

Morfometria e uso da terra como indicadores de propensão a inundações nas microbacias do Rio das Mortes, Minas Gerais – Brasil

Morphometry and land use as indicators of flood propension in the microbasins of Rio das Mortes, Minas Gerais – Brazil

Morfometría y uso de la tierra como indicadores de propensión de inundaciones en las microbasinas de Rio das Mortes, Minas Gerais – Brasil

André Barbosa Ribeiro Ferreira

Doutorando em Geografia pela Universidade Estadual Paulista – UNESP/Campus Rio Claro.
Consultor Ambiental no Instituto de Gestão Territorial e Geotecnologias (IGTECH).
andreribeirogeo@gmail.com / <http://orcid.org/0000-0003-3041-4012>

Bruno Zucherato

Doutor em Geografia pela Universidade de Coimbra em cotutela com a Universidade Estadual Paulista – UNESP/Campus Rio Claro. Professor da Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT/Campus Universitário do Araguaia (CUA) e do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade do Estado de Mato Grosso – PPGGeo/UNEMAT.
bzucherato@gmail.com / <http://orcid.org/0000-0001-6626-6272>

Andréa Aparecida Zacharias

Doutora em Geografia pela Universidade Estadual Paulista – UNESP/Campus Rio Claro.
Professora da UNESP/Campus Ourinhos e do Programa de Pós-Graduação em Geografia – UNESP/Campus Rio Claro.
andrea.zacharias@unesp.br / <http://orcid.org/0000-0002-9992-7927>

Francielle da Silva Cardozo

Doutora em Sensoriamento Remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE e pós-doutora em Geografia pela Universidade Federal de São João del-Rei. Professora colaboradora no Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de São João del-Rei.
franciellecardozo@ufsj.edu.br / <http://orcid.org/0000-0002-4775-4649>

Recebido: 13/01/2023; Aceito: 08/08/2023; Publicado: 02/03/2025.

Resumo

As inundações são fenômenos naturais que fazem parte da dinâmica de uma bacia hidrográfica. No entanto, algumas características da drenagem e do relevo nos quais a bacia está inserida podem contribuir para a maior ou menor propensão a esses eventos. O uso da terra, sobretudo quando relacionados à impermeabilização do solo, também são fatores preponderantes à ocorrência desses eventos, pois potencializam o escoamento superficial. Desse modo, o objetivo deste trabalho foi identificar a tendência a inundações nas microbacias que compõem a bacia hidrográfica do Rio das Mortes. Para isso, foram aplicados, na área de estudo, sete índices morfométricos distintos, os quais, geralmente, são empregados de forma individualizada. Todavia, para este trabalho, foi

efetuada uma integração dos parâmetros entre si e, posteriormente, isto foi aplicado ao uso da terra, especificamente nas manchas urbanas. Os resultados obtidos permitiram identificar que 7 das 13 microbacias analisadas possuem tendência média e alta à ocorrência desses fenômenos.

Palavras-chave: Índices Morfométricos; Bacia Hidrográfica; Fenômenos Hidrológicos.

Abstract

Floods are natural phenomena that are part of the dynamics of a watershed. However, some characteristics of the drainage and relief in which the basin is inserted may contribute to a greater or lesser propensity for these events. Land use, especially when related to waterproofing, are also preponderant factors in the occurrence of these events, as they potentiate surface runoff. Thus, the objective of this work was to identify the tendency for flooding in the microbasins that make up the watershed of Rio das Mortes. For this, seven different morphometric indices were applied in the study area, which are generally used individually. However, for this work, an integration of the parameters was carried out with each other and, later, with the use of the land, specifically in urban areas. The results obtained allowed us to identify that seven of the thirteen microbasins analyzed have a medium and high tendency to the occurrence of these phenomena.

Keywords: Morphometric Indices; Hydrographic basin; Hydrological Phenomena.

Resumen

Las inundaciones son fenómenos naturales que forman parte de la dinámica de una cuenca. Sin embargo, algunas características del drenaje y relieve al que se inserta la cuenca pueden contribuir a una mayor o menor propensión a estos eventos. El uso de la tierra, especialmente cuando se relaciona con la impermeabilización, también son factores preponderantes en la ocurrencia de estos eventos, ya que potencian la escorrentía superficial. Así, el objetivo de este trabajo fue identificar la tendencia de inundación en las microcuencas que componen la cuenca del Río das Mortes. Para ello se aplicaron siete índices morfométricos diferentes en la zona de estudio, los cuales generalmente se utilizan de forma individual. Sin embargo, para este trabajo se realizó una integración de los parámetros entre sí y, posteriormente, con el uso de la tierra, específicamente en las zonas urbanas. Los resultados obtenidos permitieron identificar que siete de las trece microcuencas analizadas tienen una tendencia media y alta a la ocurrencia de estos fenómenos.

Palabras-clave: Índices morfométricos; Cuenca hidrográfica; Fenómenos hidrológicos.

Introdução

A relação entre sociedade e natureza, sobretudo a partir das últimas décadas do século XX, tornou-se um tema amplamente discutido em diversas áreas do campo científico. A demanda e o interesse por esses estudos partem de uma conjuntura de crescimento populacional e urbano desenfreados, não acompanhados por um devido planejamento, e condicionados a uma série de conflitos de caráter social, ambiental e econômico.

O Brasil, tal como os demais países latino-americanos, passou por uma inversão locacional intensa e desordenada da população (Maricato, 2000). Enquanto na década de 1940 apenas 26,3 % da população brasileira vivia nos centros urbanos, nos anos 2000 essa

parcela saltou para 81,2 % da população e, em 2015, para 84,72 %, segundo o Plano Nacional por Amostra de Domicílios (IBGE, 2015).

Nesse contexto, as cidades passam a ser vistas como estruturas físicas complexas, com predominância da intervenção humana no meio natural, as chamadas áreas antrópicas, dotadas de paisagens modernas, compostas por aparelhamento estrutural, tecnológico e financeiro. Estes lhes dão a condição de urbanidade, muito comum na atualidade e, para tal condição, cada vez mais, altera-se a paisagem natural e determina-se, a partir dela, o espaço social e construído, resultando em novas paisagens provenientes da relação sociedade e natureza no ambiente urbano.

A antropização de áreas naturais é considerada a maior responsável pela alteração de superfície das bacias hidrográficas (Targa et al., 2012). A retirada da vegetação, seguida da compactação e impermeabilização do solo, diminui a capacidade de infiltração e aumenta o coeficiente de escoamento superficial. Com isso, as águas concentram-se rapidamente nos talwegues e rios, dando origem aos fenômenos hidrológicos de enchentes e inundações (Miguez; Veról; Rezende, 2016).

Comumente, os termos *inundação* e *enchente* são utilizados como sinônimos, mas eles diferem entre si quanto à fenomenologia. A enchente refere-se ao aumento da vazão do rio por um determinado tempo. Entretanto, quando a vazão supera a capacidade de descarga do canal fluvial, indo extravasar para as áreas marginais (várzea e planície aluvial), ocorre a inundação (Herrmann, 2005).

Esses fenômenos, quando oriundos do referido processo de impermeabilização do solo e estruturação da cidade, são denominados enchente e inundação urbanas (Tucci; Bertoni, 2003). A primeira pode ocorrer isoladamente ou em conjunto à enchente ribeirinha, que, por si só, é natural. Entretanto, ocasiona impactos negativos quando a população humana ocupa a margem dos rios. Porém, ambos os processos podem evoluir para uma inundação, e, quando esta ocorre em áreas urbanas, pode estar relacionada, também, ao estrangulamento dos canais e ao efeito remanso, tanto da macrodrenagem como do rio principal.

Desse modo, o uso da terra de uma bacia hidrográfica, assim como fatores externos, pode ter influência direta na ocorrência, intensidade, controle e consequências dos referidos fenômenos (Barros et al., 2016). As análises de uso da terra tornaram-se proeminentes nas últimas décadas, dado que o uso e cobertura foi reconhecido como um dos fatores mais importantes de modificação ambiental, como: qualidade da água, solo e taxas de escoamento, dentre diversos outros (Mendoza et al., 2011).

Outras características físico-naturais das bacias associadas ao uso da terra constituem-se como fatores importantes a serem estudados, como a morfometria. Essa propriedade pode indicar ou responder ao comportamento hidrológico da bacia e determinar, indiretamente, tendências desse cunho (Villela; Mattos, 1975). Dessa forma, essas características propiciam a elaboração e execução de projetos para o planejamento adequado frente às limitações e potencialidades da área estudada (Marques et al., 2021).

Horton e Strahler são considerados percussores dessas análises morfométricas e reconhecidos por muitos trabalhos desenvolvidos nessa temática (Hajam; Hamid; Bhat, 2013), principalmente em aplicações que objetivam identificar geomorfologicamente a tendência a inundações (Masoud, 2016).

