XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8489

Análise do risco de inundação em áreas urbanas do município de São Bento do Sul/SC

Flood risk analysis in urban areas of the municipality of São Bento do Sul/SC

Sidney Eiselt
Unc | Mafra | Brasil | eiselt.s@gmail.com
Luiz Carlos Weinschütz, Dr
Unc | Mafra | Brasil | luizw@unc.br
Luana Cechin, Dra
Unc | Mafra | Brasil | luhcechin@gmail.com

Resumo

A urbanização desordenada é um dos principais desafios enfrentados por muitas cidades brasileiras, ocorrendo frequentemente em áreas suscetíveis a inundações. A análise deste risco visa identificar os fatores contribuintes bem como mitigar os impactos e a vulnerabilidade socioambiental nessas regiões. Neste contexto, o presente artigo realiza uma análise do risco de inundação em áreas urbanas do município de São Bento do Sul/SC, focando especificamente na bacia da Rua Frederico Keil, utilizando parâmetros morfométricos e hidrológicos processados via QGIS. A bacia de 2ª ordem apresenta Coeficiente de Compacidade de 1,0271 e Índice de Circularidade de 0,5089, indicando alta tendência a picos de cheia. A análise hidrológica apurou uma vazão de projeto de 32,11 m³/s, contrastando severamente com a capacidade do sistema atual (duas galerias de 1,00 m) de apenas 4,78 m³/s. O diagnóstico revela um subdimensionamento crítico, atendendo apenas 14,89% da demanda necessária, o que confirma a obsolescência técnica da estrutura e a necessidade de redimensionamento das galerias para mitigação dos riscos socioambientais locais. A relevância desta pesquisa reside na articulação entre análise morfométrica e diagnóstico hidrológico aplicado a uma bacia urbana consolidada, fornecendo subsídios técnicos concretos para o planejamento urbano de São Bento do Sul e demonstrando o potencial do SIG como ferramenta acessível para municípios de médio porte. Ao evidenciar a obsolescência da infraestrutura atual, este estudo não apenas justifica a urgência de intervenções de engenharia, mas também serve como base para políticas públicas de gestão de riscos e ordenamento territorial.

Palavras-chave: Análise de risco, Drenagem urbana, Morfometria, Inundações, São Bento do Sul.

Abstract

Unplanned urbanization is one of the main challenges faced by many Brazilian cities, often occurring in areas prone to flooding. The analysis of this risk aims to identify contributing factors as well as mitigate impacts and socio-environmental vulnerability in these regions. In this context, this article conducts a flood risk analysis in urban areas of the municipality of São Bento do Sul, Santa Catarina, focusing specifically on the Frederico Keil Street watershed, using morphometric and hydrological parameters processed via QGIS. The second-order basin has a Compactness Coefficient of 1.0271 and a Circularity Index of 0.5089, indicating a high tendency toward flood peaks. The hydrological analysis determined a design flow rate of 32.11 m³/s, contrasting sharply with the capacity of the current system (two 1.00 m culverts) of only 4.78 m³/s. The diagnosis reveals a critical undersizing, meeting only 14.89% of the necessary demand, which confirms the technical obsolescence of the structure and the need to resize the culverts to mitigate local socio-environmental risks. The relevance of this research lies in the

articulation between morphometric analysis and hydrological diagnosis applied to a consolidated urban basin, providing technical inputs for urban planning in São Bento do Sul and demonstrating the potential of GIS as an accessible tool for medium-sized municipalities. By highlighting the obsolescence of the current infrastructure, this study not only justifies the urgency of engineering interventions but also serves as a basis for public policies on risk management and land use planning

Keywords: Risk analysis, Urban drainage, Morphometry, Flooding, São Bento do Sul.

