IX-916 - JARDINS DE CHUVA E DISPOSITIVOS DE DRENAGEM POR MEIO DE INFILTRAÇÃO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Aislan Cazéli do Calvario[(1)]
Arquiteto e Urbanista pelas Faculdades Integradas de Aracruz (FAACZ). Especialista em Engenharia de Infraestrutura Urbana pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (Ifes). Arquiteto Urbanista na Secretaria de Estado da Saúde do Espírito Santo (SESA). Mestrando em Tecnologias Sustentáveis no Ifes.
Carla Roberto Grobério[(2)]
Técnica em Química pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (Ifes). Cursando Engenharia Sanitária e Ambiental no Ifes.
Jônio Ferreira e Souza[(3)]
Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Espírito Santo(UFES). Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Doutor em Geotecnia Ambiental pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Professor titular do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (Ifes).
Mariângela Dutra de Oliveira[(4)]
Engenheira Civil pela Escola de Engenharia Kennedy. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Professora titular do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (Ifes).

Endereço[(1)]**:** Avenida Marechal Mascarenhas de Moraes, 2528, apartamento 202, Bairro Jesus de Nazareth – Vitória - ES – CEP 29052015 – Brasil – Tel: (27) 99744-7519 – e-mail: aislancazeli@gmail.com

RESUMO

No processo de transformação das áreas naturais para a criação e expansão de áreas urbanas houve uma intensa impermeabilização das superfícies, as fazendo perder a capacidade natural de drenagem das águas pluviais. Passou-se a fazer o uso de técnicas artificiais de armazenamento, onde o escoamento artificial passou a ser feito com uso de tubulações conduzindo as águas de chuva ao ponto de destinação final, à jusante das cidades (modelo higienista).
Com o passar das décadas, após se verificar a ineficiência destes sistemas, o modelo ambientalista, com o uso de técnicas de drenagem compensatórias, como dispositivos de infiltração e armazenamento, passou a ser utilizado, mas ainda de forma incipiente. Dentro do modelo ambientalista, se tem os jardins de chuva, cuja função é diminuir a pressão em cima da rede urbana de drenagem e aumentar a oferta de águas de chuva para os lençóis freáticos.
Há uma gama de dissertações e teses a respeito de jardim de chuva e visando conhecer estes trabalhos elaborou-se esta revisão sistemática da literatura, abordando jardim de chuva e outros dispositivos de drenagem na fonte, onde se identificou parâmetros, condições de implantação e operação que poderão subsidiar políticas públicas sobre o tema.
Foram selecionados para a revisão sistemática da literatura (RSL) um total de 35 dissertações de mestrado e oito teses de doutorado, com a Universidade de São Paulo e a Universidade Federal de Pernambuco a frente no número de produções, com um total de cinco para cada instituição. Os jardins de chuva aparecem em 16 produções, enquanto outros dispositivos aparecem em 27. Das 16 produções, cinco abordam o emprego do jardim de chuva nas ruas, enquanto 11, abordam a aplicação nos lotes. As produções apresentam parâmetros relacionados a percentual da área de contribuição utilizada no dimensionamento; tempo de chuva e retorno; infiltração; vegetação; materiais de camadas de solos e armazenamento; faixas de porosidade e distâncias do lençol freático.

PALAVRAS-CHAVE: Jardins de chuva, biorretenções, infiltração, drenagem compensatória, sustentabilidade.

1 INTRODUÇÃO

Os seres humanos causam transformações nos ambientes naturais para criar ambientes artificiais que os permitam desenvolver suas mais variadas atividades antrópicas. Parte dessas transformações é a impermeabilização das superfícies, as fazendo perder a capacidade natural de drenagem das águas de chuva por meio de infiltração nos solos ocasionando alteração nos ciclos hidrológicos. Com a diminuição da recarga nos lençóis freáticos ocorre o aumento significativo do escoamento superficial das águas de chuva e a redução da evapotranspiração (MELO, 2011).

No primeiro momento, o escoamento artificial destes ambientes passou a ser feito por meio de modelo higienista de drenagem, com utilização de pontos de captação de águas de chuva que são conduzidas por tubulações ao ponto de destinação final, geralmente à jusante das cidades. Com o passar das décadas, após se verificar a ineficiência de sistemas higienistas, o modelo ambientalista, com o uso de técnicas de drenagem compensatórias, como dispositivos de infiltração e armazenamento, passou a ser utilizados, mas ainda de forma incipiente (REIS, 2018).

As cidades têm a ocupação e uso do solo por meio de lotes urbanos, e estes podem receber pequenos dispositivos de drenagem na fonte, como jardins de chuva, que funcionam como dispositivo auxiliares de drenagem (REIS, 2018). A proposta é que estes sistemas possam minimizar os problemas de drenagem de toda a cidade, sendo operado pelo próprio usuário.

A função dos jardins de chuva no interior dos lotes urbanos, é diminuir a pressão em cima de rede urbana de drenagem e aumentar a oferta de águas de chuva para os lençóis freáticos, ao contrário de sistemas concebidos para reservar águas que venham a ser utilizados para fins não potáveis ou destinados a reduzir os picos de vazão para a rede urbana de drenagem.

Há uma gama de produções a respeito de jardim de chuva e visando complementar o trabalho desenvolvido por Calvario e Oliveira (2022), pretende-se neste estudo, verificar o que vem sendo produzido nos cursos de pós-graduação sobre o tema. Pelo fato de o jardim de chuva possuir características comuns de infiltração com outros dispositivos, este estudo irá contemplar também outros sistemas de drenagem por infiltração.

2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é apresentar uma revisão sistemática sobre jardim de chuva, identificando parâmetros, condições de implantação e operação que poderão subsidiar políticas públicas sobre o tema.

3 METODOLOGIA

A metodologia proposta por Okoli (2019) foi utilizada para o desenvolvimento da revisão sistemática da literatura sobre jardim de chuva, tendo como foco trabalhos científicos desenvolvidos nos cursos de pós-graduação no Brasil, conforme abaixo descrito:

- Bases de busca: Catálogo de Teses e; Dissertações e Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações – BDTD, ambas na relação das bases do portal CAPES;
- Descritores: utilizou-se descritores, em língua portuguesa, que remetessem ao jardim de chuva e dispositivos de infiltração de águas pluviais;
- Operadores boleanos: utilizou-se o operador OU, com a expectativa de se obter um maior número de produções;
- Tipo de material: dissertações de mestrado e teses de doutorado;
- Idioma: português;
- Período de publicação: de 2001 a 2022, 11 anos por entender que um período relativamente atual;
- Seleção prática: realizada em duas etapas sendo a primeira a partir da leitura de título e resumo e a segunda com a leitura integral das produções;
- Buscas bibliográficas: foram realizadas duas buscas, sendo a primeira no dia 09/12/2022 e a segunda no dia 16/12/2022;
- Identificação das dissertações de mestrado e teses de doutorado com extração de dados;
- Escrita da revisão, com elaboração de elementos gráficos relacionados a bibliometria e identificação das variáveis de interesse para o estudo.

O quadro 1 apresenta os parâmetros de buscas realizadas com as datas das buscas, descritores utilizados e o total de ocorrências entre teses de doutorado e dissertações de mestrado, para produções entre 2001 e 2022.

