

AVALIAÇÃO DE CRITÉRIOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS PARA IMPLANTAÇÃO DE SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA NO CONTROLE DE INUNDAÇÕES URBANAS: ESTUDO NA BACIA DO CÓRREGO DO CAPÃO.

Lorena Cesário¹ ; Gabriela Fleury²; Rodrigo Perdigão³ & Bruno Brentan⁴

RESUMO – O crescimento acelerado das áreas urbanas, associado à ocorrência de eventos hidrológicos extremos, tem intensificado os problemas de drenagem nas cidades brasileiras, como observado no aumento recorrente de inundações e alagamentos em grandes centros. Esses fenômenos, alinhados à falta de planejamento público, vêm causando sérios prejuízos ambientais, sociais e econômicos. Em áreas vulneráveis, esses efeitos são agravados pela ocupação desordenada do território e pela ineficiência dos sistemas de drenagem existentes. Diante disso, medidas de aprimoramento na infraestrutura urbana vêm sendo discutidas, com destaque para as Soluções Baseadas na Natureza (SbN), que buscam integrar alternativas naturais à infraestrutura cinza para melhorar a gestão hídrica e reduzir os riscos de cheias. Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo analisar os impactos da inserção de SbN na Bacia do Capão, utilizando ferramentas de análise espacial, a fim de identificar áreas prioritárias e propor estratégias eficientes para a mitigação de inundações urbanas.

Palavras-Chave – SbN, INUNDAÇÕES, BACIA DO CAPÃO.

ABSTRACT – The accelerated growth of urban areas, combined with the occurrence of extreme hydrological events, has intensified drainage problems in Brazilian cities, as observed in the recurrent increase of floods and waterlogging in large centers. These phenomena, aligned with the lack of public planning, have been causing serious environmental, social, and economic damages. In vulnerable areas, these effects are aggravated by disordered land occupation and the inefficiency of existing drainage systems. Therefore, improvement measures in urban infrastructure have been discussed, with emphasis on Nature-Based Solutions (NBS), which seek to integrate natural alternatives into gray infrastructure to improve water management and reduce flood risks. Thus, the present study aims to analyze the impacts of NBS implementation in the Capão Basin, using spatial analysis tools, in order to identify priority areas and propose efficient strategies for urban flood mitigation.

Key-words – SbN, FLOODING, CAPÃO BASIN

1. INTRODUÇÃO

O ciclo hidrológico corresponde à dinâmica da água no meio ambiente, compreendendo seus diferentes estados físicos (MELLO, 2013, p. 21). Esses processos hidrológicos têm sido significativamente alterados pelas ações antrópicas, especialmente devido às mudanças no uso e ocupação do solo, que afetam processos como infiltração, escoamento superficial e evapotranspiração.

O acesso à água potável e aos serviços de saneamento, incluindo a drenagem urbana, está diretamente relacionado às condições socioeconômicas da população. Em áreas mais vulneráveis, a deficiência da infraestrutura hídrica e sanitária evidencia desigualdades no acesso a esses serviços (CENCI; TONEL, 2024). Associadas à ocupação desordenada e à impermeabilização do solo, essas deficiências intensificam enchentes e alagamentos ao alterar o comportamento natural do ciclo hidrológico, especialmente em regiões socialmente vulneráveis (SANTOS; ALVIM, 2025).

Para lidar com esse desafio, observa-se a necessidade de uma gestão das águas mais eficiente e abrangente com a conciliação entre o sistema de drenagem existente com novas estratégias. Assim, as Soluções Baseadas na Natureza (SbN) têm sido amplamente reconhecidas como abordagens eficazes para enfrentar desafios ambientais e sociais, promovendo simultaneamente benefícios ecológicos e melhorias no bem-estar humano (FRANTZESKAKI, 2019).

