



ANÁLISE MORFOMÉTRICA E IMPLICAÇÕES HIDROLÓGICAS EM UMA SUB-BACIA URBANA DE TERESINA (PI), BRASIL

MORPHOMETRIC ANALYSIS AND HYDROLOGICAL IMPLICATIONS IN AN URBAN SUB-BASIN OF TERESINA (PI), BRAZIL

ANÁLISIS MORFOMÉTRICO E IMPLICACIONES HIDROLÓGICAS EN UNA SUBCUENCA URBANA DE TERESINA (PI), BRASIL

Vanessa Inácio de Carvalho Ribeiro¹

¹Mestra em Geografia pela Universidade Federal do Piauí (UFPI)

E-mail: vanessainacio499@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0004-7176-4240>

Roneide dos Santos Sousa²

² Professora Adjunta I do curso de Geografia Universidade Federal do Piauí (UFPI)

E-mail: roneide.sousa@ufpi.edu.br

 <https://orcid.org/0000-0002-6850-573X>

RESUMO

A bacia hidrográfica constitui uma unidade fundamental de análise ambiental, cuja caracterização morfométrica permite compreender o comportamento hidrológico e subsidiar o planejamento urbano. O presente artigo tem como objetivo analisar a morfometria da sub-bacia hidrográfica urbana PD03, em Teresina (PI), considerando aspectos geométricos, da rede de drenagem e do relevo. A metodologia baseou-se na extração automatizada de parâmetros morfométricos em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), a partir das variáveis área, perímetro, comprimento do curso principal e desnível altimétrico, seguindo procedimentos metodológicos consolidados na literatura. Os resultados indicam que a sub-bacia apresenta formato próximo ao circular, favorecendo a concentração do escoamento superficial, boa capacidade de drenagem e resposta hidrológica rápida a eventos de precipitação intensa, com tempo de concentração reduzido. Conclui-se que tais características, associadas ao processo de urbanização, potencializam a ocorrência de enchentes rápidas e inundações.

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica. Morfometria. Drenagem Urbana. Inundações.

ABSTRACT

A watershed represents a fundamental unit for environmental analysis, and its morphometric characterization supports the understanding of hydrological behavior and urban planning. This study aims to analyze the morphometry of the urban sub-basin PD03, located in Teresina, Piauí State, Brazil, considering geometric characteristics, drainage network and relief. The methodology was based on the automated extraction of morphometric parameters using a Geographic Information System (GIS), considering basin area, perimeter, main channel length and altimetric range. The results indicate a sub-basin with a near-circular shape, which favors surface runoff concentration, efficient drainage and a rapid hydrological response to intense rainfall events, evidenced by a short concentration time. It is concluded that these characteristics, combined with urbanization, increase susceptibility to flash floods and urban inundation.

Keywords: Watershed. Morphometry. Urban Drainage. Flooding.

RESUMEN

La cuenca hidrográfica constituye una unidad fundamental de análisis ambiental, cuya caracterización morfométrica permite comprender el comportamiento hidrológico y apoyar la planificación urbana. Este estudio tiene como objetivo analizar la morfometría de la subcuenca urbana PD03, ubicada en Teresina, estado de Piauí, Brasil, considerando la geometría, la red de drenaje y el relieve. La metodología se basó en la extracción automatizada de parámetros morfométricos mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG), a partir del área, perímetro, longitud del cauce principal y desnivel altimétrico. Los resultados indican una subcuenca con forma próxima a la circular, buena capacidad de drenaje y respuesta rápida a eventos de precipitación intensa. Se concluye que estas características, asociadas al proceso de urbanización, incrementan la susceptibilidad a inundaciones rápidas.

Palabras clave: Cuenca Hidrográfica. Morfometría. Drenaje Urbano. Inundaciones.





INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica constitui uma unidade fundamental de análise ambiental, definida como uma área da superfície terrestre drenada por um rio principal e seus tributários, na qual as águas pluviais escoam de forma convergente em direção ao exutório ou infiltram-se no solo (Cavalcante *et al.*, 2023). Trata-se de um sistema integrado de processo-resposta, no qual alterações em quaisquer de seus componentes físicos ou antrópicos desencadeiam respostas hidrológicas e geomorfológicas ao longo de toda a área de drenagem, possibilitando o monitoramento das transformações induzidas pela ação humana e seus respectivos impactos ambientais (Morisawa, 1985 apud Cavalcante *et al.*, 2023).

Nesse contexto, a caracterização morfométrica configura-se como um importante instrumento para o estudo de bacias hidrográficas, pois permite compreender a dinâmica do escoamento superficial, identificar áreas ambientalmente vulneráveis e subsidiar análises voltadas ao planejamento territorial e ambiental (Silva; Pimentel; Araújo, 2022). O conhecimento das características morfométricas é considerado essencial para a avaliação do comportamento hidrológico das bacias, uma vez que possibilita a previsão da suscetibilidade a processos como enchentes, inundações e erosões, além de contribuir para a compreensão do regime hidrológico (Silva; Farias, 2021; Cavalcante *et al.*, 2024).

Segundo Villela e Mattos (1975), o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica está diretamente associado às suas características físicas, dentre as quais destacam-se a área de drenagem, a forma da bacia, o coeficiente de compacidade, o fator de forma e a densidade de drenagem. No âmbito da caracterização morfométrica, tais características são obtidas a partir da relação entre variáveis geométricas, parâmetros da rede de drenagem e elementos do relevo, aplicados a um conjunto de equações que expressam a resposta hidrológica da bacia frente aos eventos pluviométricos (Silva; Farias, 2021; Pessoa Neto; Silva; Barbosa, 2023).

Com o avanço das intervenções antrópicas, especialmente em áreas urbanas, as bacias hidrográficas vêm sofrendo modificações significativas em seus componentes naturais, afetando o relevo, o uso e cobertura da terra, a vegetação, a hidrologia e, conseqüentemente, o equilíbrio ambiental desses sistemas (Vale; Costa; Pimentel, 2021). Nesse cenário, a caracterização morfométrica assume papel estratégico, pois permite avaliar como tais alterações influenciam a dinâmica do escoamento superficial e a ocorrência de enchentes e inundações, sobretudo em contextos de urbanização acelerada (Villela; Mattos, 1975; Cavalcante *et al.*, 2024).

