

Morphometric characterization of the Igarapé Quarenta Horas hydrographic basin in the municipality of Ananindeua, Pará

Diego L. Crispim^{*}, Paulo E. S. Bezerra^{**}, Gabriel V. B. de A. Lima^{***}, Lindemberg L. Fernandes^{****}

^{*}Doutorando em Engenharia Civil – PPGEC/UFPA. E-mail: dlimacrispim@gmail.com (autor correspondente)

^{**}Mestre em Engenharia Civil – PPGEC/UFPA. E-mail: pauloeduardoea@gmail.com

^{***}Mestrando em Engenharia Civil – PPGEC/UFPA. E-mail: gabrielvbal@gmail.com

^{****}Professor Dr., Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC/UFPA. E-mail: lberge@ufpa.br

Received 20 October 2020; accepted 20 May 2021

Abstract

Urban hydrographic basins are susceptible to the intensive anthropic action of the surroundings, which insufficiently ordered spatial occupation results in losses for both the population and the environment. In this regard, knowing the morphological characteristics of hydrographic basins is a fundamental step in the construction of public policies for the sustainable management of urban waters. With this in mind, this study aimed to carry out the morphometric characterization of the hydrographic basin of the Igarapé Quarenta Horas, located in the municipality of Ananindeua-PA, Northern Brazil. The methods involved GIS tools and the application of Digital Elevation Models, which allowed quantifying geometric, drainage, and relief network characteristics, resulting in 33 identified variables. Results indicated the basin has satisfactory drainage conditions with no tendency to flood. However, this municipality has the lowest level of basic sanitation in Brazil, which justifies the occurrence of constant flooding even with the natural morphometric facility of that area.

Keywords: urban water management, morphometric analysis, flooding.

Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Igarapé Quarenta Horas no município de Ananindeua, Pará

Resumo

Bacias Hidrográficas urbanas estão suscetíveis à intensiva ação antrópica do entorno, cuja ocupação espacial insuficientemente ordenada resulta em prejuízos tanto para a população quanto para o meio ambiente. Sobre isso, conhecer as características morfológicas das bacias hidrográficas é uma etapa fundamental na construção de políticas públicas de gestão sustentável de águas urbanas. Tendo isso em vista, este estudo objetivou realizar a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Igarapé Quarenta Horas, localizado no município de Ananindeua-PA, Norte do Brasil. Os métodos envolveram ferramentas SIG e aplicação de Modelos Digitais de Elevação, que permitiram quantificar características geométricas, da rede de drenagem e de relevo, resultando em 33 variáveis identificadas. Resultados indicaram que a bacia apresenta condições satisfatórias de escoamento, não sendo suscetível a inundações. Contudo, o município apresenta o menor índice de saneamento básico do Brasil, o que justifica a ocorrência de constantes alagamentos mesmo com a natural facilidade morfométrica da área.

Palavras-chave: gestão de águas urbanas, análise morfométrica, inundações.

1. Introdução

Problemas urbanos associados à incompatibilidade entre os espaços antrópico e natural estão cada vez mais recorrentes, especialmente em cidades onde instrumentos de planejamento de uso e ocupação do solo são insuficientemente aplicados (Lima et al., 2020). Alagamentos (Segundo et al., 2020), incidência de doenças endêmicas (Lima et al., 2018), desconforto térmico (Crispim et al., 2018) e redução dos padrões de qualidade da água (Castro et al., 2020) são alguns

exemplos do resultado da pressão humana sobre sistemas ambientais localizados em áreas urbanas.

Nesse espectro, os recursos hídricos urbanos adquirem vital importância no desenvolvimento de regiões naturais que incorporam saúde ambiental e sanitária à paisagem urbana (Dias et al., 2020). Definida por Tucci (2012) como a unidade físico-territorial fundamental para o planejamento e gestão ambiental do território, a bacia hidrográfica é um espaço geográfico que delimita as redes hídricas de determinada região, possibilitando analisar diversos usos e interesses pela água, de modo

a garantir sua qualidade e disponibilidade (Santos et al., 2018).

Para subsidiar o gerenciamento adequado dos recursos hídricos urbanos, é necessário conhecer a morfologia da bacia hidrográfica, estabelecendo seus parâmetros quantitativos de maneira precisa e confiável (Silva et al., 2020). Dessa forma, a análise morfométrica auxilia no diagnóstico hidrológico inicial de uma determinada bacia, estimando seu desempenho hídrico em consonância com parâmetros geomorfológicos, sendo uma etapa essencial no entendimento da dinâmica hídrica da região (Vincy et al., 2012).

Segundo Tucci (2012), a resposta hidrológica da bacia hidrográfica pode ser relacionada as suas características fisiográficas, como tamanho, forma, declividade, densidade hídrica e extensão. Esse tipo de análise fornece não somente uma descrição elegante da paisagem hidrográfica, como também pode ser utilizada como uma eficaz ferramenta de comparação de forma e desempenho hidrológico entre bacias que podem estar separadas temporal e espacialmente (Radwan et al., 2020).

Dentre as técnicas de caracterização geoambiental, destaca-se o uso de ferramentas de Sistema de Informações Geográficas (SIG). Largamente utilizadas para realizar a caracterização morfométrica de bacias hidrográficas (Guidolini et al., 2020; Jothimani et al., 2020; Patle et al., 2020; Rajasekhar et al., 2020), as ferramentas SIG são preferidas em função da rapidez e precisão de cálculo de diversas variáveis geomorfológicas, com capacidade de processamento e armazenamento de informações em volumes considerados e áreas com

alta resolução espacial, sem deprender necessariamente de robusto suporte tecnológico (Santos et al., 2017).

