

GABRIELA VILLALOBO NASCIMENTO DE MORAES

**Do Global ao Local: Revisão Sistemática sobre Cidades-Esponja e Estratégias para São
Vicente (SP) frente às Mudanças Climáticas**

**São Vicente
2025**

GABRIELA VILLALOBO NASCIMENTO DE MORAES

Do Global ao Local: Revisão Sistemática sobre Cidades-Esponja e Estratégias para São Vicente (SP) frente às Mudanças Climáticas

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Biociências da UNESP - Câmpus do Litoral Paulista, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas, com habilitação em Gerenciamento Costeiro.

Orientadora: Profa. Dra. Débora Martins de Freitas.

Co-orientador: Prof. Dr. Pedro Henrique Campello Torres

**São Vicente
2025**

M827g

Moraes, Gabriela Villalobo Nascimento de

Do global ao local: revisão sistemática sobre Cidades-esponja e estratégias para São Vicente (SP) frente as mudanças climáticas / Gabriela Villalobo Nascimento de Moraes.

-- São Vicente, 2025

42 p. : tabs., mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, São Vicente

Orientadora: Débora Martins de Freitas

Coorientador: Pedro Henrique Campello Torres

1. Cidades-esponja. 2. mudanças climáticas. 3. revisão sistemática. 4. vulnerabilidade socioambiental. 5. São Vicente. I. Título.

*“Fomos nos alienando desse organismo de que somos parte,
a Terra, e passamos a pensar que ele é uma coisa e nós, outra:
a Terra e a humanidade”*

- Ailton Krenak, 2020

Agradecimentos

Este trabalho simboliza o encerramento de uma etapa importante da minha trajetória acadêmica, mas também representa a abertura de novas oportunidades.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à minha orientadora, Prof.^a Dra. Débora, por ter aceitado me acompanhar nesta jornada. Sou muito grata por todos os conselhos, reuniões e, principalmente, pela confiança depositada em mim para a realização deste trabalho. Sua orientação foi essencial para que eu conseguisse enxergar este trabalho com mais clareza, rigor e sensibilidade. Gostaria de agradecer também ao Prof. Dr. Pedro, por ter aceitado participar desta pesquisa como co-orientador. Agradeço pelas discussões enriquecedoras, pelas sugestões valiosas e por todas as contribuições que me ajudaram a desenvolver e aprimorar este trabalho.

Agradeço também à equipe do Grupo de Estudos Integrados Costeiros (GCosta) pelo acolhimento e apoio durante este ano. Aos meus amigos, deixo meu mais sincero agradecimento. Obrigada por estarem sempre presentes, por compreenderem os momentos de ausência e por celebrarem comigo cada pequena conquista. A amizade e o apoio de vocês foram fundamentais para que eu conseguisse manter o equilíbrio e seguir motivada mesmo nos períodos mais desafiadores. Tenho plena certeza de que parte deste trabalho só foi possível graças à força e à leveza que vocês me proporcionaram.

Por fim, mas com igual importância, agradeço à minha família, meu alicerce em todas as fases da vida. Obrigada por serem meu porto seguro, por acreditarem em mim mesmo quando eu duvidava, e por me derem coragem para seguir atrás dos meus sonhos. Cada gesto de apoio, cada palavra de incentivo e cada demonstração de carinho foram essenciais para que eu chegasse até aqui. Em especial aos meus pais, Leonida e Nelson.

Agradeço ainda ao Projeto FAPESP – Processo nº 23/10280-2, “Co-planejamento para justiça climática no município de São Vicente: desenvolvimento de ferramentas para tomada de decisão baseada no território com evidências científicas e comunitárias”, por todo o suporte concedido.

Resumo

As mudanças climáticas têm intensificado eventos extremos como chuvas intensas, inundações e elevação do nível do mar, afetando especialmente áreas costeiras. Problemas de alagamento vêm se tornando cada vez mais frequentes, agravados pela rápida urbanização. Esse cenário é agravado pela rápida urbanização e diminuição de superfícies permeáveis, aumentando a vulnerabilidade das cidades. O conceito de cidades-esponja surge nesse contexto, aliando o uso de infraestruturas verdes e medidas não estruturais para promover a resiliência climática, tornando os centros urbanos capazes de absorver, armazenar, infiltrar e reutilizar a água pluvial. O objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade de implementação do conceito de cidades-esponja como estratégia de adaptação climática no município de São Vicente (SP). Para isso, foi conduzida uma revisão sistemática da literatura nacional e internacional sobre cidades-esponja em regiões costeiras, seguindo o protocolo PRISMA. Foram analisados 51 estudos internacionais e 15 brasileiros quanto ao tipo de abordagem (estrutural e não estrutural), escala de aplicação, estágio de implementação e resultados obtidos. A partir dessas etapas, foi elaborada uma proposta de intervenção para São Vicente, priorizando medidas de pequena escala distribuídas pelo território – como jardins de chuva, valas vegetadas, células de biorretenção e pavimentos permeáveis – e ações não estruturais, como criação de legislação relacionada, fiscalização ambiental, planejamento integrado e participação comunitária. Os resultados indicam que a adaptação climática em municípios costeiros consolidados não depende apenas de grandes obras de infraestrutura cinza, mas pode ser viabilizada por soluções híbridas entre infraestrutura verde e cinza, articuladas à governança local e à proteção de ecossistemas existentes.

Palavras-chave: Cidades-esponja; mudanças climáticas; revisão sistemática; drenagem urbana sustentável; vulnerabilidade socioambiental; São Vicente.

Abstract

Climate change has intensified extreme events such as heavy rainfall, flooding, and sea-level rise, with particular impact on coastal areas. Flooding problems are becoming increasingly frequent, exacerbated by rapid urbanization. This scenario is worsened by rapid urbanization and the reduction of permeable surfaces, increasing the vulnerability of cities. The concept of sponge-cities emerges in this context, combining the use of green infrastructure and non-structural measures to promote climate resilience, making urban centers capable of absorbing, storing, infiltrating, and reusing rainwater. The objective of this work was to evaluate the feasibility of implementing the sponge-cities concept as a climate adaptation strategy in the city of São Vicente (SP). To this end, a systematic review of national and international literature on sponge-cities in coastal regions was conducted, following the PRISMA protocol. 51 international and 15 Brazilian studies were analyzed regarding the type of approach (structural and non-structural), scale of application, stage of implementation, and results obtained. Based on these stages, an intervention proposal was developed for São Vicente, prioritizing small-scale measures distributed throughout the territory – such as rain gardens, vegetated swales, bioretention cells, and permeable pavements – and non-structural actions, such as the creation of related legislation, environmental enforcement, integrated planning, and community participation. The results indicate that climate adaptation in consolidated coastal municipalities does not depend solely on large-scale gray infrastructure projects, but can be achieved through hybrid solutions combining green and gray infrastructure, linked to local governance and the protection of existing ecosystems.

Key words: Sponge-cities; climate change; systematic review; sustainable urban drainage; socio-environmental vulnerability; São Vicente.

Lista de Figuras

Figura 1. Diagrama de fluxo PRISMA representando as etapas de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos selecionados para análise da revisão sistemática da literatura no contexto internacional.	8
Figura 2. Gráfico do número de estudos publicados em cada ano analisado.	9
Figura 3. Gráfico do número de estudos produzidos em cada país. O Grupo 1 é formado pela Argélia, Bélgica, Cazaquistão, Croácia, Fiji, Hungria, Israel, Quênia, Lituânia, Nepal, Peru, Filipinas, Catar, Sri Lanka, Suécia e Turquia. O Grupo 2 é formado por Arabia Saudita, Bangladesh, Gana, Grécia, Iraque, Irlanda, México, Noruega, Paquistão, Rússia, Sérvia, Singapura e Suíça. O Grupo 3 é formado por África do Sul, Eslováquia e Vietnã. Grupo 4 por Dinamarca, Nova Zelândia e Taiwan. Grupo 5 pela Indonésia e Japão. Grupo 6 por Coreia do Sul, Polônia e Portugal.	9
Figura 4. Gráfico do número de estudos selecionados para análise no contexto internacional, produzidos em cada país.	10
Figura 5. Distribuição log-log entre a frequência e a ordem das formas textuais presentes no corpus textual, evidenciando o padrão decrescente previsto pela Lei de Zipf.	11
Figura 6. Nuvem de palavras representativa do corpus analisado.	12
Figura 7. Árvore de similitude produzida a partir dos artigos sobre cidades-esponja em regiões costeiras no contexto internacional.	13
Figura 8. Classificação Hierárquica Descendente (CHD) das palavras presentes no corpus textual referente ao contexto internacional sobre cidades-esponja em regiões costeiras.	15
Figura 9. Diagrama de fluxo PRISMA representando as etapas de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos selecionados para análise da revisão sistemática da literatura no contexto nacional.	16
Figura 10. Gráfico do número de estudos publicados em cada ano analisado.	17
Figura 11. Distribuição log-log entre a frequência e a ordem das formas textuais presentes no corpus textual, evidenciando o padrão decrescente previsto pela Lei de Zipf.	17
Figura 12. Nuvem de palavras representativa do corpus analisado.	18
Figura 13. Árvore de similitude produzida a partir dos trabalhos referentes ao contexto nacional sobre cidades-esponja.	19
Figura 14. Classificação Hierárquica Descendente (CHD) das palavras presentes no corpus textual referente ao contexto nacional sobre cidades-esponja.	21
Figura 15. Mapa de risco de inundação e movimento de massa no município de São Vicente (SP). Representa o potencial de alagamento e deslizamentos no município de São Vicente, destacando as áreas urbanizadas, corpos d'água e zonas costeiras com diferentes níveis de vulnerabilidade.	29
Figura 16. Mapa dos locais propostos para a implementação das medidas do conceito de cidades-esponja, no município de São Vicente - SP.	36

Lista de Tabelas

Tabela 1. Critérios de inclusão e exclusão adotados na seleção dos artigos.5

Tabela 2. Palavras-chave e operadores booleanos utilizados na busca de artigos sobre cidades-esponja em ambientes costeiros no contexto internacional.6

Tabela 3. Palavras-chave e operadores booleanos utilizados na busca de artigos sobre cidades-esponja no contexto nacional.6

Tabela 4. Matriz de síntese dos dados extraídos dos artigos analisados no contexto internacional. Formada por país do estudo, tipo e status da pesquisa e quais medidas foram abordadas, estruturais e não estruturais. 22–24

Tabela 5. Matriz de síntese dos dados extraídos dos artigos analisados no contexto nacional. Formada por tipo de pesquisa, status e quais medidas foram abordadas, estruturais e não estruturais. 25

Tabela 6. A tabela apresenta a codificação de cores e símbolos empregada nas Tabelas 4 e 5 para caracterizar os estudos quanto ao tipo, status e país de realização, além da tipologia de medidas abordadas. As categorias contemplam diferentes abordagens metodológicas, estágios de implementação e origem dos estudos. Também são especificadas as medidas estruturais e não estruturais consideradas na análise..... 26–27

Sumário

1. Introdução	1
2. Objetivo Geral.....	3
2.1 Objetivos específicos	3
3. Metodologia	4
3.1 Proposta de implementação para a cidade de São Vicente	4
3.2 Revisão sistemática da literatura	4
3.2.1 Contexto internacional	5
3.2.2 Contexto Nacional.....	6
3.3 Análise de dados	7
4. Resultados.....	8
4.1 Contexto internacional.....	8
4.1.1 Análise estatística textual clássica	11
4.1.2 Nuvem de palavras	11
4.1.3 Análise de similitude.....	12
4.1.4 Classificação hierárquica descendente - CHD	14
4.2 Contexto nacional.....	16
4.2.1 Análise estatística textual clássica	17
4.2.2 Nuvem de palavras	18
4.2.3 Análise de similitude.....	18
4.2.4 Classificação hierárquica descendente - CHD	20
4.3 Matriz	22
4.3 Panorama de São Vicente	27
5. Discussão.....	30
5.1 Proposta para o município de São Vicente.	34
6. Conclusão	36
8. Referências bibliográficas	38

1. Introdução

As mudanças climáticas são uma realidade inegável e acarretam impactos significativos em diversas sociedades ao redor do mundo (IPCC, 2022). Segundo o Sexto Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), a temperatura média global já aumentou cerca de 1,1°C em relação ao período pré-industrial (1850–1900; IPCC, 2021). Caso não haja uma diminuição significativa nas emissões dos gases de efeito estufa, esse aumento pode ultrapassar 1,5 °C dentro das próximas décadas, provocando alterações nos sistemas humanos e naturais. Fenômenos como a elevação do nível do mar e mudança nos padrões de temperatura e precipitação – o que agrava problemas como enchentes e alagamentos – já são observados, além da maior frequência e intensidade de eventos climáticos extremos (IPCC, 2023; MYSIAK et al., 2016; RICHARDSON et al., 2023). Grandes centros urbanos e regiões costeiras estão entre os ambientes mais vulneráveis (ALBERT et al., 2017).

A crescente urbanização, que ocorre muitas vezes de maneira desordenada, impede que as cidades adotem medidas adequadas para lidar com os impactos das mudanças climáticas. Estima-se que aproximadamente 70% da população mundial estará concentrada em áreas urbanas até 2050 (UNITED NATIONS, 2022). Unindo esse panorama às mudanças climáticas, observamos o aumento na ocorrência e na severidade dos eventos de alagamento. Agravado pela gestão inadequada dos sistemas de águas pluviais, com falta de infraestrutura adequada, manutenção precária, alta taxa de impermeabilização do solo e adoção de medidas que desconsideram as características hidrológicas e naturais da região (FLETCHER et al., 2015; DING e ZHANG, 2021).

A situação torna-se ainda mais crítica nas regiões costeiras, unindo a elevação no nível do mar, a intensa precipitação e aumento nos eventos extremos, agrava significativamente os riscos socioambientais (KRON, 2008). Projeções indicam que o nível médio global do mar pode subir entre 0,61 m e 1,10 m até 2100 nos cenários de altas emissões, sendo que aumentos ainda maiores não podem ser descartados diante das incertezas relacionadas ao derretimento acelerado das camadas de gelo, ampliando a vulnerabilidade dessas regiões (IPCC, 2021). Assim temos que os alagamentos produzem impactos diretos nessas populações, afetando a saúde, segurança e bem-estar. Tais eventos acarretam implicações socioeconômicas como perda de moradia, aumento na transmissão de doenças e, em muitos casos, na morte de pessoas (BRASIL, 2022).

Nos últimos anos, eventos climáticos extremos tornaram-se mais frequentes, como a catástrofe ocorrida no Rio Grande do Sul em 2024, entre outros exemplos ao redor do mundo. Diante deste cenário, é preciso repensar o modelo atual de desenvolvimento urbano, adotando abordagens que permitam a melhor gestão do recurso hídrico, além de promover estratégias para garantir que as cidades se tornem mais resilientes e adaptáveis às mudanças climáticas (HOBAN, 2019; ZEVENBERGEN et al., 2018). Como forma de enfrentamento a esses problemas, observa-se uma tendência mundial de adotar medidas baseadas na natureza e infraestrutura verde. Diversos conceitos surgiram nas últimas décadas, com o objetivo de integrar o ciclo da água ao desenvolvimento urbano (TANG et al., 2018), entre eles, o conceito de “cidades-esponja”.

Cidades-esponja é um conceito que surgiu na China, como resposta a uma série de inundações que acometeram o país nas últimas décadas, causando impactos severos à sociedade e à economia (OATES et al., 2020; HAMIDI et al., 2021). Em 2013, o governo chinês iniciou a implementação deste conceito, com o objetivo de restaurar o ciclo da água ao seu estado natural, dentro dos centros urbanos. Para isso, é necessário garantir que as cidades sejam capazes de absorver, armazenar, infiltrar e

reutilizar a água pluvial, reduzindo o risco de alagamentos e garantindo a segurança hídrica da população (SHAO et al., 2020).

Essa estratégia pode ser implementada em diferentes escalas, podendo abranger grandes projetos, como na China, onde em 2014 o governo publicou um guia com diretrizes técnicas para a construção e implementação das cidades-esponja, além de selecionar 30 cidades piloto para a implementação dessas medidas (MOHURD, 2014). Ou em escalas locais, como a criação do Parque Barigui, em Curitiba - PR (VELLOSO et al., 2025), ou o Parque Orla Piratininga Alfredo Sirkis, em Niterói - RJ (VELLOZO et al., 2022). Em todos os casos, é fundamental considerar as características ambientais da região (CHAN et al., 2018), priorizando a otimização do ambiente natural e a recuperação dos ecossistemas ali presentes.

A implementação das cidades-esponja envolve a adoção integrada de medidas estruturais e não estruturais, que garantam a eficácia da gestão hídrica. As medidas estruturais incluem jardins de chuva, telhados verdes, valas e canais vegetados, poços de biorretenção, pavimentos permeáveis, entre outros. Essas ações devem ser complementadas por medidas não estruturais, que incluem planejamento urbano integrado, políticas de uso e ocupação do solo, educação ambiental, implementação de sistemas de monitoramento e alerta. Além disso, destaca-se a importância da conservação e recuperação dos ecossistemas originais da cidade (DING e ZHANG, 2021).

O litoral brasileiro apresenta um histórico de urbanização intenso e marcado pela desigualdade no acesso a infraestruturas (CARMO, 2014). Esse cenário tende a se agravar, pois estima-se que, até 2060, cerca de 18,7 milhões de pessoas estarão vivendo em áreas suscetíveis a riscos como inundações, alagamentos, enchentes, erosão e inundação costeira (NEUMANN et al., 2015). Neste contexto, considerando o aumento da intensidade e frequência de eventos climáticos extremos, observa-se um aumento na vulnerabilidade dessas áreas (CARMO e SILVA, 2009).

Essa vulnerabilidade manifesta-se de forma particularmente acentuada no litoral paulista, como é o caso da cidade de São Vicente. A região sofreu um intenso processo de urbanização desordenada, o que resultou em problemas de ocupação do solo, falta de infraestrutura e alta taxa de impermeabilização do solo urbano. Esses fatores influenciam no alto risco de enchentes e alagamentos na região, especialmente em áreas impróprias para ocupação, como antigas zonas de manguezal ou regiões próximas aos canais, afetando principalmente a população mais vulnerável. Diante desse cenário, torna-se evidente a urgência na implementação de ações e políticas de enfrentamento às mudanças climáticas nessas cidades, garantindo a segurança e bem-estar da população (CARMO e SILVA, 2009).

Neste contexto, o município de São Vicente tem adotado, nos últimos anos, medidas para enfrentar os impactos das mudanças climáticas. Um exemplo é o projeto Co-planejamento para justiça climática no município de São Vicente (COOP CLIMA), iniciado em 2023, em parceria com Universidades, Prefeitura Municipal de São Vicente e Sociedade Civil. O projeto tem como objetivo subsidiar a elaboração de um plano de ação climática para o município, promovendo a justiça climática e desenvolvendo estratégias inclusivas e sustentáveis, alinhadas ao contexto social, ambiental e institucional do território. Outro exemplo é o Plano São Vicente 500 Anos, uma iniciativa de planejamento estratégico que inclui a adaptação às mudanças climáticas como um dos eixos para o desenvolvimento urbano. Apesar desses avanços, a preocupação com os impactos climáticos no município é recente, e ainda são escassas as medidas específicas de adaptação e prevenção de riscos, como as enchentes, intensificadas pelas mudanças climáticas. Assim, a implementação de ações

baseadas nas cidades-esponja seria uma saída para controlar efetivamente o escoamento da chuva urbana, além de melhorar a qualidade de vida da população.

