

# ANÁLISE MORFOMÉTRICA E DE SUSCEPTIBILIDADE À INUNDAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PERICUMÃ

Felipe Martins Sousa<sup>1</sup>, Alcione Sousa da Silva<sup>2</sup>, José Alves de Oliveira Bisneto<sup>3</sup>, Filipe França dos Santos Silva<sup>4</sup>, Scarlleth Patricia Salomão da Silva<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, [pep.ocean@icloud.com](mailto:pep.ocean@icloud.com); <sup>2</sup> Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, [sousaalcione492@gmail.com](mailto:sousaalcione492@gmail.com); <sup>3</sup> Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, [bisneto.jose@discente.ufma.br](mailto:bisneto.jose@discente.ufma.br); <sup>4</sup> Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, [filipe.franca@discente.ufma.br](mailto:filipe.franca@discente.ufma.br); <sup>5</sup> Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, [scarlleth.patricia@discente.ufma.br](mailto:scarlleth.patricia@discente.ufma.br)

## RESUMO

O presente estudo analisa a suscetibilidade à inundações da bacia hidrográfica do rio Pericumã, localizada no Maranhão. O objetivo é caracterizar os riscos de inundações por meio da estimativa de parâmetros fisiográficos e morfométricos. A metodologia baseia-se na utilização de um Modelo Digital de Elevação (MDE) processado com softwares como QGIS e GRASS GIS, que permitem a vetorização de dados e análise das variáveis morfométricas da bacia. Também foi aplicado o modelo HAND para classificar as áreas de risco. Os resultados revelam que a bacia do rio Pericumã possui alta suscetibilidade a inundações, principalmente devido à baixa altimetria e à alta densidade de drenagem. Áreas entre 0 e 3 metros de altitude foram identificadas como de inundações naturais recorrentes, enquanto as áreas entre 3 e 6 metros apresentam alta suscetibilidade. Conclui-se que a análise é útil para o planejamento territorial, embora a precisão dos dados possa ser melhorada com estudos de campo mais detalhados, o que garantiria uma gestão sustentável da bacia e a mitigação dos impactos ambientais.

**Palavras-chave** — geoprocessamento, sensoriamento remoto, mudanças climáticas, planície de inundações, geotecnologias.

## ABSTRACT

*This study analyzes the flood susceptibility of the Pericumã River basin, located in Maranhão, Brazil. The objective is to assess flood risks through the estimation of physiographic and morphometric parameters. The methodology is based on the use of a Digital Elevation Model (DEM) processed with QGIS and GRASS GIS software, enabling data vectorization and analysis of the basin's morphometric variables. The HAND model was also applied to classify flood-prone areas. The results indicate that the Pericumã River basin has a high susceptibility to flooding, primarily due to its low elevation and high drainage density. Areas between 0 and 3 meters in altitude were identified as naturally flood-prone, while those between 3 and 6 meters present high flood susceptibility. The study concludes that the*

*analysis is valuable for territorial planning, although data accuracy could be improved with more detailed field studies, ensuring a sustainable management of the basin and mitigation of environmental impacts.*

**Key words** — *geoprocessing, remote sensing, climate change, floodplain, geotechnologies.*

## 1. INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, a delimitação de bacias hidrográficas era realizada com base em informações topográficas analógicas, como mapas e cartas, o que introduz incertezas devido à subjetividade dos métodos manuais. Com o avanço dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e o desenvolvimento de Modelos Digitais de Elevação (MDE), surgiram métodos automáticos mais precisos, aumentando a precisão na delimitação dessas áreas [1].

Localizada na região norte do estado do Maranhão, a Baixada Maranhense é reconhecida por abrigar o maior complexo de bacias lacustres da Região Nordeste do Brasil [2]. Os campos naturais inundáveis dessa região apresentam uma complexidade ecológica notável, com uma estrutura e funcionamento variados. Esses ecossistemas incluem lagos rasos temporários que ocupam a planície de inundações, além de lagos marginais e sistemas lacustres permanentes. Essas paisagens são marcadas por uma intensa dinâmica, impulsionada pela atividade sazonal que influencia os agentes modeladores em escalas locais e regionais [3].

A bacia hidrográfica do rio Pericumã, situada no norte do Maranhão, cobre uma área com cerca de 3.843 km<sup>2</sup> e abrange 14 municípios. Este sistema inclui uma diversidade de ambientes aquáticos complexos, com uma estrutura e funcionamento variados [4],[5].

