

Cidades esponjas e suas técnicas compensatórias: uma revisão sistemática de literatura

Sponge city and its compensatory techniques: a systematic literature review

Ciudades esponjas y sus técnicas compensatorias: una revisión sistemática de la literatura

Recebido: 06/07/2022 | Revisado: 16/07/2022 | Aceito: 17/07/2022 | Publicado: 24/07/2022

Lucas Amorim Amaral Menezes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7022-2886>

Universidade de Pernambuco, Brasil

E-mail: laam1@poli.br

Rejane Maria de Vasconcelos Ferreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9967-6507>

Universidade de Pernambuco, Brasil

E-mail: rmvf1@poli.br

Tatiana Monique Adelino de Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2435-1599>

Universidade de Pernambuco, Brasil

E-mail: adelinotatiana@gmail.com

Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1348-8004>

Universidade de Pernambuco, Brasil

E-mail: jaime.cabral@poli.br

Emilia Rahnemay Kohlman Rabbani

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4016-5198>

Universidade de Pernambuco, Brasil

E-mail: emilia.rabbani@upe.br

Resumo

Este trabalho busca, por meio da elaboração de uma Revisão Sistemática de Literatura (Systematic Literature Review – SLR), analisar estudos publicados dentro da temática de manejo sustentável de águas, com foco nos conceitos recentemente criados de Cidade Esponja (Sponge City – SC) e Cidades Sensíveis à água (Water Sensitive City – WSC), reunindo informações sobre como esses conceitos contribuem de forma positiva para o desenvolvimento urbano sustentável das cidades. Além disso, também buscou-se pontuar as vantagens e desafios observados durante o processo de planejamento e/ou implementação desses conceitos. Dos 25 artigos analisados, 19 foram realizados na China. O maior desafio encontrado consistiu na falta de equipe com experiência multidisciplinar para o desenvolvimento do planejamento urbano e a maior vantagem, foi a resiliência às inundações adquirida pelas cidades. Concluiu-se que o tema já está bastante amadurecido em muitos locais, já foi desenvolvido um bom conhecimento técnico sobre os diversos dispositivos e existe viabilidade prática para a aplicação dos conceitos de SC e WSC em diferentes regiões de muitos países.

Palavras-chave: Manejo de água sustentável; Cidade esponja; Cidade sensível à água; Planejamento urbano sustentável.

Abstract

The objective of this study is to analyze published studies with the theme of sustainable water management through the elaboration of a Systematic Literature Review (SLR), focusing on the recently created concepts of Sponge City (SC) and Water Sensitive City (WSC) by gathering information on how these concepts positively contribute to the sustainable urban development of cities. In addition, it sought to highlight the advantages and challenges observed during the planning and/or implementation of these concepts. Of the 25 articles analyzed, 19 were developed in China. The biggest challenge found was the lack of a team with multidisciplinary experience for the development of urban planning, while the biggest advantage was the flood resilience acquired by cities. It was concluded that this topic has already been matured in several locations, a good technical knowledge about different devices has already been developed, and it is practical and feasible to apply the concepts of SC and WSC in different regions across many countries.

Keywords: Sustainable water management; Sponge city; Water sensitive city; Sustainable urban planning.

Resumen

Este trabajo se centra, tras la elaboración de una Revisión Sistemática de la Literatura (*Systematic Literature Review – SLR*), el análisis de los estudios publicados acerca del tema del manejo sostenible de aguas, con enfoque en los conceptos de Ciudad Esponja (*Sponge City – SC*) y Ciudades Sensibles al Agua (*Water Sensitive City – WSC*), reuniendo informaciones sobre cómo esos conceptos contribuyen de manera positiva con el desarrollo urbano sostenible de las ciudades. Además, también se pretende demostrar las ventajas y desafíos percibidos en el proceso de planeamiento y/o implementación de conceptos. De los 25 artículos analizados, 19 fueron realizados en China. El gran desafío encontrado fue la falta de un equipo con experiencia multidisciplinar en el desarrollo del planeamiento urbano y la gran ventaja fue la resiliencia a las inundaciones obtenida por las ciudades. Al fin, se concluyó que el tema ya es muy maduro en varios sitios, ya hay un buen desarrollo de conocimiento técnico sobre los diversos dispositivos y existe viabilidad práctica para la aplicación de los conceptos de *SC* y *WSC* en diferentes regiones del país.

Palabras clave: Manejo de agua sostenible; Ciudad esponja; Ciudad sensible al agua; Planeamiento urbano sostenible.

1. Introdução

Os sistemas de drenagem têm como objetivo conduzir a destinação das águas pluviais, desde o sistema de microdrenagem até o de macrodrenagem. Com o constante crescimento e urbanização das cidades, desafios hídricos urbanos, como as inundações ocasionadas pelos grandes índices de impermeabilização das superfícies, vêm gerando impactos no âmbito da gestão das águas. Além disso, a escassez das águas em algumas regiões e eventos extremos oriundos de mudanças climáticas contribuem para que essa temática esteja cada vez mais presente quando se trata de planejamento urbano e estrutura sociopolítica de uma cidade (Tucci, 2008).

Segundo *United Nations* (2015), o crescimento da população urbana é quase universal e nenhum país experimentará declínio urbano e crescimento rural. O crescimento da população urbana, acompanhado pelo declínio populacional rural é projetado para toda a América do Norte, 74% dos países da Europa, 71% na América Latina e no Caribe e 63% na Ásia até 2050. Com essa crescente urbanização, somado à manutenção e gestão inadequadas dos sistemas de águas pluviais urbanas (Nguyen *et al.*, 2019), um período de retorno menor, zoneamento de drenagem insuficiente, tubulações inadequadas e outros problemas resultaram em desperdícios de recursos e o grave fenômeno do alagamento urbano (Ding & Yuan, 2021). Com isso, se faz necessário que as cidades se tornem mais sustentáveis e adaptáveis para lidar com restrições de recursos, preocupações ambientais e a urgência e incertezas decorrentes de mudanças futuras antecipadas (Zevenbergen *et al.*, 2018).

A água deve ser reconhecida como um bem essencial a ser valorizado e parte integrante da paisagem urbana. A criação de espaços atraentes apoia habitats naturais e promove a biodiversidade e o bem-estar da comunidade (Hoban, 2019).

Segundo Januszkiewicz e Golebieski (2019), a ideia de “Cidades Sensíveis à Água” (*Water Sensitive Cities – WSCs*) surge na primeira década do século 21, no intuito de reunir, em um mesmo conceito, uma relação ideal entre pessoas, governança, ambiente construído, infraestrutura, ecossistemas vivos, uso de recursos (por exemplo, energia) e água. Conforme Tang *et al.* (2018), mecanismos como os Sistemas de Drenagem Sustentáveis (*Sustainable Drainage Systems – SuDS*), Infraestrutura Azul-Verde (*Blue-Green Infrastructure – BGI*) e Projeto Urbano Sensível à Água (*Water Sensitive Urban Design – WSUD*) são reconhecidos por integrar o ciclo da água com o desenvolvimento urbano, contribuindo para ajudar no enfrentamento dos desafios contínuos das mudanças do clima e do rápido crescimento urbano.

