

# JARDINS DE CHUVA: ATUALIZAÇÕES SOBRE A TÉCNICA A PARTIR DE UMA REVISÃO SISTEMÁTICA.

*RAIN GARDENS: TECHNIQUE UPDATES BASED ON A SYSTEMATIC REVIEW.*

*JARDINES DE LLUVIA: ACTUALIZACIONES DE LA TÉCNICA A PARTIR DE UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA*

**FABIO RIBEIRO GONDIM** | UERJ - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

**ALFREDO AKIRA OHNUMA JÚNIOR** | UERJ - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

**MARCELO OBRACZKA** | UERJ - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

## RESUMO

O processo de urbanização normalmente acarreta na degradação das águas urbanas, principalmente pelo aumento da poluição difusa carregada para os córregos. Técnicas de infraestrutura verde têm sido cada vez mais utilizadas como uma alternativa de adaptação de cidades para o controle da poluição dos rios e adaptação às mudanças climáticas. Dentre essas, o Jardim de Chuva se destaca por sua capacidade de reduzir o volume do escoamento superficial e atuar como um sistema filtrante para a poluição difusa. Apesar de ter sido desenvolvida no começo da década de 1990 nos EUA, esta técnica não é tão difundida e ainda tem sido tratada como novidade quando utilizada em grandes centros. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo discutir o estado da arte sobre Jardins de Chuva, nos aspectos operacionais e funcionais da estrutura, abordados em pesquisas internacionais. Para isso, foi realizada uma revisão sistemática nas plataformas Science Direct e Scielo, com artigos publicados entre os anos de 2011 e 2022. Os artigos foram separados por países de origem dos pesquisadores e temas principais. A pesquisa resultou num total de 73 artigos, publicados por 11 diferentes países, com predominância de grupos americanos (48%), seguidos por Chineses (15%), australianos (11%) e canadenses (8%). Cinco temas principais foram identificados: (1) Custos de instalação e operação; (2) Capacidade de retenção de água; (3) Controle de poluição; (4) Aspectos construtivos e operacionais e (5) Fatores socioambientais. Foi observada nas publicações a tendência de abordar os custos dos jardins, sobretudo quanto à manutenção dos mesmos, além de métodos que avaliem a eficiência dos jardins de chuvas em pequenas áreas, temas importantes para a popularização da técnica.

## PALAVRAS-CHAVE

Jardim de chuva; Infraestrutura verde; revisão sistemática.

## ABSTRACT

*The urbanization process normally leads to the degradation of urban waters, mainly due to the increase in diffuse pollution carried into streams. Green infrastructure techniques have been increasingly used as an alternative for adapting cities to controlling river pollution and adapting to climate change. Among these, the Rain Garden stands out for its ability to reduce the volume of surface runoff, and also act as a filtering system for diffuse pollution. Despite being used for more than 30 years in the USA, it is not so widespread, and it is still treated as a novelty when used in large cities. Thus, the present work aims to discuss the state of the art of Rain Gardens, in the operational and functional aspects of the structure, addressed in international research. For this, a systematic review was carried out on the Science Direct and Scielo platforms, with articles published between the years 2011 and 2022. The articles were separated into the countries of origin of the researchers and main themes. The research resulted in a total of 73 articles, published by*



11 different countries, with a predominance of American groups (48%), followed by Chinese (15%), Australian (11%) e Canadian (8%). Five main themes were identified: (1) Installation and operating costs; (2) Water holding capacity; (3) Pollution control; (4) Construction and operational aspects and (5) Socio-environmental factors. Between those, it was more common the publications about the costs of the gardens, especially regarding the maintenance of the areas, in addition to methods to evaluate the efficiency of rain gardens in small areas, which are important themes for the popularization of the technique.

## **KEYWORDS**

Rain garden; Green infrastructure; systematic review.

## **RESUMEN**

El proceso de urbanización suele conducir a la degradación de las aguas urbanas, principalmente debido al aumento de la contaminación difusa transportada a los arroyos. Las técnicas de infraestructura verde se han utilizado cada vez más como una alternativa para adaptar las ciudades para controlar la contaminación de los ríos y adaptarse al cambio climático. Entre ellos, el Jardín de Lluvia destaca por su capacidad para reducir el volumen de escorrentía superficial y actuar como sistema de filtrado de la contaminación difusa. A pesar de haber sido desarrollada a principios de la década de 1990 en EE.UU., esta técnica no está tan extendida y todavía se ha tratado como una novedad cuando se utiliza en grandes centros. Así, el presente trabajo tiene como objetivo discutir el estado del arte sobre los Jardines de Lluvia, en los aspectos operativos y funcionales de la estructura, abordados en investigaciones internacionales. Para ello, se realizó una revisión sistemática en las plataformas "Science Direct" y Scielo, con artículos publicados entre 2011 y 2022. Los artículos fueron separados por países de origen de los investigadores y temas principales. La investigación dio como resultado un total de 73 artículos, publicados por 11 países diferentes, con predominio de grupos estadounidenses (48%), seguidos de chinos (15%), australianos (11%) y canadienses (8%). Se identificaron cinco temas principales: (1) Costos de instalación y operación; (2) Capacidad de retención de agua; (3) Control de la contaminación; (4) Aspectos constructivos y operativos y (5) Factores socioambientales. Se observó en las publicaciones la tendencia a abordar los costos de los jardines, especialmente en lo que se refiere a su mantenimiento, así como métodos que evalúan la eficiencia de los jardines de lluvia en áreas pequeñas, temas importantes para la popularización de la técnica.

## **PALABRAS CLAVE**

Jardín de lluvia; infraestructura verde; soluciones basadas en la naturaleza; contaminación difusa.

## 1. INTRODUÇÃO

De maneira geral, o processo de urbanização ocorre com a degradação das águas urbanas, sobretudo causada por ocupações desordenadas e irregulares (Targa *et al.*, 2012). O aumento da poluição difusa carreada para os córregos urbanos, consequência da impermeabilização dos terrenos, do aumento do escoamento superficial, dos poluentes atmosféricos e dos resíduos das próprias ruas e calçadas direcionados para a drenagem urbana, contribui para a degradação destes cursos hídricos (Carstens; Amer, 2019; Hua *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2020; Xu *et al.*, 2019).

Em oposição a técnicas tradicionais de drenagem urbana, conhecidas como de infraestrutura cinza, técnicas de infraestrutura verde têm sido cada vez mais utilizadas como uma alternativa de adaptação de cidades em função das mudanças climáticas, sobretudo de grandes metrópoles (Rosenberger *et al.*, 2021).

Cidades americanas, como Baltimore e Washington D.C, em 8 e 13 % da área da bacia, respectivamente, implantaram algum tipo de infraestrutura verde, com alteração de até 44% na redução dos valores dos picos de eventos de chuva intensos entre elas (Pennino *et al.*, 2016).

A técnica conhecida como jardins de chuva tem como origem as trincheiras de infiltração, como técnicas compensatórias de drenagem urbana, porém, diferencia-se por sua concepção básica. Os jardins de chuva constituem estruturas que não somente têm a capacidade de reduzir o volume do escoamento superficial, mas também de atuar como um sistema filtrante para a poluição difusa e de controle no microclima e no bem estar da população local, com a melhora paisagística local (DER, 2007; OBWB, 2021; Song, 2022).

Ainda na década de 90, o Departamento de Recursos Naturais dos Estados Unidos (DER) lançou o primeiro manual de técnicas alternativas de drenagem urbana, posteriormente denominadas como estruturas de desenvolvimento de baixo impacto, ou “Low Impact Development” (LID) (DER, 1999).

Esses trabalhos tiveram como objetivo direcionar as águas das chuvas, oriundas das áreas impermeáveis, para valetas, canteiros ou mesmo depressões do terreno, como medidas de retenção e de infiltração da água no solo.

