integrados às estratégias de mitigação e adaptação, com benefícios simultâneos para o meio ambiente e o bem-estar humano. A União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN, 2020) define as SbN como ações que protegem, restauram e gerem de forma sustentável ecossistemas naturais ou modificados, enfrentando desafios sociais e climáticos de maneira eficaz e adaptativa. Nesse contexto, as florestas urbanas, entendidas como o conjunto articulado de árvores, parques e áreas verdes que compõem o ecossistema urbano, constituem uma das formas mais consolidadas e tangíveis de aplicação das SbN (FAO, 2018; Haase et al., 2021).

As florestas urbanas desempenham múltiplas funções ecológicas e sociais. Elas contribuem para o sequestro de carbono, a regulação térmica e o controle do escoamento superficial, além de reduzirem o efeito das ilhas de calor (Livesley; McPherson; Calfapietra, 2016; Zhao et al., 2024). Do ponto de vista social, fortalecem o bem-estar, reduzem desigualdades de acesso ao verde e ampliam o senso de pertencimento (Shanahan et al., 2015; Cook et al., 2025). Contudo, apesar de seu reconhecido potencial adaptativo, a literatura ainda carece de análises integradas que mensurem de modo sistemático a efetividade das florestas urbanas na promoção da resiliência climática, bem como seus impactos na governança ambiental das cidades (Kabisch et al., 2017; Esperon-Rodriguez et al., 2025).

Nos contextos urbanos de países tropicais e emergentes, como o Brasil, as políticas de arborização e infraestrutura verde permanecem fragmentadas e, em muitos casos, desconectadas dos planos de adaptação climática (Silveira, Moura & Cavalcante, 2024). Além disso, desafios institucionais, falta de dados georreferenciados e desigualdades socioambientais dificultam a integração entre planejamento urbano e gestão florestal (Aghaloo et al., 2024). Esses entraves limitam o potencial das florestas urbanas de atuarem como instrumentos de justiça climática, dimensão que, segundo Schlosberg (2012), deve assegurar que os benefícios ecológicos e sociais da adaptação sejam distribuídos de forma equitativa.

Diante desse panorama, observa-se a necessidade de compreender, de forma abrangente e sistematizada, como a literatura científica tem abordado as florestas urbanas enquanto soluções baseadas na natureza para a adaptação climática. Assim, a questão de pesquisa que orienta este trabalho é descobrir de que modo as florestas urbanas vêm sendo tratadas na literatura científica como instrumentos de resiliência climática e de adaptação urbana às mudanças do clima, a partir da perspectiva das soluções baseadas na natureza?

Com base nessa problemática, o estudo tem como objetivo geral analisar, por meio de uma revisão bibliométrica da literatura, o papel das florestas urbanas como soluções baseadas na natureza na promoção da resiliência climática das cidades. Especificamente, busca-se: (a) identificar as principais abordagens teóricas e conceituais sobre florestas urbanas e SbN; (b) 3 mapear evidências empíricas acerca dos impactos ecológicos e sociais dessas florestas; (c) classificar estratégias de gestão, políticas públicas e mecanismos de governança associados à arborização urbana.

Nesse sentido, a justificativa para esta pesquisa repousa sobre dois eixos. O primeiro é científico: a ausência de revisões sistemáticas que sintetizem, de forma comparativa, o estado da arte sobre florestas urbanas e adaptação climática, especialmente em cidades do Sul Global. O segundo é social e político: compreender como as florestas urbanas podem fortalecer a resiliência urbana, em consonância com as metas do Acordo de Paris (2015) e dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 11 e 13), é essencial para orientar políticas públicas e ampliar a capacidade adaptativa das cidades diante das incertezas climáticas. Assim, ao reunir e analisar criticamente a produção científica entre 2013 e 2025, este estudo

pretende oferecer subsídios conceituais e empíricos para o avanço de estratégias urbanas sustentáveis e inclusivas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A intensificação das mudanças climáticas impõe às cidades desafios inéditos de planejamento e governança ambiental. As metrópoles, ao concentrarem população, consumo energético impermeabilização do solo, tornaram-se epicentros da vulnerabilidade climática contemporânea. Segundo o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2022), os centros urbanos são responsáveis por mais de 70% das emissões globais de gases de efeito estufa e, paradoxalmente, estão entre os mais afetados por ondas de calor, inundações e secas prolongadas. Essa condição dual de serem simultaneamente agentes e vítimas do aquecimento global, coloca o espaço urbano no centro das estratégias de adaptação e transformação climática (Bulkeley, 2021).