Este estudo objetiva realizar uma análise sistemática das evidências empíricas sobre a implementação do conceito de cidades-esponja em zonas costeiras vulneráveis, com foco na aplicabilidade para o município de São Vicente. A pesquisa visa subsidiar políticas públicas e intervenções técnicas que promovam estratégias eficazes de adaptação urbana frente aos desafios impostos pelas mudanças climáticas na região litorânea paulista. Para alcançar estes propósitos, o estudo é orientado por quatro questões fundamentais que também estruturam a metodologia e os resultados: (1) Como as experiências de implementação de cidades-esponja estão distribuídas globalmente e quais elementos são adaptáveis ao contexto brasileiro? (2) Quais riscos climáticos específicos e padrões de vulnerabilidade socioambiental caracterizam São Vicente? (3) Quais atores institucionais e sociais devem ser mobilizados para viabilizar as intervenções propostas? E (4) qual a escala, abrangência e profundidade das adaptações necessárias para transformar São Vicente em uma cidade mais resiliente às inundações e outros impactos climáticos?

Desta forma, este trabalho contribui para preencher uma lacuna significativa na literatura nacional quanto a medidas adotadas para tornar as cidades litorâneas brasileiras resilientes às mudanças climáticas, aplicando o conceito de cidades-esponjas, ainda pouco explorado no país. Assim, oferecendo não apenas uma compilação crítica do conhecimento existente, mas também diretrizes aplicáveis ao contexto específico de São Vicente. Os resultados esperados visam subsidiar tanto o avanço do conhecimento científico quanto a tomada de decisão por gestores públicos e outros atores envolvidos no planejamento urbano resiliente. Em síntese, o estudo busca fortalecer as bases conceituais e práticas para a construção de cidades costeiras mais adaptativas e resilientes frente aos desafios impostos pelas mudanças climáticas.

2. Objetivo Geral

Avaliar a viabilidade de implementação do conceito de cidades-esponja como estratégia de adaptação às mudanças climáticas no município de São Vicente (SP), por meio de análise comparativa entre experiências internacionais e nacionais, considerando as especificidades socioambientais de zonas costeiras vulneráveis.

2.1 Objetivos específicos

1. Sistematizar, por meio de revisão sistemática da literatura, experiências internacionais de implementação do conceito de cidades-esponja em regiões costeiras, identificando estratégias, resultados e lições aprendidas.
2. Mapear e analisar criticamente iniciativas brasileiras baseadas no conceito de cidades-esponja, caracterizando o estágio atual de implementação, abordagens metodológicas, desafios enfrentados e resultados alcançados.
3. Propor intervenções técnicas de intervenção urbana para São Vicente fundamentadas na análise comparativa das experiências internacionais e nacionais, visando aumentar a resiliência da cidade frente aos impactos das mudanças climáticas.
4. Identificar e avaliar os desafios técnicos, socioeconômicos e institucionais, bem como as oportunidades potenciais para a implementação do conceito de cidades-esponja em São Vicente, considerando suas características geográficas, urbanísticas e socioambientais específicas.

3. Metodologia

A pesquisa será realizada em três momentos, a fim de responder a cada um dos objetivos propostos. A começar pelo levantamento de pesquisas e projetos que ocorrem em contexto internacional, seguido pelas pesquisas realizadas no Brasil. Por fim, com base nos resultados das revisões sistemáticas, iremos elaborar uma proposta de intervenção para a cidade de São Vicente.

3.1 Proposta de implementação para a cidade de São Vicente

O processo de elaboração da proposta de implementação foi dividida em 4 etapas, sendo elas: **(3.1.1)** Compreender o conceito de cidades-esponja, abordando seus princípios, objetivos e aplicações práticas; **(3.1.2)** Analisar medidas adotadas em situações semelhantes à de São Vicente, por meio da revisão sistemática descrita posteriormente; **(3.1.3)** Identificar pontos sensíveis da cidades e definir quais métodos de intervenção melhor se enquadram para suprir esses problemas; **(3.1.4)** Identificar os impactos positivos e os benefícios esperados com a adoção das medidas propostas, considerando a região do entorno da área de implementação.

3.2 Revisão sistemática da literatura

Foi realizada uma revisão sistemática da literatura com o objetivo de compreender a implementação de cidades-esponja em áreas costeiras. Foram realizadas duas revisões distintas, a primeira focada em compreender o contexto internacional da implementação desse tipo de estratégia para o enfrentamento das mudanças climáticas. Já a segunda visou investigar o cenário brasileiro na implementação dessa estratégia.

Essa abordagem consiste no levantamento rigoroso de trabalhos realizados acerca de determinado tema, seguindo métodos explícitos e padronizados, com a criação de um protocolo que define critérios de inclusão e exclusão dos estudos, e diretrizes para a condução da pesquisa. Esses critérios determinam quais os estudos que serão considerados ou descartados pelas análises, assim, permite a elaboração de uma síntese dos estudos existentes sobre o tema, além de garantir a reprodutibilidade dos resultados (FORD et al., 2011; BERRANG-FORD, 2016; HIGGINS et al., 2019; PHAM e SANER, 2021).

O levantamento bibliográfico foi realizado seguindo a declaração “Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses” (PRISMA; PAGE et al., 2021), que fornece diretrizes e recomendações voltadas para a condução de revisões sistemáticas. Essa metodologia contribui para que os estudos sejam conduzidos de forma completa, transparente e reprodutível. O PRISMA apresenta um modelo de diagrama de fluxo (<https://www.prisma-statement.org/>, acessado em 12 de junho de 2025), que possibilita a representação visual, clara e objetiva das etapas do processo de seleção dos estudos, servindo de base para a elaboração do protocolo de busca e definição dos critérios de inclusão e exclusão dos artigos.

O levantamento dos trabalhos foi realizado utilizando três bases de dados científicas amplamente reconhecidas para a busca dos artigos, sendo elas: Scopus (<https://www.scopus.com/>), Web of Science (<https://www.webofscience.com/>) e Google Acadêmico (<https://scholar.google.com.br/>). Todas as bases de dados escolhidas possuem uma amplitude de publicações, de modo a englobar diferentes trabalhos. Todas apresentam ferramentas de busca avançadas, como operador booleano (AND, OR, NOT), truncamento (recurso em que a terminação de uma palavra é substituída por um símbolo para ampliar os resultados), além de filtros por idioma, data de publicação, tipo de documento, entre outros. O Google Acadêmico foi incluído devido à sua maior

cobertura de publicações oriundas do Sul Global, em comparação às demais bases (ARRUDA-FILHO et al., 2024).

As buscas foram restringidas ao idioma inglês (contexto internacional) e em inglês e português (contexto nacional). A busca abrangeu trabalhos publicados entre 1 de janeiro de 2015 e 30 de junho de 2025. Apenas artigos revisados por pares e capítulos de livros, com acesso aberto, foram considerados. Os dados foram coletados por meio de busca manual nos sites selecionados; as informações foram exportadas no formato RIS e PDF. Foi criado um banco de dados para armazenar os arquivos, organizados por meio de pastas na nuvem. As informações dos trabalhos foram registradas em planilhas, permitindo a realização de triagem e a verificação de duplicatas.

A triagem selecionou os trabalhos de acordo com os critérios de inclusão e exclusão não referentes ao conteúdo do texto. Foram separados aqueles cujo formato era inválido, como livros, teses, preprints, relatórios, resumos de congresso, entre outros. Trabalhos cujo idioma ou período não correspondiam aos pré-estabelecidos ou cujo site ou arquivo disponível apresentava algum tipo de erro ou falta de informação. Em seguida, foram analisados os títulos, resumos e palavras-chave dos artigos que passaram pela triagem, confirmando que os trabalhos se ajustavam aos critérios estabelecidos. Os trabalhos que não se enquadraram foram removidos da análise (Tabela 1).

Tabela 1. Critérios de inclusão e exclusão adotados na seleção dos artigos.

Critérios de inclusão	Critérios de exclusão
Data de publicação entre 1 de janeiro de 2015 e 30 de junho de 2025.	Data de publicação fora do período estabelecido.
Texto em inglês (contexto internacional) e inglês ou português (contexto nacional).	Texto em idioma diferente dos aceitos
Formato da publicação como artigo científico revisado por pares ou capítulo de livro.	Formato da publicação como livros, teses, preprints, relatórios, resumos de congresso, etc.
Site disponível, com trabalho em formato RIS ou PDF.	Site com erro de acesso ou trabalho indisponível para download.
Presença de pelo menos um descritor no título, resumo ou palavras-chave do trabalho.	Ausência de descritor no título, resumo ou palavras-chave do trabalho.

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Esses dados foram organizados em um formulário de avaliação, incluindo informações como: país de implementação (desenvolvido ou em desenvolvimento), país de origem do trabalho (considerando a instituição associada ao primeiro autor), escala e etapa do projeto (implementado ou proposta) e medidas adotadas (estruturais e não estruturais).

3.2.1 Contexto internacional

Para atender aos objetivos da pesquisa, será adotada a seguinte pergunta norteadora: “Como está a implementação de cidades-esponja nas regiões costeiras no cenário global?”

A busca por estudos foi realizada por meio da combinação de palavras-chave específicas, utilizando operadores booleanos. Foram empregados os seguintes termos: “Cidades-esponja”,

“Esponja Urbana” e “Bacia Hidrográfica Esponja”, combinados com “Costeiro” e “Litoral” por meio do operador AND (Tabela 2). As palavras-chave foram combinadas de diferentes maneiras para garantir a inclusão de estudos relevantes. Na plataforma Google Acadêmico, aplicou-se o filtro “artigos de revisão” a fim de reduzir a recuperação de trabalhos em formato inválido.

Tabela 2. Palavras-chave e operadores booleanos utilizados na busca de artigos sobre cidades-esponja em ambientes costeiros no contexto internacional.

Cidades-esponja (AND)
"sponge cit*" OR "urban sponge" OR "sponge watershed"
Ambientes costeiros (AND)
"coastal" OR "coastlin*"

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Foram considerados, durante a leitura dos títulos, resumos e palavras-chave, os seguintes critérios de inclusão: (1) empregar o conceito de cidades-esponja ou adaptações baseadas em ecossistemas (AbE) com a mesma finalidade; (2) estar relacionado a problemas de drenagem urbana; e (3) localizar-se em regiões costeiras.

3.2.2 Contexto Nacional

Para obter um panorama da aplicação e estudo de cidades-esponja no Brasil, realizamos uma revisão sistemática cuja pergunta norteadora foi: “Como está a implementação de cidades-esponja no Brasil?”. As palavras-chave utilizadas foram: “Cidades-esponja” e “Esponja Urbana”, combinados com “Brasil” ou “Brasileiro”, por meio do operador AND (Tabela 3). Essa escolha foi feita após testes com diferentes combinações de palavras-chave, a fim de incluir o maior número possível de artigos relacionados ao contexto nacional.

Tabela 3. Palavras-chave e operadores booleanos utilizados na busca de artigos sobre cidades-esponja no contexto nacional.

Palavras-chave em inglês
Cidades-esponja (AND)
"sponge cit*" OR "urban sponge" OR "sponge watershed"
Região (AND)
"Brazil" OR "brazilian"
Palavras-chave em português
Cidades-esponja (AND)
"cidades-esponja" OR "esponja urbana"
Região (AND)
"Brasil" OR "brasileiro"

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Foram considerados, durante a leitura dos títulos, resumos e palavras-chave, os seguintes critérios de inclusão: (1) empregar o conceito de cidades-esponja ou adaptações baseadas em ecossistemas (AbE) com a mesma finalidade; (2) estar relacionado a problemas de drenagem urbana; e (3) estar relacionado ao Brasil.

3.3 Análise de dados

A análise dos trabalhos selecionados foi realizada utilizando o software de análise de dados textuais IRaMuTeQ 0.8 alpha 7 (R Interface para análises multidimensionais de Textes et de Questionnaires). Assim, os trabalhos selecionados tiveram seus títulos, resumos e palavras-chave, organizados em dois corpus textuais, um para o contexto internacional e outro para o contexto nacional. Os textos foram traduzidos para inglês, quando necessário, e categorizados em linhas de comando (**** *Art_01), para serem analisados pelo software.

Realizamos quatro diferentes tipos de análises, disponibilizadas pelo software. Primeiramente realizamos a análise estatística textual clássica, que analisa a estrutura, frequência e distribuição das palavras presentes no corpus textual, identificando padrões lexicais que são base para as demais análises realizadas. Determina também se os textos analisados seguem a lei de Zipf, que estabelece que qualquer idioma ou texto apresente a mesma tendência em relação a frequência de palavras. A palavra mais frequente é utilizada aproximadamente duas vezes mais que a segunda mais frequente, três vezes mais que a terceira, e assim sucessivamente. As palavras mais frequentes estruturam o texto enquanto as menos frequentes trazem o significado específico do conteúdo (PIANTADOSI, 2014). A conformidade com esta lei assegura a representatividade dos dados analisados, assim como a validade dos dados obtidos nas análises subsequentes, garantindo que o corpus textual apresenta tamanho e variedade suficientes para suportar análises estatísticas textuais mais complexas.

Para as demais análises utilizamos apenas as palavras pertencentes à primeira e segunda esfera, que se referem à força de associação entre as palavras e as classes formadas na análise textual. O cálculo das esferas foi realizado segundo CASSETTARI et al. (2015), a primeira esfera é composta por palavras cuja frequência é maior ou igual à raiz quadrada do número de formas ativas, resultando em um valor de frequência limite. Já a segunda esfera corresponde à raiz quadrada desse valor limite.

A segunda análise realizada foi a geração de Nuvem de Palavras, que permite a representação visual das palavras mais frequentes do corpus textual. Também realizamos a análise de Similitude, com o objetivo de identificar as estruturas e palavras centrais dos trabalhos analisados. O uso desse recurso permite identificar padrões e relações entre as palavras usadas com base na sua associação estatística (CRESWELL e CLARK, 2013). Assim, o IRaMuTeQ auxilia na identificação de categorias, representadas graficamente em uma estrutura denominada Árvore de Similitude, cujas palavras são delimitadas por halos lexicais que indicam o grau de proximidade entre as palavras.

Por fim, efetuamos a Classificação Hierárquica Descendente (CHD), que agrupa as palavras presentes no corpus textual de acordo com sua similaridade semântica. O software realiza essa análise com base na frequência de ocorrência das palavras em cada segmento de texto, isso permite identificar temas recorrentes e padrões nos textos analisados.

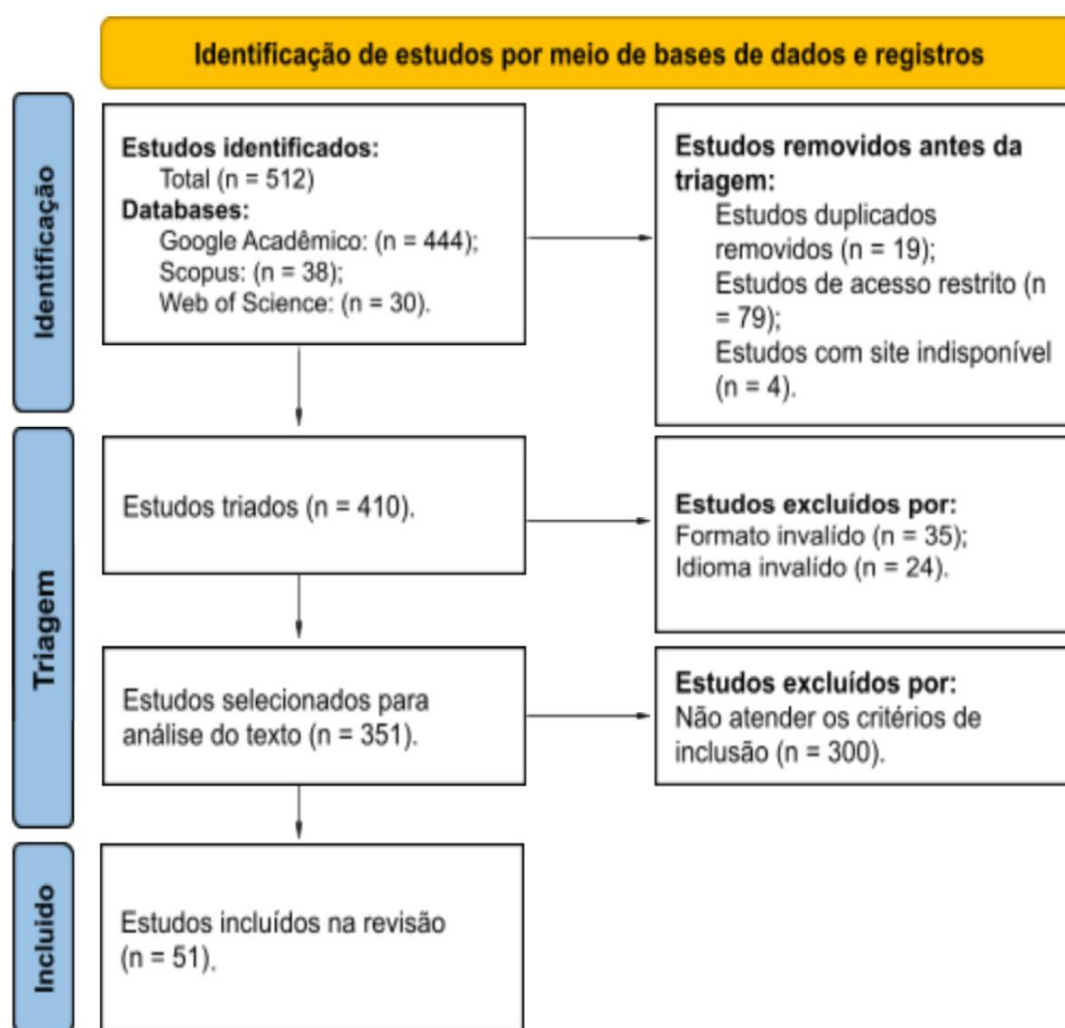
Os resultados obtidos a partir das análises geradas pelo IRaMuTeQ foram interpretados segundo análise qualitativa de conteúdo. Considerando os significados lexicais e em como os diferentes grupos de palavras foram agrupados nos gráficos gerados pelo software, considerando as semelhanças e diferenças semânticas para compreender os resultados.

4. Resultados

4.1 Contexto internacional

Um total de 512 trabalhos foram encontrados nas três bases de dados. Destes, 30 artigos foram pelo Web of Science, 38 artigos pelo Scopus e 444 artigos pelo Google Acadêmico. A imagem a seguir apresenta o diagrama de fluxo de seleção dos artigos, segundo a metodologia PRISMA, com as etapas realizadas para a seleção dos trabalhos (Figura 1).

