



## IX-112 - MODELAGEM HIDRÁULICO-HIDROLÓGICA: UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS DA BACIA DO CÓRREGO ENGENHO NOGUEIRA

**Tiago Vieira da Silva**<sup>(1)</sup>

Graduando em Engenharia Urbana pela Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto (EM/UFOP).

**Júlia Maria Medalha Resende Oliveira**<sup>(2)</sup>

Graduanda em Engenharia Urbana pela Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto (EM/UFOP).

**Marcela Mafia Mayrink**<sup>(3)</sup>

Graduanda em Engenharia Urbana pela Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto (EM/UFOP).

**Matheus Filipe da Silva Pereira**<sup>(4)</sup>

Graduando em Engenharia Urbana pela Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto (EM/UFOP).

**Patrícia Milagres Tassara de Pádua**<sup>(5)</sup>

Graduanda em Engenharia Urbana pela Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto (EM/UFOP).

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Campus Morro do Cruzeiro - Bauxita - Ouro Preto - MG - CEP: 35400-000 - Brasil - Tel: (31) 3559-1471 - e-mail: tiago.vs@aluno.ufop.edu.br

### RESUMO

A urbanização de centros urbanos tem promovido consequências ambientais e resultado no aumento da impermeabilização do solo das cidades, favorecendo assim a ocorrência de inundações. Desse modo, as técnicas compensatórias de drenagem se apresentam como uma alternativa para auxiliar os sistemas de drenagem clássicos no manejo da vazão recebida, sendo neste trabalho explorado o uso de telhados verdes e pavimentos permeáveis para tal finalidade. Assim, a partir da implementação de ambas técnicas na Bacia do Córrego Engenho Nogueira em Belo Horizonte, Minas Gerais, realizou-se uma modelagem hidráulico-hidrológica tendo em vista o cenário atual da bacia e um cenário hipotético, com o uso de técnicas compensatórias. Os resultados obtidos demonstram uma considerável redução da vazão de pico com o uso de alternativas modernas de drenagem e consequentemente diminuição dos impactos hidrológicos, apesar das limitações consideradas para cada técnica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Modelagem hidráulico-hidrológica; Técnicas compensatórias; Bacia do Córrego Engenho Nogueira; Uso do solo; vazão de pico.

### INTRODUÇÃO

O regime hidrológico vem sendo ao longo dos anos impactado diretamente por medidas antrópicas envolvidas 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 a taxa de infiltrações e evapotranspirações (NUNES; PINTO; BAPTISTA, 2018).

Sob tal problemática, a drenagem das águas pluviais é fundamental para mitigar parte dos impactos decorrentes da urbanização, especialmente quando estão atreladas ao planejamento urbano e em políticas públicas que possam ser implementadas para estar atuando nas consequências hidrológicas e climáticas (DE AQUINO, 2021). Entretanto, 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).

Dentre as medidas de controle dos impactos no sistema de drenagem urbana, as Técnicas Compensatórias (TC) visam controlar a quantidade de águas pluviais escoadas superficialmente para o sistema de macrodrenagem, por meio de dispositivos que favoreçam 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).

Dentre as TC destacam-se os telhados verdes (TV) e os Pavimentos Permeáveis (PP), sendo os TC 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 Pavimentos Permeáveis (PP), dispositivos de infiltração de controle do escoamento superficial linear e na fonte (NOLETO; RODRIGUES, 2024; PRAXEDES, 2023).

## OBJETIVO

O presente estudo tem como objetivo avaliar a aplicação de duas técnicas compensatórias de controle na fonte, os telhados verdes e pavimentos permeáveis, na bacia do Córrego Engenho Nogueira localizada no município de Belo Horizonte – MG por meio de comparações das vazões de picos no exultório da bacia considerando os cenários atuais e após a aplicação dessas técnicas, considerando os tempos de retorno de 2, 10 e 50 anos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O procedimento metodológico do presente estudo, é descrito pelos subitens apresentados na sequência.

## CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Córrego Engenho Nogueira, área de estudo do presente trabalho, situa-se em uma área urbanizada inserida, em sua quase totalidade, na Regional Pampulha e com pequenas porções integrando a Regional Noroeste no município de Belo Horizonte (MG) (BELO HORIZONTE, 2019). Está majoritariamente dentro dos limites da Cidade Universitária da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), e próxima a lagoa da Pampulha (LOPES, 2023). Assim, a localização da bacia em estudo é demonstrada pela Figura 1.