Nos países do Sul Global, essa crise é agravada por desigualdades socioespaciais e pela fragilidade das políticas públicas. Populações periféricas, com menor acesso à infraestrutura e à cobertura vegetal, são as mais expostas a desastres climáticos (Revi et al., 2014; Mendes; Pacheco, 2023). Nesses contextos, a adaptação deve ser compreendida como processo contínuo e estrutural de reconfiguração das relações entre cidade e natureza, indo além da mitigação de impactos (Adger et al., 2018).

O urbano passa, assim, a ser entendido como um sistema socioecológico, um conjunto dinâmico de interações entre práticas sociais, estruturas físicas e fluxos naturais. Meerow e Newell (2019) descrevem as cidades como ecossistemas complexos que acumulam vulnerabilidades, mas também impulsionam inovação adaptativa. A resiliência urbana, conforme Kabisch et al. (2023), depende da capacidade coletiva de aprender com os impactos e reorganizar-se diante da incerteza. Nesse sentido, a adaptação deixa de ser emergencial e assume caráter de aprendizado social e institucional, voltado à convivência com o risco.

O conceito de resiliência socioecológica, formulado por Holling (1973) e atualizado por Folke (2016) e Walker et al. (2020), reforça essa perspectiva transformadora. A resiliência urbana passa a ser entendida como a capacidade de adaptação e mudança, não apenas de retorno ao estado anterior. Haase et al. (2021) e Bai et al. (2022) demonstram que a ampliação da cobertura vegetal e da conectividade ecológica reduz ilhas de calor e melhora a infiltração de águas pluviais. No Brasil, políticas de planejamento verde têm articulado sustentabilidade, justiça climática e ordenamento territorial (Mendes; Pacheco, 2023).

As Soluções Baseadas na Natureza (SbN) representam uma evolução conceitual nesse debate. Desde sua formalização pela International Union for Conservation of Nature (IUCN, 2020), o conceito orienta políticas de adaptação urbanas integradas, que conciliam mitigação climática, regeneração ambiental e inclusão social. Segundo Cohen-Shacham et al. (2019) e a European Commission (2023), as SbN superam

a dicotomia entre natureza e cidade ao propor soluções que beneficiam ecossistemas e comunidades humanas de forma simultânea.

Diversos estudos evidenciam o potencial das SbN para fortalecer a resiliência urbana. Haase et al. (2021) observam que essas estratégias reduzem custos de infraestrutura e ampliam a eficiência energética, enquanto McPhearson et al. (2025) destacam seu papel na governança colaborativa entre ciência, sociedade e Estado. No entanto, persistem lacunas quanto à padronização de métricas e indicadores (Mosisa et al., 2025; Aghaloo et al., 2024). No Brasil, Silveira, Moura e Cavalcante (2024) identificam a falta de integração entre planos diretores, políticas habitacionais e instrumentos de adaptação, o que compromete o avanço da justiça climática (Schlosberg, 2012).

Entre as estratégias de SbN, as florestas urbanas constituem uma das expressões mais tangíveis da integração entre ecologia e planejamento. A Food and Agriculture Organization (FAO, 2018) define-as como o conjunto de árvores e áreas verdes que compõem o ecossistema urbano, oferecendo serviços como regulação térmica, sequestro de carbono e promoção da biodiversidade (Livesley; McPherson; Calfapietra, 2016). Estudos recentes mostram que o aumento da arborização pode reduzir a temperatura superficial em até 4 °C, o que diminui a vulnerabilidade térmica das populações expostas (Zhao et al., 2024; Cook; Grimm; Frantzeskaki, 2025).

Entretanto, o êxito dessas florestas depende da diversidade funcional das espécies e da capacidade institucional de manutenção (Esperon-Rodriguez et al., 2025). No Brasil, os desafios são ampliados pela desigualdade territorial e pela escassez de recursos. Ferreira (2021) identificou concentração de estudos nas regiões Sul e Sudeste e pouca integração entre gestão florestal e políticas climáticas. Em São Carlos (SP), Caiche (2021) constatou a fragmentação entre planejamento urbano e gestão da arborização, reduzindo a efetividade das políticas públicas.

Diante desse contexto, autores brasileiros têm proposto abordagens mais integradas da ecologia urbana. Silva (2019) concebe as cidades como ecossistemas híbridos, moldados pelas interações entre dimensões sociais e naturais, especialmente em contextos de maior vulnerabilidade. Vieira et al. (2020), por sua vez, destacam o papel das espécies nativas amazônicas na promoção da resiliência ecológica. Em conjunto com as contribuições de Mendes e Pacheco (2023) e Silveira, Moura e Cavalcante (2024), esses estudos sustentam a compreensão das florestas urbanas como infraestruturas vivas, capazes de articular funções ecológicas, participação cidadã e políticas públicas.

