



Caracterização morfométrica da microbacia hidrográfica da barragem de Pau dos Ferros/RN

Morphometric characterization of the hydrographic microbasin of the Pau dos Ferros dam/RN

Adriano de Araújo Aires¹, Joseane Dunga da Costa¹, Joel Medeiros Bezerra¹, Alana Ticiane Alves do Rêgo²

¹ Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, Rio Grande do Norte, Brasil

² Universidade do Estado do Rio Grande do Norte - UERN, Rio Grande do Norte, Brasil

Contato: adrianoaraujo2010@live.com

Palavras-Chave

gestão de recursos hídricos
SIG
sensoriamento remoto
geoprocessamento
planejamento ambiental

Key-word

water resources management
GIS
remote sensing
geoprocessing
environmental planning

RESUMO

Diante do crescimento urbano desordenado, a região do Semiárido Nordeste Brasileiro tem apresentado problemáticas voltadas para o gerenciamento e ordenamento dos recursos hídricos, tal como da ocupação da bacia vertente. Nesse sentido, o presente estudo pretende realizar a caracterização morfométrica da Microbacia Hidrográfica da Barragem de Pau dos Ferros/RN (MHBPF), visando mapear os principais aspectos físicos e morfométricos para subsidiar melhorias quanto à qualidade ambiental de recursos hídricos na unidade territorial. Através da aplicação de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, mediante a análise do Modelo Digital de Elevação (MDE) disponível no projeto TOPODATA e processamento em um Sistema de Informação Geográfica (SIG) através do software QGIS, obtiveram-se características da área de estudo quanto à sua forma geométrica, de relevo e rede de drenagem. Verificou-se que as características analisadas na microbacia se mostraram favoráveis ao abastecimento hídrico, dado que indicam que a MHBPF apresenta baixa tendência a grandes enchentes e rápido acúmulo d'água no reservatório. Diante dos resultados apresentados, torna-se ainda mais importante a adoção de um planejamento e gerenciamento adequado dos recursos hídricos para minimizar efeitos antrópicos adversos que podem atingir a disponibilidade da sua qualidade e quantidade na região.

ABSTRACT

Faced with disordered urban growth, the semiarid region of Northeast Brazil has presented problems related to the management and ordering of water resources, such as the occupation of the watershed. In this sense, this study intends to carry out the morphometric characterization of the hydrographic microbasin of the Pau dos Ferros Dam/RN (MHBPF), aiming to map the main physical and morphometric aspects to support improvements in the environmental quality of water resources in the territorial unit. Through the application of geoprocessing and remote sensing techniques, through the analysis of the Digital Elevation Model (DEM) available in the TOPODATA project and processing in a Geographic Information System (GIS) through the QGIS software, characteristics of the study area were obtained. As to its geometric shape, relief and drainage network. It was found that the characteristics analyzed in the microbasin were favorable to water supply, as they indicate that the MHBPF has a low tendency to large floods and rapid accumulation of water in the reservoir. Given the results presented, it becomes even more important to adopt adequate planning and management of water resources to minimize adverse anthropogenic effects that can affect the availability of its quality and quantity in the region.

Informações do artigo

Recebido: 27 de agosto, 2021

Aceito: 21 de outubro, 2021

Publicado: 22 de dezembro, 2021

Introdução

Nas últimas décadas, houve um aumento no debate sobre o gerenciamento e a disponibilidade de recursos hídricos frente ao grande período de estiagem, principalmente na região do Semiárido Nordestino. Apesar do Brasil apresentar grande diversidade de recursos naturais, a vulnerabilidade hídrica em razão da redução da disponibilidade de água nos reservatórios vivenciada na região semiárida, chega a ser crítica as potencialidades superficiais e subterrâneas (GOUVEIA; PEDROSA, 2015).

Entretanto, diante do crescimento urbano desordenado, oriundo da ausência de ações da política social e estrutural, somando ao aumento populacional e o crescente processo de desenvolvimento urbano e agroindustrial tem exercido grandes impactos sobre os recursos naturais, especialmente quanto à segurança hídrica e declínio da qualidade ambiental (KROTH; VIEIRA; YKEIZUMI, 2020). Dessa forma, destaca-se que a importância da integração de ações e regulamentações na gestão de sistemas hídricos são fundamentais para orientar na tomada de decisões.

