

Modelagem de técnicas compensatórias na bacia do Córrego Engenho Nogueira (Belo Horizonte, MG) sob a ótica do novo plano diretor

Modeling of compensatory techniques in the Córrego Engenho Nogueira basin (Belo Horizonte, Minas Gerais) under the perspective of the new master plan

Tiago Vieira da Silva¹ , Matheus Filipe da Silva Pereira² , Aline de Araújo Nunes³ ,
Patrícia Milagres Tassara de Pádua⁴ , Marcela Mafia Mayrink⁵ ,
Júlia Maria Medalha Resende Oliveira⁴ 

RESUMO

A urbanização acelerada e desordenada tem causado aumento da impermeabilização do solo e do escoamento superficial, intensificando cheias urbanas. Políticas urbanas desempenham papel crucial na mitigação desses impactos. Belo Horizonte (MG), que enfrenta frequentes inundações, revisou seu plano diretor pela Lei nº 11.181/2019. O presente estudo objetivou a avaliação dos efeitos do uso do solo na bacia do Córrego Engenho Nogueira, considerando os planos diretores de 1996 e 2019, e investigou a redução do escoamento superficial com técnicas compensatórias, como pavimento permeável e telhados verdes. Os resultados apontaram para aumento de 8 e 9% nas vazões de pico do cenário de 1996 para o de 2019, para tempos de retorno de 10 e 50 anos, respectivamente. A aplicação das técnicas compensatórias reduziu as vazões em 9%, aproximando-as dos valores de 1996, com tempo de pico constante de 45 minutos. Esses achados destacam a eficácia dessas soluções na mitigação de impactos da urbanização, embora fatores locais influenciem os resultados. O plano diretor de 2019 trouxe avanços nas diretrizes de drenagem urbana, mas o crescimento urbano e a impermeabilização ainda representam desafios, demandando maior integração entre planejamento e sustentabilidade, em conformidade com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030.

Palavras-chave: modelagem hidrológica; HEC-HMS; bacia do Córrego Engenho Nogueira; técnicas compensatórias; plano diretor.

ABSTRACT

Accelerated and disorderly urbanization has caused an increase in soil sealing and surface runoff, intensifying urban flooding. Urban policies play a crucial role in mitigating these impacts. Belo Horizonte, which faces frequent floods, revised its Master Plan by Law No. 11,181/2019. The present study aimed to evaluate the effects of land use in the Córrego Engenho Nogueira Basin, considering the Master Plans of 1996 and 2019, and to investigate the reduction of surface runoff with compensatory techniques, such as permeable pavement and green roofs. The results indicate an increase of 8 and 9% in peak flows from the 1996 to the 2019 scenario, for return times of ten and 50 years, respectively. The application of compensatory techniques reduced flows by around 9%, bringing them closer to 1996 values, with a constant peak time of 45 minutes. These findings highlight the effectiveness of these solutions in mitigating the impacts of urbanization, although local factors influence the results. The 2019 Master Plan brought advances in urban drainage guidelines, but urban growth and waterproofing still represent challenges, demanding greater integration between planning and sustainability, in accordance with the Sustainable Development Goals of the 2030 Agenda.

Keywords: hydrological modeling; HEC-HMS; engenho nogueira stream basin; compensatory techniques; master plan.

¹Mestrando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais – Belo Horizonte (MG), Brasil.

²Mestrando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Ouro Preto – Ouro Preto (MG), Brasil.

³Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais. Professora da Universidade Federal de Ouro Preto – Ouro Preto (MG), Brasil.

⁴Graduandas em Engenharia Urbana pela Universidade Federal de Ouro Preto – Ouro Preto (MG), Brasil.

⁵Graduada em Engenharia Urbana pela Universidade Federal de Ouro Preto – Ouro Preto (MG), Brasil.

*Endereço para correspondência: **Campus** Morro do Cruzeiro, Bauxita, CEP: 35400-000, Ouro Preto (MG), Brasil. e-mail: tiago.v.s@aluno.ufop.edu.br

INTRODUÇÃO

O regime hidrológico vem sendo ao longo dos anos impactado diretamente por medidas antrópicas envoltas ao processo de urbanização em detrimento das excessivas canalizações de cursos d’água e impermeabilização das superfícies (MACHADO, 2022). Toda essa modificação no meio causa interferências no ciclo hidrológico, como o aumento considerável dos volumes de escoamento superficial, além de reduzir as taxas de infiltração e evapotranspiração (NUNES; PINTO; BAPTISTA, 2018).

A drenagem urbana e o manejo das águas pluviais são dois pilares fundamentais do saneamento básico para mitigar parte dos impactos decorrentes da urbanização, especialmente quando estão atrelados ao planejamento urbano e a políticas públicas (AQUINO, 2021). Todavia, o histórico da gestão na drenagem urbana teve certos equívocos, como a ideia de retirar toda a água pluvial o mais rápido possível e transferir o problema para jusante, bem como a visão de canalizar trechos críticos, o que pode agravar eventos de inundações nos pontos críticos da cidade, causando uma série de prejuízos para a população (CANHOLI, 2015).

O município de Belo Horizonte (MG) sofre recorrentemente com desastres e eventos de inundações ocasionados pelas chuvas intensas e impulsionados pelo relevo de elevadas declividades no qual se situa, além do alto grau de impermeabilização do solo, pela urbanização da metrópole (DRUMOND; ALMEIDA; NASCIMENTO, 2023).

Os instrumentos de política urbana no Brasil, embora recentes, são mecanismos fundamentais que direcionam o desenvolvimento das cidades. Esses instrumentos podem influenciar diretamente estratégias voltadas à mitigação de eventos de cheias urbanas, por meio de diretrizes relacionadas a zoneamento urbano, limites para a taxa de impermeabilização do solo, planejamento e gestão do sistema de drenagem urbana, além de promoverem incentivos para o desenvolvimento de infraestruturas sustentáveis pela população (BRUSKI; TOGNOLI; ARAÚJO, 2020; DRUMOND; ALMEIDA; NASCIMENTO, 2023). O município de Belo Horizonte aportou recentemente a revisão de seu plano diretor instituído pela Lei nº 7.166/1996 pela Lei nº 11.181/2019, no qual o zoneamento e demais diretrizes quanto à drenagem urbana foram modificados.