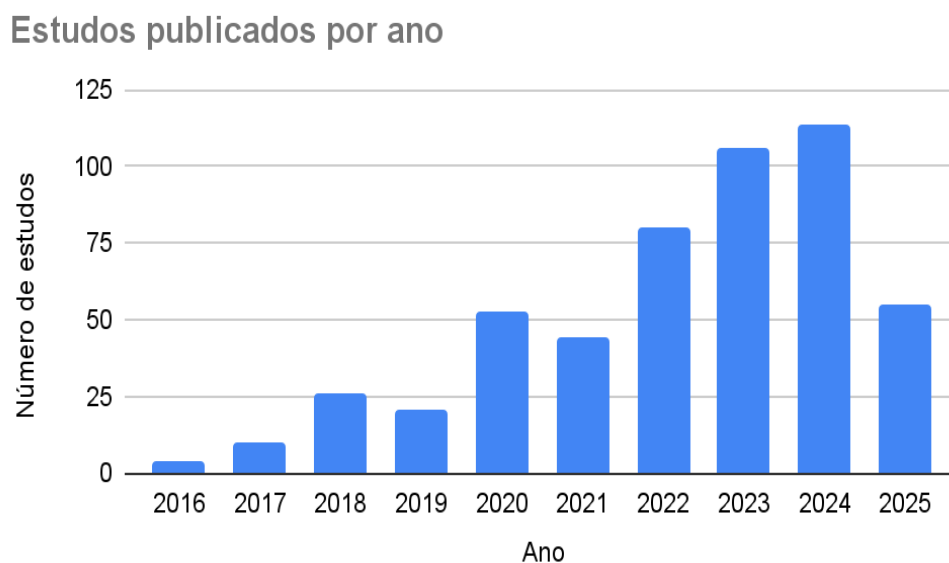
Figura 1. Diagrama de fluxo PRISMA representando as etapas de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos selecionados para análise da revisão sistemática da literatura no contexto internacional.



Fonte: Elaborado pela autora (2025) a partir dos dados obtidos nas bases Scopus, Web of Science e Google Acadêmico.

A maioria dos estudos disponíveis sobre esse tema é recente, concentrada principalmente nos anos de 2023 e 2024 – com 106 e 114 publicados respectivamente em cada ano. O ano de 2025 também apresentou um número expressivo de artigos, só não sendo superior, pois esse estudo abrangeu apenas trabalhos publicados no primeiro semestre (Figura 2).

Figura 2. Gráfico do número de estudos publicados em cada ano analisado.



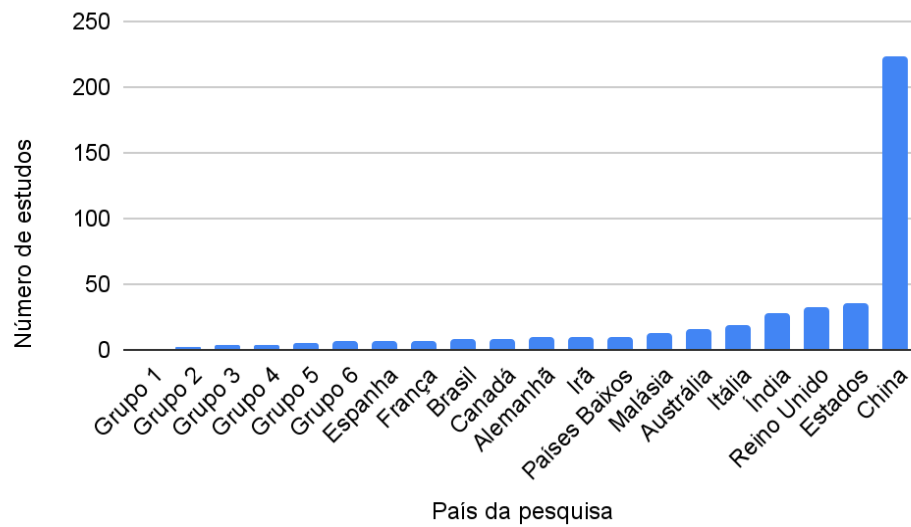
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Em relação à distribuição geográfica das publicações (Figura 3), foram identificados 54 países que publicaram ao menos um estudo relacionado ao conceito de cidades-esponja. Observa-se a clara predominância da China na produção científica sobre o tema, com 224 publicações, destacando-se de forma expressiva em relação aos demais países. Outras nações com participação relevante incluem Estados Unidos, Reino Unido, Índia e Itália, embora com números consideravelmente menores.

Os países com menos publicações foram agrupados conforme o número de trabalhos publicados, indo do Grupo 1, com apenas uma publicação, até o Grupo 6, com seis publicações. Dos países, 30 são classificados como em desenvolvimento e 24 como desenvolvidos. Apesar de representarem a maioria, os países em desenvolvimento apresentaram menor produção científica em comparação aos países desenvolvidos. Dentre eles, 12 pertencem ao Grupo 1 e apenas cinco apresentam mais do que cinco publicações.

Figura 3. Gráfico do número de estudos produzidos em cada país. O Grupo 1 é formado pela Argélia, Bélgica, Cazaquistão, Croácia, Fiji, Hungria, Israel, Quênia, Lituânia, Nepal, Peru, Filipinas, Catar, Sri Lanka, Suécia e Turquia. O Grupo 2 é formado por Arabia Saudita, Bangladesh, Gana, Grécia, Iraque, Irlanda, México, Noruega, Paquistão, Rússia, Sérvia, Singapura e Suíça. O Grupo 3 é formado por África do Sul, Eslováquia e Vietnã. Grupo 4 por Dinamarca, Nova Zelândia e Taiwan. Grupo 5 pela Indonésia e Japão. Grupo 6 por Coreia do Sul, Polônia e Portugal.

Estudos publicados por país

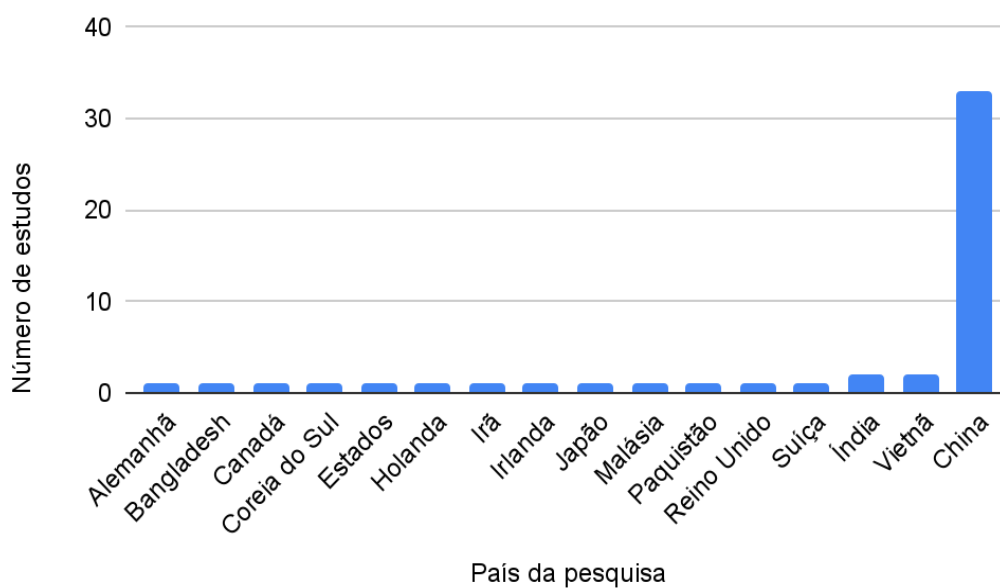


Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Essa mesma distribuição se manteve entre os artigos que se enquadraram nos critérios de seleção. Com a predominância dos estudos realizados na China, com 33 publicações (Figura 4). Os outros países apresentaram um número muito menor de publicações, a Índia e Vietnã com 2 duas publicações e os demais países com apenas um trabalho cada.

Figura 4. Gráfico do número de estudos selecionados para análise no contexto internacional, produzidos em cada país.

Estudos analisados por país

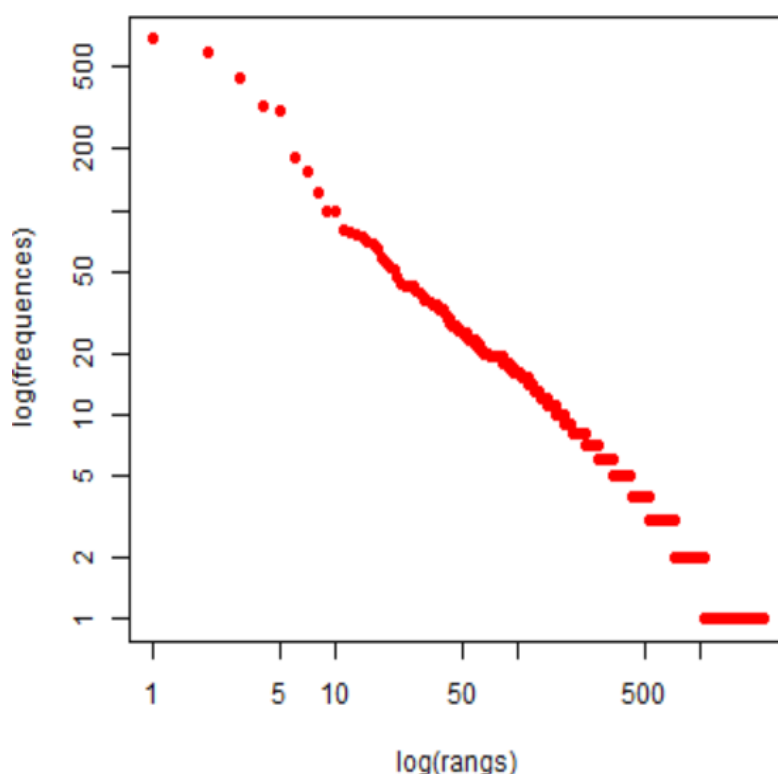


Fonte: Elaborado pela autora (2025).

4.1.1 Análise estatística textual clássica

Os resultados das estatísticas textuais evidenciaram 51 textos, com o total de 11.033 ocorrências de formas lexicais distribuídas em 2.222 termos diferentes, dos quais 1.172 apareceram uma única vez (hapax), que corresponde a 10,62% das ocorrências totais e 52,75% das formas. A média de ocorrências por texto foi de 216,33. A análise estatística mostra que os textos seguem a lei de Zipf (Figura 5), pois o gráfico apresenta a distribuição decrescente típica prevista por essa lei. Isso sugere que o corpus apresenta uma qualidade linguística natural, e que as análises lexicais realizadas pelo software são significativas.

Figura 5. Distribuição log-log entre a frequência e a ordem das formas textuais presentes no corpus textual, evidenciando o padrão decrescente previsto pela Lei de Zipf.



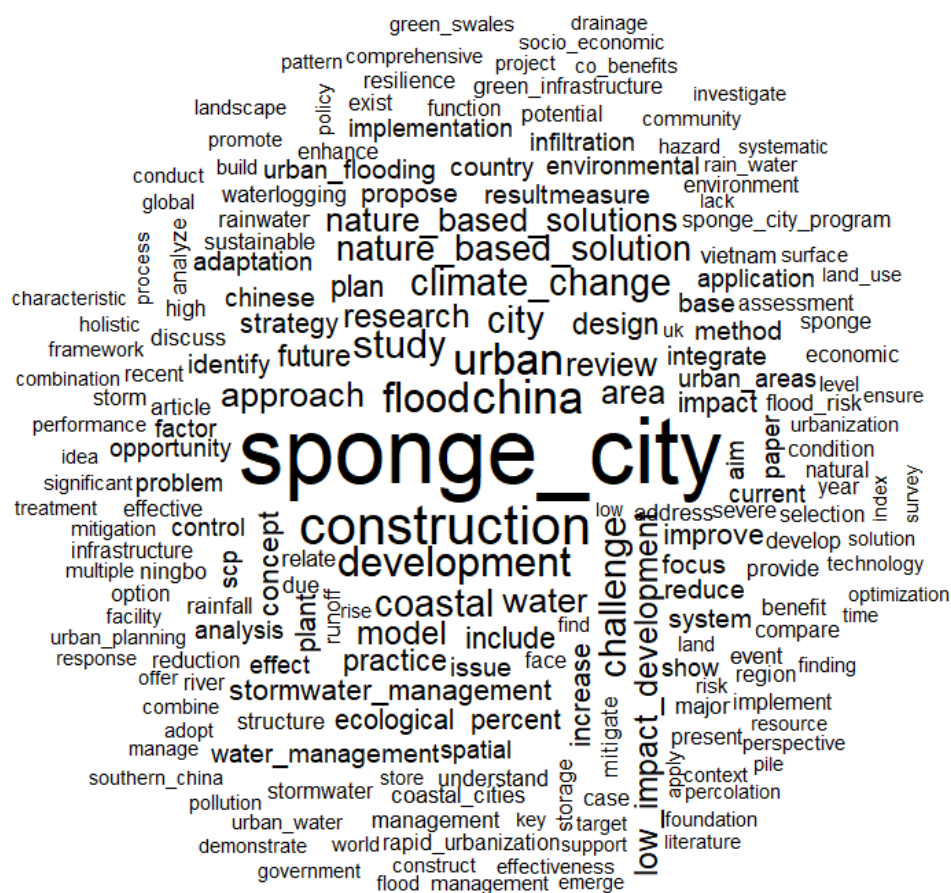
Fonte: Elaborado pela autora com base em dados processados pelo software IRaMuTeQ 0.8 alpha 7 (2025).

4.1.2 Nuvem de palavras

Para a geração da nuvem de palavras, foram consideradas as palavras pertencentes à primeira e à segunda esfera de associação. O valor limite da primeira esfera foi de 44,03 ocorrências, correspondente à raiz quadrada do número total de formas ativas do corpus (1.939). Já o valor limite da segunda esfera foi de 7 ocorrências, totalizando 201 palavras incluídas na análise.

A nuvem de palavras evidencia os principais termos no corpus analisado, com destaque para “sponge city” (153 ocorrências), refletindo o tema central abordado nos trabalhos (Figura 6). Dentre as palavras mais frequentes também temos “construction” (76 ocorrências), “china” (65 ocorrências) e “urban” (58 ocorrências). Termos como “climate change”, “challenge”, “flood” e “coastal” também aparecem com alta frequência.

Figura 6. Nuvem de palavras representativa do corpus analisado.



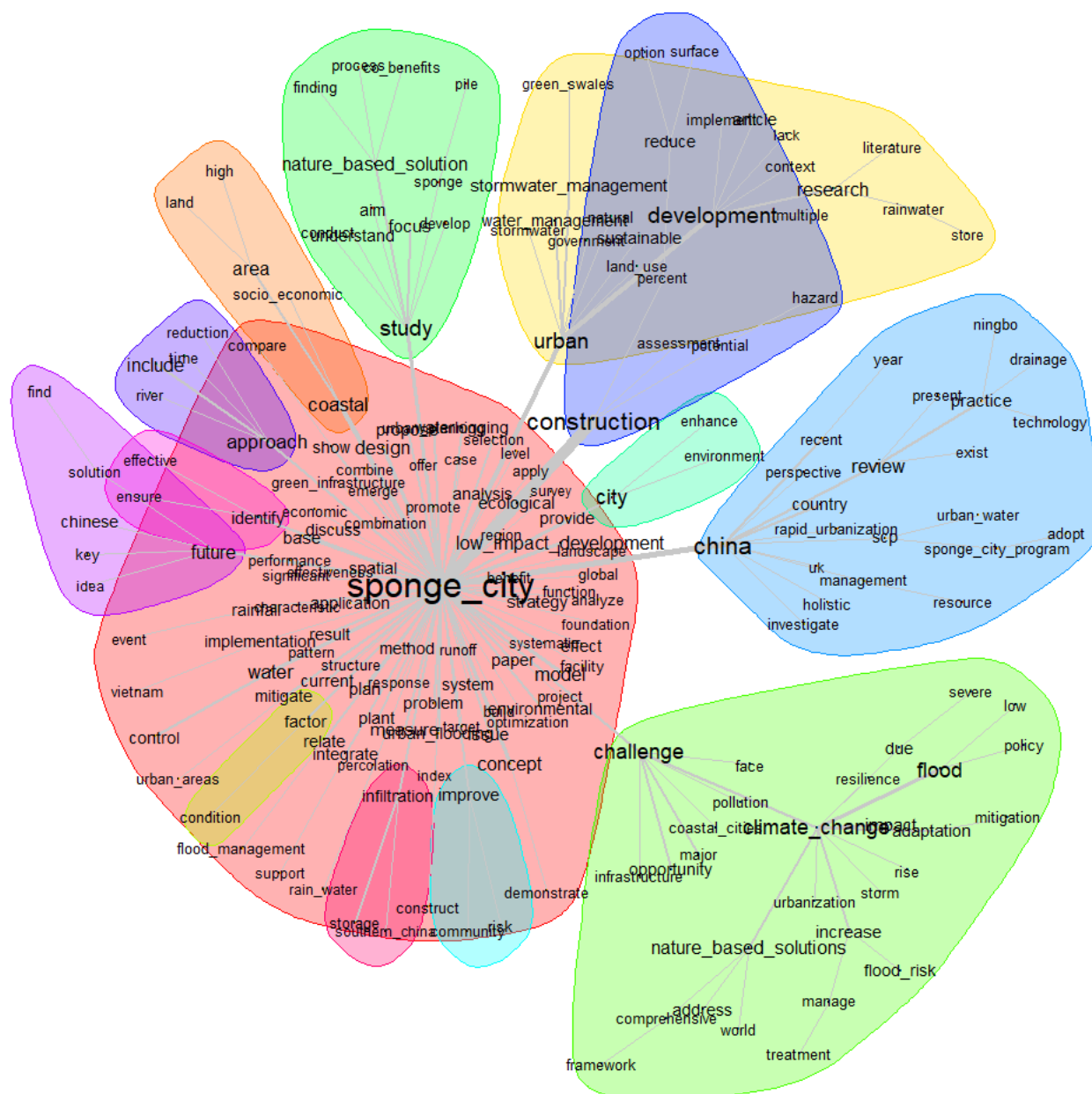
Fonte: Elaborado pela autora com base em dados processados pelo software IRaMuTeQ 0.8 alpha 7 (2025).

4.1.3 Análise de similitude

A árvore de similitude foi formada com 201 palavras, separadas em 14 categorias diferentes, delimitadas por halos coloridos. A categoria principal (vermelho), cujo termo central é “sponge city” (cidades-esponja), representa o conceito principal do corpus textual, sendo a maior das categorias e está conectada a todas as demais. Sua posição central indica que os termos que a compõem formam a base lexical comum a quase todas as outras comunidades semânticas presentes no corpus (Figura 7).

É possível separar os termos dessa categoria em grupos de acordo com o significado das palavras, assim temos palavras relacionadas a infraestrutura urbana, como “low impact development”, “urban area”, “land use”, “construction” e “design”; Gestão da água: “runoff”, “storm”, “infiltration”, “rain water”, “precipitation”, “flow”, e “drainage”; Avaliação e eficácia: “performance”, “result”, “impact”, “significant”, “factor”, “current” e “response”; Contexto e escala: “spatial”, “scale”, “city”, “community” e “global”.

Figura 7. Árvore de similitude produzida a partir dos artigos sobre cidades-esponja em regiões costeiras no contexto internacional.



Fonte: Elaborado pela autora com base em dados processados pelo software IRaMuTeQ 0.8 alpha 7 (2025).

Outro halo que merece destaque é o verde claro (direita inferior; Figura 7), segunda maior categoria. Engloba palavras relacionadas ao enfrentamento às mudanças climáticas e riscos ambientais associados, sendo “challenge” e “climate change” os termos em maior destaque. Palavras como “mitigation”, “resilience”, “adaptation”, “flood risk” e “nature based solutions” reforçam essa ideia. Já o halo azul (direita central; Figura 7) tem como termo central “China” e abrange, principalmente, estudos de caso e comparações internacionais, com palavras como “UK” (referente ao Reino Unido), “review” e “country”.