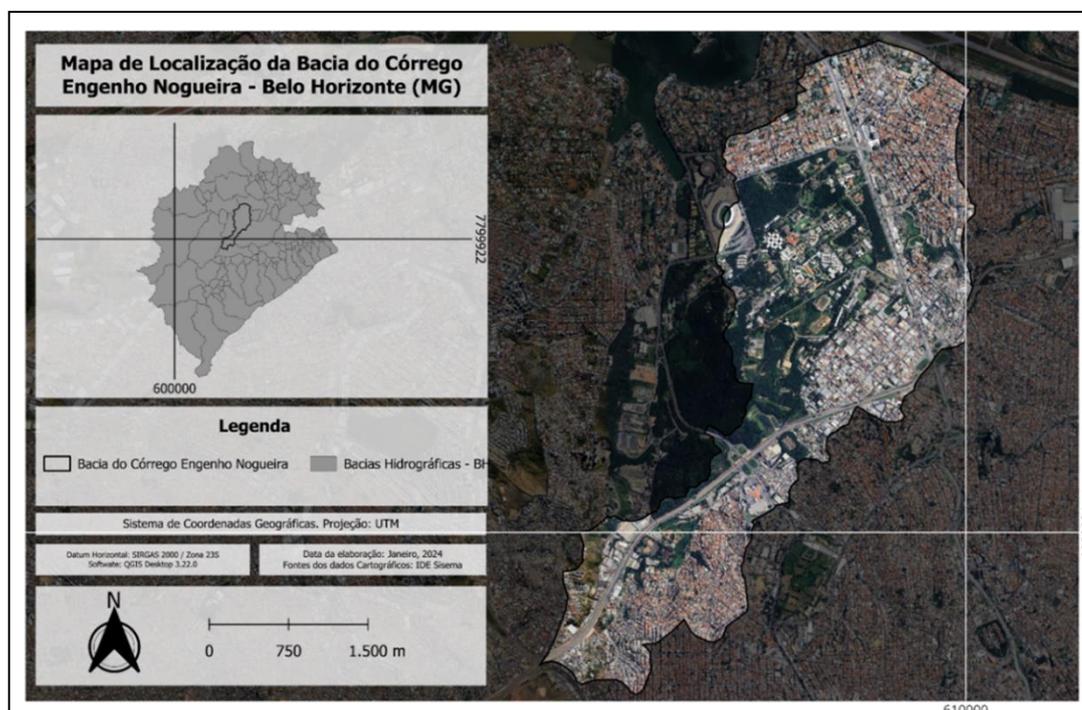


Figura 1 – Mapa de Localização da Bacia do Córrego Engenho Nogueira, Belo Horizonte – MG.

A bacia do Córrego Engenho Nogueira faz parte da bacia do Ribeirão Onça, que integra a bacia do Rio das Velhas, afluente do Rio São Francisco (DUTRA e SILVA, 2020), possui uma extensão territorial de 10,04 km<sup>2</sup> e apresenta

uma população de 47.220 habitantes (BELO HORIZONTE, 2020). A área é densamente povoada, com centros comerciais e empresas, sendo afetada por inundações decorrentes pelo baixo desnível e elevada impermeabilização (MOURA *et al.*, 2011).

## DEFINIÇÃO DOS MODELOS E PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO

A simulação dos cenários considerou duas situações, sendo o Cenário 01, das condições atuais da bacia, e o Cenário 02, considerando a implementação das TC. 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); tempo de retorno (TC) de 2, 10 e 50 anos, utilizando um intervalo de discretização de 10 minutos; e o método de Kirpich I para a obtenção do tempo de concentração, em min, conforme a Equação 1.

