



INFLUÊNCIA DA MORFOMETRIA E DA AÇÃO ANTRÓPICA SOBRE OCORRÊNCIAS DE INUNDAÇÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO AMARELO, CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM-ES.

Influence of morphometry and anthropic action on occurrences of floods in the Watershed Yellow Stream, Cachoeiro de Itapemirim-ES.

Influencia de la morfometría y la acción antrópica en la ocurrencia de inundaciones en la Cuenca Hidrografica del Arroyo Amarillo, Cachoeiro de Itapemirim-ES.

¹ UFES, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Vitória-ES, Brasil. lncoutinho@gmail.comORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9935-0072>² UFES, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Vitória-ES, Brasil. ebervalm@gmail.com.ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0207-6087>

Recebido: 12 setembro de 2023; Aceito: 18 de novembro de 2024; Publicado: 02 de dezembro de 2024

DOI: 10.26512/2236-56562024e50799

RESUMO

Os estudos de bacias hidrográficas com ênfase na geometria e alterações da paisagem permitem identificar tendências a inundações, contribuindo para ações de diagnóstico ambiental e segurança das populações. Este trabalho utilizou recursos de geoprocessamento para caracterização morfométrica e confrontação de dados de mapeamento (uso-cobertura da terra e áreas de inundação) na Bacia Hidrográfica do Córrego Amarelo. Os resultados permitiram estimar a influência da morfometria e intervenção humana sobre as ocorrências de inundações. Os aspectos de geometria e canais indicam uma bacia alongada, pouco suscetível à cobertura por chuvas e boa drenagem. A distribuição do relevo a favorece rápida concentração de águas na porção baixa, mas a conformação do canal principal contribui para drenagem eficiente. Edificações são as principais ocorrências antrópicas nas margens do canal, alterando suas dimensões e interferindo na capacidade de armazenamento e vazão, resultando na subida de nível e transbordo. A análise integrada de fatores morfométricos e antrópicos indica que a BHCA requer atenção durante as chuvas intensas devido a riscos repentinos de inundações.

Palavras-chave: geometria, relevo, drenagem.

ABSTRACT

Watershed studies with an emphasis on geometry and landscape changes it possible allow identify trends towards flooding, contributing to environmental diagnosis and population safety actions. This work used geoprocessing resources for morphometric characterization and comparison of mapping data (land use-cover and flood areas) in the Yellow Stream Watershed. The results made it possible to estimate the influence of morphometry and human intervention on flood occurrences. Geometry and channel values indicate an elongated basin, little susceptible to coverage by rain and good drainage. The relief distribution favors rapid concentration of water in the lower portion, but the conformation of the main channel contributes to efficient drainage. Buildings are the main anthropogenic occurrences on the banks of the canal, changing its dimensions and interfering with storage capacity and flow, resulting in level rise and overflow. The integrated analysis of morphometric and anthropogenic factors indicates that the BHCA requires attention during heavy rains due to sudden flood risks.

Keywords: geometry, relief, drainage.

1. Introdução

Na atualidade os recursos hídricos são fortemente pressionados pela ação humana, principalmente com a expansão da urbanização e agropecuária. Alterações das paisagens e ecossistemas comprometem o equilíbrio dos processos de vertentes e corpos hídricos, causando impactos ambientais e socioeconômicos, sendo as enchentes e inundações os mais frequentes. Conforme a Estratégia Internacional de Redução de Desastres, em quase todas as regiões do mundo as inundações atingem anualmente 520 milhões de pessoas. De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU) o Brasil foi o 6º colocado em desastres naturais no ano de 2012. Entre os anos de 1995 a 2021 a Defesa Civil brasileira registrou 3453 chuvas intensas e 5650 inundações, o que resultou em 43,04 milhões de afetados e 1144 óbitos (AYENNEW e KEBEDE, 2023; ALSHAMMARI et al., 2023; BRASIL, 2023; ILINCA, 2021; LIMA et al., 2022; SABINO et al., 2020; SUGIANTO et al., 2023; TUCCI, 2008).

Os estudos dos mecanismos ambientais e aplicação de leis e regulamentações passaram a nortear a gestão do território, sendo a bacia hidrográfica a principal unidade de gestão das águas. De acordo com Porto e Porto (2008) a preservação dos recursos hídricos adotou este conceito a partir do ano de 1990 (Princípios de Dublin). Conforme a Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997), as bacias fluviais são unidades de planejamento integrado, pois adotam questões ambientais, agrárias, urbanas, socioeconômicas etc. Entre os instrumentos de gestão integrada de bacias (Lei 9.433/97) constam os Sistemas de Informação, reconhecidos por sua importância no apoio e suporte da decisão qualificada (ROSA e FERREIRA, 2022; VALE et al., 2021).

Ocorrências de enchentes e inundações podem estar relacionadas a fatores e processos de distribuição das águas pluviais (topografia, drenagem, solos e vegetação). Devido à interdependência e fragilidade da dinâmica interna de bacias, tais estudos devem adotar representações e modelagens confiáveis, incluindo características físicas e processos, além de fatores e alterações

COUTINHO, L. M.; MARCHIORO, E.

antrópicas (BLANTON e MARCUS, 2009; KULKARNI, 2015; ROGGER et al., 2017; SHEKAR et al., 2023; YOLINA et al., 2023).

Com o advento dos recursos computacionais, as geotecnologias possibilitaram a representação espacial confiável de bacias. A abordagem qualitativa, pautada em conceitos hidrogeomorfológicos, faz-se necessária em análise de modelos matemáticos aplicados (DAVID et al., 2023; DERAKHSHANI et al. 2023; LIMA et al., 2022; SILVA et al., 2021).

Este trabalho avaliou a influência da morfometria e do uso-cobertura da terra sobre ocorrências de inundações na Bacia Hidrográfica do Córrego Amarelo (BHCA), Cachoeiro de Itapemirim (ES). Esta unidade comporta fragmentos de vegetação nativa e atividades urbanas, rurais e turísticas, o que expressa sua importância ambiental e socioeconômica.

2. Revisão de Literatura

De acordo com Christofolletti (1980) as interpretações de processos físicos das bacias hidrográficas ganharam expressividade pelas propostas de Horton (1945) baseadas em leis de desenvolvimento e quantificações. Conforme Zâvaianu (1985) a evolução das bacias resulta de processos de drenagem originados pelas interações entre matéria e energia nos limites internos e encostas. Back (2014) explana que estudos de bacias requerem conhecimento das características intrínsecas, incluindo área de contribuição e componentes.

Diversos fatores podem interferir nos padrões de drenagem das bacias, destacando-se a geometria, regime de precipitação e alterações da superfície. Enchentes são ocasionadas pela subida do canal até sua cota máxima, sem afetar populações. Inundações incluem fatores artificiais e impactos para populações, ocasionados pela subida acima da cota máxima e nas planícies de inundação (LIMA et al., 2022; KAVIYA et al., 2017; SILVEIRA, 2001; SOUZA et al., 2022).

Os estudos matemáticos de bacias requerem o uso dados hidrogeomorfológicos, para compreensão da formação e aspectos de superfície organizados por três principais conjuntos: geometria, rede de drenagem e

relevo. A morfometria de bacias permite conhecer tais informações, que em termos práticos pauta-se em relacionar e comparar dados hidrológicos e avaliar sua dinâmica interna, estimando assim um padrão de comportamento das águas (BHARATH et al., 2021; LÓPEZ-RAMOS et al., 2022; KULKARNI, 2015; LIMA, 2008; SABINO et al., 2020; SILVA et al., 2021; ZÂVAIANU, 1985).

As características físicas de uma bacia estão diretamente relacionadas ao comportamento hidrológico. A Figura 1 apresenta quatro bacias com áreas de valores próximos em distintas geometrias.

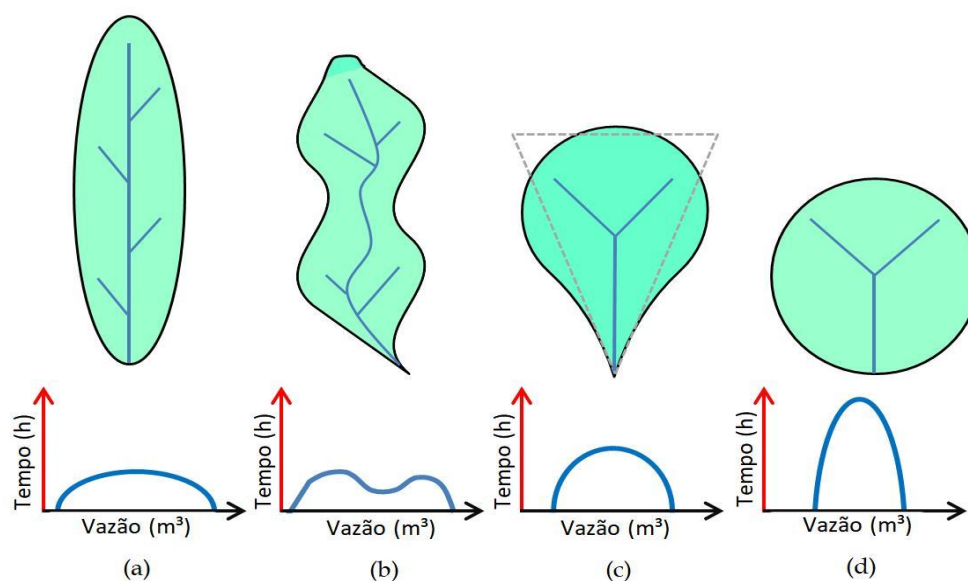


Figura 1. Comparativo entre formatos de bacias e comportamento de vazão, adaptados de Benhome et al. (2013), Lima (2008) e Medeiros (2005), sendo: (a) alongada, (b) ramificada, (c) triangular e (d) circular.

Bacias alongadas (1-a) tem menor chance de cobertura total por precipitações e rápida normalizando da vazão. Bacias ramificadas (1-b) indicam dispersão espacial, reduzindo chances de total cobertura por precipitações, com picos lentos de concentração hídrica. O formato triangular (1-c) aumenta a possibilidade de cobertura por chuvas e maior pico e duração de vazão. Bacias circulares (1-d) tem maior suscetibilidade à cobertura por chuvas e rápida concentração no curso principal, com picos altos (BENHOME et al., 2013; MEDEIROS, 2005).

O canal principal e seus tributários compõem os sistemas de drenagem. A hierarquia fluvial (STRAHLER, 1957) classifica toda a rede de drenagem.

COUTINHO, L. M.; MARCHIORO, E.

Canais de primeira ordem são isolados, se estendendo da nascente à confluência. De segunda ordem são formados pela confluência de dois canais de primeira. A terceira ordem recebe dois canais de segunda, e assim sucessivamente. A graduação é adotada na confluência de duas ordens de mesmo valor, enquanto ordens inferiores isoladas não são somadas (VILLELA e MATTOS, 1975).

Estudos de relevo de bacias devem considerar a influência dos fatores altitude e declividade sobre os processos hidrometeorológicos. A velocidade de escoamento superficial é determinada pela declividade. Fatores climáticos estão relacionados à distribuição da altitude. Distribuição hipsométrica e perfil topográfico permitem avaliar variações de altitude, extensão das vertentes e orientação do relevo (BASHIR, 2023; SUTRADHAR e MONDAL, 2023; VILLELA e MATTOS, 1975).

