

A SUSCETIBILIDADE PARA A OCORRÊNCIA DE ENCHENTES E INUNDAÇÕES A PARTIR DA ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA BACIA DO IGARAPÉ GRANDE, PORTO VELHO, RONDÔNIA

Evanleide Rodrigues da **Silva**¹, Reginaldo Martins da Silva de **Souza**², Vanderlei **Maniesi**³,
(1- Universidade Federal de Rondônia, eva.ictio@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7294-214X>; 2 – Instituto Federal de Rondônia, reginaldo.martins@ifro.edu.br,
<https://orcid.org/0000-0002-4227-5841>; 3 – Universidade Federal Rondônia, maniesi@unir.br,
<https://orcid.org/0000-0003-0369-6069>)

Resumo: O presente trabalho tem como objetivo avaliar a suscetibilidade para a ocorrência de enchentes e inundações a partir da análise de 45 parâmetros morfométricos da bacia do Igarapé Grande, localizada na cidade de Porto Velho/RO. Foram parâmetros referentes a forma, drenagem e relevo da bacia estudada. Os resultados relacionados aos parâmetros de forma mostraram que a bacia possui formato ovalar, através da análise dos índices kc (1,44), Kf (0,53), Ic (0,48), Re (0,82) e Ico (1,37). Os parâmetros de drenagem, Dd (2,97), Ct (24,57) e Eps (168m) indicaram que a bacia apresenta boa drenagem. E os índices de relevo revelaram baixa amplitude altimétrica (45m) e predominância de relevo suavemente ondulado. Portanto, trata-se de uma bacia jovem, pouco erodida e com mediana tendência natural para a ocorrência de enchentes e inundações. No entanto, se submetida a processos de urbanização em que a impermeabilização do solo predomine como modo de sua ocupação, esta bacia sofrerá alterações na vazão de seus canais, sendo prevista majoração da possibilidade de ocorrência de enchentes, inundações e alagamentos.

Palavras-chave: Morfometria; Bacia hidrográfica; Inundações; Área urbana.

SUSCEPTIBILITY TO FLOODING BASED ON MORPHOMETRIC ANALYSIS OF THE IGARAPÉ GRANDE BASIN, PORTO VELHO, RONDÔNIA

Abstract: This study aims to evaluate the susceptibility to flooding by analyzing 45 morphometric parameters of the Igarapé Grande watershed, situated in Porto Velho, RO. The

analyzed parameters focus on the basin's shape, drainage characteristics, and relief features. The results for shape parameters indicated that the basin has an oval shape, based on indices k_c (1.44), K_f (0.53), I_c (0.48), Re (0.82), and I_{co} (1.37). The drainage parameters, D_d (2.97), C_t (24.57), and E_{ps} (168 m), demonstrated that the basin has efficient drainage. Relief indices revealed a low elevation range (45 m) and a predominance of gently undulating terrain. Therefore, the basin is classified as young, minimally eroded, and with a moderate natural tendency for flooding. However, if subjected to urbanization processes dominated by soil sealing, the basin is likely to experience changes in channel flow, leading to an increased risk of flooding, inundation, and waterlogging.

Keywords: Morphometry; Watershed; Flooding; Urban area.

SUSCEPTIBILIDAD A LAS INUNDACIONES A PARTIR DEL ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE LA CUENCA DEL IGARAPÉ GRANDE, PORTO VELHO, RONDÔNIA

Resumen: Este estudio tiene como objetivo evaluar la susceptibilidad a las inundaciones mediante el análisis de 45 parámetros morfométricos de la cuenca del Igarapé Grande, situada en la ciudad de Porto Velho/RO. Se analizaron parámetros relacionados con la forma, el drenaje y el relieve de la cuenca. Los resultados indicaron que la cuenca presenta una forma ovalada, según los índices k_c (1,44), K_f (0,53), I_c (0,48), Re (0,82) e I_{co} (1,37). Los parámetros de drenaje, D_d (2,97), C_t (24,57) y E_{ps} (168 m), mostraron una buena capacidad de drenaje. Los índices de relieve revelaron una baja amplitud altimétrica (45 m) y un predominio de relieve suavemente ondulado. Por lo tanto, se trata de una cuenca joven, poco erosionada y con una tendencia natural media a las inundaciones. No obstante, si se somete a procesos de urbanización en los que predomine la impermeabilización del suelo, esta cuenca sufrirá alteraciones en el flujo de sus cauces, lo que incrementará la posibilidad de inundaciones y avenidas.

Palabras clave: Morfometría; Cuenca hidrográfica; Inundaciones; Zona urbana.

Introdução

O processo de desenvolvimento urbano pautado na substituição da cobertura vegetal pela impermeabilização do solo, proporciona alterações negativas em bacias hidrográficas. São

modificações que afetam principalmente estruturas físicas de canais de drenagem, transporte de sedimentos, dinâmica hidráulica e fluxo de matéria e energia (Périco et al., 2012). Dentre os problemas relacionados com a expansão de cidades, os eventos de enchentes e inundações são os mais comuns, chegando a representar 58% dos principais desastres ambientais registrados no Brasil entre 2000 e 2007 (Santos, 2007).

Enchente, inundação e alagamento estão relacionados a fenômenos hidrológicos capazes de gerar perdas materiais e humanas. Embora, comumente utilizados como sinônimos, possuem diferenças. Enchente, é um fenômeno hidrológico natural decorrente do ciclo das águas, que pode ou não ser seguido por uma inundação. A inundação, por sua vez, ocorre em razão do extravasamento do canal para as áreas marginais, de modo que o escoamento atinge o leito maior do canal. Alagamentos, por fim, acontecem em virtude de grandes chuvas em áreas urbanas, quando há extravasamento das galerias da rede de drenagem pluvial, muitas vezes, sem que tenha havido inundação no canal principal (Graciosa, 2010; Tucci 2007). São situações adversas que estão relacionadas ao crescimento populacional acelerado, à falta de planejamento ou à implantação de inadequadas de políticas públicas (Silva, 2011; Tucci & Bertoni, 2016).

Desse modo, Botelho e Silva (2012) afirmam que a qualidade do meio ambiente é determinada pela ação do ser humano sobre o espaço e seus componentes em um dado momento. Os autores sugerem a bacia hidrográfica como a unidade espacial mais adequada para o planejamento ambiental por permitir uma visão sistêmica e integrada do espaço geográfico. Nesse sentido, Porto e Porto (2008, p. 43) afirmam que: “a gestão de recursos hídricos baseada no recorte territorial das bacias hidrográficas ganhou força no início dos anos de 1990 quando os Princípios de Dublin foram acordados na reunião Rio-92”. No entanto, somente a Lei Federal nº 9.433/97 (BRASIL, 1997) consegue superar o paradigma da preocupação somente com a qualidade da água, evidenciando a importância do manejo adequado também de outros componentes da bacia, como o clima, solo, flora e fauna, que influenciam quantitativa e qualitativamente o ciclo hidrológico. Em consonância, a Lei Estadual nº 255/2002 (RONDÔNIA, 2002) reforçou a necessidade do planejamento socioeconômico e ambiental de bacias hidrográficas, a partir do reconhecimento de suas limitações e potencialidades.

Considerando os impactos significativos sobre o escoamento a partir da alteração da superfície de bacias hidrográficas, a análise morfométrica apresenta-se como uma metodologia eficiente para compreensão de sua suscetibilidade para enchentes e inundações, bem como

alagamentos. Uma vez, que permite a compreensão da dinâmica hidrográfica em função de características fisiográficas, sendo especialmente indicada para aquelas com ausência de estudos hidrológicos ou por fatores de ordem física ou econômica (Souza, 2005; Tucci & Clarke, 1997).

As bacias hidrográficas que compõem o município de Porto Velho são marcadas por significativas transformações ocupacionais que moldaram suas paisagens ao longo dos anos. Essas modificações se sucederam desde a fundação do município, às margens do rio Madeira, em 1907, durante a construção da Estrada de Ferro Madeira-Mamoré (Moutinho & Robrahn-González, 2010), alcançando maior intensidade a partir da década de 1980, com a implantação de projetos de colonização e desenvolvimento, associado, por exemplo, às carências de infraestrutura e saneamento básico (Barcelos, 2015).