Entre as medidas de controle dos impactos no sistema de drenagem urbana, há as técnicas compensatórias (TC), que visam controlar a quantidade de águas pluviais escoadas superficialmente para o sistema de macrodrenagem, por meio de dispositivos que favorecem o processo de infiltração e/ou retenção, redução da velocidade do escoamento superficial e da vazão de pico por meio do armazenamento temporário do volume precipitado (OLIVEIRA; BARBASSA; GONÇALVES, 2016).

Entre as várias TCs existentes, destacam-se os telhados verdes (TV) e os pavimentos permeáveis (PP). Os TVs dão-se 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 na cobertura das edificações. Já os PP são dispositivos de infiltração de controle do escoamento superficial linear e na fonte (PRAXEDES, 2023; NOLETO; RODRIGUES, 2024).

Nesse sentido, estuda-se a bacia do Córrego Engenho Nogueira, situada na região metropolitana de Belo Horizonte, majoritariamente nos limites da Cidade Universitária da Universidade Federal de Minas Gerais, e próxima à lagoa da Pampulha (BARROS *et al.*, 2002).

O objetivo deste estudo foi avaliar os impactos das mudanças do uso do solo da bacia do Córrego Engenho Nogueira, em Belo Horizonte, decorrentes das legislações urbanísticas vigentes (Lei nº 7.166/1996) e futuras (Lei nº 11.181/2019), com foco em aspectos hidrológicos. Por meio dessa análise, buscou-se investigar o potencial de aplicação de TCs de controle na fonte, especificamente TVs e PP, visando à redução do escoamento superficial e à mitigação dos impactos da urbanização na drenagem da bacia.

METODOLOGIA

O procedimento metodológico do presente estudo é composto de quatro etapas, iniciando-se pelo reconhecimento da área de estudo, seguido então pela determinação dos parâmetros de área e dos cursos d’água e pela caracterização hidrológica de todas as sub-bacias pertencentes a ela. Na sequência, foram definidos os parâmetros de projeto, permitindo o processo de simulação e, finalmente, a análise dos resultados obtidos. Para a realização dos itens

descritos, utilizaram-se o *software* de modelagem hidrológica HEC-HMS e o *software* de visualização, edição e análise de dados QGIS.

Caracterização da área de estudo

A bacia do Córrego Engenho Nogueira (**Figura 1**), área de estudo do presente trabalho, situa-se em uma área urbanizada inserida em sua quase totalidade na Regional Pampulha, com pequenas porções integrando a regional noroeste do município de Belo Horizonte (BELO HORIZONTE, 2019).

A área de estudo é definida pelo Córrego Engenho Nogueira, o qual é formado pela união dos afluentes Antônio Henrique Alves, Prentice Coelho e Cascatinha, e deságua no Ribeirão Pampulha, integrando dessa forma a bacia do Ribeirão Onça e, consequentemente, a bacia do Rio das Velhas. A bacia do Córrego Engenho Nogueira é dada pelo afluente da margem direita do Ribeirão Pampulha e localizada no norte da urbe de Belo Horizonte, tem 10,04 km²

de área total e população de cerca de 44 mil pessoas, além de empresas e extensas áreas comerciais (MANUELZÃO UFMG, 2018).

Na região, nota-se uma pequena variedade de solos, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2018), de latossolo vermelho amarelo na porção norte e argissolo vermelho amarelo na porção sul.

Definição dos modelos e parâmetros de simulação

A modelagem hidrológica considerou três situações:

- cenário 1, das condições atuais da bacia, correlato ao zoneamento associado ao plano diretor da Lei nº 7.166/1996;
- cenário 2, das condições futuras da bacia, correlato ao zoneamento da Lei nº 11.181/2019, que elenca o novo plano diretor;
- cenário 3, que considera a implementação das TCs considerando o novo plano diretor.