O foco explícito em um contexto urbano se deve ao fato de as cidades abrigarem a maior parte da população mundial e serem a origem de impactos significativos no ambiente natural (Howe & Mitchel, 2011). Assim, aplicar um planejamento urbano sensível à água (*WSUD*) destaca o papel do ciclo da água e dos sistemas de abastecimento de água, ao fazer a transição para um sistema hídrico sensível (Gleason, & Cassiano Flores, 2021). A Cidade Esponja (*Sponge City – SC*) é um exemplo de implementação da abordagem *WSUD* (*World Economic Forum*, 2019).

Uma Cidade Esponja, ainda de acordo com Januszkiewicz e Golebieski (2019), tem como um de seus objetivos principais o de “regular” o ciclo da água e chegar o mais próximo possível do ciclo hidrológico natural, através de medidas que consigam restaurar a capacidade da cidade de absorver, infiltrar, armazenar, purificar, drenar e gerenciar a água. Com isso, a Cidade Esponja tem a capacidade de integrar a gestão de risco de inundação urbana em suas políticas e projetos de planejamento urbano, assim como reaproveitar a água da chuva para ajudar a mitigar os impactos da escassez de água, além de capacitar melhor as comunidades visando a convivência com as águas.

O núcleo da construção objetiva executar uma infraestrutura ecológica aquática em diferentes escalas, combinando várias tecnologias específicas (Sun *et al.*, 2019) e promover o desenvolvimento coordenado do ambiente urbano e ecológico (Ding & Yuan, 2021).

O presente artigo tem como objetivo, através da elaboração de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), executar um mapeamento dentre estudos científicos publicados na temática de Cidades Sensíveis à Água e Cidades Esponjas buscando apresentar os principais desafios encontrados durante o período de transição para uma Cidade Esponja, assim como as vantagens obtidas durante e após esse processo, destacando as medidas estruturais e não estruturais adotadas para a obtenção do resultado esperado, no intuito de mostrar como o conceito de Cidade Esponja pode contribuir enquanto uma alternativa de planejamento urbano sustentável.

2. Metodologia

Como formas de pesquisa, Revisões Sistemáticas são realizadas de acordo com métodos explícitos. O termo "sistemático" os distingue das revisões realizadas sem métodos claros, responsáveis e replicáveis (Gough *et al.*, 2012). Para a elaboração e execução da RSL este trabalho seguiu as etapas de Planejamento, Desenvolvimento e Documentação de Resultados. Na etapa de Planejamento, foi definida a questão da pesquisa, selecionadas as bases de dados para a realização das buscas, construído os seus respectivos *Strings* e elaborado o Protocolo de busca para ser inserido na ferramenta computacional StArt (*State of the Art through Systematic Review*), que é uma ferramenta computacional disponibilizada gratuitamente pelo Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software (LaPES) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

A questão de pesquisa, definida na etapa de Planejamento, que direcionou este trabalho é apresentada da seguinte forma: Como a transição para Cidade Esponja contribui enquanto alternativa de planejamento urbano sustentável das cidades no contexto de manejo de águas pluviais urbanas?

Logo em seguida, na etapa de Desenvolvimento, após a classificação dos artigos a serem analisados, foram selecionados aqueles que tratavam dos conceitos de Cidades Sensíveis à água e Cidades Esponja aplicados às cidades em diferentes contextos, no intuito de analisar os seus processos de transição. Por fim, na etapa de Documentação dos Resultados, os dados considerados relevantes para responder à questão definida no início da pesquisa foram sintetizados no intuito de trazer resultados significativos e comparativos entre si, evidenciando respostas ao questionamento definido.

A seleção das bases de dados se baseou naquelas disponibilizadas pelos convênios CAPES/CNPq. As bases escolhidas para a realização da pesquisa foram: *Science Direct*, *Scopus*, *Web of Science* (bases multidisciplinares), *Engineering Village* e *IEEE Xplore* (bases especializadas em engenharia). A escolha das bases foi feita visando grande abrangência dos estudos existentes acerca do tema definido dentro da área de Engenharia Civil.

Após a seleção das bases, iniciou-se o processo de busca. Para isso, foram elaborados os *Strings* de busca, que consistem em um conjunto de caracteres estabelecidos com o objetivo de coletar os estudos de acordo com o que se deseja encontrar nas bases. Esses *Strings* são necessários, visto que as bases realizam as buscas através de sistemas indexadores. Para que os *Strings* consigam orientar a busca nas bases de dados na ordem e sequência desejados, foi necessária a inserção de aspas

e combinações de operadores booleanos que representam operadores lógicos de união, intercessão e negação. Os *Strings* adotados em cada base podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1 - *Strings* de busca adaptados por base de dados.