Ocorrências de inundações em bacias propensas a boa drenagem podem estar relacionadas à intervenção humana, o que justifica a combinação de distintos procedimentos de avaliação. As formas de uso-cobertura da terra podem modificar a superfície e alterar as condições naturais de drenagem. Neste contexto, destacam-se os impactos da ação humana em bacias:

- a alterações de etapas do ciclo hidrológico (DEY et al., 2021);
- a aceleração da erosão pela exposição dos solos (SOUZA e RODRIGUES, 2012; MORGAM, 2005);
- supressão da vegetação ripária pela ocupação de margens de canais (COELHO NETO; 1998); e
- compactação e impermeabilização do solo, que podem potencializar inundações (BUTLER et al., 2018).

A representação computacional de bacias é de grande importância para tais estudos, devido à precisão e praticidade de aquisição e atualização de dados. Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são *softwares* dotados de projeções cartográficas, usados para tratamento de dados de mapeamento (vetorial, matricial e imagens) e informações espaciais (atributos). Técnicas de

COUTINHO, L. M.; MARCHIORO, E.

geoprocessamento e sensoriamento remoto incluem desde representações convencionais a operações complexas como séries históricas, cruzamentos de dados e projeções de cenários (BHARATH et al., 2021; CARVALHO et al., 2021; DERAKHSHANI et al., 2023; VALE et al., 2021).

Nesse sentido, a análise morfométrica de bacias evidencia o conhecimento da dinâmica fluvial e sua interação com os demais componentes destes sistemas, enquanto os estudos de uso-cobertura da terra permitem identificar potenciais perturbações e impactos sobre os recursos hídricos. A combinação destes campos de informações pode subsidiar a prevenção dos efeitos de eventos hidrometeorológicos, favorecendo a conservação do patrimônio natural e cultural (AYENNEW e KEBEDE; 2023; KULKARNI, 2015; SILVA et al., 2022; SUGIANTO et al., 2022; VALE et al., 2021).

3. Caracterização da Área

A Bacia Hidrográfica do Córrego Amarelo (BHCA) está localizada no Município de Cachoeiro de Itapemirim-ES (Figura 2), com área de 9,44 km² e foz situada entre as coordenadas X: 280.553,034 e Y: 7.692.686,693 (Datum SIRGAS 2000, projeção UTM, fuso 24S). Suas águas são drenadas diretamente para o canal principal da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim.

De acordo com a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2019), a ocupação do município iniciou-se às margens do Rio Itapemirim. Edificações ribeirinhas e estrangulamento de trechos deste canal potencializam a erosão fluvial e riscos de enchentes e inundações para população.

Em termos hidrológicos, Gardiman Junior et al. (2012) estimaram a precipitação da Bacia do Itapemirim via série histórica (1972-2012), sendo média mensal (111,52mm) e variações (5%). Machado et al. (2010) estimaram a vazão de dados diários do Rio Itapemirim (1969-2006), identificando média (461,90 m³/s) e probabilidades de retorno em 5 anos (563,50m³/s), 10 anos (632,32m³/s) e 25 anos (724,85m³/s).

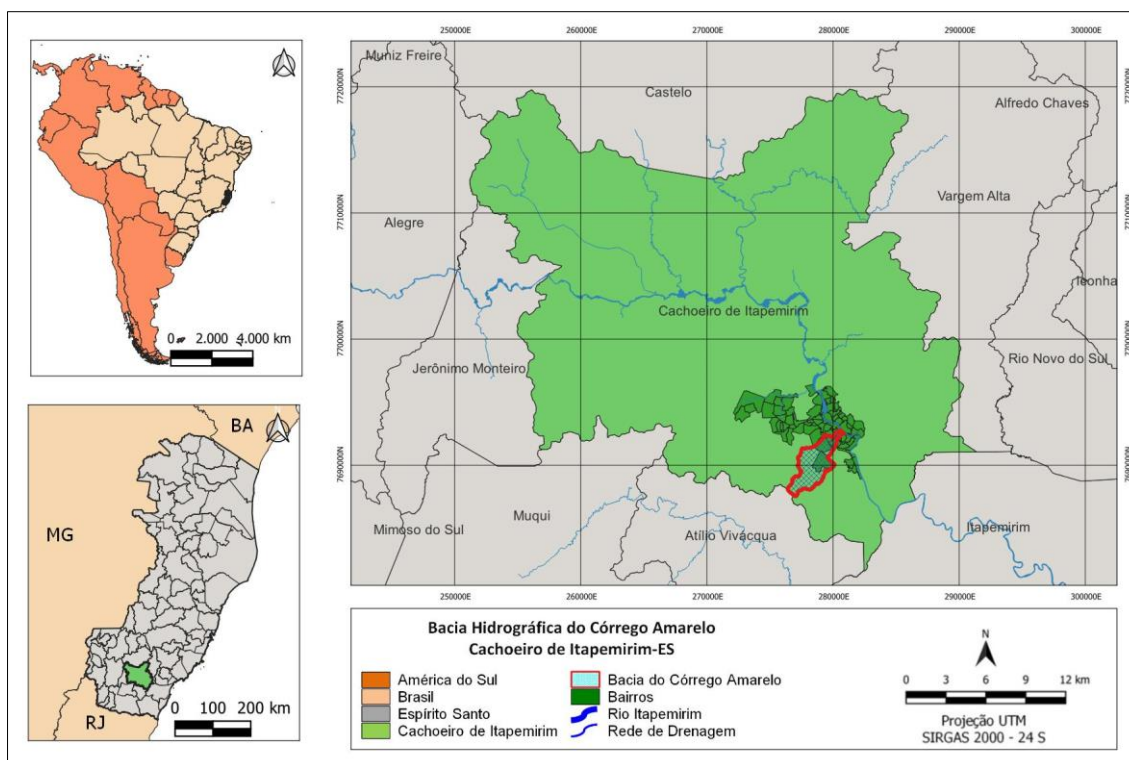


Figura 2: Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Córrego Amarelo (BHCA). Fonte: Dados vetoriais GEOBASES.

O clima do município é do tipo tropical chuvoso (Koppen - Aw), com chuvas intensas no verão, invernos secos e precipitação entre 1500-2000mm/ano (SILVA, 1993). Conforme o Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural - INCAPER (Figura 4), as maiores precipitações ocorrem em dezembro (>200mm) e as menores em julho (± 25 mm).

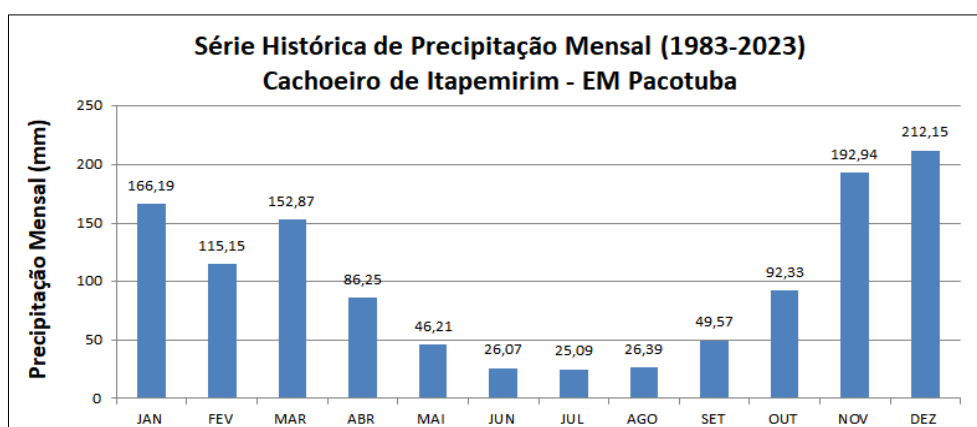


Figura 4: Precipitação mensal do município de Cachoeiro de Itapemirim entre os anos de 1983 a 2023 (INCAPER).

Os maiores eventos de inundação foram registrados nos anos de 2010 e 2016 em função de chuvas intensas (PMCI, 2021). A Figura 3 exemplifica os efeitos das chuvas intensas do mês de janeiro de 2020 sobre a BHCA.



Figura 3: Impacto das chuvas de janeiro de 2020 na BHCA (Rua João Sasso): enxurrada em pavimento (a); escola interditada (b) e trecho inundado (c). Fonte: PMCI, 2020.

O relevo da BHCA apresenta variações de altitude, sendo o ponto mais alto a Serra do Caramba (598m/altitude), atrativo para atividades esportivas e agroturismo local. As maiores altitudes estão nas cabeceiras e entorno da bacia, alternando patamares e porções com vertentes longas e declivosas, enquanto as partes planas ocorrem entre a porção central e a foz (15-75m/altitude), ocupada por urbanização intensiva (indústria, comércio e residências). Da porção central para o interior mescla-se urbanização residencial de menor densidade, agropecuária e fragmentos de florestas preservadas (LOUGON et al., 2009).

A BHCA inclui-se na paisagem de Domínio Tropical Atlântico (Serra do Mar), de relevo mamelonar litorâneo e mares de morros (Ab'Sáber, 2003). Peixoto-Oliveira et al. (2018), adotaram a compartimentação morfoestrutural da Bacia do Itapemirim (1: 2.000.000), definindo a porção central como Compartimento Cachoeiro (colinas e maciços costeiros alternados, depósitos sedimentares e planícies de inundação). Os modelos de acumulação indicam gênese fluvial e gravitacional (enxurradas e inundações), enquanto os modelos de dissecação são do tipo estrutural, com pontões e lajeados isolados.

Conforme o mapeamento da CPRM (1992) na escala 1: 100.000, a geologia da BHCA é dividida em sentido longitudinal, sendo Complexo Paraíba do Sul (oeste) e Granitoides Sin a Tardi-Tangenciais (leste), com rochas intrusivas e metamórficas (granito, gnaiss e biotita). A geomorfologia inclui

Tabuleiros Costeiros, Depósitos Sedimentares próximos ao Rio Itapemirim e do Maciço do Caparaó, Dobramentos Remobilizados à montante, conforme vetor do Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN, 2012) em escala 1: 250.000.

4. Material e Métodos

As etapas do estudo da BHCA estão demonstradas em fluxograma na Figura 5.

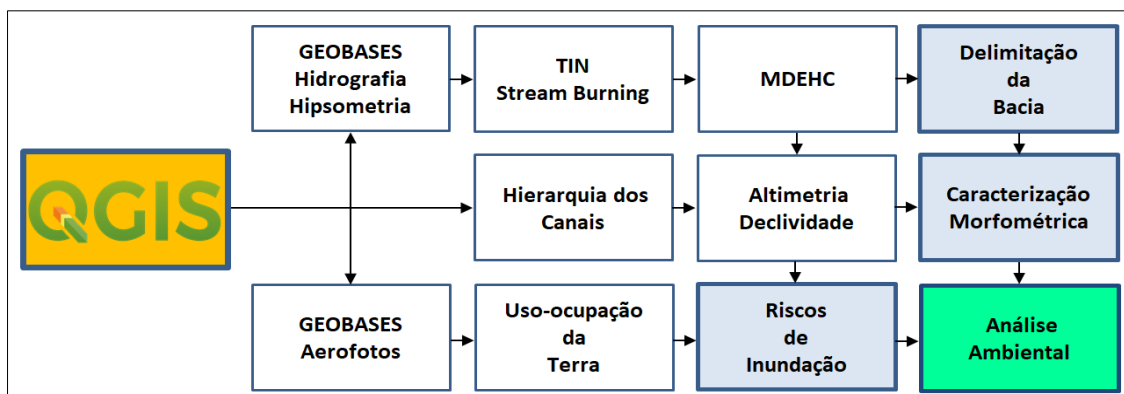


Figura 5: Fluxograma de preparo de dados cartográficos e métodos.