Ao integrar infraestrutura verde ao planejamento urbano, as SbN contribuem para a melhoria da drenagem urbana e para o aumento da resiliência das cidades frente a eventos hidrológicos extremos, promovendo um desenvolvimento urbano mais sustentável e alinhado à Agenda 2030 (SANTOS; NASCIMENTO, 2023).

Neste contexto, o trabalho se objetiva em planejar e identificar locais para a adoção de SbN para reduzir as enchentes no entorno da Bacia do Capão, localizado na região de Venda Nova em Belo Horizonte/MG, além de estimar os custos e avaliar o impacto econômico da implantação dessas soluções.

2. METODOLOGIA

Para a análise da viabilidade e aplicação de Soluções Baseadas na Natureza (SbN), este estudo baseou-se na metodologia de Alves et al. (2024), originalmente desenvolvida para a cidade de Londrina (PR). A abordagem utiliza Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e considera um conjunto de critérios técnicos fundamentados em variáveis físicas, ambientais e urbanas que influenciam diretamente o comportamento hidrológico local. Esses critérios, apresentados na Tabela

1, viabilizam uma avaliação integrada do território, o que possibilita a identificação de áreas prioritárias para intervenção e implantação de SbN na Bacia do Capão, em Belo Horizonte (MG). Dentre os parâmetros adotados, destacam-se o uso e cobertura do solo, a declividade, o grupo hidrológico dos solos e a taxa de infiltração. No entanto, em função da indisponibilidade de dados geoespaciais compatíveis para a área de estudo, foram desconsiderados os critérios referentes à profundidade do lençol freático, à distância até fundações, bem como à largura e ao comprimento mínimos. Adicionalmente, o trabalho incorpora a análise de serviços ecossistêmicos e aspectos socioeconômicos, como a identificação de áreas com maior vulnerabilidade social, o que o torna representativo de abordagens aplicadas ao planejamento urbano.

Tabela 1 – Critérios de Implantação - SbN

Restrições Físicas	Tipo de restrição	Tipo de SbN									
		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
Declividade	máximo	-	10	12	5	3	15	10	2	15	-
distância até o nível do lençol freático (m)	mínimo	-	1	1,8	3	1,3	1,3	1	1	1	-
Tipo de Solo	-	-	-	A-D	A-B	-	-	-	-	C-D	-
Infiltração (mm/h)	mínimo	-	13	7	13	15	-	-	7	-	-
	máxima	-	-	200	-	-	-	-	-	-	-
Distância até a fundação (m)	mínimo	-	6	6	6	6	7,6	-	6	6	-
Área necessária (m ²)	mínimo	200	-	1	-	45	150	-	-	1000	-
Largura	mínimo	-	-	-	-	5	8	-	-	18	-
Comprimento	mínimo	-	-	-	-	9	20	-	-	56	-
Espaços Públicos	parques		x	x		x	x	x	x	x	
	estacionamentos			x	x			x	x		
	canteiros centrais		x	x		x		x	x	x	
	praças		x	x	x			x	x		
	calçadas		-	x	x			x	x		
Espaços Privados	uso residencial	x	-	x				x	x		x
	uso comercial	x	-	x	x			x	x		x
	uso industrial		-	x	x						x
	uso público	x	-	x	-			x	x		x

Fonte: Adaptado de Alves et al. (2024).

Onde os tipos de SbN analisados no estudo foram: (a) telhado verde, (b) biovaletas, (c) jardins de chuva, (d) pavimentos permeáveis, (e) bacias secas de retenção, (f) lagoas de retenção, (g) canteiros de árvores, (h) valas de infiltração, (i) wetlands construídas e (j) barris de chuva/cisternas.