Nesse contexto, a bacia hidrográfica do Igarapé Grande, como objeto de estudo, apresenta famílias ocupando as margens de seus canais de drenagem, em um cenário de habitação semelhante às moradias subnormais que circundam os limites de grandes cidades (Nadalin et al., 2016), com a diferença que, em Porto Velho, elas tangenciam e, por vezes, se sobrepõem aos canais de drenagem. Trata-se de um fenômeno habitacional que vem se tornando um problema cada vez mais acentuado, já que essas intervenções antrópicas, incluindo a retirada da cobertura vegetal e despejo de esgoto e lixo, potencializam riscos ambientais e suas consequências com a atuação de eventos pluviométricos extremos (Bezerra et al., 2012; SEMPOG, 2018). Sendo assim, diante desse quadro socioambiental que ocorre na bacia do Igarapé Grande, o presente trabalho tem como objetivo fazer uma análise morfométrica, a fim de proporcionar um diagnóstico a respeito da suscetibilidade para a ocorrência de enchentes e inundações, bem como propensão a ocorrência de alagamentos.

Materiais e métodos

Para a análise morfométrica foram utilizados dados obtidos por meio do Modelo Digital de Terreno (MDT), disponibilizado por Alves (2016), em formato matricial, escala 1:100, Resolução Espacial de 1m, projeção UTM, Datum SIRGAS 2000.

Utilizou-se o auxílio da ferramenta Calculate Geometry (ESRI® Arc Gis 10.2.2) para obtenção dos dados geométricos básicos que foram integrados em equações com a utilização do software Microsoft Office Excel 2013. A caracterização morfométrica foi agrupada nos

atributos forma, drenagem e relevo (Quadros 1, 2 e 3), conforme Back (2014), e utilizadas para análise da suscetibilidade para inundações de acordo com as classificações de Horton (1945), Freitas (1952), Miller (1953), Schumm (1956), Strahler (1964), Lee e Sallee (1970), Villela e Mattos (1975), Christofolletti (1980), Beltrame (1994), Brubacher et al. (2011) e Oliveira et al. (2012).

Quadro 1. Parâmetros de forma selecionados para a análise morfométrica da bacia do Igarapé Grande.

Índices de forma		
Parâmetros	Símbolos/Fórmulas	Referências
Coeficiente de compacidade	$Kc = 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}}$	Horton (1945)
Índice de conformação	$Kf = \frac{A}{(Lx)^2}$	Villela e Mattos (1975)
Índice de circularidade	$Ic = \frac{4\pi A}{P^2}$	Christofolletti (1980)
Razão de alongação	$Re = 1,1284 \frac{\sqrt{A}}{Lx}$	Schumm (1956)
Índice entre o comprimento e área	$Ico = \frac{Lx}{\sqrt{A}}$	Christofolletti (1980)

A: Área (km²); P: Perímetro da bacia (km); Lx: Comprimento axial da bacia (km).

Quadro 2. Parâmetros de drenagem selecionados para a análise morfométrica da bacia do Igarapé Grande.

Índices de drenagem		
Parâmetros	Símbolos/Fórmulas	Referências
Densidade de drenagem	$Dd = \frac{Lt}{A}$	Horton (1945)
Extensão média do escoamento	$Ems = \frac{1}{4Dd}$	Villela e Mattos (1975)
Extensão do percurso superficial	$Eps = \frac{1}{2Dd}$	Horton (1945)
Densidade de rios	$Dr = \frac{N}{A}$	Horton (1945)
Densidade de segmentos da bacia	$Ds = \frac{\sum Ni}{A}$	Christofolletti (1980)
Coeficiente de manutenção	$Cm = \frac{1}{Dd} * 100$	Schumm (1956)
Coeficiente de torrencialidade	$Ct = Dr * Dd$	Back (2014)
Densidade de confluências	$Dc = \frac{Nc}{A}$	Zavoianu (1985)
Índice de sinuosidade	$Is = \frac{100(L - Ev)}{L}$	Mansikkaniemi (1970)

Sinuosidade do rio principal	$Sin = \frac{L}{Ev}$	Villela e Mattos (1975)
------------------------------	----------------------	-------------------------

Lt: Comprimento total de rios (km); **A**: Área (km²); **N**: Número total de rios; $\sum Ni$: Soma do número dos canais de todas as ordens; **Nc**: Número de confluências; **L**: Comprimento do rio principal (km); **Ev**: Distância da foz do rio até a nascente em linha reta (km).

Quadro 3. Parâmetros de relevo selecionados para a análise morfométrica da bacia do Igarapé Grande.

Parâmetros de relevo		
Parâmetros	Símbolos/Fórmulas	Referências
Declividade média	$Dec = \frac{\Delta H_{CN} * L_{CN}}{A}$	Horton (1945)
Altitude média	$Hm = \frac{\sum Pm * A_{cni}}{A}$	Strahler (1952)
Amplitude altimétrica	$\Delta H = Hmax - Hmin$	Strahler (1952)
Altitude mediana	$Hmed$	Strahler (1952)
Altitude modal	$Hmo = Ci + \left[\frac{Amx - Aant}{2Amx - (Aant + Apos)} \right] \Delta CN$	Strahler (1952)
Coefficiente de massividade	$Km = \frac{\sum Pm * A}{A * \Delta H}$	Back (2014)
Coefficiente Orográfico	$Ko = Hm * Km$	Fournier (1960)
Amplitude altimétrica máxima	$H_m = \frac{Hmax + H(10\%)}{2}$	Back (2014)
Relação de relevo	$Rr^1 = \frac{\Delta H_{mx}}{L_p}$	Strahler (1964)
Relação de relevo	$Rr^2 = \frac{H_m}{P} * 100$	Melton (1957)
Relação de relevo	$Rr^3 = \frac{H_m}{\sqrt{A}}$	Melton (1957)
Coefficiente de rugosidade	$Rn = Dd * Dec$	Back (2014)
Índice de Rugosidade	$Ir = \Delta H * Dd$	Melton (1957)
Fator topográfico	$Ft = Dr * Ic * Rr$	Back (2014)
Razão de textura	$R_T = \frac{N_t}{P}$	França (1968)
Textura topográfica	$Tt = 10^{0,219649 + 1,115 \log(Dd)}$	Christofolletti (1980)

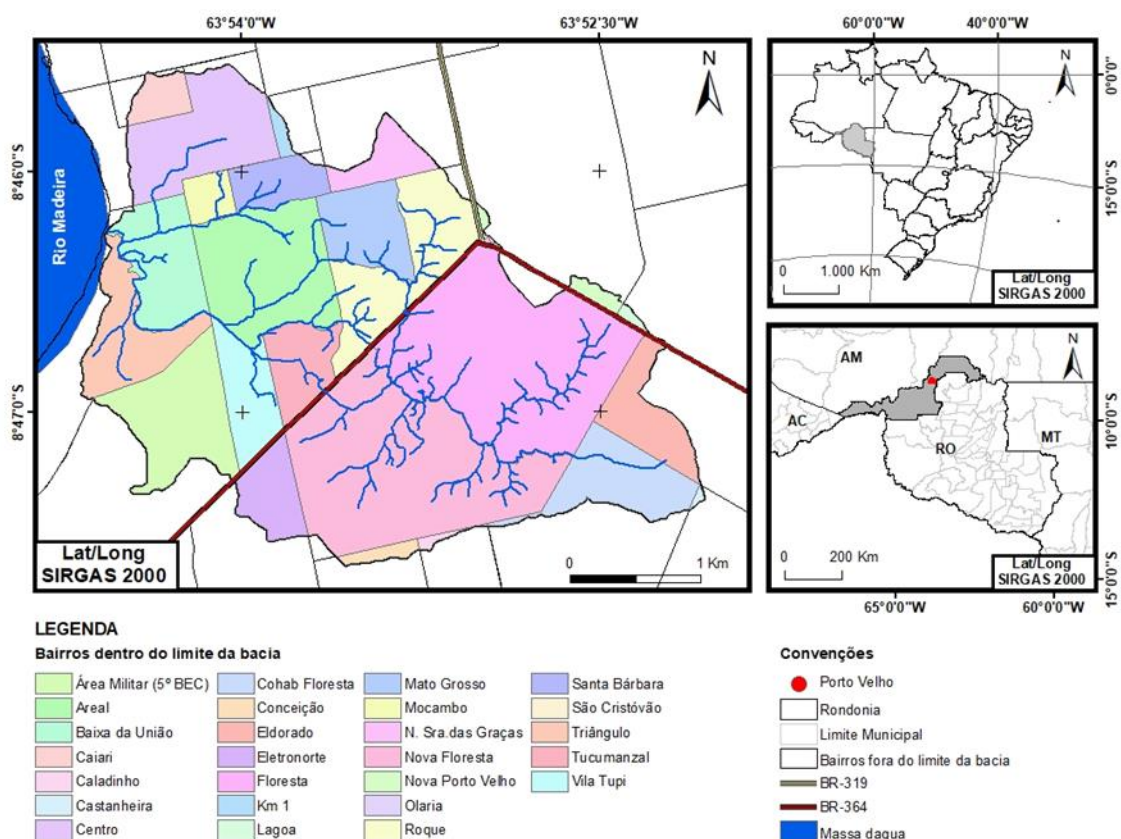
L_{CN}: Comprimento das curvas de nível dentro da bacia; **ΔH_{CN}**: Diferença de cotas entre as curvas de nível; **A**: Área (km²); **Pm**: ponto médio dado pela média aritmética das isoípsas adjacentes; **A_{cni}**: área entre duas curvas de nível (km²); **Hmax**: Altitude máxima; **Hmin**: Altitude mínima; **Ci**: limite inferior de altitude da classe com maior área; **Amx**: área com classe de maior frequência; **Aant**: área da classe anterior à classe modal; **Apos**: área posterior à classe modal; **ΔCN**: amplitude de cota da classe;