Diante desse contexto, coloca-se como problema de pesquisa compreender de que maneira as características morfométricas da sub-bacia hidrográfica urbana Poti Direita 03 influenciam o seu comportamento hidrológico e a suscetibilidade à ocorrência de enchentes e inundações no espaço urbano de Teresina. A relevância e a justificativa deste estudo residem no fato de que essa sub-bacia apresenta áreas com elevada vulnerabilidade ambiental, intensificadas pelo processo de urbanização, pela impermeabilização do solo e pela ocupação de setores suscetíveis a inundações e movimentos de massa, o que configura riscos socioambientais à população local e evidencia a necessidade de subsídios técnicos para o planejamento urbano e ambiental.

Diante disso, o objetivo da presente pesquisa é analisar a morfometria da sub-bacia hidrográfica urbana PD03, em Teresina (PI), considerando aspectos geométricos, da rede de drenagem e do relevo.



MATERIAL E MÉTODO

Área de estudo

Teresina apresenta uma configuração hidrográfica singular no contexto urbano brasileiro, uma vez que se desenvolveu historicamente entre dois importantes cursos d'água: o rio Parnaíba, que delimita a porção oeste do município com o estado do Maranhão, e o rio Poti, que atravessa a cidade no sentido sudeste–noroeste, configurando-se como principal afluente urbano (Lima, 2017). Essa condição geográfica confere ao município uma dinâmica hidrológica complexa, marcada pela presença de extensas planícies fluviais, áreas naturalmente suscetíveis a inundações e pela necessidade de um planejamento de drenagem urbana integrado, capaz de considerar simultaneamente os sistemas hidrográficos associados a ambos os rios.

Teresina possui atualmente 70 sub-bacias que drenam em direção aos rios Parnaíba e Poti, delimitadas com base no Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDrU), o qual subdivide o território municipal a partir das áreas de contribuição dos sistemas hidrográficos associados aos rios Parnaíba e Poti, dentre elas, 22 drenam em direção ao rio Parnaíba (P), 16 drenam em direção ao Poti Direita (PD) e 32 drenam em direção ao Poti Esquerda (PE) (Teresina, 2012), divididas pelos divisores topográficos e pelos próprios rios. Essas sub-bacias são unidades ambientais fundamentais para o planejamento de drenagem urbana de Teresina. Dentre esse conjunto de unidades hidrográficas urbanas, destaca-se a sub-bacia Poti Direita 03 (PD03), selecionada neste estudo por apresentar características físico-hidrológicas representativas do sistema de drenagem urbana do município e por concentrar áreas sujeitas a processos de inundação.

O objeto de estudo consiste na sub-bacia hidrográfica PD03, localizada na região sudeste de Teresina, abrangendo, de forma parcial ou total, nove bairros: Gurupi, Todos os Santos, Colorado, Renascença, Parque Poti, São Sebastião, Flor do Campo, VerdeCap e Bom Princípio, conforme apresentado na Figura 1.

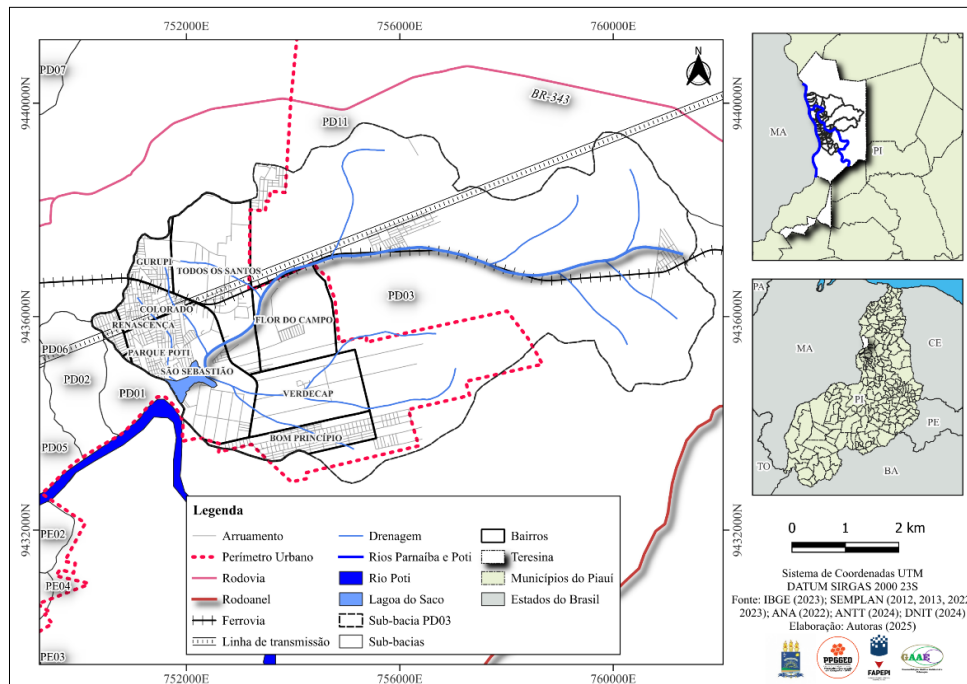


Figura 1 - Mapa de localização da Sub-Bacia Hidrográfica PD03

Fonte: IBGE (2022); SEMPLAN (2012, 2013, 2022, 2023); ANTT (2024); DNIT (2024), Adaptação das autoras (2025)

Ressalta-se que apenas o baixo curso da sub-bacia encontra-se inserido no perímetro urbano consolidado, enquanto os setores de médio e alto curso apresentam menor grau de urbanização. Destaca-se, entretanto, que a área apresenta tendência à expansão urbana, impulsionada pela implantação de equipamentos e infraestruturas urbanas, como o Rodoanel, que circunda a sub-bacia, a presença da linha férrea e de linhas de transmissão de energia elétrica (Santos, 2024).