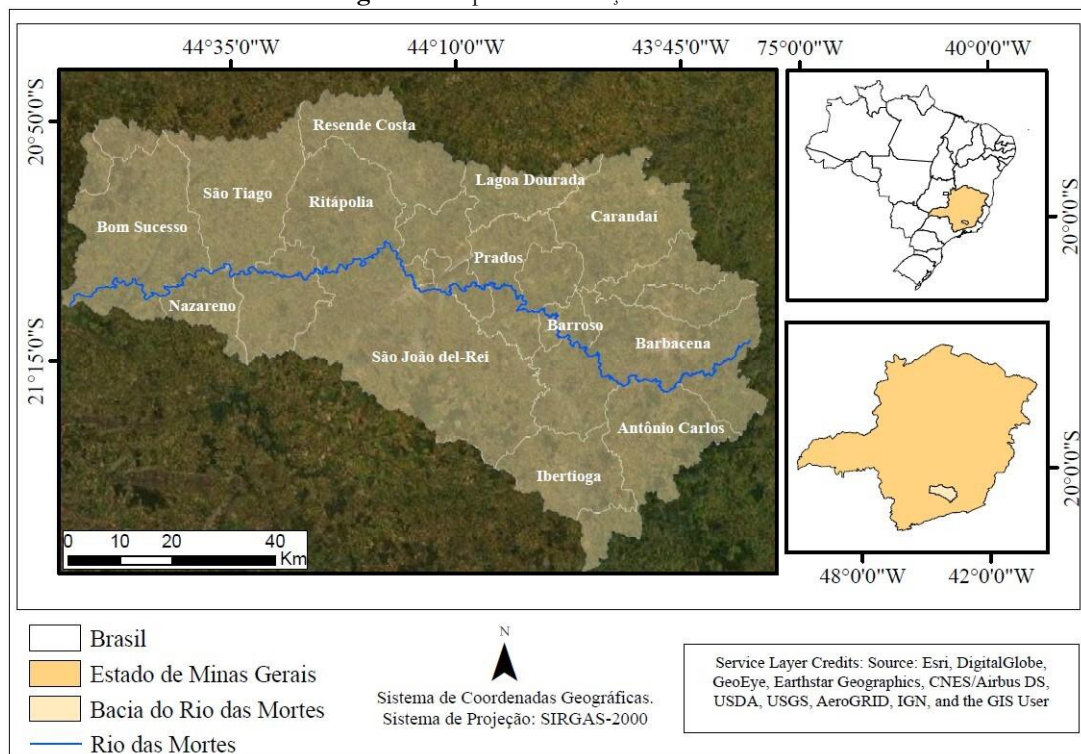
Partindo desses pressupostos, este artigo tem como escopo a aplicação e integração de um conjunto de índices morfométricos em 13 microbacias do Rio das Mortes (BHRM) a fim de seccionar o grau de propensão a inundações da área em questão. Considerando, também, a influência do uso da terra, sobretudo da urbanização, incorporou-se esse atributo de modo quali-quantitativo às análises.

A escolha dessa unidade hidrográfica, em específico, deve-se ao fato de que a bacia de importância regional apresenta poucos estudos relacionados à temática das inundações. Além disso, está localizada em uma região historicamente antropizada; o canal principal, assim como os afluentes, perpassa centros urbanos e possui histórico de transbordamento, sobretudo nas cidades de São João del-Rei, Santa Cruz de Minas, Tiradentes, Barroso e Antônio Carlos.

Área de estudo

A bacia hidrográfica do Rio das Mortes (Figura 1) possui área de 6.606,4 km² e está localizada no estado de Minas Gerais, Brasil, entre as coordenadas 43°36' W e 21°35' S. A região é denominada Campo das Vertentes e faz limites com o sul de Minas, zona da mata mineira, região metropolitana e oeste de Minas.

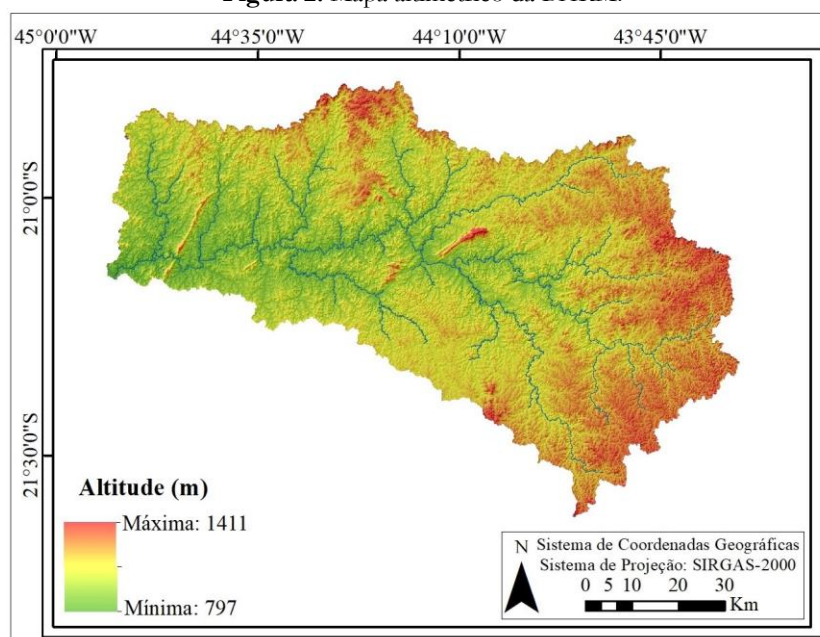
Figura 1. Mapa de localização da BHRM.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

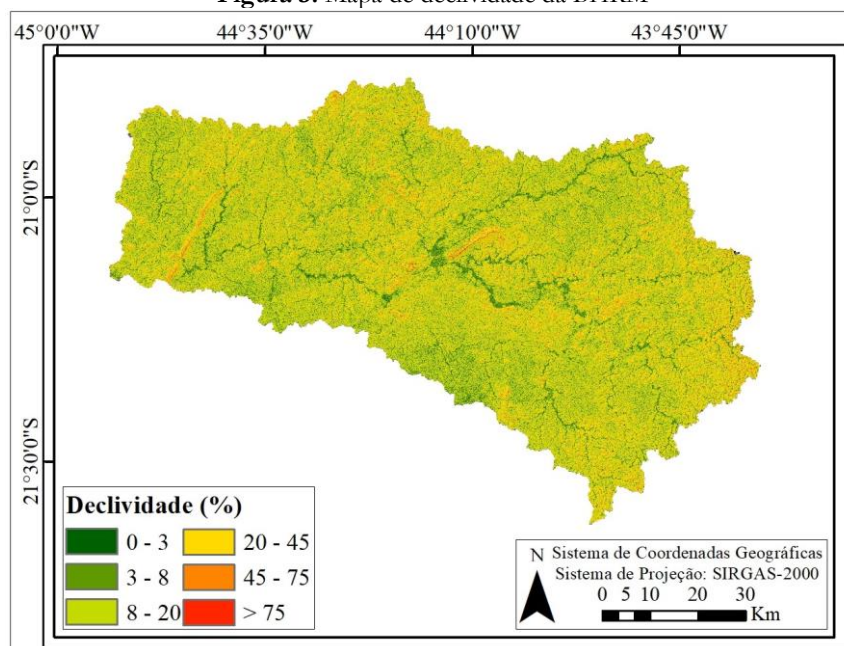
Com altitudes entre 795 m e 1419 m (Figura 2) e declividades predominantemente médias e baixas, entre 0 % e 45 % (Figura 3), a bacia está inserida na unidade cristalina do Alto Rio Grande, uma ampla superfície de relevo ondulado e talhado em rochas do complexo gnáissico-migmatítico do grupo Barbacena. O canal fluvial principal possui leito relativamente largo e, em diversas partes, terraços aluviais derivados do rebaixamento do nível de base (Achão, 1987).

Figura 2. Mapa altimétrico da BHRM.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Figura 3. Mapa de declividade da BHRM



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

O clima da regional, segundo a classificação climática de Köppen, é Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico), com inverno seco e verão chuvoso, e subtropical, com inverno seco e temperatura do mês mais quente maior que 22 °C. As médias anuais de temperatura e precipitação são, respectivamente, de 19,2° C e 1.470 mm.

No que se refere ao planejamento de recursos hídricos de Minas Gerais, a bacia é conhecida como “Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do Rio das

Mortes – GD2” (UPGRH-GD2), com os rios Jacaré e Cervo. Sua nascente localiza-se no distrito de Pinheiro Grosso, entre os municípios de Barbacena e Senhora das Dores, e a foz ocorre em Ibituruna, no Rio Grande (Campos et al., 2007).

Os solos predominantes são os latossolos, mas à medida que se aproxima da foz, os latossolos vermelho-amarelos distróficos, cambissolos e neossolos litólicos destacam-se com maior frequência (Amâncio et al., 2018). A vegetação natural é composta principalmente de Mata Atlântica e Cerrado (MapBiomias, 2015), no entanto, a ocupação datada do período colonial faz com que a atividade agropecuária integre significativamente a paisagem. Desse modo, a mata ciliar, tão importante na prevenção de assoreamento e para o equilíbrio geral, é, na atualidade, praticamente inexistente. Consequentemente, o desequilíbrio ecológico, a degradação e as cheias naturais transformam-se em catástrofes (Zanetti, 2003).

O trecho percorrido pelo Rio das Mortes é dividido em três partes, denominadas: Alto, Médio e Baixo Rio das Mortes. Estes abrangem, respectivamente: Alfredo Vasconcelos, Antônio Carlos, Barbacena, Barroso, Dores de Campos, Prados, Ressaquinha e Tiradentes; Conceição da Barra de Minas, Coronel Xavier Chaves, Resende Costa, Ritópolis, Santa Cruz de Minas, São João-del Rei e parte do município de Tiradentes; e São Tiago, Conceição da Barra de Minas, Nazareno, Bom Sucesso e Ibituruna (IGAM, 2010).