Área de Estudo

A bacia do Igarapé Grande está localizada na cidade de Porto Velho, Rondônia (Figura 1), delimitada pelas coordenadas geográficas 08° 45' 41" e 08° 47' 34" (latitude S) e 63° 52' 05" e 63° 54' 31" (longitude W), incluindo em seus limites a BR-364 (sul), Avenida Jatuarana (sudeste), Avenida Campos Sales (sudoeste), rio Madeira (noroeste) e Avenida Carlos Gomes (norte). O Igarapé Grande faz parte do grupo de seis sub-bacias que compõe a rede hidrográfica

urbana de Porto Velho, incluindo as sub-bacias do Bate Estacas, Belmont, rio das Garças, Tancredo Neves e Tanques (M. H. Alves, 2016). A bacia abrange 26 bairros, sendo eles: Área Militar (5°BEC), Areal, Baixa da União, Caiari, Caladinho, Castanheira, Centro, Cohab Floresta, Conceição, Eldorado, Eletronorte, Floresta, Km1, Lagoa, Mato Grosso, Mocambo, Nossa Senhora das Graças, Nova Floresta, Nova Porto Velho, Olaria, Roque, Santa Bárbara, São Cristóvão, Triângulo, Tucumanzal e Vila Tupi. A bacia com altitudes de 93m a 48m, possui 32,7km de extensão de canais de drenagem, sendo que o canal principal possui uma extensão longitudinal de 6,29km da nascente (Bairro Cohab) até a sua desembocadura no rio Madeira.

Figura 1. Localização da bacia do Igarapé Grande, Porto Velho, Rondônia



Resultados e Discussões

Parâmetros de Forma

Os resultados dos cálculos relacionados aos índices de forma estão listados no Quadro 4, tiveram como base os valores obtidos de área e perímetro da bacia do Igarapé Grande, respectivamente 11km² e 16km.

A bacia de estudo apresenta um índice de compacidade (K_c) de 1,44, situando-se no intervalo de 1,25 a 1,50, que indica forma oval e tendência mediana à suscetibilidade natural a inundações, conforme os critérios de Oliveira et al. (2012). O índice de conformação (K_f), com valor de 0,53, reforça essa tendência mediana para enchentes, seguindo a relação proposta por Villela e Mattos (1975), que afirma que um maior fator de forma aumenta a suscetibilidade a inundações. A bacia de estudo encontra-se dentro do intervalo de 0,75 a 0,50, sugerido por Oliveira et al. (2012), como bacias com tendência mediada a enchentes e inundações.

Quadro 4. Índices de forma da bacia do Igarapé Grande.

Símbolos	Índices	Valores	Unidades
	Valores Medidos		
A	Área da bacia	11,0	km ²
P	Perímetro da bacia	16,9	km
	Valores calculados		
K_c	Coeficiente de compacidade	1,44	-
K_f	Índice de conformação	0,53	-
I_c	Índice de circularidade	0,48	-
Re	Razão de alongação	0,82	-
I_{co}	Índice entre o comprimento e a área da bacia	1,37	-

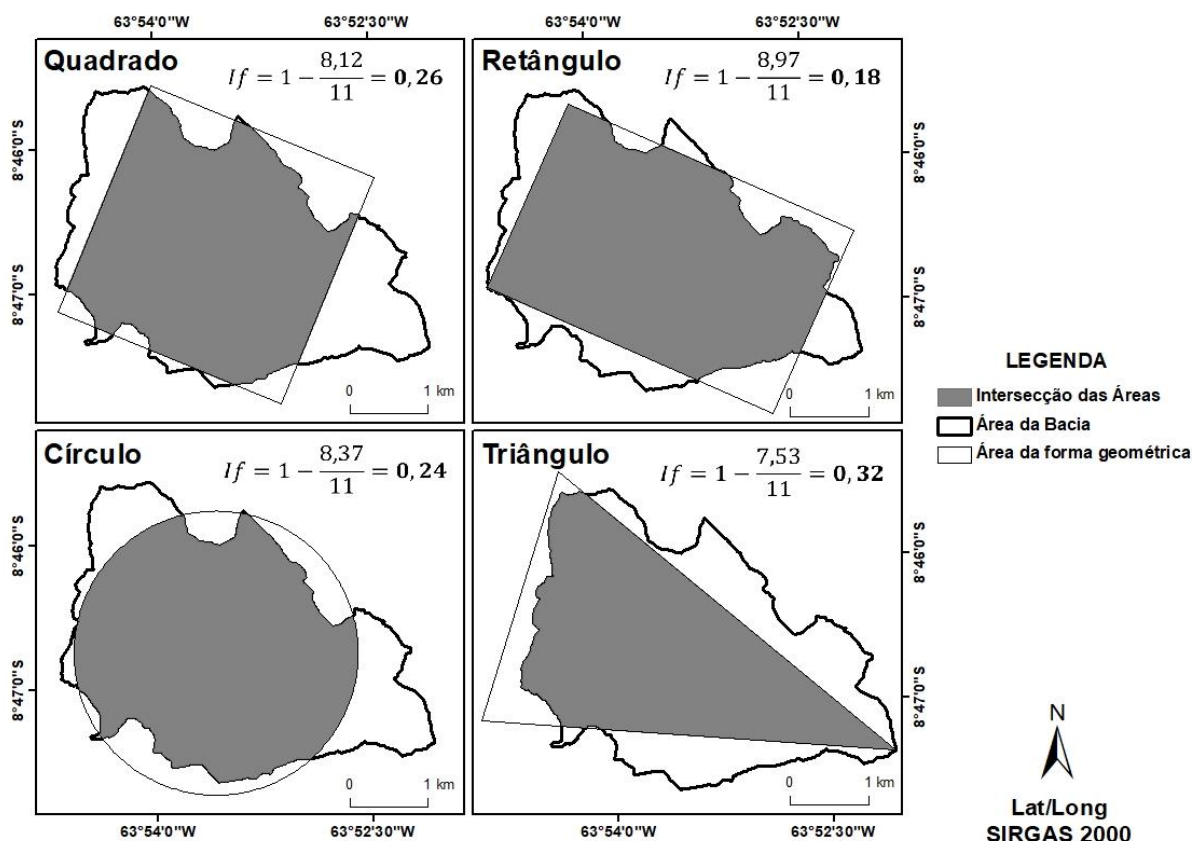
O índice de circularidade (I_c) representa a razão entre a área da bacia e a área do círculo com o perímetro igual ao da bacia (Bisht et al., 2018; Miller, 1953). O valor de 0,48 obtido nos cálculos de I_c revela que a bacia de estudo possui uma leve tendência alongada, segundo a classificação de Miller (1953) e Schumm (1956). Porém, a diferença de apenas 0,03 em relação ao valor de 0,51 como referência ($>0,51$ = bacias circulares; $<0,51$ bacias alongadas), é possível considerar a que bacia de estudo possui propensão para a ocorrência de inundações.

Resultados semelhantes nos parâmetros de forma foram encontrados por Carreiro et al. (2022) em um estudo morfométrico da bacia do riacho Catolé (PB), o qual obteve os índices 0,52 (K_f), 1,43 (K_c) e 0,46 (I_c). Conferindo à bacia um formato ovalado, sugerindo também, de acordo com os autores, uma tendência mediana às enchentes nesta bacia, considerando os fatores de forma.