Procedimentos metodológicos

Para a caracterização das feições geomorfológicas, da hipsometria e da declividade do relevo, foram utilizados produtos derivados do Modelo Digital de Elevação (MDE), obtidos a partir de dados *raster* disponibilizados pelo projeto *OpenTopography*, com base no Copernicus Global DEM, com resolução espacial de 30 metros. A interpretação do relevo foi realizada em consonância com a classificação proposta por Lima (2011) para o município de Teresina, permitindo a adequada contextualização geomorfológica da área de estudo.

Para a elaboração do mapa hipsométrico, adotou-se um intervalo altimétrico de 10 metros, resultando em dez classes, de modo a favorecer uma melhor compreensão da variação do relevo na sub-bacia. A definição das classes de declividade seguiu a proposta da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2009), sendo consideradas as seguintes categorias: plano (0–3%), suave ondulado (3–8%), ondulado (8–20%), e forte ondulado (20–45%).

Os parâmetros morfométricos foram extraídos de forma automatizada em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), a partir dos parâmetros básicos: área da bacia (A), perímetro (P), comprimento do curso principal (L) e desnível altimétrico (Δb). Esses parâmetros serviram de base para o cálculo dos índices morfométricos, conforme os procedimentos metodológicos descritos por Pessoa Neto, Silva e Barbosa (2023), em consonância com a caracterização realizada por Lima (2016b) e com as diretrizes estabelecidas no PDDrU de Teresina (Teresina, 2012).

Os cálculos apresentados na Tabela 1 seguiram metodologias clássicas de análise de bacias hidrográficas (Vilela; Mattos, 1975; Christofletti, 1980; Pessoa Neto; Silva; Barbosa, 2023), possibilitando a compreensão da dinâmica hidrológica e do potencial de escoamento superficial da Sub-Bacia Hidrográfica Poti Direita 03. Ressalta-se que, embora alguns trechos do canal principal se encontrem atualmente canalizados e aterrados, a análise considerou a sub-bacia em sua condição natural, com o objetivo de avaliar a resposta hidrológica da drenagem superficial e estabelecer uma linha de base para a interpretação das implicações das intervenções antrópicas.

Tabela 1- Parâmetros morfométricos utilizados para análise da sub-bacia hidrográfica PD03

Variável - Parâmetros	Equação	Descrição	Relevância
Área da bacia (A)	-	Superfície total drenada pela rede hidrográfica	Influencia o volume de escoamento superficial
Perímetro da bacia (P)	-	Comprimento total das fronteiras da bacia	Usado no cálculo do fator de forma e compactação da bacia
Fator de forma (K _f)	$K_f = \frac{A}{L^2}$	Relação entre a área da bacia e o quadrado do comprimento do curso principal	Bacias mais alongadas tem resposta mais lenta a eventos de precipitação
Coefficiente de circularidade (C _c)	-	Relação entre a área da bacia e a área de um círculo de	Indica a forma da bacia e sua resposta hidrológica

Características Geométricas

Características da rede de drenagem	Índice de circularidade (Ic)	$I_c = 12,57 \times \frac{A}{p^2}$	perímetro equivalente Relação entre a área da bacia e o produto do comprimento do curso principal pela declividade média	Indica a forma e a eficiência do escoamento
	Coefficiente de compactidade (Kc)	$K_c = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$	Relaciona o perímetro da bacia com o perímetro de um círculo de área equivalente	Indica o grau de compactação da bacia
	Comprimento do curso principal (L)	-	Comprimento do rio principal da bacia	Afeta o tempo de concentração e resposta a eventos de precipitação
	Tempo de concentração (Tc)	$T_c = 85,2 \times \left(\frac{L^3}{H}\right)$	Tempo necessário para a água precipitada na parte mais distante da bacia alcançar a saída	Essencial para prever picos de escoamento e planejamento de infraestrutura
	Relação bifurcação (Rb)	-	Proporção entre o número de rios de uma ordem e o número de rios da próxima ordem superior	Influencia a eficiência da rede de drenagem e a resposta hidrológica
	Densidade de drenagem (Dd)	$D_d = \frac{L_t}{A}$	Relação entre o comprimento total dos cursos d'água e a área da bacia	Indica o potencial de escoamento e a resposta hidrológica
	Índice de sinuosidade (Is)	$I_s = \frac{L}{L'}$	Relaciona o comprimento do rio com o comprimento do vale	Rios mais sinuosos tendem a ter escoamento mais lento
Características do relevo	Declividade média da bacia (Sm)	-	Média das inclinações dos terrenos dentro da bacia	Influencia a taxa de escoamento e erosão
	Declividade do curso principal (S)	-	Inclinação do leito do rio principal	Afeta a velocidade do escoamento