Os procedimentos consistiram de seleção de dados georeferenciados (altimetria, hidrografia e aerofotos), representação da área (limites, hidrografia, relevo e uso-cobertura da terra), caracterização morfométrica e áreas de inundação. Estes dados contribuíram para o diagnóstico de suscetibilidade de inundações na BHCA.

4.1- Aquisição e tratamento de dados

O estudo da BHCA adotou procedimentos e métodos de geoprocessamento via QGis 3.22.16 (Białowieża), os quais permitiram o tratamento de dados de mapeamento para representação geográfica da área. O banco de dados foi organizado a partir da base cartográfica do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) da plataforma GEOBASES, sendo:

- dados vetoriais (1: 10.000): curvas de nível (linhas com equidistância de 5m), pontos (cumes), rede hidrográfica (linhas) e corpos hídricos (polígonos); e

COUTINHO, L. M.; MARCHIORO, E.

- aerofotos digitais do ano de 2020 (1: 25.000): formato GeoTiff, alta resolução espacial (0,50m) e padrão de exatidão cartográfica “A” (erro inferior a 7,5m).

A delimitação manual da bacia por vetorização adotou a identificação da foz (ponto), da rede hidrográfica (seleção de canais e exportação) e dos divisores topográficos (linha), o que permitiu identificação visual de inconsistências e ajustes manuais (áreas de contribuição direta para canal de maior ordem). Este procedimento de delimitação é uma importante etapa de representação de bacias, pois suas medidas e limites espaciais são essenciais para reprodução de modelagens e obtenção de estimativas consistentes (CECÍLIO et al., 2011; KAVIYA et al., 2017; RODRIGUES e ADAMI, 2005).

A representação do relevo foi possível pela geração do Modelo Digital de Elevação - MDE (*pixel* de 10x10m) em *toolbox* de acesso ao *Geographic Resources Analysis Support System* (GRASS) pelo módulo *r.surf.contour* para cálculos de superfícies a partir de curvas de nível. Em seguida foi realizado o pós-tratamento para eliminação de inconsistências do relevo e definição de fundos de vale por canais mapeados, resultando um Modelo Digital de Elevação Hidrológicamente Consistente (MDEHC), sendo:

- interpolação das curvas de nível (*r.surf.contour*);
- filtragem para eliminação de depressões espúrias (*Fill*);
- escoamento superficial com suporte de canais mapeados (*Stream Burning*);
- mapa de declividade (*Declividade*) representado em porcentagem (%) conforme as classes da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1979).

O mapeamento de uso-cobertura da terra (ROSA e FERREIRA, 2022) adotou a interpretação das aerofotos e delimitação das classes por vetorização (polígono). Em seguida foi definida a nomenclatura e calculados os valores de área de cada classe (Atributos).

4.2- Caracterização morfométrica de bacias de drenagem

Para fins didáticos, a caracterização morfométrica da BHCA adotou parâmetros (Tabela 1) pautados em suas características, onde são elencados as

COUTINHO, L. M.; MARCHIORO, E.

fontes, os procedimentos, objetivos e valores de suscetibilidade a inundações quando adotados, sendo:

- características geométricas: coeficiente de compacidade (K_c), fator de forma (K_f), índice de circularidade (I_c), razão de alongação (R_e) e coeficiente de manutenção (C_m);
- características hidrográficas: densidade de drenagem (D_d), densidade hidrográfica ou dos rios/canais (D_h), sinuosidade dos canais ou cursos d'água (S_c), índice de sinuosidade (I_s), índice ou relação de bifurcação (I_b), declividade do alvéo (S) e análise linear ou comprimento médio dos canais (Al); e
- características de relevo: índice de rugosidade (H_r) e razão de relevo (R_r).

Tabela 1. Características dimensionais de bacias hidrográficas.

Variável	Descrição
Área ou área de drenagem (A) (VILLELA e MATTOS, 1975)	Dimensionamento de todo o relevo (projeção horizontal) drenado pelo conjunto do sistema fluvial a partir de seus divisores topográficos, que pode influenciar a potencialidade hidrográfica.
Perímetro (P) (TORREFRANCA e OTADOY, 2022; ZÂVAIANU, 1985)	Medida planimétrica do limite da bacia (divisor topográfico), porém, menor por excluir o aumento de percurso nas elevações. Sua distribuição pode interferir nos parâmetros morfométricos em função da sinuosidade (m ou km).
Canal principal (L) (CHRISTOFOLETTI, 1980)	Também chamado de calha ou rio principal. Trata-se do segmento que melhor representa a hierarquia de concentração da drenagem, identificado pelo maior percurso linear entre a nascente mais distante e a foz (m ou km).
Talvegue (Lt) (VILLELA e MATTOS, 1975)	Medida identificada a partir do canal principal, adotando uma linha reta entre a foz e a nascente principal. Este parâmetro contribui para avaliações referentes ao grau de sinuosidade e comportamento da drenagem (m ou km).
Comprimento axial (La) (CHRISTOFOLETTI, 1980)	Trata-se da maior distância linear interna de uma bacia. É obtido por uma linha reta entre a foz e o ponto mais distante da bacia, tendo por referência a direção dominante do canal principal (m ou km).
Amplitude altimétrica Δ (CHRISTOFOLETTI, 1980)	Diferença dos valores de elevação (m) entre a desembocadura e a maior altitude (cume) localizada ao longo do divisor topográfico. Estes valores contribuem para a avaliação hipsométrica da bacia.
Parâmetros derivados da espacialização dos canais e relevo.	N = número total de canais; N_o = número de canais por ordem; $N_o + 1$ = número de canais de ordem superior; L_c = comprimento total dos canais (km); L_{c_o} = comprimento dos canais por ordem (km) e Δ_c = amplitude altimétrica do canal principal (m).

Tabela 2. Parâmetros adotados para caracterização morfométrica da BHCA.

Procedimento	Equação	Tendências
Coeficiente de compacidade: relaciona o perímetro da bacia a um círculo de área igual a bacia analisada. Quanto	$K_c = 0,28(P/\sqrt{A})$	1,00 = alta 1,50 = média

Revista Espaço & Geografia, v. 27, 2024 (DOI: 10.26512/2236-56562024e50799).

<https://periodicos.unb.br/index.php/espacoegeografia/index>

mais próximo a unidade 1 mais sujeitas a inundação (VILLELA e MATTOS, 1975; ZÂVAIANU, 1985).		2,00 = baixa
Fator de forma: relação da área e quadrado do comprimento axial. Baixos valores indicam bacias estreitas e pouco propensas a inundações (HORTON, 1932 <i>apud</i> LIMA, 2008).	$K_f = A/La^2$	$\geq 0,75$ = alta $0,50$ = média $\leq 0,50$ = baixa
Índice de circularidade: relaciona a área a um círculo de área igual da bacia. Valor máximo é 1 considerando acima de 0,51 sujeita a inundações (MILLER, 1953 <i>apud</i> KUCHAY e BHAT, 2015; LIMA, 2008).	$I_c = 4\pi(A/P^2)$ ou $I_c = 12,57(A/P^2)$	$1,00$ = alta $\geq 0,51$ = média $< 0,50$ = baixa
Razão de alongação: relação entre o diâmetro da área circular igual à bacia analisada e o comprimento do eixo da bacia. Maior valor significa tendência circularidade (SCHUMM, 1956; TORREFRANCA e OTADOY, 2022).	$Re = 2/La(A/\pi)^{1/2}$ ou $Re = 1,128(A^{0.5}/La)$	$\leq 0,6$ = alongada $0,6 - 0,8$ = intermediária $0,8 - 1,0$ = redonda
Coeficiente de manutenção: fornece a área (m ²) mínima para manutenção perene de 1 km linear de canal de escoamento. Trata-se do inverso da densidade de drenagem (SCHUMM, 1956 <i>apud</i> CHRISTOFOLETTI, 1980).	$C_m = (1/Dd)1000$	-
Densidade drenagem: soma de comprimento dos canais, em que se verifica o desenvolvimento da drenagem e a velocidade que a água deixa a bacia (HORTON, 1945 <i>apud</i> CHRISTOFOLETTI, 1979).	$Dd = Lc/A$ (km/km ²)	$< 3,20$ = grosseira. $9,00$ = média. $100,00$ = ultrafina. $> 100,00$ = fina.
Densidade hidrográfica: compara a frequência de canais com a área e estima a capacidade de gerar novos cursos de água em função das características litológicas da bacia (HORTON, 1945 <i>apud</i> CHRISTOFOLETTI, 1980).	$Dh = N/A$	-
Sinuosidade dos canais: fator que controla a velocidade do fluxo de água, pois a maior sinuosidade representa menor velocidade de escoamento e chegada à foz (VILLELA e MATTOS, 1975).	$Sc = L/Lt$ (km km ⁻¹)	$1,00$ = retilíneo $2,00$ = transicional $> 2,00$ = tortuoso
Índice de sinuosidade: representação percentual entre rio principal e o talvegue, o que sugere que em maior declividade, maior a velocidade de escoamento (BACK, 2014).	$Is = [100(L-Lt)]/L$ (%)	$\leq 20\%$ = muito reto $20 - 30\%$ = reto $30 - 40\%$ = divagante $\geq 40\%$ = sinuoso
Relação de bifurcação: relação entre o número total de segmentos de uma ordem e o número de segmentos de ordem superior sequencial (HORTON, 1945).	$Ib = N_o/N_{o+1}$	≥ 2
Declividade do alvéo: apresenta variações de declividade do canal principal, que pode interferir na velocidade de concentração de escoamento (VILLELA e MATTOS, 1975).	$S = \Delta c/L$ (km km ⁻¹)	-
Análise linear: avalia a distribuição espacial da drenagem pelo ordenamento do comprimento médio dos canais de cada ordem (HORTON, 1945 <i>apud</i> CHRISTOFOLETTI, 1980).	$Al = Lc_o/N_o$	-
Índice de rugosidade: indica a diversidade de ambientes e movimento do relevo pela declividade, comprimento da vertente, amplitude altimétrica e a densidade de drenagem. É o resultado do produto entre a amplitude altimétrica e a densidade de drenagem (MELTON, 1957 <i>apud</i> CHRISTOFOLETTI, 1980).	$Ir = \Delta Dd$	$0 - 150$ = fraco $150 - 550$ = médio $550 - 950$ = forte > 950 = muito forte
Razão de relevo: indica a declividade média obtida pela razão entre a amplitude altimétrica e o comprimento axial (SCHUMM, 1956).	$Rr = \Delta/La$ (km km ⁻¹)	$\leq 0,10$ = baixa $0,30$ = média $\geq 0,30$ = alta

Considerando que toda a vazão se concentra gradativamente de montante para a jusante ao longo do canal principal, adotou-se uma avaliação deste segmento pela geração de um perfil longitudinal (RODRIGUES e ADAMI, 2005). A plotagem do perfil (Microsoft EXCEL) em pontos de interseções (canal e hipsometria), fragmentação do canal, identificação dos valores de cotas e distâncias (Atributos) e conversão para tabela. A declividade do álveo (S) foi obtida pela fragmentação do canal principal em três partes, onde se dividiu a amplitude altimétrica das partes por sua respectiva medida linear (VILLELA e MATTOS, 1975).