A forma oval da bacia de estudo também é obtida com a utilização do índice de forma da bacia (I_f), com o retângulo ($I_f = 0,18$), seguida pelo círculo ($I_f = 0,24$), como melhores formas geométricas traçadas para cobrir a bacia de estudo (Figura 2), na classificação proposta por Lee e Salee (1970). Do mesmo modo, razão de alongação (R_e) de 0,82, que na classificação

de Strahler (1964), considerando o intervalo de Re de 0,8 a 0,9, apresenta formato oval e tendência mediana para a ocorrência de enchentes e inundações.

Figura 2. A bacia do Igarapé Grande segundo a determinação do índice de forma da bacia proposto por Lee e Salee (1970). Fonte: adaptado de Back (2014).



Parâmetros do sistema de drenagem

A análise do ordenamento dos canais de drenagem da bacia do Igarapé Grande, tem como base a classificação hierárquica de Horton (1945), com adaptações de Strahler (1952). A hierarquização de drenagem da bacia do Igarapé Grande possui características de 4ª ordem e sua rede constitui-se de 120 trechos de canais, dentre eles 91 canais de 1ª ordem, 23 canais de 2ª ordem, 5 canais de 3ª ordem e 1 canal de 4ª ordem.

A razão de bifurcação (Rb) da bacia de estudo variou de 3,96 a 5,0, com média de 4,52 (Tabela 1), valores considerados elevados segundo Strahler (1964). Esses valores estão associados ao formato alongado da bacia e indicam solos mais impermeáveis e baixa influência geológica no padrão de drenagem, resultando em uma resposta hidrológica lenta (Nag, 1998). A relação de bifurcação maior está ligada a áreas mais dissecadas em comparação a áreas

colinosas (Horton, 1945). Além disso, o índice Rlb, variando de 0,14 a 0,05, com média de 0,09, sugere uma baixa capacidade de armazenamento de água durante cheias ($Rlb < 0,50$), segundo Olabode et al. (2020).

Tabela 1. Razões de bifurcação, comprimentos médios, relações de comprimentos médios entre duas ordens subsequentes, relações entre os índices dos comprimentos médios e a razões de bifurcação da drenagem da bacia do Igarapé Grande.

Ordens	Nº de segmentos	R _b Razões de bifurcação	L _i Comprimentos dos canais	L _m Comprimentos médios dos canais	R _{lm} *	R _{lb} **
1	91	3,96	16,73	0,18	0,54	0,14
2	23	4,60	7,87	0,34	0,40	0,09
3	5	5,00	4,31	0,86	0,23	0,05
4	1	--	3,78	3,78	--	--
MÉDIA		4,52	8,18	0,46	0,39	0,09
TOTAL		120	32,70			

* Relações do comprimento médio entre duas ordens subsequentes; ** relações entre os índices do comprimento médio e bifurcação.

No Quadro 5 são apresentados os resultados obtidos para os índices relativos ao sistema de drenagem. Trata-se de resultados relacionados principalmente ao modo com que a água deixa a bacia hidrográfica (Cardoso et al., 2006).

A densidade de drenagem (Dd) da bacia de estudo, com valor de 2,97 km/km², indica alta densidade, conforme a classificação de Beltrame (1994). Essa alta densidade aumenta a velocidade com que a água atinge o canal principal, potencializando enchentes a jusante (Brubacher et al., 2011). Estudos como o de Moura et al. (2023) mostram que valores baixos de Dd, como 0,72 km/km², indicam maior infiltração e menor risco de extravasamento, enquanto valores altos, como 3,9 km/km² (Bahiru et al., 2024), sugerem natureza impermeável e baixa infiltração. Assim, o elevado Dd da bacia de estudo destaca a necessidade de cautela com relação aos riscos ambientais associados à ocupação que acentue a impermeabilização.

O elevado coeficiente de torrencialidade (Ct) da bacia de estudo, de 24,57, resultado do produto entre a densidade de drenagem ($Dd = 2,97 \text{ km/km}^2$) e a densidade de rios ($Dr = 8,26 \text{ km}$), sugere uma predisposição natural a inundações, conforme indicado por Pons Martí e Soriano Soto (1994). Os valores elevados de densidade de segmentos ($Fs = 6,12 \text{ canais/km}^2$) e densidade de confluências ($Dc = 7,90 \text{ confluências/km}^2$) também corroboram essa tendência, indicando uma bacia bem drenada, com terreno mais erodível e menos permeável, como discutido por Zavoianu (1985) e Schumm (1956).

Quadro 5. Índices do sistema de drenagem da bacia do Igarapé Grande.

Símbolos	Índices	Valores	Unidades
	Valores medidos		
Lt	Comprimento total de rios	32,33	Km
N	Número total de rios	91	
$\sum Ni$	Soma do número dos canais de todas as ordens	120	
Nc	Número de confluências	87	
L	Comprimento do rio principal	6,29	Km
Ev	Equivalente vetorial	4,62	km.km ⁻²
	Valores Calculados		
Dd	Densidade de drenagem	2,97	km.km ⁻²
Ems	Extensão média do escoamento	0,084	Km
Eps	Extensão do percurso superficial	0,168	km ⁻²
Dr	Densidade de rios	8,26	Km
Fs	Densidade de segmentos da bacia	6,12	Canais km ⁻²
Cm	Coefficiente de manutenção	336,49	m ² .m ⁻¹
Ct	Coefficiente de torrencialidade	24,57	
Dc	Densidade de confluências	7,9	Confluências km ⁻²
Is	Índice de sinuosidade	26,24	%
Sin	Sinuosidade do rio principal	1,35	

Os resultados do coeficiente de manutenção ($C_m = 336,49 \text{ m}^2/\text{m}$), extensão do percurso superficial ($E_{ps} = 168,0 \text{ m}$) e extensão média do escoamento superficial ($E_{ms} = 84,12 \text{ m}$) são inversamente proporcionais à D_d e indicam uma área mínima necessária para manter um metro de canal de escoamento e a distância percorrida pela água da chuva até o rio principal. Esses resultados estão alinhados com estudos que associam baixos valores de C_m (200 a $400 \text{ m}^2/\text{m}$) a altos valores de D_d , sugerindo boa capacidade de abastecimento dos canais de drenagem (Fiorese & Aguilar, 2022; Leite et al., 2023; Servidoni et al., 2021). A curta distância percorrida pelo escoamento na bacia de estudo indica uma moderada possibilidade de cheias rápidas, devido ao menor tempo de concentração da bacia (Fonseca & Silva, 2017).

A sinuosidade do rio principal (I_s) da bacia de estudo resultou em 26,29%, classificando o canal do Igarapé Grande como de tendência retilínea (Classe II). Canais retilíneos, segundo Fonseca e Silva (2017), têm maior capacidade de transporte de sedimentos e, quando combinados com a retirada da vegetação, podem levar ao assoreamento e aumentar o risco de enchentes em eventos de chuva extrema.

O índice de sinuosidade de 1,35, conforme a classificação de Alves e Castro (2003), aponta para uma sinuosidade transicional, que representa a relação entre o comprimento do

canal e seu talvegue, conforme Villela e Mattos (1975). Brubacher et al. (2011) observam que canais com sinuosidade transicional têm características tanto sinuosas quanto retilíneas, com as retilíneas associadas a maior transporte de sedimentos. Em bacias com pouca cobertura vegetal, isso pode aumentar o assoreamento e comprometer a capacidade de retenção de água. Na bacia de estudo, essa sinuosidade transicional sugere uma retenção relativa na velocidade do escoamento, prolongando o tempo de escoamento das águas.

Parâmetros do sistema de relevo

Considerando a influência direta da velocidade do escoamento superficial na classificação de relevos em função de suas declividades, para o estudo em apreço a avaliação da declividade foi realizada utilizando-se curvas de nível, apresentado por Horton (1945) (Figura 3 e Figura 4), observando-se que 90% da área da bacia possui relevo de plano (0 a 3%) a ondulado (até 20%). Somente próximo aos locais de deságue do canal principal da bacia, são encontrados relevos fortemente ondulados (superior a 20%), segundo critérios definidos por EMBRAPA (2018).

Figura 3. Diagrama de declividade (%) em relação a área (%) da bacia do Igarapé Grande.