No contexto atual, o crescimento urbano desordenado nas margens do rio Pericumã tem exacerbado os impactos ambientais, como o desmatamento da mata ciliar, o aterramento das margens para a construção de habitações irregulares e o assoreamento do leito do rio. Esses fatores contribuem para a intensificação da suscetibilidade da bacia às enchentes e inundações, problemas que se tornam ainda mais críticos à medida que as mudanças climáticas e a ação humana alteram as condições naturais da bacia [6].

A análise morfométrica emerge como uma ferramenta crucial para compreender essas dinâmicas e avaliar a vulnerabilidade da bacia do Pericumã a eventos extremos, fornecendo informações valiosas para o planejamento e a gestão territorial sustentável [7]. Quando integrada a dados de campo e técnicas de geoprocessamento, essa abordagem permite uma compreensão detalhada da morfologia da bacia, auxiliando na identificação de áreas de risco e na implementação de medidas de mitigação [8].

Assim, o estudo da suscetibilidade de enchentes na Bacia do Rio Pericumã é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de gestão que garantam a preservação dos recursos naturais e a segurança das populações locais, contribuindo para uma ocupação mais equilibrada e sustentável dessa região rica e diversificada. Neste contexto, o objetivo deste estudo é realizar uma análise da suscetibilidade à inundação da bacia hidrográfica do rio Pericumã, por meio da estimativa de parâmetros fisiográficos e caracterização morfométrica.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Área de estudo

A Bacia hidrográfica do rio Pericumã, conforme representado na (figura 1), abrange uma significativa porção da microrregião da Baixada Maranhense e parte do litoral ocidental do estado do Maranhão. A bacia envolve os municípios de Bequimão, Central do Maranhão, Guimarães, Matinha, Mirinzal, Palmeirândia, Pedro do Rosário, Perimirim, Pinheiro, Presidente Sarney, São Bento, São Vicente Ferrer, Olinda Nova do Maranhão e Viana. No entanto, foram desconsiderados do mapa de localização dois municípios, Presidente Sarney e Mirinzal, que apresentaram apenas uma pequena área da bacia em seus territórios, o que não compromete a integridade da análise espacial realizada. Dentre os municípios mapeados, apenas Pedro do Rosário, Pinheiro e Central do Maranhão possuem centros urbanos localizados dentro dos limites da bacia hidrográfica.

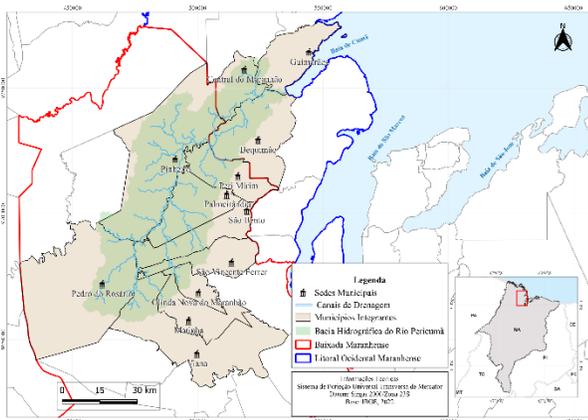


Figura 1: Localização da Bacia hidrográfica do rio Pericumã.

O mapa ilustra a localização das sedes municipais, a rede de canais de drenagem em fluxo total acumulado e a delimitação da bacia hidrográfica, destacando a inserção da

bacia dentro dos limites da Baixada Maranhense e do Litoral Ocidental Maranhense. A projeção utilizada no mapa foi a Universal Transversa de Mercator (UTM), na Zona 23S, com o datum SIRGAS 2000, garantindo a precisão na representação cartográfica conforme as especificações do IBGE.

