

## Análise Teórica do Papel dos Sistemas Sustentáveis de Drenagem Pluvial na Macrodrenagem da Região Metropolitana de Goiânia

*Mel Martins Vaz<sup>1</sup>; Klebber Teodomiro Martins Formiga<sup>2</sup>; Kamila Almeida dos Santos<sup>3</sup>; Julliana Gomes Martins<sup>4</sup>; Ismael Torres Guedes<sup>5</sup>; Nicolle Silva Oliveira<sup>6</sup>; Natasha de Lima Dias Conceição<sup>7</sup>; Ravel Eurico Basso<sup>8</sup>*

**Abstract:** The contribution of Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) to urban macrodrainage was analyzed in the Metropolitan Region of Goiânia considering urban expansion between 1985 and 2023. Based on data from MapBiomass and the Geoinformation State System, mapping and temporal analyses were carried out, revealing increased soil impermeabilization. This change led to greater surface runoff and overloaded the existing drainage infrastructure. Rain gardens and infiltration wells were evaluated in terms of their feasibility and performance, based on national case studies. The results showed that these solutions are effective in reducing runoff volume, controlling peak flows, and recharging aquifers.

**Resumo:** A contribuição dos Sistemas Sustentáveis de Drenagem Pluvial (SSDP) para a macrodrenagem urbana foi analisada na Região Metropolitana de Goiânia (RMG), considerando o avanço da urbanização entre 1985 e 2023. Com base em dados do MapBiomass e Sistema Estadual de Geoinformação (SIEG), foram realizados mapeamentos e análises temporais que evidenciaram o aumento da impermeabilização do solo. Essa mudança aumentou o escoamento superficial e sobrecarregou a infraestrutura de drenagem existente. Jardins de chuva e poços de infiltração foram avaliados quanto a sua viabilidade e desempenho, com base em estudos de caso nacionais. Os resultados demonstraram que essas soluções são eficazes na redução do volume escoado, controle das vazões de pico e recarga dos aquíferos.

**Palavras-Chave** – Sistemas Sustentáveis de Drenagem Pluvial; Escoamento Superficial; Impermeabilização do Solo.

### **INTRODUÇÃO**

Segundo Tucci (2008), o processo de urbanização transformou as cidades em organismos vivos e dinâmicos, dependentes um do outro, fazendo com que qualquer distúrbio em um desses elementos fosse capaz de impactar significativamente o outro. Além de que, a falta de planejamento e gestão do uso do solo, especialmente nas áreas mais afastadas das cidades, as quais apresentam uma taxa de crescimento maior do que as já densamente povoadas, tem contribuído para que a questão do sistema hídrico seja cada vez mais negligenciada ao longo do tempo (Tucci, 2008). Isso acontece devido a dificuldade de implementar possíveis intervenções em regiões mais consolidadas (Agostinho; Poleto, 2012).

Visto isso, os Sistemas Sustentáveis de Drenagem Pluvial se tornaram necessários para diminuir os efeitos da urbanização sobre os recursos hídricos e os custos de intervenções futuras,

<sup>1,2,3,4,5,6,7 e 8</sup> Universidade Federal de Goiás – UFG: Avenida Universitária, Quadra 86, Lote Área 1488 – Setor Leste Universitário, Goiânia – GO, 74605-220. Fone: (62) 3209-6086. Email autor correspondente: mel\_martins@discente.ufg.br

podendo diminuir a energia de escoamento, a retenção de sedimentos e sólidos, o aumento da infiltração e consequentemente a recarga dos aquíferos, diminuindo então os impactos dos eventos de chuva (Tucci, 2016). Já que, eles têm como objetivo auxiliar os sistemas de drenagem convencionais por abordagens que remetem aos processos hidrológicos naturais, ao invés de conduzi-las rapidamente para fora do ambiente urbano (Fletcher et al., 2014).