Assim, este estudo objetivou realizar a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Igarapé Quarenta Horas, localizado no município de Ananindeua, segunda maior cidade do estado do Pará, Norte do Brasil. A rápida e precária urbanização deste município, aliadas à pressão substancial das aglomerações antrópicas no entorno dessa bacia hidrográfica motivaram a elaboração deste estudo, podendo beneficiar posteriores planos de gestão e intervenção da área em função da preservação ambiental e garantia do uso consciente dos recursos hídricos urbanos. Para isso, foi utilizada uma ferramenta SIG que possibilitou o desenvolvimento da caracterização morfométrica da bacia hidrográfica em questão por meio de Modelos Digitais de Elevação (MDE), amplamente empregados na caracterização de bacias hidrográficas.

2. Material e métodos

Área de estudo

A área de estudo abrange a bacia hidrográfica do Igarapé Quarenta Horas, localizado no município de Ananindeua, Região Metropolitana de Belém (RMB), estado do Pará. A bacia do Quarenta Horas compreende trechos dos bairros Cidade Nova, Icuí Guajará, Icuí Laranjeira, Jiboia Branca e Quarenta Horas, com uma extensão territorial de 5,49 km² (Figura 1).

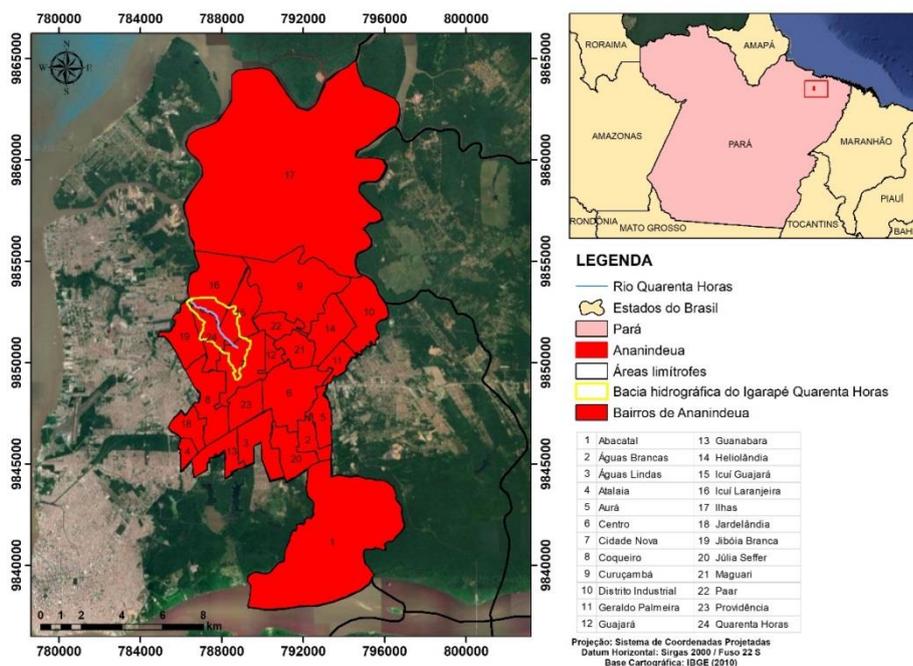


Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do Igarapé Quarenta Horas, Ananindeua, Pará.

A bacia do Igarapé Quarenta Horas está situada em uma área com rápido e desorganizado crescimento urbano, ocasionado pelo lançamento de conjuntos habitacionais e ocupações subnormais em áreas próximas ao rio Quarenta Horas. Problemas urbanos como alagamentos são comuns nesta região, advindos da confluência de fatores como insuficiência da rede de microdrenagem, alta impermeabilização do solo e intensificação da ocorrência de chuvas (Brito et al., 2020).

Modelo Digital de Elevação (MDE) e delimitação das bacias

O Modelo Digital de Elevação (MDE) empregado nessa pesquisa foi o Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), disponibilizado no banco de dados geométricos do Brasil, projeto TOPODATA, com uma resolução espacial de 30

metros. Esse mesmo método foi aplicado por Silva et al. (2020) na mesma área metropolitana de estudo e foi considerado satisfatório na análise morfométrica dessas bacias hidrográficas. Depois da obtenção do arquivo “01S495ZN”, realizou-se à modificação do sistema de projeção para UTM e Datum SIRGAS 2000, fuso 22S. Para realizar o pré-processamento, processamento e tratamento dos dados digitais para elaboração dos mapas de elevação, declividade e rede de drenagem empregou-se o software ArcGIS 10.5/ ArcMap (r) do ESRI.

Caracterização Morfométrica

A análise morfométrica da bacia hidrográfica do Igarapé Quarenta Horas foi realizada através das características geométricas, rede de drenagem e relevo (Tabela 1).

Tabela 1 - Parâmetros e métodos de cálculos para determinação das características geométricas, rede de drenagem e relevo.

