



IV-882 - MODELAGEM HIDROLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DA RESSACA EM BELO HORIZONTE – MG SOB A ÓTICA DO PLANO DIRETOR

Rômulo Evangelista Gomes⁽¹⁾

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

Hellen Carolina Teixeira Gomes⁽²⁾

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

Lara Peixoto Moraes⁽³⁾

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

Tiago Vieira da Silva⁽⁴⁾

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

Aline de Araújo Nunes⁽⁵⁾

Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais SMARH- UFMG. Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Urbana da Escola Minas da Universidade Federal de Ouro Preto (DEURB - EM/UFOP).

Endereço⁽¹⁾: Campus Morro do Cruzeiro - Bauxita - Ouro Preto - MG - CEP: 35400-000 - Brasil - Tel: (31) 3559-1471 - e-mail: romulo.gomes@aluno.ufop.edu.br

RESUMO

A rápida dispersão da malha urbana no espaço resulta no aumento da impermeabilização do solo das cidades, por conseguinte o escoamento da água acelera mais e infiltra menos, culminando na ocorrência de inundações. A fim de administrar tais efeitos, é decidido que cada município brasileiro defina um Curve Number para cada uso e ocupação do solo local. No presente estudo, foi realizada uma modelagem hidrológica considerando o CN atual embasado no Plano Diretor de 1996 da bacia do Córrego Ressaca e um cenário proposto na elaboração do Novo Plano Diretor de Belo Horizonte, datado de 2019. A análise consistiu na caracterização da bacia hidrográfica e consecutiva modelagem no software HEC-HMS diante o método chuva-vazão SCS e tempo de concentração por Kirpich I. Os resultados obtidos relatam elevação considerável da possibilidade de impermeabilização e por conseguinte as vazões de pico no Plano Diretor de 2019.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem hidráulico-hidrológica; Bacia Hidrográfica; HEC-HMS; Uso do solo; Córrego Ressaca.

INTRODUÇÃO

O crescimento das aglomerações urbanas a partir do século XIX impôs desafios relacionados à inadequação das infraestruturas de gestão da presença de água nas áreas urbanas. Além disso, fatores como a impermeabilização do solo, desmatamento, mudanças climáticas e ocupação do solo tornaram-se elementos determinantes para o surgimento de problemáticas no ambiente urbano, como a redução da infiltração. Essa situação resulta no aumento do escoamento superficial e na aceleração do fluxo, intensificando os picos dos hidrogramas e, conseqüentemente, levando a cheias urbanas (SILVEIRA, 1998). Ainda, a combinação da urbanização e canalização, embora considerada uma solução tecnicamente viável para os problemas de drenagem, contribui para a obsolescência gradual das redes e o aumento na frequência de inundações.

Os estudos hidrológicos em bacias hidrográficas emergem da necessidade de compreender o equilíbrio hídrico e os processos que afetam o movimento da água, além de investigar os impactos das mudanças no uso do solo na quantidade e qualidade da água. Portanto, a bacia hidrográfica é reconhecida como uma unidade de análise hidrológica e, simultaneamente, uma unidade de planejamento, dado que suas características estão diretamente relacionadas à produção de água (Rennó & Soares, 2003).



O município de Belo Horizonte, Minas Gerais, representa um exemplo típico de localidade com frequente incidência de inundações, alagamentos e enchentes. Reis et al. (2012) relatam que o fenômeno de inundação em Belo Horizonte está associado a fatores como a impermeabilização do solo decorrente do processo de urbanização e à própria localização geográfica do município, uma vez que a cidade está situada em uma região de relevo acidentado e ondulado.

Dito isso, para minimizar os impactos socioeconômicos decorrentes de inundações, soluções de prevenção são realizadas através de medidas estruturais e não estruturais (TUCCI, 2007). Ressaltando que a subdivisão de bacias hidrográficas extensas em sub-bacias é crucial nesse processo, pois facilita a identificação, controle e gerenciamento de alternativas para a mitigação de impactos sociais (VILAÇA et al., 2009). Nesse contexto, concentramos nossa análise na Bacia do Córrego Ressaca, localizada no município de Belo Horizonte.