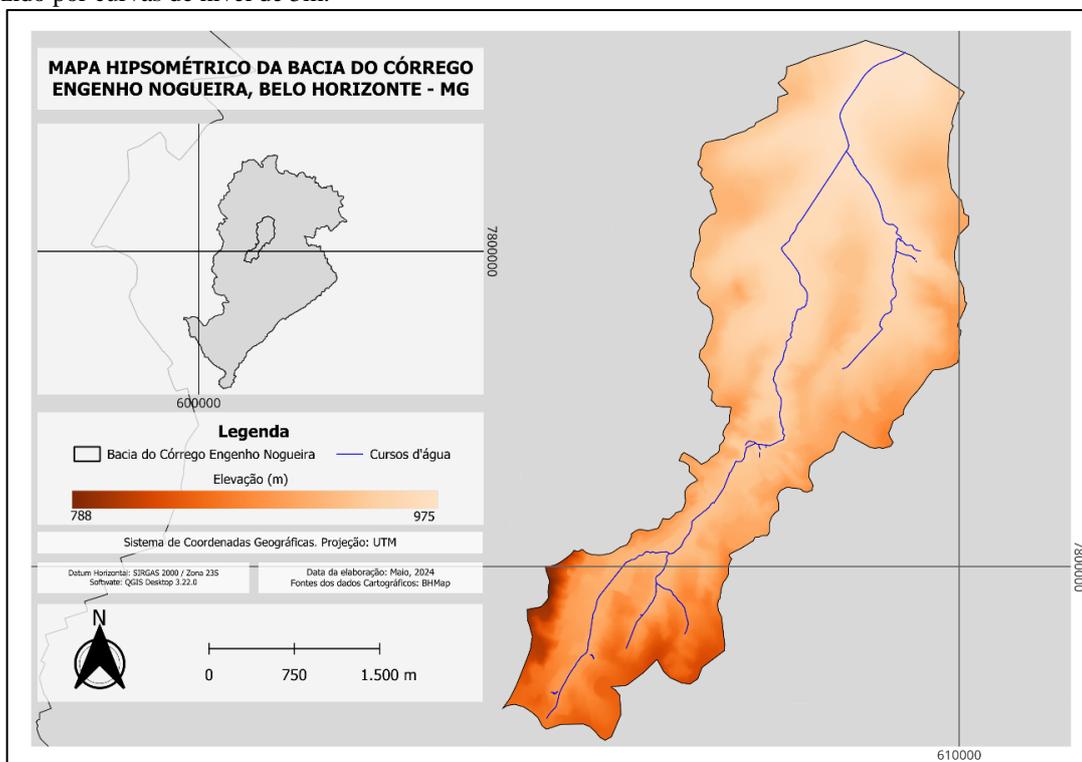
$$T_c = 0,0196 * (L^3 / h)^{0,385} \quad \text{equação (1)}$$

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

A este modelo são cadastrados os dados sobre a área (km<sup>2</sup>), comprimento (km), declividade (%) do rio principal e Curve Number (CN) associados à bacia, obtidos pelo software Qgis.

## DECLIVIDADE DO CURSO D'ÁGUA PRINCIPAL

O cálculo da declividade do curso d'água principal foi subsidiado pelo mapa hipsométrico apresentado na Figura 2, produzido por curvas de nível de 5m.



**Figura 2 – Mapa Hipsométrico da Bacia do Córrego Engenho Nogueira, Belo Horizonte – MG.**

Diante os dados da Figura 2, a declividade do curso d'água principal foi definida pelo método de declividade equivalente constante (S3), dado em m/m, apresentado na Equação 2.



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



equação (2)

Sendo:  $L_i$  o comprimento de cada trecho (m) e  $D_i$  a declividade de cada trecho (m/m).

### CÁLCULO DO CURVE NUMBER

A obtenção do CN médio para o Cenário 01 considerou o zoneamento vigente pela Lei n. 11.181/2019 de Belo Horizonte, conforme exposto na Figura 3.