4.3- Identificação de áreas suscetíveis a inundações

De acordo com Souza (2017) a área urbana do município de Cachoeiro de Itapemirim encontra-se em meio a um vale montanhoso, de relevo acidentado e eventos pluviométricos intensos. Parte da ocupação urbana ocorre em trechos de riscos naturais de deslizamentos e inundações. Equipamentos de drenagem-captação deficientes e ocupações próximas à calha do Rio Itapemirim intensificam os riscos para população. Dados da Coordenadoria Municipal de Defesa Civil contextualizam diversos impactos decorrentes das precipitações dos anos de 2010 e 2016 (PMCI, 2021).

Neste estudo a identificação de áreas suscetíveis a inundações ao longo do canal principal da BHCA pautou-se em três procedimentos:

- I-1: identificação de trechos com redução da verticalidade do terreno e formação de áreas planas (Figura 6-a) por seleção de curvas de nível com maior afastamento, seguido da conversão de linha para polígono (Exportar).
- I-2: identificação de áreas a partir de valores de altimetria do MDEHC por reclassificação (*Classify-Table*), onde se obteve um novo arquivo *Raster* e conversão em polígono (*Raster para Vetor – Poligonalizar*). Foram adotadas quatro classes de altimetria (27-30m, 45-50m, 50-55m e 55-60m) a partir da combinação do histórico de ocorrências de inundações e áreas planas das curvas de nível (Figura 6-b).

COUTINHO, L. M.; MARCHIORO, E.

- I-3: o zoneamento ambiental (ROSA e FERREIRA, 2022) adotou a confrontação de distintas informações (áreas de baixas declividades (0 a 8%) e resultados de I-2). Os dados *Raster* foram reclassificados (*Classify-Table*) entre 0 (não suscetível) e 1 (suscetível), seguido da álgebra de mapas (*Raster Calculator*) para manutenção das áreas correspondentes a classe 1 dos mapas.

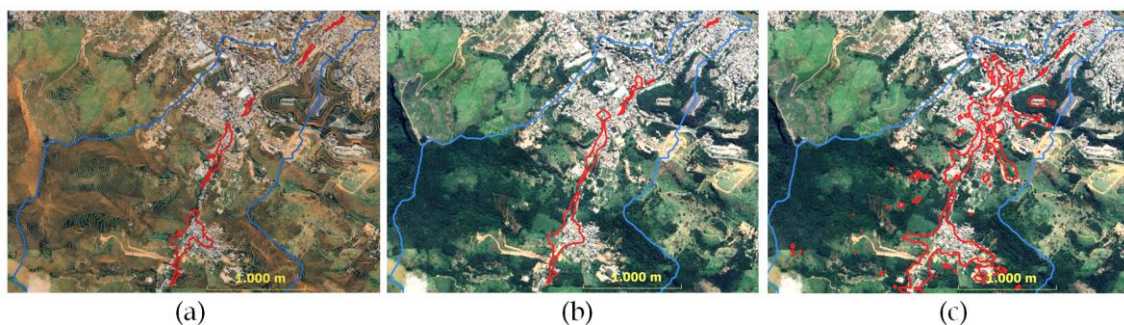


Figura 6: Seleção de áreas propensas a inundações a partir de: curvas de nível I1 (a); classes de altitude I2 (b); e áreas de baixa declividade I3 (c).

A Figura 7 apresenta algumas intervenções humanas identificadas nos limites das áreas suscetíveis a inundações. Manilhamento e pavimentação sobre o canal principal (Figura 7-a). Ponte sobre o canal (Figura 7-b). Estrangulamento das margens por residências e rede de coleta e captação pluvial (Figura 7-c).

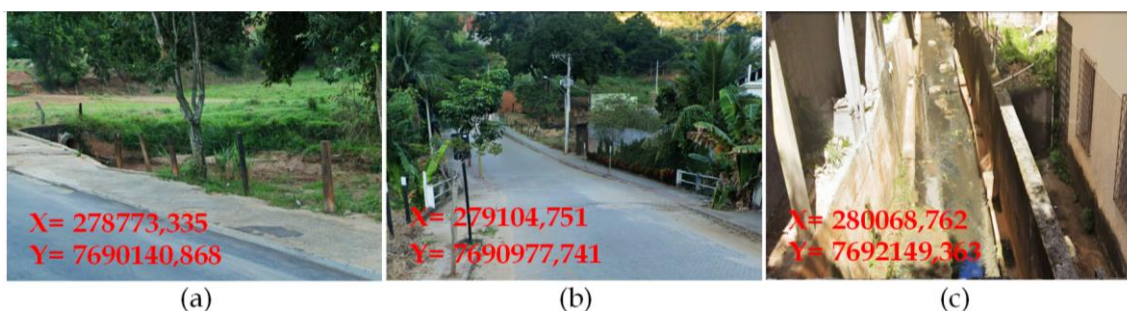


Figura 7: Identificação de obras de engenharia em áreas propensas a inundações: manilha e rodovia (a); ponte (b) e edificações e canalização (c). Fonte: *Google Earth (Street View)*.

A análise de ocupação do entorno do canal principal adotou um *buffer* (30 metros) em conformidade com a Área de Preservação Permanente para canais de largura inferior a 10m (BRASIL, 2012). Este critério elimina subjetividades de descrição do entorno do canal e localização de edificações, uma vez que se pauta na legislação ambiental pertinente. A partir do *buffer* foi

COUTINHO, L. M.; MARCHIORO, E.

realizado o recorte no vetor de uso-cobertura da terra. Apollonio et al. (2016) relacionaram a evolução do uso e cobertura da terra sobre inundações na bacia de Cervaro (Itália).

A fragmentação do canal foi realizada em duas classes principais e subclasses conforme as ocorrências de entorno, sendo:

- Edificação: edificações em apenas uma margem (nomeado de Faixa 1), edificações nas duas margens (nomeado de Faixa 2) e pavimentação do canal por manilhas, vias ou edificações (nomeado de Coberto); e
- Vegetação: vegetação de floresta (nomeado de Nativa) e agropecuária (nomeado de Cultura).

De posse de dados de morfometria e de inundação, são identificados quais elementos que contribuem para tais ocorrências.

5. Resultados e Discussões

5.1- Uso e cobertura da terra

As classes de uso e cobertura da terra da BHCM podem ser verificadas na Figura 8 e seus respectivos valores na Tabela 3. A maior ocorrência é da classe de macega (42,33%), vegetação composta por arbustos e árvores pequenas e médias, comuns em áreas de agropecuária e loteamentos. As classes seguintes são urbanização (17,18%), florestas (16,50%), pastagens (13,38%) e agricultura (7,18%). As demais classes são menos representativas, totalizando 3,43% da área.

Este cenário de uso-cobertura da terra indica que a BHCM sofre alterações ambientais significativas, principalmente pela urbanização. As áreas de florestas são pouco expressivas e se localizam em áreas de difícil acesso (maiores altitudes e declivosas). Atividades agropecuárias podem interferir na dinâmica hidrológica (escoamento, infiltração e evapotranspiração) e perdas de solo por erosão acelerada. Áreas de solo exposto devem ser investigadas, pois podem ser resultantes de processos erosivos atuantes e/ou obras de engenharia (BUTLER et al, 2018; COELHO NETO, 1998; VALE et al, 2021).

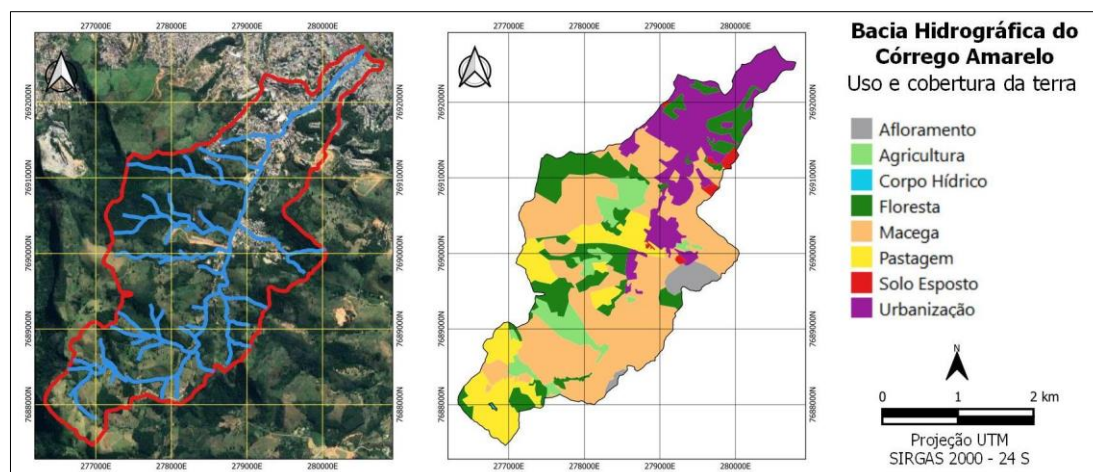


Figura 8: Imagem de alta resolução e dados vetoriais (GEOBASES) e uso e cobertura da terra (autores) da BHCA.

Tabela 3. Distribuição de classes de uso e cobertura da terra da BHCA.

Classe	Área (Km ²)	Área (ha)	Área (%)
Afloramento	0,23	22,90	2,42
Agricultura	0,68	67,81	7,18
Corpo hídrico	0,01	0,65	0,07
Floresta	1,56	155,85	16,50
Macega	4,00	399,82	42,33
Pastagem	1,26	126,39	13,38
Solo exposto	0,09	8,92	0,94
Urbanização	1,62	162,24	17,18
Total	9,44	944,58	100,00

Marchioro e Ollero (2023) investigaram as condições hidrogeomorfológicas da bacia do Rio Duas Bocas com suporte de dados de uso e cobertura da terra, obtendo resultados que contribuem com os observados na BHCA. A melhor condição geoambiental foi verificada no setor livre de ocupação humana e criação da unidade de conservação (Rebio Duas Bocas). Os demais setores em que se observa a ação antrópica intensiva (urbanização, agropecuária, estradas e reservatório) apresentaram piores resultados devido às alterações ocasionadas pela supressão de mata ciliar, retificação de trechos do canal, sedimentação e alteração da drenagem.

5.2- Índices morfométricos

O tratamento de dados cartográficos permitiu a representação da BHCA em ambiente computacional. A literatura consultada corrobora com a proposta adotada para estudos da BHCA, embasando os procedimentos adotados e resultados obtidos.

A altitude e a declividade da BHCA foram obtidas a partir do MDEHC (Figura 9), sendo estes a altitude (9-c) e declividade (9-b). A Figura 9-c representa a rede hidrográfica. Esta bacia apresenta grande diversidade de altitude (Tabela 4), sendo máxima (598m), média (205m) e mínima (15m).