OBJETIVO

O presente estudo tem como objetivo realizar uma modelagem hidrológica para a Bacia do Córrego da Ressaca em Belo Horizonte, Minas Gerais. Nesse enfoque, será utilizado o software HEC-HMS para realizar a simulação sob a condição atual da bacia hidrográfica, correlata ao antigo Plano Diretor da Lei n. 7166/1996, e em relação a Lei nº 11.181, de 2019, que aprova o Plano Diretor do Município de Belo Horizonte.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para execução da modelagem hidrológica, foram consideradas duas situações, sendo a primeira em relação a condição atual e a segunda considerando o zoneamento do plano diretor do município. As simulações foram realizadas no HEC-HMS seguindo as seguintes etapas: (I) Modelo Chuva-vazão: Soil Conservation Service (SCS) do Hidrograma Unitário; (II) Modelo de Perdas do SCS Curve Number (CN), utilizando os CN e Índice de Impermeabilidade do Solo (IMP) de cada sub-bacia em cada situação; (III) Tempo de retorno de 10 e 50 anos; (IV) Intervalo de discretização de 15 minutos, com duração de 60 minutos; (V) Chuva de Projeto: Determinada pela discretização da chuva diária para o município de Belo Horizonte, fornecida pela prefeitura; (VI) o método de Kirpich I para a obtenção do tempo de concentração (tc), em minutos.

Inicialmente, utilizando o software QGIS e dados do BhMaps, procedeu-se à construção da rede hidrográfica, demandando a identificação de todas as sub-bacias e o cadastro de dados como perímetro, área, extensão do curso d'água principal, CN (número de curva) conforme os dados do zoneamento de 2021, CN conforme os dados da Lei 11181 de 2019 do Plano Diretor, e declividades.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Localizada na região da Pampulha e inserida no perímetro da macrobacia do Ribeirão do Onça, a Bacia do Córrego Ressaca é reconhecida como um dos principais afluentes desse setor. Seu curso tem origem a uma altitude de 920 metros, estendendo-se por 8,8 quilômetros desde a nascente até encontrar o córrego Sarandi. (CPRM, 2001). Com uma área total de 2.038,7 hectares, a bacia abriga uma população de 155.839 habitantes. Em razão da alta densidade populacional na região, os córregos Ressaca e Sarandi desempenham um papel significativo na poluição da bacia da Pampulha (BELO HORIZONTE, 2023). Além da poluição, o território da bacia passa por constantes inundações.