INTRODUÇÃO

A crescente urbanização, caracterizada pela impermeabilização do solo e pela implementação de sistemas de drenagem por vezes inadequados, aliada às alterações climáticas, tem agravado significativamente a frequência e o impacto de eventos hidrológicos extremos, como enchentes, inundações e alagamentos [1] (Buose, 2024). Nesse contexto, torna-se essencial distinguir tais fenômenos com precisão conceitual. A enchente refere-se ao aumento do volume de água até o limite máximo das margens de um rio, sem que haja extravasamento. Já a inundação ocorre quando esse limite é ultrapassado, resultando no transbordamento das águas para as áreas adjacentes, as planícies de inundação. O alagamento, por sua vez, é o acúmulo de água em áreas urbanas devido à incapacidade dos sistemas de drenagem em escoar o excedente das águas pluviais [2].

Segundo Paz, Leão e Estancione [3], o processo de urbanização nas metrópoles brasileiras, intensificado a partir da década de 1970, caracterizou-se por um crescimento acelerado e carente de planejamento. Isso resultou em graves consequências socioambientais, com destaque para a ocupação de áreas impróprias, como várzeas e encostas. Essa ocupação desordenada em territórios suscetíveis, desprovida de projetos compatíveis com a fragilidade local, acaba por se tornar um desastre maior que os próprios fenômenos naturais. Tal cenário evidencia a ausência de uma governança territorial efetiva e a falta de preparo institucional para lidar com situações de elevada complexidade [4].

Estudos recentes têm demonstrado que a intensificação de eventos pluviométricos extremos, associada à impermeabilização crescente do solo, eleva substancialmente os riscos hidrológicos em bacias urbanizadas [5,6].

De acordo com Tucci [7], a problemática das inundações em áreas marginais reflete um conflito entre a dinâmica natural dos rios e o uso do solo. Os danos resultantes são variáveis, dependendo do grau de exposição urbana e da taxa de recorrência das cheias. Dados da Defesa Civil de Santa Catarina [8] corroboram essa gravidade: em meados de janeiro de 2025, o estado registrou cerca de 781 pessoas desabrigadas e mais de 100 desalojadas, com 10 municípios decretando situação de emergência, especialmente no Litoral Norte e Vale do Itajaí. Esse panorama é agravado pelo fato de que muitos órgãos públicos carecem de pessoal e ferramentas para o planejamento sustentável da terra [4].

São Bento do Sul, no Planalto Norte catarinense, possui cerca de 84.117 habitantes, com 95,2% em áreas urbanas [9], embora a Lei Municipal nº 3.055 [10] estabeleça

diretrizes para drenagem e manejo de águas pluviais, o município enfrenta inundações recorrentes, conforme alertas da Defesa Civil.

Desta forma, essa pesquisa tem por objetivo investigar as causas e propor soluções para uma área de alta suscetibilidade a inundações no município de São Bento do Sul/SC, especificamente no logradouro da Rua Frederico Keil, que apresenta recorrência de eventos de inundação, frequentemente resultando no desalojamento de moradores. A pesquisa busca contribuir para o aprofundamento do debate acerca do planejamento urbano resiliente e da mitigação de riscos associados a inundações em bacias hidrográficas urbanizadas [11,12].