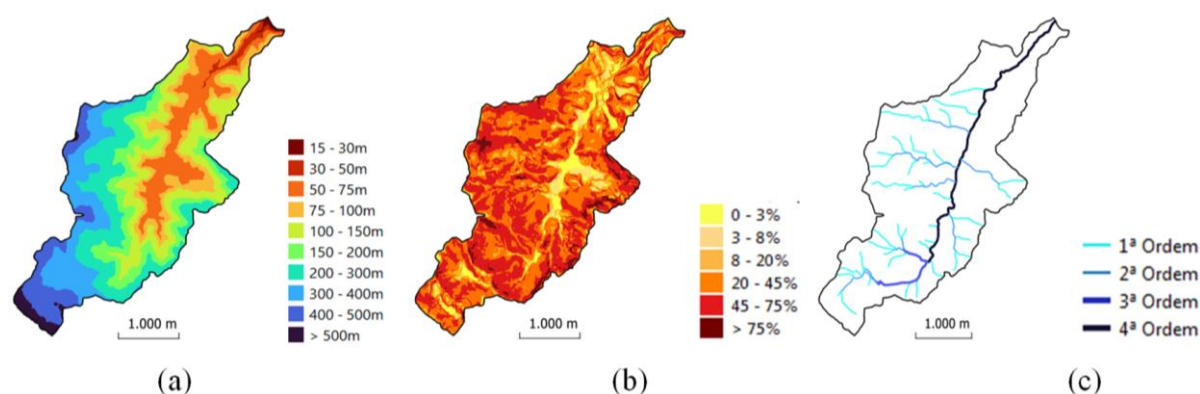


Figura 9: Representação de altitude (A), declividade (B) e canais (C) da BHCA.

Tabela 4. Distribuição de classes de altitude da BHCA.

Altitude (m)	Área (km ²)	Área (%)
15 – 30	0,03	0,31
30 – 50	0,14	1,46
50 – 75	1,30	13,84
75 – 100	1,13	11,90
100 – 150	1,63	17,31
150 – 200	1,16	12,18
200 – 300	1,71	18,38
300 – 400	1,35	14,19
400 – 500	0,79	8,36
> 500	0,20	2,07
<i>Máxima</i>	598	-
<i>Média</i>	205	-
<i>Mínima</i>	15	-
Total	9,44	100%

Da foz sentido montante, encontram-se trechos de menores altitudes (<30m) entre maiores elevações (150m). Próximo à saída (norte-nordeste) ocorre um vale entre a foz e a área central (<100m) com o entorno marcado por ganho de altitude constante sentido leste-sudeste (200-300m). No sentido oeste

COUTINHO, L. M.; MARCHIORO, E.

mantêm-se o ganho de altitude (200-400m), fundos de vales e trechos isolados (400-500m). Ao sudoeste estão as maiores altitudes (>500m) intercalando encostas e patamares.

Quanto à distribuição por áreas, as menores altitudes (<50m) são a menor ocorrência (1,77%), enquanto as áreas entre 50m e 400m apresentam valores de distribuição próximos, sendo a classe 200-300m a maior ocorrência (18,38%). As maiores altitudes, entre 400-500m (8,36%) e acima de 500m (2,07%) são menos expressivas.

A distribuição da declividade da bacia (Tabela 5) adotou a proposta da EMBRAPA (1979), sendo máxima (316%), média (39%) e mínima (0%). A BHCA apresenta 5,22% de áreas com relevo plano e suave, principalmente nas menores altitudes. O relevo montanhoso é a maior ocorrência com 40,30% da área da bacia, seguido de escarpado com 39,90%. As categorias ondulado e forte ondulado representam, respectivamente, 4,28% e 10,30%.

Tabela 5. Distribuição da declividade proposta pela EMBRAPA (1979).

Declividade (%)	Definição	Área (km²)	Área (%)
0 – 3	Plano	0,33	3,53
3 – 8	Suave	0,16	1,69
8 – 20	Ondulado	0,40	4,28
20 – 45	Forte ondulado	0,97	10,30
45 – 75	Montanhoso	3,80	40,30
> 75	Escarpado	3,77	39,90
316	Máxima	-	-
39	Média	-	-
0	Mínima	-	-
total	-	9,44	100

As declividades do tipo montanhoso e escarpado influenciam as condições de velocidade de escoamento superficial, ocasionando ganho de velocidade neste trechos, seguido de desaceleração nas áreas planas, favorecendo ocorrências de inundação. Conforme Villela e Mattos (1975) o relevo controla parte da velocidade do escoamento de superfície e o tempo de concentração das águas pluviais.

A rede hidrográfica é composta por 57 (total de 28,42km) sendo 43 canais de 1ª ordem (15,32km), 11 canais de 2ª ordem (6,13 km), 2 canais de 3ª ordem (1,66km) e 1 canal de 4ª ordem (5,31 km). A área próxima à foz (norte, nordeste

e leste) apresenta redução de ocorrência de canais, o que pode ser atribuído à urbanização intensa (Figura 9-c e Tabela 6).

Tabela 6. Dados de hidrografia da BHCA.

Ordem (Strahler, 1957)	Canais	Extensão (km)
1 ^a	43	15,32
2 ^a	11	6,13
3 ^a	2	1,66
4 ^a	1	5,31
Total	57	28,42

Na bacia BHCA a hidrografia de 1^a ordem é a de principal extensão, estando principalmente associado ao relevo montanhoso e escarpado, sendo altamente sensíveis as mudanças climáticas e transformações no uso e cobertura, como indicado e verificado para a bacia do rio Duas Bocas por Marchioro e Ollero (2023). Também, Magalhães et al. (2022) destacam a importância dos canais de menor ordem em cabeceiras de pequenas bacias montanhosas, observando redução da capacidade de transporte por influência do uso da terra. Torre Franca e Otadoy (2022) identificaram canais de 6^a ordem e relação de bifurcação 4 em duas grandes bacias nas Filipinas, o que sugere paisagens dissecadas e potencial para picos de inundações.

Os parâmetros morfométricos referentes a BHCA encontram-se na Tabela 7. Os resultados obtidos pela análise da geometria da bacia foram o comprimento axial de 6,36 km; coeficiente de compacidade 1,68; fator de forma 0,23; índice de circularidade 0,34 e a razão de alongação 0,54. O coeficiente de manutenção 322,22m² indica a área necessária para manter 1 m de canal de escoamento ativo (LIMA, 2008; VILLELA e MATTOS, 1975).

Tabela 7. Valores dos parâmetros morfométricos da BHCA.

Parâmetro	Resultado	Definição
Área (A)	9,44 km ²	-
Perímetro (P)	18,47 km	-
Maior altitude	598m	-
Menor altitude	15m	-
Amplitude altimétrica da bacia (Δ)	583m	-
Amplitude altimétrica do canal (Δc)	450m	-
Comprimento axial (La)	6,36 km	-
Comprimento do talvegue (Lt)	6,03 km	-
Coeficiente de compacidade (Kc)	1,68	Média
Fator de forma (Kf)	0,23	Baixa

Índice de circularidade (Ic)	0,34	Baixa
Razão de alongação (Re)	0,54	Alongada
Coeficiente de manutenção (Cm)	332,22 m ²	-
Comprimento do canal principal (L)	7,85 km	-
Comprimento dos canais (Lc)	28,42 km	-
Densidade de drenagem (Dd)	3,01 km km ²	Grosseira
Densidade hidrográfica (Dh)	6,03 km ⁻²	-
Sinuosidade dos canais (Sc)	1,30 km km ⁻¹	Retilíneo
Índice de sinuosidade (Is)	22,19%	Reto
Índice de bifurcação (Ib)	3,8 (média)	Aceitável
Índice de Bifurcação (Ib) – canais 1ª ordem	-	-
Índice de Bifurcação (Ib) – canais 2ª ordem	3,9	Aceitável
Índice de Bifurcação (Ib) – canais 3ª ordem	5,5	Aceitável
Índice de Bifurcação (Ib) – canais 4ª ordem	2,0	Aceitável
Análise linear (Al)	0,5 (média)	-
Análise Linear (Al) – canais 1ª ordem	0,36	-
Análise Linear (Al) – canais 2ª ordem	0,56	-
Análise Linear (Al) – canais 3ª ordem	0,83	-
Análise Linear (Al) – canais 4ª ordem	5,31	-
Declividade do Alvéo (S1)	0,0566 km km ⁻¹	-
Declividade do Alvéo (S2)	0,0477 km km ⁻¹	-
Declividade do Alvéo (S3)	0,0220 km km ⁻¹	-
Índice de rugosidade (Ir)	193,68	Média
Razão de relevo (Rr)	0,09 km km ⁻¹	Baixa

Torre Franca e Otadoy (2022) demonstram a aplicabilidade de morfometria de bacias para estimativa de suscetibilidade a cheias e erosão de forma comparativa entre *Lobok Watershed* (LW) e *Wahig-Inabanga Watershed* (WW), os quais são comparados com os parâmetros obtidos na BHCA (Tabela 6). Os valores de Kc se apresentaram afastados de 1, sendo médio para LW (1,78) e baixo para WW (2,32). Os valores de Kf para LW (0,454) e WW (0,276) indicam baixa propensão a inundações ($\leq 0,50$). Os padrões de circularidade (Ic) são considerados baixos ($< 0,50$), sendo LW (0,315) e WW (0,186). Já os valores de Re para LW (0,552) e WW (0,556) indicam bacias alongadas ($\leq 0,6$). Desta forma, é possível avaliar com base em medidas geométricas que estas bacias apresentam baixa circularidade. Diferenças discretas indicam que LW é a mais próxima do formato circular, enquanto WW mostra-se mais alongada e com resultados próximos aos obtidos para BHCA.

A densidade de drenagem (Dd) da BHCA foi de 3,01 km km², sendo classificado como grosseira ou baixa, assim como a densidade hidrográfica (Dh) de 6,03 km⁻², apresentando baixa relação entre área e extensão dos canais,

COUTINHO, L. M.; MARCHIORO, E.

indicando uma baixa propensão a inundação conforme Villela e Matos (1975). De acordo com Christofolletti (1980) a Dd apresenta comportamento inverso ao comprimento dos canais, ou seja, quanto maior ou mais grosseira a Dd, menor será a extensão dos canais.

A sinuosidade dos canais ($1,30 \text{ km km}^{-1}$) indica variações do comportamento dos canais, entre formato retilíneo e sinuoso. O índice de sinuosidade (22,19%) indica proporção espacial entre o talvegue (6,03 km) e o canal principal (7,85 km).

Carvalho et al. (2021) identificaram na bacia do Córrego Perdido alta Dd ($2,38 \text{ km km}^2$) contrastando com uma pequena extensão de escoamento (0,1052 km), podendo contribuir para ocorrências de enchentes. Silva et al. (2022) avaliaram as condições de drenagem da bacia do Rio Pajeú (PE), onde verificaram moderada Dd ($1,36 \text{ km km}^2$), baixa Dh ($2,05 \text{ km}^{-2}$), moderada Sc ($1,61 \text{ km km}^2$) e alto Is (38,10%), constatando elevado tempo de concentração e baixa capacidade de drenagem desta bacia.

Os índices de bifurcação (Ib) da BHCA estão de acordo com o parâmetro aceitável (≥ 2), sendo o menor para 4ª ordem ($=2,0$) e média (3,8). Bashir (2023) identificou média máxima de Ib em uma bacia montanhosa (13,76) e o menor valor em uma bacia plana (0,11). Lopes Pereira e Mendes (2018) identificaram baixos Ib para canais de 2ª (1,3) e 4ª ordem (0,8), o que indica pouca dissecação e manutenção do padrão de drenagem nestes segmentos. Silva et al. (2021) destacam a importância do percentual de canais de 1ª ordem, uma vez que associados ao relevo contribuem para conversão de fluxo de vertente para fluxo fluvial em menor tempo, o que contribui para ocorrências de inundação.