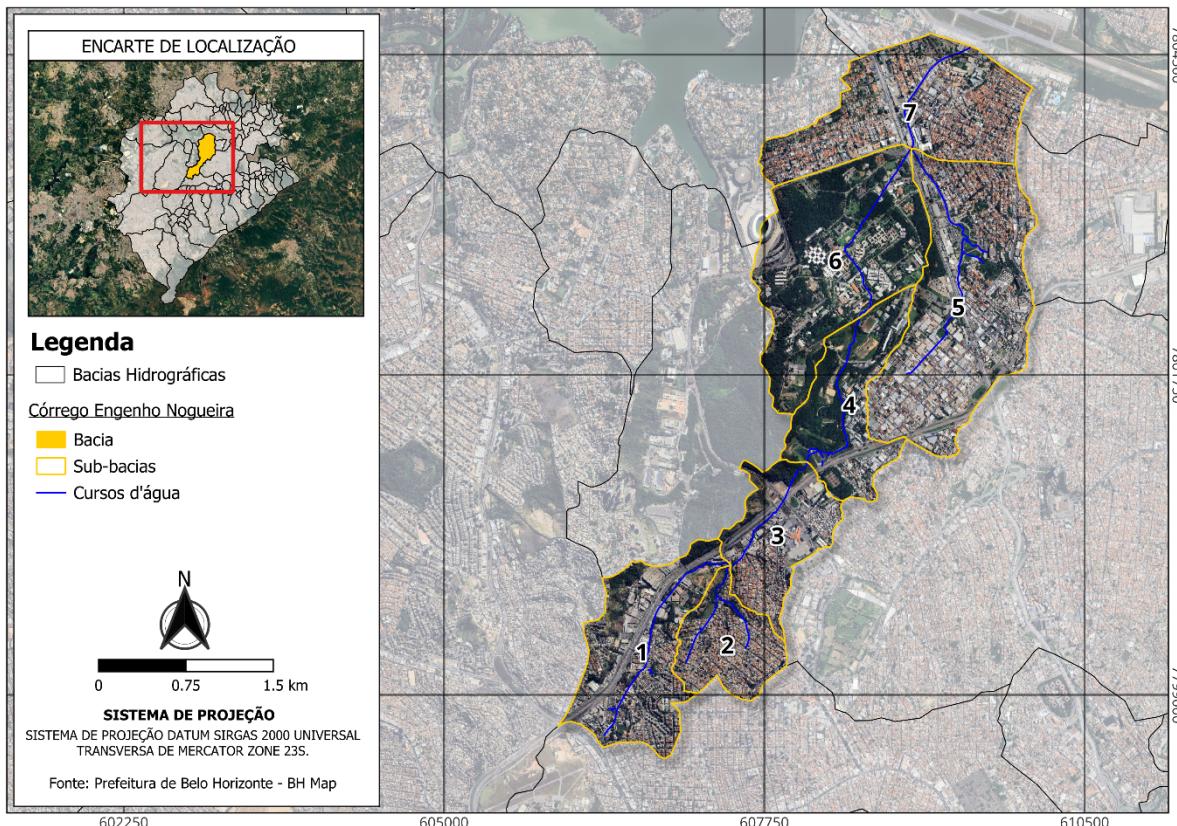


Figura 1 – Mapa de localização da bacia do Córrego Engenho Nogueira, Belo Horizonte (MG)

Para as simulações, aplicou-se o *software* HEC-HMS, no qual as definições utilizadas foram:

- modelo chuva-vazão: *soil conservation service* (SCS) do hidrograma unitário;
- modelo de perdas do SCS *curve number* (CN), sendo elencados os CNs e índice de impermeabilidade do solo (IMP) de cada sub-bacia em cada cenário;
- tempo de retorno (TR) de 10 e 50 anos;
- intervalo de discretização de 15 minutos, com duração de 60 minutos;
- chuva de projeto: determinada pela discretização da chuva diária para o município de Belo Horizonte, fornecida pela prefeitura (BELO HORIZONTE, 2022);
- o método de Kirpich I para a obtenção do tempo de concentração, em minutos, conforme a Equação 1.

$$t_c = 0,0196 * (L^3 / h)^{0,385} \quad (1)$$

Em que:

L_i = o comprimento do talvegue (m);

h = a diferença de cotas (m).

Também se definiu o tempo de pico, t_p , dado por 60% de t_c .

Definição dos parâmetros físicos

Ao modelo, são cadastrados os dados sobre a área (km^2), comprimento (km) e declividade (%) do rio principal e CN das sub-bacias. Esses dados foram obtidos pelo uso do *software* QGIS, pelo aporte de dados da plataforma BH Map. Assim, a definição da declividade considerou o método de declividade equivalente constante (S3), em m/m, conforme a Equação 2.

$$S_3 = \sum L_i / \sum (L_i / \sqrt{D_i}) \quad (2)$$

Em que:

L_i = o comprimento de cada trecho (m);

D_i = a declividade de cada trecho (m/m).

A obtenção do CN médio para os cenários 1 e 2 considerou os zoneamentos regidos nos dois cenários. A **Figura 2** apresenta os zoneamentos de cada sub-bacia do Córrego Engenho Nogueira, sendo os respectivos CN médios definidos na **Figura 3**.

Para o cenário 3, da condição hipotética de implementação das TCs, pensou-se no TV e no PP. Para o TV, ponderou-se o do tipo extensivo, pelo menor porte de cobertura vegetal, que requer menor esforço das estruturas das edificações pelo seu menor peso, além de menor manutenção (LIMA; CAMARGO, 2022). Consideraram-se aos TVs o CN de 85 e somente as edificações com área superior a 100 m^2 para sua implantação (ALAMY FILHO et al., 2016).

Em relação ao PP, elencaram-se as restrições:

- 1,5 m de distância entre a base da estrutura do pavimento e o lençol freático (ABNT, 2011);
- afastamento de 30 m dos cursos que podem ser considerados como áreas de preservação permanente pela Lei Federal nº 12.727/2012;
- vias com largura superior a 10 m, considerando maior representatividade dos resultados.

Para o PP, aplicou-se a classificação hidrológica de grupo de solos. Ou seja, segundo Ramos, Viana e Baptista (1999), as áreas ao norte do Ribeirão Arrudas, onde se localiza a bacia de estudo, são denotadas, conforme a classificação de Tucci (2001), ao grupo hidrológico B, sendo adotado o CN de 85, tal qual determina o Serviço de Conservação de Recursos Naturais (1986 *apud* Oliveira, 2020), que elenca para a ruas e estradas paralelepípedos. Na **Figura 4**, estão as condições estabelecidas para a bacia em relação ao cenário 3.

O CN do cenário 3 é estabelecido pela Equação 3. Destaca-se que o zoneamento considerado para as áreas onde não se aplicaram as TCs foi o do novo plano diretor, que adotou os valores definidos por Canholi, Silva e Furtado (2022).

$$CN = (CN_{Zn} * A_{Zn} + CN_{PP} * A_{PP} + CN_{TV} * A_{TV}) / A_{total} \quad (3)$$

Em que:

A_{Zn} = a área da bacia onde as TCs não foram consideradas;