Quadro 1: Parâmetros e resultados de busca

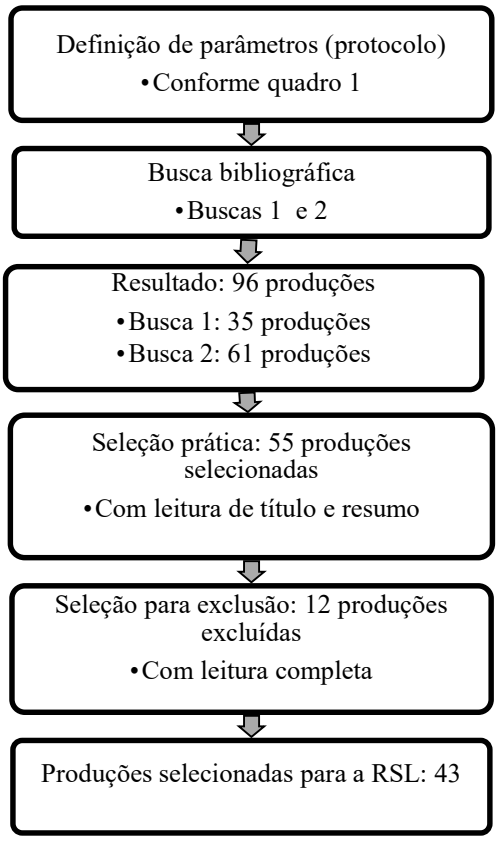
Busca	1	2
Data	09/12/2022	16/12/2022
Base	CAFe CAPES (Catálogo de Teses e Dissertações)	CAFe CAPES (Biblioteca Digital de Teses e Dissertações - BDTD)
Descritores	"jardim de chuva" "biorretenção" "poço de infiltração" "vala de infiltração" "trincheira de infiltração"	"jardim de chuva" ou "biorretenção" ou "poço de infiltração" ou "vala de infiltração" ou "trincheira de infiltração"
Ocorrências	35	61

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

4 RESULTADOS OBTIDOS

No período de busca foram encontradas 96 produções entre teses e dissertações, sendo 35 documentos obtidos na primeira busca e 61 na segunda busca. Após a primeira seleção, com leitura de título e resumo, 41 produções foram excluídas, sendo 14 por não trazerem informações relevantes a respeito de parâmetros e condições de implantação e operação e 28 por repetição, restando 55 para serem lidos na íntegra. Das 55 produções selecionadas para leitura na íntegra, 12 foram excluídos por não atender a critérios definidos neste estudo, restando desta forma 43 produções para a RSL. A figura 1 representa o esquema que começou com a definição de parâmetros de buscas até se chegar na quantidade de produções que foram utilizadas na escrita de revisão bibliográfica.

Figura 1: Fluxograma



Fonte: Elaborado pelos autores

As produções selecionadas foram organizadas no quadro 2, onde consta a referência, o título e a instituição que foi elaborada.

Quadro 2: Identificação das produções selecionadas

Referência	Título	Universidade	Dissertação
Alvarez (2017)	Gestão sustentável de águas pluviais no parque urbano Ary Barroso, Rio de Janeiro - RJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro	Dissertação
Azevedo (2019)	Biorretenção: Tecnologia alternativa para manejo de águas pluviais urbanas aplicada a João Pessoa, PB	Universidade Federal da Paraíba	Dissertação
Barros (2021)	Jardim de chuva: técnicas em manejo de águas pluviais urbanas, alternativa mitigatória de alagamentos no espaço interno da Poli	Universidade de Pernambuco	Dissertação
Belotti (2011)	Capacidade de retenção de metais pesados pelo solo em área de implantação de estruturas de infiltração para águas pluviais urbanas em Belo Horizonte/MG	Universidade Federal de Minas Gerais	Tese
Bezerra (2018)	Dinâmica da água em trincheira de infiltração em lote urbano	Universidade Federal de Pernambuco	Dissertação
Braga (2017)	Estudo de remoção de poluentes de águas da drenagem urbana por um dispositivo de biorretenção	Universidade Federal da Alagoas	Dissertação
Cadore, 2016	Critérios de dimensionamento de biorretenções	Universidade Federal de Santa Maria	Dissertação
Caputo (2012)	Avaliação do potencial de utilização de trincheiras de infiltração em espaços com urbanização consolidada / estudo de caso do município de Belo Horizonte - MG	Universidade Federal de Minas Gerais	Dissertação
Cárdenas (2017)	Avaliação dos sistemas urbanos de drenagem sustentável mediante o modelo Urban Water Use (UWU) em área urbana da cidade de Curitiba	Universidade Federal do Paraná	Dissertação
Cardoso (2021)	Avaliação do funcionamento de um sistema de biorretenção através da fitorremediação para jardins de chuva em áreas urbanas	Universidade Estadual do Oeste do Paraná	Dissertação
Carvalho (2013)	Avaliação geotécnica de poços de infiltração de águas pluviais	Universidade de Brasília	Tese
Cunha (2019)	Efeitos de utilização de biorretenção em uma área urbana: análises quantitativas em função do código de urbanismo e edificações de Maceió-AL	Universidade Federal da Alagoas	Dissertação
Daniel Junior (2013)	Avaliação de uma biorretenção como estrutura sustentável de drenagem urbana	Universidade Federal de Santa Maria	Dissertação
Diniz (2022)	Desempenho de técnicas compensatórias na mitigação do perigo de inundações em uma bacia urbanizada fechada	Universidade Federal do Rio Grande do Norte	Dissertação

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Quadro 2: Identificação das produções selecionadas (continuação)

Referência	Título	Universidade	Dissertação
Feitosa (2015)	Avaliação do uso de trincheiras de infiltração para atenuação de picos de cheia utilizando o SWMM	Universidade Federal do Ceará	Dissertação
Fensterseifer (2020)	Infraestruturas verdes na amenização de impactos da urbanização: controle pluvial com biorretenção e efeito térmico de fachada verde em residência	Universidade Federal de Santa Maria	Dissertação
Ferreira (2016)	Avaliação do comportamento hidrológico de poços de infiltração de águas pluviais sob diferentes concepções	Universidade Federal de São Carlos	Dissertação
Ferreira, (2017)a	Tempo de enchimento de pavimentos permeáveis e poços de infiltração de água pluvial: analogia com fluxo de calor em meios sólidos	Universidade Estadual de Campinas	Tese
Ferreira, (2017)b	Avaliação do funcionamento de um dispositivo de biorretenção: monitoramento e modelagem	Universidade Federal de Alagoas	Dissertação
Froemming (2019)	Potencial de aplicação e otimização de técnicas de desenvolvimento de baixo impacto na gestão de águas pluviais urbanas	Universidade Federal de Santa Maria	Dissertação
Gutierrez (2011)	Avaliação da qualidade da água de chuva e de um sistema filtro-vala-trincheira de infiltração no tratamento do escoamento superficial direto predial em escala real em São Carlos - SP	Universidade Federal de São Carlos	Dissertação
Kawatoco (2019)	Estabelecimento de cenários de medidas estruturais e não-estruturais para gestão das águas urbanas em escala de lote	Universidade de São Paulo	Dissertação
Lopes (2020)	Integração de algoritmos genéticos ao modelo hidrológico SWMM na otimização de sistemas de drenagem urbana sustentável	Universidade Federal da Paraíba	Dissertação
Lucas (2011)	Monitoramento e modelagem de um sistema filtro - vala - trincheira de infiltração em escala real	Universidade Federal de São Carlos	Dissertação
Martins (2017)	Avaliação do potencial de aplicação de técnicas compensatórias em áreas urbanas consolidadas	Universidade de São Paulo	Tese
Melo (2011)	Jardim de chuva: sistema de biorretenção como técnica compensatória no manejo de águas pluviais urbanas	Universidade Federal de Pernambuco	Dissertação
Melo (2015)	Avaliação hidrodinâmica de trincheira de infiltração no manejo das águas pluviais	Universidade Federal de Pernambuco	Tese
Mendes (2018)	A fitorremediação como estratégia de projeto para a sustentabilidade urbana	Universidade Estadual de Campinas	Dissertação
Mendes (2018)	Diretrizes ao planejamento urbano da bacia do córrego Suçuapara (Palmas-TO) com base em sua resposta hidrológico-hidráulica à diferentes cenários de ocupação	Universidade Federal do Tocantins	Dissertação