Portanto, para compreensão e caracterização preliminar dos processos da paisagem e de orientação para planejamentos de uso e ocupação dos solos, a análise morfométrica é reconhecida como uma relevante ferramenta que permite através de técnicas e procedimentos qualitativos de modo a diagnosticar problemáticas potenciais e subsidiar melhorias quanto à qualidade ambiental de recursos hídricos (FIORESE; AGUILAR, 2019).

Perante o cenário em que remete a necessidade de uma gestão ordenada, tem-se o surgimento da Lei nº 9.433/1997, que dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos, onde instituiu um novo modelo de gestão das águas, baseado nos princípios da descentralização e da participação. Mediante suas diretrizes legais, é estabelecido em seus fundamentos predispostos no inciso V do art. 1º a definição da bacia hidrográfica como sendo uma “unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos” (BRASIL, 1997). À vista disso, o estudo das bacias hidrográficas é fundamental para o planejamento urbano e ambiental, bem como para a gestão dos recursos hídricos, dado que são unidades físicas bem delimitadas, onde se podem avaliar seus processos de funcionamento (WESTPHALEN; SANTOS, 2004).

Devido à grande importância desta área territorial, são fundamentais estudos para melhor compreender os seus aspectos morfométricos, processos de entradas e saídas do sistema, bem como permitir na busca da compreensão das condicionantes ambientais e antrópicas em uma bacia hidrográfica (SILVA; MACHADO, 2014).

Para tanto, com a finalidade de subsidiar o desenvolvimento de estudos ambientais e obter uma análise espacial de unidades territoriais, verifica-se na literatura um significativo avanço das geotecnologias aliados aos estudos morfométricos, mediante uso de imagens de satélites processadas em um ambiente de

Sistema de Informação Geográfica (SIG) (DIAS et al., 2019).

Diante desse contexto, o recorte espacial da região do Alto Oeste Potiguar, em específico a Microbacia Hidrográfica da Barragem de Pau dos Ferros/RN, localizada em uma região tipicamente de clima semiárido, remete a cenários que refletem problemas voltados ao gerenciamento e ordenamento dos recursos hídricos, assim como a dinâmica multitemporal do uso e ocupação do solo, os quais têm impactado no ciclo das águas em sua bacia hidrográfica, mostrando-se evidente a relevância do estudo em caracterizar, mapear e identificar os principais aspectos físicos da referida área de estudo.

Dessa forma, o presente estudo concerne em realizar a caracterização morfométrica da Microbacia Hidrográfica da Barragem de Pau dos Ferros/RN, visando mapear os principais aspectos físicos e morfométricos para subsidiar melhorias quanto à qualidade ambiental de recursos hídricos na unidade territorial.