A densidade populacional e industrial dessa bacia é vista como a maior de todo Alto Rio Grande. Ela é a maior fonte de abastecimento de água da população de Barbacena, e jusante, torna-se um dos rios mais poluídos da região, com suas águas comprometidas por dejetos de todo tipo, como lixo urbano, esgotos, efluentes industriais, resíduos de agrotóxicos, entre outros (Arantes et al., 2006).

Materiais e Métodos

A proposta metodológica deste trabalho considera o entendimento de Souza (2005), que afirma que, na literatura científica, muitos autores encontram relações entre parâmetros morfométricos e características hidrológicas. Entretanto, na maior parte das vezes, utilizam esses índices de forma isolada (Souza, 2005), o que condiciona inferências baseadas em atributos e condicionantes compartimentados.

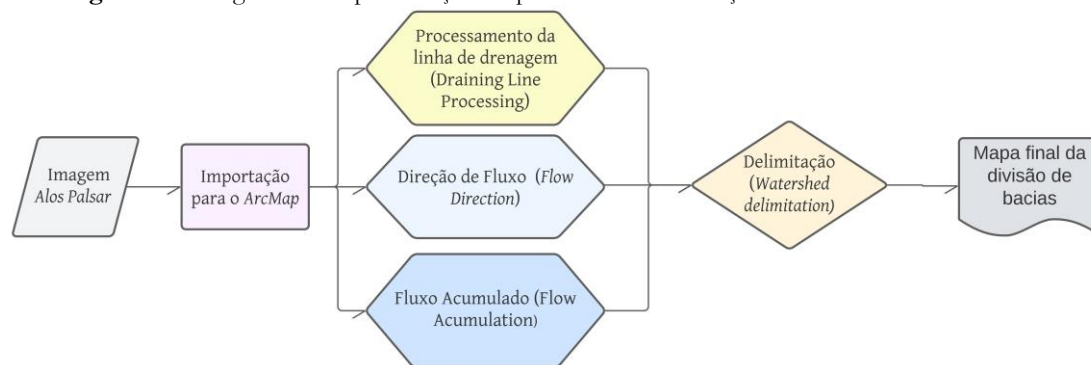
Assim, tomando como indicativo a constatação supracitada, a metodologia utiliza uma análise integrada dos índices morfométricos e o uso da terra para identificar o grau de suscetibilidade a inundação das microbacias do Rio das Mortes. Para isso, foram utilizadas

imagens do satélite Alos Palsar (*Fine Beam Double* – resolução espacial reamostrada para 12,5 m) para delimitação das microbacias; base digital de Drenagens Ottocodificada da Bacia Hidrográfica do Rio Grande na escala de 1:50.000; arquivo *shapefile* do limite da Bacia do Rio das Mortes, adquirida via Lume Estratégia Ambiental; Plano Diretor de Recursos Hídricos da BHRM e base digital de uso da terra do MapBiomas para identificar e calcular o percentual de área urbanizada de cada microbacia.

Delimitação de Microbacias

A delimitação das microbacias foi realizada com o auxílio de técnicas de geoprocessamento. A base para execução desse procedimento foi a imagem Alos Palsar e o processo de delimitação ocorreu a partir da geração de linhas de drenagem por direção e acúmulo de fluxos, os quais possibilitaram a obtenção da divisão das bacias (Figura 4).

Figura 4. Fluxograma de representação do processo de delimitação das microbacias da BHRM.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Posteriormente, os limites gerados foram sobrepostos às curvas de nível extraídas da imagem Alos Palsar e da Base Hidrográfica Ottocodificada para eventuais correções topológicas oriundas do processo automático. A delimitação buscou referência no Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Mortes, que divide a bacia em sete macrozonas, das quais cinco são microbacias e duas são regiões do Médio e Baixo curso do Rio das Mortes. Neste trabalho, essas regiões foram parcialmente descompartimentadas em microbacias. Manteve-se como “Região do Médio e Baixo curso do Rio das Mortes” apenas um grupo de bacias de pequena extensão, as quais possuem drenagem de baixa magnitude (canais entre 1ª e 3ª ordem) e tributários diretos do Rio das Mortes. Desse modo, definiu-se 13 microbacias (Quadro 1) para aplicação das análises morfométricas.

Quadro 1. Bacia Hidrográfica do Rio das Mortes: Setorização das Microbacias.

Divisão do Plano Diretor de Recursos Hídricos – BHRM	Divisão adotada nessa análise
Microbacia do Alto Rio das Mortes	1 - Microbacia do Alto Rio das Mortes
Microbacia do Rio das Mortes Pequeno	2 - Microbacia do Rio das Mortes Pequeno
Microbacia do Rio das Elvas	3 - Microbacia do Rio das Elvas
Microbacia do Rio Carandaí	4 - Microbacia do Rio Carandaí
Microbacia do Rio dos Peixes	5 - Microbacia do Rio dos Peixes
Região do Médio Rio das Mortes	6 - Microbacia do Ribeirão Água Limpa
	7 - Microbacia do Ribeirão do Espriado
	8 - Microbacia do Rio Do Coroa
Região do Baixo Rio das Mortes	9 - Microbacia do Ribeirão Tabures
	10 – Microbacia do Rio Pirapetinga
	11 - Microbacia do Ribeirão Capeo
	12 - Microbacia do Ribeirão da Canjica
	13 - Microbacia do Córrego dos Moreiras

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Parâmetros Morfométricos

Para a mensuração do grau de propensão à ocorrência de inundações, foram utilizados dez parâmetros morfométricos diferentes, sendo eles: (1) área; (2) perímetro; (3) coeficiente de compacidade; (4) fator da forma; (5) índice de circularidade; (6) densidade da drenagem; (7) densidade hidrográfica; (8) índice de sinuosidade; (9) declividade média do canal principal; e (10) tempo de concentração, os quais são descritos detalhadamente a seguir.

Área (A) e perímetro (P) das bacias: obtidos a partir do cálculo geométrico dos vetores. O perímetro é a linha que delimita o divisor de águas e circunda a área da bacia, enquanto a área é o plano horizontal incluso entre seus divisores topográficos (Villela; Mattos, 1975). Essas medidas possuem significativa importância e devem ser efetuadas com rigor, pois esses atributos influenciam diretamente na geração de escoamentos (Périco et al., 2011). Além disso, a vazão máxima dos canais decresce à medida que se aumenta a área de drenagem. Com relação ao perímetro, quanto maior este, maior também será o número de canais de primeira ordem (Souza, 2005).

Coeficiente de compacidade (Kc): também conhecido como Índice de Gravelius, o Kc é a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo da mesma área (Villela; Mattos, 1975). Quanto mais próximo de um círculo for a bacia ($Kc=1$), mais facilmente os escoamentos se acumularão no exutório (Miguez; Veról; Rezende, 2016). Sua fórmula é aplicada pela Equação 1:

$$Kc = (0,28) P\sqrt{A} \quad (1)$$

Onde P é o perímetro da bacia em km e A é a área da bacia em km².

Fator de forma (Kf): proposto por Horton (1932), o índice relaciona, por meio de um quociente, a largura média e o comprimento axial da bacia. Esse índice permite dizer que, para duas bacias de mesma área, aquela de Kf baixo tem menor tendência a produzir inundação (Miguez; Veról; Rezende, 2016). Para o cálculo do Kf, utiliza-se a Equação 2:

$$Kf = A/L^2 \quad (2)$$

Onde A representa a área da bacia e L o comprimento axial.

Índice de circularidade (Ic): proposto por Miller (1953) e Shumm (1956), o Ic representa a relação entre a área total da bacia e a área de um círculo de perímetro igual ao da área total da bacia (Equação 3).

$$IC = 12,57 \times A/P^2 \quad (3)$$

Onde A representa a área e P, o perímetro.

Densidade de drenagem (Dd): indica o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem, sendo expresso pela relação entre o comprimento total dos cursos d'água de uma bacia e sua área total (Horton, 1932; Villela; Mattos, 1975). O escoamento superficial médio anual da bacia aumenta com a densidade de drenagem (Souza, 2005), portanto, bacias com alta densidade de drenagem possuem baixa capacidade de infiltração e rápida capacidade de concentração de cheias. Para o cálculo da Dd, utiliza-se a Equação 4:

$$Dd = L/A \quad (4)$$

Onde A representa a área de drenagem e L é o valor do comprimento total dos cursos d'água na bacia.

Densidade hidrográfica (Dh): relação existente entre o número de canais e a área da bacia. Como neste trabalho foi utilizada a ordenação proposta por Strahler (1957), o número de cursos d'água corresponde ao número de canais de 1ª ordem. A Equação 5 define a densidade hidrográfica:

$$Dh = N1/A \quad (5)$$

Onde N1 indica o número de canais de primeira ordem e A, a área da bacia.

Destaca-se que, dentre os parâmetros morfométricos, a densidade hidrográfica é uma variável de significativa importância, pois representa o comportamento de uma determinada área no sentido de gerar novos cursos d'água (Périco et al., 2011). Souza (2005) reforça essa afirmação, ao explicitar que a densidade hidrográfica é controlada por diversas variáveis, incluindo chuva, relevo e cobertura vegetal, e traz indicações sobre a resposta da bacia ao processo de escoamento superficial.