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

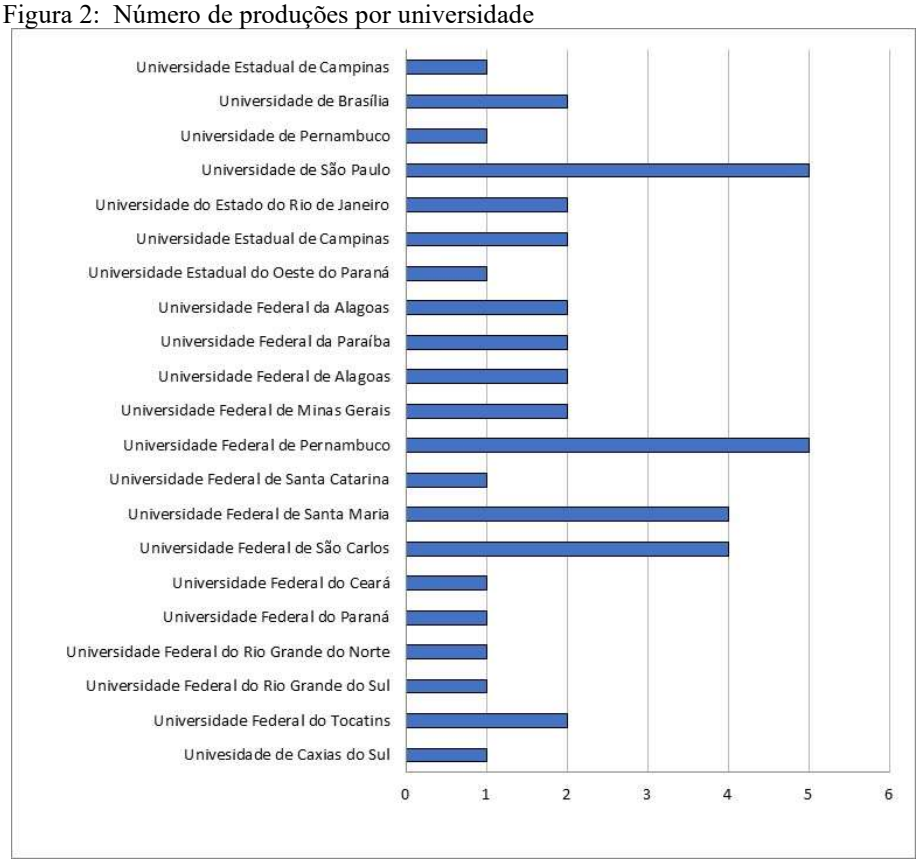
Quadro 2: Identificação das produções selecionadas (continuação)

Mendes (2019)	Dispositivos de drenagem urbana de baixo impacto para diminuição da vazão no sistema de microdrenagem da bacia urbana do córrego Brejo Comprido, Palmas – TO	Universidade Federal do Tocantins	Dissertação
Moura (2013)	Biorretenção: Tecnologia ambiental urbana para manejo das águas de chuva	Universidade de São Paulo	Tese
Ogawa (2019)	Avalição dos custos de implantação de técnicas compensatórias de drenagem urbana na Comunidade Jardim Vitória, Rio de Janeiro/RJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro	Dissertação
Oliveira (2021)	Sistema de drenagem urbana sustentável como estratégia para resiliência aos impactos das mudanças climáticas	Universidade de São Paulo	Dissertação
Pacheco (2015)	Avaliação quali-quantitativa de uma vala de infiltração pluvial em termos de retenção de contaminantes. Estudo de caso: Distrito de Campeche - Florianópolis Santa Cantarina	Universidade Federal de Santa Catarina	Dissertação
Reis (2018)	Avaliação de desempenho e modelagem numérica de sistemas de infiltração de água de chuva integrados aos sistemas prediais	Universidade Estadual de Campinas	Tese
Santos (2014)	Monitoramento e simulação hidráulica de uma trincheira de infiltração	Universidade Federal de Pernambuco	Dissertação
Santos (2019)	Medidas de controle de escoamento superficial na fonte por meio de dispositivos de infiltração e de reservação em conjuntos habitacionais verticalizados e horizontalizados	Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Dissertação
Silva (2012)	Estruturas de infiltração com utilização de materiais alternativos no controle de alagamentos, inundações e prevenção de processos erosivos	Universidade de Brasília	Tese
Silva (2016)	Análise da influência de microrreservatórios em um loteamento e seus efeitos em escala de bacia	Universidade de São Paulo	Dissertação
Silva (2018)	Modelagem de biorretenção com uso de modelo concentrado	Universidade Federal de Alagoas	Dissertação
Siviero (2018)	Avaliação do desempenho de poços de infiltração com características distintas como medida de contenção de drenagem urbana na fonte	Universidade de Caxias do Sul	Dissertação
Sobrinha (2012)	Monitoramento e modelagem de um poço de infiltração de águas pluviais em escala real e com filtro na tampa	Universidade Federal de São Carlos	Dissertação
Souza (2018)	Implantação, monitoramento e simulação de uma trincheira de infiltração em uma bacia urbana na cidade do Recife	Universidade Federal de Pernambuco	Dissertação

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

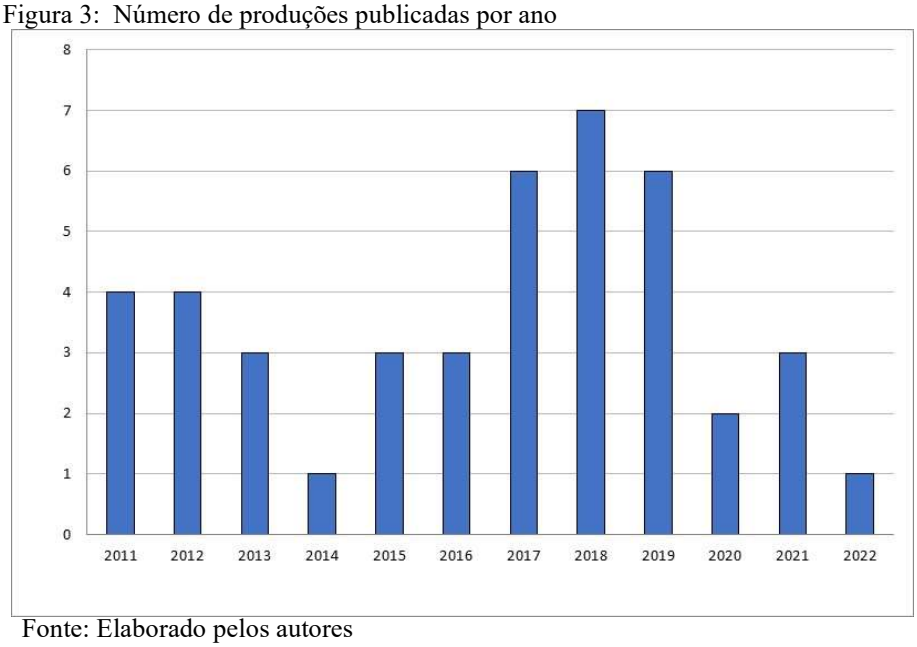
Entre as produções selecionadas, constatou-se um número de 35 dissertações de mestrado, e de oito teses de doutorado. Dentre as 21 instituições que apareceram nas buscas, a Universidade de São Paulo e a Universidade Federal de Pernambuco se destacam com cinco produções. No ano de 2018 ocorreu o maior número de produções apresentados nas buscas, com um total de sete, enquanto 2014 e 2022 ocorreu apenas um (Figura 3).