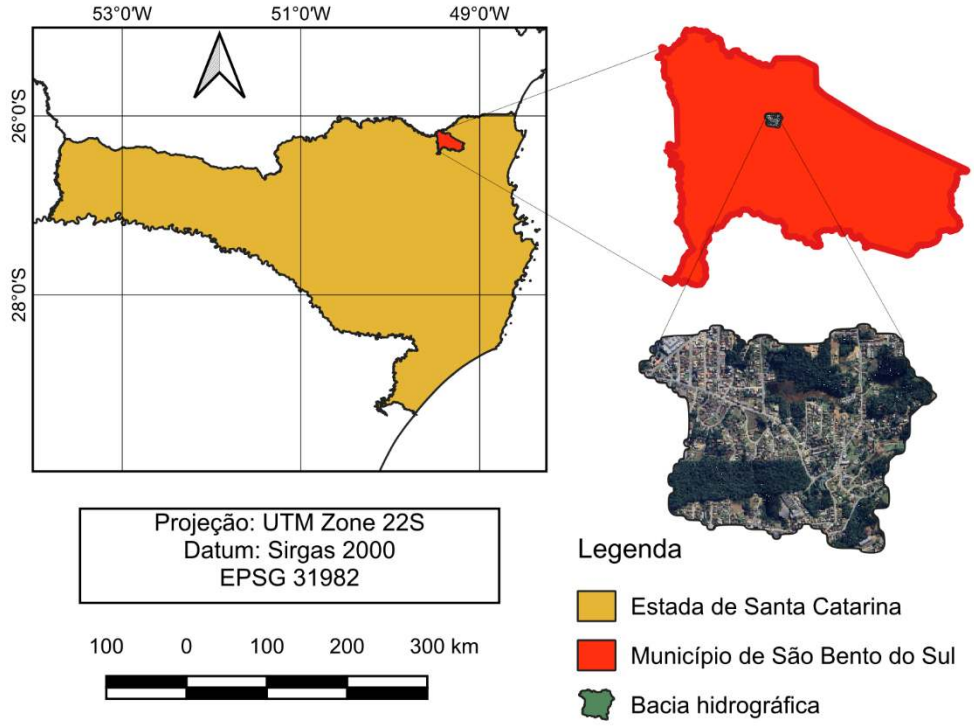
MÉTODO

Este estudo foi desenvolvido a partir de uma abordagem metodológica integrada, envolvendo atividades de campo, análise documental e interpretação do uso e ocupação do solo.

LOCAL DA PESQUISA

Bacia hidrográfica que abrange a Rua Frederico Keil, Schramm, São Bento do Sul, SC – Coordenadas - 26°15'13.9"S 49°22'23.7"W (Figura 1).

Figura 1-Localização da bacia hidrográfica



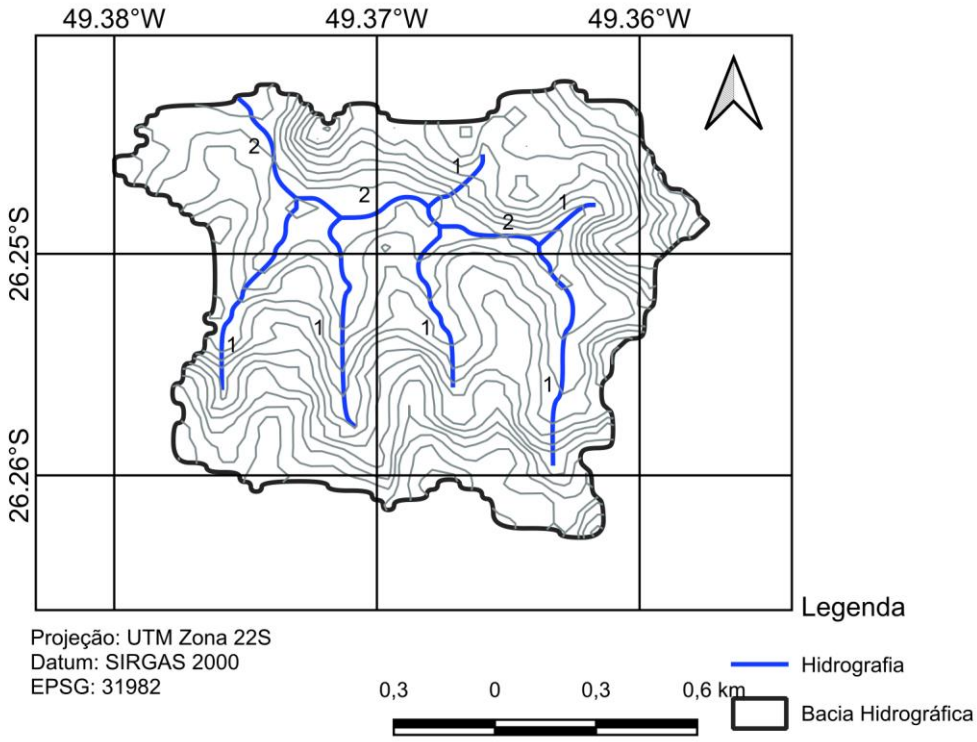
Fonte: o autor.

PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS

Por meio da mensuração de parâmetros morfométricos, é possível diagnosticar cientificamente como as características geofísicas influenciam as questões ambientais

e hidrológicas de uma bacia [7]. O estudo realizou a caracterização morfométrica da bacia demarcada (Figura 2), abordando parâmetros geométricos, topográficos e de drenagem. Foram extraídos dados sobre a dimensão e o formato da bacia, bem como o comportamento do relevo através de métricas de altitude e declividade. A estrutura hídrica também foi avaliada pelos parâmetros da rede de drenagem.

Figura 2- Características da bacia hidrográfica em estudo



Fonte: o autor.

A caracterização morfométrica da bacia hidrográfica foi realizada a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) do projeto TOPODATA [13], com resolução espacial de 30 metros, processado no software QGIS (versão 3.34.7). A utilização integrada de SIG, dados topográficos de acesso público e parâmetros hidrológicos possibilita diagnósticos técnicos aplicáveis ao planejamento urbano, especialmente em municípios que apresentam limitações de dados hidrológicos monitorados e necessidade de avaliação preliminar da infraestrutura de drenagem.

A delimitação da bacia e a definição da área de contribuição foram executadas por meio do algoritmo *r.watershed*, adotando-se como exutório o ponto localizado nas coordenadas 26°15'13.9"S 49°22'23.7"W, correspondente à galeria da Rua Frederico Keil. A extração da rede de drenagem e a geração da hierarquia dos canais foram realizadas com a ferramenta *r.stream.extract*, utilizando-se o método de classificação de Strahler [14].

Os parâmetros morfométricos geométricos (área, perímetro e comprimento axial), de relevo (altitude e declividade) e de drenagem (densidade de drenagem, densidade hidrográfica e sinuosidade) foram determinados em planilha eletrônica, fundamentados nas equações propostas por Villela e Mattos [15] e Tucci [7].

Para a análise hidrológica adotou-se o Método Racional para o cálculo da vazão de projeto, com coeficiente de escoamento C = 0,70, justificado pela baixa permeabilidade dos solos, Neossolos Litólicos e Cambissolos Háplicos [16] e alto grau de impermeabilização urbana. Conforme Tucci [17], áreas urbanas densamente ocupadas apresentam coeficientes de escoamento que variam de 0,70 a 0,95. Collischonn e Dornelles [18] complementam que solos com reduzida capacidade de infiltração, como os identificados, potencializam o escoamento superficial, especialmente em contextos de urbanização e compactação do solo. Este valor é compatível com o tempo de retorno adotado e com a intensidade pluviométrica, sendo considerado conservador e tecnicamente adequado para o diagnóstico da bacia em estudo.

A intensidade pluviométrica (116,9 mm/h para Tr = 10 anos) foi obtida da estação meteorológica de São Bento do Sul [19]. O tempo de concentração (Tc) foi calculado pela equação de Kirpich [15].

Por fim, a capacidade hidráulica das estruturas de galerias existentes e propostas foi calculada pela Equação de Manning, adotando-se coeficiente de rugosidade n = 0,013 para tubos de concreto.

CLASSIFICAÇÃO DO SOLOS

As características pedológicas locais influenciam diretamente o comportamento hidrológico, pois a permeabilidade do solo determina a suscetibilidade a inundações.