Muitos dos halos são formados por um número reduzido de palavras e apresentam sobreposição com outras categorias, principalmente com a categoria principal. Isso indica a existência de inter-

relações semânticas, onde certos termos são utilizados simultaneamente em mais de um contexto. Como a sobreposição do halo laranja (esquerda superior) e a categoria principal (vermelho). A categoria em laranja é formada por “coastal”, “area”, “socio economic”, “high” e “land”, essa relação sugere a implementação de cidades-esponja no contexto costeiro e impactos socioeconômicos associados. Outro exemplo de sobreposição é entre a categoria em roxo-claro (esquerda centro) e a categoria principal (vermelho). Essa categoria tem como termo principal “future” e está ligada a palavras como “Chinese”, “idea”, “key”, “solution” e “find”. Essa relação indica como as cidades-esponja podem ser uma peça chave para tornar as cidades mais resilientes, seguindo os exemplos da China.

Temos também a sobreposição das categorias amarelo e roxo-azulado (centro superior; Figura 7). A categoria roxo-azulado é composta por termos como “development”, “sustainable”, “implement”, “reduce”, “stormwater management”, “urban”, “land-use” e “potential”, indicando a implementação de soluções sustentáveis no contexto de drenagem urbana. Já em amarelo temos palavras como “research”, “literature”, “article”, “context” e “lack”, associada à pesquisa e revisões da literatura. Assim, essa categoria representa a base teórica e metodológica relacionada às propostas técnicas da categoria em roxo-azulado. Termos como “context”, “implement” e “sustainable” funcionam como pontes semânticas entre esses dois grupos.

4.1.4 Classificação hierárquica descendente - CHD

A análise de CHD identificou cinco classes lexicais que estruturam o discurso sobre cidades-esponja no contexto internacional. Destas, a Classe 5 apresenta o conjunto lexical mais distinto em relação às demais, conforme as ramificações mostradas no dendograma (Figura 8). Já as classes 2 e 3 apresentam maior similaridade semântica entre si, estando na parte mais interna do dendograma.

A Classe 1 representa 18,1% do corpus textual e tem como tema central a implementação de soluções verdes e sustentáveis, principalmente relacionadas ao “Sponge City Program”, programa do governo chinês que visa a transformação das cidades em cidades-esponjas. Com o exemplo da cidade de “Ningbo”, também incluída nessa categoria. Essa classe abrange termos como “green infrastructure”, “urban water”, “nature based solution” e “participation”. Na Classe 2 (18,7%), temos termos relacionados à aspectos metodológicos e teóricos relacionados às cidades-esponja, como “research”, “literature”, “study”, “reference”, “trend”, “systematic” e “understand”. Essa classe reflete os estudos que fundamentam tecnicamente as soluções propostas nas demais classes, abrangendo também revisões da literatura. A Classe 3 (21,8%), com palavras como “stormwater management”, “urban”, “river”, “lake”, “green swales”, “design”, “effective” e “resilient”, traz a ideia de técnicas relacionadas à gestão de água em ambientes urbanos, incluindo estratégias baseadas em soluções sustentáveis.

Figura 8. Classificação Hierárquica Descendente (CHD) das palavras presentes no corpus textual referente ao contexto internacional sobre cidades-esponja em regiões costeiras.



Fonte: Elaborado pela autora com base em dados processados pelo software IRaMuTeQ 0.8 alpha 7 (2025).

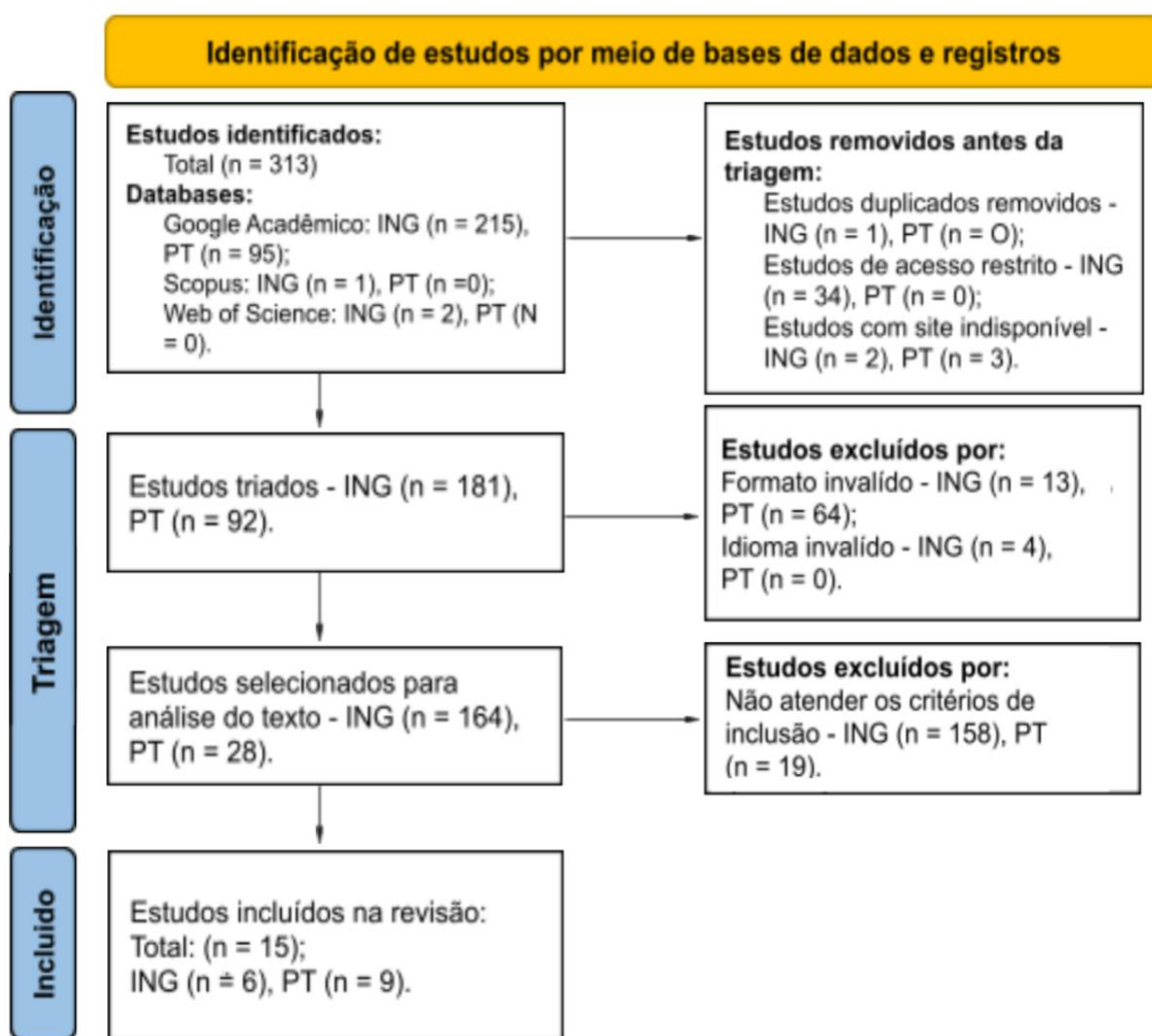
Já a Classe 4 (26,7%) é a mais representativa do corpus textual, inclui termos como “spatial”, “system”, “percent”, “optimization”, “threshold”, “treatment” e “evaluate”, indica a avaliação dos projetos de cidades-esponja implementados, com foco na melhoria da qualidade ambiental e na melhora dos problemas relacionados à drenagem urbana. Apresenta ainda palavras como rainfall, ecological, runoff, flow e seawater intrusion. É nesta classe que o termo “sponge city” está enquadrado. Por fim, a Classe 5 (15,5%) está associada com mudanças climáticas e desafios relacionados ao

contexto urbano. Inclui termos como “climate change”, “rapid urbanization”, “socio economic”, “urban flooding”, “damage”, “frequent” e “vulnerable”.

4.2 Contexto nacional

Quanto aos estudos que constituem o levantamento nacional, realizamos a busca em inglês resultando em 218 trabalhos, sendo 2 artigos pelo Web of Science, 1 artigo pelo Scopus e 215 artigos pelo Google. Em português, encontramos 95 trabalhos, todos no Google Acadêmico, resultando no total de 313 estudos. Destes, apenas 15 se enquadram nos critérios de seleção para análise. A seleção dos estudos está representada na Figura 9. A maioria dos estudos brasileiros são do ano de 2024, com 85 publicações. O primeiro semestre de 2025 também apresentou um número considerável de trabalhos, com 40 publicações no primeiro semestre (Figura 10).

Figura 9. Diagrama de fluxo PRISMA representando as etapas de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos selecionados para análise da revisão sistemática da literatura no contexto nacional.



Fonte: Elaborado pela autora (2025) a partir dos dados obtidos nas bases Scopus, Web of Science e Google Acadêmico.

Figura 10. Gráfico do número de estudos publicados em cada ano analisado.

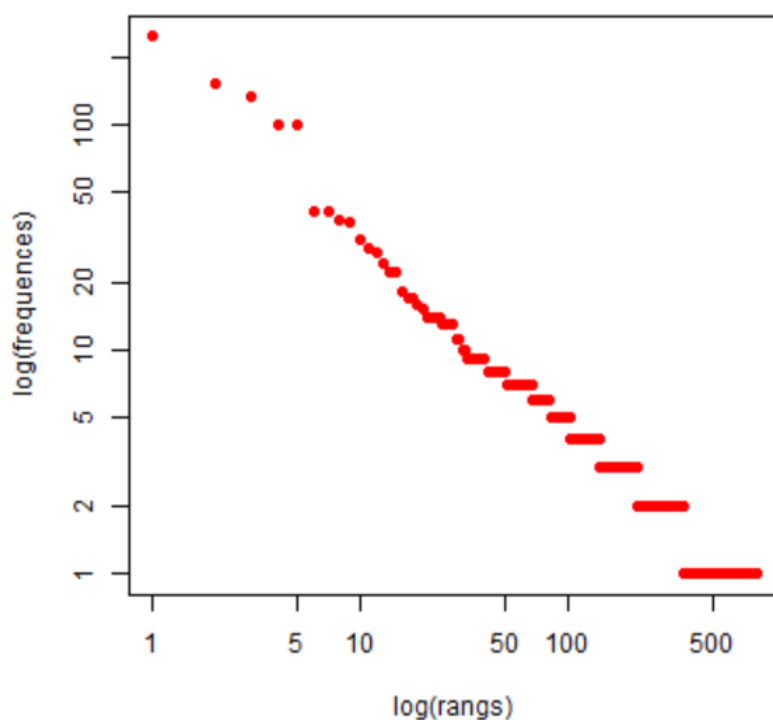


Fonte: Elaborado pela autora (2025).

4.2.1 Análise estatística textual clássica

A análises estatísticas textuais indicam um total de 2.865 ocorrências de formas lexicais distribuídas em 812 formas distintas. O número de hapax foi 450, equivalente a 15,71% das ocorrências totais e 55,42% das formas. A média de ocorrências por texto foi de 191. A análise estatística mostra que os textos seguem a lei de Zipf (Figura 11; PIANTADOSI, 2014), já que o gráfico apresenta uma distribuição decrescente típica prevista por essa lei.

Figura 11. Distribuição log-log entre a frequência e a ordem das formas textuais presentes no corpus textual, evidenciando o padrão decrescente previsto pela Lei de Zipf.

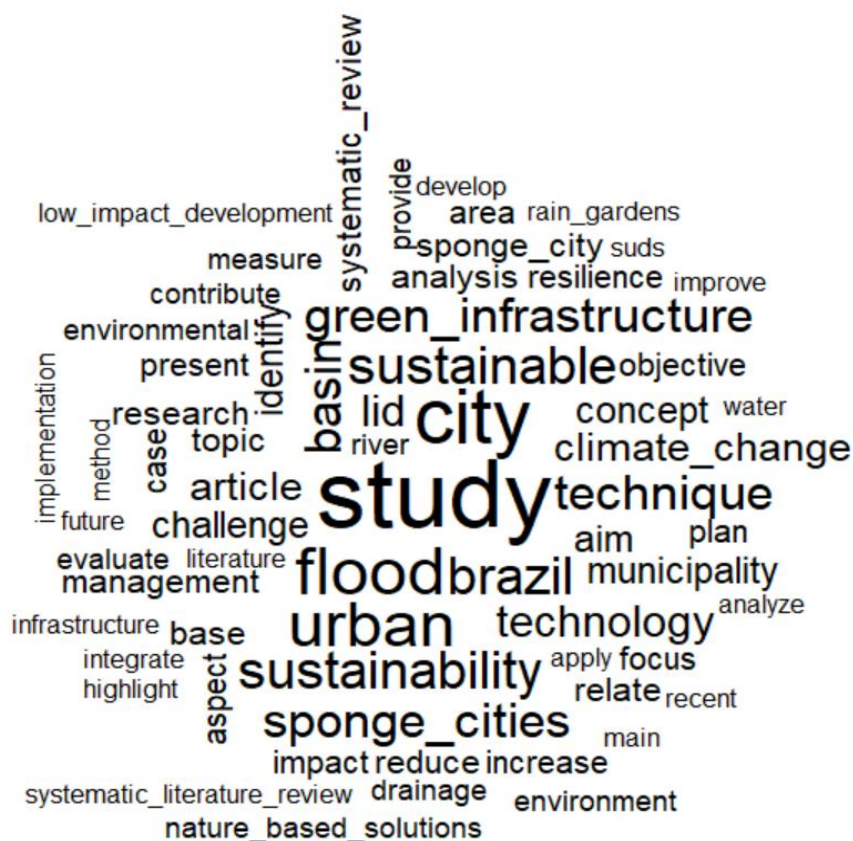


Fonte: Elaborado pela autora com base em dados processados pelo software IRaMuTeQ 0.8 alpha 7 (2025).

4.2.2 Nuvem de palavras

A nuvem de palavras foi formada por 66 palavras. Destas, as com frequência maior do que 26 são pertencentes da primeira esfera, resultado da raiz quadrada de 673 (número de formas ativas). Enquanto a segunda esfera foi formada por palavras com frequência maior que 5. A palavra mais presente nos textos foi “study” com 28 ocorrências, seguida por “city” (22 ocorrências), “flood” (18 ocorrências), “urban” (17 ocorrências). As palavras “brazil”, “sustainable”, “sustainability” tiveram ocorrência igual a 14 (Figura 12). Parte das palavras possui caráter mais analítico do que prático, como “study”, “research”, “systematic review”, “evaluate”, “identify” e “analyze”. Ainda assim, termos como “sponge cities”, “green infrastructure” (13 ocorrências) e “sponge city” (8 ocorrências), aparecem com destaque na nuvem de palavras, evidenciando que essas soluções vêm ganhando espaço como alternativas para enfrentar o problema do alagamento urbano.

Figura 12. Nuvem de palavras representativa do corpus analisado.



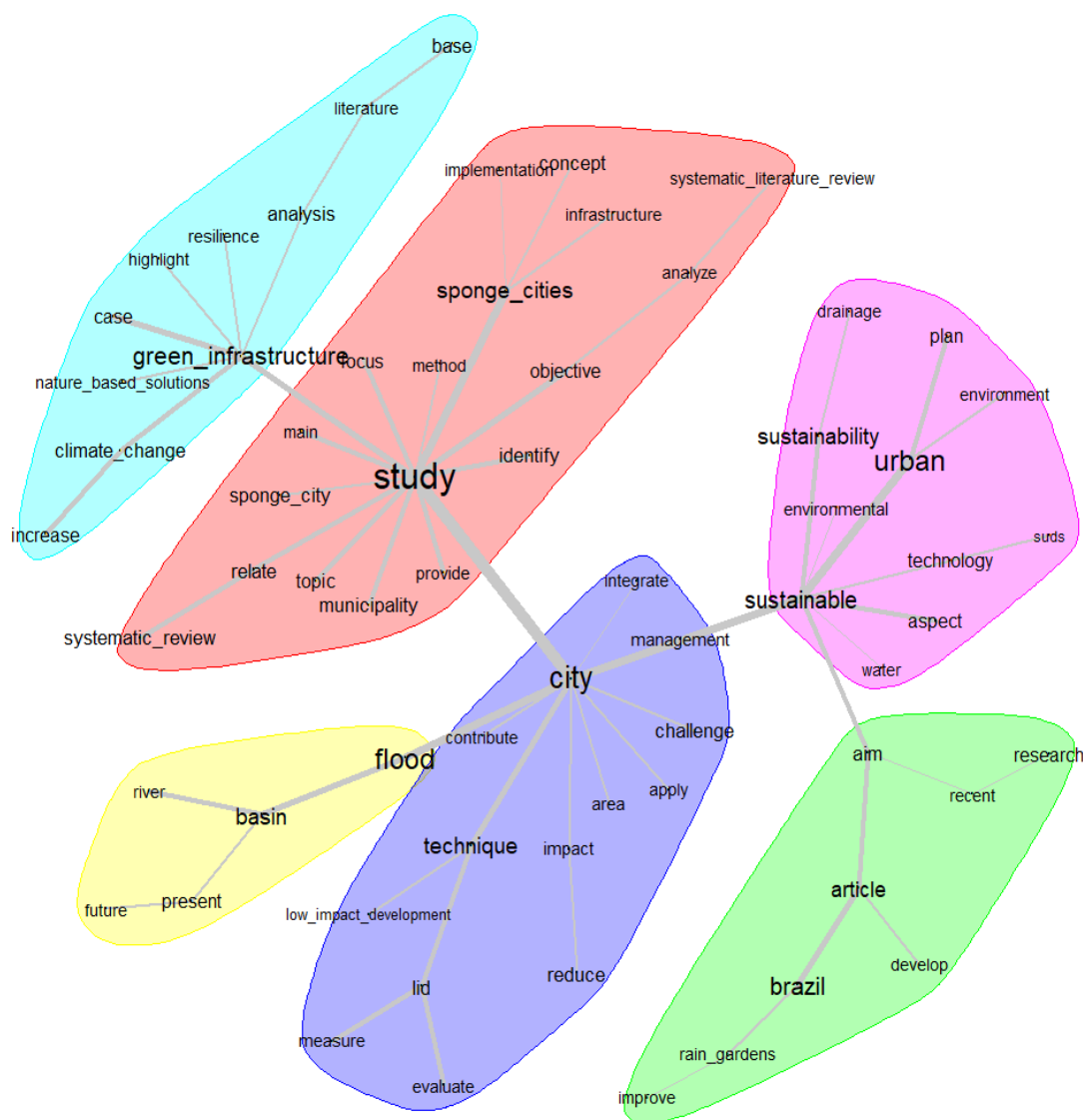
Fonte: Elaborado pela autora com base em dados processados pelo software IRaMuTeQ 0.8 alpha 7 (2025).

4.2.3 Análise de similitude

A Árvore de Similitude, composta por 66 palavras distribuídas em seis categorias diferentes, demarcadas por halos coloridos. O tema central é “study”, conectado com outros dois halos. Entre eles, destaca-se o halo roxo, estruturado a partir da palavra “city”, que corresponde à segunda maior categoria identificada (Figura 13).