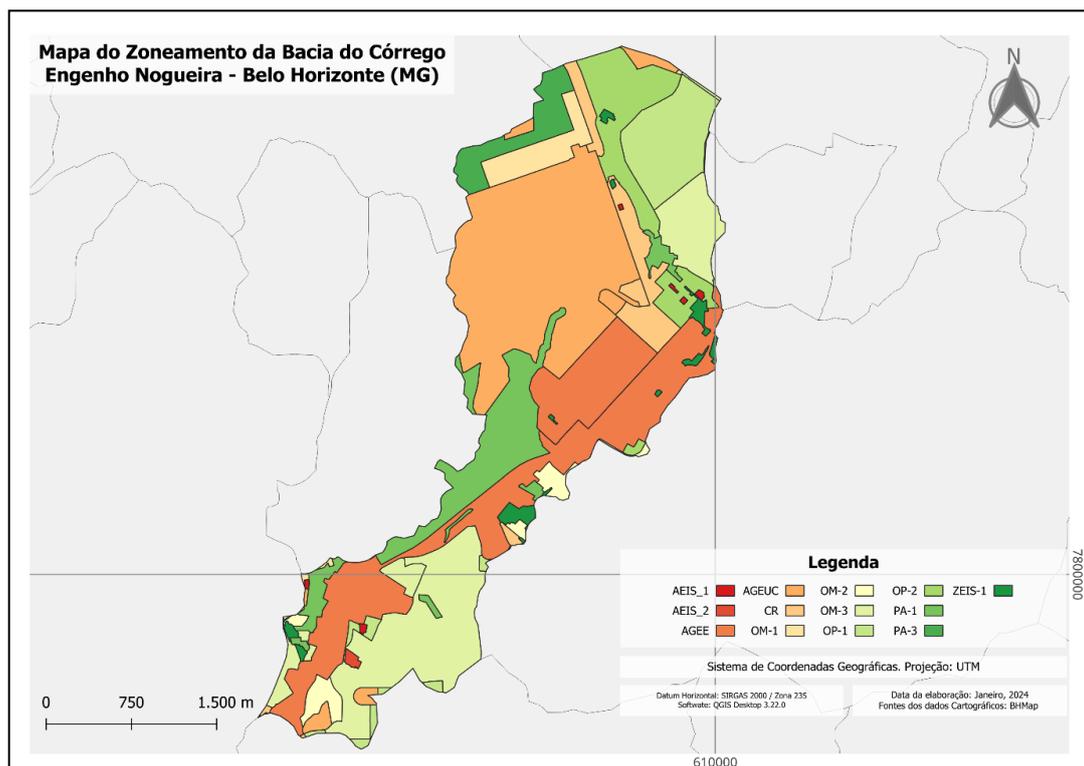


Figura 3 – Zoneamento da Bacia do Córrego Engenho Nogueira

Os indicadores estabelecidos na Tabela 1 serão aplicados à Equação 3, de modo a determinar o CN das condições atuais da Bacia Córrego Engenho Nogueira.

$$CN = (CN_{z1} * A_{z1} + CN_{zn} * A_{zn}) / A_{total}$$

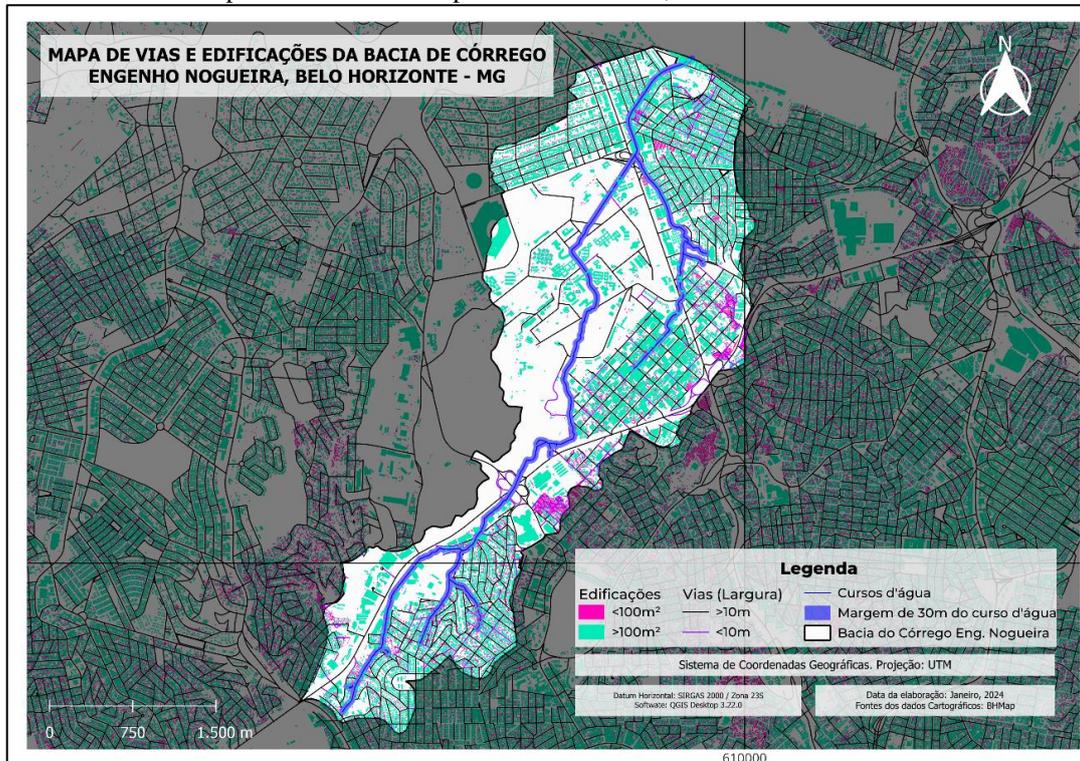
equação (3)