A análise linear (Al) da BHCA demonstra que os canais de 1ª ordem são pequenos (0,36km), mas se destacam pela grande quantidade, indicando bom índice de nascentes. Ocorre um aumento proporcional da extensão média dos canais conforme a ordem, sendo 2ª (0,56km) e 3ª ordem (0,83km), com destaque para o canal de 4ª ordem (5,31km). A porção nordeste apresenta ausência de canais, o que pode estar relacionado a condições do relevo ou fragilidade

COUTINHO, L. M.; MARCHIORO, E.

ambiental pelo avanço da urbanização. O comprimento total dos canais (L_c) é 28,42 km e o comprimento médio 0,50 km.

A Figura 10 apresenta a extensão do canal principal da BHCA em conformidade com a altitude e a declividade de álveo (S). Todos os valores indicam alta declividade e aumento constante deste fator a montante, sendo S_1 ($0,0566 \text{ km km}^{-1}$), S_2 ($0,0477 \text{ km km}^{-1}$) e S_3 ($0,0220 \text{ km km}^{-1}$). A proximidade dos valores de S_1 e S_2 indicam maiores variações de declividade em toda a área do canal principal, enquanto S_3 contrasta em relação aos demais e evidencia menor variação de declividade na porção baixa. No percurso entre 0-3000m do canal principal ocorrem oscilações bruscas de altitude do relevo (450-70m) com formação de trechos suaves e encostas íngremes, favorecendo a aceleração da vazão e ganho de energia. No percurso a partir 3000m até a desembocadura predomina o relevo plano, com poucas variações de altitude (75-30m), o que corresponde às ocorrências de inundações.

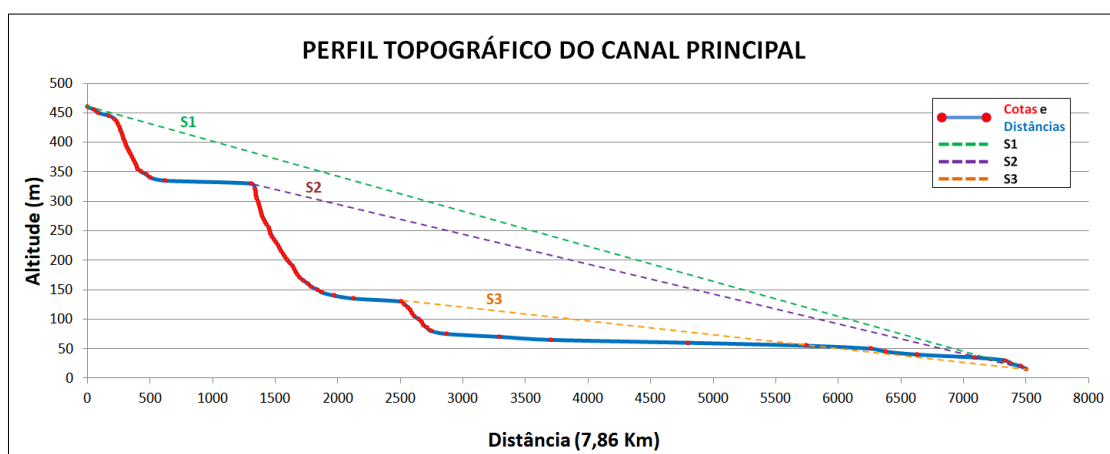


Figura 10. Representação de perfil topográfico do canal principal (linha azul e pontos vermelhos) e declividade de álveo S_1 (verde), S_2 (lilás) e S_3 (laranja).

Sutradhar e Mondal (2023) identificaram 188 canais no Rio Ajay (Índia), onde três sub-bacias de cabeceira apresentam maior diversidade de ordens de canais (1^a a 3^a), que desaguam em uma única área de contribuição alongada de 4^a ordem. À jusante ocorre redução do número e hierarquia de canais, onde vários canais de menor ordem desaguam no canal principal de 4^a ordem. A distribuição dos canais e o formato dendrítico favorecem ocorrências de

COUTINHO, L. M.; MARCHIORO, E.

inundações na parte baixa. Estes processos exemplificam os eventos que contribuem para concentração de fluxo na parte baixa da BHCA.

O índice de rugosidade (193,68) é considerado médio (entre 150-550), indicando formas diferenciadas de vertentes, sendo curtas e planas nas baixas altitudes, contrastando com as longas e íngremes nas maiores altitudes. A razão de relevo ($0,09 \text{ km km}^{-1}$) é considerada baixa, onde o alto valor de amplitude altimétrica (583m) é compensado pela grande extensão axial da bacia. Vale et al (2019) obtiveram baixos valores de Ir (46,40) e Rr ($0,001 \text{ km km}^{-1}$), que comparados a amplitude altimétrica (58m) evidenciam boa drenagem da bacia. Souza (2021) considerou a bacia do Riacho do Navio (PE) de baixa suscetibilidade a enchentes e inundações pelos baixos valores de Ir (0,38) e Rr ($0,0072 \text{ km km}^{-1}$). Estes resultados são semelhantes aos encontrados neste trabalho.

O formato alongado e ramificado da BHCA indica pouca possibilidade de cobertura total por chuvas e concentração de escoamento (LIMA, 2008). O fator topográfico indica formação de fundo de vale e trechos de alta declividade do entorno, o que evidencia propensão ao ganho de energia do escoamento superficial. A topografia pode compensar a sinuosidade do canal principal e promover uma vazão eficiente. O canal principal apresenta sinuosidade mediana, o que pode ocasionar vazão lenta e demanda maior tempo para concentração de água ao longo do rio, diminuindo a inundação, conforme salientado por Carvalho et al. (2021) na bacia do Córrego Perdido (Ibatiba-ES).

5.3- Análise da intervenção humana

As áreas de suscetibilidade a inundação da BHCA foram identificadas a partir dos dados de relevo (Figuras 11-a, b e c). As formas de uso-cobertura da terra ao longo do canal principal foram identificadas por fotointerpretação e delimitadas por vetorização (Figura 11-d). Os procedimentos priorizaram áreas em conformidade com o fundo de vale por influência do canal principal, permitindo avaliar a influência do uso e cobertura da terra sobre as ocorrências de inundações.

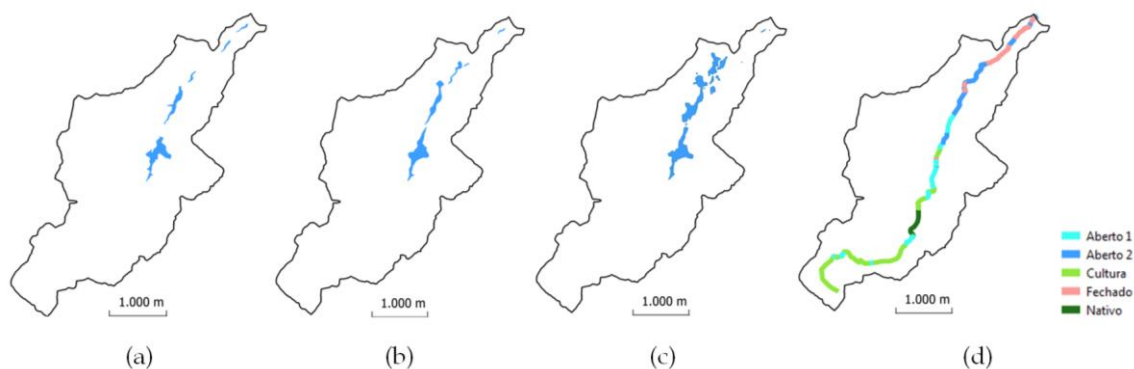


Figura 11. Mapeamento de áreas suscetíveis à inundação por seleção de curvas de nível I-1 (a), classificação de altitude I-2 (b) e zoneamento I-3 (c). Mapeamento da ocupação do entorno do canal principal (d).

Quanto a suscetibilidade às inundações da BHCA, o procedimento de seleção e tratamento das curvas de nível (I-1) gerou uma área de 0,136km² (Figura 11-a), ocorrendo 5 áreas menores e isoladas. Na Figura 11-b consta a área de inundação do processo de classificação do MDE (I-2) com 5 polígonos de maior extensão com isolamentos (0,160km²). A área obtida por zoneamento (I-3) foi a maior área (0,258km²) composta por 9 polígonos, onde se nota um exagero ocasionado pela combinação de altitude e declividade (Figura 11-c).

A Figura 12 demonstra a combinação entre a altimetria da bacia e dados de suscetibilidade às inundações. Na Figura 12-a nota-se a melhor conformidade entre altimetria e tendências a inundações pela conformidade do curso do canal principal. A combinação entre dados obtidos por classificação e a altimetria (Figura 12-b) incluiu trechos afastados do canal principal. O procedimento de integração de altimetria e declividade (Figura 12-c) apresentou a maior inclusão de áreas afastadas do canal principal.

Os resultados da fragmentação do canal principal assim como os valores das classes e os resultados da confrontação de dados, podem ser verificados na Tabela 8. A maior ocorrência no entorno do canal principal são as atividades agropecuárias (Cultura = 3,064km), enquanto a vegetação nativa é a menor ocorrência (Nativo = 0,589km). As intervenções por edificações são bastante expressivas, destacando as ocupações nas duas margens (Faixa 2 = 1,635km),

seguido de ocupação em uma margem (Faixa 1 = 1,438km) e totalmente coberto (Fechado = 1,130km).

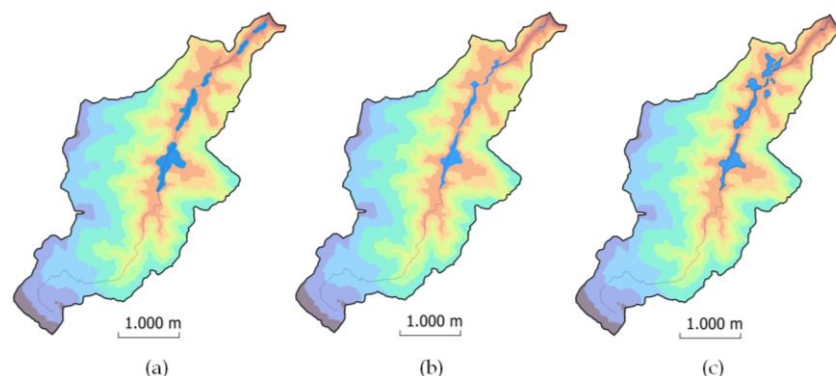


Figura 12. Sobreposição das áreas de inundação I-1 (a), I-2 (b) e I-3 (c) com o MDEHC.

Tabela 8. Confrontação de ocupação do canal principal com as áreas de inundação.

Situação	Classe	Canal (km)	Recorte I-1 (km)	Recorte I-2 (km)	Recorte I-3 (km)
Edificação	Faixa 1	1,438	0,535	0,603	0,495
	Faixa 2	1,635	1,206	1,202	1,121
	Fechado	1,130	0,378	0,284	0,196
Vegetação	Cultura	3,064	0,263	0,237	0,206
	Nativo	0,589	-	-	-
Total linear		7,58	2,38	2,33	2,02
Área de inundação		-	0,136 km ²	0,160 km ²	0,258 km ²

As classes de Edificação somadas (4,20km) representam 53,54% da extensão do canal principal (7,85km). Tais valores sugerem ausência de ações voltadas à preservação e cumprimento da legislação ambiental (Código Florestal Brasileiro), que determina o afastamento de 30m das margens de canais com largura inferior a 10m.