O halo vermelho engloba o maior número de palavras, incluindo “sponge cities”, evidenciando que o foco principal dos estudos está relacionado ao conceito de cidades-esponja. Esse termo está ligado à “concept”, “implementation” e “infrastructure”, o que indica que os trabalhos relacionados abordam tanto a definição conceitual quanto a implementação de infraestruturas associadas às cidades-esponja. Além disso, o grupo inclui outras palavras como “identify”, “objective”, “systematic review” e “systematic literature review”, configurando-se como um conjunto metodológico-conceitual do corpus.

Figura 13. Árvore de similitude produzida a partir dos trabalhos referentes ao contexto nacional sobre cidades-esponja.



Fonte: Elaborado pela autora com base em dados processados pelo software IRaMuTeQ 0.8 alpha 7 (2025).

O halo roxo é o segundo maior, com “city” como termo central. Formado também por palavras como “technique”, “management”, “challenge”, “impact”, “evaluate”, “reduce”, “integrate”,

“contribute” e “area”. Esse conjunto está relacionado à implementação e avaliação de técnicas em um contexto urbano, com ênfase na adaptação e gestão das cidades. Termos como “management” e “integrate” sugerem que os estudos discutem como integrar novas práticas às dinâmicas já existentes, buscando promover melhorias na resiliência urbana.

O halo azul claro tem como termo central “green infrastructure”, conectado a palavras como “climate change”, “nature based solutions”, “resilience” e “analysis”. Esse conjunto aponta para o enfoque em estratégias sustentáveis de adaptação climática. Já o halo rosa reúne palavras como “urban”, “sustainability”, “technology”, “drainage” e “environmental”, relacionando o contexto urbano a soluções sustentáveis para lidar com problemas de drenagem.

No halo verde, temos palavras como “brazil”, “article”, “research”, “recent” e “develop”, indicando a relação do contexto brasileiro com a produção de artigos e pesquisas sobre o tema. Além disso, temos o termo “rain gardens” ligado ao Brasil, indicando que essa é uma das principais medidas implementadas no país. Por fim, temos o menor halo, em amarelo, formado apenas por cinco palavras, sendo “flood” a principal, acompanhado de “basin”, “river”, “present” e “future”, relacionando a gestão de recursos hídricos, com as perspectivas futuras.

4.2.4 Classificação hierárquica descendente - CHD

A CHD identificou sete classes léxicas, cada uma representando um campo temático diferentes entre os textos analisados. Destas, a Classe 5 é a que apresenta o conjunto lexical mais distinto das demais, posicionando-se na ramificação mais externa do dendrograma. Em contrapartida, as Classes 3 e 4 formam um subgrupo coeso, localizadas na parte mais interna do dendrograma, indicando maior similaridade semântica entre elas. Ambas estão centradas nos temas de resiliência urbana e planejamento adaptativo (Figura 14).

A Classe 1 representa 11,6% do corpus textual, é formada por termos como “provide”, “public”, “municipality”, “support” e “discussion”. Essa classe está associada à atuação do poder público e às medidas sustentáveis aplicadas à drenagem urbana, com termos como “runoff”, “stormwater”, “lid” (low impact development), “green areas” e “low impact development”, relacionados à drenagem. A presença da palavra “extreme weather events” reforça a relação dessa classe com ações voltadas à resiliência climática. A Classe 2 (14,9% do corpus textual) engloba palavras relacionadas a metodologia científica, pesquisa e teoria, como palavras como “method”, “apply”, “review”, “literature”, “analysis”, “case study”, “concept”, “research”, “study” e “strategy”.

A Classe 3 (16,4%) reúne termos relacionados à implementação de soluções sustentáveis, como “implement”, “plan”, “concept”, “lead”, “urban planning”, “municipality” e “case study”. Também reúne palavras que representam estratégias e práticas específicas como “sponge cities”, “green infrastructure”, “rain gardens” e “green areas”, voltadas ao enfrentamento às mudanças climáticas. Também engloba termos relacionados a impactos climáticos e eventos extremos: “climate change”, “disaster” e “resilience”. Os termos “increase”, “sponge cities” e “climate change” merecem destaque, sendo os mais frequentes dessa classe.

A Classe 4 (11,9%) está relacionada ao planejamento urbano, com termos como “smart urban plan”, “plan”, “development”, “urban”, “green infrastructure”, “nature based solution”, “resilience” e “green infrastructure”. Também trás a preocupação com mudanças climáticas: “extreme weather event”, “flood”, “challenge” e “lack”. A Classe 5 (16,4%) reúne palavras relacionadas a tecnologias utilizadas e planejamento técnico, com palavras como “technology”, “suds” (Sustainable Urban Drainage Systems), “master plan”, “urban drainage”, “application”, “world”, “trend”, “Brazil”,

“systematic review”, “sustainable”, “municipality”, “work” e “knowledge”. A menção a termos como “Brazil” e “world” sugere que essa classe também inclui textos que comparam ou contextualizam a situação brasileira frente às experiências internacionais.

A Classe 6 (16,4%) traz como foco estudos de caso que aplicam metodologias de cidades-esponja no contexto brasileiro. Inclui termos como “Rio de Janeiro”, “Maracanã”, “river”, “basin”, “area”, “city”, “context”, relacionados ao caráter local, e “urban flooding”, “urban drainage”, “impact”, “application”, “sustainable cities”, “environmental”, “nature based solution” e “integrate” relacionadas à implementação e as medidas utilizadas. Já Classe 7 (11,9%) apresenta “sponge city” e “systematic literature” como termos principais. Há também termos relacionados às questões ambientais e possíveis desafios relacionados: “environment”, “stormwater”, “management”, “challenge” e “extreme weather events”.

Figura 14. Classificação Hierárquica Descendente (CHD) das palavras presentes no corpus textual referente ao contexto nacional sobre cidades-esponja.



Fonte: Elaborado pela autora com base em dados processados pelo software IRaMuTeQ 0.8 alpha 7 (2025).

4.3 Matriz

Conforme as Tabelas 4 e 5, os dados extraídos dos trabalhos foram classificados de acordo com: país, ano de publicação, tipo de pesquisa realizada, status do trabalho (implementado ou em fase de proposta), medidas estruturais e não estruturais aplicadas.

A grande maioria dos artigos foram realizados na China, com foco em analisar as medidas implementadas no próprio país. Já os estudos realizados em países considerados desenvolvidos, os trabalhos analisaram a realidade de outras localidades, muitas vezes da China, ou um contexto global. Enquanto que os países em desenvolvimento têm como foco analisar a sua própria situação ou o contexto global. A grande maioria dos estudos é do tipo revisão bibliográfica (29 publicações), seguida por estudos de caso (12 publicações). Estudos focados em modelagem de diferentes cenários foram apenas sete, e por fim três estudos experimentais, testando medidas sob condições controladas em laboratório (Tabela 4).

Apenas nove trabalhos analisaram um único cenário implementado, com o objetivo de analisar a eficácia da implementação. Estudos que compararam diferentes locais onde o conceito de cidades-esponja foi desenvolvido, com o objetivo de comparar ou propor melhores medidas à serem seguidas tiveram seu status definido como “Proposta”, sendo 18 das publicações. Enquanto que, 20 trabalhos se enquadram apenas como revisão e quatro como modelo conceitual (Tabela 4).

A grande maioria dos trabalhos abordaram tanto medidas estruturais como não estruturais, já que ambas andam lado a lado para tornar possível a transição das cidades para cidades-esponja. As principais medidas estruturais abordadas foram pavimentos permeáveis e jardim de chuva / wetlands, em 28 estudos, seguido por sistemas de detenção ou retenção de água e reabilitação de áreas verdes ou urbanas, em 26 estudos. Já a principal medida não estrutural foi o uso de modelos hidrológicos como base para tomada de decisões e desenvolvimento de alertas de risco, sendo abordado em 25 trabalhos, seguindo de medidas de gerenciamento integrado, em 21 estudos (Tabela 4).

Tabela 4. Matriz de síntese dos dados extraídos dos artigos analisados no contexto internacional. Formada por país do estudo, tipo e status da pesquisa e quais medidas foram abordadas, estruturais e não estruturais. A legenda para as cores e símbolos se encontra na Tabela 6.

Referência	país do estudo		Tipo de pesquisa	Status	Medidas estruturais	Medidas não estruturais
Yuan et al. (2017)		=			6 - 8	3 - 5 - 6
Xia et al. (2017)		=			7	3 - 5 - 6 - 8 - 10
Li et al. (2017)		=			6	2 - 3 - 4 - 5 - 7 - 8 - 9 - 10
Tang et al. (2018)		=			3 - 4 - 5 - 6 - 8 - 9 - 10	1 - 2 - 3 - 8
Wei (2018)		=			1 - 3 - 8 - 9 - 10	1 - 4
Wang et al. (2018)		=			1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 9 - 10	1 - 3 - 4 - 5 - 6 - 9 - 10

Lyu et al. (2018)		=			1 - 6 - 8	5 - 6
Lashford et al. (2019)		○	#		7 - 10	4 - 5 - 6 - 8
Rubinato et al (2019)		○			3 - 5 - 7 - 8	2 - 3 - 5 - 7
Yang e Zheng (2020)					4 - 5 - 9 - 8	4
Li et al. (2020)		=			6	5
Lancia et al. (2020)		=			3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 9	1 - 4 - 7
Li e Zhang, 2020		=			4 - 8 - 9	1 - 4
Chan et al. (2020)		=			3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9	2 - 8
Qi et al. (2020)		=			5 - 7 - 9 - 10	2 - 3 - 4 - 5 - 8 - 9
Tang et al. (2020)		=			3 - 6 - 7 - 8 - 9	9 - 10
Zhou et al. (2020)		=			9	-
Luo et al. (2021)		=			1 - 3 - 7 - 8 - 9 - 10	3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8
Jiang e McBean (2021)		=			1 - 3 - 4 - 5 - 7 - 9	5
Kumar et al. (2021)		○	*		1 - 3 - 5 - 7 - 8 - 9 - 10	2 - 3 - 5 - 6 - 7 - 8 - 10
Hamidi et al. (2021)			*		2 - 3 - 4 - 5	6
Chan et al. (2021)		=			8 - 10	3 - 4 - 5 - 7 - 10
Liu et al. (2022)		=			2 - 3 - 4 - 6	4 - 5 - 6 - 9
Song (2022)		≠			3 - 4 - 9	3 - 9
Tiwari et al. (2022)		○	*		5 - 7 - 8 - 10	1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 10
Rentachintala et al. (2022)					1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 9	2 - 3 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9
Yuan et al. (2023)		=			1 - 2 - 3 - 4 - 7	-
Sun et al. (2023)		≠			1 - 3 - 4 - 5 - 7 - 9 - 10	2 - 4 - 5
Shao e Xu (2023)		=	#		6 - 7 - 8	1 - 3 - 5

Chowdhoree et al. (2023)		=			7 - 8 - 10	-
Chan et al. (2023)		=			2 - 6 - 7 - 8 - 9	2 - 8
Han et al. (2023)		≠			3 - 4 - 5 - 6 - 8 - 9 - 10	1 - 4 - 6 - 9 - 10
Lu et al. (2023)		=	*		5	-
Shang et al. (2023)		=			1 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10	1 - 3 - 4
Raza (2023)		≠	#		1 - 7	1 - 2 - 3 - 5 - 7
Zhao e Yue (2023)		=			2 - 3 - 4 - 5 - 7 - 9	2 - 3 - 5
Ngoc e Kleidorfer (2023)		=			3 - 8	4
Hao et al. (2023)			*		4 - 3 - 7	5
Guo et al. (2024)		=			2 - 3 - 5 - 9	5
Zhao et al. (2024)					8 - 9	5
Chan et al. (2024)		=			8 - 10	1 - 2 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 10
Grigg (2024)					5 - 6	3 - 4 - 6 - 7
Liu et al. (2024)					3	-
Huang et al. (2024)		=			3	-
Ghosh et al. (2024)			#		1 - 2 - 3 - 7 - 8 - 9 - 10	1 - 4 - 7
Aghaloo et al. (2024)			*		2 - 3 - 4 - 7 - 8 - 9	2 - 3 - 4 - 5 - 10
Ngoc et al (2024)		=	*		1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 7 - 8 - 9	2 - 3 - 6 - 8 - 9 - 10
Rosmadi et al. (2024)		=	*		2 - 3 - 5 - 8 - 9	1 - 3
Wang et al. (2024)			*		9	-
Wang et al. (2025)		=			6 - 7 - 8 - 10	1 - 7
Zheng et al. (2025)		=			3 - 4 - 9	-

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

A Tabela 5 apresenta informações sobre os estudos que abordam cidades-esponja desenvolvidas no Brasil. Encontramos apenas dois tipos de pesquisa, sendo oito estudos de caso e sete artigos de revisão bibliográfica. Quanto ao status, oito dos estudos se enquadram como revisão, seis trouxeram propostas de implementação e apenas uma analisou a eficácia de medidas já implementadas, que foi o trabalho de Velloso et al. (2025), que analisou as mudanças hidrológicas em Curitiba após a construção do Parque Barigui.

Referente à área de estudo, seis trabalhos analisaram o contexto global da aplicação das cidades-esponjas, três focaram na localidade do Rio Grande do Sul, dois trabalhos foram

desenvolvidos no Rio de Janeiro e apenas um trabalho teve como foco os Estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Minas Gerais.

A maioria dos trabalhos abordou medidas estruturais, sendo a principal jardim de chuva/wetlands, presente em 13 publicações, seguida por pavimentos permeáveis, em 12 publicações. Já a principal medida não estrutural foi relacionada ao gerenciamento integrado ou implementação de programas (oito publicações) e também o desenvolvimento colaborativo com gestores públicos ou com participação social (sete publicações).

Tabela 5. Matriz de síntese dos dados extraídos dos artigos analisados no contexto nacional. Formada por tipo de pesquisa, status e quais medidas foram abordadas, estruturais e não estruturais. A legenda para as cores e símbolos se encontra na Tabela 6.

Referência	Tipo de pesquisa	Status	Área de estudo	Medidas estruturais	Medidas não estruturais
Tavares et al. (2018)			Rio Macaé - RJ	1 - 3 - 9 - 10	2 - 3 - 5 - 7 - 10
Vicente et al. (2023)			Global/Brasil	1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 7 - 9 - 10	3
Marostica e Silveira (2024)			Global	2 - 3 - 4 - 5 - 8 - 9	2 - 3 - 5 - 7 - 10
Gondim et al. (2023a)			Global	9	-
Fogatti et al. (2023)			Frutal - MG	3 - 7 - 9	3 - 4 - 9
Rosa et al. (2023)			Global	2 - 3 - 4	-
Dias e Lima (2021)			São Leopoldo - RS	3 - 5 - 7 - 9	4
Monteiro e Araújo (2024)			São José Dos Campos - SP	1 - 6 - 7 - 9	1 - 2
Miranda et al. (2024)			Global	3 - 4 - 9 - 10	3
Gondim et al. (2023b)			Rio Maracanã - RJ	3 - 8 - 9	1
Eccard et al. (2024)			Lages - SC	3 - 7 - 9	2 - 3
Welter et al. (2024)			Porto Alegre - RS	3 - 4 - 8 - 9 - 10	1 - 2 - 5 - 8
Velloso et al. (2025)			Curitiba - PR	3 - 4 - 7 - 9 - 8	1 - 2 - 3 - 4
Weyermüller et al. (2025)			São Leopoldo - RS	5 - 7 - 8 - 9	8 - 10
Menezes et al. (2022)			Global	1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8	1 - 2 - 3

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Tabela 6. A tabela apresenta a codificação de cores e símbolos empregada nas Tabelas 4 e 5 para caracterizar os estudos quanto ao tipo, status e país de realização, além da tipologia de medidas abordadas. As categorias contemplam diferentes abordagens metodológicas, estágios de implementação e origem dos estudos. Também são especificadas as medidas estruturais e não estruturais consideradas na análise.

Tipo de estudo			
Estudo experimental: trabalhos que testaram algum modelo, técnica ou material específico relacionado a medidas estruturais em ambiente controlado de laboratório.	Estudo de caso: trabalhos que analisaram localidades onde medidas já foram implementadas ou que avaliaram o potencial de implementação dessas medidas em contextos reais.	Revisão bibliográfica: trabalhos que analisam pesquisas já realizadas. Podem ser do tipo revisão sistemática (*), revisão crítica (#) ou apenas revisão bibliográfica, quando a metodologia não foi especificada (sem símbolo).	Modelagem: trabalhos que utilizaram softwares de modelagem hidrológica para simular diferentes cenários ou processos.
Status dos estudos			
Implementado: estudos que analisaram medidas já implementadas em um determinado local.	Proposta: estudos que propõem abordagens, estratégias ou medidas a serem implementadas.	Revisão: estudos que analisam diferentes contextos e experiências já existentes, mas que não propõem modelos ou implementações específicas.	Modelo conceitual: estudos que desenvolvem ou apresentam modelos teóricos de medidas possíveis de serem implementadas.
País de estudo			
Estudos realizados pela China.	Estudos realizados por países em desenvolvimento.	Estudos realizados por países desenvolvidos.	
	$\neq$	=	
Estudos que analisam o panorama global relacionado às medidas abordadas.	Estudos que analisam uma área localizada em país diferente daquele onde o estudo foi realizado.	Estudos em que a área analisada coincide com o país de realização do estudo.	Estudos que analisam duas localidades distintas, sendo uma no mesmo país da realização do estudo e outra em contexto internacional.

Medidas estruturais		Medidas não estruturais	
1	Reservatórios de águas pluviais.	1	Preservação de áreas verdes e controle ambiental.
2	Sistemas de biorretenção.	2	Desenvolvimento colaborativo com gestores públicos ou com participação social.
3	Pavimento permeável.	3	Medidas de gerenciamento integrado ou implementação de programas.
4	Telhado verde.	4	Planejamento urbano com base em padrões morfológicos e climáticos.
5	Valas e trincheiras vegetadas.	5	Uso de modelos hidrológicos para tomada de decisões e alertas.
6	Sistemas de melhoria da qualidade da água.	6	Uso de redes neurais artificiais ou IA para monitoramento e avaliação de risco.
7	Sistemas de detenção ou retenção (bacias ou reservatórios).	71	Inclusão de áreas no zoneamento urbano.
8	Reabilitação de áreas urbanas e áreas verdes.	8	Oficinas de conscientização e capacitação de profissionais.
9	Jardins de chuva ou wetland construída.	9	Mecanismos de financiamento público ou privado.
10	Integração com infraestrutura cinza já existente.	10	Criação de diretrizes e políticas.