Índice de sinuosidade (Is): é a relação entre o comprimento do rio principal e o comprimento do talvegue. O Is é um fator controlador de velocidade (Villela; Mattos, 1975), ou seja, quanto mais próximo de 2, mais sinuoso é o canal, o que diminui o fluxo energético e retarda o acúmulo. A expressão que o define se dá por (Equação 6):

$$Is = L/Lt \quad (6)$$

Onde L corresponde ao comprimento do canal principal e Lt ao comprimento do talvegue.

Declividade média do canal principal (Dm): a declividade dos terrenos de uma bacia controla em boa parte a velocidade em que se dá o escoamento superficial (Villela; Mattos, 1975). Esse gradiente altimétrico é o quociente entre a amplitude altimétrica do canal e seu comprimento. Ressalta-se que gradientes elevados indicam maior velocidade das águas, o que pode ocasionar, nos locais com menor gradiente, acúmulo do fluxo de água. Sua equação é dada por (Equação 7):

$$Dm = H_{Cab} - H_{Foz} / L \quad (7)$$

Onde H_{Cab} corresponde à altitude da cabeceira, H_{Foz} à altitude da foz e L ao comprimento do canal.

Tempo de concentração (Tc): é o intervalo de tempo necessário, a partir do início da precipitação, para que toda área passe a contribuir para a vazão na seção principal (Miguez; Veról; Rezende, 2016). Quanto maior o tempo de concentração, menor a tendência de picos de vazão. Desse modo, foram utilizadas as fórmulas de Tsuchiya (1978), diferenciando bacias não urbanizadas (Equação 8) das bacias urbanizadas (Equação 9), conforme as expressões:

$$Tc = 0,83 \times L / S^{0,6} \quad (8)$$

$$T_c = 0,36 \times L / S^{0,5} \quad (9)$$

Onde S corresponde à declividade média dada em m/km e L ao comprimento do canal principal.

Uso da Terra

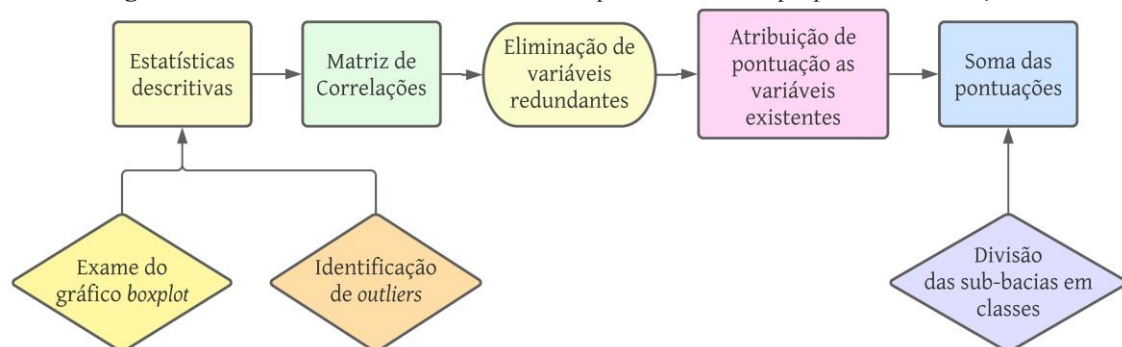
Além dos parâmetros morfométricos, o uso da terra foi utilizado para a identificação do percentual de área urbanizada das bacias hidrográficas. Considerando-se que o processo de urbanização ocasiona modificações no sistema e ampliação de áreas cinzas, quanto mais urbanizadas as bacias hidrográficas, maior o escoamento superficial e, consequentemente, os picos de vazão.

Desse modo, para a obtenção do percentual de área urbanizada, utilizou-se da classificação de uso e cobertura da terra disponibilizada pelo projeto MapBiomass (2019), o qual utiliza como base imagens do Satélite Landsat, com resolução espacial de 30 m.

Aplicações Estatísticas

Para identificar o comportamento dos diferentes parâmetros em cada unidade de análise, foram aplicadas a média e o desvio padrão dos valores. A utilização dessas estatísticas possibilitou a compreensão da distribuição dos valores, bem com a identificação de correlações entre as variáveis. A partir disso, determinou-se os parâmetros morfométricos a serem utilizados e excluídos da composição final da propensão à inundação. Assim, as estatísticas aplicadas (Figura 5) permitiram estabelecer semelhanças e diferenças entre os dados de cada variável e microbacia.

Figura 5. Procedimentos estatísticos realizados para o cálculo da propensão a inundações.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Com o auxílio de um script de programação em linguagem *Python*, mais especificamente dos pacotes *Pandas* e *Numpy*, foram geradas as estatísticas descritivas dos

dados para os parâmetros morfométricos e o uso da terra das unidades de análise da área de estudo; além dos valores mínimos e máximos para cada variável, foram gerados os valores da média e do desvio padrão, bem como foram elaborados o gráfico *boxplot* e a identificação dos *outliers* de cada variável com o objetivo de estabelecer as homogeneidades e heterogeneidades inerentes de cada dado inserido no modelo proposto.

Após esse procedimento, foi realizado o cálculo das correlações entre as variáveis inseridas e elaborada uma matriz de correlações para verificar a existência de dados redundantes (com muita alta correlação ou grande correlação inversa). Nesse processo, a intenção é suprimir dados que sejam estatisticamente semelhantes e garantir que diversos parâmetros diferentes sejam considerados na análise da propensão a inundações.

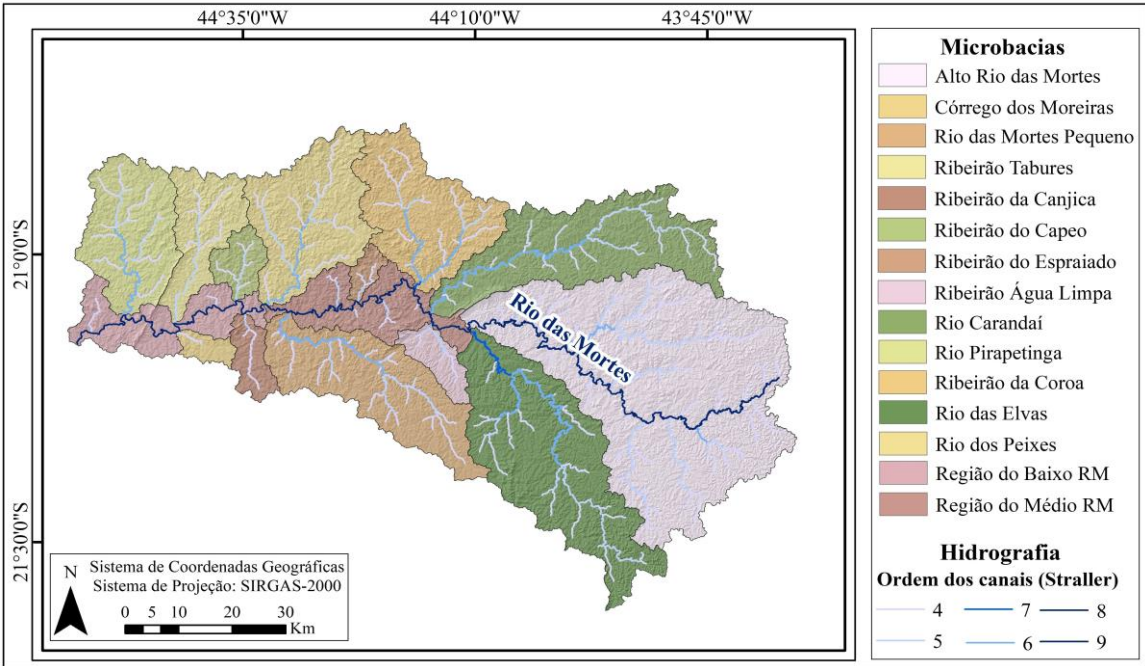
Com o estabelecimento das variáveis que de fato seriam incluídas no cálculo da propensão a inundações, foi atribuído a cada parâmetro uma classe, variando de 1 (menor propensão a inundações) a 3 (maior propensão a inundações). Após a atribuição desses valores, foi realizada a soma das pontuações de cada bacia; quanto maior o valor da pontuação da microbacia analisada, maior a sua propensão a inundações.

Por fim, para a elaboração da espacialização final da propensão final estabelecida, foram determinadas classes qualitativas das unidades espaciais analisadas, sendo as microbacias divididas em três grupos: alta propensão, média propensão e baixa propensão. Com esses procedimentos, foi possível estabelecer possíveis diferenciações no comportamento das bacias analisadas em relação à ocorrência de inundações no local, podendo esses resultados serem utilizados para o estabelecimento de estratégias e políticas públicas de alerta, combate e mitigação dos efeitos de desastres naturais.

Resultados e Discussões

A delimitação empregada compartimentou a Bacia Hidrográfica do Rio das Mortes em treze microbacias (Figura 6) e duas regiões denominadas Baixo Rio das Mortes (RM) e Médio Rio das Mortes. Essas regiões não correspondem a microbacias e não foram inseridas nas análises morfométricas, dado que são áreas compostas de canais de pequena extensão que deságuam diretamente no Rio das Mortes.

Figura 6. Microbacias do Rio das Mortes.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Às treze bacias foram empregadas análises morfométricas, visando à identificação da tendência à inundação. Os resultados da aplicação estão descritos na seção a seguir.