Após a identificação das áreas aptas à implantação das SbN, a vazão de pico foi estimada pelo Método Racional (Equação 1), amplamente empregado para pequenas bacias urbanas. Adotou-se intensidade de chuva de 57,3 mm/h (TR=100 anos; duração de 90 min), obtida da curva IDF de Pinheiro e Naghettini (1998).

$$Q = C . I . A \quad (1)$$

O coeficiente de escoamento superficial foi obtido por meio de uma média ponderada, considerando as áreas ocupadas por cada classe de uso e cobertura do solo. Para as superfícies existentes na bacia, foram adotados os coeficientes de escoamento recomendados nas Tabelas 24 e 25 do Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem do DNIT. Para o cenário com implantação das SbN, o coeficiente ponderado foi recalculado mediante a substituição dos coeficientes das áreas contempladas pelas soluções pelos valores correspondentes às novas condições de cobertura, adotados com base em referências da literatura especializada.

Para a estimativa da vazão no cenário posterior à implantação das SbN, foram adotados coeficientes de escoamento superficial definidos com base na literatura: 0,40 para telhados verdes (CALIL; BERNARDI; RIGHES, 2016), 0,20 para jardins de chuva e 0,30 para desconexão de telhados com cisternas. Ressalta-se que essas soluções apresentam comportamento hidrológico variável conforme suas características de implantação, não existindo um valor único de coeficiente de escoamento. Dessa forma, os valores adotados representam coeficientes equivalentes de resposta hidrológica, utilizados para comparar os cenários anterior e posterior à implantação das SbN.

Além dos critérios físicos e ambientais, também foram considerados os custos de implantação e manutenção das SbN. Conforme Alves et al. (2024), as diferentes tipologias apresentam distintas viabilidades econômicas em função dos investimentos iniciais e das demandas de manutenção. A Tabela 2 apresenta os custos estimados de implantação e manutenção das SbN analisadas, permitindo comparar economicamente as alternativas consideradas. Dessa forma, os aspectos econômicos complementam a análise da aplicabilidade das SbN, especialmente em áreas de maior vulnerabilidade socioeconômica.

Tabela 2 – Custos de implantação e manutenção

Técnica	Relação entre área tratada (m²)	Relação entre área tratada (m²) e custo de implantação por m² de área tratada (técnica) (reais)	Custo de manutenção por m² de área tratada (reais)
Célula de biorretenção	26,0	5,54	0,53
Jardim de Chuva	12,1	3,66	0,95
Telhado Verde	1,0	117,78	16,10
Trincheira de Infiltração	23,6	10,99	1,83
Pavimento Permeável	2,0	28,03	22,20
Barril de água de chuva	35,5	7,43	0,13
Desconexão de telhado com cisterna	1,0	0,84	0,05
Vala Vegetal	9,9	2,82	1,63

Fonte: Rosa et al. (2022).

Ao analisar o cenário da capital, a regional de Venda Nova evidencia a desigualdade socioterritorial que caracteriza Belo Horizonte. Enquanto a média salarial do município como um todo atinge 3,4 salários mínimos, de acordo com os dados oficiais sobre o mercado de trabalho do município, impulsionada pelas elevadas rendas das regionais Centro-Sul e Pampulha, que concentram os maiores IDHs, Venda Nova se posiciona na faixa intermediária-baixa de renda do município. Com a maior parte de sua força de trabalho concentrada nos setores de comércio e serviços locais recebendo entre 1 a 2 salários mínimos, conforme apontam os levantamentos do Censo Demográfico de 2022 do IBGE e os cruzamentos de indicadores socioeconômicos da própria Prefeitura de Belo Horizonte (PBH), a regional apresenta uma média salarial e um rendimento per capita significativamente inferiores aos do vetor sul e das áreas centrais.

Dessa forma, a integração entre critérios físicos, ambientais, espaciais e socioeconômicos permitiu uma avaliação mais abrangente do potencial de aplicação das Soluções Baseadas na Natureza. A incorporação de indicadores de renda e infraestrutura urbana contribuiu para a compreensão das desigualdades territoriais da regional Venda Nova, ampliando a análise para além dos aspectos hidrológicos. Nesse contexto, a adaptação da metodologia proposta por Alves et al. (2024) à realidade da Bacia do Capão possibilitou identificar áreas mais aptas à implantação de SbN, considerando as limitações de disponibilidade de dados e as características urbanas locais. Assim, a metodologia adotada fornece suporte ao planejamento urbano sustentável e à mitigação de problemas hidrológicos.