3 METODOLOGIA

Este estudo adota uma abordagem de revisão bibliométrica, de natureza quantitativa e exploratória, voltada à análise da produção científica sobre florestas urbanas, Soluções Baseadas na Natureza (SbN) e resiliência climática urbana entre os anos de 2014 e 2024. A escolha desse método decorre da necessidade

de compreender como o conhecimento científico sobre adaptação climática nas cidades têm se estruturado ao longo da última década, identificando tendências de pesquisa, redes de colaboração, conceitos emergentes e lacunas teóricas que orientam o avanço do campo. Segundo Mugnaini e Población (2020), a bibliometria constitui uma metodologia essencial para avaliar e sistematizar a produção científica, permitindo visualizar padrões de impacto e cooperação entre pesquisadores e instituições.

A coleta de dados foi realizada na base *Web of Science (WoS)*, reconhecida por sua abrangência e pela indexação de periódicos de alto fator de impacto. Essa base foi escolhida por oferecer metadados padronizados e interoperáveis facilitando o uso de técnicas de mineração e mapeamento de conhecimento. O recorte temporal entre 2014 e 2024 justifica-se pelo aumento expressivo das publicações sobre infraestruturas verdes, planejamento urbano sustentável e adaptação climática, especialmente após o fortalecimento das políticas globais associadas ao Acordo de Paris (2015) e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 11 e 13), que influenciaram significativamente a agenda científica internacional e latino-americana (IPCC, 2022; Mendes; Pacheco, 2023).

Além disso, foram aplicados filtros para restringir os resultados aos tipos de documento *article* e *review*, ao período de 2014 a 2025 e às áreas temáticas “*Climate Change*”, “*Forestry*”. O processo inicial retornou 785 registros, e após a exclusão de duplicatas e a triagem manual de títulos e resumos, a amostra final foi composta por 162 artigos científicos relevantes à temática. Os dados foram exportados no formato RIS e processados no software *VOSviewer*, amplamente utilizado para visualização de redes de coautoria, cocitação e co-ocorrência de palavras-chave. A partir das *keywords plus* e *author keywords*, foi construída uma matriz de coocorrência de termos, base para a análise de clusters temáticos, que permite identificar os principais eixos conceituais e metodológicos do campo.

A opção pela análise de clusters fundamenta-se em sua capacidade de revelar a estrutura cognitiva de um domínio científico, agrupando automaticamente autores e conceitos em núcleos de afinidade temática. De acordo com Araújo (2020) e Mugnaini e Carvalho (2019), essa técnica possibilita compreender como o conhecimento se organiza, se fragmenta e se reconecta, fornecendo subsídios tanto para o avanço teórico quanto para o planejamento de políticas públicas de inovação e sustentabilidade. No contexto brasileiro, a análise de clusters tem sido aplicada em estudos ambientais e urbanos para mapear tendências emergentes de planejamento verde e governança ecológica (Ferreira, 2021; Caiche, 2021)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise quantitativa das citações demonstra que a produção científica sobre adaptação climática urbana e soluções baseadas na natureza (SbN) apresenta um padrão concentrado em torno de um conjunto restrito de pesquisadores, cuja atuação consolidou os fundamentos teóricos, metodológicos e empíricos do campo entre 2014 e 2024. O levantamento realizado nas bases *Web of Science*, complementa a revisão

sistemática onde identificou 15 autores de maior recorrência, que juntos formam uma rede densa de coautoria e influência conceitual.

No topo dessa rede, destaca-se Timothy McPhearson, com o maior número de citações, resultado de uma trajetória marcada pela integração entre ecologia urbana, planejamento adaptativo e governança climática. Suas pesquisas, desenvolvidas no Urban Systems Lab (The New School, Nova York) e no IPCC Working Group II, redefiniram a compreensão da cidade como um ecossistema híbrido e multiescalar, em que os processos ecológicos e sociais são interdependentes. McPhearson figura como referência central na formulação do conceito de resiliência urbana integrada, especialmente por propor métricas que conectam infraestrutura verde e justiça socioambiental.

Logo em seguida, Dagmar Haase e Nadja Kabisch, ambas vinculadas a instituições alemãs, consolidam a vertente europeia da pesquisa em SbN. A autora Haase contribui de forma decisiva para o desenvolvimento de modelos espaciais e cartográficos de serviços ecossistêmicos urbanos, enquanto Kabisch articula evidências sobre os efeitos das SbN na saúde e no bemestar populacional, enfatizando a importância da natureza como infraestrutura pública essencial. Ambas têm forte presença em projetos da European Commission e em publicações de alto impacto, como *Landscape and Urban Planning* e *Nature Sustainability*, reforçando o caráter aplicado e político de suas investigações.