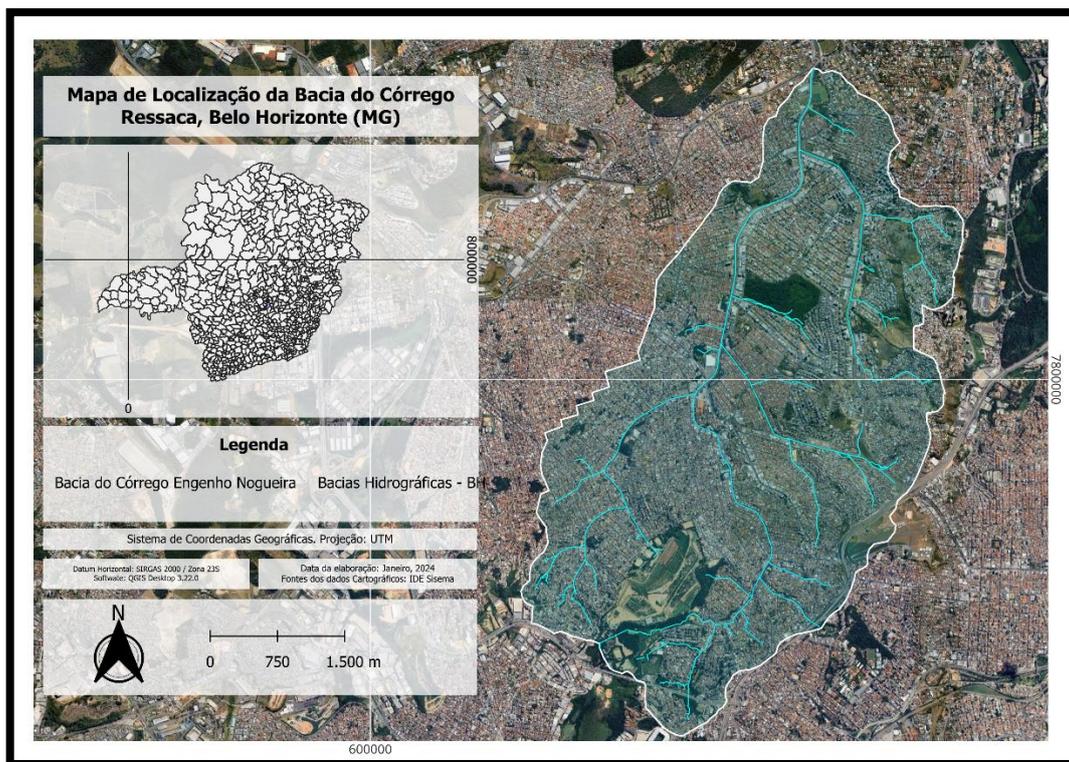


Figura 1 – Mapa de localização da bacia do Córrego da Ressaça, Belo Horizonte MG

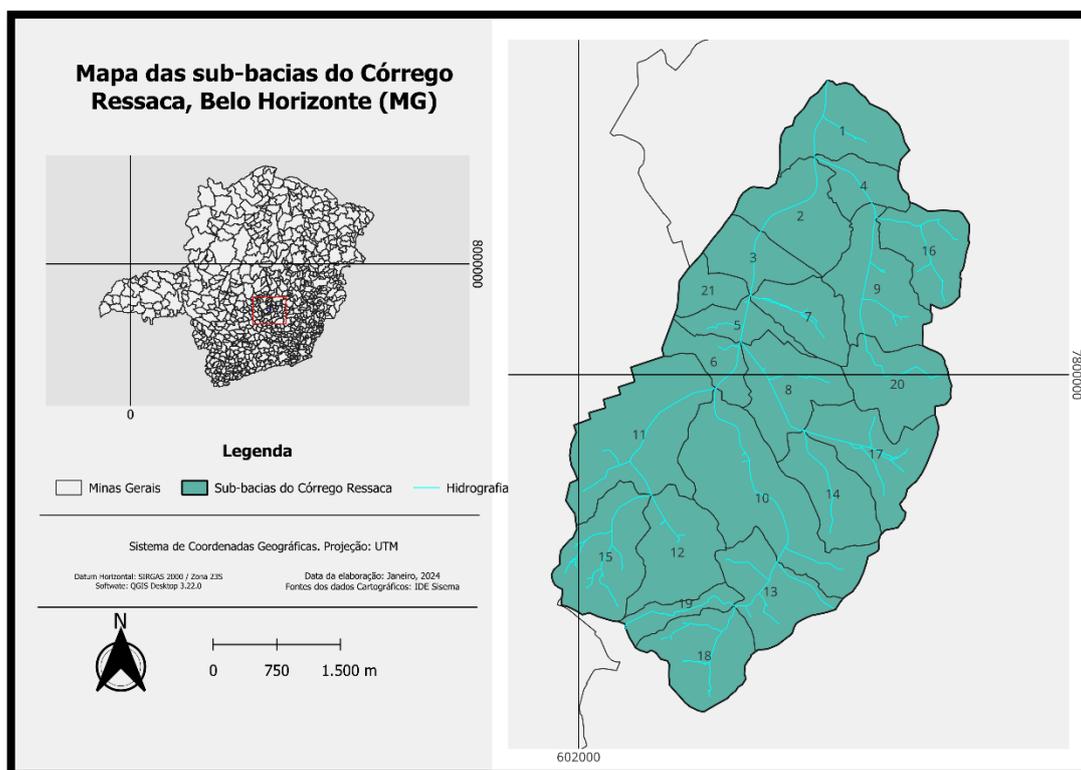


Figura 2 – Mapa das Sub-Bacias do Córrego da Ressaça, Belo Horizonte MG

O cálculo dos CN médios de cada sub-bacia correlatos aos zoneamentos de cada situação seguiram a Equação 1.

$$CN = (CN_{z1} * A_{z1} + CN_{zn} * A_{zn}) / A_{total} \quad \text{equação (1)}$$

Sendo: CN_{z1} o CN do zoneamento 1; A_{z1} a área do zoneamento 1; CN_{zi} o CN do i-ésimo zoneamento; e A_{zi} a área do i-ésimo zoneamento.

Além disso, para o cálculo de declividades foi utilizado o método de declividade equivalente constante (S3), dado em m/m conforme Equação 2.

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

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

Finalizando, o cálculo do tempo de concentração (T_c), em minutos, conforme a Equação 3.

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

Sendo: L = comprimento do curso d'água principal em Km; e Dh = diferença de altitude em metros. Também se definiu o tempo de pico (T_p), dado por 60% do tempo de concentração (T_c).

RESULTADOS OBTIDOS

