

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

MODELAGEM HIDROLÓGICA: UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS NA BACIA DO CÓRREGO DO MERTGULHÃO

Letícia Leandro Lopes¹; Djalma Guimarães Estevam²; Tiago Vieira da Silva³; Aline de Araújo Nunes⁴; Jhonatan Pereira Dornelas Borges⁵ & Ana Paula Teixeira Gonçalves⁶.

Abstract:

This study evaluates the effectiveness of compensatory techniques—green roofs and permeable pavements—on urban drainage in the Córrego do Mergulhão watershed, Belo Horizonte (MG). Urban growth and soil impermeabilization have increased surface runoff and flood risks. To address this issue, the research compares two scenarios: the current watershed conditions versus the implementation of these compensatory techniques.

Using ABC 6 software and geographic data processed in QGIS, simulations were conducted for different return periods (2, 10, and 50 years). In the scenario with compensatory techniques, the watershed's Curve Number decreased from 89 to 88, leading to peak flow reductions of 7.84% (2-year return period), 6.47% (10-year), and 5.75% (50-year).

Despite application constraints (e.g., excluding roofs under 100 m² and maintaining setbacks from water bodies), the techniques proved effective. The study concludes that these solutions are viable and recommended, provided there is public policy support and regulation. They contribute to flood mitigation and improved urban hydrological performance, even in consolidated urban areas.

Resumo:

O estudo analisa o efeito da aplicação de técnicas compensatórias — telhados verdes e pavimentos permeáveis — na drenagem urbana da bacia do Córrego do Mergulhão, em Belo Horizonte (MG). O crescimento urbano e a impermeabilização do solo aumentam o escoamento superficial e o risco de enchentes. Para enfrentar esse problema, o trabalho compara dois cenários: um com a situação atual da bacia e outro com a implantação dessas técnicas.

Utilizando o software ABC 6 e dados geográficos obtidos pelo QGIS, foram realizadas simulações com diferentes tempos de retorno (2, 10 e 50 anos). No cenário com as técnicas compensatórias, o Curve Number da bacia caiu de 89 para 88, o que levou a uma redução nas vazões de pico: 7,84% para chuvas com TR de 2 anos, 6,47% para 10 anos e 5,75% para 50 anos.

Mesmo com restrições para aplicação (como não usar telhados com menos de 100 m² e manter distância de corpos d'água), as técnicas mostraram-se eficientes. O estudo conclui que essas soluções são viáveis e recomendadas, desde que haja apoio e regulamentação do poder público, pois contribuem para reduzir enchentes e melhorar o desempenho hidrológico urbano, mesmo em áreas já consolidadas.

Palavras-chave: Bacia do Córrego do Mergulhão; Uso do solo; vazão máxima.

INTRODUÇÃO

O aumento da urbanização e da impermeabilização do solo nas cidades tem impactado diretamente os processos hidrológicos, intensificando o escoamento superficial e agravando as inundações urbanas. A canalização de cursos d'água e a construção de pavimentação convencional são fatores que amplificam os problemas relacionados à drenagem pluvial (MACHADO, 2022). Segundo Tucci (2001), o papel da bacia hidrográfica é transformar uma entrada de precipitação concentrada em escoamento mais distribuído ao longo do tempo, mas esse equilíbrio natural é alterado pelas interferências antrópicas.

A canalização de cursos d'água e a construção de sistemas de drenagem convencionais, embora tenham sido soluções amplamente adotadas no passado, têm se mostrado cada vez mais ineficazes para lidar com os desafios da urbanização contemporânea. Esses sistemas, ao reduzirem a capacidade de infiltração da água no solo, contribuem para a intensificação dos problemas de drenagem urbana (CANHOLI, 2015).