De modo similar, os jardins de chuva facilitam a retenção da água no solo de forma distribuída, de acordo com suas dimensões, passando da concepção do manejo das águas pluviais urbanas baseado em ações de “drenar”, “direcionar” e “despachar”, para um conceito de

desenvolvimento de baixo impacto que privilegia intervenções de “desacelerar”, “espalhar” e “infiltrar” as águas urbanas (OBWB, 2021; UACDC, 2010).

Jardins de chuva ou canteiros pluviais constituem sistemas de biorretenção, instalados em cotas mais baixas dos terrenos, onde a drenagem é conduzida para área de jardim com solo preparado com terra, areia de gramatura grossa, britas e drenos (UACDC, 2010).

Com o objetivo de reduzir o impacto causado pela impermeabilização do solo, os jardins de chuva foram primeiramente utilizados no condado de Prince George, no estado americano de Maryland (DER, 1999). Composto por grandes centros comerciais, mercados e lojas de departamento, com grandes áreas disponíveis de estacionamentos. Essas áreas apresentam ruas largas, normalmente com 12 metros de largura, e urbanização direcionada para o uso de automóveis (Mess, 2005).

Assim como várias cidades suburbanas americanas, o condado de Prince George tem uma área relativamente plana e possui baixa densidade demográfica, se comparado a centros urbanos e a subúrbios brasileiros.

Apesar de realizadas há praticamente 30 anos, as pesquisas sobre jardins de chuva podem ser ainda encontradas com objetivos dispersos, aparentemente vinculados ao tempo de maturidade da pesquisa local com o tema. Isso pode ser observado nos trabalhos publicados por diferentes grupos, com o objetivo de: (i) avaliar dados de efetividade das estruturas ou metodologias para medição dessa eficácia e (ii) melhorar a operação dos jardins de chuva para que tenham funcionalidades otimizadas no tempo. Há ainda pesquisas voltadas para aferição dos custos ou mesmo para entender as formas de divulgação da prática (Ma *et al.*, 2018; Morash *et al.*, 2019; Nichols *et al.*, 2021). Em outras revisões sistemáticas sobre o tema, os autores classificaram os artigos quanto ao tipo de infraestrutura, para avaliação de diversos tipos de infraestruturas verdes, com base em suas capacidades de retenção de água e poluentes, processos de filtragem e perspectivas futuras (Li *et al.*, 2021). Quando avaliado somente um tipo de estrutura (técnica), como no caso de telhados verdes, são obtidos históricos das técnicas mais utilizadas para construção (Shafique *et al.*, 2018), porém esta revisão não é encontrada para jardins de chuva especificamente.

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo discutir, a partir de uma revisão sistemática nas plataformas Science Direct e Scielo, o estado da arte de pesquisas internacionais sobre jardins de chuva, nos aspectos operacionais e funcionais da estrutura.

## 2. METODOLOGIA

Devido à alta velocidade na geração de conhecimento, nos mais diversos campos da ciência, manter as revisões de bibliografia que se propõem a realizar o levantamento do estado da arte de um determinado tema, atualizado e com conhecimento espacial não fragmentado, vem se tornando uma tarefa extremamente complexa (Snyder, 2019).

A revisão sistemática de literatura é uma ferramenta chave para esse levantamento de informações científicas, que, no processo de investigação acadêmica, gerencia e analisa a diversidade do conhecimento, de forma clara, metódica e fiel (Tranfield *et al.* 2003).

Desta forma, a metodologia adotada neste trabalho foi baseada na revisão sistemática da literatura, utilizando como termo de indexação, no idioma inglês, a expressão “rain garden”, somente quando citada no título, no resumo ou nas palavras chaves dos artigos disponibilizados. Para a pesquisa, foram utilizadas as plataformas de pesquisas de periódicos Science Direct e do Scielo e, como critério de exclusão temporal, foram selecionados os artigos publicados entre os anos de 2011 e 2022.

Como realizado por Guasselli (2022), o processo de seleção ocorreu em duas etapas. Na primeira, foi realizada a análise dos títulos e resumos de todos os artigos coletados, aceitando-os ou rejeitando-os conforme os critérios de inclusão e exclusão. Após esta primeira etapa de avaliação, os estudos aceitos foram submetidos a uma segunda filtragem através da leitura completa de seus conteúdos.

A busca inicial resultou em um total de 108 artigos. Na análise dessa seleção inicial, foram contemplados aqueles que avaliaram a aplicação de um jardim de chuva, apresentando ou a metodologia construtiva, ou dados referentes ao seu impacto em relação ao meio, fosse por avaliação em campo ou simulações computacionais. Desta forma, foram excluídos artigos que não tivessem como foco os jardins de chuva propriamente ditos, mas que somente os citassem no contexto da Infraestrutura Verde, resultando, assim, na seleção final de 73 artigos.

Os artigos foram organizados por ano de publicação e país do grupo responsável pela pesquisa. Os artigos então foram segregados em 5 (cinco) temas principais: (1) Custos de instalação e operação; (2) Capacidade de retenção de água; (3) Controle de poluição; (4) Aspectos construtivos e operacionais e (5) Fatores socioambientais.

Nos artigos selecionados, também foram identificados os resultados comparativos dos parâmetros de qualidade da água obtidos com a utilização da estrutura, assim como sua interferência na quantidade e vazão do

escoamento da água e sua capacidade de retenção de água da chuva.

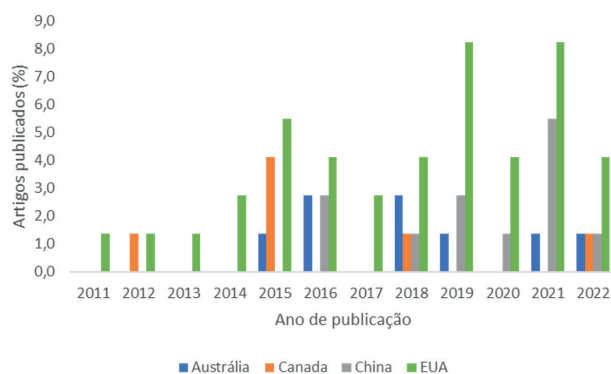
## 3. RESULTADOS

Quando observado os subtemas das publicações, o foco das pesquisas variou bastante: Custos de instalação e operação (9 artigos); Capacidade de retenção de água (13 artigos); Controle de poluição (22 artigos); Aspectos construtivos e operacionais (19 artigos) e Fatores socioambientais (9 artigos).

O estudo demonstrou que nos últimos 10 anos, desde 2011, os Estados Unidos foram os responsáveis por 48% das publicações encontradas nas bases de dados, publicando no mínimo um (1) artigo por ano, entre 2011 e 2013, e no máximo 6 artigos por ano, entre os anos de 2019 e 2021.

O segundo país que mais publicou nas bases de dados nos anos pesquisados foi a China, com 15% das publicações. Grupos chineses publicaram no mínimo 1 artigo em 2020 e 2022, e no máximo 4 em 2021, apresentando claramente aumento no número de publicações sobre o tema nos últimos anos. Essa crescente foi levantada por Chan *et al.* (2018) ao descrever o programa de Cidades Esponjas da China como a possível solução para o uso sustentável da água e o controle de enchentes.

Outros países que se destacaram foram a Austrália e o Canadá, com 11 e 8% respectivamente das publicações no período, como pode ser observado no gráfico abaixo (Gráfico 01).



**Gráfico 01:** Quantidade de publicações sobre o tema Jardim de Chuva pelos 4 países que mais publicaram entre os anos pesquisados, em porcentagem.