3. RESULTADOS

A partir do coeficiente de escoamento superficial obtido e dos demais parâmetros hidrológicos considerados (Tabela 3), foi estimada a vazão de pico da bacia pelo Método Racional. Foram avaliados dois cenários de contribuição, resultando em vazões de 39,00 m³/s e 12,72 m³/s, respectivamente, correspondendo a uma redução estimada de 67,38% na vazão de pico. A diferença entre os valores está associada às condições consideradas em cada cenário, evidenciando a influência da ocupação do solo e das características hidrológicas na geração do escoamento superficial.

Tabela 3 – Coeficientes de Escoamento

	Classificações	Coeficiente	Área na Bacia (m ²)
Depois SBN	Jardim de Chuva	0,20	640.405
	Telhado Verde	0,40	2.756.646
	Desconexão de telhado com cisterna	0,30	134.298
	Asfalto	0,70	1.118.414,24

Antes da SBN	Terrenos Baldios	0,10	224.510
	Concreto	0,80	3.039625
	Parque	0,10	15.951

Fonte: Elaborada pelos autores.

O processamento e a análise espacial dos dados foram realizados no QGIS por meio de técnicas de geoprocessamento. Como os parâmetros de tipo de solo e taxa de infiltração apresentaram comportamento homogêneo na bacia, a seleção das áreas aptas à implantação das SbN baseou-se principalmente nos critérios de área disponível e declividade do terreno, por serem os fatores de maior influência na diferenciação espacial das áreas prioritárias.

Embora Alves et al. (2024) apresentem diversas Soluções Baseadas na Natureza, neste estudo foram selecionadas apenas as tipologias mais compatíveis com as características físicas, urbanas e a disponibilidade de dados da Bacia do Capão. Assim, adotaram-se jardins de chuva, telhados verdes e desconexão de telhados com cisternas, apresentados na Figura 1.