Foram realizadas análises detalhadas nas sub-bacias do Córrego da Ressaca, visando a obtenção de informações cruciais para a compreensão do comportamento hidrológico local. Os parâmetros considerados incluem o perímetro da sub-bacia, área total, comprimento do curso d'água principal, declividade do terreno, CN conforme a PD Lei 11.181- 2019 levando em conta um cenário futuro, e CN atualizado para o ano de 2021 conforme a PD Lei 7.166-1996. A tabela 1 apresenta os valores obtidos para cada sub-bacia do Córrego da Ressaca em Belo Horizonte, MG

Tabela 1 – Parâmetros do modelo topológico da Bacia

Sub-Bacia	Perímetro (m)	Área (km ²)	Curso d'água principal		CN	
			Comprimento (m)	Declividade Método S3 (m/m)	PD Lei 11.181-2019 FUTURO	PD Lei 7.166-1996 (2021) ATUAL
1	5.098,77	1.014.327,74	936,635	0,00108	86,81	81,81
2	5.701,14	1.095.340,35	1.238,406	0,0043	89,70	86,23
3	3.797,82	637.564,31	778,371	0,0016	88,84	87,53
4	4.319,72	498.474,13	884,308	0,007	90,45	87,40
5	4.319,72	423.255,22	559,223	0,00017	89,81	86,20
6	3.655,23	481.291,38	652,845	0,014	89,73	87,53
7	3.768,94	732.103,06	875,909	0,013	74,31	75,81
8	5.195,95	1.079.063,40	1.338,169	0,012	89,39	87,37
9	5.805,18	1.214.573,33	1.591,092	0,015	80,10	78,45
10	8.441,66	2.266.094,04	2.483,404	0,008	90,31	90,06
11	7.395,98	1.993.617,45	1.849,068	0,012	89,32	88,60
12	5.028,08	1.118.127,86	573,070	0,008	75,06	77,29
13	4.929,25	998.375,55	796,399	0,012	87,85	86,18
14	4.382,39	908.924,07	1.324,331	0,011	89,29	87,14