Figura 2: Número de produções por universidade



Fonte: Elaborado pelos autores

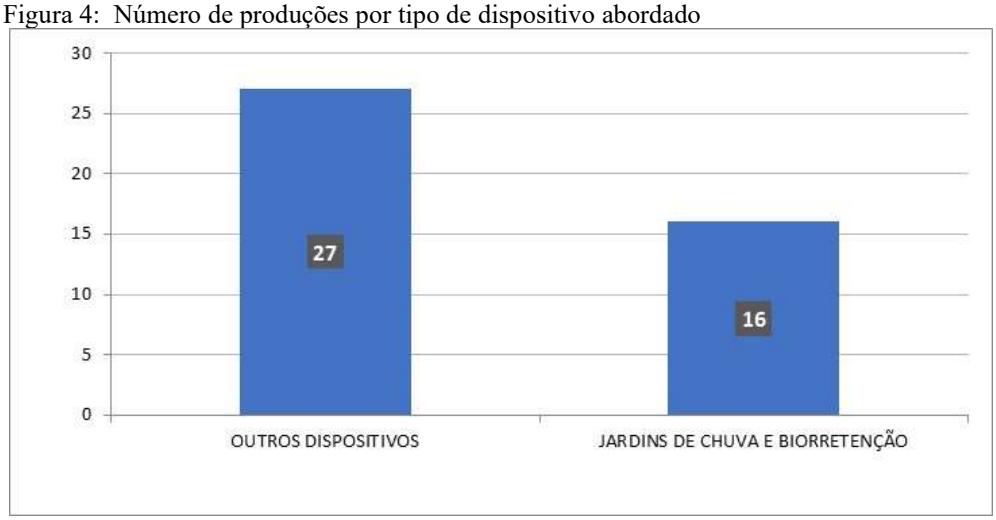
Figura 3: Número de produções publicadas por ano



Fonte: Elaborado pelos autores

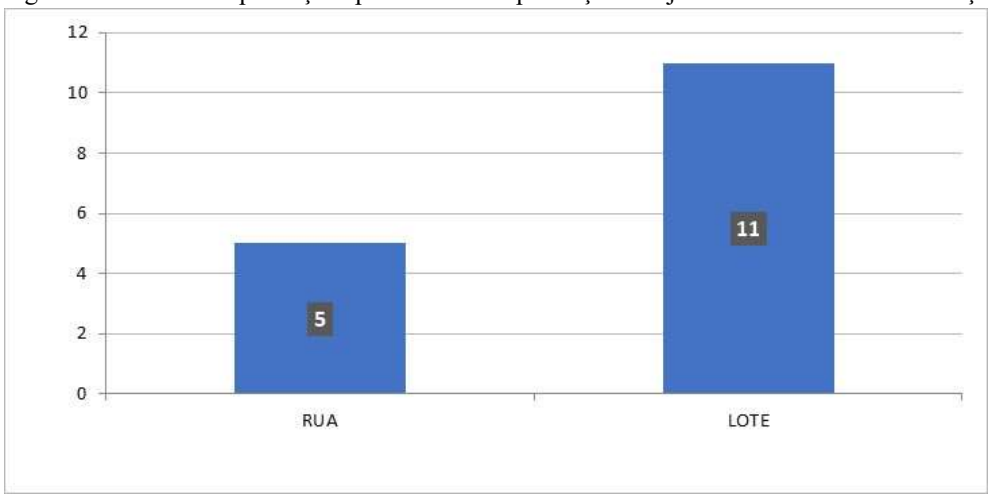
Destas 43 produções, 16 tratam de jardim de chuva e biorretenção e 27 tratam de outros dispositivos: trincheira de infiltração, pavimentos permeáveis, vala de detenção, telhado verde, bacia de detenção, poços de infiltração, microrreservatório, filtro-vala-trincheira de infiltração e reservatório (Figura 4). Dos dispositivos de jardim de chuva e biorretenção apresentados, cinco foram abordados para o uso nas ruas e 11 em lotes (Figura 5). Melo (2011) usa a nomenclatura biorretenção para se referir ao jardim de chuva que trabalha a destinação das águas de chuva por meio de infiltração e evapotranspiração, realizada com uso da vegetação. Porém, se percebe que alguns autores usam o termo biorretenção em dispositivos sem vegetação, como é o caso de Oliveira (2021). Dos jardins de chuva apresentados, a maioria faz a condução das águas de chuva por meio de infiltração, porém se pode direcionar a água também para a rede urbana de drenagem, como é o caso do modelo apresentado por Azevedo (2019).

Figura 4: Número de produções por tipo de dispositivo abordado



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 5: Número de produções por local de implantação dos jardins de chuva e biorretenções



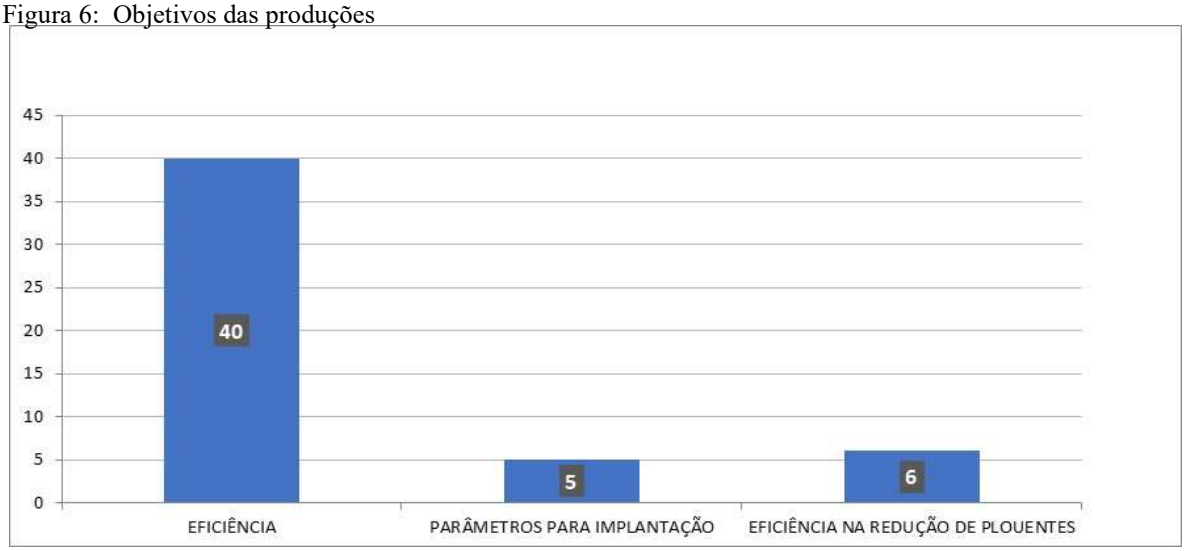
Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

As abordagens, de acordo com os objetivos gerais, estão relacionadas as categorias:

a) Eficiência: nesta categoria foram agrupados os objetivos relacionados a avaliação da capacidade de retenção, armazenamento e infiltração dos dispositivos e a avaliação de como os sistemas são utilizados no planejamento de uso e ocupação dos solos;
b) Parâmetros para implantação: diz respeito a investigação das condicionantes hidrológicas dos solos no dimensionamento e implantação dos dispositivos;
c) Eficiência na redução de poluentes: relacionado a avaliação do uso de dispositivos para diminuição de poluentes lançados na água e no solo.

A eficiência é recorrente, sendo abordada em 40 das 43 produções selecionadas; os parâmetros para implantação são enfatizados em cinco das 43 produções e os dispositivos como técnicas para redução de poluentes, são abordados em seis (Figura 6).

Figura 6: Objetivos das produções



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

É preciso ressaltar que o fato de se enfatizar uma área, não quer dizer que outra não seja abordada, pois ao se avaliar a eficiência de um dispositivo é necessário conhecer as características dos locais de implantação, como por exemplo a capacidade de infiltração dos solos e o nível do lençol freático, abordados na categoria parâmetros para implantação.

Nas 43 produções selecionadas nesta RSL, foram identificadas parâmetros, variáveis, condições de implantação e operação e características dos dispositivos que poderão subsidiar políticas sobre o tema. Estas informações foram categorizadas e serão apresentadas, analisadas e discutidas no capítulo a seguir.

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O dimensionamento e a concepção dos dispositivos, consideram os parâmetros comumente utilizados quando se trata de redes de drenagem tais como: área de contribuição; precipitação; tempo de concentração; coeficiente de escoamento; vazão de projeto; intensidade pluviométrica; tempo de chuva e tempo de retorno, cujos valores podem variar de acordo com os locais de estudo para implantação dos dispositivos.