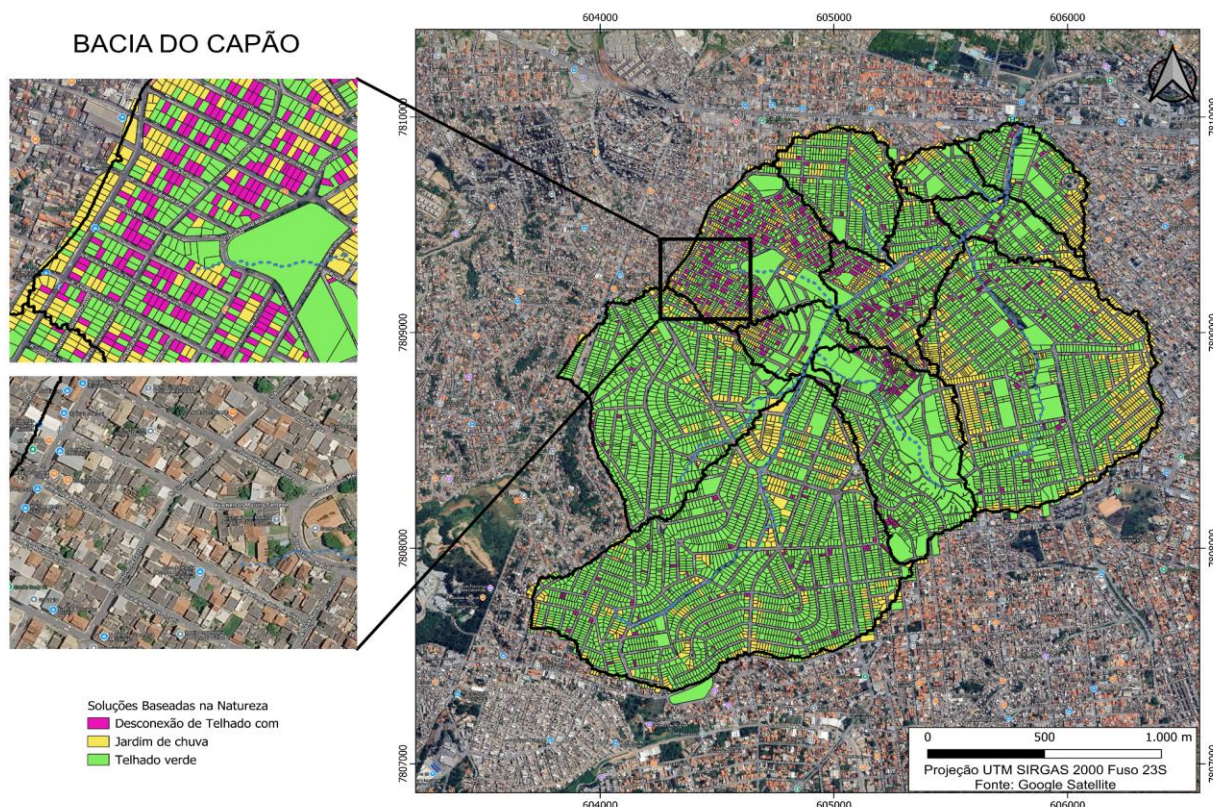


Figura 1 – Áreas prioritárias para implantação das SbN na Bacia do Capão – Belo Horizonte/MG

Com base nas áreas destinadas à implantação das Soluções baseadas na Natureza (SbN) delimitadas no software QGIS (Tabela 4) foi realizada a estimativa dos custos de aplicação de cada tipologia adotada no estudo. Essa estimativa foi fundamentada nos parâmetros apresentados no artigo de Rosa et al. (2022), considerando os custos de implantação e manutenção das SbN analisadas. Dessa

forma, foi possível avaliar a viabilidade econômica das intervenções propostas, levando em conta as dimensões das áreas identificadas e as especificidades construtivas de cada solução adotada.

Tabela 4 – Áreas Totais por SbN

Técnica	Quantidade de lotes/estruturas	Área na Bacia (m²)	Porcentagem (%)
Jardim de Chuva	1.896	640.405	18,13
Telhado Verde	5.736	2.756.646	78,06
Desconexão de telhado com cisterna	787	134.298	3,80

Fonte: Elaborada pelos autores.

Os resultados obtidos evidenciam que a Bacia do Capão possui um potencial expressivo para a transição em direção a um modelo de drenagem sustentável, totalizando mais de 3,5 milhões de metros quadrados aptos para a recepção de infraestruturas verdes. A predominância espacial dos telhados verdes, de 78,06% da área bacia, complementada pelas áreas de jardins de chuva, 18,13% e sistemas de desconexão de telhados com cisterna 3,80%, configura um arranjo técnico eficiente para a retenção e o amortecimento de escoamentos superficiais na origem.

Com base nos critérios definidos por Alves et al. (2024) e nos custos apresentados por Rosa et al. (2022), foi possível mensurar a viabilidade financeira do projeto. Essa integração tornou possível estimar os custos de capital iniciais para a implantação de cada tipologia de SbN na bacia e também prever os custos operacionais futuros associados à sua manutenção a longo prazo, conforme mostra as tabelas 5 e 6. Dessa forma, a análise deixa de ser estritamente biofísica e passa a fornecer um panorama orçamentário realista, ao mostrar o investimento em infraestrutura verde e quais seriam seus custos de manutenção para mitigação de danos por inundação na região de Venda Nova.

Tabela 5 – Custos de implantação

Técnica	Relação entre área tratada (m²)	Relação entre área tratada (m²) e custo de implantação por m² de área tratada (técnica)	Área na Bacia (m²)	Valor Total (reais)
Jardim de Chuva	12,1	3,66	640.405	193.709,28
Telhado Verde	1,0	117,78	2.756.646	324.677.765,90
Desconexão de telhado com cisterna	1,0	0,84	134.298	112.810,32

Fonte: Elaborada pelos autores.