Onde:  $CN_{z1}$  é o curve number do primeiro tipo de zoneamento encontrado;  $A_{z1}$  a área, em  $km^2$ , do primeiro tipo de zoneamento;  $CN_{zn}$  o curve number do enésimo tipo de zoneamento;  $A_{zn}$  a área, em  $km^2$  do enésimo tipo de zoneamento;  $A_{total}$  a área total da bacia hidrográfica.

O cenário da condição hipotética de implementação das TC considerou o telhado verde (TV) e Pavimentos Permeável (PP). Para o TV, considerou-se o do tipo extensivo, pelo menor porte de cobertura vegetal que requer menos esforços das estruturas das edificações pelo seu menor peso, além de menor manutenção (LIMA; DE CAMARGO, 2022). Considerou-se aos TV o CN de 85 e somente as edificações com área superior a  $100m^2$  para sua implantação (ALAMY FILHO *et al.*, 2016).

Em relação ao PP considerou-se as restrições de: (I) 1,5m de distância entre a base da estrutura do pavimento e o lençol freático (ABNT, 2011); (II) afastamento de 30m dos cursos que podem ser considerados como Áreas de Preservação Permanente (APP) pela Lei Federal n° 12.727/12; e (III) vias com largura superior a 10 metros, considerando maior representatividade dos resultados. Para o PP, considerou-se os solos característicos da bacia quanto aos valores de CN correspondentes, afim de obter maior precisão considerando a permeabilidade do solo local. Os solos presentes, classificados como latossolo e argilossolo, pelo IDE SISEMA, através da classificação

de Tucci (2003), foram classificados como pertencentes ao grupo D, com CN's de 85 e 91 respectivamente. A partir do cálculo da média ponderada de ambos para a área da bacia, foi obtido um CN médio da bacia de 88.



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

A fim 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 4.

$$CN = (CN_{A1} * A_1 + CN_{PP} * A_{PP} + CN_{TV} * A_{TV}) / A_{total} \quad \text{equação (4)}$$

Sendo:  $A_1$  a área da bacia onde as TC não foram consideradas e  $CN_{A1}$  o curve number desta área;  $A_{PP}$  a área apta a receber o PP e  $CN_{PP}$  o curve number desta área;  $A_{TV}$  a área apta a receber o TV e  $CN_{TV}$  o curve number desta área.

## RESULTADOS OBTIDOS

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

**Tabela 1 – Características físicas da Bacia do Córrego Engenho Nogueira, Belo Horizonte - MG.**

Parâmetros	Valor	Fonte
Área da bacia (m <sup>2</sup> )	10.040.755,20	QGIS
Perímetro da bacia (m)	20.019,41	QGIS
Comprimento do curso d'água principal (m)	7.746,90	QGIS
Declividade da bacia (m/m)	0,10	Método S3

Na sequência, para a determinação dos CN nos dois cenários, determina-se os CN para as 13 zonas constadas na bacia do Córrego Engenho Nogueira, conforme a Figura 3, e consonante aos CN determinados por Canholi et al., (2022). A relação é apresentada na Tabela 2.