**Fonte:** os autores.

Os demais países com publicações sobre o tema foram, em ordem decrescente: Coreia do Sul, Polônia, Itália e Suécia, todos com 3 (três) artigos publicados no período; Brasil, com 2 (duas) publicações, e Espanha, Noruega, Reino Unido, República Checa, Holanda e Colômbia, com 1 (uma) publicação cada. Cabe ressaltar que apesar do

histórico da Holanda na implantação de infraestruturas verdes nas cidades (Stobbelaar *et al.*, 2022), como no caso de Roterdã e Amsterdã (Paulin *et al.*, 2019), praticamente não foram encontrados artigos publicados por grupos locais sobre o tema.

Essa tendência pode ser explicada pelo fato de os Estados Unidos terem sido o país pioneiro sobre o tema, desenvolvendo as principais técnicas e softwares de análise de dados utilizados atualmente. Porém, uma vez que a tecnologia foi difundida, diversos outros países também implementaram suas políticas e projetos sobre a temática, adaptando os métodos desenvolvidos para suas realidades (Chan *et al.*, 2018; Cui *et al.* 2021; Lim & Lu, 2016; Perales-Momparler *et al.*, 2017).

### 3.1. Custos de instalação e operação

Os artigos selecionados nesta categoria apresentaram relação com os custos, fossem sobre os custos diretos da instalação de uma estrutura ou da manutenção da mesma, normalmente apresentado no formato de relação do custo por área beneficiada.

Os custos de instalação de um jardim de chuva podem variar bastante, pois dependem do tamanho do jardim, do país onde será instalado, do tipo de vegetação utilizada, do tipo de solo, se haverá ou não sistema de drenagem e mesmo se haverá algum sistema de automação, para monitoramento e irrigação do jardim (SIWIEC *et al.*, 2018).

A Agencia Americana de Meio Ambiente (EPA) estima que o custo básico para a instalação de jardim com 18,5 m<sup>2</sup> (200 ft<sup>2</sup>) varie de US\$1.000 a US\$1.300, ou seja, de US\$54/m<sup>2</sup> a US\$70/m<sup>2</sup> (Meng & Hsu, 2019). Valores semelhantes são referência para o programa de cidades esponjas da China, que estima em US\$50/m<sup>2</sup> o custo da instalação de um jardim de chuva (Han *et al.*, 2021; Roy *et al.*, 2014). Na Polônia, a estimativa é de US\$200/m<sup>2</sup>. Este valor é 3 a 4 vezes maior que as estimativas anteriores, resultado que pode ser fruto da baixa quantidade de jardins implantados (SIWIEC *et al.*, 2018). Já no Brasil, este custo foi estimado em US\$115/m<sup>2</sup>, para um jardim construído para tempo de retorno de 2 anos (Melo *et al.*, 2014).

Outro valor importante para levar em consideração é o custo da manutenção do jardim. Apesar de poder apresentar grande variação, a depender das diferenças de clima, solo e vegetação utilizada, além de uma eventual troca do sistema de drenagem ou de mecanismo de automação, este custo pode ser o mesmo da manutenção de um jardim comum (Siwiec *et al.*, 2018), estimado em US\$50/ano nos EUA (Meng & Hsu, 2019) e US\$39/ano na

China (Han *et al.*, 2021; Roy *et al.*, 2014).

Sobre a manutenção, cabe ressaltar a opção de um sistema de automação, que requer investimento mais alto no processo de instalação do jardim, mas pode gerar economia ao longo do tempo, seja com pessoal ou com consumo de água. Em entrevistas realizadas com gestores de diferentes cidades dos EUA, foi constatado que estes aceitavam gastar até 13% a mais na instalação de um jardim para ter instalado um sistema automatizado de irrigação (Meng & Hsu, 2019).

Os custos de uma infraestrutura verde também podem ser quantificados quanto ao seu serviço ambiental, levando em consideração o grau de efetividade da estrutura na remoção de poluentes e na retenção de água, dentre outros (Heidari *et al.*, 2022). O custo energético para instalação de um jardim também vem sendo tratado, incluindo itens como o transporte dos materiais para o local, o processo de mineração para produção da brita e a própria instalação (Law *et al.*, 2017).

Outra forma indireta de valoração de jardins de chuva diz respeito à valorização de imóveis ao redor das estruturas (Roy *et al.*, 2014; Hoover *et al.*, 2020), porém esse cálculo feito isoladamente ainda não apresenta resposta clara, devendo incluir outros parâmetros, como os benefícios ambientais para que se diferencie de áreas verdes tradicionais (Siwiec *et al.*, 2018). Cabe ressaltar que o próprio desconhecimento sobre a técnica é um fator que dificulta pesquisas sobre valorização de áreas urbanas (Hoover *et al.* 2020).

Ao comparar diversas infraestruturas verdes, o jardim de chuva é considerado um dos mais eficazes, com melhor custo-benefício, ficando atrás somente do plantio de árvores nas cidades, seguido pelo telhado verde. Mesmo assim, todos são superiores ao asfalto poroso, considerado de alto custo e baixo tempo de vida (Law *et al.*, 2017; Heidari *et al.*, 2022).

Os jardins de chuva ainda são mais vantajosos quando instalados em pequenos lotes urbanos do que em grandes áreas da bacia, devendo se priorizar nessas situações estruturas com maiores capacidades de retenção de água (Heidari *et al.*, 2022).

Já através de programas de modelagem, o melhor resultado quando levadas em consideração diferentes infraestruturas verdes e sua eficiência na remoção de poluentes, retenção de água e custos de instalação, foi obtido quando utilizados: jardins de chuva em 3,75% da área da bacia, mais 3,75% de telhados verdes e 7,5% de pavimento permeável, o que resultou na redução de 73,7% do escoamento superficial e 77,7% do sólido em suspensão (Gao *et al.*, 2021).

### 3.2. Capacidade de retenção de água

Em simulações computacionais, a implantação de jardins de chuva em uma bacia é capaz de reduzir de 11 a 20% o escoamento superficial da bacia durante períodos de chuvas (Kaykhosravi *et al.*, 2022; Liu *et al.*, 2022).

Quanto a capacidade de regulação hidrológica de um jardim, estes são mais efetivos na contenção de chuvas de baixa intensidade do que de alta intensidade, uma vez que neste último caso estruturas complementares seriam necessárias para reter e liberar o volume escoado lentamente (Qin, 2020; Heidari *et al.*, 2022).

Dentre os fatores que influenciam a capacidade de retenção da água de chuva nos jardins estão a profundidade do solo, a relação de tamanho da estrutura com área de captação (WANG *et al.*, 2019), o tipo de solo, a vegetação existente (Yuan & Dunnett, 2018; Johnston *et al.*, 2020) e o clima da região (Géhéniau *et al.*, 2015; Khan *et al.*, 2012a).

Jardins com profundidade maior do que 40 cm, razão acima de 20% entre tamanho do jardim e a área de captação e condutividade hidráulica do solo abaixo de 10 cm/h conseguem reter entre 21 e 75% da água da chuva, conforme apresentado com a utilização do modelo numérico “recharge” (Wang *et al.*, 2019).

A vegetação, como citado anteriormente, exerce papel fundamental na retenção de água do jardim. Um exemplo é que um jardim vegetado consegue reter 25% mais água se comparado a um jardim sem vegetação. Esta variação também é observada com jardins vegetados com diferentes espécies, podendo variar de 30 a 50% a capacidade de retenção de água, retendo mais aquele com maior densidade de raízes (Johnston *et al.*, 2020).

Quanto ao clima, a capacidade de um jardim reter água durante eventos chuvosos em climas frios pode variar em até 60% entre o verão e o inverno (Géhéniau *et al.*, 2015), uma vez que durante o inverno parte da água no solo pode congelar (Khan *et al.*, 2012a).

Também é possível utilizar técnicas construtivas para ampliar a capacidade de retenção de um jardim, como a instalação de válvulas de controle de fluxo no tubo de saída da água do jardim, onde é possível fechar para reter mais água ou aliviar quando a retenção não for mais necessária (Guo & Luu, 2015).