Tabela 6 – Custos de manutenção

Técnica	Relação entre área tratada (m ²)	Custo de manutenção por m ² de área tratada	Área na Bacia (m ²)	Valor Total (reais)
Jardim de Chuva	12,1	0,95	640.405	50.279,73
Telhado Verde	1,0	16,10	2.756.646	44.382.000,60
Desconexão de telhado com cisterna	1,0	0,05	134.298	6.714,90

Fonte: Elaborada pelos autores.

CONCLUSÃO

Os resultados confirmam a viabilidade da implantação de Soluções Baseadas na Natureza (SbN) na Bacia do Córrego do Capão, em Belo Horizonte (MG). Com base em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e no cruzamento de variáveis físicas, ambientais e urbanas, foi possível caracterizar o comportamento hidrológico da região e identificar áreas prioritárias para intervenção. A metodologia mostrou-se eficaz para subsidiar o planejamento urbano sustentável e a mitigação de inundações em áreas de vulnerabilidade socioambiental.

Além disso, a avaliação hidrológica realizada por meio do Método Racional permitiu uma estimativa inicial da influência das SbN na geração do escoamento superficial da bacia. A partir do coeficiente de escoamento superficial obtido e dos demais parâmetros hidrológicos considerados, foram avaliados os cenários anterior e posterior à implantação das SbN, resultando em uma redução de 67,38% das vazões de pico na região. A redução observada entre os cenários mostra o potencial das SBN propostas para a diminuição dos picos de vazão.

As análises indicaram que as principais Soluções Baseadas na Natureza (SbN) com potencial de aplicação na Bacia do Capão foram os jardins de chuva, os telhados verdes e a desconexão de telhados com cisternas, devido à compatibilidade com as características físicas e urbanas locais. Sob a ótica financeira, os jardins de chuva e a desconexão de telhados destacaram-se pela maior viabilidade econômica, demandando menores investimentos de implantação e manutenção, o que se configura como um aspecto altamente relevante diante do cenário socioeconômico da regional Venda Nova. Considerando a renda média inferior à média municipal e os critérios de vulnerabilidade mapeados na região, destaca-se a importância da atuação do poder público e de um planejamento urbano integrado para viabilizar tais infraestruturas, contribuindo para a mitigação de problemas hídricos e para a melhoria da qualidade ambiental local.

Como limitações da pesquisa, destaca-se a escassez de dados geoespaciais precisos na área de estudo, como o nível do lençol freático, a distância até fundações existentes e as dimensões exatas de

vias e calçadas, além da ausência de uma base cartográfica que delimitasse com precisão as propriedades públicas e privadas. Embora essas variáveis sejam relevantes para uma seleção mais criteriosa das áreas aptas à implantação das Soluções Baseadas na Natureza (SbN), sua indisponibilidade demandou a simplificação de alguns critérios e a adaptação da metodologia proposta na literatura. Além disso, embora o estudo tenha identificado áreas com potencial para implantação das SbN, não foram realizadas simulações hidrológicas ou hidráulicas que permitissem quantificar sua efetividade na redução do escoamento superficial, no amortecimento dos picos de vazão e na mitigação das inundações. Da mesma forma, a avaliação econômica restringiu-se à estimativa dos custos de implantação e manutenção com base em valores obtidos na literatura, elaborados para contextos distintos da área de estudo, não contemplando análises de viabilidade econômica, custo-benefício ou estimativas dos benefícios decorrentes da redução dos danos causados por inundações. Para trabalhos futuros, recomenda-se a incorporação de bases de dados geoespaciais mais detalhadas, a avaliação comparativa de diferentes metodologias para seleção das áreas, a realização de simulações hidrológicas e hidráulicas e o desenvolvimento de análises econômicas adaptadas às condições locais.