Material e Métodos

Área de estudo

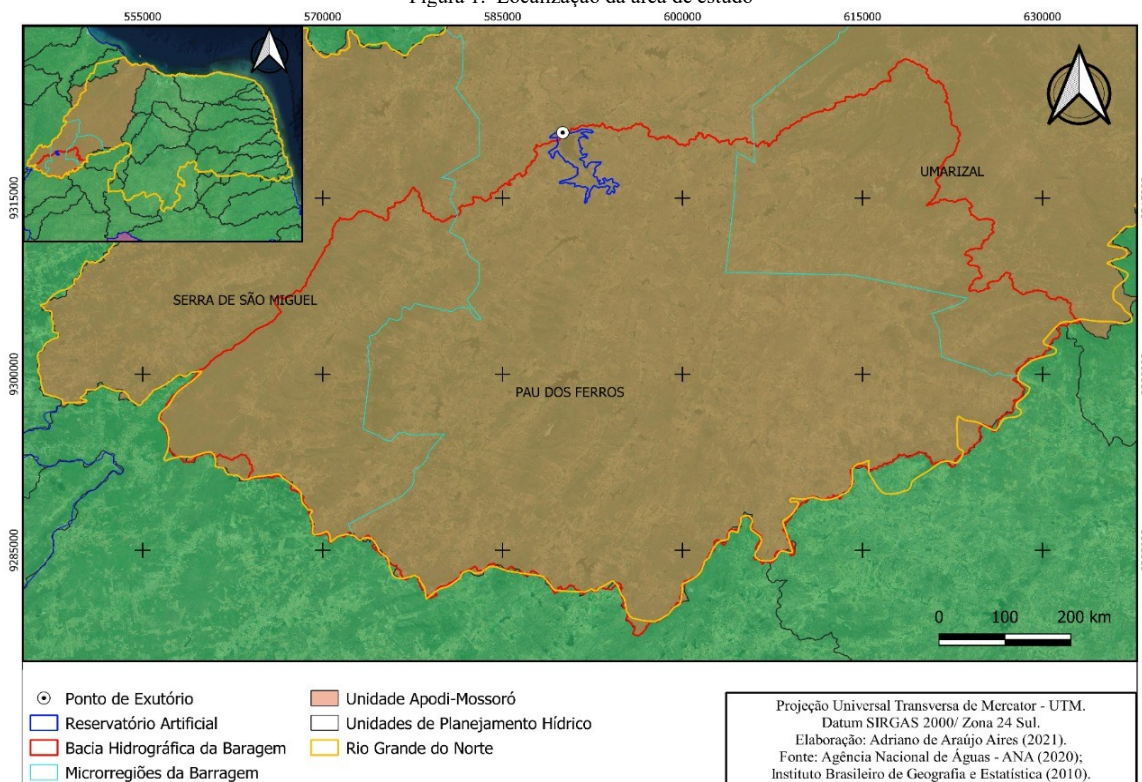
A presente pesquisa teve como objeto de estudo a Microbacia Hidrográfica da Barragem de Pau Dos Ferros (MHBPF), em que abrange 15 municípios do estado do Rio Grande do Norte. Sua área territorial compreende aproximadamente 2042,93 Km² e possui um perímetro de 298,62 Km, com localização de seu exutório em projeção de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM) em 590011,78 m E e 9320564,05 m S (Figura 1). O seu reservatório localiza-se em grande parte no município de Pau dos Ferros, mas contempla também os municípios de Rafael Fernandes e Marcelino Vieira.

Foi construído pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) no ano de 1967, e inaugurado em 1968 com a principal finalidade de servir para abastecimento humano, o reservatório tem capacidade de 54.846.000 m³ (QUEIROZ, 2017; SEARH, 2021). A barragem fica inserida na unidade de planejamento hídrico Apodi-Mossoró, sob regulamentação do Comitê de Bacia Hidrográfica do rio Apodi-Mossoró/RN, o qual foi criado por Decreto Governamental nº 21.881, de 10 de setembro de 2010 (PINTO FILHO; CUNHA, 2021).

Desde a inauguração da barragem, a mesma vem sendo utilizada sem um planejamento adequado com relação ao uso da água e à ocupação das áreas do seu entorno, ocasionando sérios problemas de degradação ambiental, com reflexos na comunidade e economia local (OLIVEIRA NETO et al., 2016).

Embora a Microrregião de Pau dos Ferros tenha o Setor de Serviços como principal fator dinamizador da economia, observa-se que ainda existe uma presença marcante da agricultura familiar, nem tanto no sentido estritamente econômico, mas como elemento representativo da história, da cultura e da conformação social microrregional (LIMA; SOUTO; FILHO BOANERGES, 2021).