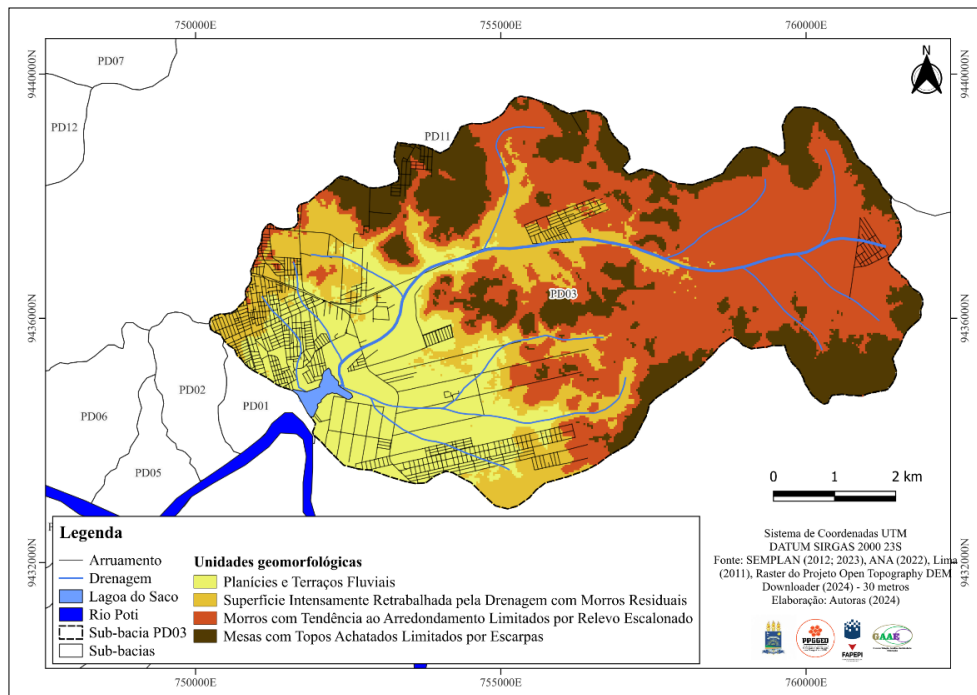
Fonte: Villela; Mattos, 1975; Christofolletti (1980); Pessoa Neto, Silva, Barbosa (2023), Adaptação das autoras (2025)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A sub-bacia hidrográfica PD03 é considerada uma sub-bacia urbana e periurbana, tendo em vista que o perímetro urbano se concentra predominantemente em seu baixo curso e em parte no médio curso. As áreas com predominância de áreas rurais, por sua vez, localizam-se no alto curso, estendendo-se também para o médio curso. Ressalta-se que, a sub-bacia foi compartimentada em alto, médio e baixo curso, considerando as características de seu relevo, e como referência, a direção do escoamento em relação ao rio Poti.

A sub-bacia hidrográfica PD03 possui quatro unidades de relevo de acordo com a sua gênese e morfologia (Figura 2), a saber: as Planícies e Terraços Fluviais, Superfície

Intensamente Retrabalhada pela Drenagem com Morros Residuais e Superfície Residual Recortada por Vales Encaixados subdividida em Morros com Tendência ao Arredondamento Limitados por Relevo Escalonado e Mesas com Topos Achatados



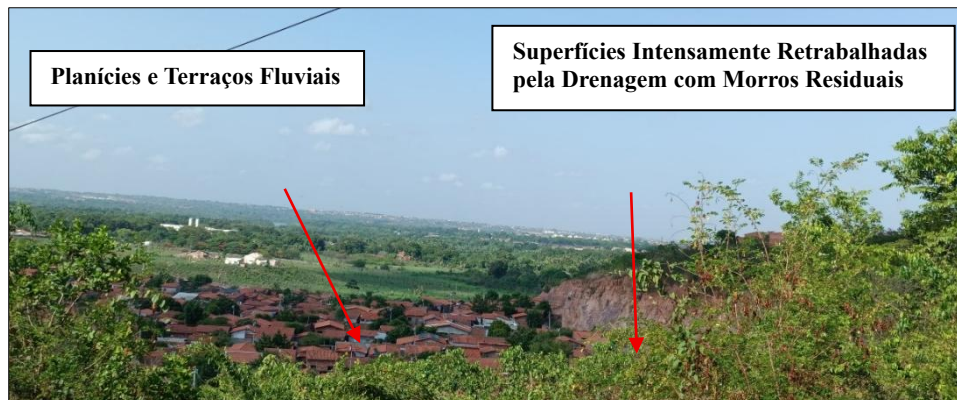
Limitados por Escarpas (Lima, 2011a).

Figura 2 – Formas de relevo da Sub-Bacia Hidrográfica PD03

Fonte: SEMPLAN (2012; 2023); ANA (2022); Lima (2011); Projeto Open Topography DEM Downloader (2024), Adaptação das autoras (2024)

As Planícies e Terraços Fluviais compreendem feições de acumulação associadas a processos fluviais da Formação Piauí, com desenvolvimento de solos em faixas descontínuas ao sul e contínuas ao norte, situadas em altitudes entre 50 e 70 metros ao longo dos rios Parnaíba e Poti, nos fundos de vales dos riachos locais e no entorno de lagoas plúvio-fluviais. A Superfície Intensamente Retrabalhada pela Drenagem com Morros Residuais reflete a atuação de intensos processos erosivos sobre a Formação Pedra de Fogo, apresentando altitudes que variam entre 70 e 100 metros (Lima, 2011; 2016a). A Figura 3 apresenta exemplo dessas duas formas de relevo.

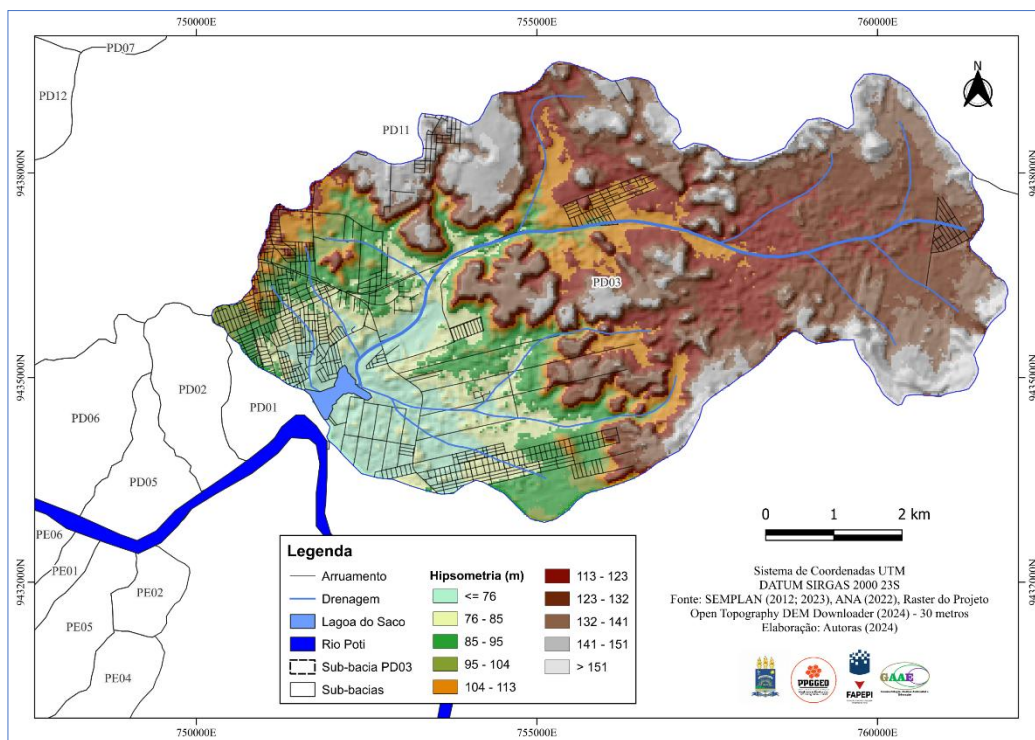
Figura 3 - Característica do relevo no médio curso da sub-bacia hidrográfica PD03