REFERÊNCIAS

- ALVES, Ronaldo Adriano; SANTOS, Mauricio Moreira dos; RUDKE, Anderson Paulo; VENTURIN, Pâmela Roberta Francisqueti; MARTINS, Jorge Alberto. (2024). "Site selection for nature-based solutions for stormwater management in urban areas: An approach combining GIS and multi-criteria analysis". *Journal of Environmental Management*, 359, 120999.
- ROSA, D. W. B.; SILVA, T. F. G.; CHONG, J.; GIURCO, D.; NASCIMENTO, N. O. (2022). "Hydrological response of implementing green and blue infrastructure - study of a Brazilian metropolis". *Urban Water Journal*, 19(7), pp. 1-13.
- MELLO, Carlos Rogério de. *Hidrologia de superfície*. Lavras: UFLA, 2013.
- CENCI, Daniel Rubens; TONEL, Rodrigo. *Drenando desigualdades: uma análise do direito humano à água e saneamento básico nas áreas urbanas brasileiras*. *Revista Brasileira de Direito Urbanístico*, v. 10, n. 19, 2024.
- FRANTZESKAKI, Niki. *Seven lessons for planning nature-based solutions in cities*. *Environmental Science & Policy*, v. 93, p. 101–111, 2019.
- SANTOS, Marina Gabriele Amarante; ALVIM, Ana Márcia Moreira. Vulnerabilidade socioambiental na Regional Venda Nova (BH/MG). *Territorium Terram*, São João del-Rei, v. 8, n. 15, p. 349-377, 2025. Disponível em: http://www.seer.ufsj.edu.br/territorium_terram/article/view/5833. Acesso em: 16 maio 2026.

SANTOS, T. S.; NASCIMENTO, N. O. (2023). "Soluções baseadas na natureza para o aumento da resiliência urbana: uma revisão crítica", in Anais do XV Encontro Nacional de Águas Urbanas, Brasília - DF, ABRH, 1, pp. 45-56.

BELO HORIZONTE. Prefeitura Municipal. Secretaria Municipal de Planejamento, Orçamento e Gestão. Belo Horizonte em Mapas: Indicadores Socioeconômicos por Regionais Administrativas. Belo Horizonte: Prodabel, [2024]. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br>. Acesso em: 09 jul. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Demográfico 2022: Trabalho e rendimento: resultados preliminares da amostra. Rio de Janeiro: IBGE, 2025. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2102211>. Acesso em: 09 jul. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Panorama do Censo Demográfico de 2022: Belo Horizonte (MG). Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/belo-horizonte/panorama>. Acesso em: 09 jul. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa Censo Demográfico 2022 (Extensões): Rendimento nominal mensal domiciliar per capita. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/belo-horizonte/pesquisa/10105/325379>. Acesso em: 09 jul. 2026.

CALIL, V. da S.; BERNARDI, E. C. S.; RIGHES, A. A. Impacto da utilização de telhados verdes no escoamento superficial do Arroio Esperança em Santa Maria-RS. *Disciplinarum Scientia | Naturais e Tecnológicas*, v. 15, n. 1, p. 1-16, 2016.

ZAZYCKI, M. A.; RIGHES, A. A.; BURIOL, G. A. Dimensionamento de cisternas para reduzir o pico de descarga em zonas urbanas. *Disciplinarum Scientia | Naturais e Tecnológicas*, v. 14, n. 2, p. 223-234, 2016.

NADAL, M. C.; FLORES, J. H. N.; LIMA, G. B.; ABREU, R. A.; REIS, M. V. Jardins de infiltração: Um estudo de caso quanto ao impacto no escoamento superficial. *Technical and Scientific Journal Green Cities*, v. 10, n. 28, 2022.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem. 2. ed. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), 2005.

PINHEIRO, M. M. G.; NAGHETTINI, M. Análise regional de frequência e distribuição temporal das tempestades na Região Metropolitana de Belo Horizonte. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 3, n. 4, p. 73-88, 1998.