No desenvolvimento desta RSL foram observadas outras variáveis relevantes para o projeto e concepção de jardins de chuva tais como: distância do lençol freático, tempo de infiltração da água da chuva, relação entre a área de coleta de água de chuva e área do dispositivo.

Foram identificados nos estudos os parâmetros e variáveis de maior interesse, como pontuado abaixo:

- Dados para dimensionamento: percentual da área de contribuição utilizada no dimensionamento; tempo de chuva; tempo de retorno;
- Infiltração: taxa de infiltração; tempo de infiltração;
- Composição dos dispositivos: vegetação; materiais das camadas de solo e armazenamento; porosidade.

Serão abordados a seguir algumas faixas de trabalho observadas para os parâmetros e variáveis de maior interesse, bem como as condições de implantação e operação que poderão subsidiar políticas públicas sobre o tema.

5.1 DADOS PARA DIMENSIONAMENTO

A área de contribuição corresponde a toda área impermeabilizada que se pretende direcionar para o dispositivo para fins do cálculo da vazão de projeto. Alguns autores indicam que somente parte da cobertura deve ser considerada no cálculo dos volumes de jardins de chuva (Quadro 4):

Quadro 4: Percentual de área de contribuição para o jardim de chuva

Referência	Percentual da área de contribuição utilizada no dimensionamento (%)	Referência	Percentual da área de contribuição utilizada no dimensionamento (%)
Barros (2021)	10,71	Melo (2011)	5,35
Bezerra (2018)	1,8	Melo (2015)	1,8
Braga (2017)	2,23	Oliveira (2021)	6,38
Cadore (2016)	9,41	Reis (2018)	4,75
Cunha (2019)	2,23	Santos (2014)	3,38
Fensterseifer (2020)	0,83	Silva (2016)	2
Ferreira (2017)b	2,14	-	-

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Os percentuais da área de contribuição considerados pelos autores variaram entre 0,83% (FENSTERSEIFER, 2020) e 10,71% (BARROS, 2021), não sendo apontado os motivos da adoção destes valores. Os valores abaixo de 5% diferem dos apresentados por Calvario e Oliveira (2022) que trabalharam com artigos produzidos em língua inglesa, onde a faixas observadas ficaram entre 5% e 40% sendo que, os autores Cui; Long; Wang, (2019), Herrera, et al. (2017) e Yuan; Dunnett; Stovin, (2017), indicam que percentuais acima de 20% não trazem resultados expressivos para a redução de escoamento.

Outros dados necessários para o dimensionamento de dispositivos de drenagem, são o tempo de chuva e o tempo de retorno, normalmente indicado em normas e bibliografias que tratam do dimensionamento de sistema de drenagem. A NBR 10844: 1989 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989) aponta que o tempo de chuva a ser adotado em projeto é de cinco minutos e que as taxas de retorno, chamada de período de retorno, é de um ano, par áreas pavimentadas, onde empoçamentos possam ser tolerados; cinco anos, para coberturas ou terraços e; 25 anos para coberturas e áreas onde empoçamento ou extravasamento não possam ser tolerados. Porém, o quadro 5 aponta a adoção de outras faixas de trabalho, com tempo de chuva variando entre cinco e 360 minutos e taxas de retorno variando entre um e 50 anos.

Quadro 5: Tempo de chuva e tempo de retorno

Referência	Tempo de chuva (minutos)	Tempo de retorno (anos)	Referência	Tempo de chuva (minutos)	Tempo de retorno (anos)
Alvarez (2017)	16	10	Kawatoco (2019)	10	10
Azevedo (2019)	60	5	Lopes (2020)	-	10, 25, 50
Barros (2021)	10	5	Martins (2017)	120	10
Belotti (2011)	-	1	Melo (2011)	15	5
Bezerra (2018)	-	5	Melo (2015)	-	5
Cadore (2016)	-	2	Mendes (2018)	66	2, 10, 25, 50, 100

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Quadro 5: Tempo de chuva e tempo de retorno (continuação)

Referência	Tempo de chuva (minutos)	Tempo de retorno (anos)	Referência	Tempo de chuva (minutos)	Tempo de retorno (anos)
Caputo (2012)	5, 10 e 15	2, 5, 10	Ogawa (2019)	-	10
Daniel Junior (2013)	-	2	Oliveira (2021)	30 e 120	5 e 10
Feitosa (2015)	-	3, 5, 10	Reis (2018)	10	5
Fensterseifer (2020)	60	10	Santos (2019)	60	10
Ferreira, (2017)a	10	5	Silva (2012)	-	2
Ferreira, (2017)b	-	2	Silva (2016)	-	10
Froemming (2019)	-	2, 10, 25	Siviero (2018)	5	10
Gutierrez (2011)	10 à 360	10	Sobrinha (2012)	De 10 a 360	10

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

O tempo de chuva é preconizado pela NBR 10844: 1989 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989), mas para o dimensionamento adequado, é relevante que se considere os dados da região que se vai implantar o dispositivo. Os valores relacionados ao tempo de chuva podem variar no mesmo município, e isso pode ser notado ao se comparar a área de estudo de Barros (2021) que apresenta tempo de chuva de 10 minutos e Melo (2015) que apresenta tempo de chuva de 15 minutos, ambos para a cidade de Recife-PB.

O tempo de retorno também é preconizado na NBR 10844: 1989 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989), mas conforme demonstrado no quadro 5, há uma grande variação entre os trabalhos. Silva (2012) apresenta um tempo de retorno de dois anos para um protótipo construído em área urbana, dentro da Universidade de Brasília e Mendes (2019) ao realizar simulações de vários cenários utilizando um software, utilizou diversos valores até 100 anos de tempo de retorno.

5.2 INFILTRAÇÃO

Parte da literatura apresenta dados relacionados a capacidade de infiltração dos solos que podem ser utilizados para dimensionamento do volume da camada de retenção do jardim de chuva, como em qualquer dispositivo de infiltração, assumindo que o volume de água deve infiltrar no solo em um determinado tempo. O quadro 6 apresenta a síntese destes dados.

Quadro 6: Taxa de Infiltração

Referência	Taxa de infiltração	Referência	Taxa de infiltração
Alvarez (2017)	0,6mm/h	Froemming (2019)	10mm/h
Azevedo (2019)	49,5m3/h	Gutierrez (2011)	18mm/h e 36mm/h
Barros (2021)	17,85mm/12 minutos. 35,71mm/23 minutos. 53,857mm/25 minutos. 71,43mm/32 minutos. 89,28mm/34 minutos.	Melo (2011)	312mm/h
Bezerra (2018)	-	Reis (2018)	
Braga (2017)	70mm/h. 120mm/h	Santos, 2014	123,71mm/h. 105,34mm/h. 5,33mm/h. 82,43mm/h
Caputo (2012)	-	Sobrinha (2012)	19,24mm/h

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

A taxa de infiltração variou de 0,6mm/h (ALVAREZ, 2017) à taxa à 312mm/h (MELO, 2011). Nos trabalhos o tempo de infiltração observado foi de 24 horas (CAPUTO, 2018), entre 24 e 72 horas (FERREIRA,2016; REIS, 2018), chegando a indicação de até 72 horas por Bezerra (2018) e Gutierrez (2011). Caputo (2012) diz que dispositivos que tenham períodos de esvaziamento superiores a 24 horas não são muito apropriados para a situação em que se deseje o controle de escoamento. Ferreira (2016) aponta que o manual da cidade de Filadélfia (USA) preconiza o tempo máximo de infiltração de 72 horas, mas recomenda o esvaziamento em até 24 horas. Alguns autores apresentados na RSL desenvolvida por Calvario e Oliveira (2022) fazem outras considerações à respeito de tempo de infiltração, podendo se aplicar aos valores descritos no quadro 6:

- Minesota (2020) apresenta tempo de infiltração de 48 horas para evitar que plantas se afoguem e mosquitos se reproduzam;
- Kukadia; Lundholm, Russel (2018) apresenta tempo de infiltração de 48 horas, que dizem que é um tempo suficiente para que a água escoe para o sistema de drenagem urbano sem pressioná-lo. Porém, essa consideração só se aplica em dispositivos que a água seja direcionada para sistema de drenagem urbano;
- Ballard et al. (2015) apresentam valores entre 24 e 48 horas, indicando que seja um tempo ideal para a remoção de poluentes;
- Guo; Luu (2015) dizem que ao dimensionar o jardim de chuva, o tempo de retenção não deve ultrapassar 12 horas, garantindo que o mesmo não fique seco por muito tempo, nem encharcado por muito tempo, evitando problemas de saúde pública.