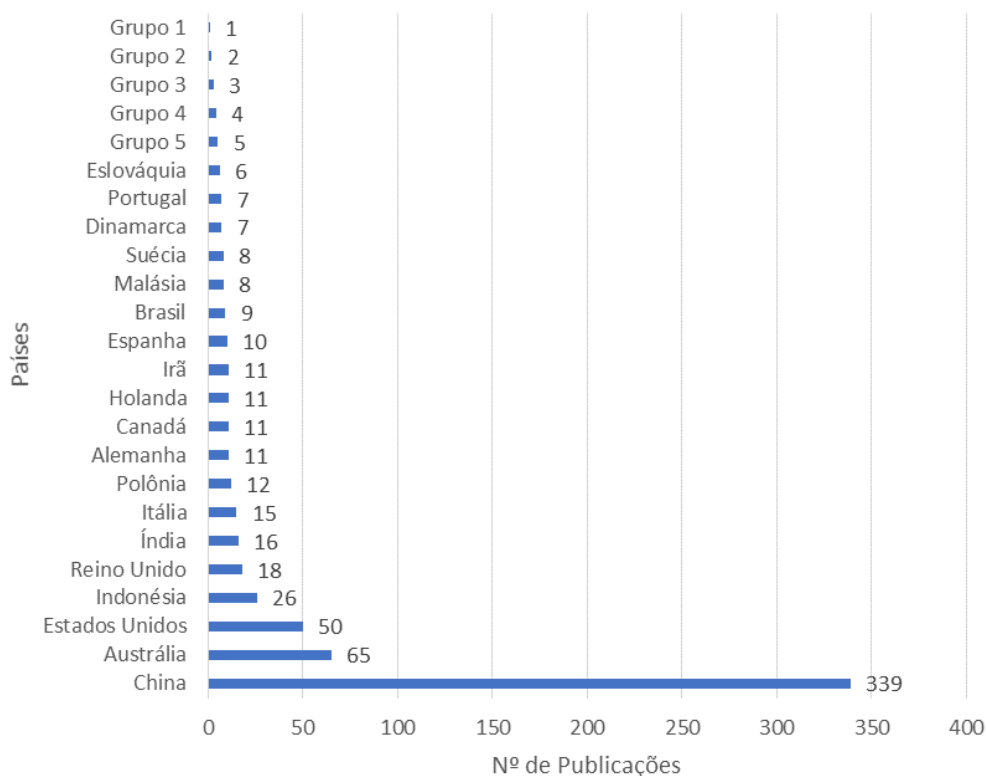
| Base de dados | String Adaptada |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Science Direct | ("Civil Engineering") AND ("Sustainable development") AND ("Flood control") OR ("runoff") AND ("Drainage") OR ("Rain and rainfall") OR ("Water management") AND title-abstr-key(("Sponge city") OR ("Water sensitive city")) |
| Scopus | {{Civil Engineering}} AND {{Sustainable development}} AND {{Flood control}} OR {{runoff}} AND {{Drainage}} OR {{Rain and rainfall}} OR {{Water management}} AND {{Sponge city}} OR {{Water sensitive city}} |
| Engineering Village | (({{Civil Engineering}} WN CV) AND ({{Sustainable development}} WN CV) AND ({{Flood control}} WN CV) OR ({{runoff}} WN CV) AND ({{Drainage}} WN CV) OR ({{Rain and rainfall}} WN CV) OR ({{Water management}} WN CV)) AND ({{Sponge city}} WN KY)) OR ({{Water sensitive city}} WN KY)) |
| Web of Science | ((("Civil Engineering" AND "Sustainable development") AND "Flood control" OR "runoff") AND "Drainage" OR "Rain and rainfall" OR "Water management") AND "Sponge city" OR "Water sensitive city") |
| IEEE Xplore | "Civil Engineering" AND "Sustainable development" AND ("Flood control" OR "runoff") AND ("Drainage" OR "Rain and rainfall" OR "Water management") AND ("Sponge city" OR "Water sensitive city") |

Fonte: Autores.

Além disso, também foram adicionados às buscas filtros por idiomas, selecionando Inglês e Português e por ano de publicação, considerando artigos publicados nos últimos cinco anos (2017-2021), no intuito de obter análises mais próximas possíveis da realidade atual. Os resultados coletados nas bases de dados totalizaram em 801 estudos e com a seguinte distribuição por base: 317 da *Science Direct*, 212 da *Engineering Village*, 181 da *Web of Science*, 80 da *Scopus* e 11 da *IEE Xplore*.

Foi possível analisar que esses estudos possuem vasta distribuição geográfica, abrangendo 55 países diferentes, em todos os continentes. Esta verificação demonstrou que a temática abordada é, de fato, de interesse e estudada em todo o planeta. A Figura 1 apresenta o gráfico da distribuição do número de publicações por países. A China tem amplo destaque no número de publicações devido à especificidade da questão de pesquisa e dos objetivos definidos para esta Revisão Sistemática de Literatura.

Figura 1 - Estudos publicados por países.



Fonte: Autores.

Para a construção do gráfico representado na Figura 1, foram agrupados os países que publicaram apenas 1 vez no que se apresenta como Grupo 1, o mesmo foi realizado para os que publicaram 2, 3, 4 ou até 5 vezes, apresentados respectivamente como Grupos 2, 3, 4 e 5. Os países que compõem o Grupo 1 são: Bangladesh, Catar, Irlanda, Islândia, Israel, Japão, Marrocos, Nova Zelândia, República Tcheca, Romênia e Tailândia. O Grupo 2: Bélgica, Chile, Egito, Filipinas, Groenlândia, Iraque, Letônia, Noruega, Quênia e Singapura. O Grupo 3: Arábia Saudita, Coreia do Sul, Escócia, França, Sri Lanka, Suíça e Turquia. O Grupo 4: África do Sul, Áustria, Colômbia, Hong Kong e México. E o Grupo 5: Finlândia, Rússia e Taiwan.

Os 801 estudos extraídos inicialmente foram então avaliados de acordo com critérios de inclusão e exclusão, conforme a Tabela 2, resultando na seguinte classificação preliminar: 65 estudos duplicados, 652 estudos rejeitados e 84 estudos aceitos.

Tabela 2 - Critérios de Inclusão e Exclusão dos estudos.

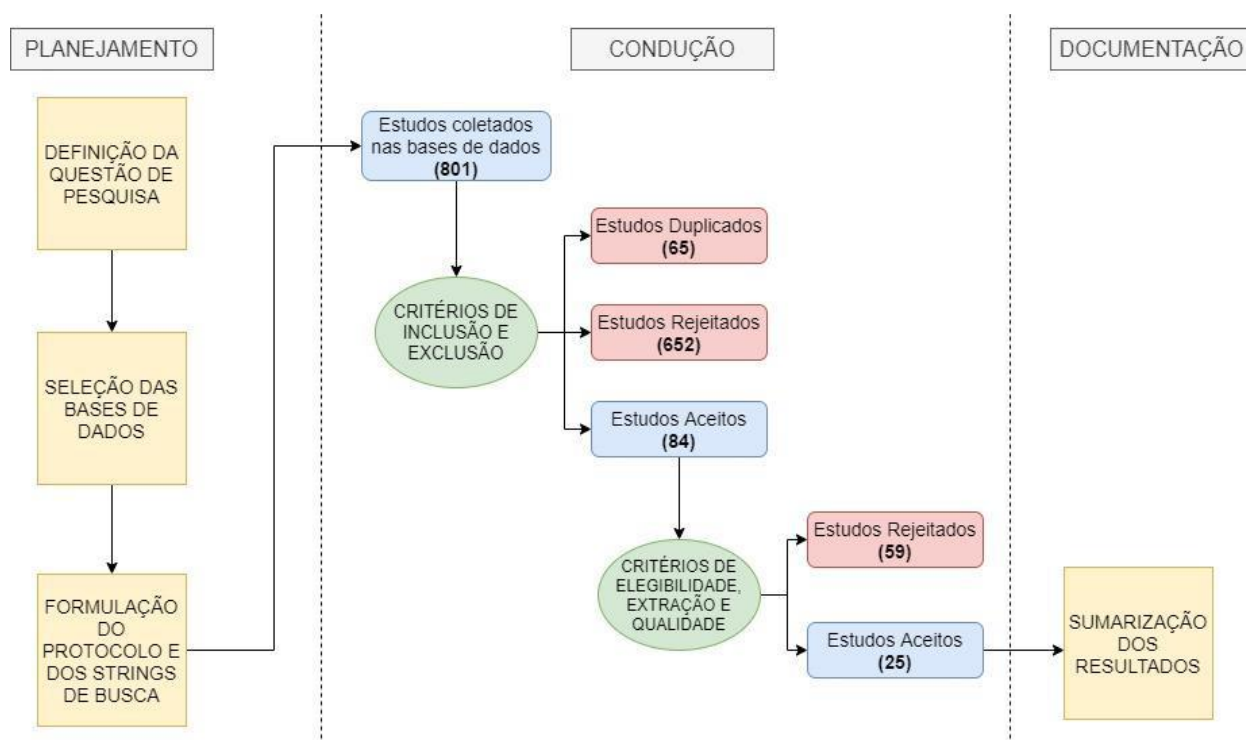
| Critérios de Inclusão | Critérios de Exclusão |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Estudos que abordem o interesse <i>Sponge Cities</i> ou <i>Water Sensitive Cities</i> | Estudos duplicados |
| Estudos que tenham como temática principal manejo de águas pluviais e drenagem urbana | Estudos que não apresentem título ou resumo dentro do objetivo pesquisado |
| Estudos que apresentem os termos de busca presentes no <i>String</i> | Estudos de revisão sistemática de literatura |
| | Estudos que não apresentem os termos de busca no título, palavras-chave ou resumo |