Fonte: Pesquisa direta (2024)

A Superfície Residual Recortada por Vales Encaixados subdivide-se em Morros com Tendência ao Arredondamento Limitados por Relevo Escalonado, caracterizados por formas erosivas com topos definidos, moldados por processos erosivos e recortados por vales encaixados, situados entre 100 e 170 metros de altitude, e em Mesas com Topos Achatados Limitados por Escarpas, que compreendem formas erosivas com topos mais elevados e encostas íngremes, com altitudes entre 170 e 250 metros. Essa última unidade corresponde às maiores altitudes da sub-bacia, concentrando-se principalmente nas bordas da sub-bacia hidrográfica PD03, no médio e alto curso.

As características hipsométricas do relevo exibem variação altimétrica entre 76 e 151 metros (Figura 4), sendo que as maiores altitudes concentram-se no médio e alto curso da sub-bacia e em suas bordas, enquanto o baixo curso apresenta altitudes entre 76 e 95 metros. Destaca-se que Lima (2016b) indica valores máximos de altitude superiores



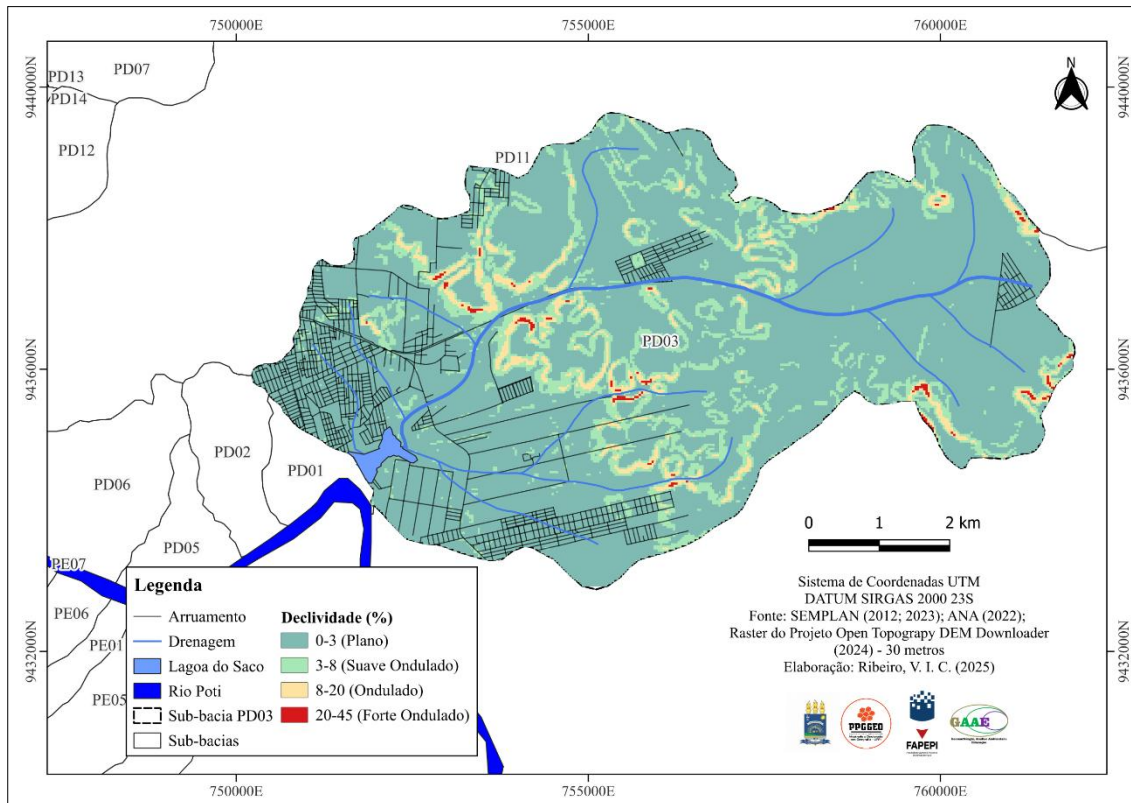
aos observados neste estudo, o que pode estar associado a diferenças na base cartográfica e na escala de análise adotada.

Figura 4 - Hipsometria do relevo da Sub-Bacia Hidrográfica PD03

Fonte: SEMPLAN (2012; 2023); ANA (2022), Projeto Open Topography DEM Downloader (2024), Adaptação das autoras (2024)

Segundo Lima (2016b), amplitudes altimétricas elevadas apresentam relação direta com a suscetibilidade à erosão fluvial, uma vez que maiores diferenças altimétricas intensificam a atuação da gravidade e favorecem a desagregação de materiais. Nesse sentido, a sub-bacia hidrográfica PD03, assim como outras sub-bacias do sistema Poti Direita e Poti Esquerda (PD07, PD15, PD16, PE07, PE16), enquadra-se em classes de amplitude altimétrica superiores a 70 metros, associadas a terrenos com declividades mais acentuadas e maior capacidade de transporte de sedimentos.