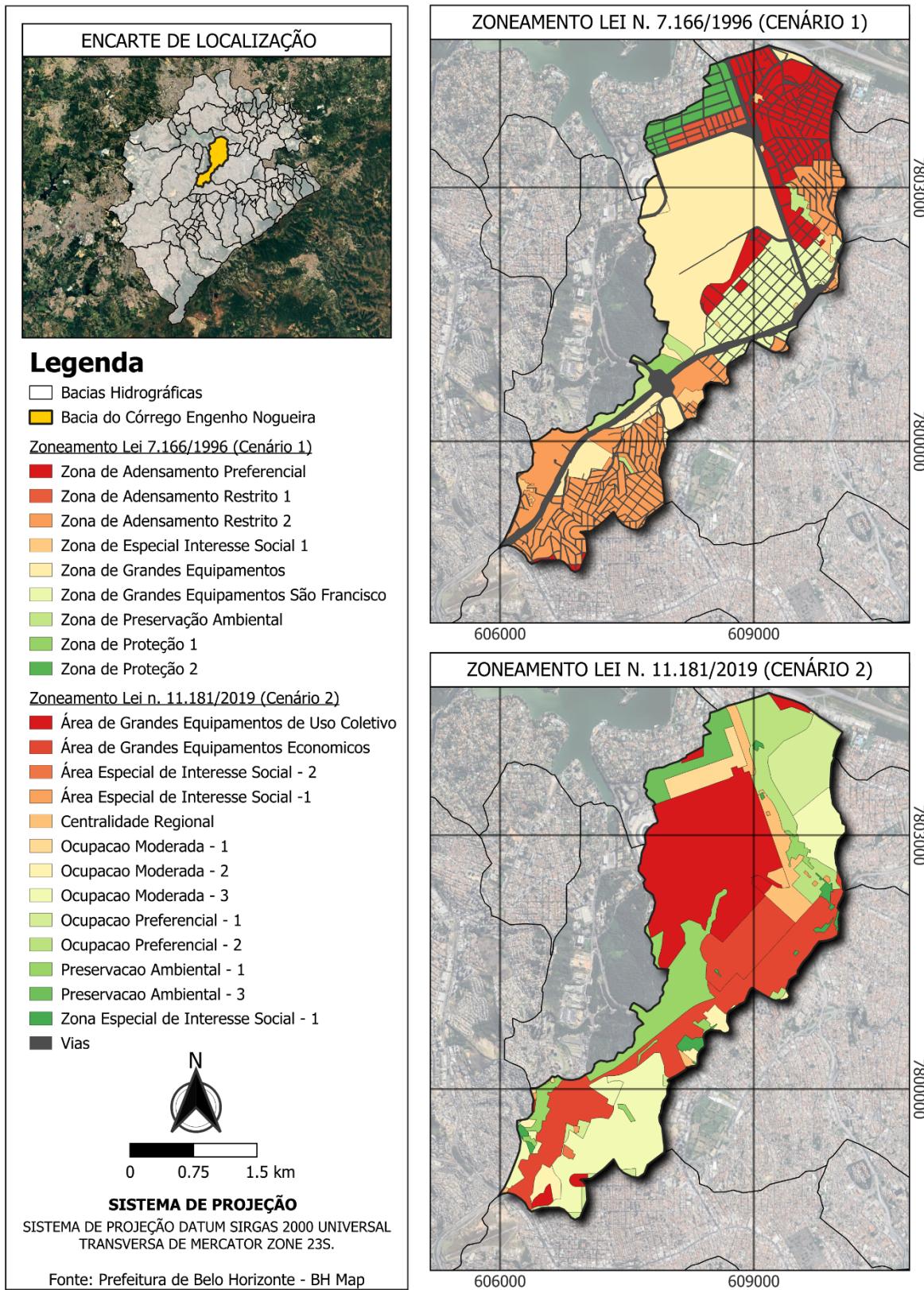
CN_{Zn} = CN médio dos zoneamentos (Lei nº 11.181/2019);

CN_{PP} = CN do pavimento permeável;

CN_{TV} = CN do telhado verde.

A_{PP} = a área apta a receber o PP;

A_{TV} = a área apta a receber o TV;



Fonte: elaborada pelos autores.

Figura 2 - Mapa dos zoneamentos do cenário 1 (Lei nº 7.166/1996) e do cenário 2 (Lei nº 11.181/2019) da bacia do Córrego Engenho Nogueira, Belo Horizonte (MG)