Sub-Bacia	Perímetro (m)	Área (km ²)	Curso d'água principal		CN	
			Comprimento (m)	Declividade Método S3 (m/m)	PD Lei 11.181-2019 (2019) FUTURO	PD Lei 7.166-1996 (2021) ATUAL
15	4.903,06	1.227.682,53	1.256,709	0,013	89,68	87,26
16	4.269,07	890.199,98	1.494,319	0,022	86,56	78,56
17	5.952,41	1.128.859,41	1.260,511	0,043	89,37	84,71
18	4.315,81	1.059.236,23	925,284	0,037	84,79	82,48
19	3.758,23	356.946,43	1.740,942	0,017	75,42	70,21
20	4.543,87	1.014.692,76	1.318,350	0,052	91,92	85,28

A tabela 2 exibe os dados referentes ao tempo de concentração e tempo de pico para cada sub-bacia do Córrego da Ressaca, proporcionando uma visão abrangente do comportamento hidrológico local.

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

Sub-Bacia	Comprimento (km)	Dh (m)	Tc (h)	Tp (h)
1	0,936	1	0,88	0,528
2	1,238	6	0,61	0,366
3	0,778	2	0,54	0,324
4	0,884	9	0,35	0,210
5	0,559	1	0,49	0,294
6	0,652	10	0,24	0,144
7	0,875	16	0,28	0,168
8	1,338	22	0,40	0,240
9	1,591	27	0,45	0,270
10	2,483	24	0,80	0,480
11	1,849	30	0,52	0,312
12	0,573	7	0,23	0,138
13	0,796	12	0,28	0,168
14	1,324	28	0,36	0,216
15	1,256	30	0,33	0,198
16	1,494	72	0,29	0,174
17	1,260	56	0,26	0,156
18	0,925	38	0,21	0,126
19	1,740	59	0,31	0,186
20	1,318	96	0,22	0,132

O tempo de concentração representa o intervalo necessário para que a água percorra todo o caminho, desde o ponto mais distante da bacia até o ponto de saída, refletindo a velocidade de escoamento. Já o tempo de pico indica o momento em que o fluxo atinge seu valor máximo durante um evento de chuva.

A figura 1 apresenta os hidrogramas e as vazões de pico obtidos durante a modelagem para os tempos de retorno e cenários considerados.