Fonte: Autores.

Em seguida, os estudos aceitos foram analisados e filtrados com base em critérios de elegibilidade, extração e qualidade dos dados, para que o conjunto de 84 estudos aceitos resultante apresentasse informações capazes de contribuir de forma significativa para o objetivo da RSL.

Após esta filtragem dos estudos aceitos, 59 estudos foram rejeitados, utilizando os critérios de elegibilidade, extração e qualidade dos dados, totalizando um grupo final de 25 artigos para a etapa de Documentação. As etapas do processo deste trabalho de RSL, incluindo a avaliação e classificação dos estudos podem ser observadas na Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma do processo – RSL.



Fonte: Autores.

3. Resultados e Discussões

Conforme a Tabela 3, os dados extraídos foram classificados de acordo com: país, ano de publicação, medidas compensatórias aplicadas, desafios encontrados, vantagens com implementação do conceito e a viabilidade de sua aplicação.

Tabela 3 - Resumo das informações extraídas dos artigos selecionados.

| Referência | País | Ano | Medidas compensatórias | | Desafios | Vantagens | Viabilidade |
|-----------------------------------|------------|------|------------------------|-----------------|----------|-------------|-------------|
| | | | Estruturais | Não estruturais | | | |
| Rogers <i>et al.</i> (2020) | Austrália | 2020 | 1 | 3 | 1 | 1-8 | Sim |
| Gao <i>et al.</i> (2021) | China | 2021 | 2-3-4 | - | 3 | 1-2-3-4 | Sim |
| Xu <i>et al.</i> (2018) | China | 2021 | 5-7 | - | 3 | 1-2-4-5 | Sim |
| Liu <i>et al.</i> (2021) | China | 2021 | 2-3-6-7 | - | 3 | 2-4-7 | Sim |
| Chan <i>et al.</i> (2018) | China | 2018 | 1-2-3-4-6 | - | 5 | 1-5-6 | Sim |
| Li, Q. <i>et al.</i> (2019) | China | 2019 | 1-2-3-5-7 | - | 2 | 1-2-3-4-7-8 | Sim |
| Leng <i>et al.</i> (2020) | China | 2020 | 3-7 | - | 2 | 2-3-4-8 | Sim |
| Qiao <i>et al.</i> (2020) | China | 2020 | 2-3-4-7 | 2 | 2-3-5 | 3-4-8 | Sim |
| Zhou, Y. <i>et al.</i> (2021) | China | 2021 | 1-2-3-4-7 | 1 | 1-2 | 3-4 | Sim |
| Shao <i>et al.</i> (2020) | China | 2019 | 2-3-4 | - | 1 | 1-2 | Sim |
| Tang <i>et al.</i> (2018) | China | 2018 | 2-3-4 | 1 | 1-2 | 1-2-3-4-5 | Sim |
| Zhou, J. <i>et al.</i> (2018) | China | 2018 | 2-3-4-7 | - | 2 | 1-4-5 | Sim |
| Fan & Matsumoto (2019) | China | 2018 | 2-4 | - | 5 | 2-3-7 | Sim |
| Wang <i>et al.</i> (2018) | China | 2018 | 2-3-4-5 | 1 | 2 | 4 | Sim |
| Chang <i>et al.</i> (2020) | Taiwan | 2020 | - | - | 3 | 4 | Sim |
| Rodrigues & Antunes (2021) | Portugal | 2021 | 8 | 3 | 6 | 4-5-7 | Sim |
| Ding & Zhang (2021) | China | 2021 | 1-2-3-7 | - | 2 | 2-5 | Sim |
| Li, J. <i>et al.</i> (2019) | China | 2019 | 1-2-3-4-5-7 | - | - | 1-2 | Sim |
| Januszkiewicz & Golebieski (2019) | Polônia | 2018 | 2-4-6-8 | 2 | 4-6 | 2-3-4-5-7-8 | Sim |
| Zevenbergen <i>et al.</i> (2018) | China | 2018 | - | - | 2-3-5 | 4-8 | Sim |
| Qi <i>et al.</i> (2020) | China | 2020 | 8 | 2 | 4 | 2-4-5 | Sim |
| Zhao <i>et al.</i> (2018) | China | 2018 | 1-2-3-7 | - | - | 1-2-3-5 | Sim |
| Li, Z. <i>et al.</i> (2018) | China | 2018 | 2-3-8 | 1 | 2 | 2-3-4-5 | Sim |
| Marinho <i>et al.</i> (2020) | Brasil | 2020 | 1 | - | 1 | 4-6-8 | Sim |
| Ahmed <i>et al.</i> (2019) | Bangladesh | 2019 | 4 | 1 | 1-5 | 5-6-7-8 | Sim |

Fonte: Autores.

As legendas para identificação da Tabela 3 estão indicadas abaixo na Tabela 4.