Contudo, sua implementação ainda enfrenta diversos desafios, tais como o risco de contaminação das águas pluviais devido a elevada carga de poluentes das áreas urbanas, a necessidade de manutenção frequente, a chance de colmatação devido a sedimentos e resíduos, além do alto custo de implementação em sistemas já existentes (Agostinho; Poleto, 2012). Isso acaba contribuindo para a negligência da questão hídrica e consequentemente, para a recorrência dos problemas com inundações nos centros urbanos.

A drenagem urbana sustentável deve ser planejada como parte integrante do sistema urbano, e não como uma obra isolada, exigindo uma gestão integrada do território que considere seus aspectos sociais, ambientais e econômicos, incorporando soluções baseadas na natureza (Rodrigues et al., 2023). Tecnologias como jardins de chuva, pavimentos permeáveis, telhados verdes e poços de infiltração têm sido cada vez mais implementados no contexto urbano brasileiro como estratégias eficazes para a redução do escoamento superficial e do aumento de infiltração das águas pluviais, promovendo uma gestão mais sustentável do ciclo hidrológico urbano (Melo et al., 2014).

Dessa forma, o objetivo desse artigo é analisar de que maneira os Sistemas Sustentáveis de Drenagem Pluvial (SSDP) podem contribuir para a melhoria da macrodrenagem urbana na Região Metropolitana de Goiânia, considerando o crescimento da urbanização por meio de dados sobre o uso e ocupação do solo entre os anos de 1985 e 2023.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de Estudo

A Região Metropolitana de Goiânia (RMG) (Figura 1), é composta por 20 municípios, conforme estabelecido pela Lei Complementar Estadual nº 78/2010 (Brasil, 2010). Por ser a principal região urbanizada do Estado, também detém uma parte significativa de sua economia. O clima encontrado é do tipo Tropical Sazonal, sendo caracterizado por duas estações bem definidas, uma chuvosa, que ocorre entre os meses de outubro a abril, e outra seca, que ocorre entre os meses de maio e setembro (IBGE, 2022).

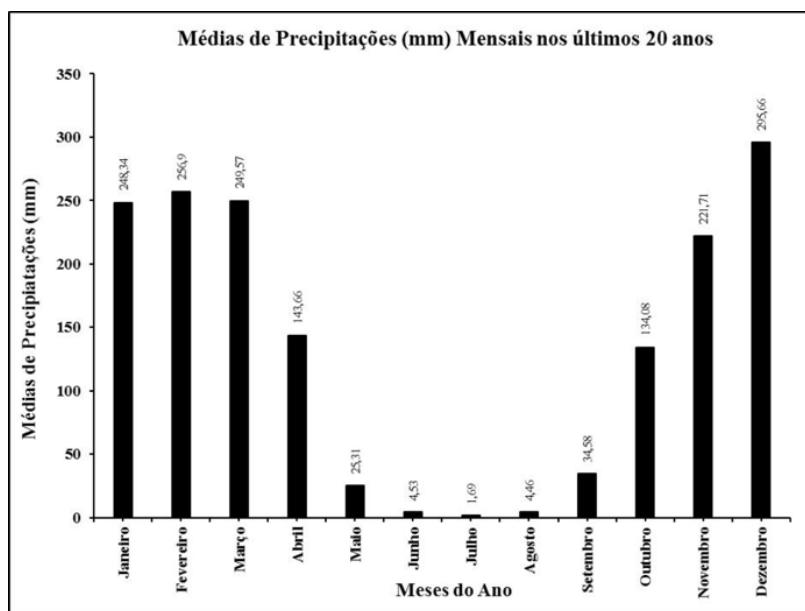
Contudo, quando a variabilidade climática se junta com a impermeabilização do solo e ao crescimento desordenado, ocorre um aumento no escoamento superficial, o que acaba por sobrecarregar o sistema de drenagem urbana e intensifica os casos de alagamentos, além de outros impactos hidrológicos nas áreas urbanas. Segundo Sousa et al. (2023), entre 2002 e 2022, a precipitação média anual em Goiânia foi de aproximadamente 1690 mm, sendo que os valores médios de precipitação mensal podem ser vistos na Figura 2.