Para avaliação da eficiência de um jardim, é importante quantificar a taxa de evapotranspiração do mesmo, porém, por ser uma medida de difícil mensuração, poucos estudos o fazem (Ebrahimian *et al.*, 2019).

A Tabela 01 apresenta um resumo de características

e resultados a partir de referências e estudos publicados em artigos de periódicos internacionais:

Autores / data	Cidade do estudo	Pais do estudo	Área de captação	Área com JC	Redução (%)
Pennino <i>et al.</i> , 2016	Baltimore, Washington D.C e Montgomery Country	EUA	N.D.	N.D.	26 – 40
Autixier <i>et al.</i> , 2014	Montreal	Canada	N.D.	N.D.	13 – 19
Ahiablame & Shakya, 2016	Illinois	EUA	345 ha	25%	5 – 28
Géhéniau <i>et al.</i> , 2015	Quebec	Canadá	3,8 m <sup>2</sup>	6,4%	54,8 ± 2,7
Khan <i>et al.</i> , 2012	Calgary	Canadá	320 m <sup>2</sup>	10%	91,5
Kaykhosravi <i>et al.</i> , 2022	Toronto	Canadá	N.D.	N.D.	8,9 a 11,3
Johnston <i>et al.</i> , 2020	Wisconsin	EUA	34,8 m <sup>2</sup>	17%	25
Liu <i>et al.</i> , 2022	Xi'an	China	0,26 km <sup>2</sup>	9,4%	24
Reis & Ilha, 2014	Campinas	Brasil	50 m <sup>2</sup>	6%	17,2

**Tabela 01:** Resumo de dados sobre as alterações na vazão do escoamento superficial, após a implementação de um jardim de chuva, conforme os estudos levantados.  
**Fonte:** os autores.

### 3.3. Controle da poluição

Jardins de chuva são consideradas estruturas eficientes na remoção de poluentes físicos, químicos e biológicos carregados pela água da chuva. Diversos são os fatores que interferem na sua capacidade de retenção de poluentes, como: a diversidade biológica, a composição do substrato, a temperatura do ar, a umidade do solo e o tempo de funcionamento da estrutura (Søberg *et al.*, 2017; Yue *et al.*, 2018; Wang *et al.* 2019; Rainey *et al.*, 2022). Concentrações de *Escherichia coli*, *Campylobacter* spp., coliformes fecais, assim como hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, hidrocarbonetos de petróleo, chumbo, zinco, dentre outros metais pesados e inclusive pesticidas, são retidos e absorvidos com emprego dessas estruturas (Zhang *et al.*, 2015; Géhéniau *et al.*, 2015; Maniquiz-Redillas & Kim, 2016; Chandrasena *et al.*, 2016).

A diversidade vegetal exerce influência no processo de remoção de poluentes, sendo que aqueles mais diversos, com maior número de espécies, armazenam maiores

quantidades de poluentes do que jardins com monoculturas (Morash *et al.*, 2019).

Além de maior quantidade de espécies, ainda é possível estimular processos de fitorremediação com a adição de lodo ativado ao jardim, oriundo de estações de tratamento de esgoto (Yue *et al.*, 2018), uma vez que isto auxilia na propagação de fungos micorrízicos, os quais auxiliam as plantas na absorção de nitratos (Winfrey *et al.*, 2017).

Diferentemente das plantas, a fauna apresenta um padrão de povoamento dos jardins como oportunista, por causa da maior sensibilidade das espécies. Sua ocorrência e diversidade vai estar relacionada ao tipo de poluente existente no solo, se orgânico ou inorgânico, se captado por telhados ou áreas utilizadas como estacionamento de veículos (Hong *et al.*, 2018). De qualquer forma, após um ano de implantado, já é possível observar o aumento da riqueza e diversidade da biota do solo (Buzzard *et al.* 2021). É o caso de jardins ricos em nitratos, onde os anelídeos são a espécie mais abundante (Mehring *et al.*, 2016).

Quanto a origem da água captada pelo jardim, aqueles oriundos de estacionamentos apresentam 3 (três) vezes mais sólidos em suspensão e taxa de carbono orgânico total, além de 50% mais de metais pesados, quando comparados com aqueles com água captada por telhados (Hong *et al.*, 2018).

Porém, a origem dos poluentes pode não ser somente pela água oriunda do escoamento superficial, como ocorre no caso do fósforo, que pode ter origem na adubação periódica realizada nos jardins (Karczmarczyk & Kaminska, 2020).

Quanto à presença dos poluentes, eles ainda podem se combinar quimicamente ou se aderir fisicamente, como observado com metais pesados que aumentam proporcionalmente com o aumento dos sólidos suspensos (Maniquiz-Redillas & Kim, 2016).

A remoção também vai depender do volume e tempo da precipitação, sendo que os jardins são mais eficientes na remoção de metais em chuvas com volumes maiores do que 15 mm do que com 5 mm, por aquelas apresentarem os metais mais dissolvidos (Maniquiz-Redillas & Kim, 2016). O contrário foi observado em um jardim de chuva experimental na Universidade de Catarrena, onde quando a entrada da água no jardim foi superior a 0,32 L/min/m<sup>2</sup>, a retenção de nitrogênio total se tornou nula (Fajardo-Herrera *et al.*, 2019).

Ao escoar para dentro de um jardim de chuva, os poluentes escoados pela chuva têm o primeiro contato com as camadas mais superficiais do solo, ficando normalmente retidos nos primeiros 20 cm de solo, quando analisada a retirada de carbono da atmosfera (Al-Ameri *et al.*, 2018;

Kavehei *et al.*, 2019). Já quando observadas as concentrações de nitratos, fosforo e carbono orgânico total trazidas pelo escoamento superficial, os valores são maiores nos primeiros 50 cm de solo (Guo *et al.*, 2019).

Cabe ressaltar, porém, que o tempo de vida do jardim pode influenciar negativamente a capacidade deste na redução de poluentes como amônia, nitrato, sólidos totais, fósforo total e nitrogênio total (Guo *et al.*, 2018).

Com base nos artigos da Tabela 02 são apresentados os resultados de remoção de poluentes com o uso de jardins de chuva: por autor e ano da publicação, local do experimento, área do JC em relação a área de captação, tipo de poluente analisado e sua respectiva taxa de remoção.

Autores / data	Cidade	Pais	Relação JC / captação	Poluente analisado	Taxa de remoção (%)
Wilfong et al., 2021	Maryland	EUA	N.D.	Cobre (Cu)	90 a 99
Khan et al., 2012b	Calgary	Canadá	N.D.	DBO	8
Khan et al., 2012b	Calgary	Canadá	N.D.	Fósforo total	0,6
Wang et al., 2019	N.D.	Diversos locais	N.D.	Fósforo total	>67 (média)
Wang et al., 2021	Zhenzen	China	N.D.	Nitrogênio total	18 a 53,7
Wang et al., 2019	N.D.	Diversos locais	N.D.	Nitrogênio total	>51 (média)
Gu et al., 2019	Carolina do Norte	EUA	N.D.	Sal	0,03 a 4,75
Lim & Lu, 2016	Singapura	Singapura	4%	Sólidos totais	78
Géhéniau et al., 2015	Montreal	Canadá	6,4%	Sólidos totais	74,5
Khan et al., 2012b	Calgary	Canadá	N.D.	Sólidos totais	96

**Tabela 02:** Resumo de dados sobre a remoção de poluentes do escoamento superficial, após a implementação de jardins de chuva, conforme os estudos levantados.

**Fonte:** os autores.

### 3.4. Aspectos construtivos e operacionais

Os jardins de chuva podem ser construídos de diversas formas e compostos por diversos materiais, a depender das tecnologias disponíveis na região e da disponibilidade financeira, o que pode ter grande impacto na capacidade

de retenção de poluentes ou de água (Tirpak *et al.*, 2021; Valinski & Chandler, 2015).