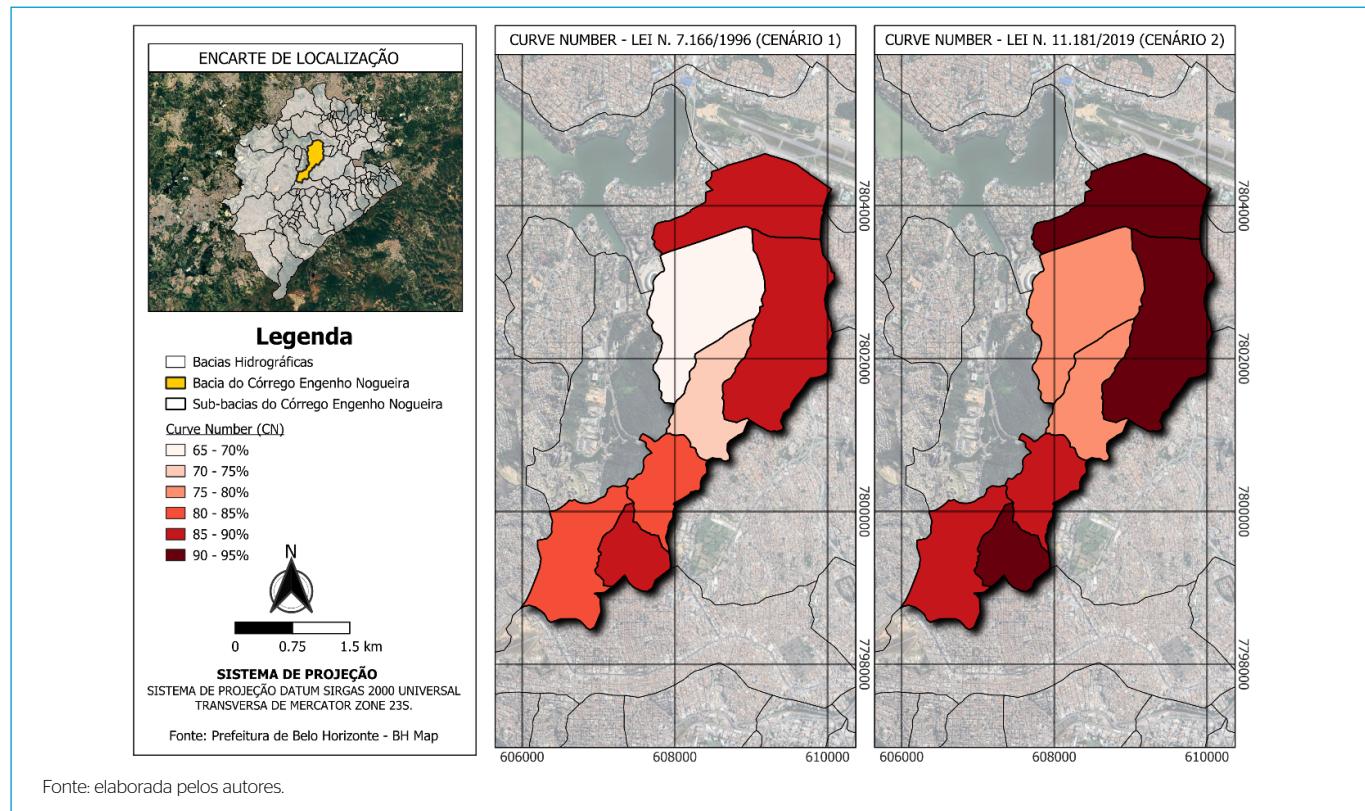


Figura 3 - Mapa do curve number do cenário 1 (Lei nº 7.166/1996) e do cenário 2 (Lei nº 11.181/2019) da bacia do Córrego Engenho Nogueira, Belo Horizonte (MG)

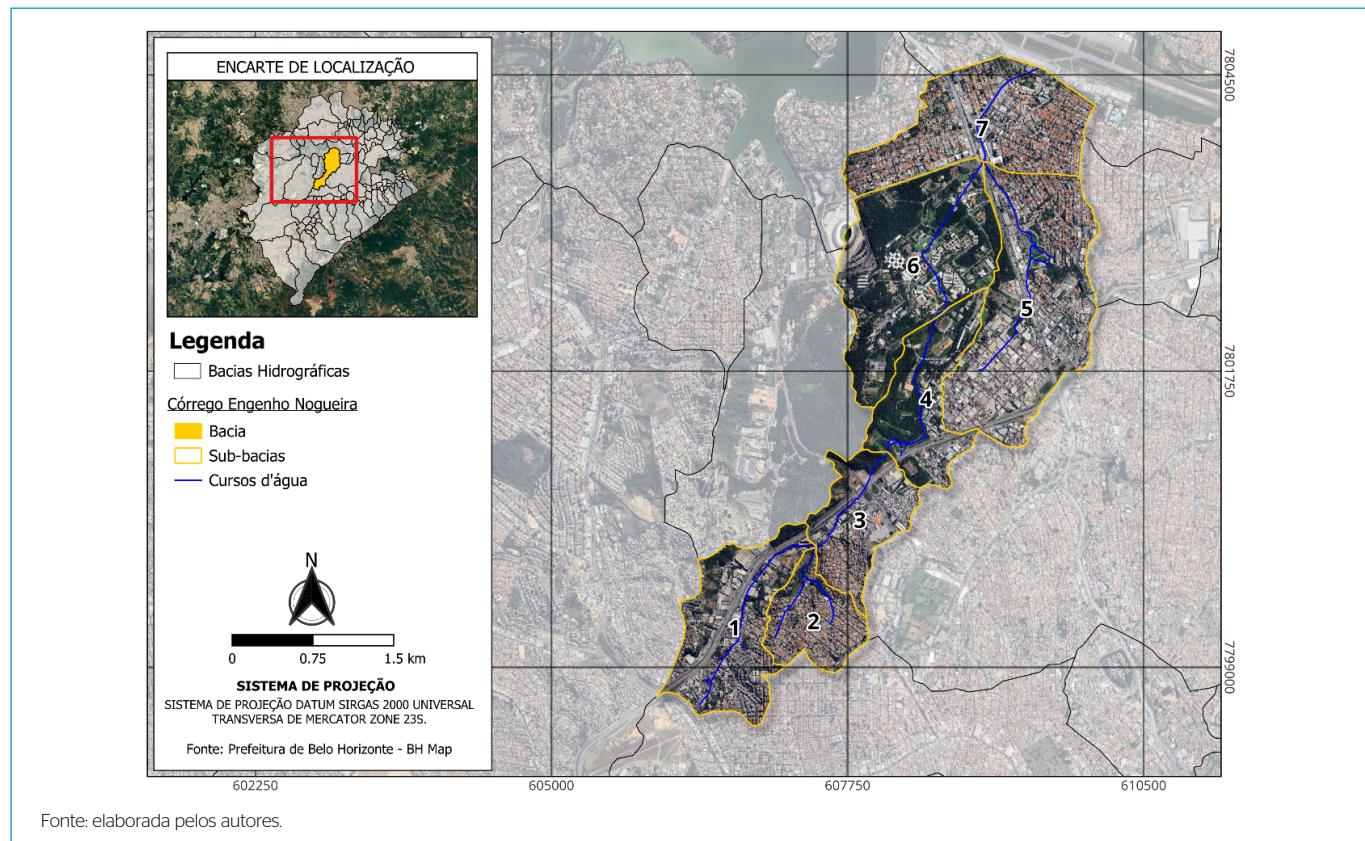


Figura 4 - Edificações e vias consideradas para a implementação das técnicas compensatórias

Ressalta-se que, associado ao CN, há o parâmetro de IMP considerado na simulação. Para este estudo, considerou-se o somatório do percentual de vias e edificações de cada sub-bacia como o valor do IMP, sendo esse valor adotado como constante para os três cenários.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A **Tabela 1** sintetiza os parâmetros físicos obtidos para cada sub-bacia do Córrego Engenho Nogueira.