Em relação à declividade do relevo, a sub-bacia hidrográfica PD03 apresenta valores que variam de plano (0 a 3%) a forte ondulado (20-45%), conforme ilustrado na Figura 5. A classe de declividade “plano” (0 a 3%) corresponde às áreas mais planas do



relevo, caracterizada por superfícies que favorecem a ocupação urbana. No entanto, essa característica representa certo risco aos eventos de inundação devido à maior tendência ao acúmulo de água durante períodos de precipitação intensas.

Figura 5 - Declividade do relevo da Sub-Bacia Hidrográfica PD03

Fonte: SEMPLAN (2012; 2023); ANA (2022); Projeto Open Topography DEM Downloader (2024), Adaptação das autoras (2025)

A classe “suave ondulado” (3 a 8%) apresenta relevo levemente inclinados, com ondulações suaves. Essa classe também pode estar suscetível a ocorrência de inundações, sobretudo, quando associada a áreas próximas a cursos d’água. A classe “ondulado” (8 a 20%) caracteriza-se por relevo mais acidentado, no qual o escoamento superficial ocorre de forma mais intensa, em direção ao baixo curso. Por fim, a classe “forte ondulado” (20 a 45%), compreende áreas de relevo bastante inclinadas, que apresentam alta fragilidade ambiental quando se refere ao uso do solo de maneira inadequada, além de que não são adequadas para ocupações.

A declividade tem relação direta com riscos ambientais, sobretudo, a deslizamentos de terra, pois áreas com alta declividade apresentam maior instabilidade do solo. Como observado em campo (Figura 6), identificou-se uma extensa área de encosta, com residências localizadas próximas a essa feição geomorfológica, o que representa risco de deslizamento de terra em períodos de chuvas intensas.

Figura 5 - Área com incidência a deslizamento de terra no médio curso da sub-bacia



Fonte: Pesquisa direta (2024)

A Tabela 2 apresenta os valores correspondentes aos parâmetros morfométricos utilizados nesta pesquisa, os quais subsidiam a avaliação da suscetibilidade da sub-bacia a processos de inundação, erosão, deslizamentos de terra e à velocidade de resposta a eventos pluviométricos intensos. Esses parâmetros englobam características geométricas, da rede de drenagem e do relevo.

No que se refere às características geométricas, a área total da sub-bacia hidrográfica (A) corresponde a 47,79 km². De acordo com Villela e Mattos (1975), a área é um elemento fundamental para o cálculo das demais características físicas de uma bacia. Considerando a classificação proposta por Leite *et al.* (2023), a sub-bacia hidrográfica PD03 enquadra-se como uma sub-bacia de porte médio para padrões urbanos.

O perímetro da sub-bacia é de 34,69 km, enquanto o fator de forma ($K_f = 0,34$) indica tendência a uma forma mais alongada. Por outro lado, os valores do coeficiente de circularidade ($C_c = 2,09$), do índice de circularidade ($I_c = 0,49$) e do coeficiente de compacidade ($K_c = 0,98$) sugerem uma configuração relativamente próxima ao formato circular. Essa aparente divergência entre os índices decorre do fato de que cada parâmetro enfatiza aspectos geométricos distintos da bacia, sendo que, em conjunto, indicam tendência à concentração do escoamento superficial e à ocorrência de picos de cheia (Villela; Mattos, 1975; Christofolletti, 1980).

Observa-se que o valor do coeficiente de compacidade obtido neste estudo difere daquele apresentado no PDDrU ($K_c = 1,41$), possivelmente em função de diferenças metodológicas, de escala ou da base cartográfica utilizada. Lima (2016b) classifica esta sub-bacia com tipologia triangular B, com relativa dificuldade de escoamento em função da saída estreita de material. Entretanto, os resultados morfométricos obtidos neste trabalho indicam que a bacia apresenta tendência à concentração de fluxos, sobretudo durante a estação chuvosa, favorecendo a ocorrência de cheias rápidas.

Tabela 2 - Parâmetros e índices morfométricos da Sub-Bacia Hidrográfica PD03

Variável	Parâmetro	Resultado
Características geométricas	Área da bacia (A)	47,79 km ²
	Perímetro da bacia (P)	34,69 km
	Fator forma (K_f)	0,34
	Coeficiente de circularidade (C_c)	2,09
	Índice de circularidade (I_c)	0,49
	Coeficiente de compacidade (K_c)	0,98
	Comprimento do curso principal (L)	11,717 m
Características da rede de drenagem	Densidade de drenagem (Dd)	4,5 km/ km ²

Características do relevo	Índice de sinuosidade (Is)	0,1km ou 1,2 m
	Relação bifurcação (Rb)	2
	Tempo de concentração (Tc)	8,94 min
	Declividade média da bacia (Sm)	0,95%
	Declividade do curso principal (S)	7,41%

Fonte: Adaptado de Pessoa Neto, Silva, Barbosa (2023); Soares, Oliveira, Santos (2023)
Adaptação das autoras (2025)

Essa aparente contradição no formato da sub-bacia dada pela autora não se aplica, uma vez que os indicadores numéricos apontaram que a sub-bacia se aproxima do formato circular, causando a concentração do escoamento superficial, e resultando em picos de cheias, em períodos de precipitações intensas,

No que diz respeito as características de rede de drenagem, inicialmente pode-se constatar que o comprimento do curso principal (L) é de aproximadamente 11,7 km. Apresenta densidade de drenagem elevada ($Dd = 4,5 \text{ km/km}^2$), a qual, conforme Christofolletti (1980), caracteriza redes bem distribuídas e eficientes na redistribuição do fluxo superficial. A densidade de drenagem em bacias hidrográficas considera-se uma drenagem pobre quando apresenta índice de $0,5 \text{ km/km}^2$, e as bacias bem drenadas é quando apresentam valores superior a $3,5 \text{ km/km}^2$ (Villela; Mattos, 1975). Dessa forma, a sub-bacia hidrográfica PD03 é considerada uma sub-bacia bem drenada, caracterizada pela presença de vários canais, no entanto, ressalta-se que alguns desses cursos d'água se encontram atualmente canalizados e aterrados, principalmente dentro do perímetro urbano, conforme mostra a Figura 6.