Para aumentar a retenção de água e poluentes, já foram testados briquetes de madeira misturados ao solo da estrutura, o que apresentou resultados positivos para a retenção de metais pesados (Géhéniau *et al.*, 2015). A instalação de válvulas que controlam o fluxo de saída da água aumenta também a absorção dos metais pesados e outras substâncias pela estrutura (Ma *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2021).

A instalação de um sistema de dispersão da água por dutos internos no jardim consegue reduzir em 18% a quantidade de nitrogênio total, quando comparado a um jardim sem este sistema (Dietz & Clausen, 2006).

Quanto ao tamanho da estrutura, um jardim com 10 a 15 % da área de captação dos telhados aparenta ser suficiente e indicado para ser instalado nas edificações (Bortolini & Zanin, 2018). Quando este tamanho é menor do que 10% da área de captação, a ocorrência de transbordamentos durante eventos hidrometeorológicos extremos se torna mais frequente, reduzindo a eficiência da estrutura (Brown & Hunt, 2011).

Em outras ocasiões, a água é captada por pátios ou estacionamentos, locais com carga poluente maior, devido a resíduos de óleos e graxas. Nesses casos, o jardim pode ser submetido a uma carga de 1 a 3 vezes maior se comparada a um jardim com captação de água somente de telhados (Hong *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2022).

Nestes casos, da mesma forma que a composição microbiana do jardim apresenta diferença, a fauna e a flora também serão impactadas (Buzzard *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2022), então a utilização de espécies mais resistentes se faz necessária e apropriada (Fowdar *et al.*, 2022; Johnston *et al.*, 2020). Inclusive, a seleção equivocada das espécies vegetais, além de reduzir a capacidade de retenção de poluentes e o processo de fitorremediação, pode inserir espécies por vezes tóxicas para pessoas ou animais (Anderson *et al.*, 2015).

Em residências dos Estados Unidos, proprietários de lotes unifamiliares ainda optam por soluções que consideram mais baratas ou simples, como barris para o armazenamento de água da chuva ou trincheiras de infiltração, quando direcionam a água do jardim para a grama. Essas medidas são mais citadas do que o próprio jardim de chuva, considerado mais complexo, caro ou desconhecido (Coleman *et al.*, 2018; Shin & McCann, 2018).

Sobre a definição das áreas mais adequadas para a instalação de um jardim, metodologias de multicritérios podem ser utilizadas para este objetivo, o que pode aumentar

além da eficiência da estrutura (Dall'ara *et al.*, 2019; Jia *et al.*, 2016), o seu ciclo de vida (Flynn & Traver, 2013).

### 3.5. Fatores socioambientais

O convívio de pessoas com jardins de chuva demonstra um processo de conscientização quanto à gestão da drenagem das águas pluviais e seus efeitos na infraestrutura urbana das cidades, principalmente quando as estruturas são planejadas e se encontram sinalizadas (Church, 2015). Cidadãos mais preocupados com a qualidade da água e das questões relacionadas às mudanças climáticas são os mais propícios a instalarem infraestruturas verdes, porém o desconhecimento técnico muitas vezes os impede de instalá-las (Badura *et al.*, 2021; Ureta *et al.*, 2021). Desta forma, a população se limita a implantar barreiras de retenção com a água captada pelos telhados, uma vez que acreditam que jardins de chuva são opções somente para grandes áreas, como estacionamentos e estradas (Johnston *et al.*, 2020).

Formas de estimular a adoção de jardins de chuva ou outras medidas de infraestrutura verde vêm sendo bastante debatidas ultimamente (Chaffin *et al.*, 2016; Perales-Momparler *et al.*, 2017). Acredita-se que uma vez que o poder público possui poderes limitados sobre as propriedades privadas, incentivos financeiros apresentam melhores resultados no estímulo para adoção das práticas, assim como a maior divulgação dos resultados obtidos com isso (Wilkerson *et al.*, 2022).

Para isso, uma das estratégias utilizadas na Espanha foi demonstrar os resultados do monitoramento realizado pelo período de um ano em jardins de chuva, para convencer "stakeholders" sobre a eficiência da prática (Perales-Momparler *et al.*, 2017). Somado a isso, a melhoria na comunicação e a simplificação na apresentação de resultados também foi vista como benéfica na China (Jia *et al.*, 2016).

Outro fator que chama a atenção é a conscientização da população sobre a técnica. Normalmente, a população tem maior interesse pelos benefícios estéticos do que pelos funcionais dos jardins, indicando desta forma para a implantação de novas estruturas, áreas que estejam degradadas, com histórico de distúrbios sociais (Chaffin *et al.*, 2016).

Na China, onde foi instituído o programa de cidades esponjas, uma pesquisa realizada com questionários apontou que 76% dos entrevistados afirmaram estarem dispostos a contribuir mensalmente para a manutenção das estruturas sustentáveis (Ding *et al.*, 2019).



## 4. CONCLUSÃO

Publicações mais atuais buscam respostas sobre as estimativas de custos dos jardins, sobretudo quanto à manutenção dessas áreas, uma vez que diferentemente de jardins comuns, que com o tempo atingem o clímax de sua vegetação, os jardins de chuva perdem sua capacidade de retenção de água, sendo necessárias manutenções periódicas.

Chama atenção também a quantidade de publicações que buscam métodos que otimizem a avaliação de eficiência dos jardins de chuvas em pequenas áreas, provavelmente como uma estratégia de popularização da técnica.

Mesmo com o tempo da existência da técnica, é possível observar que pesquisas básicas ainda continuam em andamento pelo mundo e são poucos os resultados sobre os quais é possível afirmar que existe um consenso sobre o assunto.

Essas pesquisas se mostram ainda importantes pela necessidade de maior divulgação sobre a técnica e para sua maior aceitação e implementação, principalmente como técnica para adequação das cidades para as mudanças climáticas.

O aumento da produção de artigos referentes ao tema observado na China está diretamente ligado ao amplo plano de reestruturação de suas cidades através do projeto de cidades esponjas, que adota diversas técnicas de infraestruturas verdes no remodelamento das cidades.

Na realidade, são claros os problemas urbanos causados por grandes adensamentos, carência de planejamento e fiscalização, além de baixa cobertura do sistema de esgotamento sanitário. Essa conjuntura favorece a ocorrência de alagamentos e descargas de poluentes em corpos hídricos.

Dessa forma, verifica-se a importância da pesquisa sobre os jardins de chuva no âmbito local, havendo espaço e demanda para elaboração de estudos aplicados, principalmente em países tropicais, como o Brasil.

## AGRADECIMENTOS

À CAPES pelo fornecimento da bolsa de Doutorado.