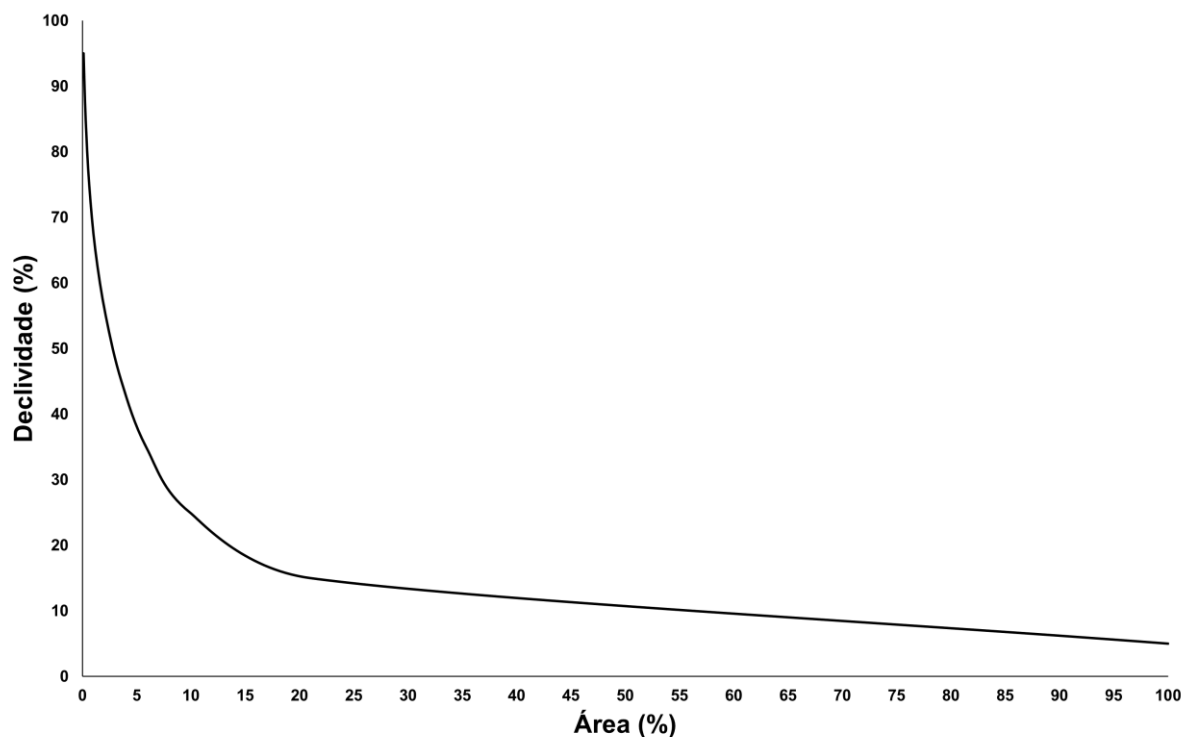
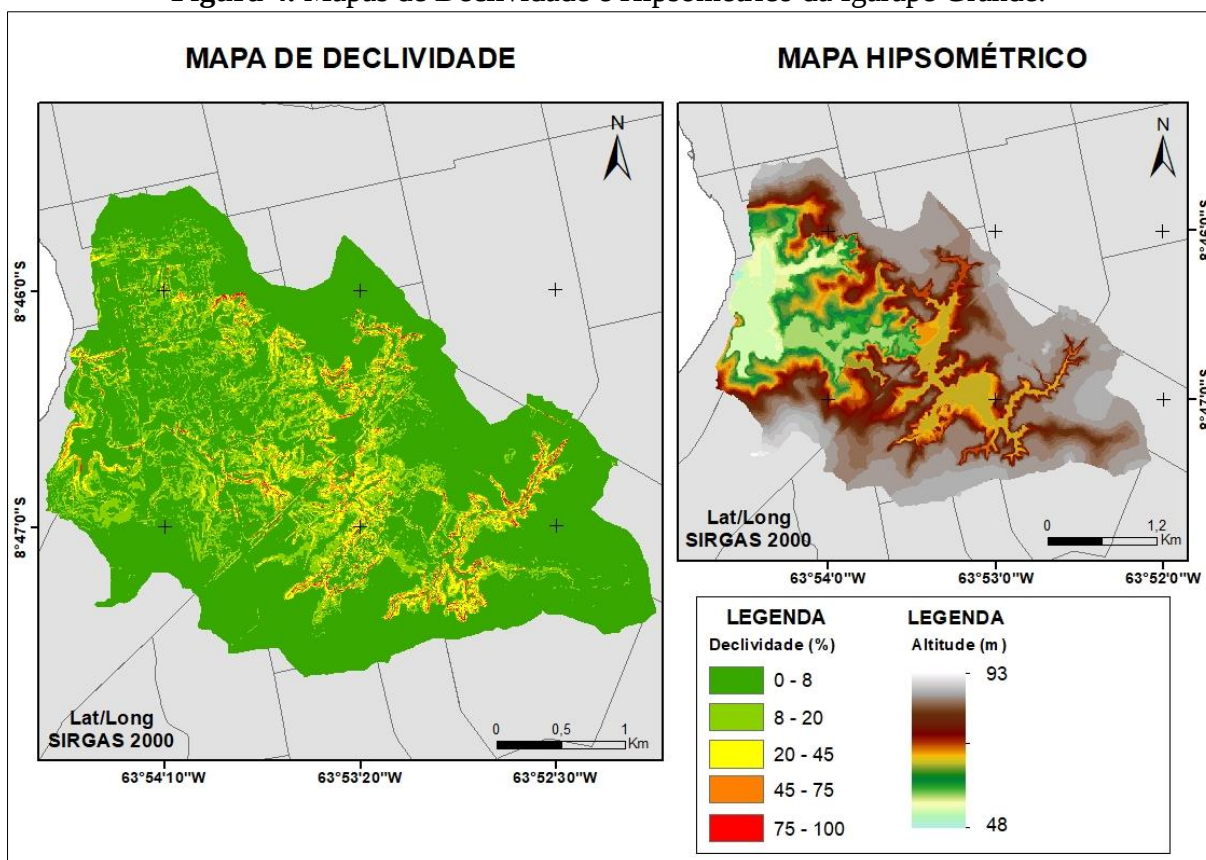


Figura 4. Mapas de Declividade e Hipsométrico da Igarapé Grande.



Na Tabela 2 e Figura 4 ilustram-se os dados de elevações da bacia do Igarapé Grande. Deles, são obtidos o perfil longitudinal da bacia e os dados topográficos, incluindo altitude média (78,35m), altitude máxima (93m), altitude mínima (48m), amplitude altimétrica (45m) e as altitudes mediana e modal (82,47m e 86,88m, respectivamente).

A análise da integral hipsométrica (H_i) da bacia do Igarapé Grande, ilustrada nas Figuras 5 e 6, indica um comportamento predominantemente jovem, com gradientes e declividades que aumentam rapidamente, conforme descrito por Strahler (1952) e Schumm (1956). Cerca de 67% da bacia apresenta uma curva hipsométrica convexa, o que sugere que os processos erosivos ainda predominam sobre a sedimentação. Esse cenário geomorfológico exige cuidado no processo de urbanização, especialmente em relação à supressão da cobertura vegetal e ao aumento da impermeabilização. A impermeabilização progressiva facilita o aumento de processos erosivos, o transporte de sedimentos, a diminuição da capacidade de armazenamento dos mananciais e a maior ocorrência de extremos de vazão nos cursos d'água (Machado & Torres, 2017).

Tabela 2. Dados de elevação utilizados para a elaboração da curva hipsométrica da bacia do Igarapé Grande.

Cota montante (m)	Cota jusante (m)	Ponto médio	Área (km ²)	Área acumulada (km ²)	Área acumulada (%)	Ponto médio, área
93	91	92	0,024	0,024	0,215	2,18
90	89	90	0,155	0,179	1,627	13,91
88	87	88	2,828	3,007	27,323	247,42
86	85	86	1,745	4,752	43,183	149,23
84	83	84	0,624	5,376	48,854	52,11
82	81	82	0,482	5,859	53,238	39,32
80	79	80	0,422	6,281	57,074	33,56
78	77	78	0,430	6,711	60,979	33,30
76	75	76	0,445	7,156	65,024	33,61
74	73	74	0,509	7,665	69,648	37,40
72	71	72	0,530	8,195	74,466	37,92
70	69	70	0,811	9,006	81,837	56,37
68	67	68	0,354	9,360	85,057	23,92
66	65	66	0,357	9,718	88,304	23,40
64	63	64	0,307	10,024	91,092	19,48
62	61	62	0,427	10,451	94,970	26,25
60	59	60	0,543	10,995	99,908	32,33
58	57	58	0,004	10,999	99,949	0,25
56	55	56	0,001	11,001	99,962	0,08
54	53	54	0,001	11,002	99,972	0,06
52	51	52	0,001	11,003	99,984	0,07
50	48	49	0,002	11,005	100,000	0,09
Total			11,002			862,26

Figura 5. Curva hipsométrica das altitudes com relação às áreas acumuladas da bacia do Igarapé Grande.