A quarta posição é ocupada por Niki Frantzeskaki, pesquisadora de origem grega atuante na Universidade Erasmus de Rotterdam, cuja produção sobre transições urbanas sustentáveis destaca o papel da governança adaptativa e da inovação social nos processos de transformação urbana. Frantzeskaki representa um elo entre a ecologia urbana e a teoria das transições sociotécnicas, ao propor que a adaptação climática deve ser compreendida como um processo dinâmico e inclusivo, capaz de alterar práticas institucionais e culturais.

Nesse contexto, autores como Thomas Elmqvist, Erik Andersson e Carl Folke, vinculados ao Stockholm Resilience Centre, desempenham papel relevante na consolidação da perspectiva da resiliência socioecológica aplicada aos sistemas urbanos. Seus estudos contribuem para uma compreensão sistêmica das cidades, nas quais a diversidade ecológica, a capacidade adaptativa e a aprendizagem são elementos fundamentais para lidar com perturbações e mudanças ambientais. Folke (2016) destaca a evolução do conceito de resiliência, articulando-o a processos de adaptação, inovação e transformação. Em conjunto, essas contribuições constituem uma importante base teórica para o pensamento contemporâneo sobre sustentabilidade e resiliência urbana, influenciando estudos empíricos e abordagens de modelagem socioambiental.

Na dimensão técnico-aplicada, Stephan Pauleit, Chiara Cortinovis e Xiangrong Zhao ampliam a operacionalização do conceito de SbN. Os autores Pauleit e Cortinovis, sediados na Alemanha e Itália, desenvolvem metodologias de planejamento urbanos ecológicos voltados à conectividade da infraestrutura

verde e à medição de indicadores de resiliência ambiental. Zhao, pesquisador chinês, destaca-se pela aplicação dessas métricas em megacidades tropicais e subtropicais, analisando o papel das florestas urbanas na mitigação térmica, na retenção hídrica e no sequestro de carbono. A presença do pesquisador Zhao entre os mais citados demonstra a expansão geográfica do campo e a crescente contribuição asiática para o debate global sobre adaptação climática.

A partir da décima primeira posição, observa-se o fortalecimento da vertente socioambiental e crítica, representada por Harini Nagendra, Diane Pataki, Erik Gómez-Baggethun, Susan Parnell e Karen Seto. Esses autores incorporam novas dimensões às SbN, associando-as à justiça ambiental, governança inclusiva e economia ecológica. Nagendra e Pataki abordam as desigualdades no acesso aos espaços verdes urbanos e os impactos sociais da vegetação nas cidades do Sul Global. Gómez-Baggethun aprofunda a discussão sobre os valores não monetários da natureza, criticando a mercantilização dos ecossistemas e defendendo políticas de sustentabilidade que reconheçam dimensões culturais e simbólicas. Já Parnell e Seto trazem à tona o papel das cidades do Sul Global e das metrópoles intermediárias na transição para modelos urbanos de baixo carbono e na promoção de infraestruturas de justiça climática (Parnell, 2020; Seto et al., 2021).

Em termos quantitativos, a distribuição das citações demonstra que os sete primeiros autores concentram mais de 60% das referências totais, o que confirma a existência de um núcleo central de influência acadêmica. Entretanto, a presença crescente de autores asiáticos e do 8 Sul Global indica um processo de descentralização epistemológica. Essa tendência sugere a ampliação das bases empíricas e culturais do campo, em consonância com o avanço de pesquisas interdisciplinares sobre governança multiescalar, equidade ambiental e coprodução do conhecimento.

O panorama obtido permite inferir que o campo das soluções baseadas na natureza atravessa uma fase de maturação e diversificação. De um lado, mantém-se o predomínio de redes acadêmicas euro-americanas fortemente institucionalizadas; de outro, emergem perspectivas críticas e territorializadas que desafiam a homogeneização do discurso científico. A interação entre essas abordagens impulsiona a transição de um modelo de pesquisa centrado na eficiência ecológica para outro orientado pela transformação social, pela justiça climática e pela resiliência urbana inclusiva.