## REFERÊNCIA

AHIABLAME, L., & SHAKYA, R. (2016). Modelling flood reduction effects of low impact development at a watershed scale. **Journal of Environmental Management**, 171, 81–91. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.01.036>

ANDERSON, M. J., KURTYCZ, D. F. I., & CLINE, J. R. (2015). Baptisia poisoning: A new and toxic look-alike in the neighborhood. **Journal of Emergency Medicine**, 48(1), 39–42. <https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2014.09.037>

AUTIXIER, L., MAILHOT, A., BOLDUC, S., MADOUX-HUMERY, A. S., GALARNEAU, M., PRÉVOST, M., & DORNER, S. (2014). Evaluating rain gardens as a method to reduce the impact of sewer overflows in sources of drinking water. **Science of the Total Environment**, 499, 238–247. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.08.030>

BADURA, T., KRKOŠKA LORENCOVÁ, E., FERRINI, S., & VAČKÁŘOVÁ, D. (2021). Public support for urban climate adaptation policy through nature-based solutions in Prague. **Landscape and Urban Planning**, 215, 15. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104215>

BORTOLINI, L., & ZANIN, G. (2018). Hydrological behaviour of rain gardens and plant suitability: A study in the Veneto plain (north-eastern Italy) conditions. **Urban Forestry and Urban Greening**, 34(August 2017), 121–133. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.06.007>

BROWN, R. A., & HUNT, W. F. (2011). Impacts of Media Depth on Effluent Water Quality and Hydrologic Performance of Undersized Bioretention Cells. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, 137(3), 132–143. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ir.1943-4774.0000167](https://doi.org/10.1061/(asce)ir.1943-4774.0000167)

BUZZARD, V., GIL-LOAIZA, J., GRAF GRACHET, N., TALKINGTON, H., YOUNGERMAN, C., TFAILY, M. M., & MEREDITH, L. K. (2021). Green infrastructure influences soil health: Biological divergence one year after installation. **Science of the Total Environment**, 801. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149644>

CARSTENS, D., & AMER, R. (2019). Spatial-temporal analysis of urban changes and surface water quality. **Journal of Hydrology**, 569(August 2018), 720–734. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.12.033>

CHAFFIN, B. C., SHUSTER, W. D., GARMESTANI, A. S., FURIO, B., ALBRO, S. L., GARDINER, M., SPRING, M. L., & GREEN, O. O. (2016). A tale of two rain gardens: Barriers and bridges to adaptive management of

urban stormwater in Cleveland, Ohio. **Journal of Environmental Management**, 183, 431–441. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.06.025>

CHAN, F. K. S., GRIFFITHS, J. A., HIGGITT, D., XU, S., ZHU, F., TANG, Y. T., XU, Y., & THORNE, C. R. (2018). “Sponge City” in China—A breakthrough of planning and flood risk management in the urban context. **Land Use Policy**, 76(March), 772–778. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.03.005>

CHANDRASENA, G. I., DELETIC, A., & MCCARTHY, D. T. (2016). Biofiltration for stormwater harvesting: Comparison of *Campylobacter* spp. and *Escherichia coli* removal under normal and challenging operational conditions. **Journal of Hydrology**, 537, 248–259. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.03.044>

CHURCH, S. P. (2015). Exploring Green Streets and rain gardens as instances of small-scale nature and environmental learning tools. **Landscape and Urban Planning**, 134, 229–240. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.021>

COLEMAN, S., HURLEY, S., RIZZO, D., KOLIBA, C., & ZIA, A. (2018). From the household to watershed: A cross-scale analysis of residential intention to adopt green stormwater infrastructure. **Landscape and Urban Planning**, 180(September), 195–206. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.09.005>

CUI, L., RUPPRECHT, C. D. D., & SHIBATA, S. (2021). Climate-responsive green-space design inspired by traditional gardens: Microclimate and human thermal comfort of Japanese gardens. **Sustainability (Switzerland)**, 13(5), 1–23. <https://doi.org/10.3390/su13052736>

DALL'ARA, E., MAINO, E., GATTA, G., TORREGGIANI, D., & TASSINARI, P. (2019). Green Mobility Infrastructures. A landscape approach for roundabouts' gardens applied to an Italian case study. **Urban Forestry and Urban Greening**, 37(July 2017), 109–125. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.03.011>

DER. (1999). Low-Impact Development Design Strategies an Integrated Design Approach Low-Impact Development: An Integrated Design Approach. **Department of Environment Resource**.

DER - Department of Environmental Resources. (2007). Bioretention Manual, Prince George's County, Maryland. In **Environmental Services Division Department of Environmental Resources**.

DIETZ, M. E., & CLAUSEN, J. C. (2006). Saturation to improve pollutant retention in a rain garden. **Environmental Science and Technology**, 40(4), 1335–1340. <https://doi.org/10.1021/es051644f>

DING, L., REN, X., GU, R., & CHE, Y. (2019). Implementation of the “sponge city” development plan in China: An evaluation of public willingness to pay for the life-cycle maintenance of its facilities. **Cities**, 93(500), 13–30. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.04.007>

EBRAHIMIAN, A., WADZUK, B., & TRAVER, R. (2019). Evapotranspiration in green stormwater infrastructure systems. **Science of the Total Environment**, 688, 797–810. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.256>

FAJARDO-HERRERA, R. J., VALDELAMAR-VILLEGAS, J. C., & MOUTHON BELLO, J. (2019). A Rain Garden for Nitrogen Removal from Storm Runoff in Tropical Cities. **Revista de Ciencias Ambientales**, 53(2), 132–146. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/ambientales/article/view/12097>

FLYNN, K. M., & TRAVER, R. G. (2013). Green infrastructure life cycle assessment: A bio-infiltration case study. **Ecological Engineering**, 55, 9–22. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.01.004>

FOWDAR, H., PAYNE, E., DELETIC, A., ZHANG, K., & MCCARTHY, D. (2022). Advancing the Sponge City Agenda: Evaluation of 22 plant species across a broad range of life forms for stormwater management. **Ecological Engineering**, 175(December 2021), 11. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106501>

GAO, J., LI, J., LI, Y., XIA, J., & LV, P. (2021). A Distribution Optimization Method of Typical LID Facilities for Sponge City Construction. **Ecohydrology and Hydrobiology**, 21(1), 13–22. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2020.09.003>

GÉHÉNIU, N., FUAMBA, M., I, MAHAUT, V., GENDRON, M. R., & DUGUÉ, M. (2015). Monitoring of a Rain Garden in Cold Climate: Case Study of a Parking

- Lot near Montréal. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, 141(6), 04014073. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ir.1943-4774.0000836](https://doi.org/10.1061/(asce)ir.1943-4774.0000836)
- GU, C., COCKERILL, K., ANDERSON, W. P., SHEPHERD, F., GROOTHUIS, P. A., MOHR, T. M., WHITEHEAD, J. C., RUSSO, A. A., & ZHANG, C. (2019). Modelling effects of low impact development on road salt transport at watershed scale. **Journal of Hydrology**, 574(April), 1164–1175. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.04.079>
- GUASSELLI, F. & CASARIN, V. (2022). Preferências paisagísticas no entorno de rios urbanos: uma revisão. **Mix Sustentável**, Florianópolis, 8 (4) 141-147. <http://dx.doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2022.v8.n4.%p>
- GUO, C., LI, J., LI, H., & LI, Y. (2019). Influences of stormwater concentration infiltration on soil nitrogen, phosphorus, TOC and their relations with enzyme activity in rain garden. **Chemosphere**, 233, 207–215. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.05.236>
- GUO, C., LI, J., LI, H., ZHANG, B., MA, M., & LI, F. (2018). Seven-year running effect evaluation and fate analysis of rain gardens in Xi'an, Northwest China. **Water (Switzerland)**, 10(7). <https://doi.org/10.3390/w10070944>
- GUO, J. C. Y., & LUU, T. M. (2015). Operation of Cap Orifice in a Rain Garden. **Journal of Hydrologic Engineering**, 20(10), 06015002. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)he.1943-5584.0001184](https://doi.org/10.1061/(asce)he.1943-5584.0001184)
- HAN, R., LI, J., LI, Y., XIA, J., & GAO, X. (2021). Comprehensive benefits of different application scales of sponge facilities in urban built areas of northwest China. **Ecohydrology and Hydrobiology**, 21(3), 516–528. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2021.08.008>
- HEIDARI, B., SCHMIDT, A. R., & MINSKER, B. (2022). Cost/benefit assessment of green infrastructure: Spatial scale effects on uncertainty and sensitivity. **Journal of Environmental Management**, 302(PA), 114009. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114009>
- HONG, J., GERONIMO, F. K., CHOI, H., & KIM, L. H. (2018). Impacts of nonpoint source pollutants on microbial community in rain gardens. **Chemosphere**, 209, 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.06.062>
- HOOVER, F. A., PRICE, J. I., & HOPTON, M. E. (2020). Examining the effects of green infrastructure on residential sales prices in Omaha, Nebraska. **Urban Forestry and Urban Greening**, 54(October 2019), 126778. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126778>
- HUA, P., YANG, W., QI, X., JIANG, S., XIE, J., GU, X., LI, H., ZHANG, J., & KREBS, P. (2020). Evaluating the effect of urban flooding reduction strategies in response to design rainfall and low impact development. **Journal of Cleaner Production**, 242, 118515. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118515>
- JIA, Z., TANG, S., LUO, W., LI, S., & ZHOU, M. (2016). Small scale green infrastructure design to meet different urban hydrological criteria. **Journal of Environmental Management**, 171, 92–100. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.01.016>
- JOHNSTON, M. R., BALSTER, N. J., & THOMPSON, A. M. (2020). Vegetation alters soil water drainage and retention of replicate rain gardens. **Water (Switzerland)**, 12(11), 1–23. <https://doi.org/10.3390/w12113151>
- KARCZMARCZYK, A., & KAMINSKA, M. (2020). Phosphorus leaching from substrates commonly used in rain gardens. **E3S Web of Conferences**, 171, 1–5. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017101003>
- KAYKHOSRAVI, S., KHAN, U. T., & JADIDI, M. A. (2022). A simplified geospatial model to rank LID solutions for urban runoff management. **Science of the Total Environment**, 831(March), 14. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154937>
- KHAN, U. T., VALEO, C., CHU, A., & VAN DUIN, B. (2012a). Bioretention cell efficacy in cold climates: Part 1 - hydrologic performance. **Canadian Journal of Civil Engineering**, 39(11), 1210–1221. <https://doi.org/10.1139/l2012-110>
- KHAN, U. T., VALEO, C., CHU, A., & VAN DUIN, B. (2012b). Bioretention cell efficacy in cold climates: Part 2 - water quality performance. **Canadian Journal of Civil Engineering**, 39(11), 1222–1233. <https://doi.org/10.1139/l2012-111>
- LAW, E. P., DIEMONT, S. A. W., & TOLAND, T. R. (2017). A sustainability comparison of green infrastructure interventions using emergy evaluation. **Journal of**