### 2.2. Processamento

#### 2.2.1 Coleta de dados fisiográficos e morfométricos

Parâmetros	Descrição	Fórmula	Fonte
Área total (A)	Extensão total da superfície terrestre que drena água para um ponto específico em um curso d'água.	$A = N \cdot a$	Horton (1945)
Comprimento axial da bacia (L <sub>a</sub> )	Distância linear máxima entre o ponto mais distante da bacia e a sua foz.	$L_a = \sum_{i=1}^n c_i$	Vilela e Mattos (1975)
Fator de forma (K <sub>f</sub> )	Representa a relação entre a área e o comprimento axial da bacia.	$K_f = \frac{K}{Lax^2}$	Horton (1945)
Coefficiente de compactidade (K <sub>c</sub> )	Relação entre o perímetro da bacia hidrográfica e a circunferência de um círculo hipotético com a mesma área de drenagem.	$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$	Vilela e Mattos (1975)
Índice de circularidade (k <sub>c</sub> )	Refere-se à relação entre a área total da bacia hidrográfica e a área de um círculo cujo perímetro corresponde ao da bacia.	$k_c = \frac{12,57A}{P^2}$	Schumm (1956)
Razão de elongação (R <sub>e</sub> )	Relação entre o diâmetro da área e o comprimento do eixo da bacia.	$R_e = 1,128 \left( \frac{A^{0,5}}{Lax} \right)$	Vilela e Mattos (1975)
Densidade hidrográfica (D <sub>h</sub> )	Proporção entre a quantidade de rios ou cursos d'água e a extensão da bacia hidrográfica.	$D_h = \frac{N}{A}$	Christofletti (1974)
Amplitude altimétrica da bacia hidrográfica (H <sub>b</sub> )	Diferença entre o ponto mais alto e o ponto mais baixo do rio.	$H_b = H_{max} - H_{min}$	Collachon e Dornelles (2013)
Razão de textura (T)	Relação entre a quantidade de segmentos de rios e o contorno da bacia.	$T = \frac{Nt}{P}$	Horton (1945)
Índice de rugosidade (R <sub>r</sub> )	Produto da amplitude altimétrica, que representa a diferença de altitude da bacia, pela densidade de drenagem.	$R_r = \Delta a \cdot D_b$	Milton (1957)
Índice de sinuosidade (I <sub>s</sub> )	Relação entre o comprimento do rio principal e a distância vetorial entre os seus extremos.	$I_s = \frac{100 \cdot (L_p - L_t)}{L_p}$	Vilela e Mattos (1975)
Razão de relevo (R <sub>r</sub> )	Razão entre amplitude altimétrica e o comprimento do principal curso d'água.	$R_r = \frac{A}{L}$	Schumm (1956)
Extensão média do escoamento superficial (l)	Distância média que a água da chuva tem que escoar sobre os terrenos de uma bacia.	$l = \frac{A}{4L_{tot}}$	Vilela e Mattos (1975)
Densidade de drenagem (D <sub>d</sub> )	Relação entre o somatório dos comprimentos de todos os canais da rede.	$D_d = \frac{L_{tot}}{A}$	Vilela e Mattos (1975)
Número total de canais (T <sub>C</sub> )	Quantidade de cursos d'água que estão presentes na área da bacia.	$N = \sum_{i=1}^K c_i$	Schumm (1956)

Tabela 1: Descrição dos parâmetros morfométricos.

Para realizar o estudo morfométrico da bacia hidrográfica, foram obtidos dados fisiográficos por meio de um Modelo Digital de Elevação (MDE) com resolução espacial de 30 metros, disponibilizado pelo projeto OpenTopography. O MDE foi processado utilizando o programa Earth Science Data Systems (ESDS) da NASA, o qual realizou o refinamento dos dados e a eliminação de ruídos indesejados.

Para a análise morfométrica os dados de fluxo acumulado, direção de drenagem, segmentos de rios, declividade, índice topográfico e índice de potência de fluxo de saída foram obtidos usando o software GRASS GIS. Esses parâmetros são cruciais para a caracterização morfométrica da bacia, fornecendo uma base sólida para as análises subsequentes.

A vetorização dos dados, um passo crítico para a precisão da análise espacial, foi realizada no software QuantumGIS (QGIS). A projeção utilizada foi a Universal Transversa de Mercator, na zona 23S, com datum SIRGAS 2000, assegurando a consistência espacial dos dados com outras fontes de informação geográfica.

A ferramenta de Estatísticas Zonais do QGIS foi utilizada para calcular as estatísticas altimétricas a partir do MDE, incluindo média, valor mínimo, valor máximo e intervalo de

elevações. Estas estatísticas são fundamentais para descrever a variabilidade topográfica da bacia.

A rede de drenagem foi vetorizada com o objetivo de extrair as variáveis morfométricas, como o comprimento axial, número total de canais e o comprimento total da rede de drenagem. Essas variáveis foram posteriormente calculadas manualmente no Rstudio para gerar os parâmetros morfométricos, área total da bacia, densidade de drenagem, índice de rugosidade, entre outros, conforme detalhado na (tabela 1).