5.3 COMPOSIÇÃO DOS DISPOSITIVOS

A composição dos dispositivos relacionadas foram o tipo de vegetação; materiais das camadas e porosidade. São essas composições que influenciam na geometria e operacionalidade de um jardim de chuva, como o tempo que uma água irá demorar para drenar, o tamanho do reservatório temporário, a contribuição da vegetação e a rotina para sua manutenção.

No que diz respeito a vegetação, o quadro 7 traz a relação de vegetação identificadas nas produções selecionadas nesta RSL.

Quadro 7: Vegetação

Referência	Vegetação
Barros (2021)	*Ixora coccinea*, *Dianella tasmanica* e *Evolvulus glomeratus*
Cadore (2016)	Mudas de bananeira. Taiobas. Espécis do gênero *Canna*.
Cardoso (2021)	Alocasia Macrorhiza conhecida com orelha-de-elefante-gigante
Daniel Junior (2013)	Bananeira (Musa velutina), Taioba (Xanthosoma sagittifolium), espécies do gênero Canna e alguns brotos de Inhame.
Fensterseifer (2020)	Clorofito ou Gravatinha (Chlorophytum comosum).
Lopes (2020)	Sansevieria trifasciata, conhecida como Espada de São Jorge (Célula de biorretenção) rama esmeralda (Telhado verde)
Melo (2011)	Ixoria Vermelha (*Ixora chinensis*) e a Íris Amarela (*Iris pseudacorus*)
Mendes (2018)	Macrófitas e lírio d'água (*Nympheas spp.*)
Moura (2013)	Grama esmeralda tapete (*Zoysia japonica*), vegetação arbustiva, herbácea e forrações diversas
Reis (2018)	Grama esmeralda (*Zoysia japonica*) e pingo-de-ouro (*Duranta repens* L. "Aurea").

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Azevedo (2019) e Melo (2011) recomendam que a vegetação utilizada, deve ser nativa da região a qual será implantado o dispositivo. Barros (2021) escolheu a vegetação levando em consideração os seguintes aspectos: adaptação ao clima da região, exposição ao sol, utilização popular das espécies em jardins e espaços públicos, custo-benefício, facilidade de poda, manutenção e potencial paisagístico.

Cardoso (2021) aplicou a espécie *Alocasia Macrorhiza* objetivando a absorção dos seguintes metais pesados contidos na água: Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Fluoreto (F), Mercúrio (Hg) e Zinco (Zn). Sendo assim, a vegetação utilizada contribuiu para a melhoria da qualidade da água efluente do dispositivo proposto.

Fensterseifer (2020) utilizou um tipo de herbácea objetivando o controle de drenagem na fonte e o tratamento qualitativo da água. Porém, não se conseguiu atestar a eficiência no tratamento da água e, ainda, constatou-se que a biorretenção originou a contaminação por ânions da água coletada após drenagem de fundo. Por outro lado, as vegetações utilizadas por Moura (2013) resultaram numa melhora qualitativa da água efluente, constatada a partir da análise dos eventos monitorados.

Reis (2018) usou grama esmeralda e pingo-de-ouro por se configurarem como vegetações ornamentais e resistentes. Lopes (2020) adotou para o telhado verde também grama esmeralda e para a célula de biorretenção a espécie *Sansevieria trifasciata* por sua fácil adaptabilidade à variações como sol, sombra, necessidade de nutrientes e água.

Mendes (2018) relata que a escolha da vegetação foi feita com base na resiliência a meios alagados e capacidade de fitorremediação. Daniel Junior (2013) escolheu a vegetação com a intenção de tratar efluentes pluviais, optando por espécies que foram utilizadas na literatura com a finalidade de tratar efluentes domésticos. Sendo as espécies utilizadas: a Bananeira, a Taioba, espécies do gênero *Canna* e alguns brotos de Inhame. Cadore (2016) fez uso das mesmas espécies, com exceção dos brotos de Inhame, propondo a análise das metodologias de dimensionamento para estruturas de biorretenção e comparando, posteriormente, as dimensões encontradas com as de Daniel Junior (2013), visto que ambas as pesquisas se deram na mesma Universidade.

Em termos de evapotranspiração, poucos autores a quantificaram e outros apenas a citaram como fator contribuinte para redução da vazão. Daniel Junior (2013) e Cadore (2016) adotaram evapotranspiração de 3 mm/dia para o dimensionamento das estruturas, e, experimentalmente, constataram que após a saturação do solo há uma tendência de redução da infiltração e aumento da evapotranspiração. O parâmetro foi desprezado por Reis (2018), visto que de acordo com He e Davis (2011) quando se avalia sistemas de drenagem com porte pequeno, o valor desse parâmetro é ínfimo e pouco interfere no dimensionamento do sistema de infiltração. Moura (2013) também não quantificou a evapotranspiração, apenas citou sua contribuição para redução da vazão e a desprezou para o cálculo do volume de armazenamento dos dispositivos.

As camadas internas dos mais diversos tipos de dispositivos (Quadro 8), desempenham funções de armazenamento temporário e drenagem da água de chuva de maneira lenta para as camadas naturais do solo.

Quadro 8: Materiais das camadas de solo e armazenamento

Referência	Materiais das camadas	Material da camada de armazenamento
Azevedo (2019)	Solo arenoso (100cm). Brita (50cm)	Superfície rebaixada
Barros (2021)	Terra vegetada (17cm). Areia grossa (10cm)	Agregado graúdo reciclado com diâmetro de 25mm (90cm)
Bezerra (2018)	-	Brita nº19
Braga (2017)	Mistura de solos - húmus e terra preta na proporção 1:1 (40cm). Camada de areia (10cm)	Brita (80cm)

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Quadro 8: Materiais das camadas de solo e armazenamento (continuação)

Referência	Materiais das camadas	Material da camada de armazenamento
Cadore (2016)	Solo. Areia.	Brita fina. Brita grossa. Pedaços de tijolos, telhas, materiais descartados na construção civil.
Caputo (2012)	-	Pedra
Cardoso (2021)	Substrato (20cm). Areia (10cm). Solo da região (40cm).	Brita nº19 (30cm)
Cunha (2019)	Mistura de solos - húmus e terra preta na proporção 1:1 (40cm). Camada de areia (10cm)	Brita (80cm)
Daniel Junior (2013)	Areia e de solo (substrato) foi acrescentada a estrutura.	Pneus, fragmentos de tijolos, materiais cerâmicos quebrados com diferentes tamanhos, brita nº2 (maior), brita º1 (menor)
Fenterseifer (2020)	Substrato composto por solo argiloso [50%] e areia média [50%] (30cm). Areia média (10cm).	Brita nº1 (10cm)
Ferreira (2017)a	-	Brita nº2
Ferreira (2017)b	Terra preta e húmus [zona de raíz] (19cm). Base [colchão de areia] (10cm)	Brita (72cm).
Gutierrez (2011)	-	Brita nº3
Lopes (2020)	-	Brita nº 3 (Célula de biorretenção). Brita nº 3 (Pavimento permeável)
Lucas (2011)	-	Brita nº3
Melo (2011)	Substrato (10cm). Areia (10cm)	Brita nº19 (70cm)
Melo (2015)	-	Brita nº19
Moura (2013)	Terra vegetada adubada (45 a 75cm). Areia grossa (5cm).	Brita zero (15cm). Macadame hidráulico (60cm)
Oliveira (2021)	Camada de filtração: mistura de areia grossa (80%)e solo natural (20%) (60cm). Camada de transição: brita especial com granulometria intermediária entre a brita n.3 e areia grossa misturada (10cm).	Brita nº3 (30cm)
Santos (2019)	-	Brita nº3
Silva (2012)	Areia grossa.	Brita e garrafa pet
Silva (2018)	Mistura de solos - húmus e terra preta na proporção 1:1 (40cm). Camada de areia (10cm)	Brita e garrafa pet (80cm)
Souza (2018)	Areia.	Brita