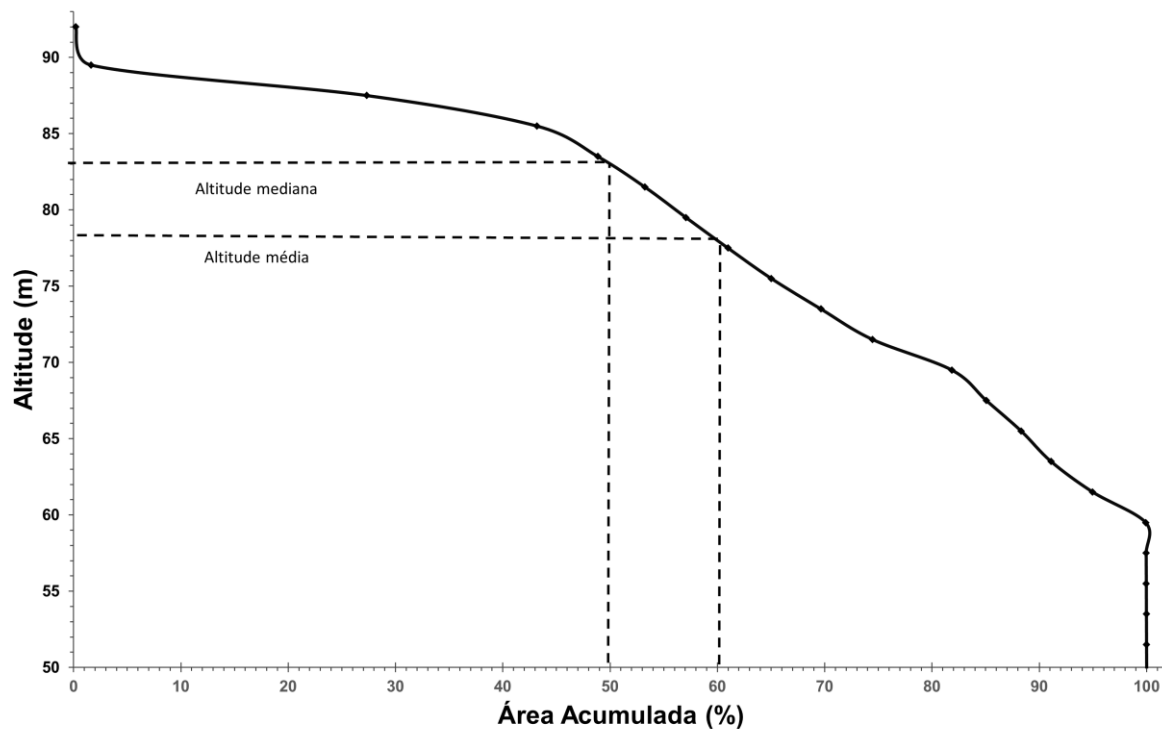
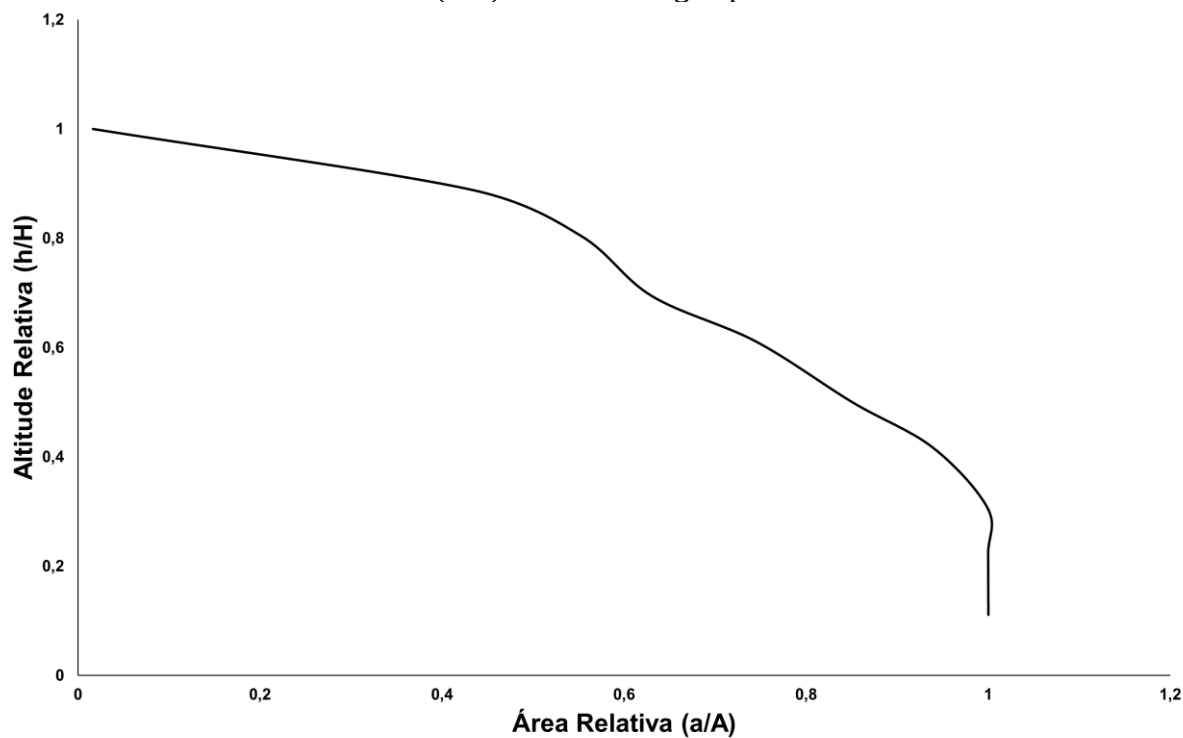


Figura 6. Curva hipsométrica normalizada das altitudes relativas (h/H) com relação às áreas relativas (a/A) da bacia do Igarapé Grande.



Os coeficientes de massividade (0,57) e orográfico (52,85) da bacia do Igarapé Grande confirmam a maior susceptibilidade a processos de denudação em relação à sedimentação, como indicado pelas curvas hipsométricas. A textura topográfica (Tt) de 5,58 classifica a bacia como de textura média, sugerindo intensidade média de entalhamento, de acordo com a classificação de Freitas (1952), e reforçando os achados dos coeficientes de massividade e orográfico.

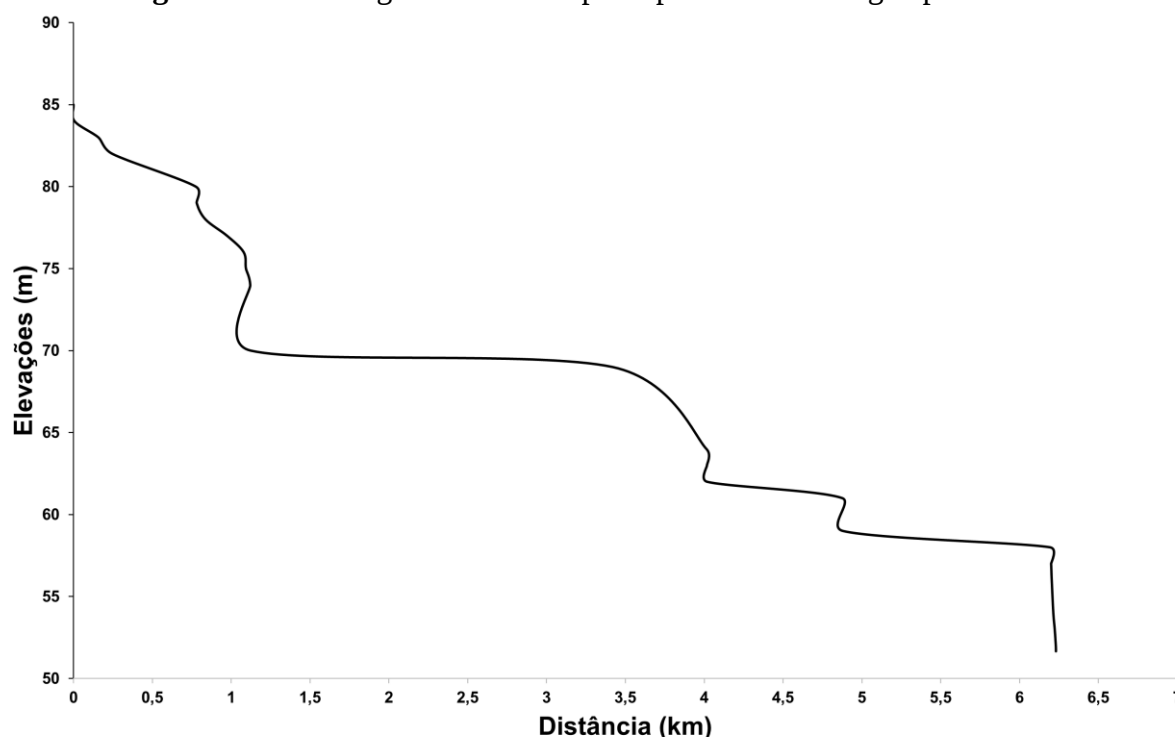
No Quadro 6 é apresentado os índices de relevo da bacia. A declividade média de 0,083 m/m, segundo o método das curvas de nível, classifica o relevo como suavemente ondulado (EMBRAPA, 2018), com porções planas nos divisores de água e maiores declividades próximas aos canais de drenagem, especialmente perto do deságue, o que favorece o escoamento superficial e aumenta o risco de enchentes. A combinação do relevo suavemente ondulado, baixa relação de relevo ($R_r = 0,016$), baixo coeficiente de rugosidade ($R_n = 24,68$), razão de textura ($R_t = 5,36$) e textura topográfica ($T_t = 5,58$) indica uma intensidade média para processos erosivos e a velocidade do escoamento superficial, facilitando a sedimentação nas proximidades da foz do canal principal e aumentando a recorrência de enchentes e inundações.