Parâmetros morfométricos	Equações	Descrição	Unidades	Referências
Características geométricas				
Área da bacia (A)	Definido pelo software de SIG	Consiste na área drenada	km ²	(Schumm, 1956)
Perímetro da bacia (P)	Definido pelo software de SIG	Comprimento da divisão da bacia hidrográfica que circunda a bacia	km	(Schumm, 1956)
Comprimento axial da bacia (L _a)	Definido pelo software de SIG	O ponto mais distante do exutório em linha reta	km	(Schumm, 1956)
Largura média da bacia (L _m)	$L_m = A / L_a$	A - Área total da bacia; L _a - Comprimento axial da bacia.	km	(Horton, 1945)
Coefficiente de compacidade (K _c)	$K_c = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$	P - Perímetro; A - Área da bacia.	Adimensional	(Horton, 1945)
Índice de circularidade (I _c)	$I_c = 12,57 \times \frac{A}{P^2}$	A - Área da bacia; P - Perímetro.	Adimensional	(Miller, 1953)
Índice de alongamento (I _a)	$I_a = 2 \times \frac{\sqrt{A}}{L_a}$	A - Área total da bacia; L _a - Comprimento axial da bacia.	Adimensional	(Schumm, 1956)
Razão de alongação (Re)	$Re = 1,128 \times \frac{A^{0,5}}{L_a}$	A - Área total da bacia; L _a - Comprimento axial da bacia.	Adimensional	(Schumm, 1956)
Fator de forma (Fa)	$Fa = A / L_a^2$	A - Área da bacia; L _a - Comprimento axial da bacia.	Adimensional	(Horton, 1932)
Características da rede de drenagem				
Comprimento do rio principal (L)	Definido pelo software de SIG	Da nascente ao exutório	km	(Horton, 1932)
Comprimento do talvegue	Definido pelo	Comprimento do rio	km	(Horton, 1932)

do rio principal (L_{tal})	software de SIG	principal em linha reta		
Comprimento total dos cursos d'água (L_t)	Definido pelo software de SIG	Soma de todos os canais da bacia	km	(Horton, 1932)
Densidade hidrográfica (Dh)	$Dh = N_1 / A$	N_1 - Comprimento dos canais de 1ª ordem; A - área total da bacia.	canais/km ²	(Lollo, 1995)
Densidade de drenagem (Dd)	$Dd = L_t / A$	Lt - Comprimento total dos cursos d'água; A - Área total da bacia.	km / km ²	(Horton, 1932)
Coefficiente de Manutenção (Cm)	$Cm = (1/Dd) \times 1000$	Dd - Densidade de drenagem	m ² / m	(Schumm, 1956)
Sinuosidade (S)	$S = L / L_{tal}$	L - Comprimento do rio principal; L_{tal} - Comprimento do talvegue do rio principal.	km / km ⁻¹	(Mansikkaniemi, 1972)
Índice de Sinuosidade (Is)	$Is = 100 \times (L - L_{tal}) / L$	L - Comprimento do rio principal; L_{tal} - Comprimento do talvegue do rio principal.	(%)	(Mansikkaniemi, 1972)
Quantidade de cursos d'água (Qs)	Definido pelo software de SIG	Soma de todos os canais da bacia	Adimensional	(Horton, 1932)
Ordem da bacia	Definido pelo software de SIG	Classificação hierárquica	Adimensional	(Strahler, 1957)
Frequência de fluxo (Fs)	$Fs = Qs / A$	Qs - Quantidade de cursos d'água; A - Área da bacia	km ⁻²	(Horton, 1932)
Comprimento do fluxo superficial (Lg)	$Lg = 1 / Dd \times 2$	Dd - Densidade de drenagem	km	(Horton, 1932)
Textura de drenagem (Rt)	$Rt = Dd \times Fs$	Dd - Densidade de drenagem; Fs - Frequência de fluxo	km	(Smith, 1950)
Proporção de textura (T)	$T = N_1 / P$	N_1 - Rios de primeira ordem; P - Perímetro.	km ⁻¹	(Horton, 1932)

Características do relevo

Altitude mínima	Definido pelo software de SIG utilizando MDE	-	m	(Santos et al., 2017)
Altitude máxima	Definido pelo software de SIG utilizando MDE	-	m	(Santos et al., 2017)
Altitude média	Definido pelo software de SIG utilizando MDE	-	m	(Santos et al., 2017)
Amplitude de relevo (R_f)	$R_f = \text{Maior elevação} - \text{Menor elevação}$	-	m	(Strahler, 1957)
Declividade mínima	Definido pelo software de SIG utilizando MDE	-	(%)	(Santos et al., 2017)
Declividade média	Definido pelo	-	(%)	(Santos et al.,

		software de SIG utilizando MDE		2017)
Declividade máxima		Definido pelo software de SIG utilizando MDE	-	(%) (Santos et al., 2017)
Coefficiente de rugosidade (Cr)	$Cr = Hdm \times Dd$		Dd - Densidade de drenagem (km/km ²); Hdm – Declividade média da bacia (m/m).	Adimensional (Fraga et al., 2014)
Razão do relevo (RR)	$RR = R_f / La$	R _f - Amplitude de relevo; La - Comprimento axial do canal.	Adimensional	(Horton, 1932)
Número de robustez (Rn)	$Rn = R_f \times Dd$	R _f - Amplitude de relevo; Dd - Densidade de drenagem	Adimensional	(Schumm, 1956)

Fonte: Dados da pesquisa (2020).

3. Resultados e discussão

Conforme observa-se na Figura 2, a bacia hidrográfica do Igarapé Quarenta Horas é classificada como de 4ª ordem, segundo o método de Strahler (1957). A porcentagem de canais de drenagem de 1ª ordem é superior quando comparada as demais ordens, visto que, do total de 43 canais, 21 são de 1ª

ordem, representando 49,0% do total de canais da bacia. Além disso, os canais de drenagem de 1ª ordem possuem uma extensão de 8,39 km, cerca de 53,0% do comprimento total da rede de drenagem (L_{total}), que é de 15,73 km. O rio principal dentro da bacia é o Quarenta Horas, que tem um comprimento (L_b) de 4,47 km.