**Tabela 2 – CN associados as zonas da bacia do Córrego Engenho Nogueira**



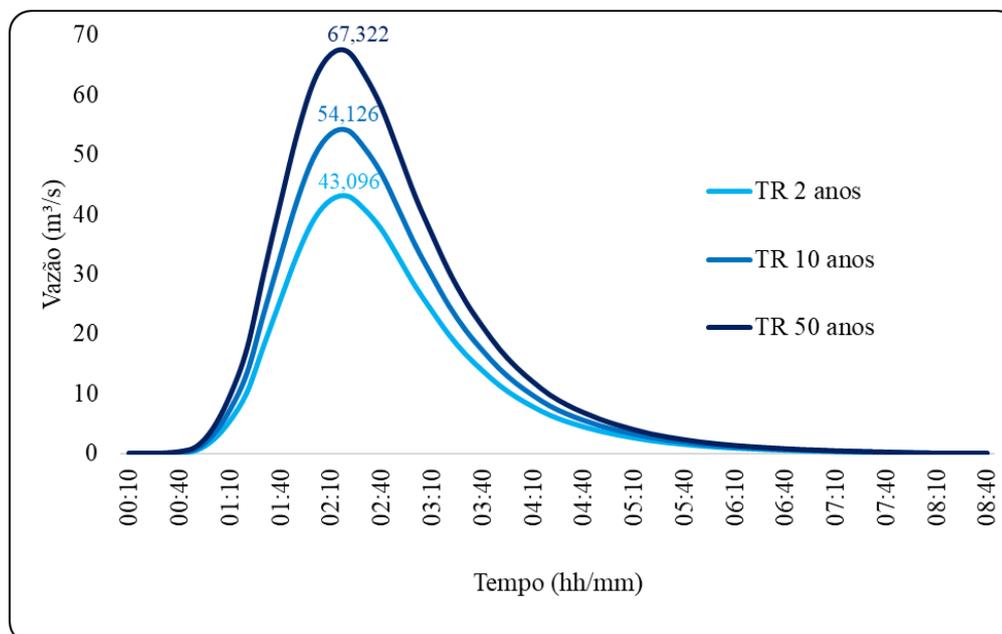
Zoneamento	Área (km <sup>2</sup> )	CN
Área de Especial Interesse Social – 1 (AEIS-1)	0,020	90
Área de Especial Interesse Social – 2 (AEIS-2)	0,015	90
Área de Grandes Equipamentos Econômicos (AGEE)	2,149	94
Área de Grandes Equipamentos de Uso Coletivo (AGEUC)	2,535	94
Centralidade Regional (CR)	0,446	94
Ocupação Moderada – 1 (OM-1)	0,27	90
Ocupação Moderada – 2 (OM-2)	0,200	90
Ocupação Moderada – 3 (OM-3)	1,621	90
Ocupação Preferencial – 1 (OP-1)	0,683	90
Ocupação Preferencial – 2 (OP-2)	0,717	90
Preservação Ambiental 1 (PA-1)	0,927	86
Preservação Ambiental 3 (PA-3)	0,326	86
Zona de Especial Interesse Social – 1 (ZEIS-1)	0,134	90

Obtidos os CN e áreas correlatas a cada zoneamento da localidade, ao aplicar-se a equação 3 obtém-se o CN de 92 para o Cenário 1. Para o Cenário 2 considerou-se as áreas possíveis de implantação de TV e PP, conforme a Figura 5, onde os valores são constados na Tabela 3.

**Tabela 3 – Áreas de implantação das Técnicas Compensatórias**

Técnica Compensatória	Área (km <sup>2</sup> )	CN
Telhado Verde (TV)	2.603.899,17	85
Pavimento Permeável (PP)	942.612,22	88

Obtidos os CN e áreas correlatas a cada zoneamento e TC para a localidade, aplica-se as equações 3 e 4, respectivamente, para os cenários 1 e 2. Os resultados impõem um CN de 92 para o cenário 1 e 90 para o cenário 2. Obtidos os parâmetros para a modelagem, apresentam-se nas Figuras 5 e 6 os hidrogramas produzidos para os tempos de retorno de 2, 10 e 50 anos, considerando os CN de 90 e 92, associados aos dois cenários de análise.