### 2.2.2 Modelo hand

Para uma melhor compreensão espacial da susceptibilidade a inundações na bacia, foi utilizado o modelo *Height Above the Nearest Drainage* (HAND). Esse modelo digital de terreno é reconhecido por sua robustez e versatilidade, sendo normalizado pela rede de drenagem. O HAND é amplamente aplicado no mapeamento preditivo de risco hidrológico, com a capacidade de gerar contornos vetoriais normalizados, indicando zonas escalonadas de risco de inundação [9].

Para classificar as áreas de provável susceptibilidade a inundações, foi utilizado o mesmo modelo digital de elevação (MDE) empregado anteriormente para caracterizar e gerar os dados morfométricos. O MDE foi processado seguindo a metodologia do algoritmo HAND, que começa com a correção do MDE, ajustando-o para refletir com maior precisão o terreno natural. Em seguida, o software determina a direção do fluxo da água para identificar os caminhos que as inundações podem seguir. O algoritmo calcula a quantidade de água que cada parte do terreno pode acumular, um fator crucial na previsão de inundações. Por fim, é calculado o HAND, que representa a elevação de um ponto em relação à drenagem mais próxima, fornecendo uma representação visual das áreas em risco.

Após a geração do modelo final, a classificação foi realizada no software Quantum GIS, seguindo a ordem altimétrica de 0 a 170 metros geradas pelo modelo Hand. Valores de 0 a 3 metros indicam áreas de inundação natural, já que grande parte da bacia está inserida em um contexto de grandes planícies baixas que alagam na estação das chuvas. Essa classificação foi definida após uma análise utilizando o *Normalized Difference Water Index* (NDWI), em uma série temporal de 30 anos, a fim de obter os valores médios dos corpos d'água durante o período de maior precipitação para adequar a classificação de alta susceptibilidade. As demais classificações são: 3 a 6 metros como alta susceptibilidade, 6 a 12 metros como média susceptibilidade, 12 a 24 metros como baixa susceptibilidade, e 24 a 170 metros como muito baixa susceptibilidade.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Pericumã, quando considerados dentro do contexto da Baixada Maranhense, proporcionam uma compreensão

aprofundada das dinâmicas hidrológicas dessa região específica. A Baixada Maranhense, uma microrregião do estado do Maranhão, é caracterizada por terrenos predominantemente baixos, frequentemente alagados, com uma extensa rede de rios intermitentes e grandes concentrações de lagos. Esse ambiente exerce uma influência significativa sobre o comportamento hidrológico da bacia do rio Pericumã.

	Parâmetros	Valores	Unidades
Características geométricas	Área total (A)	3843	km <sup>2</sup>
	Perímetro (P)	455	km
	Comprimento axial da bacia (Lb)	123	km
	Fator de forma (Kf)	0,25	Adimensional
	Coefficiente de compactidade (Kc)	2,05	Adimensional
	Índice de circularidade (Ic)	0,23	Adimensional
Características do relevo	Razão de alongação (Re)	0,57	Adimensional
	Densidade hidrográfica (Dh)	6,66	Canais.km <sup>-2</sup>
	Altitude máxima (Hmáx)	170	m
	Altitude média (Hmed)	23	m
	Altitude mínima (Hmín)	-27	m
	Amplitude altimétrica da bacia hidrográfica (Hb)	197	m
Características da rede de drenagem	Razão de textura (T)	56	Adimensional
	Índice de rugosidade (Ir)	0,36	Adimensional
	Índice de sinuosidade (Is)	1,09	Adimensional
	Relação de relevo (Rr)	0,0916	Adimensional
	Comprimento total dos canais (LT)	7004	km
	Comprimento total do canal principal (L)	134	km
Características da rede de drenagem	Extensão média do escoamento superficial (E)	0,137	km
	Densidade de drenagem (Dd)	1,8	km.km <sup>-2</sup>
	Número total de canais (TC)	25611	Adimensional

**tabela 2: Características morfométricas da Bacia hidrográfica do rio Pericumã.**

A bacia do rio Pericumã, inserida nesse contexto, apresenta uma amplitude altimétrica relativamente baixa de 197 metros e um índice de rugosidade de 0,022, indicando um relevo suave, típico das planícies da Baixada Maranhense. Esse relevo suave, aliado à alta densidade hidrográfica 6,66 canais por km<sup>2</sup> e à densidade de drenagem 1,8 km/km<sup>2</sup>, sugere que a bacia possui uma capacidade significativa de acumulação de água superficial. Em períodos de chuva intensa, essa capacidade pode resultar na formação de extensas áreas alagadas, uma característica comum dos campos inundáveis da Baixada Maranhense.