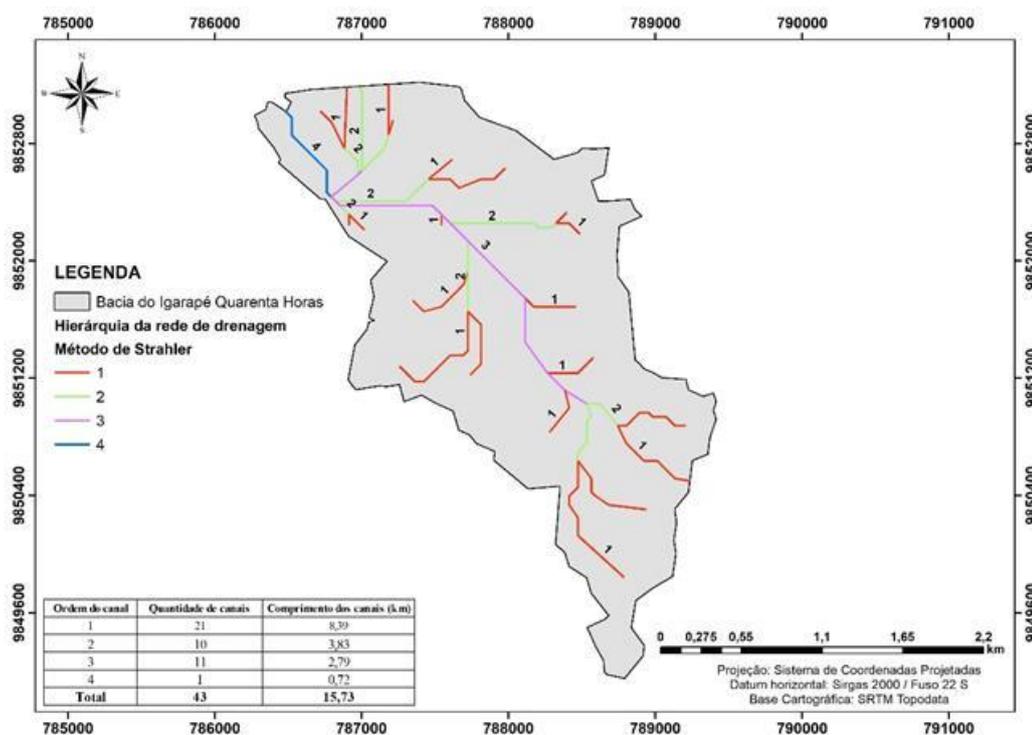


Figura 2 – Ordenamento dos rios da bacia hidrográfica do Igarapé Quarenta Horas pelo método de Strahler.

Os parâmetros morfométricos resultantes da caracterização geométrica são apresentados na Tabela 2. Os principais parâmetros medidos da bacia

hidrográfica do Igarapé Quarenta Horas foram área de drenagem (A) com 5,49 km², perímetro (P) de 13,60 km, comprimento axial da bacia (La) de 9,23

km, e largura média da bacia (L_m) de 0,59 km. Os resultados referentes ao coeficiente de compacidade (K_c) de 1,63, e aos índices de circularidade (I_c) e alongamento (I_a) foram de 1,63, 0,37 e 0,16, respectivamente, indicando uma baixa tendência a enchentes, conforme descrevem Gerber et al. (2018).

Tabela 2 - Características geométricas da bacia hidrográfica do Igarapé Quarenta Horas.

Características geométricas	Resultados
Área (A)	5,49 km ²
Perímetro (P)	13,60 km
Comprimento axial da bacia (L_a)	9,23 km
Largura média da bacia (L_m)	0,59 km
Coeficiente de compacidade (K_c)	1,63
Índice de circularidade (I_c)	0,37
Índice de alongamento (I_a)	0,16
Razão de alongação (R_e)	0,29
Fator de forma (F_a)	0,06

Fonte: Dados da pesquisa (2020).

O baixo fator de forma da bacia (0,06) corrobora com a indicação de que a ocorrência de enchentes é pouco provável do ponto de vista geométrico (Castro et al., 2020). O parâmetro razão de alongação (R_e) apresenta um valor de 0,29, denotando bacia de forma alongada. Deste modo, os parâmetros de forma mostram uma bacia alongada em que a chegada das águas e o escoamento superficial, no canal principal da bacia é distribuída no decorrer do tempo, reduzindo a tendência de grandes cheias no canal principal.

Resultados similares foram encontrados no estudo de Santos et al. (2017) nas bacias hidrográficas Maguari-Açú no município de Ananindeua – PA e na bacia Caraparu, no município de Santa Isabel do Pará (ainda dentro da RMB), os quais observaram que essas bacias não possuem tendências a enchentes em situações normais de precipitação. Tais estudos induzem fortemente a confiabilidade dos resultados encontrados, indicando uma tendência geral de não ocorrência de grandes enchentes.

Em relação aos parâmetros morfométricos oriundos da caracterização da rede de drenagem, sintetizou-se os resultados na Tabela 3. Assim, observa-se que a densidade de drenagem (D_d) obteve um valor de 2,86 km/km², sendo considerada uma velocidade de drenagem baixa ($\leq 5,0$ km km⁻²), conforme classificação de Strahler (1957). Além disso, a densidade hidrográfica foi de 1,53 canais / km², denotando uma densidade hidrográfica baixa, conforme classificação de Lollo (1995), posto que o valor alcançado foi menor que 3 km/km².

O coeficiente de manutenção (C_m), que

consiste em um importante parâmetro para rede de drenagem da bacia, indicou que a área mínima para a manutenção de 1 m de canal de escoamento é 349,65 m²/m. Quanto a sinuosidade (S) do curso d'água principal foi de 1,14 km/km, indicando que o canal tende a ser retilíneo, pois, obteve um valor próximo de 1,0 km/km (Schumm, 1956). Além disso, o índice de sinuosidade (I_s) de 12,08%, denota que o canal principal da rede de drenagem é substancialmente linear, visto que obteve um valor $\leq 20\%$ (Christofolletti, 1980; Gerber et al., 2018).