Tabela 4 – Legenda referente à Tabela 3.

| ITEM | MEDIDAS COMPENSATÓRIAS ESTRUTURAIS |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Reservatórios de águas pluviais |
| 2 | Sistemas de biorretenção |
| 3 | Pavimento permeável |
| 4 | Telhado Verde |
| 5 | Valas, trincheiras e áreas verdes de infiltração |
| 6 | Sistemas de melhoria da qualidade da água |
| 7 | Sistemas de detenção ou retenção (Bacias ou reservatórios) |
| 8 | Reabilitação de áreas urbanas e áreas verdes |
| ITEM | MEDIDAS COMPENSATÓRIAS NÃO ESTRUTURAIS |
| 1 | Preservação de áreas verdes e controle ambiental |
| 2 | Desenvolvimento colaborativo com gestores públicos ou com participação social |
| 3 | Medidas de gerenciamento ou implementação de programas |
| ITEM | DESAFIOS ENCONTRADOS |
| 1 | Desenvolvimento de Políticas Públicas com ações de governança para implementação do conceito |
| 2 | Planejamento urbano por equipes com experiência multidisciplinar |
| 3 | Adaptação dos projetos à realidade local - com engajamento da população |
| 4 | Mudanças climáticas no ambiente aquático |
| 5 | Restrições orçamentárias - Custos e investimentos financeiros |
| 6 | Áreas degradadas e poluídas |
| ITEM | VANTAGENS DA IMPLEMENTAÇÃO DO CONCEITO |
| 1 | Redução do <i>runoff</i> , retardo e diminuição do pico de cheia |
| 2 | Redução da poluição e melhoria na qualidade da água |
| 3 | Mitigação de inundações |
| 4 | Resiliência às inundações |
| 5 | Melhorias nos sistemas de infiltração dos solos |
| 6 | Melhoria do abastecimento de água |
| 7 | Redução do consumo desnecessário de recursos naturais ou econômicos |
| 8 | Aplicabilidade em diferentes cenários ou desempenho integrado |

Fonte: Autores.

Com relação à classificação do país onde a pesquisa foi realizada, verificou-se que a China apresentou o maior número de artigos dentro da temática estudada, com 19 dos 25 artigos selecionados.

Esse interesse no tema por parte da China, pode ser justificado porque nos últimos 40 anos a China experimentou uma rápida urbanização da sua população, registrando taxa, que no início da década de 1980 era de 20,2%, para 56,1% em 2015.

Com expectativa de que em 2030, o país exceda um bilhão de pessoas, com uma taxa de urbanização de 70% (Shao *et al.*, 2020).

Essa rápida urbanização gera impactos de grandes proporções nas superfícies das áreas urbanas. Com o aumento das áreas de impermeabilização, há a alteração da velocidade de escoamento superficial, com diminuição da infiltração, aumentando o pico de inundação e intensificando o hidrograma, favorecendo assim a probabilidade de inundações urbanas e de desastres (Wang *et al.*, 2020).

Preocupado com esse cenário, conforme, Meng *et al.* (2018), o Governo chinês lançou, em novembro de 2014, por meio do Ministério da Habitação e Construção Urbano-Rural (MOHURD), uma campanha a nível nacional, divulgando Diretrizes Técnicas para construção de Cidades Esponjas, promovendo uma política de melhoria e resiliência das cidades a enchentes pluviais em um contexto de rápida urbanização e mudanças climáticas, sendo, então, chamado de Programa Cidade Esponja (*Sponge City Program – SPC*). Portanto, é esperado que haja um maior incentivo na produção de pesquisas e estudos relacionados à temática, com objetivo de analisar, promover melhorias e acompanhar resultados relativos à implementação do *SPC*.

No que diz respeito à classificação quanto ao ano de publicação, observou-se que dos 84 estudos selecionados inicialmente, que representam abordagens específicas relacionadas à Cidades Esponjas ou Cidades Sensíveis à água, 04 foram publicados em 2017, outros 17 foram em 2018, foram publicados 20 em 2019, 25 em 2020 e 18 em 2021, tendo em vista que o ano de 2021 ainda não havia terminado quando a pesquisa foi desenvolvida.

Fazendo uma análise mais representativa de amostras, considerando o total de estudos coletados através dos *Strings* de busca (801 estudos) é possível avaliar uma tendência de crescimento do número de publicações de pesquisas envolvendo a temática deste trabalho, pois foram 86 publicações em 2017, 154 em 2018, 188 em 2019 e 197 em 2020. Vale ressaltar que no ano de 2021 só foram obtidos resultados referentes ao primeiro semestre do respectivo ano, tendo em vista o período de desenvolvimento desta revisão sistemática de literatura. No entanto, como foram coletados 176 estudos dentro desse intervalo de tempo e por isso é possível comprovar a tendência de crescimento destacada, pois os estudos apenas do primeiro semestre de 2021 representam numericamente 89% dos estudos para todo o ano de 2020.

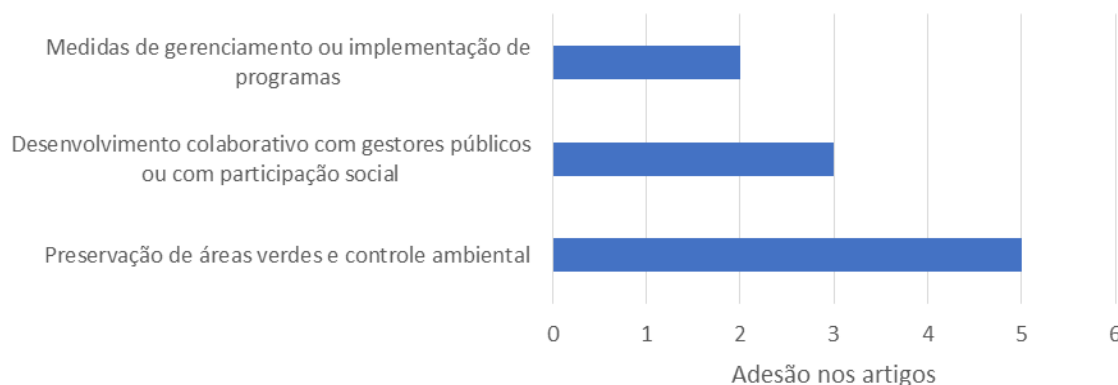
De acordo com White (2010), a crescente urbanização e uma dependência cada vez maior do valor econômico gerado pelas cidades, associado à constante modernização, têm criado uma necessidade intensa de medidas de proteção eficazes. As incertezas inerentes às cidades modernas justificam o fato de que essas previsões precisam ser mais inclusivas e antecipatórias, resultando em um impulso para um planejamento espacial mais profilático, onde as políticas preventivas protegem contra impactos futuros potencialmente devastadores.

O conceito de Cidade Sensível à Água, assim como o de Cidade Esponja são relativamente recentes. Este fator, associado à necessidade cada vez mais presente da busca por medidas alternativas de mitigação de riscos, uso consciente de recursos naturais e menor impacto ambiental, possibilita embasar e justificar a crescente demanda por pesquisas dentro dessas temáticas.