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

4.3 Panorama de São Vicente

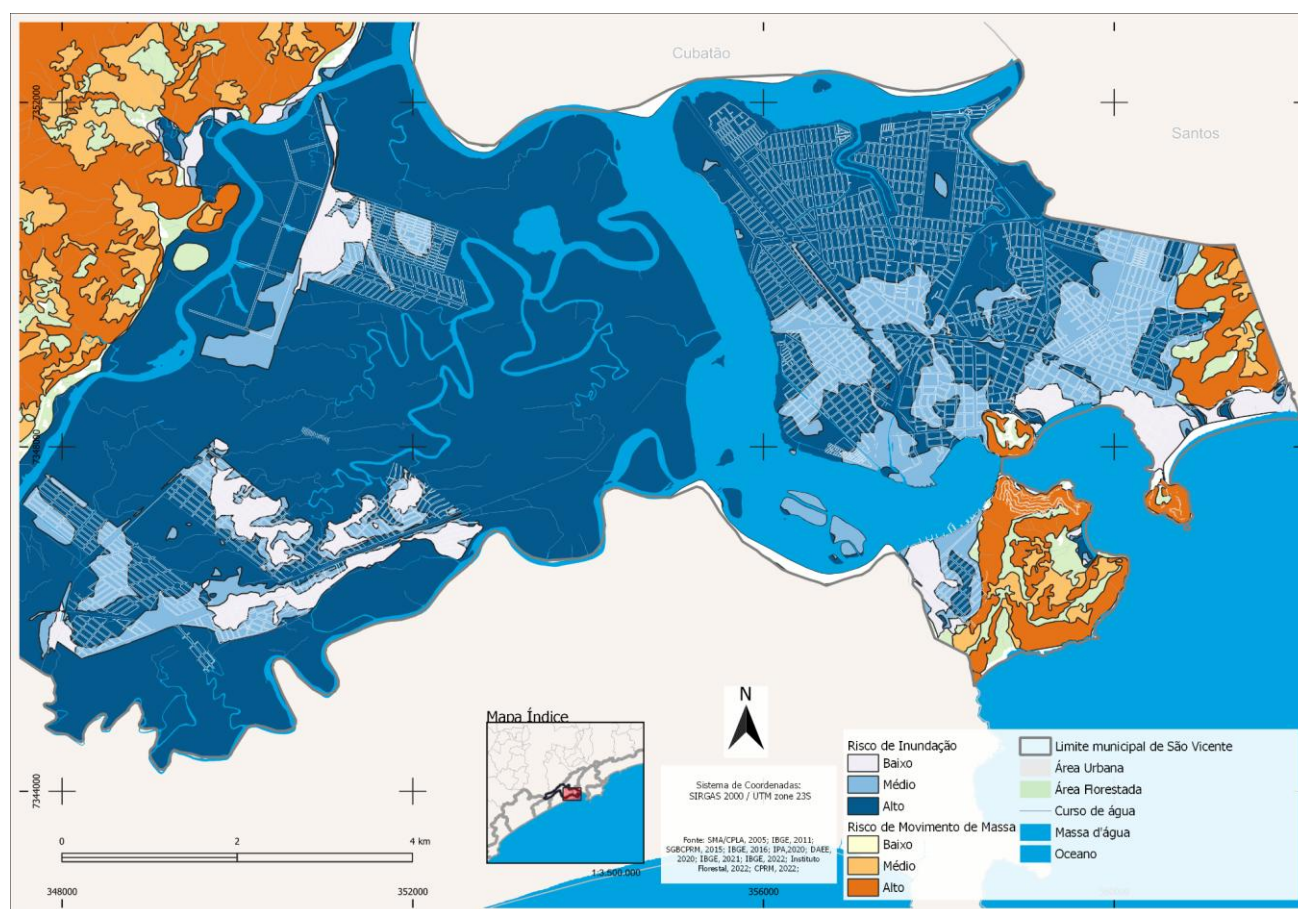
São Vicente é um dos nove municípios que compõem a Baixada Santista, situada a 24°00' S e 46°30' W, no litoral do Estado de São Paulo. O município se localiza em uma região de Planície Costeira e zonas de Serranias, sua altitude varia de 10 m na área urbana, com alguns locais atingindo mais de 1000 m de altitude, nas áreas pertencentes ao Parque Estadual da Serra do Mar. Apresenta parte de seu território em uma porção insular e parte continental, fazendo com que a região tenha forte influência da ação continental e marinha na dinâmica de sua paisagem (AFONSO, 2006). Assim, a presença da Serra do Mar barra a influência oceânica no interior da parte continental, acarretando na alta umidade e pluviosidade, além de que as regiões de planície costeira são suscetíveis ao processo de inundação e alagamento (AFONSO, 2006; BARONI, 2006). O clima é tropical úmido (NIMER, 1989), com baixa variação térmica ao longo do ano (média anual de 22° C), com elevada precipitação (AFONSO, 2006).

A região apresenta um longo histórico de ocupação, com a fundação da primeira vila no Brasil, criada pela vinda dos portugueses em 1.532 (LANÇA, 2005). Porém, apenas a partir do século XIX que a urbanização começou a se intensificar na região por conta do ciclo do café que acontecia em São Paulo, gerando um grande fluxo de pessoas na região da Baixada Santista, em especial pela presença

do porto de Santos. A ocupação urbana de São Vicente foi intensificada a partir da década de 60, por conta do complexo industrial de Cubatão, das atividades portuárias e também devido ao turismo, com o aumento de casas de veraneio. Desta forma, a maior parte da ilha de São Vicente já se encontrava ocupada nesta época. Porém, entre os anos de 1972 à 1987 houve a maior taxa de expansão urbana, atrelada ao aumento populacional na região, muito influenciado pela construção da Rodovia dos Imigrantes (MELLO et al., 2013). A nova rodovia facilitou o acesso da capital para o litoral, o que intensificou a migração de pessoas para a Baixada Santista em busca de novas oportunidades e fortaleceu o turismo em massa para a região. Parte dessas pessoas se instalaram na área continental do município, onde ainda existiam locais para a expansão urbana. A população com menor renda se fixou em regiões ambientalmente frágeis, tanto na área continental, quanto nas franjas de mangue da parte insular de São Vicente (MELLO et al., 2013). Grande parte dessa ocupação se deu por meio de loteamentos clandestinos, muitas vezes em áreas de proteção ambiental, como manguezais e margens de rios, regiões vulneráveis a inundações, onde hoje se localizam assentamentos precarizados, como as palafitas (GUIMARÃES, 2010; ALVES, 2022).

Atualmente, São Vicente conta com cerca de 330.000 pessoas e uma densidade demográfica alta, com mais de 2.200 habitantes por km², segundo o último censo do IBGE (TAVARES et al., 2026). Além disso há uma distribuição desigual de renda, onde a maior parte da população que habita as regiões mais vulneráveis apresenta a renda familiar composta de 1 a 2 salários-mínimos. Já a população com maior poder aquisitivo se concentra próxima à orla da praia e na divisa com o Município de Santos, região que apresenta melhores estruturas (TAVARES et al., 2026). Essa diferença na ocupação e distribuição de renda faz parte de um processo histórico, que deslocou moradores para áreas ambientalmente sensíveis e vulneráveis a inundações, o que trouxe impactos significativos ao ambiente costeiro, como o desmatamento de manguezais, a impermeabilização do solo e o aterramento de áreas úmidas, além de ampliar os riscos à segurança e à saúde da população. Esse histórico, aliado à baixa elevação da região, faz com que todo o município seja suscetível aos alagamentos, como mostra a Figura 15. O mapa evidencia que a maior parte da cidade apresenta alto risco de inundação (azul-escuro), incluindo muitas áreas urbanizadas, que em sua maioria apresentam populações mais vulneráveis, como na área das palafitas. O restante da área urbana apresenta médio risco de inundação (azul-claro), concentrada mais na área insular próxima a Santos e no interior da área continental. Há poucas áreas cujo o risco de inundação é baixo, e muitas vezes está associado a uma maior elevação, porém não alta o suficiente para apresentar risco de deslizamento, como as áreas em laranja no mapa (Figura 15).

Figura 15. Mapa de risco de inundação e movimento de massa no município de São Vicente (SP). Representa o potencial de alagamento e deslizamentos no município de São Vicente, destacando as áreas urbanizadas, corpos d'água e zonas costeiras com diferentes níveis de vulnerabilidade.



Fonte: Tavares et al. (2026).

Atualmente, a Prefeitura de São Vicente tem atribuído maior importância aos problemas de drenagem urbana. Entre as medidas implementadas temos a ampliação e manutenção de canais, revitalização de calçadas e sarjetas, além da construção de comportas destinadas a conter o avanço das águas durante os períodos de cheia (SÃO VICENTE, 2024). Paralelamente, está em elaboração o Plano de Gestão de Macrodrenagem para a Baixada Santista, que contará com um plano específico de medidas para cada município, com objetivo de reduzir impactos climáticos e melhorar a qualidade de vida da população. Esse plano prevê o investimento de R\$ 6 milhões, via Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO), e terá acompanhamento técnico da SP Águas, Agência de Regulação dos Recursos Hídricos vinculada à Secretaria Estadual de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística (SEMIL; SÃO PAULO, 2025).

Além de investimentos estruturais, a Prefeitura, em parceria com Universidades, tem desenvolvido projetos voltados ao enfrentamento das mudanças climáticas. Entre esses projetos, destacam-se o Co-planejamento para justiça climática no município de São Vicente (COOP CLIMA) e o Plano São Vicente 500 Anos – já citados anteriormente. Além de outros projetos, como o São Vicente na Década dos Oceanos, que tem como objetivo fomentar e incorporar a cultura oceânica no

contexto educacional do município, contribuindo para a conscientização ambiental e a formação de uma sociedade mais resiliente frente aos desafios climáticos.

5. Discussão

O conceito de cidades-esponjas tem se consolidado globalmente nas últimas décadas, como uma estratégia para tornar as cidades resilientes às mudanças climáticas e garantir a melhor gestão de recursos hídricos (HAMIDI et al., 2021; MENEZES et al., 2022). Para isso, utilizam-se das Soluções Baseadas na Natureza (SBN), estas são ações ou medidas que tem como objetivo o desenvolvimento sustentável e bem estar humano, além de proteger e restaurar os ecossistemas, considerando a proteção da biodiversidade, atrelada ao enfrentamento de desafios sociais de maneira adaptativa (IUCN, 2016). Porém, esta definição, muitas vezes considera apenas a realidade do Norte Global, já no contexto do Sul Global, o conceito assume contornos específicos, pois a implementação dessas soluções ocorre em territórios marcados por desigualdades socioambientais e fragilidades institucionais, sendo necessário incorporar princípios de justiça ambiental para garantir que não agrave as desigualdades existentes (TORRES et al., 2023). Nesse sentido, o conceito de cidades-esponja é uma estratégia integrada, capaz de reconectar os sistemas naturais às dinâmicas da cidade, além de reduzir vulnerabilidades socioambientais e promover adaptação climática de forma inclusiva.

O programa chinês, lançado em 2014, implementou dezenas de cidades-piloto decorrente de investimentos bilionários do Governo, fazendo com que o país se tornasse referência no assunto (MOHURD, 2014). Desta forma, muitos dos trabalhos analisados de outros países visam compreender e ampliar os projetos já implementados na China, analisando padrões e medidas que apresentaram melhores resultados e como é possível adaptar para a situação do seu próprio país (LASHFORD et al., 2019; RUBINATO et al., 2019; SCHEIBER et al., 2023; HUYNH THI NGOC et al., 2024).

Dos 51 artigos analisados, 33 foram realizados por pesquisadores relacionados à China, enquanto os demais foram distribuídos entre 15 países. Menezes et al. (2022) chegou a resultados semelhantes, onde 19 dos 25 artigos analisados foram produzidos pela China. Apesar da nítida discrepância entre as pesquisas chinesas sobre o assunto e os demais países, nota-se que há uma equiparação entre os países em desenvolvimento e desenvolvidos na produção dos artigos analisados sobre o tema. Isso indica uma crescente preocupação dos países do Sul Global em encontrar novas estratégias para garantir a resiliência climática, já que muitas de suas regiões são severamente afetadas (WIESZCZECHYNSKA et al., 2024).

Os resultados das análises realizadas, em especial a análise de similitude, indicam a multidisciplinaridade do conceito de cidades-esponja. Na Figura 7, observa-se o termo central “Sponge city” (cidade-esponja), conectado à uma série de outros termos de grupos lexicais distintos. Essa configuração evidência a interdisciplinariedade do termo, o que acarreta em diferentes formas de abordagem sobre esse assunto. Tal complexidade reforça a necessidade de integração entre governo, sociedade e comunidade acadêmica para que as medidas propostas sejam de fato eficazes. Muitos dos trabalhos abordam temas relacionados à política, engenharia, biologia, geografia e, em menor proporção, à comunicação entre o setor público e a sociedade. Mesmo com essa variedade temática, a análise do gráfico CHD (Figura 8) indica que o corpus se organiza em apenas cinco classes principais, indicando que há coesão entre os estudos.

O mesmo não pode ser dito das análises do contexto nacional, onde o reduzido número de trabalhos analisados revela que há uma heterogeneidade na forma que as pesquisas abordam essa temática. A Figura 13 ilustra a diferença entre os grupos lexicais, destacando os termos “Study”

(estudo) e “City” (cidade) como centrais. Embora “Sponge city” (cidade-esponja) apareça no grupo central, não é o termo com maior relevância. Isso sugere que, no contexto brasileiro, o termo ainda é abordado de maneira secundária, surgindo como complemento em estudos que abordam a aplicação das SBN como foco principal. A Figura 14 reforça esse padrão, o CHD apresenta um número maior de classes, reforçando a heterogeneidade entre os estudos sobre o tema no Brasil. Essa dispersão está relacionada ao caráter emergente e pouco consolidado do conceito no país — com aumento das publicações a partir de 2020 — e pelo fato de muitos trabalhos ainda se encontrarem na literatura cinza, a qual não foi incluída na presente análise.

Apesar da ampla produção científica sobre o conceito de cidades-esponja, ainda há poucos estudos voltados à sua aplicação em regiões costeiras. Essa ausência de estudos específicos limita a capacidade de formular estratégias e implementação de medidas eficazes, assim é necessário compreender os parâmetros ambientais dessas áreas para garantir a resiliência climática, uma vez que essas regiões estão na linha de frente dos impactos climáticos. Guo et al. (2024), identificou uma lacuna nos trabalhos existentes na China quanto à integração entre medidas estruturais e as características ambientais regionais. A comparação entre diferentes tipos de medidas estruturais — como valas vegetadas e células de biorretenção — evidenciou a necessidade de ajustes específicos na implementação dessas estruturas para as regiões costeiras, onde o tipo de solo e a intensidade das precipitações exigem maior capacidade de armazenamento e infiltração de água. Entender as necessidades locais é fundamental para que a medida instalada alcance os resultados esperados. Assim, torna-se urgente a realização de mais estudos em regiões costeiras, dada sua vulnerabilidade e papel central na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas (WANNEWITZ et al., 2024). No contexto brasileiro, observa-se uma lacuna semelhante: durante o levantamento bibliográfico, foi necessário excluir palavras-chave relacionadas às regiões costeiras devido ao baixo número de publicações sobre o tema. Essa escassez revela a sub-representação de ecossistemas costeiros nas pesquisas sobre adaptação urbana, o que torna complexo o desenvolvimento de soluções efetivas e contextualizadas às realidades locais.

Realizar projetos de implementação em larga escala depende de um alto investimento, que pode ser do setor público ou privado. Porém, se comparamos com os valores alocados pela prefeitura para reconstruir cidades após catástrofes climáticas, é na verdade uma economia a longo prazo. Exemplo do desastre que ocorreu no Rio Grande do Sul, em 2024, acarretou em um prejuízo bilionário para o Governo Federal e Estadual, onde cerca de R\$100 bilhões foram destinados ao Estado, para ações de recuperação da infraestrutura das cidades, estímulo da economia local e repasse direto às famílias impactadas (BRASIL, 2025). O valor gasto pelo poder público para amparar a população após desastres é elevado na maioria dos Estados. De acordo com o Atlas Digital de Desastres no Brasil, os gastos públicos com desastres hidrológicos foram de cerca de R\$9 bilhões no Sudeste do Brasil, além de causarem R\$ 51 bilhões de gastos em danos materiais e R\$38 bilhões de prejuízos privados. Além disso, cerca de 2 milhões de pessoas foram diretamente afetadas e mais de 2.000 perderam suas vidas entre 1991 e 2024. Esses dados evidenciam que o modelo atual de reação pós-desastre é economicamente insustentável e socialmente desigual, reforçando a necessidade de investimentos voltados para a adaptação para a nova realidade climática. Segundo Monasterio e Ehrl (2024) há diferentes maneiras de se considerar a capacidade de recuperação de um município e os impactos econômicos causados após grandes enchentes, cenários mais otimistas observaram a possibilidade de recuperar o PIB em cerca de 3 anos (LIMA e BARBOSA, 2019). Porém outros autores constataram

que os indivíduos impactados pelas enchentes apresentaram redução duradoura na sua renda e qualidade de vida (ALVES et al., 2022; WINK JUNIOR et al., 2024).

Segundo Khojasteh et al. (2024) alguns termos se destacam nas pesquisas relacionadas às mudanças climáticas, sendo “Mitigação” e “Adaptação” dois deles. Ambas são medidas de enfrentamento às mudanças climáticas, porém com diferentes atuações. A primeira visa reduzir a taxa de degradação causada pelas mudanças climáticas – principalmente por meio da redução de gases do efeito estufa –, enquanto a segunda tem o foco em amenizar os impactos causados (LAUKKONEN et al. 2009). Sendo que as medidas mitigadoras foram as mais exploradas ao longo dos anos, aplicadas principalmente por países desenvolvidos (ZHAO et al. 2018), estas apresentam resultados mais expressivos quando consideramos a escala global. Porém, para garantir a resiliência climática a nível local, é imprescindível adotar medidas de adaptação baseadas na realidade territorial e social.

A relação entre os dois tipos de medidas não é necessariamente positiva (WILBANKS et al., 2007; LANDAUER et al., 2015). Medidas adaptativas – principalmente aquelas baseadas em infraestruturas cinzas – podem ter impacto neutro ou negativo na mitigação, já que materiais como cimento e aço estão relacionados a altas emissões de carbono. O contrário também é possível, com medidas que diminuem as emissões de gases – como construção de hidrelétricas – mas que aumentam a vulnerabilidade regional (ZHAO et al., 2018). Assim, é necessário que haja uma sinergia positiva entre mitigação e adaptação para que realmente haja resiliência urbana. A adoção de infraestruturas verdes e restauração de ecossistemas promovidas pelas cidades-esponja são exemplos dessa integração, além de que, alinhar medidas que apresentem essa relação é uma forma de reduzir gastos públicos, em especial em regiões com altas emissões e alta vulnerabilidade (FU et al., 2014).

A maioria dos sistemas de drenagem urbanos atuais são primariamente compostos por infraestruturas cinzas, como canais, reservatórios e comportas, projetados para direcionar o escoamento pluvial (XIE et al., 2025). Essas estruturas podem até ser eficientes a curto prazo, porém possuem capacidade limitada de retenção e não interagem com os processos naturais de infiltração, criando barreiras que podem ser ultrapassadas por conta das mudanças climáticas (GALLO et al., 2020). Nossos resultados mostram que só haverá uma mudança efetiva na gestão das águas urbanas com a integração desse sistema com o processo hidrológico natural (CHAN et al., 2018). Para garantir isso, as principais medidas abordadas pelos artigos do contexto internacional foram a utilização de pavimentos permeáveis e construção de jardins de chuvas ou wetlands (áreas úmidas). Essas medidas podem ser adotadas em diferentes projetos e escalas, em especial os jardins de chuva, que segundo Casal-Campos et al. (2015), apresentam melhores indicadores de quantidade e qualidade da água, associados com baixo custo relativo à implementação.