Parâmetros morfométricos

Conforme mencionado, os parâmetros morfométricos calculados para a integração foram, a princípio: densidade de drenagem (Dd), densidade hidrográfica (Dh), índice de sinuosidade (Is), fator de forma (Kf), coeficiente de compacidade (Kc), área (A), perímetro (P) e declividade média (Dm). Além disso, foi calculado o percentual de urbanização de cada bacia hidrográfica (Tabela 1).

Tabela 1. Resultados dos Índices morfométricos e percentual de urbanização (UT)

MICROBACIAS	MORFOMETRIA								UT		
	Dd	Dh	Is	Kf	Kc	Ic	Tc	A (km²)	P (km)	Dm (%)	Ur (%)
Alto Rio das Mortes	2,45	4,81	2,29	0,40	2,41	0,17	39,32	1816	368	1,57	1,80
Córrego dos Moreiras	2,23	4,29	1,38	0,33	2,00	0,25	4,31	51	51	7,04	0,00
Ribeirão do Capeo	2,35	4,85	1,19	0,45	1,88	0,08	3,67	100	100	9,79	0,20
Ribeirão da Canjica	2,31	4,27	1,48	0,32	2,14	0,22	6,19	94	77	7,34	0,00
Ribeirão do Espraiado	2,60	5,88	1,39	0,31	2,06	0,23	1,68	43	48	10,97	0,03
Ribeirão Água Limpa	2,53	5,22	1,49	0,26	2,16	0,21	2,80	99	99	9,15	10,86
Rio das Mortes Pequeno	2,57	5,80	1,74	0,22	2,50	0,17	19,27	566	210	2,50	0,13

Ribeirão Do Coroa	2,28	5,00	1,49	0,51	2,27	0,21	7,18	510	183	5,59	0,43
Rio Carandaí	2,37	4,90	2,25	0,23	2,86	0,12	11,91	677	265	14,63	1,29
Rio das Elvas	2,40	5,04	2,30	0,25	2,59	0,14	30,74	875	276	2,56	0,13
Rio dos Peixes	2,16	3,91	1,57	0,35	2,31	0,18	8,92	514	187	5,80	0,31
Rio Pirapetinga	2,30	4,50	1,60	0,44	1,92	0,27	7,36	424	141	5,86	0,70
Ribeirão Tabures	2,22	4,59	1,42	0,29	2,43	0,17	13,28	262	141	5,19	0

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Apesar de cada um desses parâmetros apresentarem resultados que podem contribuir para a compreensão do comportamento das bacias quanto à tendência a inundação, vários deles são determinados por variáveis semelhantes ou que se repetem. Por exemplo: a área e o perímetro são utilizados para compor quase a totalidade dos índices. Assim, entende-se que pode haver uma alta correlação entre diferentes índices, o que compromete os resultados ou torna-os tendenciosos.

Diante da necessidade de reduzir essas redundâncias, foram empregadas estatísticas descritivas básicas às variáveis morfométricas e às respectivas microbacias (Tabela 2). Essa aplicação possibilitou identificar homogeneidades e heterogeneidades entre os dados e, a partir disso, a pertinência dos parâmetros na composição final da propensão a inundação.

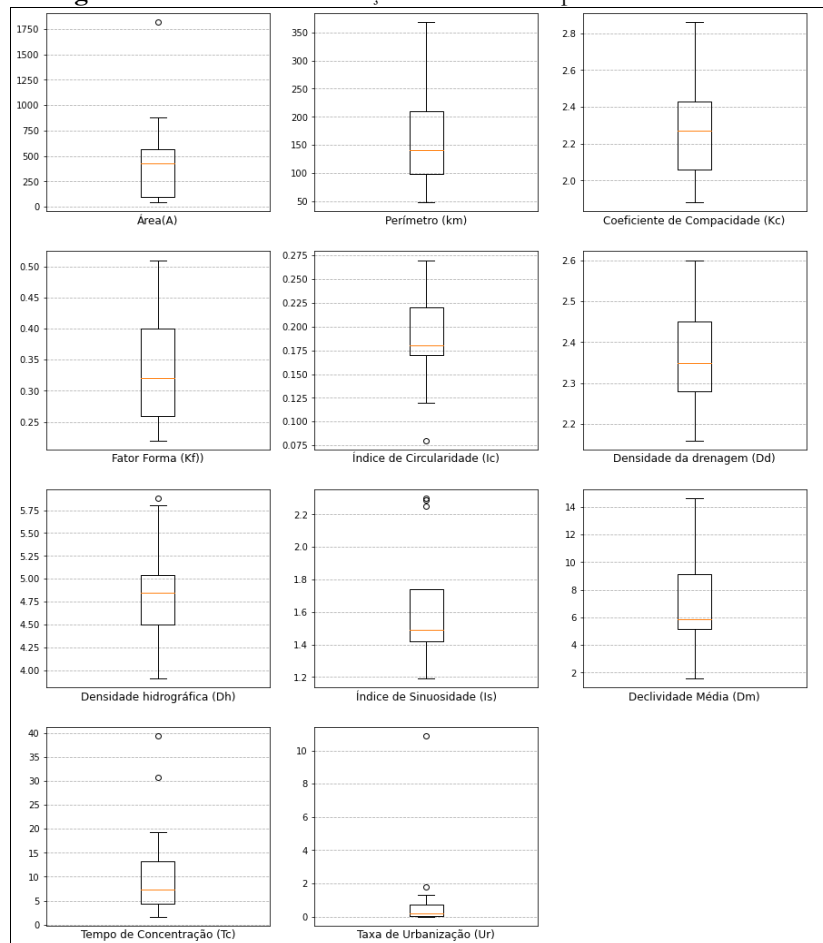
Tabela 2. Síntese das estatísticas descritivas dos parâmetros morfométricos trabalhados.

Variável	Média	Desvio Padrão	1º Quartil	2º Quartil	3º Quartil	Mínimo	Máximo
Área (km²)	463,92	487,34	99,00	424,00	566,00	43,00	1.816,00
Perímetro (P)	165,07	95,97	99,00	141,00	210,00	48,00	368,00
Coeficiente de compacidade (Kc)	2,27	0,28	2,06	2,27	2,43	1,88	2,86
Fator forma (Kf)	0,33	0,09	0,26	0,32	0,40	0,22	0,51
Índice de circularidade (Ic)	0,18	0,05	0,17	0,18	0,22	0,08	0,27
Densidade da drenagem (Dd)	2,36	0,13	2,28	2,35	2,45	2,16	2,60
Densidade hidrográfica (Dh)	4,85	0,56	4,5	4,85	5,04	3,91	5,88
Índice de sinuosidade (Is)	1,66	0,38	1,42	1,49	1,74	1,19	2,30
Declividade média (Dm)	6,78	3,69	5,19	5,86	9,15	1,57	14,63
Tempo de concentração (Tc)	12,04	11,39	4,31	7,36	13,30	1,68	39,30
Taxa de urbanização (ur)	1,22	2,94	0,03	0,2	0,7	0,00	10,86

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Esses resultados foram distribuídos em gráficos *boxplots*, os quais possibilitam melhor visualização do resultado para cada parâmetro morfométrico (Figura 7).

Figura 7. Gráficos da distribuição estatística dos parâmetros analisados.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Observa-se que o valor médio de áreas foi de 463 km². A microbacia do Alto Rio das Mortes foi a que apresentou maior área (1.816 km²), enquanto a microbacia do Ribeirão do Espraiado apresentou 43 km², sendo a menor unidade de análise.

Dentre as 13 unidades analisadas, a microbacia do Alto Rio das Mortes foi considerada um *outlier*, pois sua área é significativamente superior às demais. Apesar disso, a distribuição total das áreas apresentou um valor de média e desvio padrão próximos, e cerca de 50 % das unidades analisadas (2º e 3º quartis) ficaram próximas à média.

O *outlier* pode ser definido como uma observação que se desvia do valor de outras observações de uma mesma variável, o que indica que pode estar havendo um comportamento de dados que precisa ser avaliado com mais atenção (Hawkins, 1980). Em geral, ele pode ser classificado como *outlier* positivo (quando a observação possui um valor muito acima das demais) e *outlier* negativo (quando a observação possui um valor muito abaixo das demais). Uma das formas de se identificar o *outlier* de uma distribuição é por meio da análise de um gráfico de dispersão, sendo considerados *outliers* as observações que ficam muito distantes dos valores da média e do desvio padrão calculados.

Com relação ao perímetro das bacias analisadas, observa-se que há grande heterogeneidade entre as microbacias da área de estudo. Embora não tenha havido a identificação de *outliers* de perímetro, algumas bacias apresentaram limites superiores às médias e ao desvio padrão. No entanto, a divisão dos valores obtidos entre o primeiro, segundo e terceiro quartis se manteve relativamente regular (99; 141 e 210 km, respectivamente), indicando regularidade dos valores de perímetro na maior parte das unidades analisadas. Dentre as microbacias, a do Alto Rio das Mortes e do Rio Carandaí foram as que apresentaram maiores valores de perímetro, 368 km e 265 km, respectivamente. Em contrapartida, o Córrego dos Moreiras e o Ribeirão do Espraiado apresentaram os menores perímetros: 51 km e 48 km, nessa ordem.

Para o parâmetro do coeficiente de compacidade, as estatísticas descritivas não apresentaram discrepâncias. Observa-se que os valores dos intervalos estão distribuídos de forma semelhante entre o primeiro, segundo e terceiro quartil. Estes são semelhantes, também, à média e ao desvio padrão, o que indica distribuição dentro da normalidade. Dentre as bacias analisadas, a microbacia do Córrego do Capeo e do Rio Carandaí apresentaram, respectivamente, o menor e maior coeficiente de compacidade, sendo o da primeira 1,88 e da segunda 2,86. O Ribeirão do Coroa, Água Limpa e do Canjica foram os que apresentaram coeficientes mais próximos da média.