Em oposição à abordagem higienista, que prioriza o rápido escoamento das águas pluviais provenientes de superfícies impermeáveis por meio de sistemas convencionais de drenagem, como tubulações e galerias, surgiu na Europa e na América do Norte, em meados da década de 1970, uma nova concepção para o manejo dessas águas: as denominadas tecnologias alternativas ou compensatórias (GONÇALVES; BAPTISTA; RIBEIRO, 2016). Essas técnicas visam mitigar os impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico, promovendo a retenção e a detenção dos volumes excedentes de água, o que minimiza a transferência acelerada dessas águas para jusante (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

Nesse contexto de busca por soluções para os impactos da urbanização, técnicas compensatórias como Telhados Verdes (TV) e Pavimentos Permeáveis (PP) têm se destacado como alternativas promissoras, sendo os TV dados por uma técnica de engenharia e arquitetura, localizada, de controle na fonte e estrutural, definida pela aplicação e uso de vegetação sobre solo ou substrato, instalado sobre a cobertura das edificações. Os PP são dispositivos de infiltração de controle do escoamento superficial linear e na fonte (NOLETO; RODRIGUES, 2024; PRAXEDES, 2023).

O presente trabalho objetiva analisar o impacto da implementação de duas técnicas compensatórias de controle na fonte, os telhados verdes e pavimentos permeáveis, na bacia do Córrego do Mergulhão, localizada no município de Belo Horizonte – MG por meio da análise das vazões de máximas no exutório da bacia considerando os cenários atuais de uso do solo e o hipotético com a aplicação das técnicas.

MATERIAIS E MÉTODOS

A simulação dos cenários considerou duas situações, sendo o Cenário 01, associado às condições atuais da bacia, e o Cenário 02, da situação hipotética com implementação das Técnicas Compensatórias. Assim, o software utilizado para as simulações foi o Sistema de Suporte à Decisão (ABC 6) onde considerou-se para o modelo: a equação Intensidade Duração e Frequência (IDF) de Belo Horizonte definida por Villela e Mattos (1975); o modelo de chuva excedente do Soil Conservation Service (SCS, 1972); tempo de retorno (TR) de 2 e 50 anos, utilizando um intervalo de discretização de 10 minutos; e o método de Kirpich I para a obtenção do tempo de concentração (t_c), em minutos, conforme a Equação 1.

$$Tc = 0,0196 * (L3 / h) 0,385 \quad (1)$$

Sendo: L o comprimento do talvegue (m) e h a diferença de cotas (m).

23 a 28 de novembro de 2025 - Vitória - ES

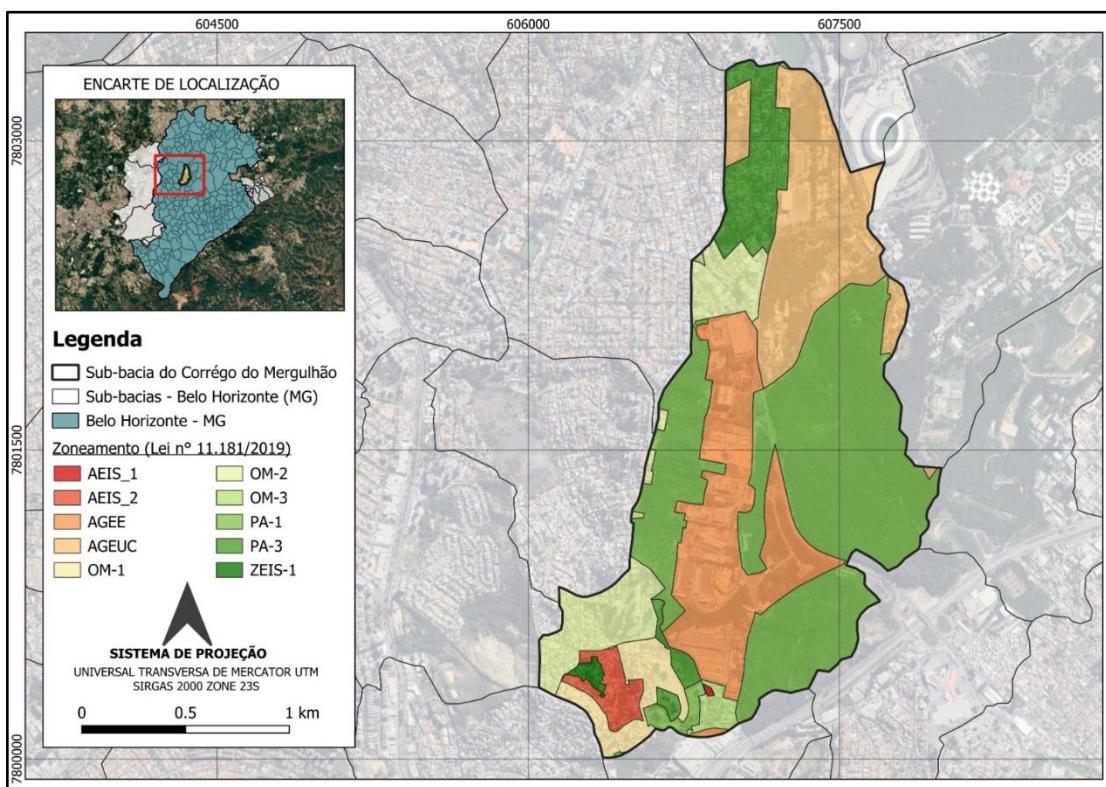
A este modelo são cadastrados os dados sobre a área (km^2), comprimento (km), declividade (%) do rio principal e *Curve Number* (CN) associados à bacia. A base georreferenciada para a obtenção destes parâmetros se deu pelo BH Maps (2023) e elaborado por meio do software Qgis. Além disso, a declividade foi definida pelo método de declividade equivalente constante (S3), dado em m/m, apresentado na Equação 2.