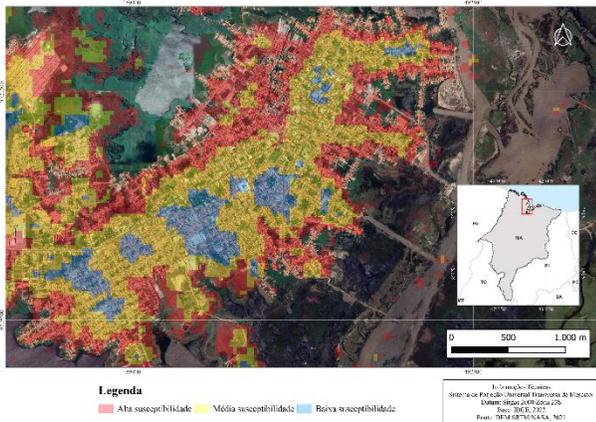
Além disso, o formato alongado da bacia, evidenciado pelo fator de forma de 0,25 e pelo índice de circularidade de 0,23, sugere uma resposta hidrológica mais lenta, o que é condizente com a baixa declividade e a presença de grandes áreas alagáveis. A presença de rios intermitentes na região, que secam em determinadas épocas do ano, também contribui para a dinâmica do fluxo e a variabilidade na disponibilidade de recursos hídricos ao longo do tempo.

Essas características morfométricas, combinadas com o ambiente geográfico da Baixada Maranhense, tornam a bacia do rio Pericumã altamente propensa a inundações. A predisposição à inundação é exacerbada pela topografia plana, pela alta densidade de canais de drenagem e pela tendência de formação de grandes áreas alagadas durante eventos de precipitação intensa.

A (figura 2) ilustra a suscetibilidade à inundação de uma porção da área urbana da cidade de Pinheiro, localizada nas margens do rio Pericumã, no estado do Maranhão. Esta análise espacial foi realizada com o objetivo de identificar e classificar as áreas urbanas quanto ao risco de inundação.

Com base na classificação altimétrica de 0 a 170 metros, as áreas foram categorizadas conforme sua susceptibilidade a

inundações, levando em consideração as características geomorfológicas da bacia hidrográfica do rio Pericumã.



**figura 02: suscetibilidade à inundação do município de pinheiro.**

As áreas situadas entre 0 a 3 metros de altitude foram excluídas da visualização, pois representam predominantemente canais e grandes áreas de inundação natural recorrentes na região, onde a suscetibilidade é intrinsecamente alta. Os valores delimitados pelo NDWI representaram de forma satisfatória a área classificada entre 0 e 3 metros de altitude, identificando-a como uma região de campos inundáveis. As áreas com altitudes de 3 a 6 metros foram classificadas como de alta suscetibilidade a inundações, sendo representadas pela cor vermelha, indicando zonas críticas que demandam atenção especial no planejamento e gestão de recursos hídricos. As áreas entre 6 a 12 metros, classificadas como de média suscetibilidade e representadas pela cor amarela, ainda apresentam risco significativo de inundação, especialmente durante eventos de precipitação intensa. As áreas entre 12 a 24 metros, por sua vez, foram classificadas como de baixa suscetibilidade e representadas pela cor azul, sugerindo que essas regiões são menos propensas a inundações, mas ainda podem ser afetadas sob condições extremas. Por fim, as áreas entre 24 a 170 metros, categorizadas como de muito baixa suscetibilidade, foram ignoradas na visualização, dado que representam áreas com baixíssima probabilidade de serem inundadas.

Apesar da classificação ter se mostrado satisfatória para os objetivos do trabalho, é importante destacar algumas limitações associadas à precisão da análise. O tamanho do pixel utilizado, de 900 m<sup>2</sup>, é relativamente grande, o que pode reduzir a precisão da análise espacial. Esse tamanho de pixel pode suavizar ou omitir detalhes topográficos importantes, o que é uma consideração crítica quando se trata de identificar zonas de suscetibilidade a inundações em áreas tão dinâmicas como a baixada maranhense. Além disso, embora a classificação realizada forneça uma visão geral útil das áreas suscetíveis, a precisão dos resultados poderia ser aprimorada com estudos de campo mais detalhados. Um estudo de campo aprimorado permitiria uma verificação mais precisa das áreas

classificadas, ajustando a modelagem digital do terreno e refinando as zonas de suscetibilidade com base em observações diretas e medições em campo. Isso seria particularmente útil para validar os dados altimétricos e ajustar as zonas de suscetibilidade a inundações, garantindo que as estratégias de mitigação e planejamento sejam baseadas em informações mais robustas e detalhadas.