As estatísticas descritivas do fator forma indicam que esse índice apresentou variações expressivas entre as bacias, o que interfere no valor da média, que foi de 0,33 e sofreu influência do baixo fator forma do Rio das Mortes Pequeno, que foi de 0,22 – o menor entre os demais.

Quanto ao índice de circularidade, cabe destacar que foi o único parâmetro que apresentou *outlier* para baixo. Exemplo disso é o Ribeirão do Capeo, que apresentou índice de circularidade de 0,08 valor substancialmente abaixo da média (0,18), do desvio padrão (0,05) e do primeiro quartil (0,17) da distribuição dos dados. Desconsiderando essa microbacia, as demais apresentaram comportamento dentro da normalidade esperada, com valores regulares de média e desvio padrão.

A densidade da drenagem apresentou distribuição com dispersão regular e valores de média e desvio padrão, bem como do primeiro, segundo e terceiro quartis. Desse modo, foi uma das variáveis com distribuição mais próxima de uma curva normal.

Já a densidade hidrográfica apresentou distribuição menos homogênea entre o valor mínimo (3,91 – Microbacia do Rio do Peixe) e máximo (5,88 – Ribeirão do Espraiado). A análise do gráfico da distribuição indica que o valor médio foi igual ao segundo quartil, assinalando que o valor médio obtido ficou no centro da distribuição.

O índice de sinuosidade apresentou grande irregularidade na distribuição dos dados. Foram identificados, nessa variável, 3 *outliers*, sendo eles: o Rio das Elvas, com valor de 2,3; o Alto Rio das Mortes, com valor de 2,29; e o Rio Carandaí, com um valor de 2,25. A distribuição do primeiro, segundo e terceiro quartil também foram significativamente irregulares; a média obtida ficou muito próxima do terceiro quartil, o que indica substancial heterogeneidade.

Para o parâmetro de declividade média, os valores da estatística descritiva demonstraram que, apesar da média (6,78) ter se aproximado mais do primeiro quartil (5,19) do que do terceiro (9,15), não foram identificados *outliers* entre as unidades analisadas. A microbacia que apresentou a maior declividade média foi a do Alto Rio das Mortes (1,57), enquanto a menor foi a do Rio Carandaí (14,63).

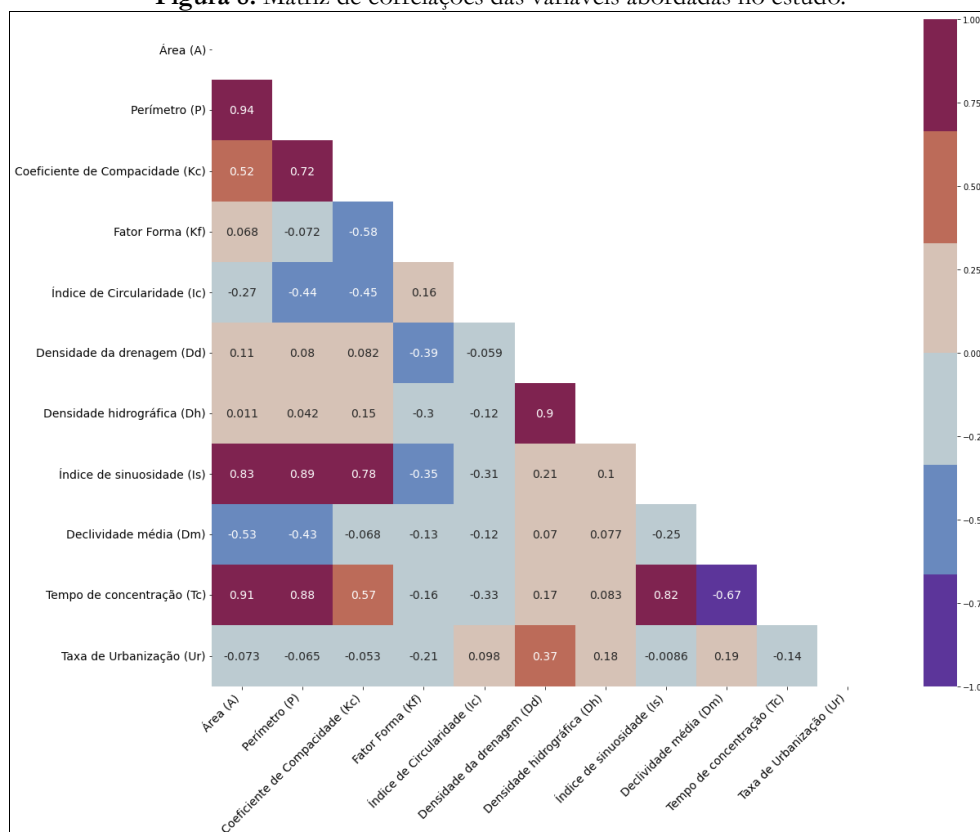
Quanto ao tempo de concentração, identificou-se microbacias *outliers*, sendo elas as do Alto Rio das Mortes (39,32) e do Rio das Elvas (30,74). Ambas apresentaram valores acima das demais unidades espaciais analisadas. O desvio padrão desse parâmetro (11,39) apresentou resultado distante da média (12,04), o que indica irregularidade na distribuição das unidades analisadas e grande diferença entre o menor e maior tempo de concentração.

Por fim, a estatística descritiva da distribuição da taxa de urbanização das sub-bacias analisadas revelou que algumas bacias, como, por exemplo, a do Ribeirão Tabures, do Córrego dos Moreiras e do Ribeirão Canjica, não apresentaram nenhuma urbanização, enquanto a sub-bacia do Ribeirão Água Limpa foi a que apresentou a maior taxa de urbanização, com um valor de 10,86 % de sua área atropizada. A média de urbanização na área de estudo foi de 1,22 % das áreas das sub-bacias, e as distribuições do primeiro, segundo e terceiro quartil demonstram que há uma grande heterogeneidade dos valores de UTC entre as unidades espaciais analisadas.

Essa análise estatística inicial indicou que, enquanto alguns parâmetros (perímetro, fator forma, coeficiente de compacidade, densidade da drenagem e declividade média) apresentaram distribuição normal, outros (área, índice de circularidade, densidade hidrográfica, índice de sinuosidade, tempo de concentração e taxa de urbanização) apresentaram maior dispersão de valores. Essas diferenças na distribuição das variáveis evidenciam diferenças expressivas no comportamento das drenagens analisadas que, por sua vez, podem ter algum tipo de influência na propensão a enchentes. Assim, entende-se que esses parâmetros com maior heterogeneidade de distribuição contribuem mais significativamente para a diferenciação da tendência a inundações nas microbacias.

Posteriormente, a análise de correlação (Figura 8) entre os parâmetros morfométricos possibilitou a redução de pesos e influências, o que levou à identificação de redundâncias ou alta correlação entre as variáveis.

Figura 8. Matriz de correlações das variáveis abordadas no estudo.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Observa-se, conforme a matriz (Figura 8), que foram identificados 3 pares de variáveis com altas correlações (acima de 0,9 ou abaixo de -0,9, no caso das altas correlações negativas), sendo elas: (1) a área, que apresentou grande correlação com o perímetro e com o tempo de concentração; (2) o perímetro, que apresentou forte correlação positiva com o índice de sinuosidade; e (3) a densidade de drenagem, que apresentou forte correlação com a densidade hidrográfica.

Desse modo, a área, o perímetro e a densidade de drenagem foram eliminados do estudo, visto que apresentaram altas correlações (positivas ou negativas). Esse procedimento de eliminação de redundâncias é bastante utilizado em estudos de risco e vulnerabilidade, partindo do pressuposto de que parâmetros com maior diversidade podem estabelecer um cenário mais próximo da realidade (Zucherato, 2021).

Assim, a análise de propensão a inundação consistiu na utilização de sete índices ou parâmetros morfométricos, sendo eles: (1) coeficiente de compacidade (Kc); (2) fator

forma (Kf); (3) índice de circularidade (Ic); (4) densidade hidrográfica (Dh); (5) índice de sinuosidade (Is); (6) declividade média (D); e (7) tempo de concentração (Tc). Além destes, de modo complementar, considerou-se também o percentual de área urbanizada (8) da bacia, dado que, nessas áreas, há ampliação dos picos de vazão devido à impermeabilização do solo.

A partir disso, para o cálculo final da propensão, foi atribuído a cada parâmetro morfométrico uma pontuação entre 1 e 3, conforme a tendência correspondente apresentada no Quadro 2.