Figura 1 - Região Metropolitana de Goiânia.



Fonte: Autores, 2025.

Figura 2 - Valores médios de precipitação mensal entre 2002 e 2022.



Fonte: Souza et al, 2023.

## Dados Utilizados

O artigo utiliza essencialmente duas bases de dados principais para a análise do uso e cobertura do solo na Região Metropolitana de Goiânia nos anos de 1985 e 2023. O primeiro conjunto de dados foi obtido pelo Sistema Estadual de Geoinformação (SIEG), referente ao shapefile das bacias hidrográficas do estado, que serviu de base para a delimitação da área de estudo.

O segundo conjunto de dados foi obtido através da plataforma MapBiomas, especificamente da Coleção 9 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso do Solo do Brasil, sendo dois arquivos TIF. Com isso, foi possível obter informações detalhadas sobre a cobertura vegetal e o uso do solo entre os anos de 1985 e 2023. Podendo identificar a expansão urbana na Região Metropolitana de Goiânia ao longo das últimas décadas, podendo avaliar o crescimento das áreas impermeáveis.

Ambas as bases de dados foram utilizadas em conjunto, permitindo uma compreensão melhor do crescimento das manchas urbanas e dos impactos ambientais associados à impermeabilização do solo, que impactam os sistemas hídricos urbanos.

### Análise do Crescimento Urbano e Uso do Solo

A análise do crescimento urbano e do uso do solo foi realizada a partir do processamento e tratamento de dados nos softwares Rstudio e QGIS. No QGIS, foi realizado o recorte do shapefile especificamente para a RMG, que foi usado para recortar os arquivos TIF. Todas as camadas foram reprojetadas para um sistema de coordenadas comum, garantindo a compatibilidade entre os dois conjuntos de dados.

Em seguida, os arquivos criados no QGIS foram inseridos em uma rotina dentro do Rstudio, onde foram classificados e determinadas as categorias de uso do solo, utilizando as bibliotecas ggplot2, readxl, sf, terra, tidyverse e tmap.

### Levantamento e análise dos SSDP implementáveis.

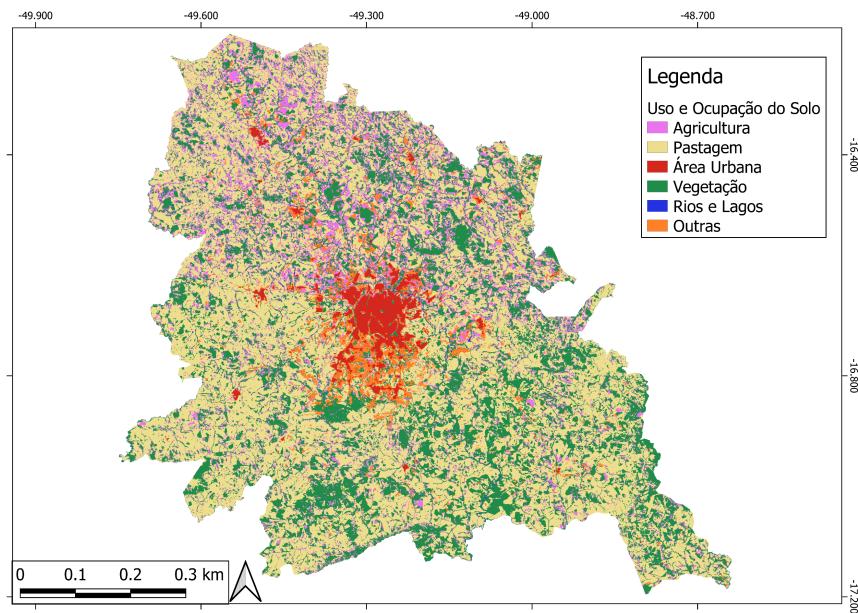
Foi realizada uma revisão bibliográfica sobre os Sistemas Sustentáveis de Drenagem Pluvial procurando identificar os mais adequados para as regiões urbanas. Considerando a eficiência no controle do escoamento superficial, a viabilidade de implantação em áreas urbanizadas e os resultados de estudos de casos.