Quadro 6. Índices de relevo da bacia do Igarapé Grande.

Símbolos	Descrições dos índices	Valores	Unidades
L_{cn}	Comprimento das curvas de nível dentro da bacia	913,6	km
ΔCN	Diferença de cotas entre as curvas de nível	10,0	m
Dec	Declividade média	8,30	%
H_m	Altitude média	77,0	m
H_{máx}	Altitude máxima	93,0	m
H_{min}	Altitude mínima	48,0	m
ΔH	Amplitude altimétrica	45,0	m
H_{med}	Altitude mediana	82,47	m
H_{mod}	Altitude modal	88,05	m
K_m	Coeficiente de massividade	0,574	
K_o	Coeficiente orográfico	52,85	
H_m	Amplitude altimétrica máxima	77,0	
R_{r1}	Relação de relevo 1	16,92	m.km ⁻¹
R_{r2}	Relação de relevo 2	4,539	%
R_{r3}	Relação de relevo 3	23,21	m.km ⁻¹
R_n	Coeficiente de rugosidade	24,68	
F_t	Fator topográfico	67,22	
R_t	Razão de textura	5,36	
T_t	Textura topográfica	5,58	

O perfil longitudinal do canal de drenagem principal da bacia do Igarapé Grande (Figura 7) mostra a existência de declive acentuado nas proximidades de sua nascente (elevações de 70 a 80m), seguida de relevos mais planos na porção média a baixa de seu curso (altitudes inferiores a 60m). A inobservância do aumento proporcional da largura do canal principal de drenagem orientada para jusante, bem como da profundidade e velocidade do fluxo de água, e, conseqüentemente, da declividade de seu perfil longitudinal, Christofolletti (1980) e Novo (2008) apontam para a possibilidade de alterações hidráulicas na foz de bacias em decorrência de atividades urbanas.

Figura 7. Perfil longitudinal do rio principal da bacia do Igarapé Grande.



Conclusão

- As análises morfométricas realizadas na bacia do Igarapé Grande proporcionaram a geração de dados relacionados para a sua suscetibilidade à ocorrência de enchentes, inundações e alagamentos.
- Os resultados obtidos indicam a forma ovalar da bacia do Igarapé Grande, revelados pelos índices morfométricos de k_c (1,44), K_f (0,53), I_c (0,48), Re (0,82) e I_{co} (1,37), com mediana tendência natural à suscetibilidade para a ocorrência de enchentes e inundações segundo seus índices de forma.

- Os parâmetros de drenagem indicam que a bacia é bem drenada, como evidenciado pela densidade de drenagem (2,97). O alto índice de torrencialidade (24,57), combinado com a curta extensão do percurso superficial (168 m), sugere que a água da chuva percorre rapidamente até o canal de drenagem mais próximo, aumentando a tendência de cheias rápidas, especialmente no baixo curso do rio principal, sobretudo se a impermeabilização do solo continuar devido ao uso da terra.
- Os índices de relevo sugerem que a bacia é jovem, com escoamento superficial de médio a lento, devido à baixa amplitude altimétrica (45 m) e declividade média (8,3%). Essas características favorecem a deposição de sedimentos nas áreas de maior altitude, próximas às fozes dos tributários com o canal de drenagem principal, onde a declividade raramente ultrapassa 8%. Na porção média e alta da bacia, o escoamento mais lento, associado ao relevo relativamente plano (90% da área com declividade inferior a 20%), aumenta o risco de inundações e alagamentos.
- Os resultados desta pesquisa possibilitam vislumbrar propensão a enchentes, inundações e alagamentos na bacia do Igarapé Grande em face de possíveis modificações que possam ocorrer na área da bacia. Esses achados podem orientar estudos futuros sobre as mudanças contínuas resultantes do processo de ocupação da bacia, além de fomentar o desenvolvimento de planejamentos e políticas públicas. Tais medidas podem ajudar a minimizar danos ambientais presentes e futuros, melhorando, assim, as condições socioambientais da bacia e de áreas com características morfométricas e ocupacionais semelhantes.

Referências

- Alves, J. M. de P., & Castro, P. de T. A. (2003). *Influência das feições geológicas na morfologia da bacia do rio do Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos*. <http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/4117>
- Alves, M. H. (2016). *Modelo conceitual hidrogeológico do sistema aquífero poroso na área urbana e de expansão de Porto Velho, Rondônia* [Dissertação, Universidade Federal de Rondônia]. <https://ri.unir.br/jspui/handle/123456789/1559>

- Back, Á. J. (2014). *Bacias hidrográficas: Classificação e caracterização física (com o programa hidrobacias para cálculos)*. Epagri.
- Bahiru, T. K., Aldosary, A. S., Kafy, A.-A., Rahman, M. T., Nath, H., Kalaivani, S., Sarker, D., Alsulamy, S., Khedher, K. M., Shohan, A. A. A., Ferdous, M. N., & Elhag, M. (2024). Geospatial approach in modeling linear, areal, and relief morphometric interactions in Dabus river basin ecology for sustainable water resource management. *Groundwater for Sustainable Development*, 24, 101067. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2023.101067>
- Barcelos, G. da S. (2015). *Cidade imaginária e cidade real: Um estudo urbanístico sobre Porto Velho a partir do plano de ação imediata de 1972—2017* [Dissertação, Universidade Federal de Rondônia]. <https://posgeografia.unir.br/pagina/exibir/490>
- Beltrame, A. D. V. (1994). *Diagnostico Do Meio Fisico De Bacias Hidrograficas*. Editora UFSC.
- Bezerra, S. F., Justina, E. E. D., Sampaio, S. F., & Araujo, M. S. (2012). Diagnóstico, avaliação e monitoramento das áreas de risco na bacia do Igarapé Grande—Porto Velho-RO. *Revista Geonorte*, 3(4), Artigo 4.
- Bisht, S., Chaudhry, S., Sharma, S., & Soni, S. (2018). Assessment of flash flood vulnerability zonation through Geospatial technique in high altitude Himalayan watershed, Himachal Pradesh India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 12, 35–47. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.09.001>
- Botelho, R. G. M., & Silva, A. S. (2012). Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental. Em *Reflexões sobre a geografia física no Brasil*. Bertrand Brasil.
- Brasil, Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Política Nacional de Recursos Hídricos, 9433 (1997). https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm
- Brubacher, J. P., Oliveira, G. G. de, & Guasselli, L. A. (2011). Suscetibilidade de enchentes a partir da análise das variáveis morfométricas na bacia hidrográfica do rio dos Sinos/RS. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 15 (SBSR), 1279–1286. <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.26.17.48/doc/thisInformationItemHomePage.html>