No critério de medidas compensatórias aplicadas, considerando que o conceito de Cidade Esponja é uma estratégia para gestão integrada das águas urbanas, segundo Wang *et al.* (2018), é necessário um conjunto de medidas, incluindo medidas estruturais de engenharia e medidas não estruturais de engenharia, respeitando-se os princípios da regulação ecológica natural da água e seu ciclo, a fim de construir interações benignas entre o sistema socioeconômico e ciclo urbano da água, aumentando a resiliência das cidades no enfretamento das mudanças nos ambientes e nos desastres naturais.

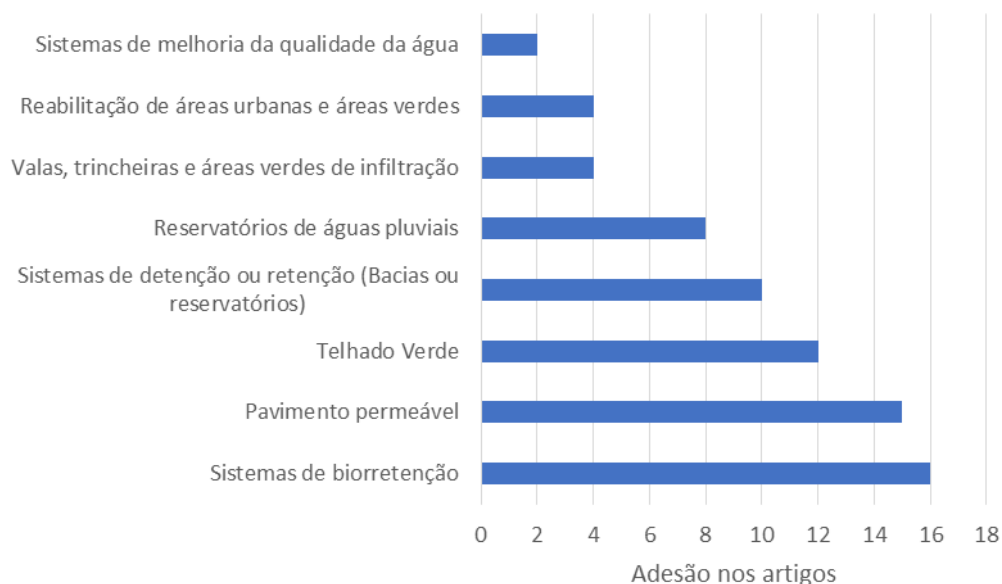
Nesse contexto, foi feito um mapeamento dos artigos aderentes e são expostas na Figura 3 e Figura 4 as medidas não estruturais e estruturais encontradas na implementação dos conceitos estudados, respectivamente.

Figura 3 - Medidas não estruturais.



Fonte: Autores.

Figura 4 - Medidas estruturais.

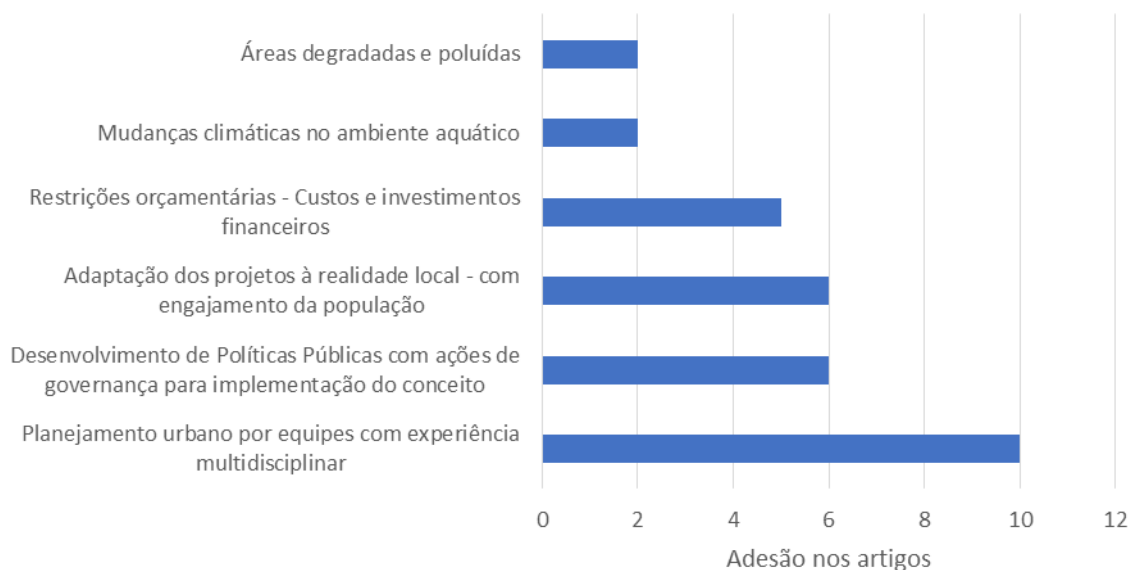


Fonte: Autores.

Considerando as análises dos artigos, foi possível verificar que as medidas estruturais possuem mais enfoque que as não estruturais, destacando-se as soluções de preservação de áreas verdes e controle ambiental. No que se refere às medidas estruturais, 08 grandes grupos foram abordados nos artigos, valendo destaque para os sistemas de biorretenção, pavimentos permeáveis, telhados verdes, reservatórios de águas pluviais e também os sistemas de detenção ou retenção, como reservatórios ou bacias para essa função. Vale ressaltar que alguns estudos como o de Liu *et al.* (2021), apontam o uso de lagoas multifuncionais para cumprir também a função de bacia de detenção.

Com relação aos desafios encontrados para implantação do planejamento da Cidade Esponja, Zhou, Y. *et al.* (2021), resumem, explicando que estão principalmente ligados à falta de experiência humana para lidar com as mudanças no clima, em recursos humanos inadequados, baixo orçamento e menos autonomia na gestão do risco pela dependência das autoridades governamentais. A Figura 5 representa uma síntese dos desafios mais citados pelos autores nos 25 artigos estudados.

Figura 5 - Desafios encontrados apresentados nos artigos.



Fonte: Autores.

Como pode-se perceber, o maior desafio encontrado durante os processos de transição para Cidades Sensíveis à Água e Cidades Esponja reside no planejamento urbano por equipes com experiência multidisciplinar. Conforme Meng *et al.* (2018), o planejamento responde à política nacional na resolução do risco de inundação, com isso, consegue trazer eficácia na implementação de medidas para adaptação climática urbana e sobre a integração de questões de resiliência às inundações. Portanto, o planejamento integrado pode ser considerado essencial para a obtenção dos objetivos buscados quando da implementação de práticas de gestão sustentável das águas.