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Os materiais granulares utilizados nas camadas, de armazenamento ou não, variam e a espessura também, entre 10cm e 90cm, desempenhando funções como filtração (OLIVEIRA, 2021) e de armazenamento. Os tipos de material empregado desempenham também as funções de transição, como a indicada por Oliveira (2021); e de base para o plantio de vegetação como a terra e húmus de 19cm de altura utilizada por Ferreira (2017)b; e a terra vegetada de altura entre 45cm e 75cm utilizada por Moura (2013). O quadro 8 também apresenta materiais oriundos de resíduos urbanos como pneus, fragmentos de tijolos, materiais cerâmicos quebrados com diferentes tamanhos utilizados por Daniel Junior (2013) e as garrafas pet utilizada por Silva (2012), indicando que este tipo de dispositivo de drenagem pode contribuir como receptores de resíduos urbano. Porém, o material granular mais empregado, sobretudo na camada de retenção temporária/armazenamento, é a brita com seus variados tamanhos, presente em 17 dos 23 autores relacionados no quadro 8.

As camadas de armazenamento devem possuir granulometria que permita armazenar a quantidade de água prevista em projeto. A taxa de porosidade da camada de retenção vai indicar a capacidade de armazenamento da água de chuva por um certo período de tempo. A literatura utilizada nesta RLS apresenta as faixas de porosidade indicadas no quadro 9. Ballard et al. (2015) diz que a camada de armazenamento deve ter ao menos 30% de porosidade, dentro desta consideração, 18 dos 24 autores se enquadrariam.

Quadro 9: Faixas de porosidade

Referência	Porosidade (%)
Azevedo (2019)	45 (solo)
Barros (2021)	46,11 (agregado graúdo reciclado de 25mm)
Bezerra (2018)	33 (Brita nº19)
Braga (2017)	25 (Areia) e 43,5 (Brita)
Cadore (2016)	60
Caputo (2012)	30
Cardoso (2021)	52 (brita nº19)
Cunha (2019)	25 (areia) e 43,5 (brita)
Ferreira (2017)b	30 (areia) e 43 (brita)
Gutierrez (2011)	47
Lucas (2011)	47
Melo (2015)	33
Reis (2018)	35,76 (solo compactado) e 39,45 (solo não compactado)
Santos (2019)	40
Silva (2012)	47 (brita)
Silva (2018)	25 (Areia) e 43,5 (Brita)
Siviero (2018)	40 e 50 (britas)
Souza (2018)	44,4 (Brita)

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Sobre a distância entre dispositivos de infiltração e o lenço freático, extraiu-se deste estudo, os valores apresentados no Quadro 9.

Quadro 9: Distância do lençol freático

Referência	Distância até lençol freático (cm)
Barros (2021)	50
Belotti (2011)	400
Caputo (2012)	60 à 120
Ferreira (2016)	60 à 120
Ferreira (2017)a	150
Kwatoco (2019)	120
Melo (2011)	80
Reis (2018)	150
Santos (2019)	60

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Há uma variação de valores, sendo um deles mais elevado, chegando a 400cm (Belotti, 2011) e o mais baixo, à 50cm (Barros, 2021). A NBR 13969:1997 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997) estabelece que o fundo de um sumidouro não pode estar a menos de 150cm de distância do lençol freático, desta forma valores abaixo de 150cm não poderiam ser praticados.

6 CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

As produções encontradas apontam que os jardins de chuva e biorretenção, são objeto de pesquisa em menor número em relação ao total de dispositivos de infiltração e que o termo biorretenção em algumas vezes é utilizado para dispositivos sem o uso da vegetação.

Quanto as variáveis para dimensionamento destes dispositivos temos que o percentual de área de contribuição, que variou neste estudo entre 0,83% à 10,71%, ficou abaixo de valores observados em artigos internacionais (5% a 40%). Algumas questões associadas a este percentual ainda precisam ser melhor estudadas tais como: qual a máxima área do jardim de chuva pode ser utilizada considerando as normativas de uso e ocupação do solo e qual a redução efetiva de águas superficiais destinadas ao sistema urbano de drenagem.

Apesar do tempo de chuva e tempo de retorno serem apontados nas normas técnicas é fundamental que o dimensionamento do dispositivo leve em consideração as condições da região onde está sendo instalado. Quanto maior o tempo de retorno adotado maior a segurança que se está empregando ao sistema, em contrapartida, maiores serão os custos de implantação da obra. Desta forma é fundamental que seja feita uma análise de custo-benefício para definição destes parâmetros.

A taxa de infiltração, tempo de retenção de água dependem diretamente do tipo de solo onde o dispositivo será instalado, sua distância do lençol freático e do material empregado na sua construção. Como é um dispositivo que faz uso de vegetação é fundamental que não fique alagado por longo período de tempo, evitando a proliferação de mosquitos e problemas de saúde pública.

Considerando que este dispositivo também tem a função paisagística é fundamental o uso de vegetação nativa da região à qual será implantado o dispositivo, adaptada ao clima da região, populares no uso em jardins e espações público e de fácil poda e manutenção. A manutenção dos jardins em período de seca deve acontecer como o de qualquer área verde existente no espaço urbano.

Algumas lacunas no conhecimento sobre o tema foram identificadas, evidenciando a necessidade de estudos complementares tais como: estudo mais aprofundado da contribuição da vegetação no processo de retenção das águas de chuva, definição de indicadores que atestem a eficiência do jardim de chuva, estudo de custo-benefício da instalação de um jardim de chuva em prol de outros dispositivos de drenagem na fonte com infiltração no solo e um modelo que sirva para a construção de diretrizes a serem utilizadas pelo poder público para direcionar a implantação em larga escala de sistemas de drenagem com uso de jardins de chuva ou dispositivos similares.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVAREZ, M. G. L. **Gestão sustentável de águas pluviais no parque urbano Ary Barroso, Rio de Janeiro - RJ**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.
2. AZEVEDO, F. S. **Biorretenção**: tecnologia alternativa para manejo de águas pluviais urbanas aplicada a João Pessoa, PB. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019.
3. Associação Brasileira de Norma Técnica. **ABNT NBR 10844**: Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro: ABNT, 1989
4. Associação Brasileira de Norma Técnica. **ABNT NBR 13969**: Tanques sépticos-Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos-Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997
5. Ballard et al. **The suds manual.** Ed. CIRIA. London. 2015
6. BARROS, E. N. **Jardim de chuva**: técnica em manejo de águas pluviais urbanas, alternativa mitigatória de alagamentos no espaço interno da Poli. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021.
7. BELOTTI, F. M. **Capacidade de retenção de metais pesados pelo solo em área de implantação de estruturas de infiltração para águas pluviais urbanas em Belo Horizonte/MG**. 2011. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós- Graduação do Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.
8. BEZERRA, P. H. Dinâmica da água em trincheira de infiltração em lote urbano. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.
9. BRAGA, R. M. B. **Estudo de remoção de poluentes de águas da drenagem urbana por um dispositivo de biorretenção**. 2017. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2017.
10. CADORE, R. C. **Critérios de dimensionamento de biorretenções**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.
11. CALVARIO, A. C.; OLIVEIRA, M. D. **Jardim de Chuva**: Uma revisão sistemática da literatura, In: XXIV Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente da FEA/USP – Engema - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, 2022.
12. CAPUTO, U. K. **Avaliação do potencial de utilização de trincheiras de infiltração em espaços com urbanização consolidada / estudo de caso do município de Belo Horizonte - MG**. 2012. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.
13. CÁRDENAS, E. F. S. **Avaliação dos sistemas urbanos de drenagem sustentável mediante o modelo Urban Water Use (UWU) em área urbana da cidade de Curitiba. 2017**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná, 2017.
14. CARDOSO, S. M. M. **Avaliação do funcionamento de um sistema de biorretenção através da fitorremediação para jardins de chuva em áreas urbanas**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2021.