Outras estratégias que foram adotadas nos outros países são sistemas de retenção ou retenção de água integradas com estruturas verdes e a reabilitação de áreas verdes ou urbanas. Uma das principais vantagens dessas medidas é sua flexibilidade de escala, podendo ser implementadas conforme as características ambientais e do investimento de cada cidade. Observa-se que medidas em menor escala são mais comuns em países com menor recurso disponível que, embora pontuais, podem gerar impactos significativos na redução de alagamentos e na melhoria da qualidade urbana. Um exemplo é o do Vietnã, que adaptou um dos parques presentes na cidade de Ho Chi Minh para parque urbano multifuncional, destinando áreas não apenas para lazer, mas também para o armazenamento de água no nível do solo (DUY et al., 2025). Esse tipo de adaptação demonstra que soluções locais podem ser adaptadas a diferentes realidades.

O Brasil apresenta um grande potencial para a implementação de medidas verdes e para o desenvolvimento de bioeconomia, devido a suas características ambientais, como clima, abundância de água e serviços ecossistêmicos (PBMC, 2020). Além de apresentar uma rica biodiversidade de plantas nativas que podem ser utilizadas para garantir a resiliência urbana, um exemplo desse potencial é o açaí (*Euterpe oleracea*), espécie de palmeira adaptada a áreas úmidas – que além da sua importância econômica e cultural – apresenta alta capacidade absorção de água, com potencial de reduzir a área e o tempo de alagamento no contexto urbano, além de ser fonte de renda para a população, sem demandar alto custo de implementação (SILVA, 2025). Apesar desse grande potencial, a adoção de medidas práticas ainda é limitada no Brasil, nesse contexto, torna-se essencial valorizar o uso de espécies nativas já conhecidas e investigar o potencial de outras plantas brasileiras, o que representa não apenas uma solução técnica, mas também uma oportunidade de alinhar conservação, geração de renda e adaptação climática no território brasileiro.

A principal medida abordada pelos artigos nacionais são os jardins de chuva ou wetlands construídos, estas técnicas vêm ganhando destaque nos últimos anos (GONDIM et al., 2023; OKIMOTO e SANTOS, 2023). Alguns exemplos da aplicação dessas medidas é o Projeto “Jardins de Chuva” da Cidade de São Paulo, com a implementação desse conceito em 89 pontos da cidade desde 2019 (SÃO PAULO, 2021). Outra cidade a apostar nessa medida é Curitiba - PR, que aprovou recentemente a Lei nº 16.582/2025 (CURITIBA, 2025) que promove o desenvolvimento dessa e outras medidas verdes com o objetivo de reduzir o escoamento de água urbano.

As estruturas verdes apresentam uma gama de benefícios em comparação com as estruturas cinzas convencionais (SEMADENI-DAVIES et al., 2008; CASAL-CAMPOS et al., 2015; GALLO et al., 2020). Entretanto, nossos dados ressaltam a integração entre soluções verdes e cinzas é a abordagem mais eficiente para o manejo sustentável das águas urbanas, uma vez que a adoção combinada dessas medidas potencializa a capacidade dos sistemas de drenagem (CASAL-CAMPOS et al., 2015; GALLO et al., 2020; ESRAZ-UL-ZANNAT et al., 2024). Uma vez que as estruturas verdes contribuem não apenas para o controle de escoamento superficial e melhoria da qualidade da água, mas também promovem ganhos paisagísticos e sociais, favorecendo o bem-estar e a qualidade de vida das populações urbanas por meio da criação de espaços de convivência, lazer e contato com a natureza (HERATH e BAI, 2024). Desta forma, integrar a aplicação dessas medidas nas infraestruturas já existentes é uma maneira de reintroduzir a natureza nas cidades, aproxima-se as pessoas do ambiente natural, reforçando a importância de manter o equilíbrio ecológico como base para um futuro urbano mais sustentável e resiliente (CASAL-CAMPOS et al., 2015).

Além das soluções estruturais, é fundamental a adoção de medidas não estruturais e a realização de estudos hidrológicos que assegurem a eficiência na implementação das cidades-esponja (YANG et al., 2021). Entre essas medidas, destaca-se o uso de modelos hidrológicos, capazes de prever a capacidade do sistema de drenagem e subsidiar tomadas de decisões, criação de alertas de risco e protocolos de emergência (LIU et al., 2022). A aplicação desses modelos permite ao poder público uma melhor eficácia de gestão, permitindo identificar vulnerabilidades, planejar ações preventivas e orientar a tomada de decisões.

Outra medida de grande relevância, segundo os resultados, é a aplicação do gerenciamento integrado, sendo esta a principal medida utilizada no contexto nacional e a segunda mais abordada internacionalmente. Tendo em vista que cidades-esponja é um conceito multidisciplinar, se torna necessária a articulação entre diferentes setores do governo, instituições de pesquisa, setores privados e sociedade civil, para garantir a adoção eficaz das medidas. Assim, estratégias de planejamento

participativo podem favorecer o engajamento da população nos processos decisórios, ampliando a aceitação social das medidas implantadas (CHAN et al., 2020). Nesse sentido, Kongjian Yu, idealizador do conceito de cidades-esponja, ressalta que “é preciso resolver o problema das inundações em duas escalas: na urbana e no nível regional. São necessários os sistemas de esponja urbano e de esponja regional na gestão das bacias hidrográficas” (JONES, 2024). Assim como o ciclo hidrológico depende da interação entre diferentes componentes do ambiente, as medidas voltadas às cidades-esponja também devem ser planejadas e executadas de forma integrada, envolvendo diversos atores desde a concepção até a avaliação dos resultados.

Além disso, é necessário incorporar o conceito de cidades-esponja às políticas públicas e instrumentos legais, de modo que essas iniciativas não permaneçam restritas a projetos experimentais. Um exemplo deste avanço, é a Lei N° 8.465/2024 (RIO DE JANEIRO, 2024) do município do Rio de Janeiro, que estabelece a adoção de mecanismos sustentáveis para gestão de águas pluviais, adotando o conceito de cidades-esponja. A inclusão desse conceito na legislação representa um importante avanço institucional, pois garante respaldo jurídico para sua implementação e cria mecanismos que garantam a continuidade administrativa. Dessa forma, unindo o poder público, resguardado pela legislação, e o apoio da população, é possível transformar o conceito de cidade-esponja em prática consolidada de gestão urbana e resiliência climática.

A cidade de Santos, município vizinho a São Vicente, tem se destacado na implementação de políticas públicas voltadas ao enfrentamento das mudanças climáticas (MARENGO et al., 2017). O município conta com o Plano de Ação Climática de Santos (PACS), instituído pelo decreto nº 9.567, de 13 de janeiro de 2022 (SANTOS, 2022), e subsídios para o Plano Regional de Adaptação e Resiliência Climática da Baixada Santista (PRARC-BS) que orientam ações integradas de mitigação e adaptação em escala local e regional. Um marco fundamental nesse processo foi a criação da Comissão Municipal de Adaptação à Mudança do Clima (CMMC), em 2015, o que possibilitou avanços significativos na formulação e implementação de medidas climáticas. Considerando o panorama de São Vicente, vemos que há um grande potencial de replicar as iniciativas adotadas por Santos, já que ambos os locais apresentam características ambientais e socioeconômicas semelhantes (CARVALHO, 2019). Portanto, trazer o conceito de cidades-esponja para a realidade das cidades costeiras brasileiras é não apenas possível, mas necessário. São Vicente tem o potencial de liderar esse processo, fortalecendo ações locais de resiliência climática e inspirando outras cidades da Baixada Santista.

5.1 Proposta para o município de São Vicente.

Com base no que foi exposto anteriormente e as condições ambientais e urbanas observadas no município de São Vicente vemos que há um grande potencial no desenvolvimento do conceito de cidades-esponja na região. Para que isso seja possível, é necessário integrar esse conceito na legislação do município, seguindo o exemplo de outras cidades já citadas acima (SANTOS, 2022; RIO DE JANEIRO, 2024), além de incluir esse conceito no Plano de Gestão de Macrodrenagem para a Baixada Santista. Também sugerimos a criação de uma comissão responsável por discutir e incentivar medidas relacionadas, garantindo a manutenção e execução das medidas necessárias.

Sugerimos como principal medida não estrutural à ser implementada a gestão integrada, fortalecendo a comunicação entre diferentes secretarias e atores, além de fortalecer o vínculo público com as universidades da região, incentivando a realização de projetos em conjunto e, principalmente, a realização de pesquisas, aplicando modelos para entender melhor as características hidrológicas,

espaciais e sociais da cidade de São Vicente. Além disso, é importante integrar a população nas tomadas de decisões, assim incentivamos a ampliação de reuniões participativas, além da realização de eventos que aproximem esse conceito da população, associados com o fortalecimento da educação ambiental que vem sendo realizado na cidade nos últimos anos. Também é necessária a realização de palestras e oficinas de capacitação para gestores públicos e atores de diferentes setores, incentivando a capacitação desses profissionais sobre o conceito de cidades-esponja e as possíveis medidas que possam ser implementadas.

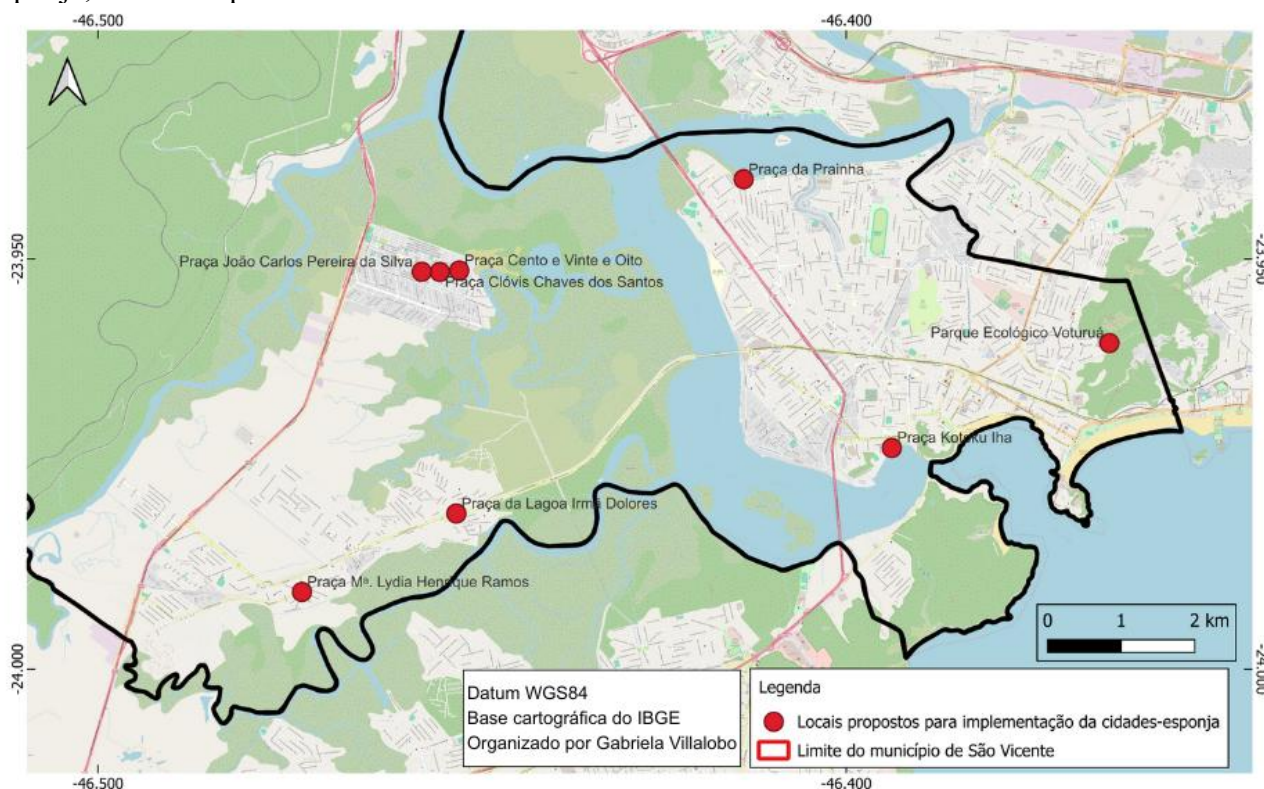
Ainda no campo das medidas não estruturais, recomenda-se o fortalecimento da preservação e fiscalização dos ecossistemas naturais de São Vicente, em especial dos manguezais. Há uma grande pressão de expansão urbana nessas regiões devido a grande densidade populacional da cidade de São Vicente, assim é necessário que a prefeitura invista em medidas que combatam o avanço das ocupações irregulares em novas áreas desse ecossistema.

Considerando a implementação de medidas estruturais, a cidade de São Vicente apresenta um desafio à adoção de intervenções em larga escala, devido ao contexto urbano consolidado e a alta densidade populacional, já que obras estruturais de grande porte exigiriam desapropriações ou modificações significativas na estrutura urbana. Diante dessa limitação, a proposta concentra-se em intervenções em pequena escala, distribuídas ao longo da cidade, que possam ser integradas de forma gradual à infraestrutura existente.

Assim, recomenda-se a construção de jardins de chuva integrados ao sistema de drenagem, em pequena escala, utilizando espécies vegetais nativas da mata atlântica e priorizando áreas gramadas em ruas e rodovias e espaços subutilizados, ampliando a capacidade de infiltração da água pluvial sem a necessidade de demolições ou grandes obras. Além disso, propõe-se a inclusão de valas e canais vegetados no projeto de ampliação dos canais presentes na cidade, contribuindo para a melhoria da qualidade da água e para o aumento da biodiversidade urbana. Outra medida é a priorização de pavimentos permeáveis durante as obras de restauração de calçadas, praças e vias locais, reduzindo o escoamento superficial e permitindo o retorno gradual da água ao solo.

Em um segundo momento, sugere-se a implementação de jardins de chuva e células de biorretenção em praças da cidade, em especial nas praças de regiões mais periféricas do município, com a Praça Clóvis Chaves dos Santos, Praça Cento e Vinte e Oito e Praça João Carlos Pereira da Silva no Humaitá, a Praça da Lagoa Irmã Dolores, no bairro Jardim Irmã Maria Dolores, a Praça M^a. Lydia Henrique Ramos no bairro Samarita, a Praça da Prainha na Cidade Náutica, entre outros locais. Também propõe-se implementar essas medidas nas regiões centrais do município como na Praça Kotoku Iha, localizada na rua Japão, e áreas da orla da praia (Figura 16). Essas intervenções devem ser associadas a projetos de arborização urbana, nos quais cada canteiro funcione como um pequeno sistema de drenagem, combinando soluções verdes e cinzas de maneira híbrida e eficiente.

Figura 16. Mapa dos locais propostos para a implementação das medidas do conceito de cidades-esponja, no município de São Vicente - SP.



Fonte: Elaborada pela autora, utilizando o software QGIS 3.34.10 (2025).

Por fim, sugere-se a implementação desse conceito durante a reforma do Parque Ecológico Voturuá. As reformas foram iniciadas em 2025, pela prefeitura e visa revitalizar o antigo Horto Floresta de São Vicente, fechado desde 2020. A ideia publicada é transformar o espaço em um parque voltado para crianças (SÃO VICENTE, 2025). Desta forma, sugere-se integrar o conceito de cidades-esponja no planejamento do novo parque, transformando-o em um espaço moderno sem que se perca a integração com a natureza, sem descaracterizar a função ecológica e de educação ambiental do local. Assim, sugere-se a criação de um sistema de drenagem e armazenamento pluvial, o plantio de espécies nativas, construção de jardins de chuva, células de biorretenção, uso de pavimentos permeáveis em trilhas e caminhos. Criando assim um local que permita o contato da população de São Vicente com a natureza, e, com uma melhor gestão hídrica.

Ademais, espera-se que a implementação dessas medidas diminua o impacto dos alagamentos, aumentando a superfície de absorção da água pluvial. Além de melhorar a qualidade de vida da população, disponibilizando áreas de lazer e melhor arborização no município.

6. Conclusão

Muitas cidades costeiras enfrentam problemas relacionados às mudanças climáticas e procuram alternativas para se tornar resilientes. Assim, o conceito de cidades-esponja vem se difundindo globalmente como uma forma de gestão sustentável de águas pluviais, promovendo a implementação de estruturas verdes e criação de locais que permita a absorção da água pluvial, medidas importantes, especialmente em contextos de urbanização acelerada e aumento da frequência de eventos extremos.

Desta forma, este trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade de aplicar o conceito de cidades-esponja como estratégia de adaptação climática no município de São Vicente (SP). Verificou-se que é possível a adoção dessas medidas em pequena escala, distribuídas pelo território urbano existente. Entre elas, destacam-se: a criação de jardins de chuva e células de biorretenção em áreas gramadas, praças e faixas viárias; a implantação de valas vegetadas conectadas ao sistema atual de drenagem; a priorização de pavimentos permeáveis em obras de requalificação de calçadas e praças; e o uso de arborização urbana associada a microestruturas de retenção e infiltração. Foi identificado ainda um local estratégico para a implementação de medidas mais robustas, o Parque Voturuá.

Aliadas às novas infraestruturas, é necessária a adoção de medidas institucionais. Entre elas, destacam-se: incorporar o conceito de cidades-esponja na legislação e nos instrumentos de planejamento municipal e regional; fortalecer a fiscalização e proteção dos manguezais remanescentes; e estruturar espaços permanentes de gestão integrada entre poder público, universidades e sociedade civil. A participação comunitária, entendida não apenas como consulta, mas como co-planejamento e corresponsabilidade, é apontada como elemento essencial para legitimar e sustentar as intervenções ao longo do tempo.

O avanço das cidades-esponja em contextos costeiros como São Vicente depende da integração entre planejamento urbano, educação ambiental e governança participativa, permitindo a construção de uma cidade mais resiliente, habitável e ambientalmente justa frente aos cenários de mudança climática.