Além disso, constatou-se que mesmo com a presença de consequências ambientais geradas pelo crescente processo de desenvolvimento social e econômico das cidades, aliados às altas taxas de urbanização, as mudanças climáticas, degradação e poluição das áreas foram classificadas nos últimos lugares na adesão nos artigos. Em comparação com os outros desafios listados, de maior adesão, pôde-se perceber que a falta de Políticas Públicas de incentivo à prática dos conceitos estudados, as restrições orçamentárias e a adaptação dos projetos à realidade local, representaram obstáculos ainda maiores do que os trazidos pelo ambiente natural.

No quesito vantagens, de acordo com Chang *et al.* (2020), mesmo com a avaliação dos resultados determinando as vantagens e desafios da Cidade Esponja e Cidades Sensíveis à Água, é difícil valorar as medidas das melhorias, pois os fatores pontuados são subjetivos, podendo ter diferentes atributos e serem influenciados por vários outros fatores.

As vantagens na implantação da cidade esponja, segundo Fan & Matsumoto (2019), estão relacionadas à absorção de gases do efeito estufa, retenção da água da chuva, remoção da poluição do ar e da água, redução da temperatura em ambientes com telhados verdes e redução de energia. Conforme Zhou, Y. *et al.* (2021), os resultados obtidos a partir da construção da Cidade Esponja bem planejada, têm operabilidade e podem melhorar o ambiente urbano, aumentando a vitalidade da cidade, mitigando as ocorrências de inundações e monitorando situações que levam à redução do risco de inundação em cidades inteligentes. Para Wang *et al.* (2018), a implantação da Cidade Esponja, aumenta a resiliência às inundações, uma vez que há a gestão integrada das águas, e para Shao *et al.* (2020), a Cidade Esponja é capaz de controlar efetivamente o escoamento da chuva urbana e reduzir os contaminantes do escoamento.

Uma forma de avaliar as vantagens dentre os 25 artigos pesquisados, foi classificá-las conforme apresentado na Figura 6.

Figura 6 - Vantagens encontradas da implementação dos conceitos de Cidade Esponja e Cidade Sensível à Água.



Fonte: Autores.

Analisando as vantagens da implementação dos conceitos de Cidade Esponja e Cidades Sensíveis à Água, como era esperado, devido ao que está intrínseco aos conceitos, a resiliência às inundações, apareceu como a principal vantagem. Em sequência, destacaram-se a redução da poluição e melhoria na qualidade da água, as melhorias nos sistemas de infiltração nos solos, a redução do escoamento superficial com retardo e diminuição do pico de cheia e a mitigação das inundações.

4. Conclusões

Foram selecionados 25 artigos que utilizaram os conceitos de Cidades Esponja e Cidades Sensíveis à Água, e concluiu-se que existe viabilidade prática para a adoção destes conceitos em diferentes regiões de muitos países, valendo ressaltar a importância de um planejamento compatível com a realidade da cidade e da existência de incentivos e políticas públicas voltadas para este fim.

Para isto, foi executado um mapeamento dentre os estudos científicos publicados na temática destes conceitos, conforme o objetivo proposto, apresentando os principais desafios, as vantagens obtidas e as medidas estruturais e não estruturais adotadas.

Em resposta à pergunta que direcionou este trabalho, concluiu-se que a maior contribuição positiva encontrada nas cidades estudadas, foi a resiliência às inundações e considerando que a resiliência está associada à capacidade de resposta, recuperação e adaptação diante de eventos extremos, a implantação dos conceitos de Cidade Esponja e Cidades Sensíveis à Água apresentam um caminho viável enquanto alternativa de planejamento urbano sustentável, em relação ao manejo de águas pluviais urbanas, resultando em redução das perdas e capacidades de resposta adaptativa para as inundações urbanas.

Um planejamento urbano sustentável integrado, elaborado por uma equipe multidisciplinar e com a presença de medidas estruturais e não estruturais, voltado para a aplicação dos conceitos de Cidade Esponja e Cidade Sensível à Água, pode representar uma melhor adaptação das regiões ao ciclo hidrológico, além de promover um convívio dos habitantes com as águas e redução no uso de recursos naturais.

Para trabalhos futuros, sugestiona-se a elaboração de estudos que relacionem de forma mais direta o quanto as medidas compensatórias individualizadas contribuem dentro do contexto global da implementação das Cidades Esponjas. Ou seja, uma análise quantitativa do comportamento hidráulico das técnicas compensatórias implementadas e seu percentual de contribuição, e qualitativa da influência direta de cada técnica na implementação das Cidades Esponjas.

Referências

- Ahmed, S.; Meenar, M. & Alam, A. (2019). Designing a Blue Green Infrastructure (BGI) Network: Toward Water Sensitive Urban Growth Planning in Dhaka, Bangladesh. *Land*, 8(9), 138.
- Chan, F. K. S.; Griffiths, J. A.; Higgitt, D.; Xu, S.; Zhu, F.; Tang, Y.; Xu, Y & Thorne, C. R. (2018). "Sponge City" in China – A breakthrough of planning and flood risk management in the urban context. *Land Use Policy*, 76, 772-778.
- Chang, H.; Man, C. & Su, Q. (2020). Research on the site selection of watershed public facilities as multi-use detention basin: an environmental efficiency perspective. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 38649–38663.
- Ding, K & Yuan, Z. (2021). Practical Research on the Application of Sponge City Reconstruction in Pocket Parks Based on the Analytic Hierarchy Process. *Complexity*, Article ID 5531935, 10 p.
- Fan, X & Matsumoto, T. (2019). GIS-Based Social Cost-Benefit Analysis on Integrated Urban Water Management in China: A Case Study of Sponge City in Harbin. *Sustainability*, 11(19), 5527.
- Gleason, J.A. & Cassiano Flores, C. (2021). Challenges of Water Sensitive Cities in Mexico: The Case of the Metropolitan Area of Guadalajara. *Water*, 13(5), 601.
- Gao, J.; Li, J.; Li, Y.; Xia, J. & Lv, P. (2021). A Distribution Optimization Method of Typical LID Facilities for Sponge City Construction. *Ecology & Hydrobiology*, 21, 13-22.
- Gough, D.; Thomas, J. & Oliver, S. (2012). Clarifying differences between review designs and methods. *Systematic Reviews*, 1(28).
- Hoban, A. (2019). Water Sensitive Urban Design: Approaches and Their description. In: Sharma, A. K.; Gardner, T.; Begbie, D. (Eds.), *Approaches to a Water Sensitive Urban Design*. Amsterdam: Elsevier, p. 25-47.
- Howe, C. & Mitchel, C. (2011). *Water Sensitive Cities*. London: IWA Publishing, 10. ed.
- Januszkiewicz, K. & Golebieski, J. (2019). "Water Sensitive City" Within City as A Strategy for Activate Polluted Urban Areas. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 10, 471.
- Leng, L.; Mao, X.; Jia, H.; Xu, T.; Chen, A. S.; Yin, D. & Fu, G. (2020). Performance assessment of coupled green-grey-blue systems for Sponge City construction. *Science of the Total Environment*, 728.
- Li, J.; Mu, C.; Deng, C. & Ma, M. (2019). Hydrologic-environmental effects of sponge city under different spatial scales. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 10(1).
- Li, Q.; Wang, F.; Yu, Y. Huang, Z.; Li, M & Guan, Y. (2019). Comprehensive performance evaluation of LID practices for the sponge city construction: A case study in Guangxi, China. *Journal of Environmental Management*, 231, 10-20.
- Li, Z.; Dong, M.; Wong, T.; Wang, J.; Kumar, A. J. & Singh, R. P. (2018). Objectives and Indexes for implementation of Sponge Cities – A case Study of Changzhou City, China. *Water*, 10(5), 623.
- Liu, J.; Gong, X.; Li, L.; Chen, F. & Zhang, J. (2021). Innovative design and construction of the sponge city facilities in the Chaotou Park, Talent Island, Jiangmen, China. *Sustainable Cities and Society*, 70.
- Marinho, S. D. A. M.; Galvão, C. de O & Miranda, L. I. B. (2020). The water sensitive city from the urban metabolism and space production analysis perspective. *Eng. Sanit. Ambient.*, 25(5).
- Meng, M.; Dabrowski, M.; Chan, F. & Stead, D. (2018). Spatial Planning for Climate Adaptation and Flood Risk: Development of the Sponge City Program in Guangzhou. In: Galderisi, A.; Colucci, A. (Eds.). *Smart, Resilient and Transition Cities: Emerging Approaches and Tools for a Climate-Sensitive Urban Development*. Elsevier, p. 153-162.
- Myers, B. R.; Pezzaniti, D.; Sharma, A. K.; Gardner, T. & Begbie, D. (2019). Approaches to Water Sensitive Urban Design. Sharma, A. K; Gardner, T.; Begbie, D. (Eds.), *Flood and Peak Flow Management Using WSUD Systems*, Amsterdam: Elsevier, p. 119-138.