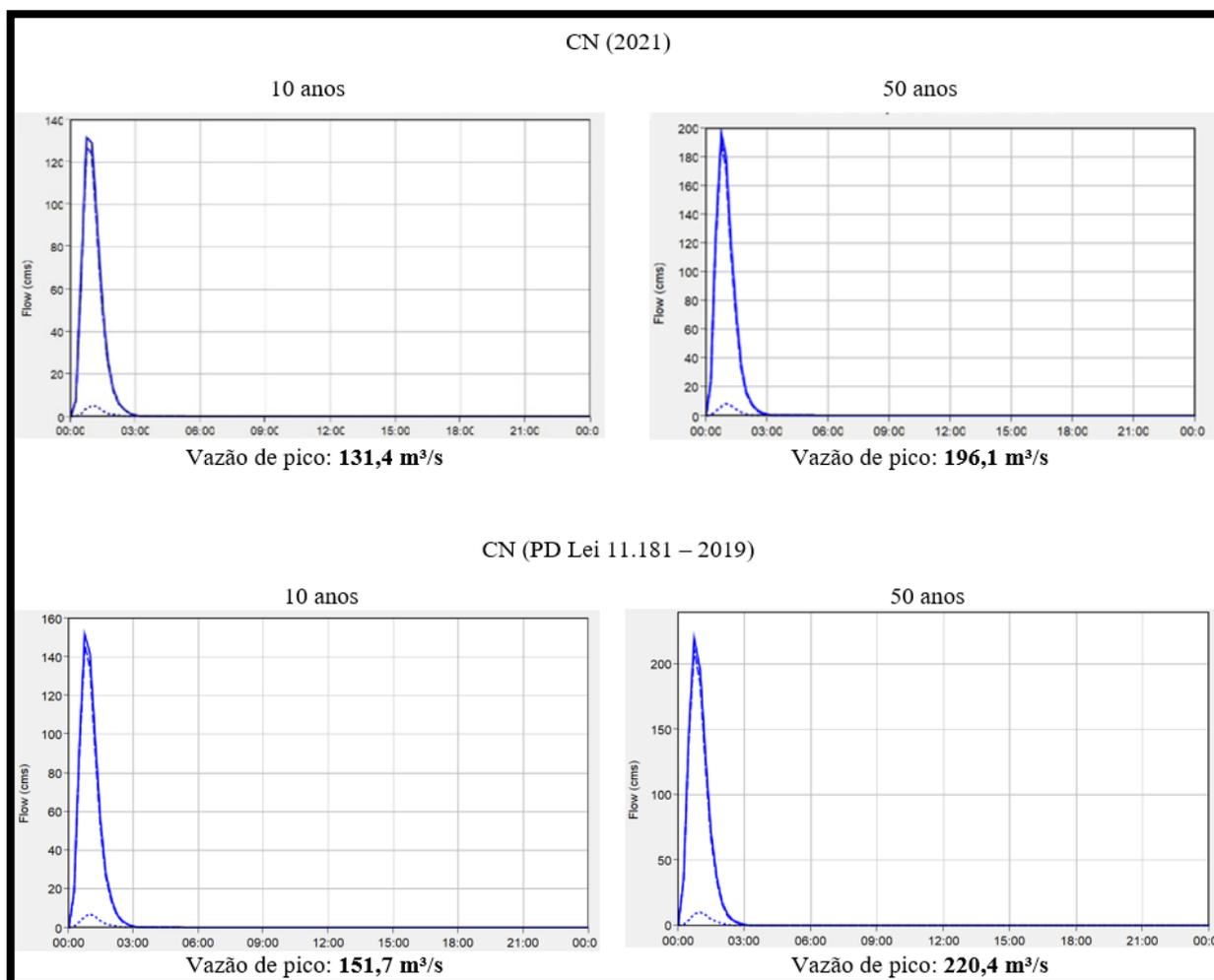


Figura 3 – Hidrogramas e vazões de pico TR 10 anos

Os hidrogramas apresentam a evolução temporal do escoamento durante e após eventos de precipitação, enquanto as vazões de pico indicam os valores máximos atingidos durante esses eventos.

ANÁLISES E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

Ao comparar os dois cenários apresentados, foi identificada uma elevação na vazão de pico devido à alteração dos valores do CN de 15,5% e 12,4% para os tempos de retorno de 10 e 50 anos, respectivamente. Além disso, observa-se que no tocante ao tempo de pico, não houve mudanças significativas, sendo todos eles localizados na faixa de 45 minutos em ambos cenários.

Vale ressaltar que o plano vigente não detalha especificamente a taxa de permeabilidade na área central, o que pode levar a desafios na gestão adequada da água pluvial devido à impermeabilização crescente. Por outro lado, o Plano Diretor de 2019 estabelece diretrizes mais abrangentes, incluindo critérios específicos de ocupação que visam promover um desenvolvimento urbano sustentável. Isso envolve características como a promoção da permeabilidade do solo e redução da velocidade de escoamento.

Apesar dos avanços, é notável a persistência do aumento das vazões de pico pela elevação dos valores do CN, ao passo que aumentá-los em média 3,16% de acordo com as alterações propostas pela PD Lei nº 11.8181/2019, haverá maior porção impermeável do solo cujo impacto é diretamente proporcional ao volume de escoamento superficial da bacia hidrográfica do Córrego Ressaca.



Assim, sugere-se a necessidade de uma análise mais complexa e holística na elaboração do documento, considerando fatores como mudanças climáticas, crescimento urbano acelerado e impermeabilização contínua. Destacando-se a bacia hidrográfica em estudo, detentora de um histórico de inundações preocupante.