$$S3 = \frac{\sum Li}{\sum (Li / \sqrt{Di})} \quad (2)$$

Sendo: Li o comprimento de cada trecho (m) e Di a declividade de cada trecho (m/m).

Para a obtenção do *Curve Number* (CN) no Cenário 01, foi utilizada a média ponderada com base nas áreas de zoneamento presentes na bacia, conforme expostas na Figura 1. Conforme mostra a figura, as zonas presentes na bacia, entre as quais se destacam: Área de Grandes Equipamentos de Uso Coletivo (AGEUC), Área de Grandes Equipamentos Econômicos (AGEE), Área de Especial Interesse Social 1 (AEIS 1), Área de Especial Interesse Social 2 (AEIS 2), Ocupação Moderada 1 (OM-1), Ocupação Moderada 2 (OM-2), Ocupação Moderada 3 (OM-3), Preservação Ambiental 1 (PA-1), Preservação Ambiental 3 (PA-3) e Zona de Especial Interesse Social 1 (ZEIS-1).

Figura 1 – Zoneamento da Bacia do Córrego do Mergulhão.



Para o cenário 02, o estudo de caso considerou a aplicação de Telhado Verde (TV) e Pavimento Permeável (PP). A escolha pelo TV extensivo se justifica por seu menor peso e necessidade de manutenção (LIMA; DE CAMARGO, 2022). Aos Telhados Verdes considerou-se CN de 85, restrito às edificações com área superior a 100 m^2 para sua implantação (ALAMY FILHO et al., 2016).

Ao PP as seguintes restrições foram adotadas: distância mínima de 1,5 m do lençol freático (ABNT, 2011), afastamento de 30 m de APP hídrica, segundo a Lei Federal nº 12.727/12, vias arteriais e com mais de 10 m de largura.

Com o intuito de considerar a permeabilidade dos solos do local no modelo, latossolo e argilossolo, considerou-se seus respectivos CN de 85 e 91. O CN do cenário hipotético é determinado pela Equação 3.

$$CN = (CNA_1 * A_1 + CNPP * APP + CNTV * ATV) / Atotal \quad (3)$$

Onde: A_1 a área da bacia onde as TC não foram consideradas e CNA_1 o curve number desta área; APP a área apta a receber o PP e CN_{PP} o curve number desta área; ATV a área apta a receber o TV e CN_{TV} o curve number desta área.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A realização das simulações depende dos parâmetros físicos da bacia hidrográfica, como área, comprimento e declividade do curso d'água principal, que são sintetizados na Tabela 1.

Tabela 1 – Características físicas da Bacia do Córrego do Mergulhão, Belo Horizonte – MG

Parâmetros	Valor	Fonte
Área da bacia (m ²)	3.372.470,5	QGIS
Perímetro da bacia (m)	9893,3656	QGIS
Comprimento do curso d'água principal (m)	3.923,5	QGIS
Declividade da bacia (m/m)	0,0123	Método S3

Em seguida, para a determinação do Curve Number para ambos os cenários, determina-se os CN para as 10 zonas presentes na bacia do Córrego do Mergulhão, de acordo com os CN determinados por Canholi et al., 2022 . A Tabela 2 exibe essa relação.