A construção em áreas de risco de inundação, como as identificadas na (figura 2), apresenta sérios desafios tanto para o meio ambiente quanto para a segurança das populações locais. Essas edificações, muitas vezes realizadas de forma desordenada e sem o devido planejamento, agravam os impactos das inundações ao interferir nos fluxos naturais de água, aumentando o risco de alagamentos severos e prolongados. Além disso, a ocupação dessas áreas vulneráveis coloca as comunidades em constante perigo, exacerbando os danos materiais e humanos durante eventos de precipitação intensa.

A ausência de infraestrutura adequada, como sistemas de drenagem eficientes, e a falta de políticas rigorosas de zoneamento agravam ainda mais a situação, resultando em um ciclo vicioso de vulnerabilidade e danos recorrentes. Portanto, é crucial que o planejamento urbano considere as características geomorfológicas da região e implemente medidas de mitigação, como a restrição de construções em áreas de alta suscetibilidade.

#### 4. CONCLUSÕES

A análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Pericumã revelou características que indicam uma alta suscetibilidade a inundações, especialmente devido à topografia plana e à alta densidade de canais de drenagem presentes na região da Baixada Maranhense. O modelo HAND foi eficaz na identificação das áreas de maior risco, proporcionando uma base valiosa para o planejamento e mitigação de impactos ambientais e sociais. No entanto, a precisão da análise pode ser aprimorada com estudos de campo mais detalhados, o que reforça a necessidade de uma abordagem contínua e integrada para a gestão sustentável da bacia.

#### 5. REFERÊNCIAS

- [1] Garbrecht, J.; Martz, L.W. Digital elevation model issues in water resources modeling. In: ESRI USERS CONFERENCE, 19., 1999, San Diego, CA.
- [2] Marques, Walter Rodrigues et al. Água e sustentabilidade dos ecossistemas naturais: consequências de ocupações irregulares no Rio Paciência. *Conjecturas*, v. 21, n. 2, p. 260-276, 2021.
- [3] Casarin, F., & Dos Santos, M. *Água: o ouro azul: Usos e abusos dos recursos hídricos*. Editora Garamond, Rio de Janeiro, 2011.
- [4] Rodrigues, T. C. S. Estudo da cobertura e uso da terra na microrregião do Gurupi, Amazônia maranhense, entre os anos 1976-2016 por meio da aplicação do sensoriamento remoto e SIG's - Tese de doutorado - Programa de Pós-Graduação em Geografia da

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” UNESP/FCT, 2018.

[5] IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Panorama. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/panorama>. Acesso em: 27 ago. 2024.

[6] Sousa, Lorena Cristina Silva; Costa, Francisco Wendell Dias. CRESCIMENTO DESORDENADO ÀS MARGENS DO RIO PERICUMÃ NO MUNICÍPIO DE PINHEIRO-MA. IX Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental, XV Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Ambiental e III Fórum Latino Americano de Engenharia e Sustentabilidade. Belo Horizonte - MG, 2017.

[7] Christofoletti, Antonio. Análise de sistemas em geografia: introdução. Editora Hucitec, Editora da Universidade de São Paulo, 1979.

[8] Shiraishi, C. S., Azevedo, J. F. D., Silva, A. V. D., Sant'Ana, D. D. M. G., & Araújo, E. J. D. A. Análise morfométrica da parede intestinal e dinâmica de mucinas secretadas no íleo de frangos infectados por *Toxoplasma gondii*. *Ciência Rural*, v. 39, p. 2146-2153, 2009.

[9] Nobre, A. D., Cuartas, L. A., Hodnett, M., Rennó, C. D., Rodrigues, G., Silveira, A., & Saleska, S. Altura acima da drenagem mais próxima – um novo modelo de terreno hidrologicamente relevante. *Journal of Hydrology*, v. 404, n. 1-2, p. 13-29, 2011.