Quadro 2. Parâmetros utilizados para atribuição dos pontos dos parâmetros utilizados no cálculo da propensão a inundação

Parâmetro	Pontuação 1	Pontuação 2	Pontuação 3
Coefficiente de compacidade (Kc)	$\geq 1,50$	entre 1,25 e 1,50	$\leq 1,00$
Fator forma (Kf)	$\leq 0,5$	entre 0,5 e 0,75	$\geq 0,75$
Índice de circularidade (Ic)	$Ic \leq 0,45$	entre 0,45 e 0,55	$\geq 0,55$
Densidade hidrográfica (Dh)	$Dh \leq 3$	entre 3 e 7	≥ 7
Índice de sinuosidade (Is)	$Is \geq 1,75$	entre 1,4 e 1,75	$\leq 1,4$
Declividade média (Dm)	1º tercil de dados das observações	2º tercil de dados das observações	3º tercil de dados das observações
Tempo de concentração (Tc)	1º tercil de dados das observações	2º tercil de dados das observações	3º tercil de dados das observações
Taxa de urbanização (UT) (em %)	Sem área urbanizada	Entre 0,01 e 0,5	$\geq 0,5$

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Para o tempo de concentração e declividade média, por não possuírem classificações de tendência na bibliografia, adotou-se o tercil dos valores resultantes. Desse modo, os índices receberam os pesos: 1 (verde) – como indicativo de baixa propensão; 2 (amarelo) – como indicativo de média propensão; e 3 (vermelho) – como indicativo de alta propensão (Tabela 3).

Tabela 3. Valores finais dos parâmetros utilizados para a determinação da propensão à enchente das microbacias da área de estudo.

Microbacia	Kc	Kf	Ic	Dh	Is	Dm	Tc	UT	Propensão Final
Alto Rio das Mortes									11
Córrego dos Moreiras									14
Ribeirão Água Limpa									15
Rio das Mortes Pequeno									11
Ribeirão da Canjica									12
Ribeirão do Capeo									15
Ribeirão do Espriado									16
Ribeirão do Coroa									13
Ribeirão Tabures									11
Rio Carandaí									14
Rio das Elvas									10
Rio dos Peixes									12

Microbacia	Kc	Kf	Ic	Dh	Is	Dm	Tc	UT	Propensão Final
Rio Pirapetinga									13

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Atribuídas essas pontuações e efetuada a soma das pontuações atribuídas, determinou-se o grau de propensão de cada microbacia. Esses valores foram divididos em três classes (Quadro 3), as quais foram determinadas a partir dos valores de média mais o desvio padrão e de média menos o desvio padrão, resultando em três intervalos.

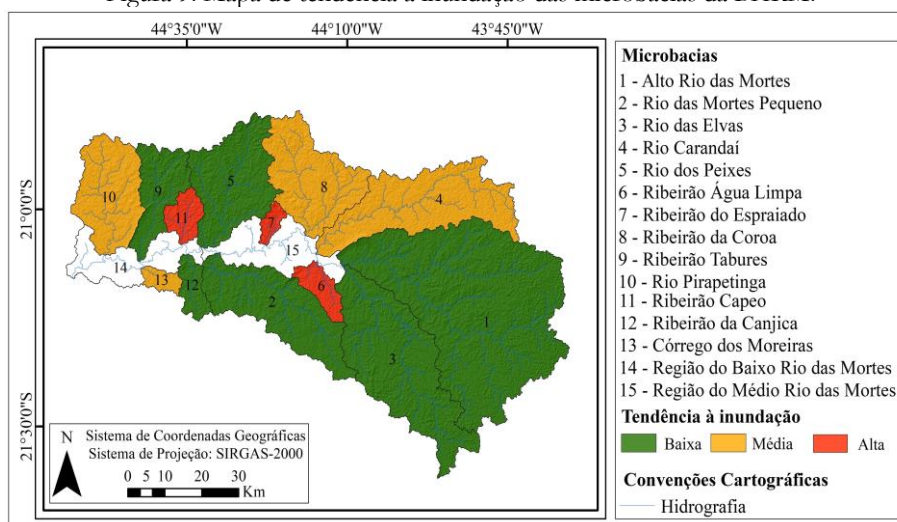
Quadro 3. Parâmetros de classificação final da pontuação da propensão a inundação.

Cor	Classe	Valor	Cálculo
	Baixa propensão a inundação	Valor final abaixo ou igual a 12 pontos	Menores do que a média menos o desvio padrão
	Média propensão a inundação	Valor final entre 13 e 14 pontos	Entre o valor da média menos o desvio padrão e a média mais o desvio padrão
	Alta propensão a inundação	Valor final acima ou igual a 15 pontos	Maiores do que a média mais o desvio padrão

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

A partir das análises estatísticas e identificação do grau de propensão a inundação, os resultados foram especializados (Figura 9).

Figura 9. Mapa de tendência a inundação das microbacias da BHRM.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Observa-se que, dentre as 13 microbacias analisadas, a do Ribeirão Espreado, do Capeo e do Água Limpa são as que possuem maior propensão a inundação, apesar de estarem entre as unidades de menor extensão.

Os fatores que mais contribuem para a atribuição dessa alta tendência, no caso do Ribeirão Espreado, são o alto índice de sinuosidade, o gradiente hipsométrico (ou

declividade média) e a alta densidade hidrográfica. Além desses, o percentual de urbanização, classificado como médio, também contribui para a ampliação das inundações, sobretudo por se tratar de uma microbacia de área reduzida, cujo tempo de concentração é baixo, ou seja, o escoamento da precipitação leva menos tempo para atingir o talvegue e a foz.

O mesmo pode ser identificado nas microbacias do Ribeirão Capeo e Água Limpa, que também possuem baixo tempo de concentração e declividade média entre 9 % e 10 %, respectivamente. Somado a isso, as duas microbacias possuem densidade hidrográfica alta, no caso do Água Limpa, e média, no caso Ribeirão Capeo. Entre as duas microbacias, a do Ribeirão Água Limpa destaca-se com o maior percentual de urbanização. Quando comparado ao das demais bacias, esse percentual de urbanização (10,86 %) também pode ser considerado alto e passível de atenção, dado que a unidade em questão possui histórico de inundações que ocasionam transtornos à população residente próximo ao baixo curso do rio (Pôssa; Ventorini, 2014).

As microbacias do Rio Carandaí, Córrego dos Moreiras, Pirapetinga e do Coroa foram classificadas como de média tendência a inundação. O Rio Carandaí apresentou alta amplitude entre nascente e foz, alto percentual de urbanização, média densidade hidrográfica e médio tempo de concentração.

Já o Córrego dos Moreiras apresenta baixo tempo de concentração, o que é justificado pela área de apenas 51 km², e sinuosidade abaixo de 1,40, favorecendo a ocorrência de inundações. A densidade hidrográfica e o gradiente hipsométrico dessa unidade possuem média influência no processo de inundação, enquanto os demais parâmetros enquadram-se no intervalo de peso 1.

As microbacias do Rio das Elvas, Alto Rio das Mortes, Rio das Mortes Pequeno, Ribeirão Tabures, Ribeirão da Canjica e Rio dos Peixes apresentaram baixa propensão a inundações. Entretanto, a ocorrência do processo não é nula ou inexistente. Torna-se importante compreender que, apesar do resultado final da propensão dessas microbacias serem os que apresentaram menor valor na soma, todas elas obtiveram no mínimo dois parâmetros que indicaram média tendência.

Desse modo, os resultados apresentados podem contribuir para a identificação de unidades que requerem maior atenção quanto ao planejamento da paisagem, uso da terra. Por se tratar de uma análise de cunho exploratório, reforça-se que há a necessidade de maior aprofundamento e aplicação da metodologia em microbacias delimitadas e subdivididas de modo mais homogêneo em relação à área. A partir disso, será possível efetuar um comparativo mais equilibrado dessas unidades básicas de análise geográfica.

Considerações Finais

A delimitação de microbacias que compõem a grande bacia hidrográfica do Rio das Mortes possibilitou a aplicação dos índices morfométricos às treze diferentes unidades resultantes e a identificação de que 53 % delas possui média e alta tendência a inundações.

Inicialmente, utilizou-se de dez parâmetros morfométricos consagrados pela literatura. Após a aplicação de estatísticas básicas e uma análise de correlação entre esses índices, identificou-se que três deles (área, perímetro e densidade de drenagem) apresentaram alta correlação, sendo, assim, eliminados da integração do conjunto de variáveis.

A partir disso, foram atribuídos pesos aos sete parâmetros morfométricos restantes, os quais indicavam alta (3), média (2) ou baixa (1) tendência a inundação, conforme os valores de referência mencionados na literatura. A soma desses valores e, posteriormente, a determinação de três intervalos de classe baseados na média mais o desvio padrão e na média menos o desvio padrão propiciou a atribuição de alta, média ou baixa tendência a inundação às microbacias.

Dentre os índices analisados, os que condicionaram maior peso à atribuição de alta e média tendência foram, respectivamente, tempo de concentração, uso da terra (percentual de urbanização), índice de sinuosidade, densidade hidrográfica e declividade média (ou gradiente hipsométrico). O coeficiente de compacidade, forma e circularidade foram considerados, majoritariamente, de baixa influência em todas as microbacias.

Diante dos resultados, pode-se considerar que parte significativa das microbacias do Rio das Mortes, sobretudo as que deságuam na margem direita e possuem maior amplitude altimétrica, possuem de média a alta propensão a fenômenos hidrológicos.

Assim, compreende-se que a integração dos dados morfométricos do relevo, características da drenagem e de uso da terra oferece um panorama genérico da suscetibilidade a inundações. Por ser um método simples e econômico, essa análise pode ser facilmente efetuada pelos comitês de bacia hidrográfica e setores de planejamento como uma ferramenta inicial de reconhecimento. Desse modo, sua utilização como base para zoneamentos e planos diretores não é adequada, podendo apresentar deficiências escalares que não respondem ao nível de detalhe exigido para tais planejamentos. Todavia, podem, e devem, direcionar o aprofundamento de estudos e o grau de prioridade para investigações em mesoescala e/ou microescala, analisando desde as micro e sub-bacias até as paisagens e frações territoriais nelas inseridas, como as cidades.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 88882.434000/2019-1; e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) – Processo n.º 158062/2021-3.