- Cardoso, C. A., Dias, H. C. T., Soares, C. P. B., & Martins, S. V. (2006). Caracterização morfológica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. *Revista Árvore*, 30, 241–248. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000200011>
- Carreiro, D. de A., Silva, T. J. R. D. da, Ferreira, M. K. de S., & Medeiros, F. C. de A. (2022). Caracterização morfológica da bacia hidrográfica do riacho Catolé, Paraíba, Brasil. *Revista AIDIS de ingeniería y ciencias ambientales: Investigación, desarrollo y práctica*, 1286–1300. <https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2022.15.3.81218>
- Christofolletti, A. (1980). *Geomorfologia* (2ª edição). Blucher.
- EMBRAPA, E. B. de P. A. (2018). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Embrapa.
- Fiorese, C. H. U., & Aguilar, T. O. de. (2022). Morfometria da sub-bacia hidrográfica do ribeirão São Domingos, no município de Muniz Freire (ES). *Caderno de Ciências Agrárias*, 14, 1–7. <https://doi.org/10.35699/2447-6218.2022.37152>
- Fonseca, E. L. da, & Silva, E. P. da. (2017). Análise fisiográfica como subsídio ao estudo da suscetibilidade erosiva em bacias hidrográficas. *Acta Geográfica*, 11(25), Artigo 25. <https://doi.org/10.18227/2177-4307.acta.v11i25.4029>
- Fournier, F. (1960). *Climat et érosion: La relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques*. Presses universitaires de France.
- França, G. V. de. (1968). *Interpretação fotográfica de bacias e de redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba* [Text, Universidade de São Paulo]. <https://doi.org/10.11606/T.11.1900.tde-20231122-093027>
- Freitas, R. O. D. (1952). Textura da drenagem e sua aplicação geomorfológica. *Boletim Paulista de Geografia*, 11, Artigo 11.
- Graciosa, M. C. P. (2010). *Modelo de seguro para riscos hidrológicos com base em simulação hidráulico-hidrológica como ferramenta de gestão do risco de inundações*. Universidade de São Paulo.

- Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *GSA Bulletin*, 56(3), 275–370. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56\[275:EDOSAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2)
- Lee, D. R., & Sallee, G. T. (1970). A Method of Measuring Shape. *Geographical Review*, 60(4), 555–563. <https://doi.org/10.2307/213774>
- Leite, R. V., Peixoto, M. N. O., Freitas, F., Ramos, R. R. C., & Araújo, P. F. C. (2023). Caracterização morfométrica da bacia do Rio Pirapetinga, Resende—RJ. *Geo UERJ*, 42, Artigo 42. <https://doi.org/10.12957/geouerj.2023.69217>
- Machado, P. J. de O., & Torres, F. T. P. (2017). *Introdução à Hidrogeografia*.
- Mansikkaniemi, H. (1970). The sinuosity of rivers in northern Finland. *Publicationes Instituti Geographici Universitatis Turkuensis*, p.16-32.
- Melton, M. A. (1957). *An Analysis of the Relations Among Elements of Climate, Surface Properties, and Geomorphology*. Department of Geology, Columbia University.
- Miller, V. C. (1953). *A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area Virginia and Tennessee*. <https://apps.dtic.mil/sti/citations/tr/AD0057755>
- Moura, B. T., Farias, C. W. L. de A., Ferreira, T. K. de O., Silva, A. M. da, Chagas, A. M. S. das, & Montenegro, A. A. de A. (2023). Análise morfométrica da bacia do Rio Taperoá, Semiárido do Nordeste brasileiro utilizando o Modelo Swat. *XXV SBRH - Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=15527>
- Moutinho, M., & Robrahn-González, E. M. (2010). *Memórias de Rondônia*.
- Nadalin, V. G., Krause, C. H., & Lima Neto, V. C. (Editor). (2016). Distribuição de aglomerados subnormais na rede urbana e nas grandes regiões brasileiras. Em *Caracterização e tipologia de assentamentos precários: Estudos de caso brasileiros*. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/6801>

- Nag, S. K. (1998). Morphometric analysis using remote sensing techniques in the chaka sub-basin, purulia district, West Bengal. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF03007341>
- Novo, E. M. L. de M. (2008). Ambientes Fluviais. Em *Geomorfologia Por Sensoriamento Remoto*. Oficina de Textos.
- Olabode, O., Oluwaniyi, O., Adebayo, Q., & Asiwaju-Bello, Y. (2020). Morpho-lithostructural analysis of Ala River basin for flood risk assessment: Geospatial techniques intervention. *Earth Science Informatics*, 13. <https://doi.org/10.1007/s12145-020-00457-6>
- Oliveira, A. H., Silva, M. A., Silva, M. L. N., Avanzi, J. C., Curi, N., Lima, G. C., & Pereira, P. H. (2012). *Caracterização ambiental e predição dos teores de matéria orgânica do solo na Sub-Bacia do Salto, Extrema, MG*. - Portal Embrapa. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/923079/caracterizacao-ambiental-e-predicao-dos-teores-de-materia-organica-do-solo-na-sub-bacia-do-salto-extrema-mg>
- Périco, E., Cemin, G., & Mohr, L. R. da S. (2012). Fisiografia da bacia hidrográfica do rio Forqueta, RS, sul do Brasil. *Scientia Plena*, 8(9), Artigo 9. <https://www.scientiaplenua.org.br/sp/article/view/1047>
- Pons Martí, V., & Soriano Soto, M. D. (1994). *Valores del coeficiente de torrencialidad R: Su cálculo y distribución para la provincia de Castellón*. <http://hdl.handle.net/10550/30904>
- Porto, M. F. A., & Porto, R. L. L. (2008). Gestão de bacias hidrográficas. *Estudos Avançados*, 22(63), Artigo 63.
- Rondônia, Lei Complementar nº 255 de 25 de janeiro de 2002. Institui a Política, cria o Sistema de Gerenciamento e o Fundo de Recursos Hídricos do Estado de Rondônia e dá outras providências. (2002).
- Santos, S. F. dos (Org.). (2007). *Vulnerabilidade ambiental: Desastres naturais ou fenômenos induzidos?* <https://edisciplinas.usp.br/mod/resource/view.php?id=4992221&forceview=1>

- Schumm, S. A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geological Society of America Bulletin*, 67(5), 597.
[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)
- SEMPOG. (2018). *Secretaria de Planejamento, Orçamento e Gestão de Porto Velho, RO. Revisão do plano diretor participativo do município de Porto Velho, RO. Produto 3 Diagnóstico Consolidado.*
- Servidoni, L. E., Ayer, J. E. B., Estella, P. V. M., Oliveira, G. H. de, & Mincato, R. L. (2021). Atributos morfométricos e hidrológicos da Bacia Hidrográfica do Alto Sapucaí, Minas Gerais. *Revista do Departamento de Geografia*, 41, e169817–e169817.
<https://doi.org/10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2021.169817>
- Silva, A. S. (2011). Solos Urbanos. Em *Geomorfologia urbana*.
- Souza, C. R. de G. (2005). Suscetibilidade morfométrica de bacias de drenagem ao desenvolvimento de inundações em áreas costeiras. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 6(1), Artigo 1. <https://doi.org/10.20502/rbg.v6i1.38>
- Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *GSA Bulletin*, 63(11), 1117–1142. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[1117:HAAOET\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2)
- Strahler, A. N. (1964). Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks, section 4II. Em *Handbook of applied hydrology: A compendium of water-resources technology* (p. 4–39, 4–76). McGraw-Hill.
- Tucci, C., & Clarke, R. (1997). Impactos das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: Revisão. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 2(1), 135–152.
<https://doi.org/10.21168/rbrh.v2n1.p135-152>
- Tucci, C. E. M. (2007). *Inundações urbanas*. Abrh.
- Tucci, C. E. M., & Bertoni, J. C. (Orgs.). (2016). *Inundações urbanas na América do Sul*. Abrh.
- Villela, S. M., & Mattos, A. (1975). *Hidrologia Aplicada*. McGraw-Hill do Brasil.

Zavoianu, I. (1985). Morphometry of Drainage Basins. Em XF2006256478.

Publisher: Universidade Federal de Jataí. Instituto de Geografia. Programa de Pós-graduação em Geografia. Publicação no Portal de Periódicos UFJ. As ideias expressadas neste artigo são de responsabilidade de seus autores, não representando, necessariamente, a opinião dos editores ou da universidade.

Contribuições dos autores: Evanleide Rodrigues da Silva: Conceituação, Curadoria de dados, Investigação, Escrita – rascunho original; Reginaldo Martins da Silva de Souza: Validação, Escrita – revisão; Vanderlei Maniesi: Validação, Escrita – revisão. Declaramos ainda ciência das Diretrizes Gerais da Geoambiente On-line.

Financiamento/agradecimento: Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente (PGDRA/UNIR)

Conflito de interesse: Os autores declaram que não possuem interesses financeiros ou não financeiros relevantes relacionados a este trabalho.