Os dados de tempo de concentração e tempo de pico são apresentados na **Tabela 2**.

Da **Tabela 3**, constam as chuvas de projeto para TR de 10 e 50 anos.

Sintetizam-se nas **Figuras 5 e 6** os hidrogramas e vazões de pico obtidos na modelagem para os TR e cenários supracitados.

Os resultados demonstraram aumento das vazões de pico do cenário 1 ao 2, 8 e 9% para os TR de 10 e 50 anos, respectivamente. Comparando o cenário 2 com o cenário 3 (aplicação das TCs), observou-se redução de 9% na vazão de pico para os TR de 10 e 50 anos. O tempo de pico em todos os cenários foi de 45 minutos.

Há estudos que aplicaram TCs em bacias altamente urbanizadas de Belo Horizonte, e houve o registro de reduções significativas na vazão de pico. Segundo Pereira *et al.*

(2022), a implementação de PP e TV, as mesmas TCs do presente estudo, na bacia do Córrego Cachoeirinha levou à diminuição de 20,6% na vazão de pico para um TR de 10 anos. O estudo realizado por Niquini *et al.* (2019), por sua vez, avaliou a aplicação de PP e TV na bacia do Córrego Ressaca, Belo Horizonte, que acarretou redução de 11,8% na vazão máxima, considerando o TR de 10 anos, e de 9,9% para o TR de 50 anos.

Em estudos como o de Palla e Gnecco (2015), foram identificadas reduções significativas nos picos de vazão, com quedas de 45, 37 e 31% em eventos com TR de dois, cinco e 10 anos, respectivamente. Esses resultados foram obtidos pela aplicação de estratégias de *low impact development*, que visam minimizar os impactos ambientais por meio de soluções integradas e sustentáveis para a gestão de águas pluviais.

Tabela 3 - Chuvas de projeto para tempo de retorno de 10 anos e 50 anos

60 minutos	10 anos		50 anos	
	PPT acumulada (mm)	PPT (mm)	PPT acumulada (mm)	PPT (mm)
15	13,77	13,77	17,29	17,29
30	39,66	25,89	49,80	32,51
45	52,88	13,22	66,40	16,60
60	55,08	2,20	69,17	2,77

PPT: precipitação.

Fonte: elaborada pelos autores.

Tabela 1 - Parâmetros físicos das sub-bacias do Córrego Engenho Nogueira, Belo Horizonte (MG)

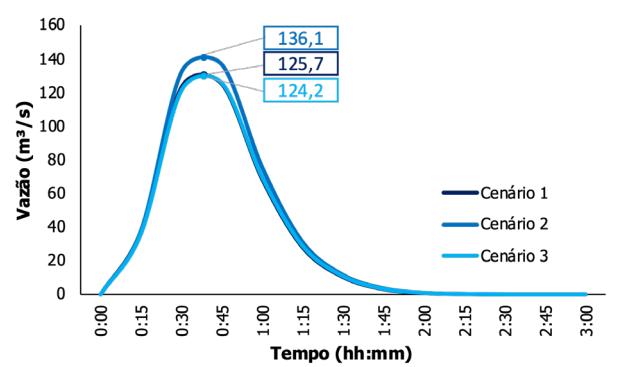
Sub-bacia	Área (km ²)	Curso d'água principal		Impermeabilização do solo (%)	CN		
		Comprimento (m)	Declividade (m/m)		Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
1	1,37	2.030,10	0,016	49	81,81	85,89	80,28
2	0,663	946,14	0,019	61	86,13	90,65	85,61
3	0,877	1.167,84	0,011	58	83,64	86,15	79,01
4	1,023	1.607,24	0,009	25	71,22	78,82	72,93
5	2,069	1.757,49	0,007	23	68,44	78,64	81,23
6	2,346	2.392,50	0,008	63	86,82	90,61	76,36
7	1,692	1.169,43	0,007	66	88,17	90,44	83,45
Total	10,04	11.070,75	-	-	-	-	-

Fonte: elaborada pelos autores.

Tabela 2 - Tempos de concentração e de pico das sub-bacias

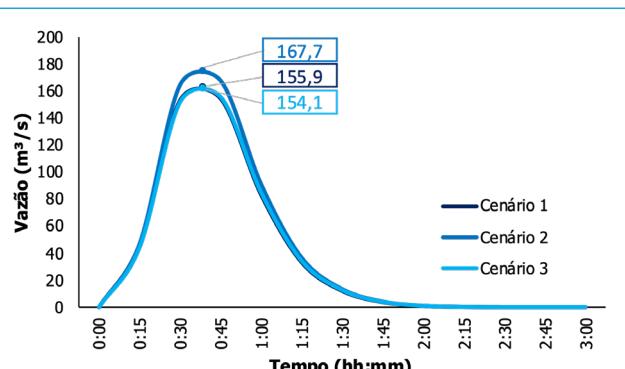
Sub-bacia	1	2	3	4	5	6	7
Tempo de concentração (h)	2,36	1,23	1,78	2,46	2,92	3,50	2,12
Tempo de pico (h)	1,42	0,74	1,07	1,48	1,75	2,10	1,27

Fonte: elaborada pelos autores.



Fonte: elaborada pelos autores.

Figura 5 - Hidrogramas de tempo de retorno de 10 anos para o cenário 1 (Lei nº 7.166/1996), cenário 2 (Lei nº 11.181/2019) e cenário 3 (aplicação das técnicas compensatórias)



Fonte: elaborada pelos autores.