Figura 1. Localização da área de estudo



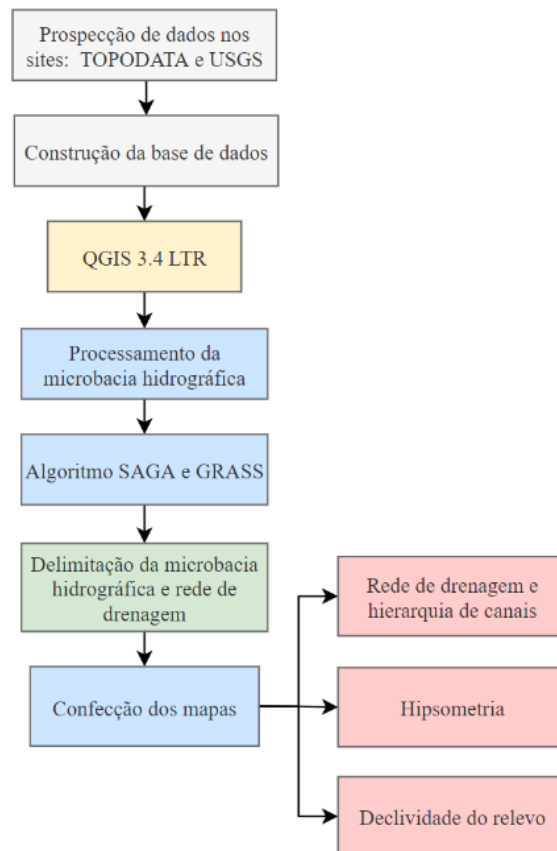
Fonte: Autores (2020)

Coleta e processamento de dados morfométricos

O processo de construção da base de dados e processamento realizado na pesquisa, bem como prospecção dos materiais e processamento realizado para cada produto desejado está descrito na Figura 2. Para a coleta e processamento dos dados realizou-se a definição da área a ser estudada, da qual se trata da microbacia hidrográfica em questão. Para tanto, realizou-se o processamento automático por meio do Modelo Digital de Elevação (MDE), conforme especificações do Quadro 1. No que concerne as análises espaciais, utilizou-se a ferramenta do Sistema de Informações Geográficas (SIG) através do software QGIS versão 3.4 Long Term Release (LTR), com o auxílio de complementos dos algoritmos SAGA e GRASS, mediante os comandos `r.watershed`, `r.wateroutlet`, `Fill sinks (wang & liu)` e `Channel network and drainage basins`, conforme realiza a metodologia aplicada por Rêgo et al. (2020).

Para a análise dos parâmetros morfométricos da MHBPF realizaram-se cálculos matemáticos mediante literatura especializada disponível acerca dos parâmetros morfométricos mais relevantes de uma bacia, com a finalidade de caracterizar sua forma geométrica, relevo e rede de drenagem (Quadro 2).

Figura 2. Fluxograma de processamento dos dados.



Fonte: Autores (2021).

Quadro 1. Descrição das características dos produtos que compõe a base de dados.

Características	Produto
	Modelo Digital de Elevação - MDE
Resolução Espacial	30 m
Banda	Simples falsa cor
Folha	06S39_ZN
Sistema Geodésico de Referência	World Geodetic System – WGS84
Projeção Cartográfica	Universal Transversa Mercator - UTM
Fornecimento	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (TOPODATA)

Fonte: Autores (2020).

Através do processamento dos aspectos físicos calculados pelo quadro de atributos dos vetores, foram elaboradas cartas temáticas com: as curvas de níveis com equidistância de 100 metros e a hipsometria da área de estudo para representação gráfica da variação de altitude em relação ao nível do mar; a hierarquização dos canais da rede de drenagem, a declividade sob classificação conforme a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1979), apresentado na Quadro 3.

Quadro 2. Parâmetros morfométricos a serem avaliados na MHBPF.