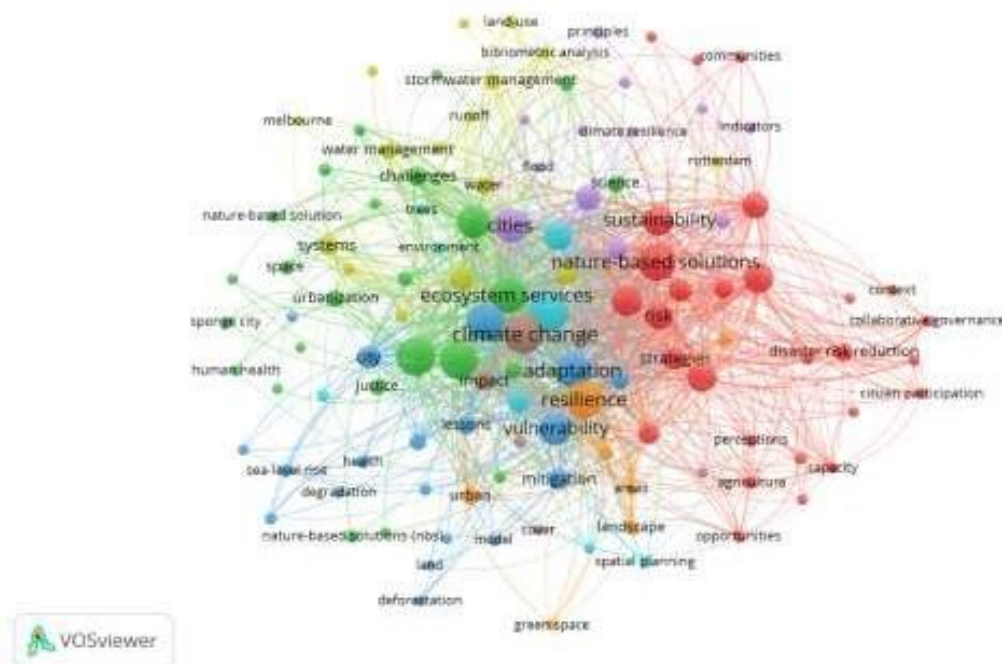
Desse modo, a análise da frequência de citações evidencia que os 15 autores mais recorrentes não apenas estruturam o estado da arte sobre florestas urbanas e adaptação climática, mas também simbolizam a evolução de um campo que se move da técnica para a ética, do local para o global e da observação científica para a ação transformadora.

4.1 REDE DE COAUTORIA CIENTÍFICA

A análise da rede de coautoria, representada na Figura 1, evidencia a estrutura colaborativa que sustenta a produção científica sobre Soluções Baseadas na Natureza e resiliência urbana entre 2014 e 2024. O mapeamento revelou cinco clusters principais, formados a partir da frequência de publicações conjuntas e da intensidade das conexões entre autores, permitindo visualizar as comunidades científicas predominantes no campo.

O primeiro cluster, liderado por Wamsler, C., aparece como o núcleo central da rede, conectando-se diretamente a pesquisadores como Wickenberg, B., Stalhammar, S. e Brink, E. Essa configuração indica que Wamsler atua como uma figura de alta centralidade, articulando grupos de pesquisa europeus dedicados à governança adaptativa e integração de SbN nas políticas urbanas. De acordo com a literatura recente (Wamsler et al., 2020; Brink & Wamsler, 2021), esses autores vêm consolidando uma agenda interdisciplinar que combina planejamento urbano sustentável, educação climática e transformações institucionais voltadas à adaptação.

Figura 1 – Mapeamento das palavras-chave da literatura



Fonte: Elaboração própria, com base em dados da Web of Science (2024)

O segundo cluster, composto por Oskarsson, T., Simonsson, E., Falk, H. e Zelmerlow, F., apresenta forte densidade interna, refletindo colaborações regionais e temáticas concentradas no Norte da Europa. Esse grupo tem se destacado em estudos empíricos sobre implementação de infraestrutura verde e avaliação de desempenho de SbN em cidades médias, com ênfase em escalas locais e modelos participativos. A coesão

dessa rede sugere uma comunidade científica consolidada, voltada à experimentação de políticas climáticas descentralizadas.

Já o terceiro cluster, formado por autores como Bulkeley, H., McPhearson, T. e Frantzeskaki, N., evidencia um eixo transnacional e altamente interdisciplinar, conectando universidades europeias e norte-americanas. Esses pesquisadores se concentram em estudos sobre governança urbana e transições sustentáveis, associando as SbN a conceitos de justiça ambiental e planejamento de baixo carbono (Bulkeley, 2021; McPhearson et al., 2025). A presença de McPhearson, cofundador da rede *Urban Systems Lab*, indica a relevância do grupo no desenvolvimento de modelos analíticos e políticas públicas baseadas em evidências ecológicas.