Tabela 2 – Curve Number de acordo com o zoneamento da bacia

Zoneamento	Área (m ²)	CN
Área de Grandes Equipamentos de Uso Coletivo (AGEUC)	607.449,35	94
Área de Grandes Equipamentos Econômicos (AGEE)	633281,82	94
Área de Especial Interesse Social - 2 (AEIS 2)	69.793,58	90
Área de Especial Interesse Social -1 (AEIS 1)	1619,43	90
Ocupação Moderada - 1 (OM-1)	123034,43	90
Ocupação Moderada - 2 (OM-2)	304071,14	90
Ocupação Moderada - 3 (OM-3)	35916,62	90
Preservação Ambiental - 1 (PA-1)	1364365,89	86
Preservação Ambiental - 3 (PA-3)	243904,25	86
Zona de Especial Interesse Social - 1 (ZEIS-1)	15195,17	90

Alcançados os valores de CN para cada zoneamento para as áreas relacionadas, ao aplicar-se a equação 3 encontrasse como resultado o valor de 89 para o Cenário 01, sem a aplicação da técnica compensatória. Para o estudo do cenário 02, utilizou-se as áreas de inserção do TV e PP, conforme tabela 03, no qual obteve-se como resultado um CN de 88.

Tabela 3 – Áreas de implantação das Técnicas Compensatórias.

Técnica Compensatória	Área (m ²)	CN
Telhado Verde (TV)	513.499,45	85
Pavimento Permeável (PP)	111.449,45	88

Obtidos os parâmetros para a modelagem, apresentam-se nas Figuras 2 e 3 os hidrogramas produzidos para os tempos de retorno de 2, 10 e 50 anos, considerando os Curve Number de 89 e 88, associados aos dois cenários de análise.

Figura 02- Hidrograma para o CN de 89 (cenário 01)