Características	Parâmetros	Descrição	Equação
Geométricas	Área da Bacia (A)	Área plana (projeção horizontal) inclusa entre seus divisores topográficos (km ²).	A
	Perímetro (P)	Linha imaginária que delimita a bacia através de um divisor de águas principal (km).	P
	Coefficiente Compacidade (K _c)	Em que: K _c é o coeficiente de compacidade, A é a área de drenagem da bacia (km ²) e L o comprimento do curso d'água principal da bacia (km) (VILLELA; MATTOS, 1975).	$K_c = \frac{A}{L^2}$
	Fator de Forma (K _c)	Em que K _c é o fator de forma, na qual elaciona o perímetro da bacia com o perímetro de uma circunferência de área igual à da bacia, em que quanto mais próximo de 1, mais circular será a bacia e maior será sua capacidade de proporcionar grandes cheias (MELLO; SILVA, 2013).	$K_c = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$
	Índice de Circularidade (I _c)	Tende para a unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a bacia tende a forma alongada (TONELLO et al., 2006).	$I_c = \frac{12,57A}{P^2}$
Relevo	Altitudes mínima, máxima da microbacia e maior e menor altitude do canal principal (H _{min} ; H _{máx} ; H _{min} ; HC _{máx}),	As altitudes foram expressas em metros. H _{min} refere-se e atitude mínima da microbacia, H _{máx} a altitude máxima da microbacia, HC _{min} a altitude mínima do canal principal e HC _{máx} a altitude máxima do canal principal.	H _{min} H _{máx} HC _{máx} HC _{min}
	Amplitude altimétrica (ΔH)	Diferença entre as altitudes máxima e mínima ocorrentes na bacia.	ΔH = H _{máx} - H _{min}
	Declividade média da bacia (I)	Em que: I é a declividade média da bacia (%); D a equidistância vertical entre as curvas de nível (km); CN o comprimento total das curvas de nível (km) (MELLO; SILVA, 2013).	$I = \frac{D}{A} \left(\sum_{i=1}^n CN_i \right) 100$
	Declividade do curso d'água principal (I _{eq})	Em que: I _{eq} é a declividade equivalente (m km ⁻¹); ΔH a amplitude altimétrica do curso d'água principal (m); e L é o comprimento do curso d'água principal (km) (BEZERRA et al., 2015).	$I_{eq} = \frac{\Delta H}{L}$
Rede de Drenagem	Comprimento do curso d'água principal (L):	Geralmente é expresso em km.	L
	Rede de drenagem (Rd)	Somatório dos comprimentos (em km) de todos os cursos d'água de uma bacia hidrográfica, sejam eles: perenes, intermitentes ou efêmeros da bacia hidrográfica.	Rd = ΣLi
	Densidade de drenagem (Dd)	Em que: Dd é a densidade de drenagem (km/km ² ou m/ha), Rd a rede de drenagem (km ou m) e A é a área de drenagem da bacia (km ² ou em ha) (BELTRAME, 1994).	$Dd = \frac{Rd}{A}$
	Densidade Hidrográfica (D _n)	Relação existente entre o número de cursos d'água e a área da bacia, conforme Almeida (2017).	$D_n = \frac{n}{A}$
	Ordem dos cursos d'água	Utilizou-se neste trabalho a classificação apresentada por Strahler (1957).	-
	Extensão média do escoamento superficial (C _m)	Relaciona a densidade de drenagem da bacia hidrográfica com o comprimento médio lateral da rede de drenagem.	$C_m = \frac{1}{4 \cdot D_d}$
	Tempo de Concentração (T _c)	É o tempo de percurso da água precipitada desde o ponto cinematicamente mais afastado da bacia hidrográfica até a secção de referência. O tempo de concentração (minutos) será calculado pela fórmula de Kirpich Modificada, expressa por Franco (2004). ΔH é a diferença de cotas nas extremidades do dreno principal.	$T_c = 85,2 \cdot \left(\frac{L^2}{\Delta H} \right)^{0,125}$
	Índice de Sinuosidade (Sin)	Relação entre o comprimento do canal principal (L) e a distância vetorial entre os extremos do canal (L _v) (VILLELA; MATTOS, 1975).	$Sin = \frac{L}{L_v}$
Textura da topografia (Tt)	Representa o grau de entalhamento e dissecação da bacia hidrográfica, leva em consideração a densidade de drenagem (Dd). Valores menores do que 4,0 são classificados como textura grosseira, entre 4,0 e 10,0 textura média e maiores que 10,0 são considerados finos (TRAJANO et al., 2012; FRANCO; DAL SANTO, 2015).	$\log Tt = 0,219649 + 1,115 \log Dd$	