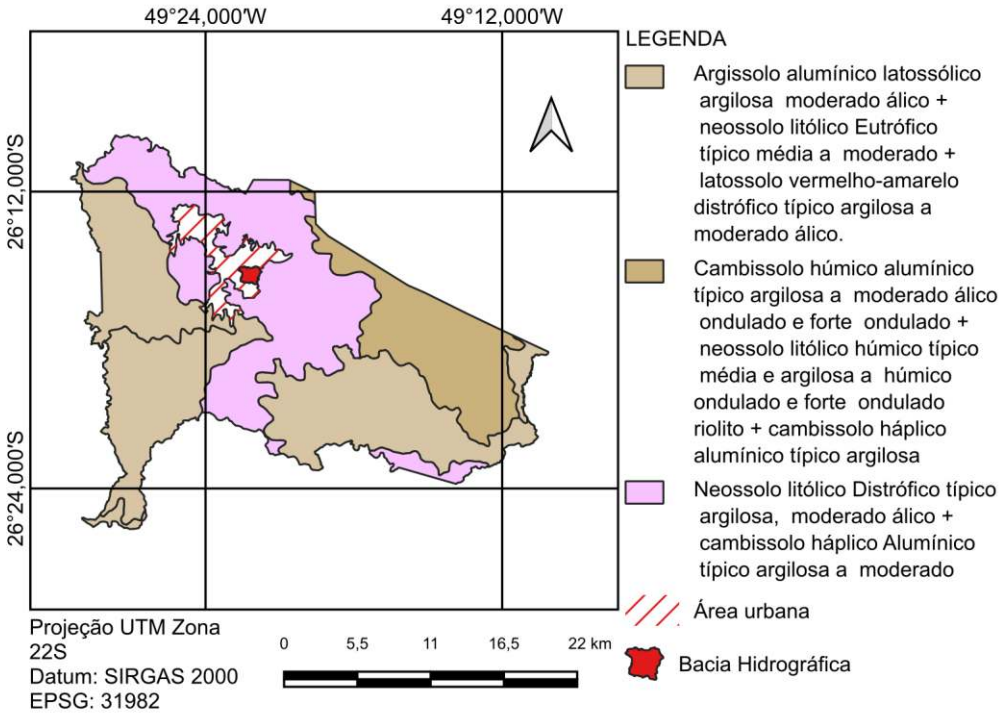
A área é composta por Neossolos Litólicos e Cambissolos Háplicos argilosos [16]. A pequena profundidade dos Neossolos e a baixa permeabilidade dos Cambissolos limitam a infiltração e o armazenamento hídrico, favorecendo o escoamento superficial e potencializando os picos de cheia no exutório.

PROCESSAMENTO DOS DADOS

O processamento dos dados espaciais da área de estudo foi realizado em ambiente SIG, resultando no mapeamento apresentado na Figura 3**.**

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8489

Figura 3-Caracteristicas do solo



Fonte: EMBRAPA (2018), adaptado pelo autor

Para a caracterização da bacia, empregaram-se dados do Modelo Digital de Elevação (MDE) oriundos do projeto TOPODATA, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), os quais apresentam resolução espacial de 30 metros e são derivados dos dados originais da missão SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). O processamento e a análise desses dados foram realizados no software QGIS, versão 3.34.7.

RESULTADOS

Os parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica obtidos via processamento dos dados ou calculados em planilha eletrônica estão sintetizados na Tabela 1.

Tabela 1: Resultados do processamento dos parâmetros da bacia hidrográfica

Grupo de características	Parâmetro		Unidade
Geométricas	Área de drenagem	1,4127	Km²
	Perímetro	5,9069	km
	Comprimento axial	1,7208	km
	Coeficiente de compacidade	1,0271	Kc
Relevo	Fator de forma	0,4771	Ff
	Índice de circularidade	0,5089	Ic
	Declividade	20,6472	%
	Altitude máxima	932,00	m
	Altitude mínima	848,00	m
	Amplitude altimétrica	84,00	m
	Razão de relevo	0,0488	m/km
Rede de Drenagem	Comprimento total dos canais	4,00	km
	Comprimento do canal principal	1,7675	km
	Densidade de drenagem	2,8314	Km/km²
	Ordem da Bacia	2ª	Escalar
	Índice de sinuosidade	1,0271	Is
	Razão de bifurcação	6	Rb
	Tempo de concentração	20,0200	Min.
	Vazão média	32,11	m^3/s

Fonte: o autor.

A bacia hidrográfica, classificada como de 2ª ordem [13] e com área de 1,4127 km², caracteriza-se como um sistema de pequeno porte e baixa ramificação, o que favorece uma resposta hidrológica rápida.