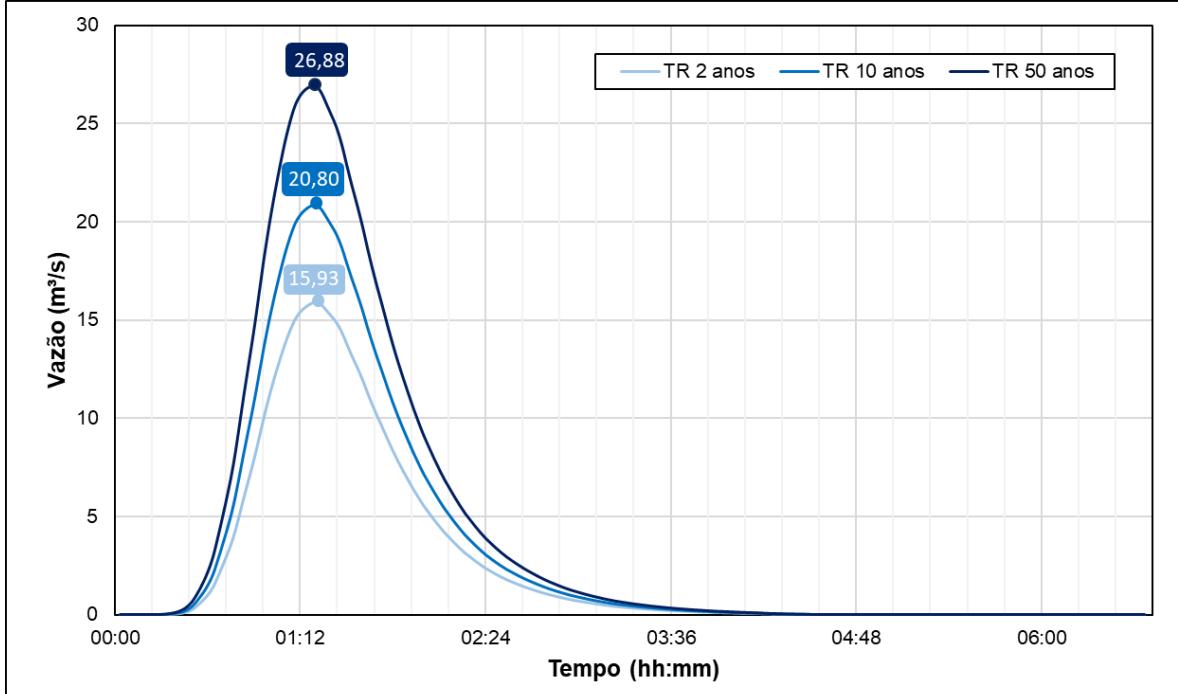
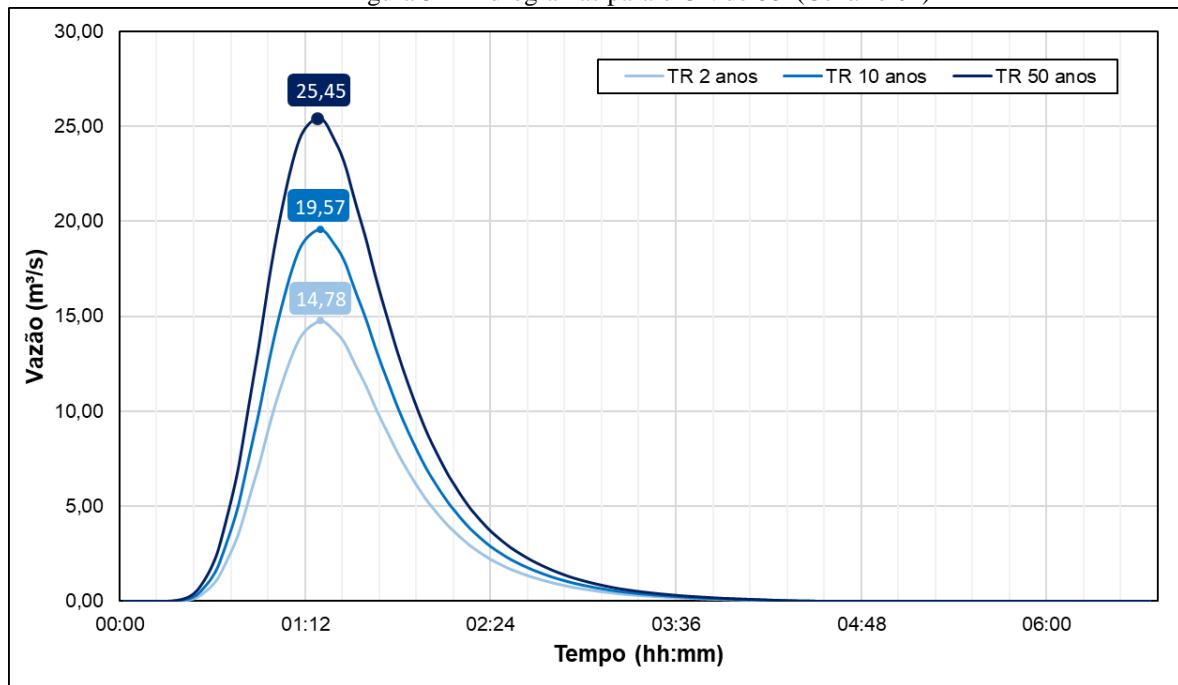


Figura 3 – Hidrogramas para o CN de 88 (Cenário 02)



Para o primeiro cenário, com o CN de 89, a vazão de pico como o Tempo de Retorno (TR) de 2 anos é de $15,93\text{m}^3/\text{s}$, para 10 anos de TR estima-se uma vazão de $20,8\text{m}^3/\text{s}$ e 50 anos uma vazão de $26,88\text{m}^3/\text{s}$. Com o cenário 02, houve uma queda no CN para 88, e com 2 anos de TR, uma vazão de pico de $14,78\text{m}^3/\text{s}$, para o TR de 10 anos a vazão de $19,57\text{m}^3/\text{s}$ e para 50 anos uma vazão de $25,45\text{m}^3/\text{s}$.