Fonte: Autores (2020)

Quadro 3. Classificação da declividade da EMBRAPA

Classes de Declividade (%)	Relevo
0 – 3	Plano
3 – 8	Relevo suavemente ondulado
8 – 20	Relevo ondulado
20- 45	Relevo fortemente ondulado
45 – 75	Relevo montanhoso
> 75	Relevo fortemente montanhoso

Fonte: Embrapa (1979)

Resultados e Discussão

Com base nos cálculos dos parâmetros físicos obtidos através do processamento de dados da MHBPF, foi possível obter resultados quanto às características geométricas, de relevo e rede de drenagem (Quadro 4).

Quadro 4: Características morfométricas da Microbacia Hidrográfica da Barragem de Pau dos Ferros/RN.

Características	Parâmetros	Siglas	Unidades	Valores
Geométricas	Área da Bacia	A	Km ²	2.042,93
	Perímetro	P	Km	298,62
	Coeficiente Compacidade	K _c	-	1,84
	Fator de Forma	K _f	-	0,54
	Índice de Circularidade	I _c	-	0,29
Relevo	Maior altitude da bacia	H _{max}	m	859,00
	Menor altitude da bacia	H _{min}	m	205,00
	Maior altitude do canal principal	H _{Cmax}	m	650,00
	Menor altitude do canal principal	H _{Cmin}	m	208,72
	Amplitude altimétrica	ΔH	m	654,00
	Declividade média da bacia	I	%	10,62
	Declividade do curso d'água principal	I _{eq}	m/Km	10,26
Rede de Drenagem	Ordem da bacia	-	Ordem	6 ^a
	Número Total de Drenos	N	Und	8.739
	Comprimento do curso d'água principal da bacia	L	Km	61,74
	Comprimento do Talvegue	L _c	Km	44,01
	Índice de Sinuosidade	Sin	-	1,40
	Rede de drenagem	F _d	Km	2078,33
	Densidade de drenagem	D _d	Km/Km ²	1,02
	Densidade hidrográfica	D _h	Drenos/Km ²	4,28
	Textura topográfica	T _t	-	1,70
	Extensão média do escoamento Superficial	C _m	Km	0,25
	Tempo de Concentração	t _c	min	821,38

Fonte: Autores (2020)

A forma de uma bacia é determinada por parâmetros que relacionam a sua forma com figuras geométricas conhecidas, como o Coeficiente de Compacidade (K_c), fator de forma e índice de circularidade (NOBRE et al., 2020). Para tanto, a microbacia apresentou o K_c no valor de 1,84 (Quadro 4), o qual varia com a forma da bacia, independentemente de seu tamanho, quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente de compacidade (VILLELA; MATTOS, 1975). Quanto mais próximo ao formato de um círculo uma bacia se assemelhar, ou seja, quando seu K_c for mais próximo da unidade (1), maior será as chances de ocorrer grandes cheias, classificando as bacias em função do valor de K_c da seguinte forma: 1,00 < K_c < 1,25 – bacia com alta propensão a grandes enchentes; 1,25 < K_c < 1,50 – bacia com tendência mediana a grandes enchentes; K_c > 1,50 – bacia não sujeita a grandes enchentes (ROCHA et al., 2014).

Observou-se para a microbacia em questão um Fator de Forma (K_f) no valor de 0,50 (Quadro 4). O fator de forma é a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia hidrográfica (PADILHA; SOUZA, 2017). Os autores consideram que quanto menor é o K_f mais alongada é a bacia, sendo assim, uma bacia que apresenta K_f baixo é menos sujeita as enchentes do que outra bacia com maior valor. Portanto, quanto menor este índice mais alongada é a bacia e menos sujeita as enchentes, assim, há uma indicação de que a bacia não possui forma circular, mas uma tendência de forma alongada (VILLELA; MATTOS, 1975; ALMEIDA, 2017)