8. Referências bibliográficas

- AFONSO, C. M. *A Paisagem da Baixada Santista - urbanização, transformação e conservação*. Edusp - Editora da Universidade de São Paulo, 2006.
- ALBERT, S. et al. *Heading for the hills: climate-driven community relocations in the Solomon Islands and Alaska provide insight for a 1.5 °C future*. *Regional Environmental Change*, v. 18, p. 2261-2272, 2018.
- ALVES, H. P. F. et al. *Vulnerabilidade socioambiental na Baixada Santista no contexto das mudanças climáticas*. In: VAZQUEZ, D. A. (Org.). *A Questão urbana na Baixada Santista: políticas, vulnerabilidades e desafios para o desenvolvimento*. São Paulo: Editora Universitária Leopoldianum, p. 207-222, 2012.
- ALVES, P. J.; Lima, R. C. A.; Emanuel, L. *Natural disasters and establishment performance: evidence from the 2011 Rio de Janeiro landslides*. *Regional Science and Urban Economics*, v. 95, 103761, 2022.
- ARRUDA-FILHO, M. T.; Torres, P. H. C.; Jacobi, P. R. *A systematic review of the literature on climate justice: a comparison between the Global North and South*. *Sustainability*, v. 16, 9888, 2024.
- BARONI, F. M. *Mapeamento e estudo de áreas de enchentes no município de São Vicente - SP*. 2006. 120 f. Monografia (Graduação em Geografia) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.
- BERRANG-FORD, L.; Pearce, T.; Ford, J. D. *Systematic review approaches for climate change adaptation research*. *Regional Environmental Change*, v. 15, p. 755-769, 2015.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. *Relatório de Gestão 2022*. Brasília: CEMADEN/MCTI, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/cemaden/pt-br/aceso-a-informacao/institucional-1/termo-de-compromisso-de-gestao/relatorio_tcg_2022_240904_123306.pdf. Acesso em: 19 set. 2025.
- BRASIL. Ministério da Fazenda; Ministério do Planejamento e Orçamento; Secretaria de Comunicação Social. *Destinação de R\$ 111,6 bilhões e grande mobilização: reconstrução do RS contou com ações emergenciais e estruturantes do Governo Federal* [online]. Brasília, 29 abr. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/secom/pt-br/assuntos/noticias/2025/04/destinacao-de-r-111-6-bilhoes-e-grande-mobilizacao-reconstrucao-do-rs-contou-com-acoes-emergenciais-e-estruturantes-do-governo-federal>. Acesso em: 21 out. 2025.
- CARMO, R. L. *Urbanização e desastres: desafios para a segurança humana no Brasil* In: CARMO, R. L.; VALENCIO, N. (Orgs.). *Segurança humana em contextos de desastres*. 1. ed. São Carlos: Editora Rima, p. 1-14, 2014.
- CARMO, R. L.; Silva, C. A. M. *População em zonas costeiras e mudanças climáticas: redistribuição espacial e riscos*. In: HOGAN D. J.; MARANDOLA E. JR. (Orgs.). *População e mudança climática: dimensões humanas das mudanças ambientais globais*. Campinas: NEPO/Unicamp; Brasília: UNFPA, p. 137-157, 2009.
- CARVALHO, D. A. *Governança para a conservação da biodiversidade e mudanças do clima na Região Metropolitana da Baixada Santista*. 2019. 120 f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade de Ambientes Costeiros) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São Vicente, 2019.
- CASAL-CAMPOS, A. et al. *An integrated environmental assessment of green and gray infrastructure strategies for robust decision making*. *Environmental Science & Technology*, v. 49, n. 14, p. 8307-8314, 2015.
- CASSETTARI, R. R. B. et al. *Comparação da Lei de Zipf em conteúdos textuais e discursos orais*. *El Profesional de la Información*, v. 24, n. 2, p. 157-167, 2015.
- CHAN, F. K. S. et al. *“Sponge City” in China – a breakthrough of planning and flood risk management in the urban context*. *Land Use Policy*, v. 76, p. 772-778, 2018.

- CHAN, F. K. S. et al. *The champion of urban water resources management in the Chinese city – the case of Ningbo*. In: CHAN, F. K. S.; CHAN, H. K.; ZHANG, T.; XU, M. (Eds.). *Proceedings of the 2020 International Conference on Resource Sustainability: Sustainable Urbanisation in the BRI Era (icRS Urbanisation 2020)*. Environmental Science and Engineering. Singapore: Springer, 2020.
- CRESWELL, J. W.; Clark, V. L. P. *Pesquisa de métodos mistos*. Porto Alegre: Penso, E-book, 2013.
- CURITIBA. *Lei nº 16.582, de 09 de outubro de 2025*. Altera a Lei nº 15.852, de 1.º de julho de 2021, para incluir jardins de chuva como dispositivo de escoamento das águas pluviais. Diário Oficial do Município de Curitiba, Curitiba, 9 out. 2025. Disponível em: https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=484791&utm_source=chatgpt.com. Acessado em: 21 out. 2025.
- DING, K.; Zhang, Y. *Practical research on the application of sponge city reconstruction in pocket parks based on the analytic hierarchy process*. Complexity, v. 2021, p.10, 2021.
- DUY, P. N.; Tuan, P. A.; Nguyen, N. P. T. *Conceptual model of spatial level structure for developing multi-functional parks to reduce urban flood risk: A case study in Ho Chi Minh City*. City and Environment Interactions, v. 28, 100247, 2025.
- ESRAZ-UL-ZANNAT, M. D.; Dedekorkut-Howes, A.; Morgan, E. A. *A review of nature-based infrastructures and their effectiveness for urban flood risk mitigation*. WIREs Climate Change, v. 15, n. 5, e889, 2024.
- FLETCHER, T. D. et al. *SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage*. Urban Water Journal, v. 12, n. 7, p. 525–542, 2014.
- FORD, J. D.; Berrang-Ford, L.; Paterson, J. *A systematic review of observed climate change adaptation in developed nations*. Climatic Change, v. 106, n. 2, p. 327–336, 2011.
- FU, C.; Zheng, Y.; Wang, W. *Research perspectives on synergic relationships in addressing climate change measures*. Resources Science, v. 36, n. 7, p. 1535–1542, 2014.
- GALLO, E. M.; et al. *Investigating tradeoffs of green to grey stormwater infrastructure using a planning-level decision support tool*. Water, v. 12, n. 7, p. 2005, 2020.
- GONDIM, F. R.; Ohnuma Júnior, A. A.; Obraczka, M. *Jardins de chuva: atualizações sobre a técnica a partir de uma revisão sistemática*. Mix Sustentável, v. 9, n. 5, p. 201–215, 2023.
- GUIMARÃES, L. F. C. *Palafitas de Santos e São Vicente – desenvolvimento sustentável*. Revista Ceciliana, Santos, v. 2, n. 1, p. 14–15, 2010.
- GUO, Z. et al. *A holistic analysis of Chinese sponge city cases by region: Using PLS-SEM models to understand key factors impacting LID performance*. Journal of Hydrology, v. 637, p. 131405, 2024.
- HAMIDI, A.; Ramavandi, B.; Sorial, G. A. *Sponge City – an emerging concept in sustainable water resource management: A scientometric analysis*. Resources, Environment and Sustainability, v. 5, 100028, 2021.
- HERATH, P.; Bai, X. *Benefits and co-benefits of urban green infrastructure for sustainable cities: six current and emerging themes*. Sustainability Science, v. 19, p. 1039–1063, 2024.
- HIGGINS, J. P. T. et al. *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*. Cochrane Collaboration, v. 2, 2019.
- HOBAN, A. *Water sensitive urban design approaches and their application*. In: SHARMA, A. K.; GRAY, S. R.; DIETZ, M. E. (eds.). *Urban stormwater and flood management: enhancing the liveability of cities*. Cambridge: Elsevier, p. 1–21, 2019.
- HUYNH THI NGOC, C.; et al. *Implementation of nature-based solutions in urban water management in Viet Nam: a comparison among European and Asian countries*. Sustainability, v. 16, n. 20, 8812, 2024.
- IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE). *Climate change 2021: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.

- IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE). *Climate change 2022: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Summary for Policymakers. Cambridge: Cambridge University Press, 2022.
- IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE). *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Core Writing Team, H. Lee & J. Romero (eds.). Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023.
- IUCN (INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE). *Nature-based solutions to address global societal challenges*. Gland, Switzerland: International Union for Conservation of Nature, 2016.
- JONES, F. Kongjian Yu: “É possível transformar um município em uma cidade-esponja em cinco anos”. Pesquisa FAPESP, São Paulo, 25 jun. 2024. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/kongjian-yu-e-possivel-transformar-um-municipio-em-uma-cidade-esponja-em-cinco-anos/>. Acesso em: 21 out. 2025.
- KHOJASTEH, D. et al. *Climate change science is evolving toward adaptation and mitigation solutions*. WIREs Climate Change, v. 15, n. 4, e884, 2024.
- KRON, W. *Coasts: The riskiest places on Earth*. In: 31st International Conference of Coastal Engineering. Proceedings Hamburg, Germany, 2008.
- LANÇA, M. A. *São Vicente, a primeira vila do Brasil*. Pós – Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP, n. 17, p. 102–115, 2005.
- LANDAUER, M.; Juhola, S.; Söderholm, M. *Inter-Relationships between adaptation and Mitigation: A Systematic Literature Review*. Climate Change, v. 131, n. 4, p. 505–517, 2015.
- LASHFORD, C. et al. *SuDS & Sponge Cities: a comparative analysis of the implementation of pluvial flood management in the UK and China*. Sustainability, v. 11, n. 1, 213, 2019.
- LAUKKONEN, J. et al. *Combining climate change adaptation and mitigation measures at the local level*. Habitat International, v. 33, n. 3, p. 287–292, 2009.
- LIMA, R. C. de A.; Barbosa, A. V. B. *Natural disasters, economic growth and spatial spillovers: evidence from a flash flood in Brazil*. Papers in Regional Science, v. 98, n. 2, p. 905–925, 2019.
- LIU, Q. et al. *Stormwater management modeling in “Sponge City” construction: current state and future directions*. Frontiers in Environmental Science, v. 9, 816093, 2022.
- MARENGO, J. A. et al. *A globally deployable strategy for co-development of adaptation preferences to sea-level rise: the public participation case of Santos, Brazil*. Natural Hazards, v. 88, n. 1, p. 39–53, 2017.
- MELLO, K. et al. *Dinâmica da expansão urbana na zona costeira brasileira: o caso do município de São Vicente, São Paulo, Brasil*. Revista da Gestão Costeira Integrada, v. 13, n. 4, p. 539–551, 2013.
- MENEZES, L. A. A. et al. *Cidades esponjas e suas técnicas compensatórias: uma revisão sistemática de literatura*. Research, Society and Development, v. 11, n. 10, e119111032606, 2022.
- MOHURD (MINISTRY OF HOUSING AND URBAN-RURAL DEVELOPMENT). *Sponge city construction technical guide: low impact development rainwater system construction (Trial)*. Beijing: MOHURD, 2014.
- MONASTERIO, L.; Ehrl, P. *Enchentes no Rio Grande do Sul: o que ensinam outros eventos extremos*. Boletim Regional, Urbano e Ambiental, n. 33, p. 55–64, 2024.
- MYSIAK, J. et al. *Brief communication: Sendai Framework for Disaster Risk Reduction – success or warning sign for Paris?* Natural Hazards and Earth System Sciences, v. 16, n. 10, p. 2189–2193, 2016.
- NEUMANN, B. et al. *Future coastal population growth and exposure to sea-level rise and coastal flooding - A global assessment*. Plos One, v. 10, n. 3, p. e0118571, 2015.
- NIMER, E. *Climatologia do Brasil*. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1989.

- OATES, L. et al. *Building climate resilience and water security in cities: lessons from the Sponge City of Wuhan, China*. Coalition for Urban Transitions, 2020.
- OKIMOTO, F. S.; Santos, K. C. *Jardins de chuva: conceitos, práticas e desempenhos*. Estrabão, v. 4, n. 1, p. 125–136, 2023.
- PAGE, M. J. et al. *The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews*. British Medical Journal, v. 372, n. 71, 2021.
- PBMC (PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS); BPBES (Plataforma Brasileira De Biodiversidade E Serviços Ecossistêmicos). *Potência ambiental da biodiversidade: um caminho inovador para o Brasil*. Rio de Janeiro: PBMC, apoio: Fundação Grupo Boticário, 2020.
- PHAM, H.; Saner, M. *A systematic literature review of inclusive climate change adaption*. Sustainability, v. 13, n. 19, p. 10617, 2021.
- PIANTADOSI, S. T. *Zipf's word frequency law in natural language: A critical review and future directions*. Psychonomic Bulletin & Review, v. 21, p. 1112–1130, 2014.
- RICHARDSON, K. et al. *Earth beyond six of nine planetary boundaries*. Science Advances, v. 9, n. 37, p. 2458, 2023.
- RIO DE JANEIRO. *Lei nº 8.465, de 2 de julho de 2024*. Dispõe sobre a adoção de mecanismos sustentáveis de gestão das águas pluviais para fins de controle de enchentes e alagamentos e dá outras providências. Diário Oficial do Município do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2 jul. 2024. Disponível em: <https://aplicnt.camara.rj.gov.br/APL/Legislativos/contlei.nsf/7cb7d306c2b748cb0325796000610ad8/d77cc9d0c119bac903258b4e0053d0d2?OpenDocument>. Acessado em: 21 out. 2025.
- RUBINATO, M. et al. *Urban and river flooding: Comparison of flood risk management approaches in the UK and China and an assessment of future knowledge needs*. Water Science and Engineering, v. 12, n. 4, p. 274–283, 2019.
- SANTOS. *Decreto nº 9.567, de 13 de janeiro de 2022*. Aprova o Plano Municipal de Ação Climática de Santos (PACS) e dá outras providências. Diário Oficial do Município de Santos, Santos, SP, 13 jan. 2022. Disponível em: <https://egov.santos.sp.gov.br/legis/documents/9117>. Acessado em: 20 out. 2025.
- SÃO PAULO. *Prefeitura investe em jardins de chuva que reduzem efeitos de alagamentos em São Paulo*. São Paulo: Prefeitura Municipal de São Paulo, 14 jan. 2021. Disponível em: <https://prefeitura.sp.gov.br/w/noticia/prefeitura-investe-em-jardins-de-chuva-que-minimizam-os-efeitos-de-alagamentos-em-sao-paulo>. Acesso em: 20 out. 2025.
- SÃO PAULO. Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística (SEMIL). *SP Águas fará acompanhamento técnico de plano para drenagem de todos os municípios da Região Metropolitana da Baixada Santista*. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, 2025. Disponível em: <https://semil.sp.gov.br/2025/06/sp-aguas-fara-acompanhamento-tecnico-de-plano-para-drenagem-de-todos-os-municipios-da-regiao-metropolitana-da-baixada-santista>. Acesso em: 20 out. 2025.
- SÃO VICENTE. *Instalação de comportas avança e obra de canal está prestes a ser concluída no maior projeto contra enchente da história de SV*. São Vicente: Prefeitura de São Vicente, 17 out. 2024. Disponível em: <https://www.saovicente.sp.gov.br/informacao/instalacao-de-comportas-avanca-e-obra-de-canal-esta-prestes-a-ser-concluida-no-maior-projeto-contr-enchente-da-historia-de-sv>. Acesso em: 12 dez. 2025.
- SÃO VICENTE. *Kayo Amado quer transformar antigo Horto em parque temático para as crianças*. São Vicente: Prefeitura de São Vicente, 20 mar. 2025. Disponível em: <https://www.saovicente.sp.gov.br/informacao/kayo-amado-quer-transformar-antigo-horto-em-parque-tematico-para-as-criancas>. Acesso em: 09 nov. 2025.

- SCHEIBER, L. et al. *Low-regret climate change adaptation in coastal megacities – evaluating large-scale flood protection and small-scale rainwater detention measures for Ho Chi Minh City, Vietnam*. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v. 23, n. 6, p. 2333–2347, 2023.
- SEMADENI-DAVIES, A. et al. *The impacts of climate change and urbanisation on drainage in Helsingborg, Sweden: combined sewer system*. *Journal of Hydrology*, v. 350, n. 1–2, p. 100–113, 2008.
- SHAO, W. et al. *Characteristics and effectiveness of water management methods for ‘sponge cities’ in China*. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Water Management*, v. 173, n. 4, p. 163–171, 2020.
- SILVA, H. *Açaizais urbanos: uma versão amazônica das cidades-esponja*. Folha de S.Paulo, São Paulo, 2025. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/ambiente/2025/10/acaizais-urbanos-uma-versao-amazonica-das-cidades-esponja.shtml>. Acesso em: 18 out. 2025.
- TANG, Y. et al. *Aligning ancient and modern approaches to sustainable urban water management in China: Ningbo as a “Blue-Green City” in the “Sponge City” campaign*. *Journal of Flood Risk Management*, v. 11, e12451, 2018.
- TAVARES, J. C. et al. *Série Atlas da Justiça Climática: inventário propositivo – um estudo de São Vicente (SP)*. v. 1, 2026 [em elaboração].
- TORRES, P. H. C. et al. *Just cities and nature-based solutions in the Global South: A diagnostic approach to move beyond panaceas in Brazil*. *Environmental Science & Policy*, v. 143, p. 24–34, 2023.
- UNITED NATIONS. *World Cities Report 2022: envisaging the future of cities*. Nairobi: UN-Habitat, 2022.
- VELLOSO, V. M. P. et al. *O uso do Parque Barigui no plano de drenagem da cidade de Curitiba-PR*. *Ciências do Ambiente e Sustentabilidade*, v. 2, p. 44–53, 2025.
- VELLOZO, L. D.; Santos, L. C. O.; Weins, N. W. *Disseminação de ideias de soluções baseadas na natureza: uma análise da implementação do Parque Orla de Piratininga, Niterói (RJ)*. *Revista LABVERDE*, v. 12, n. 1, p. 100–128, 2022.
- WANNEWITZ, M. et al. *Progress and gaps in climate change adaptation in coastal cities across the globe*. *Nature Cities*, v. 1, p. 610–619, 2024.
- WIESZCZECZYNSKA, K. A. Tollin, N.; Spaliviero, M. *Capacity building within urban climate resilience in the Global South – a literature review*. *Frontiers in Sustainable Cities*, v. 6, 2024.
- WILBANKS, T. J. et al. *Toward an integrated analysis of mitigation and adaptation: some preliminary findings*. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, v. 12, n. 5, p. 713–725, 2007.
- WINK JUNIOR, M. V. et al. *Natural disasters and poverty: evidence from a flash flood in Brazil*. *Environment, Development and Sustainability*, v. 26, n. 9, p. 23795–23816, 2024.
- XIE, J. et al. *Enhancing urban drainage resilience through holistic stormwater regulation: a review*. *Water*, v. 17, n. 10, p. 1536, 2025.
- YANG, Y. et al. *Performance assessment of sponge city infrastructure on stormwater outflows using isochrone and SWMM models*. *Journal of Hydrology*, v. 597, 126151, 2021.
- ZEVENBERGEN, C. et al. *Transitioning to Sponge Cities: challenges and opportunities to address urban water problems in China*. *Water*, v. 10, n. 9, p. 1230, 2018.
- ZHAO, C. et al. *Adaptation and mitigation for combating climate change – from single to joint*. *Ecosystem Health and Sustainability*, v. 4, n. 4, p. 85–94, 2018.

PARECER FINAL DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Discente: GABRIELA VILLALOBO NASCIMENTO DE MORAES

Título: "Do Global ao Local: Revisão Sistemática sobre Cidades Esponja e Estratégias para São Vicente – SP frente às Mudanças Climáticas"

Orientador: Profa. Dra. Débora Martins de Freitas

Curso/Habilitação: Bacharelado em Ciências Biológicas/Gerenciamento Costeiro

COMISSÃO EXAMINADORA	CONCEITO
Profa. Dra. Débora Martins de Freitas	APROVADA
Profa. Dra. Luciana Aparecida Iotti Ziglio	Reprovada

PARECER:

TRABALHO APRESENTADO COM MÉRITO. SOMENTE
PEQUENAS CORREÇÕES ESTIMULADAS A FAZER.

CONCEITO FINAL:

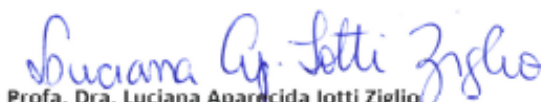
A Comissão Examinadora abaixo assinada conclui que a discente **Gabriela Villalobo Nascimento de Moraes** obteve o seguinte conceito:

☒ APROVADO

☐ REPROVADO

São Vicente, 08 de dezembro de 2025.


Profa. Dra. Débora Martins de Freitas


Profa. Dra. Luciana Aparecida Iotti Ziglio