Referências

ACHÃO, Sérgio Murilo. **Projeto Rio das Mortes**. Belo Horizonte: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais; Serviço Geológico do Brasil, 1987. (Relatório de Pesquisa).

AMÂNCIO, Diego Vipa; COELHO, Gilberto; MARQUES, Rosângela Francisca de Paula Vitor; VIOLA, Marcelo Ribeiro; MELLO, Carlos Rogério. Qualidade da água nas sub-bacias hidrográficas dos rios Capivari e Mortes, Minas Gerais. **Scientia Agraria**, v. 19, n. 1, p. 75-86, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v19i1.53175>>. Acesso em: 05 jan. 2023.

ARANTES, Sayonara Andrade do Couto Moreno; LIMA, José Maria de; NÓBREGA, Júlio César Azevedo; GUILHERME, Luiz Roberto Guimarães; JULIÃO, Luís Gustavo Fernandes; JESUS, Elen Alvarenga de. 2006: Sorção da Atrazina em solos representativos da sub-bacia do Rio das Mortes-MG. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 6, n. 8, p. 101-110, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5380/pes.v16i0.7485>>. Acesso em: 05 jan. 2023.

BARROS, Danyela Vale; SILVA, Quésia Duarte da; TEIXEIRA, Estevânia Cruz; COSTA, Cristiane Mouzinho; SANTANA, Ricardo Gonçalves. Morfometria, uso e cobertura do solo como indicadores de enchentes e inundações na Bacia do Rio do Prata, Ilha do Maranhão. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 3, n. 5, p. 217-226, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.21438/rbgas.030511>>. Acesso em: 05 jan. 2023.

CAMPOS, Carolina Atala Lombelo; SANTOS, Aparecida Célia Paula dos; BERG, Eduardo Van den; QUINELATO, Marciano; CERQUEIRA, Flávio Moreira. Levantamento florístico e fitossociológico de mata ciliar do Rio da Mortes em São João del-Rei, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. 2, p. 1177-1179, 2007.

HAJAM, Rafiq Ahmad; HAMID, Aadil; BHAT, Sami Ullah. Application of morphometric analysis for geo-hydrological studies using geo-spatial technology: a case study of Vishav Drainage Basin. **Hydrology Current Research**, v. 4, n. 3, p.1-12, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4172/2157-7587.1000157>>. Acesso em: 05 jan. 2023.

HAWKINGS, Douglas M. Introduction. In: HAWKINGS, Douglas M. **Identification of Outliers**. Monographs on Applied Probability and Statistics. Dordrecht (Holanda): Springer, 1980. p. 1-2. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-94-015-3994-4_1>. Acesso em: 05 jan. 2023.

HERRMANN, Maria Lúcia de Paula (Org.). **Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: IOESC, 2005.

HORTON, Robert Elmer. Drainage Basin Characteristics. **Transactions American Geophysical Union**, v. 13, p. 350-361, 1932. Disponível em:
<<https://doi.org/10.1029/TR013i001p00350>>. Acesso em: 05 jan. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). Bacia hidrográfica do Rio das Mortes – unidade de planejamento e gestão de recursos hídricos. **Plano Diretor de Recursos Hídricos**. Belo Horizonte: IGAM; Governo do Estado de Minas Gerais, 2010.

MARICATO, Ermínia. Urbanismo na periferia do mundo globalizado: metrópoles brasileiras. **São Paulo em Perspectiva**, v. 14, n. 4, p. 21-33, 2000. Disponível em:
<<https://doi.org/10.1590/S0102-88392000000400004>>. Acesso em: 05 jan. 2023.

MARQUES, Paulo Henrique Gonçalves; MARTINS, Fernanda Pereira; MORAES, Joel Cardoso Jr.; GUIMARÃES, Zilsenil Souza. Caracterização morfométrica como instrumento para o planejamento urbano e ambiental da bacia do Ribeirão da Abóbora, Rio Verde, Goiás. In: MARTINS, Fernanda Pereira; PEDROSO, Leonardo Batista; COSTA, Rildo Aparecido (Org.). **Espaço geográfico: diversidade temática e metodológica**. Ituiutaba-MG: Zion, 2021. p. 228-241.

MASOUD, Milad. Geoinformatics application for assessing the morphometric characteristics' effect on hydrological response at watershed (case study of Wadi Qanunah, Saudi Arabia). **Arabian Journal of Geosciences**, v. 9, n. 4, p. 1-22, 2016. Disponível em:
<<https://doi.org/10.1007/s12517-015-2300-y>>. Acesso em: 05 jan. 2023.

MENDOZA, Manuel E.; GRANADOS, Erna López; GANELETTI, Davide; PERES-SALICRUP, Diego; SALINAS, Vicente. Analysing land cover and land use change processes at watershed level: a multitemporal study in the Lake Cuitzeo Watershed, Mexico (1975–2003). **Applied Geography**, v. 31, n. 1, p. 237-250, 2011. Disponível em:
<<https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.05.010>>. Acesso em: 05 jan. 2023.

MIGUEZ, Marcelo; VERÓL, Aline; REZENDE, Osvaldo. **Drenagem Urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

MILLER, Victor. **A quantitative geomorphic study of drainage basins characteristic in the Clinch Mountain area**. Technical Report 3. Nova York (EUA): Columbia University, 1953.

PÉRICO, Eduardo; CEMIN, Gisele; AREND, Úrsula; REMPEL, Claudete; ECKHARDT, Rafael Rodrigo. Análise fisiográfica da bacia hidrográfica do rio Forqueta, RS. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011. P. 1200-1207.

PÔSSA, Évelyn Márcia; VENTORINI, Silvia Elena. Expansão urbana para áreas de risco de inundação e de movimento de massa: o estudo no município de São João Del-Rei/MG. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 36, n. 2, p. 49-67, ago./dez. 2014.

PROJETO DE MAPEAMENTO ANUAL DO USO E COBERTURA DA TERRA NO BRASIL (MapBiomias). **MapBiomias**. 2015. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/>>. Acesso em: 03 nov. 2022.

PROJETO DE MAPEAMENTO ANUAL DO USO E COBERTURA DA TERRA NO BRASIL (MapBiomias). **MapBiomias**. 2019. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/>>. Acesso em: 03 nov. 2022.

SCHUMM, Stanley. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. **Bulletin of the Geological Society of America**, v. 67, n. 5, 1956, p.597- 646. Disponível em: <[https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1956\)67\[597:EODSAS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[597:EODSAS]2.0.CO;2)>. Acesso em: 03 nov. 2022.

SOUZA, Célia Regina de Gouveia. Suscetibilidade morfométrica de bacias de drenagem ao desenvolvimento de inundações em áreas costeiras. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 6 (1), 45-61, 2005. <https://doi.org/10.20502/rbg.v6i1.38>

STRAHLER, Arthur Newell. Equilibrium theory of erosional slopes, approached by frequency distribution analysis; Part II. **American Journal Science**, v. 248, n. 11, 800-814, 1950. Disponível em: <<https://doi.org/10.2475/ajs.248.11.800>>. Acesso em: 03 nov. 2022.

TARGA, Marcelo Santos; BATISTA, Getúlio Teixeira; DINIZ, Hélio Nóbile; DIAS, Nelson Wellausen; MATOS, Fernando Cardozo. Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 7, n. 2, p. 120-142, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.905>>. Acesso em: 03 nov. 2022.

TUCCI, Carlos; BERTONI, Juan Carlos. **Inundações urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Ed. dos Autores, 2003.

TSUCHIYA, Akihiko. Evaluation of on-site stormwater detention methods in urbanized area. In: HELLIWELL, P. R. (Ed.). **Urban storm drainage**. Londres: Centech Press, 1978. p. 470-478.

VILLELA, Swami Marcondes; MATTOS, Arthur. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

ZANETTI, Paulo Roberto. **Geoprocessamento aplicado a análises de distribuição de impostos e índice de qualidade de vida**. 2003. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

ZUCHERATO, Bruno. A utilização da técnica da Análise Fatorial Exploratória (AFE) para o mapeamento de áreas de vulnerabilidade. In: GUIMARÃES, Alessandra Rodrigues; FONSECA, Rogério Gerolineto; FERNANDES, Sibeli (Org.). **Perspectivas Geográficas**. Ituiutaba: Barlavento, 2021. p. 60-78.

Como citar:

ABNT

FERREIRA, A. B. R. [et al.]. Morfometria e uso da terra como indicadores de propensão a inundações nas microbacias do Rio das Mortes, Minas Gerais – Brasil. **InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 10, n. 01, e20703, 2024. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.18764/2446-6549.e20703>>. Acesso em: 02 mar. 2025.

APA

Ferreira, A. B. R. [et al.]. Morfometria e uso da terra como indicadores de propensão a inundações nas microbacias do Rio das Mortes, Minas Gerais – Brasil. *InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade*, v. 10, n. 01, e20703, 2024. Recuperado em 02 março, 2025, de <http://dx.doi.org/10.18764/2446-6549.e20703>



This is an open access article under the CC BY Creative Commons 4.0 license.
Copyright © 2025, Universidade Federal do Maranhão.