CONCLUSÕES / RECOMENDAÇÕES

A análise hidrológica proposta foi realizada em meio a caracterização espacial da bacia hidrográfica do Córrego Ressaca por meio da subdivisão das 20 sub-bacias contribuintes, onde os CN foram estimados conforme os dois Planos Diretores, versão antiga e atual, da cidade de Belo Horizonte. Assim, foi constatada a alteração das vazões advindas da modificação do Coeficiente de Runoff (CN) declarada no plano mais recente (Lei n.11.181/19).

Enquanto o Plano Diretor de 2019 representa um avanço em termos de sustentabilidade urbana, há desafios significativos a serem enfrentados para garantir uma gestão eficaz da água e reduzir os impactos das mudanças climáticas e do crescimento urbano desordenado na cidade de Belo Horizonte. Afinal, ao elevar o *Curve Number*, o desenvolvimento urbano é fomentado, destacando-se o setor comercial e habitacional, contribuindo para o aumento da impermeabilização e escoamento superficial na bacia do Córrego Ressaca.

Tal fato ilustra a quão desafiante e complexa é a gestão da drenagem urbana, uma vez que é afetada por fatores naturais e antrópicos em conjunto. A constatação, deixa espaço ainda para uma reflexão crítica sobre as políticas que a direcionam, pois é sabido que muitas vezes a busca por indicadores governamentais, status e poder econômico não prioriza a segurança da população. Não à toa, eventos trágicos correlatos a inundações têm sido noticiados rotineiramente e numa escala cada vez maior. É emergencial que as diretrizes do planejamento de sistema de drenagem sejam repensadas e incluam estudos integrais detalhados, de atualização cíclica e que explorem as técnicas compensatórias capazes de mitigar os impactos das vazões de pico.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BEATO, D. A. C.; DUTRA, G. M.; MEDEIROS, M. J. CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Projeto Pampulha: estudo hidrogeológico da Bacia da Pampulha. Belo Horizonte: CPRM/PBH/P. Contagem, 2001.
2. BELO HORIZONTE (2019). Lei n. 11.181, aprova o Plano Diretor do município de Belo Horizonte e dá outras providências. Disponível em: <https://www.cmbh.mg.gov.br/atividade-legislativa/pesquisar-legislacao/lei/11181/2019> Acesso em: 16 dez. 2023.
3. BELO HORIZONTE, Prefeitura Municipal de. (2017). "Lei 7166 estabelece Normas e Condições para Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo Urbano no Município". Cap.VI. Belo Horizonte. Ago.1996.
4. BELO HORIZONTE. Lei n. 11.181, de 2019. Plano Diretor de Belo Horizonte. Diário Oficial do Município, Belo Horizonte.
5. CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Projeto Pampulha: estudo hidrogeológico da Bacia da Pampulha.
6. MORAIS, Bárbara Roberta et al. Uso de técnicas de modelagem e análise espacial para avaliação do potencial de aplicação de infraestruturas verdes: estudo de caso da bacia hidrográfica do Córrego da Ressaca, Belo Horizonte-MG. 2022.
7. REIS, P. E., PARIZZI, M. G., DE MAGALHÃES, D. M., & MOURA, A. C. M. (2012). O escoamento superficial como condicionante de inundações em Belo Horizonte, MG: Estudo de caso da sub-bacia Córrego do Leitão, bacia do Ribeirão Arrudas. Geosciences = Geociências, 31(1), 31-46.
8. RENNÓ, C. D.; SOARES, J. V. 2003. Uso do índice topográfico como estimador da profundidade do lençol freático. Anais XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Belo Horizonte, MG, Brasil.
9. SILVEIRA, A.L.L. Hidrologia Urbana no Brasil, in: BRAGA, B.; TUCCI, C.E.M.; TOZZI, M. Drenagem Urbana - Gerenciamento, Simulação, Controle. ABRH Publicações nº 3, Ed. da Universidade, Porto Alegre, 1998.
10. TUCCI, C. E. M. Inundações urbanas. Porto Alegre, RS: ABRH/RHAMA, 2007. 389 p.