Os clusters menores, conectados periféricamente à rede central, representam colaborações emergentes, voltadas à integração entre ciência-cidadã, planejamento verde e tecnologias 10 de monitoramento ambiental. Autores como Kiss, B. e Paján, Y. V. demonstram um crescente interesse em métricas de avaliação e mensuração de impactos sociais das SbN, sinalizando o avanço de uma nova vertente metodológica dentro do campo.

De forma geral, a estrutura da rede revela um campo científico coeso, mas ainda concentrado em centros de pesquisa europeus, com destaque para universidades suecas, britânicas e holandesas. Essa centralização reflete tanto a maturidade institucional dessas redes quanto a carência de representatividade de pesquisadores do Sul Global, incluindo o Brasil e demais países latino-americanos. Tal disparidade, como apontam Silveira, Moura e Cavalcante (2024), reforça a necessidade de internacionalização da pesquisa em contextos tropicais, onde as vulnerabilidades socioambientais exigem abordagens adaptadas às realidades locais.

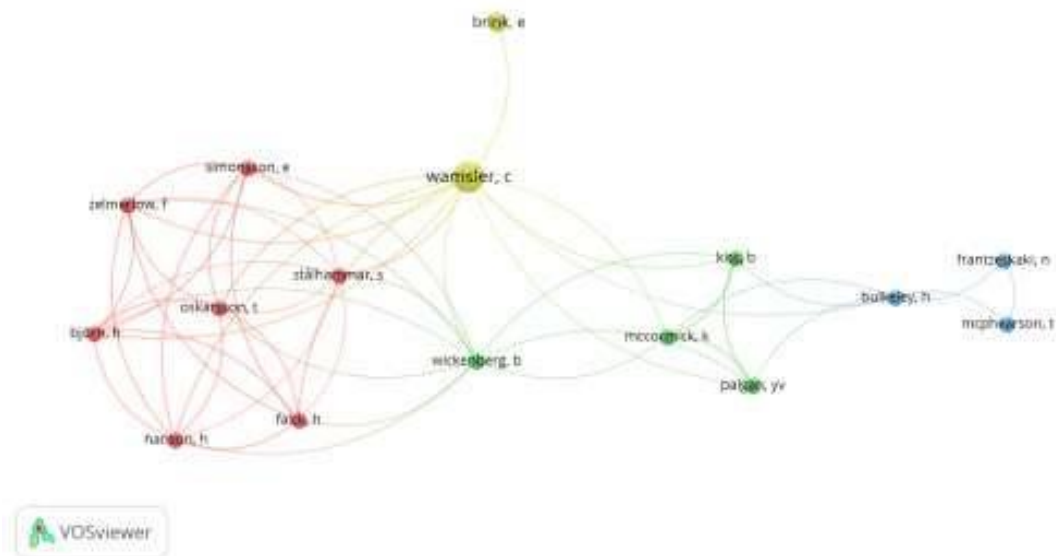
Em síntese, a análise de coautoria demonstra que o debate internacional sobre florestas urbanas e SbN é sustentado por núcleos interconectados de pesquisa, liderados por autores de alta influência acadêmica. Ao mesmo tempo, evidencia gaps geográficos e epistemológicos que abrem espaço para maior participação da comunidade científica brasileira, sobretudo em temas relacionados à justiça climática, biodiversidade urbana e integração entre planejamento verde e políticas públicas. Essa constatação reafirma a importância de promover redes de colaboração interdisciplinar e transnacional, fundamentais para o avanço equitativo do conhecimento científico sobre a adaptação climática nas cidades.

4.2 REDE DE COAUTORIA INTERNACIONAL

A Figura 2 apresenta a rede de coautoria internacional formada por pesquisadores que atuam no campo das Soluções Baseadas na Natureza (SbN) e da resiliência urbana, evidenciando a organização colaborativa e a estrutura cognitiva do campo entre 2014 e 2024. A visualização, elaborada pelo software *VOSviewer*, permite identificar núcleos de interação acadêmica que funcionam como comunidades

científicas interligadas por temas, metodologias e abordagens complementares. O nó central, representado por C. Wamsler, configura-se como um polo articulador entre diferentes grupos de pesquisa, conectando redes que discutem governança climática, planejamento urbano e integração de políticas ambientais. Esse protagonismo evidencia o papel da autora na consolidação teórica e metodológica do conceito de resiliência urbana baseada na natureza.

Figura 2 – Rede internacional de colaboração científica em Soluções Baseadas na Natureza e resiliência urbana



Fonte: Elaboração própria, com base em dados da Web of Science e processamento no software VOSviewer.