15. CARVALHO, E. T. L. **Avaliação geotécnica de poços de infiltração de águas pluviais**. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.
16. CUI, T.; YUQIAO, L.; YINTANG, W. Choosing the LID for Urban Storm Management in the South of Taiyuan Basin by Comparing the Storm Water Reduction Efficiency, **Water,** Vol. 11, No. 12, 2019, hppts. doi. org/10.3390/w11122583.
17. CUNHA, G. S. **Efeitos de utilização de biorretenção em uma área urbana**: análises quantitativas em função do código de urbanismo e edificações de Maceió-AL. 2019. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2019.
18. DANIEL JÚNIOR, J. J. **Avaliação de uma biorretenção como estrutura sustentável de drenagem urbana**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.
19. DINIZ, G. J. S. **Desempenho de técnicas compensatórias na mitigação do perigo de inundações em uma bacia urbanizada fechada**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Rio de Grande do Norte, Natal, 2022.
20. FEITOSA, F. F. S. **Avaliação do uso de trincheiras de infiltração para atenuação de picos de cheia utilizando o SWMM**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Juazeiro do Norte, 2015.
21. FENSTERSEIFER, P. **Infraestruturas verdes na amenização de impactos da urbanização: controle pluvial com biorretenção e efeito térmico de fachada verde em residência**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2020.
22. FERREIRA, A. T. **Tempo de enchimento de pavimentos permeáveis e poços de infiltração de água pluvial: analogia com fluxo de calor em meios sólidos**. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2017a.
23. FERREIRA, L. T. L. M. **Avaliação do funcionamento de um dispositivo de biorretenção**: monitoramento e modelagem. 2017. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2017b.
24. FERREIRA, T. S. **Avaliação do comportamento hidrológico de poços de infiltração de águas pluviais sob diferentes concepções**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2016.
25. FROEMMING, G. H. **Potencial de aplicação e otimização de técnicas de desenvolvimento de baixo impacto na gestão de águas pluviais urbanas**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019.
26. GUO, James CY; LUU, Toan M. Hydrologic model developed for stormwater infiltration practices. **J. Hydrol. Eng,** v. 20, n. 9, p. 06015001, 2015a.
27. GUTIERREZ, L. A. R. **Avaliação da qualidade da água de chuva e de um sistema filtro-vala-trincheira de infiltração no tratamento do escoamento superficial direto predial em escala real em São Carlos - SP**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.
28. HE, Zhuangxiang; DAVIS, Allen P. Process modeling of storm-water flow in a bioretention cell. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 137, n. 3, p. 121-131, 2011.
29. HERRERA, Josefina et al. A model for simulating the performance and irrigation of green stormwater facilities at residential scales in semiarid and Mediterranean regions. **Environmental Modelling & Software**, v. 95, p. 246-257, 2017.
30. KAWATOKO, I. E. S. **Estabelecimento de cenários de medidas estruturais e não-estruturais para gestão das águas urbanas em escala de lote**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.
31. KUKADIA, Jamie; LUNDHOLM, Madeleine; RUSSER, Ian. **Designing rain gardens: a pratical guide.** Ed. Urban Design London. London. 2018
32. LOPES, M. D. **Integração de algoritmos genéticos ao modelo hidrológico SWMM na otimização de sistemas de drenagem urbana sustentável**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e

Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020.

33. LUCAS, A. H. **Monitoramento e modelagem de um sistema filtro - vala - trincheira de infiltração em escala real**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.
34. MARTINS, L. G. B. **Avaliação do potencial de aplicação de técnicas compensatórias em áreas urbanas consolidadas**. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.
35. MELO, T. A. T. **Avaliação hidrodinâmica de trincheira de infiltração no manejo das águas pluviais**. 2015. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco, Recife, 2015.
36. MELO, T. A. T. **Jardim de chuva**: sistema de biorretenção como técnica compensatória no manejo das águas pluviais urbanas. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Recife, 2011
37. MENDES, A. T. **Dispositivos de drenagem urbana de baixo impacto para diminuição da vazão no sistema de microdrenagem da bacia urbana do córrego Brejo Comprido, Palmas – TO**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade do Tocantins, Palmas, 2019.
38. MENDES, F. C. **Diretrizes ao planejamento urbano da bacia do córrego Suçuapara (Palmas-TO) com base em sua resposta hidrológico-hidráulica à diferentes cenários de ocupação**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2018.
39. MENDES, M. E. R. **A fitorremediação como estratégia de projeto para a sustentabilidade urbana**. 2018. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.
40. MINESOTA. **Action for flood resilient holmes: rain gardens.** City of Edina: 2020
41. MOURA, N. C. B. **Biorretenção**: Tecnologia ambiental urbana para manejo das águas de chuva. 2013. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
42. OGAWA, S. C. C. P. **Avaliação dos custos de implantação de técnicas compensatórias de drenagem urbana na Comunidade Jardim Vitória, Rio de Janeiro/RJ**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.
43. OKOLI, C. et al. Guia para realizar uma Revisão Sistemática de Literatura. **EAD em Foco**, v. 9, n. 1, 2019.
44. OLIVEIRA, T. H. **Sistema de drenagem urbana sustentável como estratégia para resiliência aos impactos das mudanças climáticas**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2021.
45. PACHECO, E. F. **Avaliação quali-quantitativa de uma vala de infiltração pluvial em termos de retenção de contaminantes**. Estudo de caso: Distrito de Campeche - Florianópolis Santa Cantarina. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.
46. REIS, R. P. A. **Avaliação de desempenho e modelagem numérica de sistemas de infiltração de água de chuva integrados aos sistemas prediais**. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.
47. SANTOS, D. M. **Medidas de controle de escoamento superficial na fonte por meio de dispositivos de infiltração e de reservação em conjuntos habitacionais verticalizados e horizontalizados**. 2019. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.
48. SANTOS, J. B. F. **Monitoramento e simulação hidráulica de uma trincheira de infiltração**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.
49. SILVA, D. F. **Análise da influência de microrreservatórios em um loteamento e seus efeitos em escala de bacia**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.
50. SILVA, J. P. **Estruturas de infiltração com utilização de materiais alternativos no controle de alagamentos, inundações e prevenção de processos erosivos**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia

Civil e Ambiental) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

51. SILVA, V. J. **Modelagem de biorretenção com uso de modelo concentrado**. 2018. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2018.
52. SIVIERO, F. M. **Avaliação do desempenho de poços de infiltração com características distintas como medida de contenção de drenagem urbana na fonte**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências Ambientais) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2018.
53. SOBRINHA, L. A. **Monitoramento e modelagem de um poço de infiltração de águas pluviais em escala real e com filtro na tampa**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.
54. SOUZA, V. G. A. **Implantação, monitoramento e simulação de uma trincheira de infiltração em uma bacia urbana na cidade do Recife**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pernambuco, Recife, 2018.
55. YUAN, Jia; DUNNETT, Nigel; STOVIN, Virginia. The influence of vegetation on rain garden hydrological performance. **Urban Water Journal,** v. 14, n. 10, p. 1083-1089, 2017.