**Cleaner Production**, 145, 374–385. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.039>

LI, F., CHEN, J., ENGEL, B. A., LIU, Y., WANG, S., & SUN, H. (2021). Assessing the effectiveness and cost efficiency of green infrastructure practices on surface runoff reduction at an urban watershed in China. **Water (Switzerland)**, 13(1). <https://doi.org/10.3390/w13010024>

LIM, H. S., & LU, X. X. (2016). Sustainable urban stormwater management in the tropics: An evaluation of Singapore's ABC Waters Program. **Journal of Hydrology**, 538, 842–862. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.04.063>

LIU, K., LI, J., XIA, J., GAO, X., GAO, J., & JIANG, C. (2022). Study on LID Facilities Comprehensive Effect Evaluation: A case in Campus. **Ecohydrology & Hydrobiology**, Volume 22, Issue 3, July 2022, Pages 530-540. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2022.04.001>

MA, Y., NALL, J., & O'BANNON, D. (2018). Assessment of Orifice-Controlled Flow Monitoring Device for Rain Garden Performance. **Journal of Sustainable Water in the Built Environment**, 4(2), 05018002. <https://doi.org/10.1061/jswbay.0000855>

Management Environmental Services Sustainable - MESS. (2005). **NE Siskiyou Green Street Project**. <https://www.portlandoregon.gov/bes/article/78299>

MANQUIZ-REDILLAS, M. C., & KIM, L. H. (2016). Evaluation of the capability of low-impact development practices for the removal of heavy metal from urban stormwater runoff. **Environmental Technology (United Kingdom)**, 37(18), 2265–2272. <https://doi.org/10.1080/09593330.2016.1147610>

MEHRING, A. S., HATT, B. E., KRAIKITTIKUN, D., ORELO, B. D., RIPPY, M. A., GRANT, S. B., GONZALEZ, J. P., JIANG, S. C., AMBROSE, R. F., & LEVIN, L. A. (2016). Soil invertebrates in Australian rain gardens and their potential roles in storage and processing of nitrogen. **Ecological Engineering**, 97, 138–143. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.09.005>

MELO, TA, COUTINHO, A, CABRAL, J. J., ANTÔNIO C. D. ANTONINO, & CIRILO, J. A. (2014). Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais

urbanas. **Ambiente Construído**, 14(4), 147–165.

MENG, T., & HSU, D. (2019). Stated preferences for smart green infrastructure in stormwater management. **Landscape and Urban Planning**, 187(March), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.03.002>

MORASH, J., WRIGHT, A., LEBLEU, C., MEDER, A., KESSLER, R., BRANTLEY, E., & HOWE, J. (2019). Increasing sustainability of residential areas using rain gardens to improve pollutant capture, biodiversity and ecosystem resilience. **Sustainability (Switzerland)**, 11(12). <https://doi.org/10.3390/SU11123269>

NICHOLS, W., WELKER, A., TRAVER, R., & TU, M. "PETER". (2021). Modelling Seasonal Performance of Operational Urban Rain Garden Using HYDRUS-1D. **Journal of Sustainable Water in the Built Environment**, 7(3), 04021005. <https://doi.org/10.1061/jswbay.0000941>

OBWB. (2021). Slow it. Spread it. Sink it! (Second Edi). Okanagan Basin Water Board. [www.okwaterwise.ca](http://www.okwaterwise.ca)

PAULIN, M., REMME, R. P., & DENIJS, T. (2019). Amsterdam's Green Infrastructure: Valuing Nature's Contributions to People. **RIVM Letter report 2019-0021**, 79.

PENNINO, M. J., MCDONALD, R. I., & JAFFE, P. R. (2016). Watershed-scale impacts of stormwater green infrastructure on hydrology, nutrient fluxes, and combined sewer overflows in the mid-Atlantic region. **Science of the Total Environment**, 565, 1044–1053. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.101>

PERALES-MOMPARLER, S., ANDRÉS-DOMÉNECH, I., HERNÁNDEZ-CRESPO, C., VALLÉS-MORÁN, F., MARTÍN, M., ESCUDER-BUENO, I., & ANDREU, J. (2017). The role of monitoring sustainable drainage systems for promoting transition towards regenerative urban built environments: a case study in the Valencian region, Spain. **Journal of Cleaner Production**, 163, 113–124. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.153>

QIN, Y. (2020). Urban flooding mitigation techniques: A systematic review and future studies. **Water (Switzerland)**, 12(12). <https://doi.org/10.3390/w12123579>

RAINEY, W., MCHALE, M., & ARABI, M. (2022). Characterization of co-benefits of green stormwater infrastructure across ecohydrologic regions in the United

States. **Urban Forestry & Urban Greening**, 70(February), 127514. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127514>

REIS, R., & ILHA, M. (2014). Comparação de desempenho hidrológico de sistemas de infiltração de água de chuva: poço de infiltração e jardim de chuva. **Ambiente Construído**, 14(2), 79–90.