Com o aumento do tempo de retorno as vazões aumentam proporcionalmente, pela maior probabilidade de precipitações com maior intensidade, com isso as técnicas compensatórias auxiliam para conter a precipitação que incide em sua área e ocorra o escoamento superficial, assim, reduz a vazão de pico em 7,21%, 5,91% e 7,40% para os tempos de retorno de 2 anos, 10, anos e 50 anos, respectivamente. Comportamento semelhante pode ser observado nos estudos de Silva et al. 2024, que ao aplicarem as mesmas Técnicas Compensatórias em seu modelo hidrológico, obtiveram uma redução de 11,64% na vazão de pico em um tempo de retorno de 2 anos, 10,08% para tempo de retorno de 10 anos e 8,70 para 50 anos de TR.

A bacia do Mergulhão, localiza-se em uma planície de inundação, com isso, é notório que a área precisa passar por uma intervenção. Entretanto, é uma área já consolidada, com tráfego de veículos, habitações e grandes áreas impermeabilizadas. Assim, as técnicas compensatórias auxiliam para reduzir os problemas causados pelas ações antrópicas causadas na localidade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após estudo realizado ao longo desse trabalho, é notório o impacto positivo que as técnicas compensatórias de aplicação de telhado verde e pavimento permeável causam ao sistema de drenagem na bacia córrego do Mergulhão. Com a utilização de duas técnicas e com as limitações para aplicação, resultou-se na alteração 18% da área total e com isso o Curve Number reduziu de 89 para 88 e como consequência afetou a vazão de pico com um decréscimo em 7,84% no tempo de retorno de 2 anos, 6,47% para 10 anos e 5,75% para 50 anos. As limitações de aplicação para o telhado verde utilizadas - não aplicar em telhados com área inferior a 100m^2 e para pavimentos permeáveis - não utilizar as vias arteriais, distâncias maiores que 30 metros dos cursos d'água e larguras inferiores a 10 metros.

A bacia em análise, encontra-se em uma área já consolidada, com áreas de inundação e o solo local possui pouca propensão à infiltração, assim, intensifica-se os eventos extremos de chuva e como consequência inconvenientes ambientais, econômicas e sociais, dessa forma, as técnicas compensatórias auxiliam no para uma queda no escoamento superficial e na vazão de pico, como observado nos estudos realizados.

Assim, é possível concluir que a bacia córrego do Mergulhão possui um grande potencial de aplicabilidade das técnicas compensatórias apresentadas. Essas tecnologias apresentam um grande potencial em aumentar a infiltração no solo e diminuir o escoamento superficial, para isso, é preciso de uma ação do poder público para que estimule e alcance legislativamente que as técnicas sejam aplicadas no local e em outras regiões do município.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALAMY FILHO, J. E.; MANNA, I. B. C. B.; MELO, N. A. D.; CAIXETA, A. C. M. Eficiência hidrológica de telhados verdes para a escala de loteamentos residenciais. *Sociedade & Natureza*, v. 28, n. 2, p. 257-272, 2016.
- BELO HORIZONTE. *Lei 7166, de 1996*: estabelece Normas e Condições para Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo Urbano no Município. Belo Horizonte, 1996.
- BRASIL. *Lei Federal nº 12.727, de 17 de outubro de 2012*. Altera as Leis nos 12.651, de 25 de maio de 2012; 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; e revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001. Brasília, DF: Congresso Nacional, 2012.
- GONÇALVES, L. M; BAPTISTA, L, F, S; RIBEIRO, R, A. O uso de técnicas compensatórias de drenagem para controle dos impactos da urbanização. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental do Alto Paulista*, v. 12, n. 01, 2016.
- MACHADO, P. R. *Impactos da Urbanização no Regime Hidrológico*. 2022.
- NOLETO, R. G, RODRIGUES, C. R. Análise crítica das técnicas compensatórias de drenagem urbana: uma revisão bibliográfica. Semana Acadêmica, v.12, 2024
- SILVA, T. V.; Oliveira, J. M. M. R.; Mayrink, M. M; Silva Pereira, M. F.; Pádua, P. M. T. Modelagem Hidráulico-Hidrológica: Utilização de Técnicas Compensatórias da bacia do córrego Engenho Nogueira. In: *XXI SILUBESA*, 2024.
- TUCCI, C. E. M. Drenagem urbana. *Ciência e cultura*, v. 55, n. 4, p. 36-37, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15953*: Pavimento Intertravado com Peças de Concreto - Execução. Rio de Janeiro, 2011.