A partir da análise do uso e ocupação do solo nos anos de 1985 e 2023, foi possível identificar, de maneira teórica, áreas com possivelmente um grau de impermeabilização maiores, sendo localizadas nas partes mais adensadas das expansões urbanas. Como são regiões mais adensadas, a implantação dos SSDP é mais complicada, visto que muitos necessitam de espaços maiores. Foi considerado também as informações fornecidas pelo Plano Diretor de Drenagem Urbana de Goiânia (PDDU-GYN) (Governo do Estado de Goiás, 2022), que aponta as regiões mais críticas dentro de cada bacia urbana da maior mancha urbana observada nos levantamentos de dados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

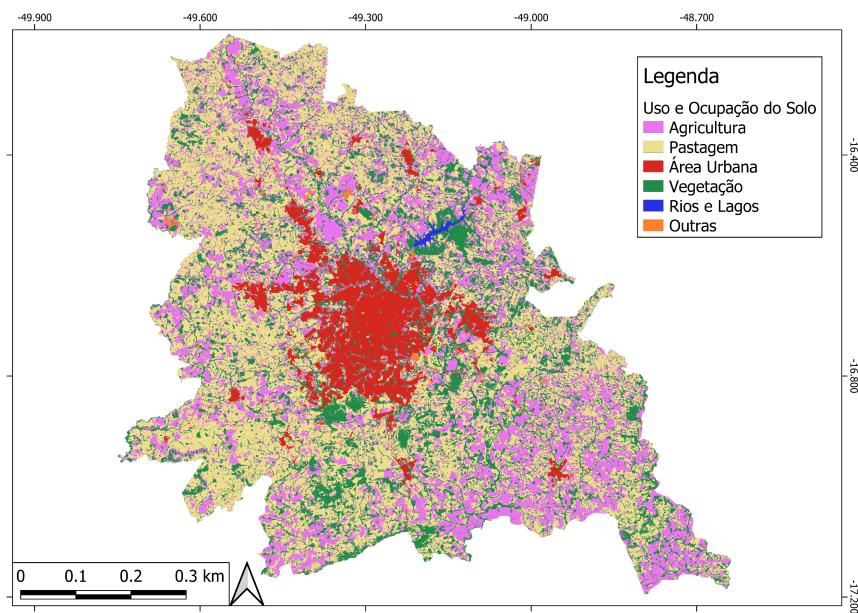
A dinâmica do Uso e Ocupação do Solo na Região Metropolitana de Goiânia, entre os anos de 1985 e 2023, evidencia transformações expressivas relacionadas ao processo de urbanização, como pode ser observado na Figura 3 e na Figura 4 respectivamente. Dessa forma, foi possível identificar uma significativa substituição das áreas vegetadas e destinadas à agropecuária pelas superfícies impermeáveis, especialmente nas regiões periféricas dos centros urbanos.

Figura 3 - Uso e Ocupação do Solo em 1985.



Fonte: Autores, 2025.

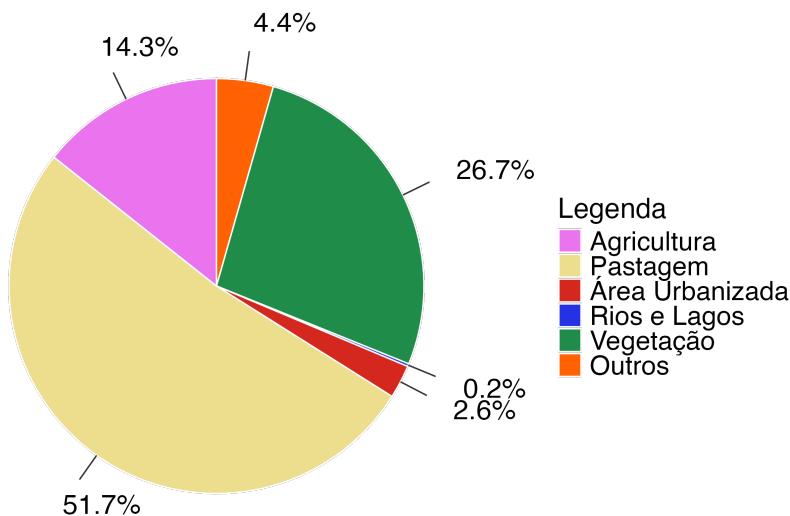
Figura 4 - Uso e Ocupação do Solo em 2023.