Figura 6 – Áreas de canal de drenagem canalizadas, no baixo curso



Fonte: Pesquisa direta (2026)

O índice de sinuosidade ($Is \approx 1,2$) revela que o curso principal é pouco sinuoso, o que reduz o tempo de trânsito da água até o exutório. A relação de bifurcação ($Rb = 2$), conforme Horton (1945), indica ramificação moderada, coerente com uma bacia de porte pequeno a médio e bem drenada. Já o tempo de concentração ($Tc = 8,94$ minutos) é bastante reduzido, o que confirma que a sub-bacia hidrográfica PD03 responde quase imediatamente a eventos de precipitação intensa, gerando risco elevado de enchentes rápidas. Para Chow (1959), este parâmetro é fundamental para o dimensionamento da

infraestrutura de drenagem, pois reflete diretamente a vulnerabilidade da área urbana a inundações súbitas.

Quanto as características de relevo, a sub-bacia apresenta uma declividade média (S_m) de 0,95%, que caracteriza um relevo suave, típico de superfícies de baixa energia, o que favorece a desaceleração do escoamento superficial e maior propensão ao acúmulo de água em eventos pluviométricos intensos, resultando em inundações, alagamentos e enxurradas, pois a sub-bacia não consegue drenar a água na mesma velocidade com que ela chega na superfície.

Apresenta ainda declividade do curso principal (S) de 7,41%, que é consideravelmente elevada, indicando maior energia de transporte no talvegue, e sugerindo que o fluxo ao longo do canal tende a ser mais rápido e eficiente. Essa diferença entre a inclinação média e do canal principal da sub-bacia, evidencia que a rede de drenagem possui setores propícios ao escoamento concentrado e ao transporte de sedimentos.

Dessarte, a sub-bacia hidrográfica PD03 possui características morfométricas que favorecem a ocorrência de cheias rápidas: formato próximo ao circular, alta densidade de drenagem, baixa sinuosidade do talvegue e tempo de concentração muito curto. Observou-se ainda que a declividade média da sub-bacia é baixa, mas o canal principal apresenta maior inclinação, aumentando a energia hidráulica disponível para o transporte de sedimentos.

Assim, a urbanização em sua foz tende a agravar a situação, pois a impermeabilização das superfícies reduz a infiltração e aumenta o escoamento superficial, acelerando a concentração de águas no canal. Essa condição indica que a sub-bacia, já naturalmente propensa a picos de vazão, pode ter sua resiliência climática comprometida pelo avanço da expansão urbana, o que reforça a necessidade de planejamento integrado para mitigação de impactos.

A utilização dos parâmetros morfométricos calculados para a sub-bacia hidrográfica PD03 em sua condição natural fornece uma referência para compreender a sua resposta hidrológica. Essa linha de base permite avaliar o quanto as intervenções antrópicas, especialmente as canalizações, intensificam ou modificam a dinâmica do escoamento. Por exemplo, enquanto o tempo de concentração (T_c) de 8,94 minutos indica uma resposta já naturalmente rápida, nos trechos canalizados essa tendência é acentuada pela redução da rugosidade e pela maior regularidade do leito, o que pode diminuir ainda mais o intervalo de resposta da sub-bacia.

Do mesmo modo, índices como o coeficiente de compacidade (K_c), o fator de forma (K_f) e o índice de circularidade (I_c), que sugerem maior propensão à concentração de fluxos, tornam-se ainda mais críticos quando associados à impermeabilização urbana e à retificação dos canais. Assim, os valores obtidos a partir da condição natural devem ser entendidos como indicativos do potencial de resposta da sub-bacia, mas, ao serem confrontados com as alterações impostas pela urbanização, revelam a amplificação dos riscos hidrológicos em setores canalizados.

CONCLUSÃO

A análise dos dados e dos resultados obtidos para a sub-bacia hidrográfica PD03, permite concluir que se trata de uma sub-bacia de porte médio, com formato arredondado ou próximo ao circular, condição que favorece a rápida concentração do escoamento superficial e das águas pluviais. Essas inferências são confirmadas pelos valores dos índices de fator de forma (K_f), coeficiente de circularidade (C_c), índice de circularidade (I_c), coeficiente de compacidade (K_c) e relação de bifurcação (R_b), os quais, analisados de forma integrada, indicam tendência à ocorrência de picos de cheia.

Adicionalmente, a sub-bacia hidrográfica PD03 apresenta resposta hidrológica rápida aos eventos de precipitação, o que reforça a suscetibilidade à ocorrência de enchentes, conforme evidenciado pelos índices de forma (Kf, Cc, Ic e Kc), pelo índice de sinuosidade (Is) e pelo reduzido tempo de concentração. A rede de drenagem mostra-se bem distribuída, enquanto a declividade média da sub-bacia (Sm) é pouco expressiva; em contrapartida, a declividade do curso principal (S) apresenta valores relativamente mais elevados, favorecendo maior energia de transporte de sedimentos ao longo do talvegue.

Além disso, os mapas de relevo, hipsométrico e declividade foram essenciais para compreender a dinâmica física da sub-bacia, revelando a presença de áreas com maiores altitudes e demonstrando que as áreas de maior declividade não são indicadas para ocupação, tendo em vista os riscos quanto aos deslizamentos de terra. Dessarte, pode-se dizer que o processo de urbanização tende a impactar a sub-bacia, sobretudo, em função do seu formato, visto que, a sub-bacia hidrográfica PD03 apresenta áreas susceptíveis a inundação.