Tabela 3 – Características da drenagem da bacia hidrográfica do Igarapé Quarenta Horas.

Características da drenagem	Resultados
Comprimento do rio principal (L_b)	4,47 km
Comprimento do talvegue do rio principal (L_{tal})	3,93 km
Comprimento total da drenagem (L_i)	15,72 km
Densidade de drenagem (D_d)	2,86 km km ⁻²
Densidade hidrográfica (D_h)	1,53 canais km/km ²
Coeficiente de Manutenção (C_m)	349,65 m ² /m
Sinuosidade (S)	1,14 km/km
Índice de sinuosidade (I_s)	12,08 %
Quantidade total de canais de drenagem (Q_t)	43,00
Ordem da bacia	4 ^a
Frequência de fluxo (F_s)	7,83
Comprimento do fluxo superficial (L_g)	0,70
Textura de drenagem (R_t)	22,39
Proporção de textura (T)	1,54

Fonte: Dados da pesquisa (2020).

Na Tabela 4, são descritos os parâmetros originados da caracterização do relevo da bacia hidrográfica do Igarapé do Quarenta. Observa-se que a bacia possui coeficiente de rugosidade (C_r) igual a 5,01, razão de relevo (RR) de 1,95 mm⁻¹ e número de robustez (R_n) igual a 51,48. O baixo valor da razão de relevo indica um padrão suave, quase plano da bacia hidrográfica.

Na Figura 3, é apresentado a distribuição da hipsometria da bacia hidrográfica, em que as altitudes máxima e mínima são 28 m e 10 m, respectivamente. A altitude média é de 14,70 m e a amplitude de relevo de 18,0 m. A maior área da bacia compreende 32,45% do total, entre as faixas de 11,98 a 14,94 metros, enquanto a menor área corresponde a 1,79%, encontrada na faixa de altitude de 20,95 a 28,00 metros.

Tabela 4 – Características do relevo da bacia hidrográfica do Igarapé Quarenta Horas.

Características do relevo	Resultados
Altitude mínima	10,00 m
Altitude máxima	28,00 m
Altitude média	14,70 m
Amplitude de relevo (Rf)	18,00 m
Declividade mínima	0,00%
Declividade média	1,75%
Declividade máxima	17,21%
Coefficiente de rugosidade (Cr)	5,01
Razão do relevo (RR)	1,95 mm ⁻¹
Número de robustez (Rn)	51,48

Fonte: Dados da pesquisa (2020).

Os baixos valores altimétricos obtidos pelo

modelo digital elevação (MDE) para a bacia do Igarapé Quarenta Horas implica em pequena distinção entre as áreas da bacia, exceto na parte sul e norte, em que se observam as menores e as maiores altitudes. Além disso, devido às baixas altimetrias, a velocidade média do escoamento superficial da água é diminuída na calha do rio, o que, associada à baixa sinuosidade do rio, acarreta menor tempo de concentração.

De acordo com Gerber et al. (2018), a diferença altimétrica e a altimetria média de uma bacia possuem forte correlação com a temperatura e a precipitação pluviométrica. Deste modo, essas variações altimétricas em uma bacia podem resultar diferenças significativas na temperatura média, ocasionando diferenças na evapotranspiração e precipitação anual (Santos et al., 2012).