- Nguyen, T. T.; Ngo, H. H.; Guo, W.; Wang, X. C.; Ren, N.; Li, G.; Ding, J. & Liang, H. (2019). Implementation of a specific urban water management - Sponge City. *Science of The Total Environment*, 652, 147-162.
- Qi, Y.; Chan, F. K. S.; Thorne, C.; O'Donnell, E.; Quagliolo, C.; Comino, E.; Pezzoli, A.; Li, L.; Griffiths, J.; Sang, Y. & Feng, M. (2020). Addressing Challenges of Urban Water Management in Chinese Sponge Cities via Nature-Based Solutions. *Water*, 12(10), 2788.
- Qiao, X.; Liao, K. & Randrup, T. B. (2020). Sustainable stormwater management: A qualitative case study of the Sponge City initiative in China, *Sustainable Cities and Society*, 53.
- Radcliffe, J. C.; Sharma, A. K.; Gardner, T. & Begbie, D. (2019). Approaches to Water Sensitive Urban Design. Sharma, A. K; Gardner, T.; Begbie, D. (Eds.), *History of Water Sensitive Urban Design/Low Impact Development Adoption in Australia and Internationally*. Amsterdam: Elsevier, p. 1-24.
- Rodrigues, M. & Antunes, C. (2021). Best Management Practices for the Transition to a Water-Sensitive City in the South of Portugal. *Sustainability*, 13(5), 2983.
- Rogers, B. C.; Dunn, G.; Hammer, K.; Novalia, W.; Haan, F. J.; Brown, L.; Brown, R. R.; Lloyd, S.; Urlich, C.; Wong, T. H. F. & Chesterfield, C. (2020). Water Sensitive Cities Index: A diagnostic tool to assess water sensitivity and guide management actions. *Water Research*, 186.
- Shao W.; Zhou J.; Liu J.; Xie, P.; Yang, M. & Li, W. (2020). Characteristics and effectiveness of water management methods for 'sponge cities' in China. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management*, 173(4), 163-171.
- Sun, Y.; Deng, L.; Pan, S.Y.; Chiang, P. C.; Sable, S. S. & Shah, K. J. (2020). Integration of green and gray infrastructures for sponge city: Water and energy nexus. *Water-Energy Nexus*, 3, 29-40.
- Tang Y.; Chan, F.K.S.; O'Donnell, E.C. & Griffiths, J. (2018). Aligning ancient and modern approaches to sustainable urban water management in China: Ningbo as a "Blue-Green City" in the "Sponge City" campaign. *J Flood Risk Management*, 11.
- This man is turning cities into giant sponges to save lives. (2019). *World Economic Forum* . <https://www.youtube.com/watch?v=U37gst79pGc>.
- Tucci, C. E. M. (2008). Águas urbanas. *Estudos Avançados*, 22(63), 97-112.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2015). *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision*. New York, 2015. <https://population.un.org/wup/publications/files/wup2014-report.pdf>.
- Wang, H.; Mei, C.; Liu, J. & Shao, W. (2018). A new strategy for integrated urban water management in China: Sponge city. *Sci. China Technol.* 61, 317–329.
- Wang, J.; Hu, C.; Ma, B. & Mu, X. (2020). Rapid Urbanization Impact on the Hydrological Processes in Zhengzhou, China, *Water*, 12(7), 1870.
- White, I. (2010). *Water and the city: Risk, Resilience and Planning for a Sustainable Future*. Routledge.
- Xu, Y.; Shen, S.; Lai, Y. & Zhou, A. (2018). Design of Sponge City: Lessons learnt from an ancient drainage system in Ganzhou, China. *Journal of Hydrology*, 563, 900-908.
- Zevenbergen, C.; Fu, D. & Pathirana, A. (2018). Transitioning to Sponge Cities: Challenges and Opportunities to Address Urban Water Problems in China. *Water*, 10(9), 1230.
- Zhao, H.; Zou, C.; Zhao, J. & Li, X. (2018). Role of Low-Impact Development in Generation and Control of Urban Diffuse Pollution in a Pilot Sponge City: A Paired-Catchment Study. *Water*, 10(7), 852.
- Zhou, J.; Liu, J.; Shao, W.; Yu, Y.; Zhang, K.; Wang, Y. & Mei, C. (2018). Effective Evaluation of Infiltration and Storage Measures in Sponge City Construction: A Case Study of Fenghuang City. *Water*, 10(7), 973.
- Zhou, Y.; Sharma, A.; Masud, M.; Gaba, G.S.; Dhiman, G.; Ghafoor, K.Z. & AlZain, M.A. (2021). Urban Rain Flood Ecosystem Design Planning and Feasibility Study for the Enrichment of Smart Cities. *Sustainability*, 13(9), 5205.