Os procedimentos seguintes consistiram da investigação da intervenção humana sobre a ocorrência de inundações na BHCA. Na Figura 13 são apresentados os valores de confrontação de ocupação do canal principal com as áreas de suscetibilidade a inundação (I-1, I-2 e I-3). A extensão linear dos recortes do canal principal apresentou relação inversa a espacialização das áreas de inundação, sendo a menor área o maior recorte do canal, sendo I-1 (2,38km), I-2 (2,33km) e I-3 (2,02km).

Em todos os recortes se manteve uma ordem das classes de uso-cobertura, sendo Faixa 2, Faixa 1, Fechado e Cultura. A categoria Nativo é

COUTINHO, L. M.; MARCHIORO, E.

ausente em todos os recortes, o que pode contribuir para impactos relacionados a ausência da vegetação natural, devido ao desempenho de suas funções ecológicas sobre dinâmica hidrológica. A predominância das formas de intervenção humana evidencia que estas podem interferir nos padrões de drenagem, contribuindo para ocorrências de inundações. O uso agropecuário (Cultura) apresentou a principal redução em todos os recortes, o que se deve a sua localização predominante nas áreas de menor valorização imobiliária, nas maiores altitudes e próximas às cabeceiras.

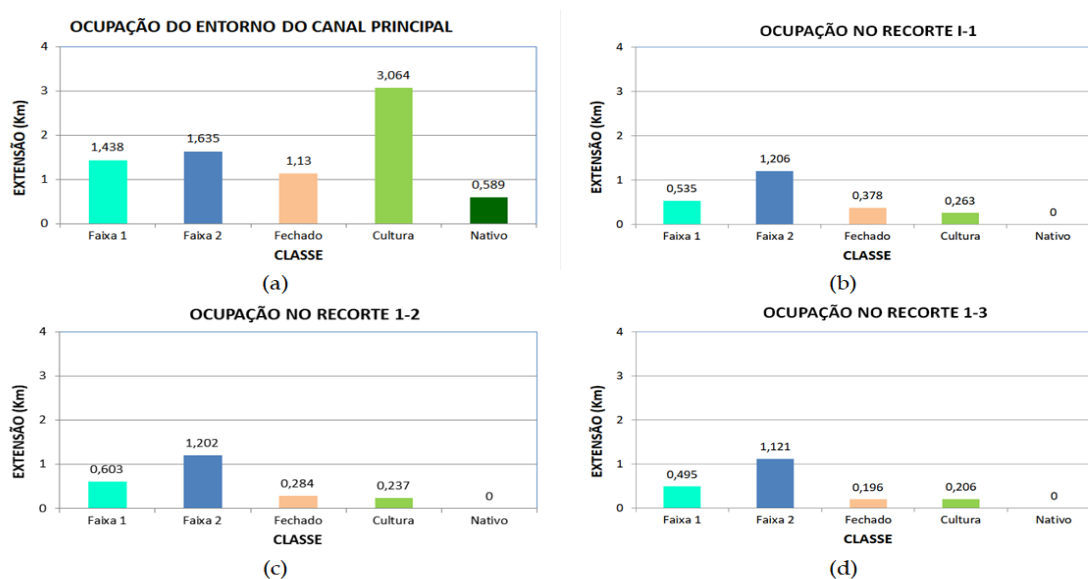


Figura 13. Uso-cobertura da terra no entorno do canal principal, sendo: distribuição total (a), distribuição em mapeamento I-1 (b), distribuição em I-2 (c) e distribuição em I-3 (d).

5.4- Inundações na bacia hidrográfica do Córrego Amarelo.

Com base nos parâmetros morfométricos identificados da BHCA é possível considerar que esta apresenta aspectos geométricos (formato alongado) e hidrológicos (canais de baixa sinuosidade) que contribuem para boa drenagem, reduzindo os riscos de inundação em condições normais de precipitação. Deve-se atentar que a combinação de chuvas anormais (intensas e de longa duração) com as intervenções humanas verificadas (supressão de vegetação e áreas edificadas), podem comprometer as condições naturais de drenagem da bacia (LIMA, 2008; LIMA et al, 2022; VILELLA e MATTOS, 1975).

Ocorrências de inundações similares a BHCM foram verificados por Lopes Pereira e Mendes (2018) a partir da análise da morfometria e da ocupação

COUTINHO, L. M.; MARCHIORO, E.

urbana em uma bacia da Baixada Fluminense (RJ). Os resultados de parâmetros morfométricos (Dd 1,15km/km²; Cm = 1,15km/km², Kc = 1,58 e Ic = 0,39) indicam baixa tendência a inundações em eventos normais de precipitação. Em contrapartida, fatores como baixas declividades e amplitude altimétrica podem interferir na dinâmica e velocidade de escoamento. As ocorrências de enchentes apresentaram relação com as alterações hidrogeomorfológicas ocasionadas pelas intensas intervenções antrópicas.

Outro fator relevante observado na BHCA é a remoção da cobertura vegetal natural na área que deveria se destinar a preservação (*buffer*). A ausência de vegetação favorece a erosão de encostas e assoreamento dos canais, contribuindo para alteração do nível do canal e a distribuição lateral das águas, potencializando os riscos de inundações (ROGGER et al., 2017).

Estudos com ênfase na importância da vegetação para o controle de inundações corroboram com o que se observou na BHCA.

Vale et al (2021) identificaram tendências de inundação da Bacia do Rio Mocajuba (AM), a partir do uso-cobertura da terra. Destaca-se a importância da vegetação natural para manutenção da dinâmica hídrica, pois esta vem sendo substituída por atividades agropastoris, podendo agravar a erosão e comprometer os recursos hídricos.

Ayenew e Kebede (2023) classificaram a bacia Dikala (Etiópia) quanto aos riscos de inundação (muito alto, alto, moderado e baixo). Os maiores impactos são observados em áreas de agricultura devido a pouca vegetação e relevo baixo e plano, onde se concentram as águas das terras altas de entorno.

Sugianto et al. (2023) avaliaram a influência das mudanças de uso-cobertura da terra sobre as inundações na bacia de Teunom (Indonésia) entre os anos de 2009 e 2019. Foi verificado o aumento de áreas úmidas e dos riscos de inundação por influência da supressão de florestas e avanços de urbanização e agropecuária.

Nas áreas de baixas altitudes da BHCA (entre 30-75m) estão localizadas as áreas urbanizadas e as áreas de suscetibilidade a inundações identificadas por mapeamento. Nestes trechos ocorrem diversas intervenções no entorno do

COUTINHO, L. M.; MARCHIORO, E.

canal principal por obras de engenharia (vias públicas, pontes, edificações, sistemas de drenagem e de captação pluvial).

Corroborando com as verificações de interferência por urbanização na BHCA, Estevam e Maia (2022) identificaram alterações na drenagem na bacia do Rio Jaguaribe (BA). Os padrões morfométricos (geometria e comprimento dos canais) indicam baixas tendências a inundações em condições naturais. A implementação de obras de engenharia alterou o formato do canal principal, originalmente meandrante para retilíneo, comprometendo sua rugosidade e controle de velocidade de escoamento, favorecendo ocorrências de inundações.

De acordo com Alshammari et al. (2023) e Blanton e Marcus (2009) as mudanças de uso do solo e introdução de edificações em margens de canais podem comprometer sua dinâmica, pois causam compactação e pavimentação do solo (redução da infiltração) e alterações das suas dimensões (estreitamentos e desvios). Estas edificações conflitam com o que preconiza a legislação pertinente sobre a destinação de margens de 30m para preservação de vegetação nativa (BRASIL, 2012; TUCCI, 2008).

A combinação de áreas impermeabilizadas e edificações podem interferir na dinâmica hidráulica natural de bacias pela redução da infiltração, aumento e aceleração de escoamento superficial e alteração da geometria dos canais. Nestes casos os picos de cheias podem exceder a capacidade de drenagem dos canais, ocasionando o transbordo lateral, seguido de inundações e impactos para as populações. Ações voltadas ao monitoramento de chuvas, adequação de obras de engenharia conforme o potencial hidrológico da bacia, cumprimento da legislação ambiental e fiscalização da ocupação humana se fazem necessárias na BHCM (LIMA et al., 2022; PORTO e PORTO, 2008; SILVEIRA et al., 2001; TUCCI, 2008; VALE et al., 2021; VILELLA e MATTOS, 1975).

6- Conclusões

A partir dos dados morfométricos de geometria ($K_c = 1,68$; $K_f = 0,23$; $I_c = 0,34$ e $Re = 0,54$) e drenagem ($D_d = 0,83 \text{ km km}^2$; $Sc = 1,30 \text{ km km}^{-1}$ e $Is = 22,19\%$), é possível salientar que a BHCA possui baixa propensão a ocorrências

COUTINHO, L. M.; MARCHIORO, E.

de inundações em condições normais de precipitação. A morfologia do relevo e da rede hidrográfica contribui para uma drenagem eficiente. Todavia, durante as chuvas intensas pode ocorrer rápida concentração da drenagem seguida picos de cheias, destacando-se os trechos de altitude entre 30-75m.

As formas de ocupação humana identificadas, principalmente as obras de engenharia, interferem na dinâmica hidrológica desta bacia devido às alterações da geometria do canal principal. Intervenções nas margens do canal comprometem o potencial natural de drenagem da bacia, aumentando a probabilidade de concentração de fluxo e transbordo lateral das águas em eventos de chuvas intensas, potencializando os riscos de inundações.

Medidas de preservação se fazem necessárias na área, a exemplo da recuperação de vegetação nativa para o desempenho de suas funções ambientais e ecológicas. As obras de drenagem e captação devem contemplar o potencial hidráulico da bacia, considerando períodos secos e chuvosos. Espera-se que os métodos adotados e resultados obtidos neste trabalho contribuam para o desenvolvimento e aprimoramento de pesquisas com ênfase nas ocorrências de inundações em bacias hidrográficas.

Financiamento

Esta pesquisa foi financiada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), número de bolsa 88887.699977/2022-00.

7. Referências Bibliográficas

- AB'SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ed. Atelier, 2003.
- ALSHAMMARI, E. (et al.). The impacts of land use changes in urban hydrology, runoff and flooding: A Review. **Current Urban Studies**, v.11, p.120-141, 2023.
- APOLLONIO, C. (et al.). Land Use Change Impact on Flooding Areas: The Case Study of Cervaro Basin (Italy). **Sustainability**, v.8, n.996, 2016.
- AYENNEW, W. A.; KEBEDE, H. A. GIS and remote sensing based flood risk assessment and mapping: The case of Dikala Watershed in Kobo Woreda Amhara Region, Ethiopia. **Environmental and Sustainability Indicators**, v.18, 2023.
- BACK, A. J. **Bacias hidrográficas: classificação e caracterização física** (com o programa HidroBacias para cálculos). Florianópolis: EPAGRI, 2014, 162p.
- BASHIR, B. Morphometric Parameters and Geospatial Analysis for Flash Flood susceptibility Assessment: A Case Study of Jeddah City along the Red Sea Coast, Saudi Arabia. **Water**, v.15, n.870, 2023.

COUTINHO, L. M.; MARCHIORO, E.