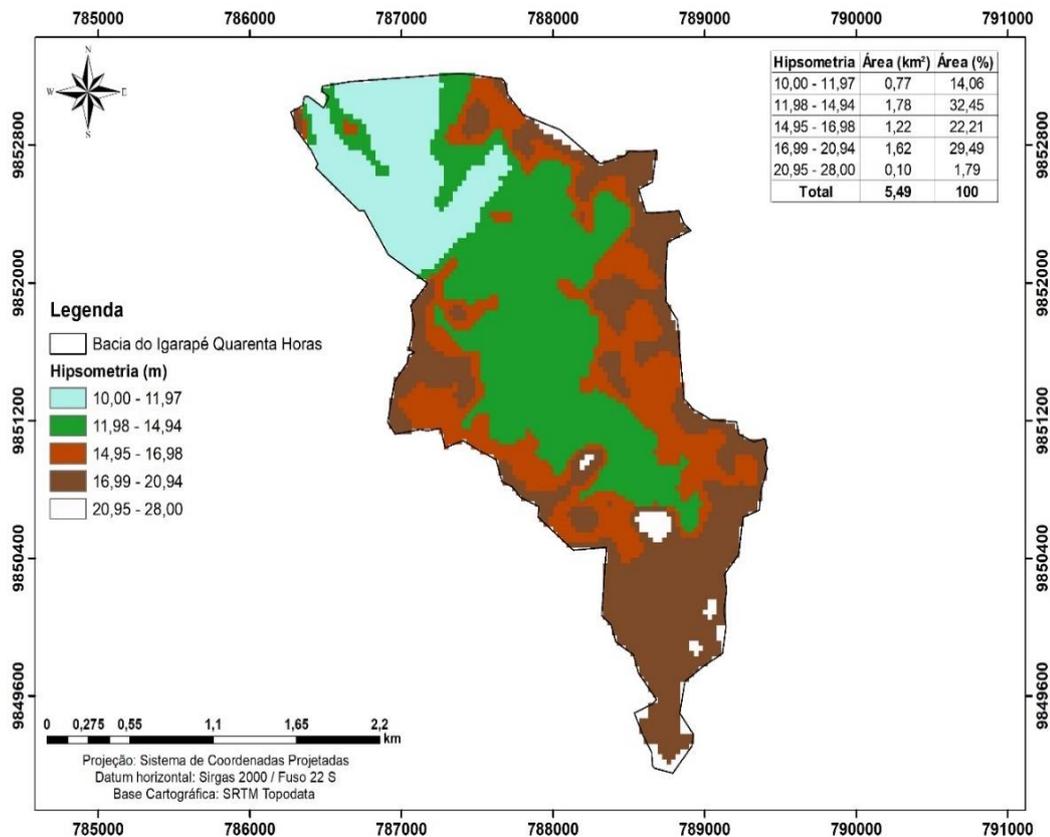


Figura 3 – Distribuição das altitudes da bacia hidrográfica do Igarapé Quarenta Horas.

A declividade média (Figura 4) da bacia é de 1,75%, tipificada como uma bacia de relevo plano conforme a classificação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2013). A partir disso, pode-se inferir que o relevo na bacia hidrográfica do Igarapé Quarenta Horas é predominantemente plano, correspondendo a 80,56% da área (4,42 km²). Segundo Masoud (2015), bacias de declive suave produzem menos volume de escoamento e picos menores do hidrograma de escoamento. Em bacias com declive suave, a

velocidade do fluxo superficial é baixa e há mais tempo para a água se infiltrar, reduzindo assim a quantidade de escoamento superficial que atinge o riacho. Além disso, a declividade da bacia contribui para diversas atividades de uso e ocupação do solo, como a agricultura e pastagens. De acordo com Corseuil e Campos (2007), o relevo plano e ondulado se caracterizam em áreas nobres para o cultivo de culturas anuais, todavia, requer a utilização de práticas de manejo e conservação de solo para controle do processo de erosão.

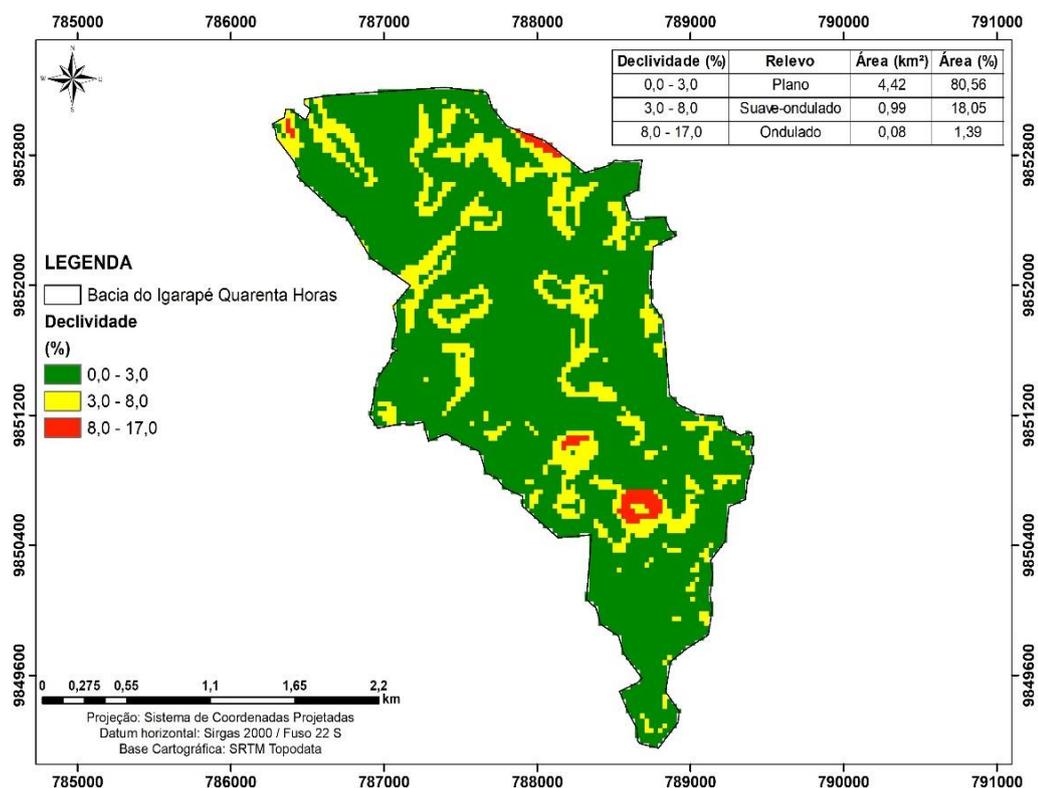


Figura 4 – Distribuição das declividades da bacia hidrográfica do Igarapé Quarenta Horas.

Dessa forma, é interessante pontuar que a bacia hidrográfica do Igarapé Quarenta Horas dispõe de características morfométricas que mitigariam sua suscetibilidade a inundações, o que, em tese, beneficiaria áreas urbanas próximas na redução de pontos de alagamentos. Todavia, é de conhecimento público que o município de Ananindeua-PA ocupa a preocupante posição de município com o pior índice de saneamento básico do Brasil, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020).