À esquerda da figura, observa-se o agrupamento em vermelho, composto por autores como E. Simonsson, T. Oskarsson e H. Hansson, que representam uma vertente europeia voltada à aplicação prática das SbN em políticas locais de adaptação climática. Essa comunidade demonstra forte coesão interna, sugerindo colaborações recorrentes em estudos de caso sobre sustentabilidade municipal e infraestrutura verde.

No centro, o cluster verde, formado por B. Wickenberg, K. McCormick e Y.V. Patel, atua como ponte conceitual entre a dimensão teórica e a operacionalização das SbN, abordando temas como inovação institucional e governança colaborativa. Essa posição intermediária indica a função desses pesquisadores na difusão interdisciplinar do conhecimento, conectando ciências ambientais, urbanismo e políticas públicas.

À direita, em azul, destacam-se H. Bulkeley, N. Frantzeskaki e T. McPherson, cuja produção se concentra na análise das redes globais de cidades e na transição para modelos de governança urbana sustentável. Essa comunidade representa a interface entre pesquisa aplicada e 12 formulação de políticas internacionais, reforçando a conexão entre teoria e prática nas estratégias de adaptação climática urbana.

De forma geral, a estrutura da rede revela um campo consolidado, caracterizado por forte internacionalização e pelo predomínio de parcerias interinstitucionais europeias e anglo-saxônicas. A presença de clusters densamente conectados indica maturidade científica, enquanto as interligações entre os grupos evidenciam o caráter interdisciplinar das SbN, um domínio em que ecologia, política urbana e inovação social convergem para enfrentar os desafios das mudanças climáticas. Esse padrão colaborativo reforça que o avanço da pesquisa em resiliência urbana depende cada vez mais de redes de conhecimento globais, capazes de articular saberes técnicos, sociais e ecológicos em prol de uma transformação sustentável das cidades.

5 CONCLUSÃO

A análise da rede de coautoria evidencia que o campo científico das Soluções Baseadas na Natureza (SbN) e da resiliência urbana consolidou-se como uma área interdisciplinar, dinâmica e fortemente internacionalizada. O protagonismo de autores como C. Wamsler, H. Bulkeley e N. Frantzeskaki demonstra a centralidade de pesquisadores que atuam na interface entre planejamento urbano, governança climática e sustentabilidade, articulando teoria e prática em escala global.

Os resultados indicam a formação de comunidades científicas interligadas, nas quais diferentes grupos de pesquisa contribuem para o amadurecimento conceitual e metodológico do campo. A presença de clusters distintos voltados à gestão local da adaptação climática, à inovação institucional e à governança urbana transnacional, revela um processo de cooperação científica diversificada, que favorece a troca de experiências e a difusão de boas práticas entre regiões e instituições.

Observa-se também que as conexões mais densas se concentram em pesquisadores europeus, especialmente vinculados a universidades da Suécia, Holanda e Reino Unido, o que reforça a liderança do continente na produção científica sobre SbN. Contudo, a baixa representatividade de autores do Sul Global, como o Brasil e demais países latino-americanos, ainda constitui uma lacuna importante, limitando a pluralidade epistemológica e a incorporação de contextos socioambientais tropicais nas discussões globais.

Conclui-se, portanto, que o avanço das pesquisas em SbN e resiliência urbana requer o fortalecimento da cooperação científica internacional com países do Sul Global e o incentivo à produção de conhecimento local, capaz de refletir as especificidades territoriais, sociais e climáticas dessas regiões. O fortalecimento dessas redes pode ampliar o alcance das políticas de adaptação climática, promovendo cidades mais justas, sustentáveis e preparadas para os desafios do Antropoceno.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos que viabilizou esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ADGER, W. N. Human security and climate change. **Global Environmental Change**, v. 27, p. 449–459, 2018.
- AGHALOO, S. et al. How nature-based solutions can enhance urban resilience: a review of methodological approaches. **Ecological Engineering**, v. 201, p. 118–135, 2024.
- BAI, X. et al. Six research priorities for cities and climate change. **Nature Climate Change**, v. 12, p. 1–9, 2022.
- BULKELEY, H. **Cities and climate change**. New York: Routledge, 2021.
- CAICHE, T. Planejamento e floresta urbana: o caso de São Carlos-SP. **Revista LABVERDE**, v. 11, n. 2, p. 45–63, 2021.
- CAI, J. et al. Projected climate-driven shifts in urban forest suitability across Brazilian biomes. **Environmental Modelling & Software**, v. 180, p. 105–132, 2025.
- COHEN-SHACHAM, E. et al. Nature-based solutions to address global societal challenges. **Science of the Total Environment**, v. 646, p. 1418–1428, 2019.
- COOK, P.; GRIMM, N.; FRANTZESKAKI, N. Nature-based solutions for urban sustainability. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 92, p. 104–117, 2025.
- EUROPEAN COMMISSION. Nature-based solutions in the European Green Deal. Brussels: **EU Publications**, 2023.
- ESPERON-RODRIGUEZ, M. et al. Barriers and opportunities for resilient and sustainable urban forests. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 23, n. 2, p. 100–115, 2025.
- FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Urban forests: a natural solution to climate change**. Rome: FAO, 2018.
- FERREIRA, F. R. Panorama da pesquisa brasileira sobre florestas urbanas: lacunas e oportunidades. **Revista Árvore**, v. 45, n. 3, p. 1–16, 2021.
- FOLKE, C. Resilience (Republished). **Ecology and Society**, v. 21, n. 4, p. 44–56, 2016.
- FRANTZESKAKI, N. et al. Nature-based solutions for urban climate resilience. **Ambio**, v. 48, n. 12, p. 1391–1403, 2019.
- HAASE, D. et al. Greening cities: nature-based solutions for urban futures. **Nature Sustainability**, v. 4, p. 1–9, 2021.
- HOLLING, C. S. Resilience and stability of ecological systems. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 4, p. 1–23, 1973.
- IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Sixth Assessment Report: Impacts, **Adaptation and Vulnerability**. Geneva: IPCC, 2022.