Fonte: Autores, 2025.

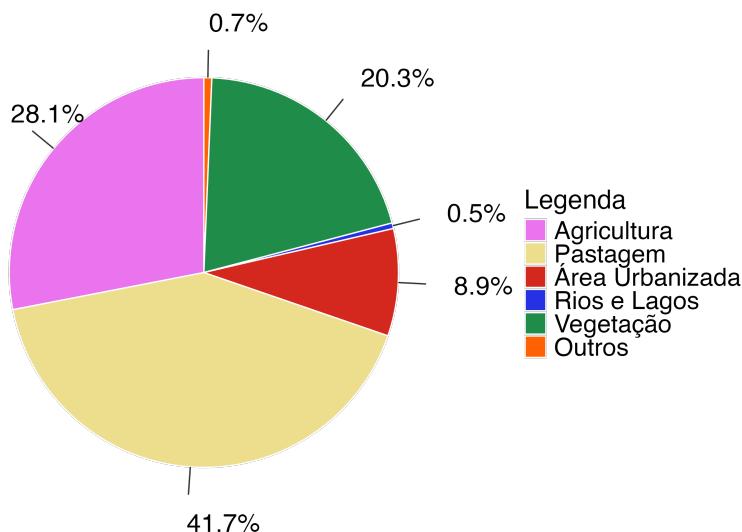
Essa transição é confirmada pela Figura 5 e pela Figura 6, que mostram a substituição gradual e expressiva da vegetação por áreas urbanizadas. Já que, em 1985 a área urbanizada correspondia a 2,6% da RMG e em 2023 ela passa a representar cerca de 8,9%. Essa alteração acarreta no aumento do escoamento superficial, sobrecarregando as redes de drenagem existentes, elevando os riscos de alagamentos e inundações urbanas.

Figura 5 - Gráfico do Uso do Solo - 1985.



Fonte: Autores, 2025.

Figura 6 - Gráfico do Uso do Solo - 2023.



Fonte: Autores, 2025.

A população presente na RGM no ano de 1985 era cerca de 1.030.000 habitantes, pulando para 2.725.808 habitantes em 2023 (IBGE), um aumento de 264.54% em um intervalo de 38 anos. Como consequência, a vegetação é retirada para a construção de edificações e pavimentos, aumentando a compactação do solo e sua impermeabilização, o que resulta no aumento do escoamento (Castro et al., 2021). Além disso, eventos extremos de chuva têm se tornado cada vez mais frequentes, e os bairros mais vulneráveis, os que possuem menor cobertura vegetal, apresentarão um maior risco de inundação (Locatelli et al., 2017).

A implementação das SSDP tem que vir junto com campanhas de educação ambiental para que a conscientização da responsabilidade pelo sistema de drenagem chegue em toda a população.

Dos 20 municípios que fazem parte da RGM apenas 4 tem mais de 100 mil habitantes, sendo que apenas em Goiânia tem 1.437.366 habitantes (IBGE, 2022). Os outros municípios são de pequeno

porte, onde a população varia entre 3.000 a 30.000 habitantes, dessa forma as SSDP entram como ferramentas fundamentais para o auxílio na redução do impacto da drenagem urbana.