O Coeficiente de Compacidade de 1,0271 indica forte tendência à circularidade. Esse valor é inferior ao encontrado por Alves, Morais e Oliveira [20] na bacia do Ribeirão do Sapo (Kc = 1,18) e por Cardoso et al. [21] em bacias da região serrana do Rio de Janeiro (Kc médio = 1,25), confirmando a maior suscetibilidade a picos de cheia na área estudada.

A Densidade de Drenagem de 2,8314 km/km² é considerada elevada segundo Villela e Mattos [15], que classificam valores acima de 2,0 como indicativos de alta eficiência de drenagem. Esse resultado é semelhante ao obtido por Santos, Carvalho e Santos [22] na bacia do Rio Urucuia, reforçando a rápida resposta hidrológica em ambas as áreas.

A vazão de projeto de 32,11 m³/s para uma bacia de apenas 1,41 km² é expressiva quando comparada a estudos como o de Pessoa, Becegato e Berlanda [4] para porte semelhante na região de Lages/SC, os quais registraram valores consideravelmente inferiores. Essa discrepância evidencia o alto grau de impermeabilização e a eficiência do sistema de drenagem natural na condução do escoamento superficial.

O sistema atual, composto por duas galerias de 1,00 m de diâmetro, possui capacidade total de apenas 4,78 m³/s (Manning), evidenciando um subdimensionamento crítico.

A estrutura atende a menos de 14,89% da demanda projetada. Esse cenário de subdimensionamento crítico corrobora as observações de Tucci [23], que aponta que muitas estruturas de drenagem em cidades brasileiras foram projetadas sob paradigmas higienistas obsoletos, que visavam apenas o afastamento rápido das águas sem considerar o aumento do pico de cheia decorrente da impermeabilização do solo.

Para mitigar o passivo socioambiental, propõe-se o redimensionamento da galeria para aduelas duplas de 2,50 m x 3,00 m, que pode ser aliado à implantação de uma bacia de detenção a montante em área não prejudicial ao meio ambiente. Esta estratégia integrada visa amortecer os picos de cheia e garantir a resiliência da infraestrutura de drenagem a jusante.

Os eventos de inundação registrados pela Defesa Civil de Santa Catarina [8] reforçam a tendência de intensificação de chuvas extremas, conforme apontado por Marengo et al. [5]. Nesse contexto, o subdimensionamento do sistema de drenagem torna-se ainda mais crítico. Tucci [7] alerta que a combinação entre urbanização acelerada e eventos climáticos extremos exige projetos de drenagem com períodos de retorno superiores aos tradicionalmente adotados (10 anos), recomendando-se Tr ≥ 25 anos para áreas urbanas consolidadas.

CONCLUSÃO

A análise integrada demonstrou que as características fisiográficas da bacia contribuem para uma resposta hidrológica rápida, associada à concentração do escoamento superficial e à reduzida capacidade de amortecimento natural. A integração entre parâmetros morfométricos, condições pedológicas e avaliação hidráulica permitiu identificar a vulnerabilidade da área urbana estudada frente aos eventos pluviométricos intensos.

O diagnóstico hidráulico evidenciou incompatibilidade entre a capacidade da infraestrutura existente e a demanda de escoamento gerada pela bacia, caracterizando uma condição de subdimensionamento do sistema de drenagem. Esse resultado demonstra a necessidade de revisão dos critérios convencionais de dimensionamento e adoção de soluções integradas, incluindo medidas estruturais e compensatórias, visando ampliar a resiliência urbana frente aos eventos extremos.

A aplicação da metodologia proposta demonstra o potencial do uso integrado de SIG, análise morfométrica e modelagem hidráulica como ferramenta de apoio à tomada de decisão no planejamento urbano. A abordagem adotada pode contribuir para a priorização de intervenções de drenagem e para o desenvolvimento de estratégias municipais de adaptação aos riscos hidrológicos, especialmente em áreas urbanizadas sujeitas a eventos extremos.