ROSENBERGER, L., LEANDRO, J., PAULEIT, S., & ERLWEIN, S. (2021). Sustainable stormwater management under the impact of climate change and urban densification. **Journal of Hydrology**, 596, 11. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2021.126137>

ROY, A. H., RHEA, L. K., MAYER, A. L., SHUSTER, W. D., BEAULIEU, J. J., HOPTON, M. E., MORRISON, M. A., & ST AMAND, A. (2014). How much is enough? Minimal responses of water quality and stream biota to partial retrofit stormwater management in a suburban neighborhood. **PLoS ONE**, 9(1), 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085011>

SHAFIQUE, M., KIM, R., & RAFIQ, M. (2018). Green roof benefits, opportunities and challenges – A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 90(March), 757–773. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.006>

SHIN, D. W., & MCCANN, L. (2018). Enhancing Adoption Studies: The Case of Residential Stormwater Management Practices in the Midwest. **Agricultural and Resource Economics Review**, 47(1), 32–65. <https://doi.org/10.1017/age.2017.3>

SILVA, G. N., ALVES, L. D., SANTOS, I. E. DOS; BILA, D. M., JÚNIOR, A. A. O., & CORRÊA, S. M. (2020). An assessment of atmospheric deposition of metals and the physico - chemical parameters of a rainwater harvesting system in Rio de Janeiro Brazil, by means of statistical multivariate analysis. **Revista Ambiente e Água**, 15(4). <https://doi.org/10.4136>

SIWIEC, E., ERLANDSEN, A. M., & VENNEMO, H. (2018). City Greening by Rain Gardens - Costs and Benefits. **Ochrona Srodowiska i Zasobow Naturalnych**, 29(1), 1–5. <https://doi.org/10.2478/oszn-2018-0001>

SNYDER, H. (2019). Literature review as a research methodology: an overview and guidelines. **Journal of Business Research**, 104, 333-339.

SØBERG, L. C., VIKLANDER, M., & BLECKEN, G. T. (2017). Do salt and low temperature impair metal treatment in stormwater bioretention cells with or without a submerged zone? **Science of the Total Environment**, 579, 1588–1599. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.179>

SONG, C. (2022). Application of nature-based measures in China's sponge city initiative: Current trends and perspectives. **Nature-Based Solutions**, 2(December 2021), 100010. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2022.100010>

STOBBELAAR, D. J., VAN DER KNAAP, W., & SPIJKER, J. (2022). Transformation towards Green Cities: Key Conditions to Accelerate Change. **Sustainability (Switzerland)**, 14(11), 1–16. <https://doi.org/10.3390/su14116410>

TARGA, M. DOS S., BATISTA, G. T., DINIZ, H. N., DIAS, N. W., & MATOS, F. C. DE. (2012). Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, 7(2), 120–142. <https://doi.org/10.4136/1980-993X>

TIRPAK, R. A., AFROOZ, A. N., WINSTON, R. J., VALENCA, R., SCHIFF, K., & MOHANTY, S. K. (2021). Conventional and amended bioretention soil media for targeted pollutant treatment: A critical review to guide the state of the practice. **Water Research**, 189, 17. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116648>

TRANFIELD, D., DENYER, D., SMART, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. **British Journal of Management**, 14(3), 207-222. <https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375>.

UACDC. (2010). LID - Low Impact Development: a design manual for urban areas. In University of Arkansas Press (Vol. 1). **University of Arkansas Press**. <https://doi.org/10.4324/9780429281235-2>

URETA, J., MOTALLEBI, M., SCARONI, A. E., LOVELACE, S., & URETA, J. C. (2021). Understanding the public's behaviour in adopting green stormwater infrastructure. **Sustainable Cities and Society**, 69(March), 102815. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102815>

VALINSKI, N. A., & CHANDLER, D. G. (2015). Infiltration performance of engineered surfaces commonly used for distributed stormwater management. **Journal of Environmental Management**, 160, 297–305. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.06.032>

WANG, H., SUN, Y., ZHANG, L., WANG, W., & GUAN, Y. (2021). Enhanced nitrogen removal and mitigation of nitrous oxide emission potential in a lab-scale rain garden with internal water storage. **Journal of Water Process Engineering**, 42, 9. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102147>

WANG, J., CHUA, L. H. C., & SHANAHAN, P. (2019). Hydrological modelling and field validation of a bioretention basin. **Journal of Environmental Management**, 240(November 2018), 149–159. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.090>

WANG, R., ZHANG, X., & LI, M. H. (2019). Predicting bioretention pollutant removal efficiency with design features: A data-driven approach. **Journal of Environmental Management**, 242(April), 403–414. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.064>

WILFONG, M. T., CASEY, R. E., & OWNBY, D. R. (2021). Performance of commercially available soil amendments for enhanced Cu attenuation in bioretention media. **Journal of Environmental Management**, 295, 9. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113047>

WILKERSON, B., ROMANENKO, E., & BARTON, D. N. (2022). Modelling reverse auction-based subsidies and stormwater fee policies for Low Impact Development (LID) adoption: a system dynamics analysis. **Sustainable Cities and Society**, 79(December 2021), 18. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103602>

XU, C., TANG, T., JIA, H., XU, M., XU, T., LIU, Z., LONG, Y., & ZHANG, R. (2019). Benefits of coupled green and grey infrastructure systems: Evidence based on analytic hierarchy process and life cycle costing. **Resources, Conservation and Recycling**, 151(April), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104478>

YUAN, J., & DUNNETT, N. (2018). Plant selection for rain gardens: Response to simulated cyclical flooding of 15 perennial species. **Urban Forestry and**

**Urban Greening**, 35(January), 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.08.005>

YUE, C., LI, L. Y., & JOHNSTON, C. (2018). Exploratory study on modification of sludge-based activated carbon for nutrient removal from stormwater runoff. **Journal of Environmental Management**, 226(July), 37–45. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.07.089>

ZHANG, K., DELETIC, A., PAGE, D., & MCCARTHY, D. T. (2015). Surrogates for herbicide removal in stormwater biofilters. **Water Research**, 81, 64–71. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.05.043>

ZHANG, Z., LI, J., JIANG, C., LI, Y., & ZHANG, J. (2022). Impact of nutrient removal on microbial community in bioretention facilities with different underlying types/built times at field scale. **Ecological Engineering**, 176(June 2021), 106542. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106542>

## AUTORES

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5688-9142>

**FABIO RIBEIRO GONDIM, Msc.** | Doutorado em Engenharia Ambiental (DEAMB) | Rio de Janeiro-RJ | Rua São Francisco Xavier 524, 5008-E. Maracanã - Rio de Janeiro - CEP 20550-900 | [gondimfr@gmail.com](mailto:gondimfr@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0772-9334>

**ALFREDO AKIRA OHNUMA JR, Dr.** | Universidade do Estado do Rio de Janeiro - Engenharia Ambiental - Rio de Janeiro-RJ - Rua São Francisco Xavier 524, 5008-E. Maracanã - Rio de Janeiro - CEP 20550-900 | [akira@eng.uerj.br](mailto:akira@eng.uerj.br)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7322-9223>

**MARCELO OBRACZKA, Dr.** | Universidade do Estado do Rio de Janeiro - Curso: Engenharia Sanitária e Ambiental - Rio de Janeiro-RJ | Rua São Francisco Xavier 524, 5029F. Maracanã - Rio de Janeiro - CEP 20550-900

## COMO CITAR ESTE ARTIGO

GONDIM, Fábio; OHNUMA JR., Alfredo Akira; OBRACZKA, Marcelo. *MIX Sustentável*, v. 9, n. 5, p. 201-215, 2023. ISSN 2447-3073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: [\\_/\\_/\\_.doi: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n5.201-215>](https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n5.201-215).

**SUBMETIDO EM:** 20/06/2023

**ACEITO EM:** 22/09/2023

**PUBLICADO EM:** 31/10/2023

**EDITORES RESPONSÁVEIS:** Lisiane Ilha Librelotto e Paulo Cesar Machado Ferroli

**Registro da contribuição de autoria:**

Taxonomia CRediT (<http://credit.niso.org/>)

FRG: conceituação, curadoria de dados, análise formal, investigação, metodologia, administração de projetos, programas, validação, visualização, escrita - rascunho original.

AAO: conceituação, supervisão, visualização, escrita - rascunho original, escrita - revisão & edição.

MO: conceituação, metodologia, supervisão, visualização, escrita - rascunho original, escrita - revisão & edição.

**Declaração de conflito:** nada foi declarado.