Figura 6 - Hidrograma de tempo de retorno de 50 anos para o cenário 1 (Lei nº 7.166/1996), cenário 2 (Lei nº 11.181/2019) e cenário 3 (aplicação das técnicas compensatórias)

Importa enfatizar que os resultados podem variar de acordo com a metodologia de aplicação, potencial de infiltração de cada técnica, durabilidade a longo prazo e área disponível para a implantação. Aplicando-se as TCs em uma condição futura, foi possível reduzir a vazão de pico a tal modo que fica bem próxima à do cenário atual referente ao plano diretor de 1996.

Vale observar que o plano diretor de 1996 (atual) não oferece informações específicas sobre a taxa de permeabilidade na área central de Belo Horizonte. A falta de parâmetros urbanísticos detalhados pode contribuir para desafios relacionados ao aumento da impermeabilização e à gestão inadequada da água pluvial nessa região, porém o plano aborda diretrizes para a drenagem urbana, das quais constam propostas como a implementação de alternativas de

canalização que protejam fundos de vale e o seu respectivo tratamento com mínima intervenção no meio ambiente, a elaboração de diagnósticos abrangentes e a criação de um sistema de monitoramento eficaz.

Já o plano diretor de Belo Horizonte de 2019 (futuro), embora não forneça informações específicas sobre a zona central, estabelece diretrizes mais abrangentes para o zoneamento da cidade, delineando critérios específicos de ocupação e destacando a importância estratégica das áreas analisadas. O documento visa promover um desenvolvimento urbano sustentável, considerando diversas variáveis, como permeabilidade do solo, características físicas do terreno e aspectos ambientais. Ainda se apresentam categorizações das zonas de ocupação preferencial e zonas especiais de interesse social, demonstrando uma abordagem diferenciada para diferentes áreas da cidade.

Uma importante diretriz estabelecida é a necessidade de respeitar os índices mínimos de permeabilidade do solo nos projetos de parcelamento, variando conforme as características de cada zona. Essa medida visa garantir práticas de ocupação que respeitem o meio ambiente e contribuam para a eficiência do sistema de drenagem urbana. Destaca-se a região noroeste como crucial para o desenvolvimento econômico e social da cidade. Parâmetros urbanísticos específicos são estabelecidos considerando as características do terreno, a acessibilidade local e a capacidade de suportar altas densidades, visando otimizar o potencial da região, garantindo ao mesmo tempo uma ocupação sustentável.

Para garantir a sustentabilidade, o plano prevê a adoção de instrumentos de gestão ambiental e territorial. Isso inclui a criação de unidades de conservação e a implementação de projetos de recuperação ambiental. É reconhecida a diversidade da cidade, e estabelecem-se taxas mínimas de permeabilidade específicas para diferentes regiões. Na Regional Pampulha, a taxa mínima é de 15%, na área central de BH é de 20%, e na área noroeste é de 25%.

Ao considerarmos a evolução dos planos diretores de Belo Horizonte ao longo do tempo, destacamos a significativa mudança de enfoque em relação às diretrizes de drenagem urbana, especialmente entre os anos de 1996 e 2019. O plano diretor de 2019, em comparação ao seu antecessor,

evidencia um compromisso mais aprofundado e específico com a gestão sustentável da água na cidade. A canalização de rios, muitas vezes adotada como medida para lidar com inundações, pode, paradoxalmente, contribuir para o aumento da vazão. Além disso, o crescimento populacional constante na região central impõe pressões significativas sobre os recursos hídricos e a infraestrutura de drenagem.

Embora o plano diretor de 2019 represente um avanço positivo em relação à drenagem urbana em comparação com o de 1996, ainda houve aumento da vazão de pico no município. Por isso, é necessário que a análise do aumento de pico na vazão de água não seja simplificada. Trata-se de um fenômeno complexo influenciado por diversos fatores interligados. Elementos como fatores climáticos, falta de fiscalização, acelerado crescimento urbano e progressiva impermeabilização de áreas urbanas atuam sinergicamente nesse cenário desafiador.

É importante destacar que a Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas estabelece 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas para fomentar o desenvolvimento sustentável em nível global. Quanto ao uso de técnicas sustentáveis na drenagem urbana, destacam-se os ODS 6 (meta 6.b), 11 (meta 11.b) e 13 (meta 13.2).

CONCLUSÕES

O diagnóstico da bacia do Córrego Engenho Nogueira, em Belo Horizonte, mostrou que os aspectos hidrológicos

são influenciados pelo relevo, pela geologia e pelos tipos de solo. A modelagem hidrológica, considerando o plano diretor de 1996 (atual) e o de 2019 (futuro), revelou alterações nas vazões de pico por causa das diretrizes do plano mais recente.

Os valores de CN de cada sub-bacia tiveram um aumento para o cenário 2 (condição futura) em relação ao cenário 1 (atual) e redução do cenário 2 para o cenário 3 (condição futura com TCs). Além do mais, foi possível concluir que o uso de TCs impacta diretamente na diminuição do valor do CN na sub-bacia, o que permite um aumento substancial na infiltração das águas da chuva, beneficiando o reabastecimento dos aquíferos subterrâneos.

Com isso, embora o plano diretor de 2019 represente um avanço positivo no que se refere às questões de drenagem urbana da cidade de Belo Horizonte, com novas diretrizes e indicações, ainda houve aumento da vazão de pico no município, ocasionado pelo elevado grau de urbanização referente ao território.

Em síntese, trata-se de um fenômeno complexo influenciado por fatores climáticos, crescimento urbano acelerado e impermeabilização do solo, exigindo soluções sustentáveis de drenagem. É urgente integrar planejamento urbano, gestão de áreas verdes e tecnologias que minimizem inundações, considerando a dinâmica climática e a sustentabilidade hídrica, especialmente em cidades como Belo Horizonte. Estudos sobre o comportamento hidrológico e TCs são essenciais para enfrentar esses desafios.