BENHOME, V. (et al.). Application of elliptical Fourier analysis to watershed boundaries: a case study in Haiti. **Géomorphologie**, v.19, n.1, p.17-26, 2013.

BHARATH, A. (et al.). Drainage morphometry based sub-watershed prioritization of Kalinadi basin using geospatial technology. **Environmental Challenges**, n.5, 2021.

BLANTON, P.; MARCUS, W. A. Railroads, roads and lateral disconnection in the river landscapes of the continental United States. **Geomorphology**, n.112, p.212-227, 2009.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos [...]. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 9 jan. 1997.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de Maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa [...]. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 de maio de 2012.

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Secretaria de Proteção e Defesa Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil. Atlas Digital de Desastres no Brasil. Brasília: MIDR, 2023.]

BUTLER, D. (et al.). **Urban Drainage**. 4ª Edição. CRC Press, 2018.

CARVALHO, A. H. de O. (et al.). Caracterização fisiográfica da Bacia Hidrográfica do Córrego do Perdido - Ibatiba/ES. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v.13, n.3, p.531-542, set.2021;

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise da Densidade de Drenagem e suas implicações Geomorfológicas**. Geografia, v.4, n.8, p.23-42, 1979.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CECÍLIO, R. A. (et al.). Delimitação de bacias hidrográficas. In: ANDRADE, F. V. (et al.). **Tópicos especiais em Produção Vegetal II**. Alegre: CCAUFES, 2011. p.329-348.

COELHO NETO, A.L. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. da. (org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 3ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998, cap. 3, p. 93-148.

CPRM. **Carta Geológica - Folha Cachoeiro de Itapemirim**, SF-24-V-A-V, 1: 100.000. Belo Horizonte-MG: MME, 1992.

CPRM. **Setorização de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Movimentos de Massa, Enchentes e Inundações - Cachoeiro de Itapemirim-ES**. Porto Alegre-RS: MME, 2019.

DAVID, S. R. (et al.). USUAL Watershed Tools: A new geospatial toolkit for hydro-geomorphic delineation. **ENVIRONMENTAL Modelling and Software**, v. 159, 2023.

DERAKHSHANI, R. (et al.). Machine Learning-Based assessment of Watershed Morphometry in Makran. **Land**, v.12, n.776, 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos**. Rio de Janeiro: SNLCS, 1979.

ESPÍRITO SANTO. Decreto Nº 3056-R, de 12 de Julho de 2012. Dá nova denominação ao sistema GEOBASES [...]. Diário Oficial dos Poderes do Estado. Vitória (ES), 19 de Julho de 2012. Disponível em: <<https://geobases.es.gov.br>>

ESTEVAM, A.L.D.; MAIA, D.C. Morfometria e enchentes urbanas na bacia hidrográfica do Rio Jaguaribe, Salvador-BA. **Geopauta**, v.6, 2022.

GARDIMAN JÚNIOR, B. S. (et al.). Análise de técnicas de interpolação para espacialização da precipitação pluvial na bacia do Rio Itapemirim (ES). **AMBIÊNCIA**, Guarapuava (PR), v.8 n.1 p. 61-71 Jan./Abr. 2012.

IEMA. **GEOBASES**. Mapeamento ES 2012-2015. Referência Técnica. Vitória-ES: IEMA, 2012. Disponível em: <<https://geobases.s3.es.gov.br/public>>

IJSN. **Mapeamento geomorfológico do Estado do Espírito Santo**. Vitória-ES: IJSN, 2012.

ILINCA, V. Using morphometrics to distinguish between debris flow, debris flood and flood (Southern Carpathians, Romania). **Catena**, n.197, 2021.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. **Bulletin of the Geological Society of America**, v.56, p.275-370, 1945.

COUTINHO, L. M.; MARCHIORO, E.

KAVIYA, B. (et al.). Watershed delination using GIS in Selaiyur area. **International Journal of Pure and Applied Mathematics**, v.116, n.13, p.417-423, 2017.

KUCHAY, N.A.; BHAT, M.S. Automated drainage characterization of Dudganga Watershed in western Himalayas. **European Scientific Journal**, v.9, n.35, December 2013.

KULKARNI, M. D. The basic concept to study morphometric analysis of river drainage basin: A Review. **International Journal of Science and Research**, v.4, n.7, July 2015.

LIMA, F. J. de (et al.). Parâmetros morfométricos aplicados à bacia do Rio da Batateira (Ceará- Brasil) para identificar suscetibilidade a enchentes. **Revista de Geografia**, v.39, n.1, 2022.

LIMA, W. de P. **Hidrologia Florestal aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas**. Piracicaba: ESALQ-USP, 2008.

LÓPEZ-RAMOS, A. (et al.). Assessment of morphometric parameters as the basis for hydrological inferences in water resource management: a case study from the Sinú River Basin in Colombia. **Geo-Information**, v.11, n.459, 2022.

LOPES PEREIRA, P. S. P. M.; MENDES, L. D. Morfometria de bacia hidrográfica urbanizada: uma análise do Rio Iguaçu-Sarapuá, na Baixada Fluminense (RJ), para avaliação de parâmetros de suscetibilidade à ocorrência de enchente e inundação. **Revista Continentes**, ano 7, n.13, 2018.

LOUGON, M. S. (et al.). Diagnóstico ambiental da sub-bacia hidrográfica do Córrego Amarelo, abordando o uso e ocupação do solo e a qualidade da água. **Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal**, v.6, n.3, p.350-367, 2009.

MACHADO, E. F. do P. (et al.). Distribuição de probabilidade para determinação de vazões máximas para o Rio Itapemirim-Espírito Santo. XIX Congresso de Pós-Graduação da UFLA. **Anais...**, 2010.

MAGALHÃES, S. F. C. de (et al.). Influence of land cover, catchment morphometry and rainfall on water quality and material transport of headwaters and low-order streams of a tropical mountainous watershed. **Catena**, n.213, 2022.

MARCHIORO, E.; OLLERO, A. Avaliação hidrogeomorfológica: a aplicação do IHG em uma bacia hidrográfica da região metropolitana da Grande Vitória (ES). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 24, n. 2, 13 maio 2023.

MILLER, V.C. Quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee. Tech. Rep. 3 NR 389-402, Columbia University, Department of Geology, ONR, New York, NY, USA, 1953.

MORGAN, R.P.C. **Soil erosion and conservation**. 3ª Ed. Oxford: Blackwell Publishing, 2005.

PEIXOTO-OLIVEIRA, J. (et al.). Compartimentação morfoestrutural da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim, sul do estado do Espírito Santo. **Geologia USP, Série Científica, São Paulo**, v. 18, n. 2, p. 5-70, Junho 2018.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM (PMCI). **Notícias**. Jornalismo PMCI, 2020. Disponível em: <www.cachoeiro.es.gov.br/noticias>

PREFEITURA MUNICIPAL DE CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM (PMCI). **Plano de contingência para enfrentamento de desastres**. Das vulnerabilidades das áreas de risco, da preparação para emergência, resposta, socorro, assistência em situação anormal no município de Cachoeiro de Itapemirim-ES. Cachoeiro de Itapemirim: Coordenadoria Municipal de Defesa Civil, 2021.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v.22, n.63, p.43-60, 2008.

RODRIGUES, C.; ADAMI, S. Técnicas fundamentais para o estudo de bacias hidrográficas, In: VENTURI, L.A.B. **Praticando Geografia: técnicas de campo e laboratório em geografia e análise ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

ROGGER, M. (et al.). Land use change impacts on floods at the catchment scale: Challenges and opportunities for future research. **Water Resources Research**, n.53, p.5209-5219, Jul. 2017.

ROSA, R. M.; FERREIRA, V. de O. Proposta de zoneamento ambiental para bacias hidrográficas: aplicação na Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos Afluentes Mineiros do Baixo Paranaíba. **Geosp**, v.26, n.2, 2022.

COUTINHO, L. M.; MARCHIORO, E.

SABINO, H. (et al.). Morfometria de bacias hidrográficas de primeira ordem em áreas agrícolas sob sistema de plantio direto: delimitação e propensão à erosão e inundação. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.21, n.3, p.479-492, 2020.

SCHUMM, S. A. Evolution of Drainage Systems and Slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey. **Geological Society of America Bulletin**, n.67, p.597-646, 1956.

SHEKAR, P. R. (et al.). Sub-watershed prioritization using morphometric analysis, principal component analysis, hypsometric analysis, land use/land cover analysis, and machine learning approaches in the Peddavagu River Basin, India. **Journal of Water and Climate Change**, v.14, n.7, 2023.

SILVA, J. L. de S. (et al.). Aplicação da análise morfométrica de bacias hidrográficas como subsídio ao entendimento dos processos crescentes de inundações na malha urbana da cidade de Ubá-MG. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia-MG, v.22, n.82, p.201-214, 2021.

SILVA, J. N. da (org.). **Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil**. Cachoeiro de Itapemirim. Folha SF 24.V.A. V. Estado do Espírito Santo. Escala 1:100.000. Brasília: DNPM/CPRM, 1993.

SILVA, J. R. I. (et al.). Morphometric characterization and land use of the Pajeú river basin in the Brazilian semi-arid region. **Journal of South American Earth Sciences**, n.118, 2022.

SILVEIRA, A. L. L. da. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2ª Ed. Porto Alegre: UFRGS-ABRH, 2001. Cap. 2, p.35-51.

SOUZA, E. G. F. Delimitação e caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Riacho do Navio, Pernambuco, a partir de dados SRTM processados no QGIS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.14, n.3, p.1530-1540, 2021.

SOUZA, A.C. de. Identificação dos problemas de alagamento na cidade de Cachoeiro de Itapemirim-ES: estudo de caso sobre a área central. In: IX Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental, XV Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Ambiental e III Fórum Latino Americano de Engenharia e Sustentabilidade, **Anais...**, Belo Horizonte-MG, 2017.

SOUZA, F. A. de.; RODRIGUES, S. C. Aspectos morfométricos como subsídio ao estudo da condutividade hidráulica e suscetibilidade erosiva dos solos. **Mercator**, Fortaleza, v. 11, n. 25, p. 141-151, mai./ago. 2012.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transaction of American Geophysical Union**, p. 913-920, 1957.

SUGIANTO, S. (et al.). The effect of land use and land cover changes on flood occurrence in Teunom Watershed, Aceh Jaya. **Land**, v.11, n.1271, 2022.

SUTRADHAR, S.; MONDAL, P. Prioritization of watersheds based on morphometric assessment in relation to flood management: A case study of Ajay river basin, Eastern India. **Watershed Ecology and the Environment**, v.5, p.1-11, 2023.

TORREFRANCA, I.; OTADOY, R. E. GIS-based watershed characterization and morphometric analysis in Bohol Watersheds, Philippines. **Geology, Ecology, and Landscapes**, v.6, 2022.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, n.22, v.63, 2008.

VALE, J. R. B. (et al.). Análise da morfometria e do uso e cobertura da terra da Bacia Hidrográfica do Rio Mocajuba, Zona Costeira Amazônica. **Geosul**, Florianópolis, v.36, n.78, p. 537-557, 2021.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

YOLINA, H. (et al.). Development of flood-prone area classification program using linear classifier method based on geomorphic flood index and land cover. **Procedia Computer Science**, v.216, p.396-405, 2023.

ZÁVAIANU, I. **Morphometry of Drainage Basins**. Developments in Water Science, 20. Romania: Bucharest, 1985.