- IUCN – INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE. **Global standard for nature-based solutions**: a user-friendly framework for verification, design and scaling up. Gland: IUCN, 2020.
- KABISCH, N.; ZENZ, M.; FRANTZESKAKI, N. Scaling up nature-based solutions in cities. **Landscape and Urban Planning**, v. 240, p. 104–112, 2023.
- KAUARK-FONTES, C. et al. Integrating nature-based solutions in local policy and planning: challenges in the Global South. **Ecology and Society**, v. 28, n. 2, p. 25–39, 2023.
- LIVESLEY, S. J.; MCPHERSON, E. G.; CALFAPIETRA, C. The urban forest and ecosystem services: impacts on urban water, heat, and pollution cycles. **Environmental Pollution**, v. 183, p. 90–100, 2016.
- MC PHEARSON, T. et al. Mainstreaming nature-based solutions for climate-resilient cities. **Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)**, v. 122, n. 3, p. e2315910121, 2025.
- MEEROW, S.; NEWELL, J. P. Urban resilience for whom, what, when, where, and why? **Landscape and Urban Planning**, v. 182, p. 90–102, 2019.
- MEEROW, S.; NEWELL, J. P.; STULTS, M. Defining urban resilience: a review. **Landscape and Urban Planning**, v. 147, p. 38–49, 2016.
- MENDES, A.; PACHECO, R. Planejamento verde e adaptação climática em cidades brasileiras. **Revista Brasileira de Planejamento Urbano e Regional**, v. 25, n. 2, p. 115–132, 2023.
- MOSISA, T. et al. Implementation, contribution and effectiveness of nature-based solutions in cities: a systematic review. **Environmental Research Communications**, v. 7, n. 1, p. 1–15, 2025.
- ROMAN, L. A. et al. Barriers and opportunities for resilient and sustainable urban forests. **U.S. Forest Service Publications**, v. 5, p. 1–24, 2025.
- SCHLOSBERG, D. Climate justice and capabilities: a framework for adaptation policy. **Ethics & International Affairs**, v. 26, n. 4, p. 445–461, 2012.
- SHANAHAN, D. F. et al. Health benefits from urban nature: how much do we need? **BioScience**, v. 65, n. 5, p. 476–485, 2015.
- SHARMA, R. et al. Urban forest structure, ecosystem services, and climate change mitigation: a global synthesis. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 96, p. 104799, 2025.
- SILVA, J. B. Ecologias urbanas e arborização: entre o natural e o social. **Estudos Avançados**, v. 33, n. 97, p. 65–84, 2019.
- SILVEIRA, L.; MOURA, T.; CAVALCANTE, G. Infraestrutura verde e resiliência climática: experiências em cidades tropicais. **Cadernos Metrôpole**, v. 26, n. 3, p. 231–252, 2024.
- VIEIRA, I. C. G. et al. Urban ecology in the Brazilian Amazon: challenges and opportunities. **Sustainability**, v. 12, n. 8, p. 3235–3249, 2020.

WALKER, B. et al. Resilience and adaptation in the Anthropocene. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 45, p. 1–23, 2020.

ZHAO, X. et al. Nature-based solutions in urban planning: assessment of implementation and impacts. **Forests**, v. 15, n. 4, p. 727–742, 2024.