Constatou-se ainda que o Índice de Circularidade (I_c) da MHBPF foi de 0,29. Este índice é obtido a partir da relação entre a área total da bacia e a área de um círculo de perímetro igual ao da área total da bacia hidrográfica (GOMES, 2016). O valor de I_c próximo de 1 sugere que a região estudada tenderá a forma circular, enquanto valores menores indicam que a microbacia possui um formato

mais alongado (ALMEIDA et al., 2014). Somado a isso, Carvalho et al. (2020) explicam que o $I_c = 0,51$ indicam escoamento superficial moderado e pequena probabilidade de cheias rápidas, $I_c > 0,51$ demonstra que a bacia é circular, o que favorece os processos de inundação, $I_c < 0,51$ caracteriza bacia mais alongada, o que contribui para o escoamento superficial, sendo este compatível com o da área de estudo, corroborando ao K_f constatado anteriormente.

O Índice de Sinuosidade (Sin) pode ser entendido como a relação entre o comprimento do canal principal e a distância vetorial do canal principal (REIS et al., 2017), na qual se constatou um valor de 1,40 para a MHBPF (Quadro 4). Moura (2013) acrescenta que valores próximos a 1,0 indicam que o canal tende a ser retilíneo, enquanto, valores superiores a 2,0 indicam canais tortuosos e os valores intermediários sugerem formas transicionais, regulares e irregulares, entretanto, a sinuosidade dos canais é influenciada pela carga de sedimentos, pela compartimentação litológica e estruturação geológica. O autor afirma ainda, que em canais mais tortuosos a velocidade de escoamento da água é menor que em canais retilíneos favorecendo cheias rápidas. É importante destacar que o comprimento do curso d'água principal da bacia em estudo foi de 61,74 Km.

A microbacia apresentou uma baixa velocidade de escoamento d'água, conforme os cálculos dos parâmetros morfométricos, visto isto, o tempo de concentração foi de 852,20 min (Quadro 4). De acordo com Nobre et al. (2020), quanto maior a declividade de uma bacia, maior a velocidade do escoamento superficial direto, menor o tempo de concentração, consequentemente maiores os riscos de picos de enchentes. Ainda segundo os autores, a ausência de cobertura vegetal, classe de solo e intensidade de chuvas, associada à uma maior declividade, resultam em uma maior velocidade de escoamento, menor infiltração no solo.

Para a MHBPF, encontrou-se uma Densidade de Drenagem (D_d) de 1,02 Km/Km², o que a classifica com densidade de drenagem regular, de acordo a classificação proposta por Villela e Mattos (1975). Esse parâmetro é outro fator importante na indicação do grau de desenvolvimento do sistema de drenagem, dado que fornece uma indicação da eficiência da drenagem da bacia (ROCHA et al., 2014). Para tanto, a classificação da hierarquia fluvial para a rede de drenagem da microbacia está disposta na Figura 03.

A Densidade hidrográfica (D_h) foi constatada no valor de 4,28 Drenos/Km², isto é, a cada quilômetro quadrado existem 4,28 canais (Quadro 4). A bacia apresenta um bom adensamento da rede de drenagem, apresentando uma distribuição regular dos canais por toda a bacia. O padrão de ramificação do ordenamento dos drenos para a microbacia foi verificado de 6ª ordem, segundo a classificação de Strahler (1957), conforme se observa na Quadro 5.

Quadro 5. Hierarquia da Drenagem e a relação entre o número e extensão da MHBPF /RN.

Ordem dos canais	Nº de canais	Extensão dos canais (Km)
1ª	1059	1041,12
2ª	474	509,84
3ª	228	219,42
4ª	227	213,62
5ª	111	83,95
6ª	1	10,36

Fonte: Elaborado pelos Autores (2020), segundo a Classificação de Strahler (1957).

Segundo Christofolletti (1980), a classificação sistemática dos padrões de drenagem pode ser exorréica, endorréica, arréica e criptorréica, onde se descrevem sinteticamente seus conceitos no Quadro 6. Tomando como base esta classificação, a MHBPF apresenta-se com uma configuração endorreica.

Quadro 6. Classificação segundo Christofolletti (1980), para rede de drenagem.