**Figura 5 – Hidrogramas para o CN de 92 (Cenário 01)**

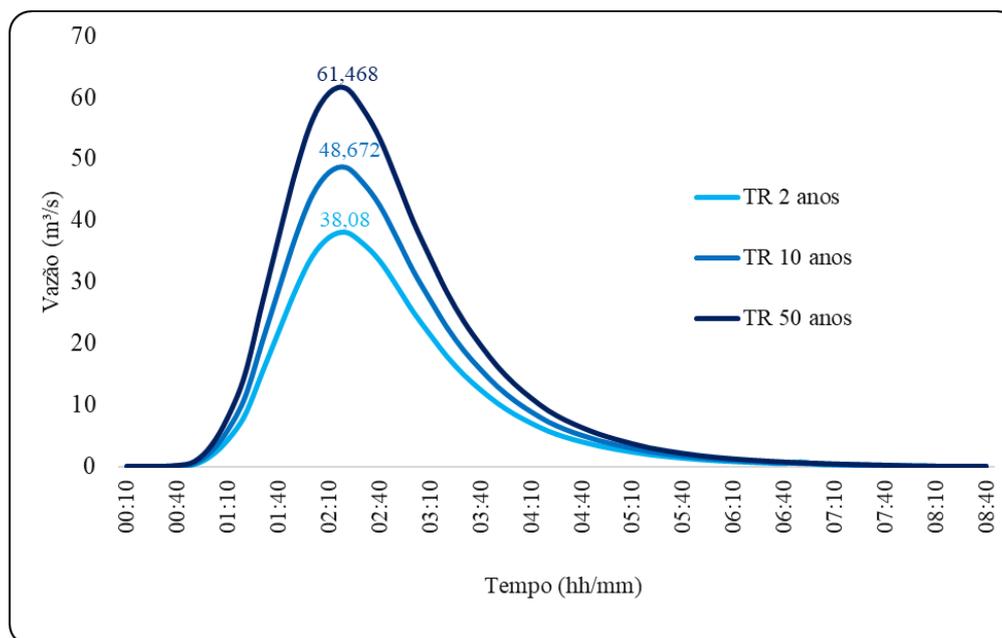


Figura 6 – Hidrogramas para o CN de 90 (Cenário 02)

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A redução das vazões de pico observadas do Cenário 1 para o 2 decorrentes da aplicação das técnicas compensatórias foram de 11,64%, 10,08% e 8,70% para os tempos de retorno de 2, 10 e 50 anos. Os resultados expõem que a relação entre o tempo de retorno e a redução do pico de vazão são inversamente proporcionais.

O aumento do tempo de retorno acarreta em precipitações de maior intensidade e as técnicas compensatórias são medidas pensadas para controle na fonte, tendo um limite de absorção da água, caso esse limite seja alcançado em um determinado tempo, a vazão posterior, passa a ser totalmente escoada (JÚNIOR; DE MENEZES FILHO, 2022). Essa constatação também pode ser observada nos estudos de Pereira et al. (2022), que ao aplicarem técnicas compensatórias em seu modelo hidrológico, observaram uma redução de 22,1% na vazão de pico em um tempo de retorno de 5 anos e 19,6% para tempo de retorno de 50 anos. Ribeiro e Nunes (2022) também obtiveram essa constatação, onde ao analisarem os tempos de retorno de 2, 10, 25 e 50 anos obtiveram reduções da vazão máxima na respectiva ordem, de 16%, 14%, 13% e 12%.

A Bacia do Córrego Engenho Nogueira, localizada em área central da cidade, intensifica os desafios quanto as vazões máximas, uma vez que potencializa a impermeabilização do solo pelas atividades urbanas do local, como o intenso tráfego de veículos, habitações e atividades comerciais, além da falta de áreas verdes. Enquanto diretriz legal, há na cidade de Belo Horizonte a recente revisão do plano diretor, instituída pela Lei 11.181/2019, onde é indicado a necessidade de respeitar os índices mínimos de permeabilidade do solo nos projetos de parcelamento, variando conforme as características de cada zona.

## CONCLUSÕES

Este estudo avaliou a simulação, por hidrogramas de cheias, da implantação teórica de telhados verdes e pavimentos permeáveis enquanto técnicas compensatórias de drenagem urbana na Bacia do Córrego Engenho Nogueira. Diante dos resultados estabelecidos, é notório que a utilização das técnicas compensatórias alcançou valores representativos. Com apenas duas técnicas utilizadas com limitações de área, utilizando apenas 9,4% da área total da bacia para os pavimentos e 26% da área em relação aos telhados verdes, foi possível alcançar reduções de 8,7%, 10,08% e 11,64% da vazão escoada, aos tempos de retorno na ordem de 50, 10 e 2 anos. As restrições de aplicação para o pavimento permeável - em ruas com distância de no mínimo 30 metros dos mananciais e largura de via



contendo acima de 10 metros - representou uma diminuição de aproximadamente 44% das vias disponíveis para a interferência. Além, os telhados verdes, apenas quantificados para edificações com áreas superiores a 100 m<sup>2</sup>, confluem para a representatividade dos valores, visto que a área de interferência é proporcionalmente reduzida em comparação ao total.