Tendo em vista isso, os jardins de chuva e os poços de infiltração se destacaram entre os SSDP pela sua viabilidade de implantação em áreas urbanas consolidadas e pelos resultados observados em estudo realizado no município de São Carlos – SP, onde essas soluções demonstraram eficiência na redução do escoamento superficial e no aumento da eficácia da drenagem urbana em áreas críticas (Rhigetho et al., 2012).

Os jardins de chuva se destacam como alternativas eficazes na retenção e infiltração das águas pluviais, podendo ser adaptados a ambientes consolidados, desde que apresentem áreas livres, como calçadas e canteiros centrais (Souza; Soares, 2024). Segundo Souza e Soares (2024), ao simularem um jardim de chuva implantado em uma via pública, utilizando o modelo Hydrus-1D, foi obtido uma redução de 194 dias para 15 dias com alagamentos para chuvas acima de 30 mm. Além disso, Melo et al. (2014) implantou um jardim de chuva piloto na área urbana de Recife – PE e observou uma taxa de infiltração superficial superior a 300 mm/h, indicando sua capacidade de absorção rápida. Ainda foi observado que durante o estudo não houve nenhum extravasamento registrado, mesmo ocorrendo eventos de chuva com tempo de retorno de até 25 anos, confirmando a sua viabilidade com um sistema de controle de cheias urbanas (Melo et al., 2014).

Já os poços de infiltração vão variar muito na sua eficiência dependendo do tipo de solo que serão implantados devido a sua taxa de infiltração em que, segundo Mundim e Reis (2023), em solos com taxa de infiltração superior a  $1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s}$  o poço irá esvaziar rapidamente, eliminando quase que por completo o escoamento superficial. Entretanto, em condições menos favoráveis, com uma taxa inferior a  $1 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s}$ , os poços ainda apresentaram um desempenho satisfatório, mas com um tempo de retenção e esvaziamento maior (Mundim; Reis, 2023).

Além disso, em um estudo realizado por Reis e Ilha (2014), foi verificado que os poços de infiltração são mais eficientes na redução do volume total de escoamento, enquanto os jardins de chuva possuem um melhor desempenho na diminuição do pico de vazão, sugerindo que a combinação desses dois sistemas pode aumentar a eficiência do controle hidrológico. Tais resultados demonstram que ambas as SSDP podem ser aplicadas na Região Metropolitana de Goiânia como uma solução eficaz para a macrodrenagem urbana, desde que ocorra as manutenções necessárias.

## CONCLUSÃO

A análise temporal do Uso e Ocupação do Solo na Região Metropolitana de Goiânia, entre os anos de 1985 e 2023, evidenciou um crescimento urbano acelerado, marcado pela substituição de áreas vegetadas por áreas impermeáveis. Essa dinâmica contribuiu diretamente para o aumento do escoamento superficial, sobrecarregando as infraestruturas de drenagem convencional e intensificando os riscos de alagamentos urbanos.

Diante desse cenário os Sistemas Sustentáveis de Drenagem Pluvial se apresentam como uma alternativa viável e eficiente para os desafios relacionados a macrodrenagem urbana. Os estudos de caso analisaram e demonstraram que soluções como os jardins de chuva e os poços de infiltração são capazes de reduzir significativamente os volumes escoados e as vazões de pico, além de promoverem a recarga dos lençóis freáticos e a melhoria na qualidade da água.

Por fim, ressalta-se a importância da integração dessas práticas ao planejamento urbano, tanto em áreas críticas, quanto em novos empreendimentos, como uma maneira de reduzir os problemas causados pela impermeabilização do solo e melhorar o funcionamento dos sistemas de drenagem das cidades. Além disso, para trabalhos futuros, sugerimos a instalação de jardins de chuva nos municípios da RGM a fim de monitorar como eles podem auxiliar na redução do escoamento superficial.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Apoio a Pesquisa – FUNAPE e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio financeiro e a Universidade Federal de Goiás – UFG pelo programa de Iniciação Científica IC (2024 – 2025).

## REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, M. de S. P.; POLETO, C. *Sistemas sustentáveis de drenagem urbana: dispositivos*. Holos Environment, Presidente Prudente, v. 12, n. 2, p. 121–131, dez. 2012. DOI: 10.14295/holos.v12i2.3054.

BRASIL. Lei Complementar n.º 78, de 25 de março de 2010. Institui a Região Metropolitana de Goiânia. Goiânia, 2010.

CASTRO, M. C.; ALMEIDA, F. R.; SOUZA, E. L. A. *Compactação e impermeabilização do solo urbano: impactos na hidrologia de Aparecida de Goiânia (GO)*. Mercator – Revista de Geografia da UFCG, v. 20, n. 1, e20001, 2021.

FLETCHER, T. D. et al. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. Urban Water Journal, Abington, v. 12, n. 7, p. 525–542, 2014. DOI: 10.1080/1573062X.2014.916314.

GOVERNO DO ESTADO DE GOIÁS. *Plano Diretor de Drenagem Urbana de Goiânia – PDDU-GYN: Relatório de Diagnóstico e Prognóstico*. Goiânia, 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Cidades@: Goiânia (GO)*. Brasília, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 4 jun. 2025.

LOCATELLI, M. M.; SANCHES, P. M.; POLIZEL, J. L.; SILVA FILHO, D. F. *Planejamento de espaços verdes para minimização do escoamento superficial das águas pluviais*. Revista Labverde, v. 8, n. 2, p. 75–89, 2017.

MELO, T. dos A. T. de; COUTINHO, A. P.; CABRAL, J. J. da S. P.; ANTONINO, A. C. D.; CIRILO, J. A. *Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas*. Ambiente Construído, [S. l.], v. 14, n. 4, p. 147–165, 2014. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/43431>. Acesso em: 23 jun. 2025

MUNDIM, V. de C.; REIS, R. P. A. *Análise da influência de parâmetros de projeto no dimensionamento de poços de infiltração de águas pluviais*. Paranoá, [S. l.], v. 16, n. 34, p. 1–25, 2023. DOI: 10.18830/issn.1679-0944.n34.2023.17. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/view/47421>. Acesso em: 22 jun. 2025.

REIS, R. P. A.; ILHA, M. S. de O. *Comparação de desempenho hidrológico de sistemas de infiltração de água de chuva: poço de infiltração e jardim de chuva*. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 79–90, abr./jun. 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/XKqRwZMVTwgfYJZkXsNgkMs/>. Acesso em: 26 set. 2024.

RIGHETTO, A.; BAPTISTA, F. L. P.; NASCIMENTO, E. R. **Avaliação de bacias de detenção de águas pluviais implantadas no município de São Carlos (SP), Brasil.** *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 17, n. 2, p. 141–148, 2012. DOI: 10.1590/S1413-41522012000200006

Rodrigues, S. B. L.; Jardim, L. M.; Carvalho, F. F.; Fraga, J. P. R.; Souza, M. M.; Veról, A. P. (2023). **Levantamento e análise de Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável em projetos de Arquitetura e Urbanismo.** *Cidades Verdes*, 11(32). DOI: 10.17271/23178604113220234663

SOUZA, M. G. F.; SOARES, W. A. **Avaliação do desempenho de um jardim de chuva como alternativa mitigadora de alagamentos.** 2024. *Revista de Tecnologia & Gestão Sustentável*, v. 3, n. 8, 2024. DOI: 10.17271/xcm7mw35.

SOUZA, B. R. et al. **Características pluviométricas do município de Goiânia-GO nos últimos 20 anos.** Anais da Semana Universitária – UNIFIMES, Mineiros-GO, v. 1, n. 1, p. 1-10, 2023. Disponível em: <https://publicacoes.unifimes.edu.br/index.php/anais-semana-universitaria/article/download/3223/2106/13494>. Acesso em: 22 jun. 2025.

TUCCI, Carlos E. M. **Drenagem urbana sustentável.** 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2008.

TUCCI, C. E. M. **Urbanização e qualidade da água: desafios para a drenagem urbana sustentável.** 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2016.