Nesse cenário caótico, somente 2% da população possui acesso à coleta de esgoto sanitário e drenagem pluvial, justificando a alta incidência de problemas associados à saúde pública (Lisbôa et al., 2020b) e à infraestrutura urbana (Lisbôa et al., 2020a). Essa situação prejudica não somente os ecossistemas naturais da bacia hidrográfica, como também as relações socioambientais e socioeconômicas desenvolvidas dentro dela, resultando em conflitos urbanos mitigáveis caso houvesse um planejamento e gestão de águas urbanas adequado à realidade local, corroborando com as premissas indagadas por França (2020). Resultados semelhantes foram observados em outras bacias hidrográficas localizadas em regiões periurbanas da RMB (Castro et al., 2020; A. Lima et al., 2020; Paungartten et al., 2016; L. Santos et al., 2017), o que corrobora a necessidade de se criar mecanismos legais que viabilizem a adoção de infraestrutura adequada de gestão de águas urbanas, de modo que a

interação entre ambiente construído e espaços naturais seja harmônica e sustentável.

5. Conclusão

A análise morfométrica de bacias hidrográficas é celebrada como uma importante ferramenta no planejamento e gestão de águas urbanas. Neste estudo, o objetivo de caracterizar a bacia hidrográfica do Igarapé Quarenta Horas, localizado no município brasileiro de Ananindeua-PA, foi alcançado, evidenciando que a mesma possui condições que propiciariam o escoamento uniforme de águas e a redução de pontos de alagamentos. Contudo, há de se considerar que este município não possui redes de infraestrutura que auxiliem na promoção do uso eficiente dos recursos hídricos disponíveis, resultando em insalubridade ambiental. Tanto este como estudos complementares sobre as demais bacias de municípios suscetíveis às mazelas urbanas podem e devem ser utilizados como suporte na construção de políticas públicas que objetivem promover o melhoramento das condições de uso dos recursos hídricos urbanos, tornando as cidades mais sustentáveis

Agradecimentos

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior -

Brasil (CAPES) - Código Financeiro 001, pelo apoio para realização do presente trabalho.

Referências

- Brito, F.S.L., Morais, A.B.P., Rosário, K.K.L., Morais, M.S., Cruz, R.H.R., 2018. Drenagem urbana e sua influência na epidemiologia de leptospirose na cidade de Belém – região amazônica do estado do Pará. *Revista de Geografia* 37, 181-200.
- Castro, D.C.C.de, Rodrigues, R.S.S., Ferreira Filho, D.F., 2020. Escoamento superficial na área convergente aos lagos Bolonha e Água Preta em Belém e Ananindeua, Pará. *Research, Society and Development* 9, e38932373. doi: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i3.2373>
- Christofolletti, A., 1980. *Geomorfologia*. 2. ed. Edgard Blucher Ltda, São Paulo.
- Crispim, D.L., Bezerra, P.E.S., Rodrigues, R.S.S., Vieira, A.S.A., Pereira, F.V.S., Fernandes, L.L., 2018. Uso e ocupação do solo e sua associação com a temperatura da superfície terrestre no município de Baixo – CE. *Geonorte* 9, 126-140. doi: <https://doi.org/10.21170/geonorte.2018.V.9.N.33.126.140>
- Corseuil, C.W., Campos, C., 2007. Geoprocessamento aplicado na determinação das classes de declividade e uso de terras da microbacia do Arroio Ajuricaba - Marechal Cândido Rondon - PR. *Engenharia Agrícola*, 22, 33-41.
- Dias, L.C., Valente, A.M.C., Fernandes, L.L., 2020. Análise e correlação de variáveis climatológicas com os fenômenos climáticos e a urbanização na Cidade de Belém, no Estado do Pará, região Norte do Brasil. *Research, Society and Development* 9, e972986790. doi: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i8.6790>
- Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2013. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 3. ed. Embrapa; Brasília.
- Fraga, M.S., Ferreira, R.G., Silva, F.B., Vieira, N.P., Silva, D.P., Barros, F.M., Martins, I.S.B., 2014. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio catolé grande, Bahia, Brasil. *Nativa* 2, 214-218. doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.31413/nativa.v2i4.1785>
- França, S.A.S., 2020. A importância do direito à água e ao saneamento para o combate à Covid-19. *Papers do NAEA* 29, 170-185. doi: <http://dx.doi.org/10.18542/papersnaea.v29i1.8769>
- Gerber, D., Pertille, C.T., Vieira, F.S., Corrêa, B.J.S., Souza, C.F., 2018. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Itajaí – Santa Catarina. *Acta Biológica Catarinense* 5, 72-83. doi: <http://dx.doi.org/10.21726/abc.v5i1.446>
- Guidolini, J.F., Ometto, J.P.H.B., Nery, T.D., Arcoverde, G.F.B., Giarolla, A., 2020. Hydrogeomorphological characterization of the Rio Grande Basin, Brazil, using geospatial approach. *Sustainable Water Resource Management* 6. doi: <https://doi.org/10.1007/s40899-020-00454-z>
- Horton, R.E., 1932. Drainage basin characteristics. *Transactions American Geophysical Union* 13, 350–361.
- Horton, R.E., 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: a hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin* 56, 275-370.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2020. Ananindeua. *Boletim eletrônico*. Disponível: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/anandindeua/p/anorama>. Acesso: 16 out. 2020.
- Jothimani, M., Abebe, A., Dawit, Z., 2020. Mapping of soil erosion-prone sub-watersheds through drainage morphometric analysis and weighted sum approach: a case study of the Kulfo River basin, Rift valley, Arba Minch, Southern Ethiopia. *Model. Earth Syst. Environ.* 6, 2377–2389. doi: <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00820-y>
- Lima, A.C.M., Fernandes, L.L., Lopes, D.F., Bittencourt, G.M., Vinagre, M.V.A., Silva, E.M., 2020. Urbanização e canais urbanos: avaliação da qualidade das águas da bacia hidrográfica do Una no Município de Belém, Brasil. *Research, Society and Development* 9, e232973866. doi: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.3866>
- Lima, G.V.B.A., Pereira, M.P., Ribeiro Junior, C.R., Azevedo, L.E.C., Araújo, I.R.S., 2020. O direito à cidade arborizada: A arborização urbana como indicador da segregação socioeconômica em Belém do Pará. *REVSBAU* 15, 79-96. doi: <http://dx.doi.org/10.5380/revsbau.v15i1.69694>
- Lima, J.S., Santos, G.C.S., Rodrigues, R.S.S., Santos, F.V., 2018. Morbidade e mortalidade por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado em Belém do Pará. *Ciência e Sustentabilidade* 4, 115-132. doi: <https://doi.org/10.33809/2447-4606.422018115-132>.
- Lisbôa, E.G., Couto, M.H.S.H.F., Vieira, B.S., Borges, F.Q., 2020a. Políticas públicas e saneamento básico na gestão municipal de Belém, Ananindeua e Castanhal-PA: aplicação de um modelo de correlação no período entre 2010 a 2018. *Brazilian Journal of Development* 6, 44724-44742. doi: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-189>
- Lisbôa, Educélio G., Siqueira, I.S., Corradi, A.L., Fernandes, D., Lisbôa, Érico G., Bello, L.A.L., 2020b. Análise dos fatores sócios-ambientais e