As características morfométricas analisadas auxiliam na compreensão dos processos que atuam na esculturação do relevo, sobretudo, na morfologia dos cursos d'água ainda existentes na sub-bacia, pois devido a presença de ocupações e da infraestrutura de urbanização alguns desses cursos d'água submeteram ao processo de canalização e aterramento. Portanto, é válido ressaltar que nenhum desses índices deve ser compreendido isoladamente como capaz de simplificar a complexidade da dinâmica da sub-bacia, a qual tem magnitude temporal (Iost Teodoro *et al.*, 2007).

REFERÊNCIAS

CAVALCANTE, Daniel dos Reis; SILVA, Ícaro Breno da; BASTOS, Frederico de Holanda; CORDEIRO, Abner Monteiro Nunes. Análise dos parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica do rio Coreáu. Ceará, Brasil. William Morris Davis - **Revista de Geomorfologia**, Ceará, v. 5, n. 1, p. 1-12, 2024. Disponível em:

<https://williammorrisdavis.uvanet.br/index.php/revistageomorfologia/article/view/276>

Acesso em: 15 out. 2025.

CHOW, Ven Te. **Open-channel hydraulics**. McGraw-Hill, New York. 1959.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2009. Disponível em:

<https://www.agroapi.cnptia.embrapa.br/portal/assets/docs/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf> Acesso em: 13 out. 2025.

HORTON, Robert. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, 1945, p. 275–370.

IOST TEODORO, Valter Luiz; TEIXEIRA, Denilson; COSTA, Daniel Jadyr Leite; FULLER, Beatriz Buda. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, n.20, 2007. Disponível em:

<https://www.academia.edu/download/95334745/191.pdf> Acesso em: 14 out. 2025.

LIMA, Aline de Araujo. **Análise Geossistêmica e Gestão Ambiental na Cidade de Teresina–Piauí**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2016b. Disponível em:

https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=3643945 Acesso em: 10 out. 2025.

LIMA, Iracilde Maria de Moura Fé. Hidrografia do Estado do Piauí, disponibilidades e usos. In: AQUINO, C. M. S. A.; SANTOS, F. A. **Recursos Hídricos do Estado do Piauí: fundamentos de gestão e estudos de casos em bacias hidrográficas do centro-norte piauiense**. Cap. 3. Teresina: EDUFPI, 2017, p.43-68. ISBN: 978-85-509-0201-2

LIMA, Iracilde Maria de Moura Fé. Teresina: o relevo, os rios e a cidade. **Revista Equador**, Teresina, v.5, n.3, p. 375-397, 2016a. Disponível em:
<https://revistas.ufpi.br/index.php/equador/article/view/5057> Acesso em: 10 out. 2025.

LIMA, Iracilde Maria de Moura Fé. O relevo de Teresina: compartimentação e aspectos da dinâmica atual. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA, v.9, 2011, Goiânia, **Anais** [...] Goiânia, 2011. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/308697215_O_RELEVO_DE_TERESINA_PI_COMPARTIMENTACAO_E_DINAMICA_ATUAL Acesso em: 10 out. 2025.

PESSOA NETO, Amaury Gouveia; SILVA, Simone Rosa da; BARBOSA, Ioná Maria Beltrão Rameh, 2023. Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Duas Unas, em Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.16, n.6, 3149–3167. Disponível em:

<https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/258933/45107> Acesso em: 19 out. 2024.

SANTOS, Leilson Alves dos. **Contribuições da análise geomorfológica ao planejamento de áreas de expansão urbana da porção leste/sudeste de Teresina, Piauí, Brasil**. Tese de doutorado. 2024. 207 f., enc. il.

SILVA, Ronis Cley Fontes da; PIMENTEL, Marcia Aparecida da Silva; ARAÚJO, Alan Nunes. Caracterização morfométrica e Geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiunas (BHRI), Amazônia Oriental, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.15, n.3, 2022. Disponível em:

<https://www.academia.edu/download/92793877/41309.pdf> Acesso em: 15 out. 2025.

SILVA, Andrelina Fernandes da; FARIAS, Carolyne Wanessa Lins de Andrade. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Mundaú utilizando o modelo Swat. **Revista Semiárido de Visu**, Petrolina, v.9, n.2, p. 76-86, 2021. Disponível em:

<https://semiaridodevisu.ifsertaope.edu.br/index.php/rsdv/article/view/v9n201> Acesso em: 15 out. 2025.

SOARES, Idevan Gusmão; OLIVEIRA, Regina Célia de; SANTOS, Luiz Carlos Araujo dos. Caracterização física e morfométrica da bacia hidrográfica do rio Preguiças, Maranhão – Brasil. In: **14° SINAGEO – SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA**, Corumbá (MS), 2023. Disponível em:

<https://www.sinageo.org.br/2023/trabalhos/3/134-80.html> Acesso em 17 out. 2025.

VALE, Jones Remo Barbosa; COSTA, Leticia Soares da; PIMENTEL, Márcia Aparecida da Silva. 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, jan./abr., 2021. Disponível em:

<https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/72705/45847> Acesso em: 14 out. 2025.



MPRG



RIBEIRO, V. I. C.; SOUSA, R. S. S.
ANÁLISE MORFOMÉTRICA E IMPLICAÇÕES HIDROLÓGICAS
EM UMA SUB-BACIA URBANA DE TERESINA (PI),

VILLELA, Swami Marcondes; MATTOS, Arthur. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975. Disponível em: <https://ecivilufes.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/04/villela-s-m-matos-a-hidrologia-aplicada-caps-1-2-e-3.pdf>
Acesso em: 15 out. 2025.

Teresina. SEMPLAN - Secretaria Municipal de Planejamento. **Plano Diretor de Drenagem Urbana**. Teresina. 2012. Disponível em: <https://sempplan.pmt.pi.gov.br/saneamento-downloads/2015> Acesso: 13 out. 2025

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Piauí (FAPEPI) pelo apoio financeiro concedido para o desenvolvimento desta pesquisa, e ao Grupo de Pesquisa de Geomorfologia, Análise Ambiental e Educação (GAAE) pelo apoio científico.



Margarida
Penteado