O território analisado encontra-se bem desenvolvido com áreas intensamente ocupadas, acrescido de solos com pouca propensão a infiltração, onde os eventos extremos de chuvas podem vir a acarretar danos e consequências sociais, econômicas e ambientais. As técnicas compensatórias propiciam o retardamento do escoamento de água à montante, contribuindo para a diminuição da vazão de pico, como observado nos levantamentos realizados.

Os resultados do estudo evidenciam que a Bacia do Córrego Engenho Nogueira possui potencialidade de áreas para implantação de telhados verdes e pavimentos permeáveis enquanto técnicas compensatórias. Estas tecnologias que podem contribuir para o aumento da infiltração e consequente redução do escoamento superficial. Recomenda-se que estudos que considerem as mudanças nos padrões de precipitação e mudanças no uso e ocupação do solo sejam aplicados para maiores análises da efetividade da implantação dessas medidas. De toda forma, é necessário que o poder público estimule e possibilite legislativamente que a aplicação dessas técnicas seja maior difundida na área da bacia e em demais extensões de Belo Horizonte.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. 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.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15953: Pavimento Intertravado com Peças de Concreto - Execução. Rio de Janeiro. 2011.
3. BELO HORIZONTE. Lei n. 11.181, aprova o Plano Diretor do município de Belo Horizonte e dá outras providências. 2019. Disponível em: <https://www.cmbh.mg.gov.br/atividade-legislativa/pesquisar-legislacao/lei/11181/2019> Acesso em: 16 dez. 2023.
4. BELO HORIZONTE. Lei 7166, estabelece Normas e Condições para Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo Urbano no Município. Cap.VI. Belo Horizonte. 1996.
5. 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.
6. CANHOLI, A. Drenagem urbana e controle de enchentes. Oficina de textos, 2015.
7. CANHOLI, J. F., DA 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. XIV ENAU, 2022.
8. DE AQUINO, W. R. Do crescimento urbano às consequências ambientais: o caso do Riacho da Xoxota no Conjunto Eduardo Gomes em São Cristóvão - SE. 2021. Disponível em: <https://corta.link/DiA6b>. Acesso em: 21 out. 2022.
9. DUTRA, J., SILVA, T. Avaliação do desempenho de telhados verdes e reservatórios de lote no amortecimento de vazões de pico em uma bacia urbana. *Revista DAE*, São Paulo. V. 68, n 227, p. 35-49, 2020.
10. JÚNIOR, S. A. D., DE MENEZES FILHO, F. C. M. Benefícios da implantação de técnicas compensatórias sob cenários distintos de uso e ocupação do solo. REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 18, n. 1, p. 38-52, 2022.
11. LIMA, L. D., DE CAMARGO, P. L. T. Características do telhado verde e os motivos que o torna tão viável na construção civil, 2022.
12. LOPES, L. G. A. Projetos e ações sustentáveis na UFMG como ferramentas para enfrentamento de crises climáticas e econômicas. 2023. Monografia. Universidade Federal de Minas Gerais.
13. 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 de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2022.
14. MOURA et al. Estudos para implantação de um sistema de previsão e alerta de cheia no campus Pampulha da UFMG. XIX SBRH, 2011.
15. NOLETO, R. G, RODRIGUES, C. R. Análise crítica das técnicas compensatórias de drenagem urbana: uma revisão bibliográfica. *Semana Acadêmica*, v.12, 2024.



SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO  
DE ENGENHARIA SANITÁRIA  
E AMBIENTAL



16. NUNES, A. A., PINTO, E. J. A., BAPTISTA, M. B. Detecção de tendências de eventos extremos de precipitação na Região Metropolitana de Belo Horizonte através de métodos estatísticos. RBRH, v. 23, 2018.
17. 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, 2016.
18. PEREIRA, J. A. et al. Modelagem hidráulico-hidrológica: utilização de técnicas compensatórias. 2022.
19. PRAXEDES, G. B. Impactos do uso de técnica compensatória na geração de escoamento superficial. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
20. RIBEIRO, L. C; NUNES, A. A. Controle de Escoamento superficial em uma Bacia Urbana com a utilização de Telhado Verde. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 10, p. 77297-77306, 2020.
21. Vilella, S. M.; Mattos, A. 1975. Hidrologia aplicada. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 245 p.
22. TUCCI, Carlos EM. “Drenagem urbana”. Ciência e cultura, v. 55, n. 4, p. 36-37, 2003.