- epidemiológicos em Ananindeua/PA, através do modelo de regressão linear múltipla, no período entre 2001 a 2017. *Brazilian Journal of Development* 6, 65308-65321. doi: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n9-095>
- Lollo, J.A., 1995. O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula de Campinas. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Mansikkaniemi, H., 1972. Regional differences in the sinuosity of rivers in Finland. *Fennia - International Journal of Geography* 118.
- Masoud, M., 2015. Rainfall-runoff modeling of ungauged Wadis in arid environments (case study Wadi Rabigh—Saudi Arabia). *Arabian Journal of Geosciences* 8, 2587–2606. doi: <https://doi.org/10.1007/s12517-014-1404-0>.
- Miller, V., 1953. A quantitative geomorphologic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area. Technical Report 3, 271–300.
- Patle, D., Rao, J.H., Dubey, S., 2020. Morphometric analysis and prioritization of sub-watersheds in Nahra watershed of Balaghat district, Madhya Pradesh: A remote sensing and GIS perspective. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences* 8, 447-455. doi: [http://dx.doi.org/10.18006/2020.8\(4\).447.455](http://dx.doi.org/10.18006/2020.8(4).447.455)
- Paungarten, S.P.L., Bordalo, C.A.L., Lima, A.M.M., 2016. Análise evolutiva da paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Benfica (PA): processos, dinâmica e tendências. *Ambiente & Educação* 21, 87-107.
- Radwan, F., Alazba, A.A., Mossad, A., 2020. Analyzing the geomorphometric characteristics of semiarid urban watersheds based on an integrated GIS-based approach. *Modeling Earth Systems and Environment* 6, 1913–1932. doi: <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00802-0>
- Rajasekhar, M., Raju, G.S., Raju, R.S., 2020. Morphometric analysis of the Jilledubanderu river basin, Anantapur District, Andhra Pradesh, India, using geospatial technologies. *Groundwater for Sustainable Development* 11, 100434. doi: <https://doi-org/10.1016/j.gsd.2020.100434>
- Santos, A.M., Targa, M.S., Batista, G.T., Dias, N.W., 2012. Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil. *Ambiente & Água* 7, 195-211. doi: <http://dx.doi.org/10.4136/ambiente-agua.945>
- Santos, G.O., Silva, A.A., Braz, A.R.C., Carneiro, F.M., 2018. Caracterização morfométrica das bacias hidrográficas inseridas no município de Rio Verde, Goiás, como ferramenta ao planejamento urbano e agrícola. *Geografia, Ensino & Pesquisa* 22, e17. doi: <https://doi.org/10.5902/2236499426572>
- Santos, L.L.M., Rodrigues, R.S.S., Bittencourt, G.M., 2017. Morfometria das bacias hidrográficas dos rios Caraparu e Maguari-Açú, Região Metropolitana de Belém, Pará, Brasil. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental* 11, 66-75.
- Schumm, S.A., 1956. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geological Society of America Bulletin* 67, 597–646.
- Segundo, A.A.dasM., Paixão, G.V., Bastos, L.C.S., Santos, R.F., Lira, B.R.P., Bittencourt, G.M., Fernandes, L.L., 2020. Avaliação de pontos de alagamento no Setor Profissional da Cidade Universitária Professor José da Silveira Netto. *Research, Society and Development* 9, e21996525. doi: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i9.6525>
- Silva, J.S.A., Rodrigues, R.S.S., Bittencourt, G.M., 2020. Aplicação de diferentes MDE'S para extração de variáveis morfométricas de uma bacia hidrográfica. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* 10, 10-19. doi: <http://dx.doi.org/10.29150/jhrs.v10.1.p10-19>.
- Smith, K.G., 1950. Standards for grading texture of erosional topography. *American Journal of Science* 248, 655-668.
- Strahler, A.N., 1957. Quantitative Analysis of watershed geomorphology. *Transactions, American Geophysical Union* 38, 913-920.
- Tucci, C.E.M., 2012. Hidrologia: ciência e aplicação. 4. ed. UFRGS e EDUSP ABRH, Porto Alegre.
- Vincy, M.V., Rajan, B., Pradeepkumar, A.P., 2012. Geographic information system-based morphometric characterization of sub-watersheds of Meenachil river basin, Kottayam district, Kerala, India. *Geocarto International* 27, 661-684. doi: <https://doi.org/10.1080/10106049.2012.657694>.