DECLARAÇÃO

Durante a preparação deste artigo, o primeiro autor utilizou a ferramenta Gemini (da Google) para a tradução e melhoria de coesão do texto. Após a utilização da ferramenta, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

REFERÊNCIAS

[1] BUOSE, B. Impacto da Mobilidade Urbana na Gestão de Águas Pluviais. **Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes**, v. 12, n. 38, 2024.

[2] AMARAL, R.; RIBEIRO, R. R. Inundações e enchentes. *Em*: TOMINAGA, L. D.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Eds.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. p. 39–52.

[3] PAZ, M. G. A. DA; LEÃO, R. S.; ESTANCIONE, L. M. B. **Ocupações irregulares e desastres naturais em metrópoles: sua relação com a governança da água.** Anais do XIII Simpósio Nacional de Geografia Urbana. **Anais**...Rio de Janeiro: UERJ, 2013

[4] PESSOA, N. M. M.; BECEGATO, V. A.; BERLANDA, A. Investigação da urbanização na bacia hidrográfica do Rio Ponte Grande, Lages, SC. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 13, n. 11, p. 208–222, 2022.

[5] MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; AMBRIZZI, T.; YOUNG, A.; BARRETO, L. F.; RAMOS, A. M. Trends in extreme rainfall and climate change implications for São Paulo and Southern Brazil. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1472, n. 1, p. 33–47, 2020.

[6] NOBRE, C. A.; OTHERS. Extreme Rainfall and Hydro-Geo-Meteorological Disaster Risk in 1.5, 2.0, and 4.0°C Global Warming Scenarios: An Analysis for Brazil. **Frontiers in Climate**, v. 3, 2021.

[7] TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 5. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2024.

[8] DEFESA CIVIL DE SANTA CATARINA. **Chuva forte no litoral catarinense: alagamentos e deslizamentos decretam emergência em 10 municípios**, 2025. Disponível em: https://www.defesacivil.sc.gov.br/2025/01/17/chuva-forte-no-litoral-catarinense-alagamentos-e-deslizamentos-decretam-emergencia-em-10-municipios

[9] SINISA. SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES EM SANEAMENTO BÁSICO. No Title. p. https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informac , 2025.

[10] SÃO BENTO DO SUL. **Lei Municipal nº3.055, de 10 de outubro de 2012. Dispõe sobre a revisão do Plano Diretor do Município de São Bento do Sul e dá outras providências**São Bento do SulCâmara Municipal, , 2012. Disponível em: https://leismunicipais.com.br/plano-diretor-sao-bento-do-sul-sc

[11] BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. 2. ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2011.

[12] SETTI, R. F.; HORA, M. DE A. G. M. DA; HORA, A. F. DA. Medidas não convencionais de controle na fonte para minimização das enchentes em áreas urbanas. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 9, 2023.

[13] **INPE. TOPODATA: Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil.** Disponível em: http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/ . Acesso em: 26 fev. 2026.

[14] STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, n. 11, p. 1117–1142, 1952.

[15] VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.

[16] EMBRAPA. Solos do Estado de Santa Catarina: Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. **Solos do Estado de Santa Catarina: Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento.**, v. nº 46, p. 745, 2004.

[17] TUCCI, C. E. M. (ED.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2012. v. 4

[18] COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. 2. ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2015.

[19] INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP)**Brasília, DFInstituto Nacional de Meteorologia, , 2026. Disponível em: https://bdmep.inmet.gov.br/

[20] ALVES, W. S.; MORAIS, W. A.; OLIVEIRA, S. F. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do Ribeirão do Sapo, Rio Verde, Goiás, Brasil. **Geoambiente On-line**, n. 36, p. 1–22, 2020.

[21] CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, v. 30, n. 2, p. 241–248, 2006.

[22] SANTOS, L. L. V.; CARVALHO, J. A. L. DE; SANTOS, L. A. R. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Urucuia e sua relação com os processos erosivos e inundações. **Revista Geociências**, v. 22, n. 1, p. 89–105, 2023.

[23] TUCCI, C. E. M. **Drenagem urbana**. Porto Alegre: Oficina de Textos, 2005.