REFERÊNCIAS

ALAMY FILHO, J.E. et al. Eficiência hidrológica de telhados verdes para a escala de loteamentos residenciais. *Sociedade & Natureza*, v. 28, n. 2, p. 257-272, 2016. <https://doi.org/10.1590/1982-451320160206>

AQUINO, W.R. *Do crescimento urbano às consequências ambientais: o caso do Riacho da Xoxota no Conjunto Eduardo Gomes em São Cristóvão-SE*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Sergipe, Laranjeiras, 2021. Disponível em: <https://corta.link/DiA6b>. Acesso em: 21 out. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 15953:2011. Pavimento intertravado com peças de concreto - Execução*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011.

BARROS, L.M. et al. Proposta de remediação para a contaminação de um aquífero: estudo de caso. *Águas Subterrâneas*, 2002. Disponível em: <https://aguassubterraneas.emnuvens.com.br/asubterraneas/article/download/22684/14886>. Acesso em: 20 dez. 2023.

BELO HORIZONTE. Lei nº 7.166. Estabelece Normas e Condições para Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo Urbano no Município. Belo Horizonte, 1996.

BELO HORIZONTE. *Lei nº 11.181, de 8 de agosto de 2019*. Aprova o Plano Diretor do município de Belo Horizonte e dá outras providências. Belo Horizonte, 2019. Disponível em: <https://www.cmbh.mg.gov.br/atividade-legislativa/pesquisar-legislação/lei/11181/2019> Acesso em: 16 dez. 2023.

BELO HORIZONTE. *Instrução técnica para elaboração de estudos e projetos de drenagem*. 2022. Disponível em: https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/estrutura-de-governo/obras-e-infraestrutura/apendice_1_aedicao.pdf. Acesso em: 28 nov. 2023.

BRASIL. Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012. Altera a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, seção 1, 18 out. 2012.

BRUSKI, S.D.; TOGNOLI, F.M.W.; ARAÚJO, T.P. Geotecnologias no contexto das cidades mais resilientes: zoneamento das áreas de risco a inundações como ferramenta de planejamento urbano. *Engenharia Urbana em Debate*, v. 1, n. 1, p. 30-57, 2020. <https://doi.org/10.59550/engurbdebate.v1i1.92>

CANHOLI, A. *Drenagem urbana e controle de enchentes*. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

CANHOLI, J.F.; SILVA, N.; FURTADO, A.P.F. V. Comparação de valores do parâmetro *Curve Number* (CN) obtidos a partir de dados de precipitação observada e metodologia indireta no município de Belo Horizonte - MG. In: ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS, 14, 2022. *Anais...* 2022.

DRUMOND, R.A.S.; ALMEIDA, R.P.; NASCIMENTO, N.O. Mudanças climáticas e plano diretor: mitigação de inundações em Belo Horizonte. *Cadernos Metrópole*, v. 25, n. 58, p. 899-922, 2023. <https://doi.org/10.1590/2236-9996.2023-5806>

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2018.

LIMA, L.D.; CAMARGO, P.L.T. *Características do telhado verde e os motivos que o torna tão viável na construção civil*. 2022. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/220508888.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2023.

MACHADO, C.B. *Mudanças históricas de uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Paraná e seus impactos em eventos extremos de precipitação*. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

MANUELZÃO UFMG. *Núcleo Engenho Nogueira*. Manuelzão UFMG, 2018. Disponível em: <https://manuelzao.ufmg.br/projeto/nucleo-engenho-nogueira/>. Acesso em: 18 dez. 2023.

NIQUINI, L.L.; ARAUJO NUNES, A.; PONTES, B.S.; LIMA LOPES, C.P.; SOUZA, J.C.; DRUMMOND, J.M.; GONÇALVES, R.R. Modelagem hidrológica com o uso de infraestruturas verdes: Estudo de caso para a bacia do córrego ressaca, situada no município de Belo Horizonte. *Sustentare*, v. 3, n. 1, p. 42-63, 2019.

NOLETO, R.G.; RODRIGUES, C.R. Análise crítica das técnicas compensatórias de transição urbana: uma revisão bibliográfica. *Semana Acadêmica*, v. 12, 2024. <https://doi.org/10.35265/2236-6717-24212889>

NUNES, A.A.; PINTO, É.J.A.; BAPTISTA, M.B. Detecção de tendências de eventos extremos de precipitação na Região Metropolitana de Belo Horizonte através de métodos estatísticos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 23, 2018.

OLIVEIRA, A.D.S. *Análise da relação entre urbanização e escoamento superficial direto através do Método Soil Conservation Service*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ifpb.edu.br/bitstream/177683/1405/1/TCC%20-20Airton%20Danilo%20de%20Sousa%20Oliveira.pdf>. Acesso em: 29 dez. 2021.

OLIVEIRA, A.P.; BARBASSA, A.P.; GONÇALVES, L.M. Aplicação de técnicas compensatórias de drenagem na requalificação de áreas verdes urbanas em Guarulhos-SP. *Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes*, v. 4, n. 9, p. 87-101, 2016. <https://doi.org/10.17271/231786044920161385>

PALLA, A.; GNECCO, I. Hydrologic modeling of Low Impact Development systems at the urban catchment scale. *Journal of Hydrology*, v. 528, p. 361-368, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.06.050>

PEREIRA, M.F.S.; SOUZA, T.D.; SOUZA, I.V.; CAMPOS, J.P.; FLORIANO, M.O. Aplicação de técnicas compensatórias na bacia Córrego Cachoeirinha com modelagem hidráulico-hidrológica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 32., 2022. *Anais...* 2022.

PRAXEDES, G.B. *Impactos do uso de técnica compensatória na geração de escoamento superficial*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/56049>. Acesso em: 17 dez. 2023.

RAMOS, M.H.D.; VIANA, C.S.; BAPTISTA, M.B. Classificação dos solos de Belo Horizonte segundo grupos hidrológicos do US Soil Conservation Service. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, Belo Horizonte, 13, 1999. *Anais...* 1999.

TUCCI, C. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2001. (Coleção da ABRH de Recursos Hídricos.)