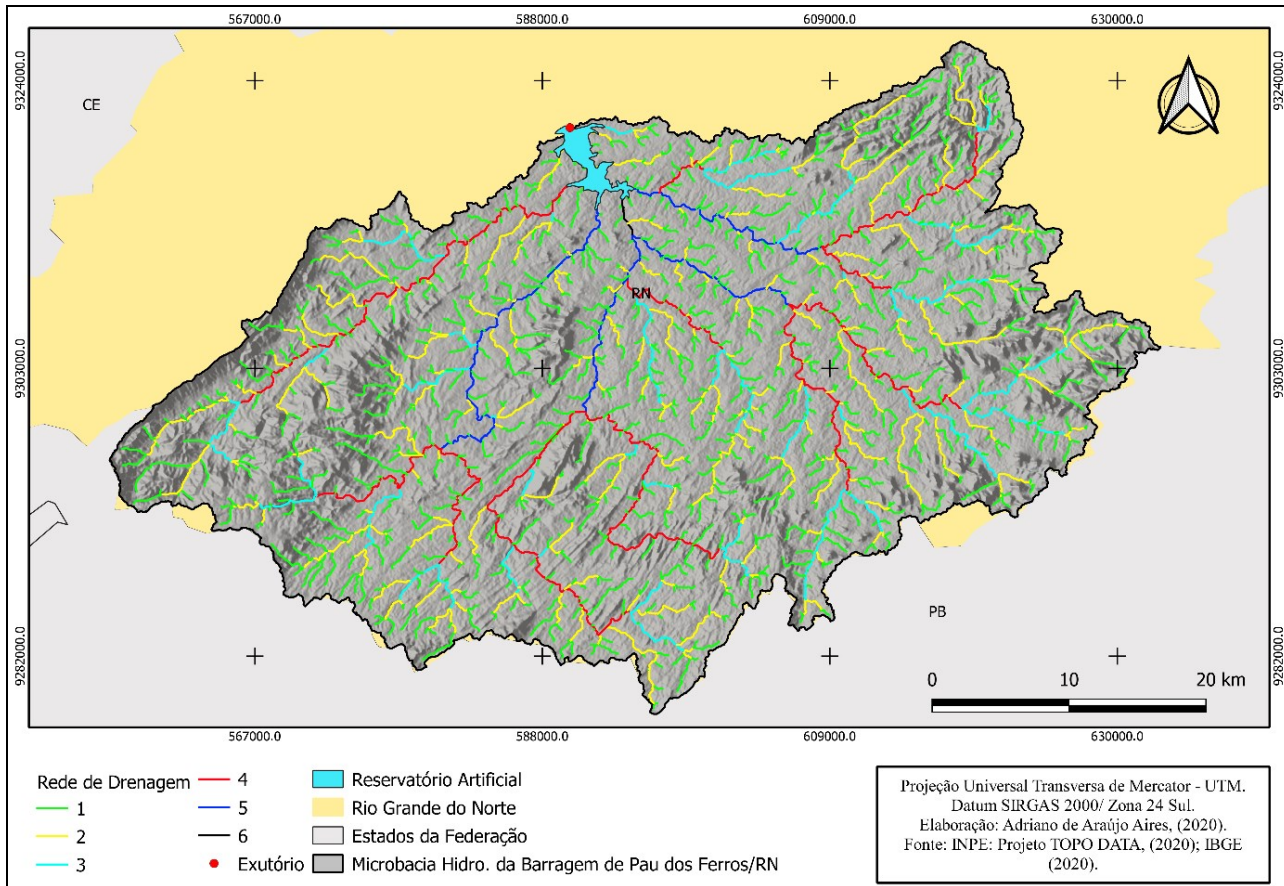
Tipos de Bacia de Drenagem	
Exorreica	Quando o escoamento se faz de modo contínuo até o mar ou oceano
Endorreica	Quando a drenagem é interna, e não possui escoamento até o mar, desaguando em um lago
Arreica	Quando não há uma estruturação em bacias hidrográficas, como no caso de áreas desérticas
Criptorreica	Quando as bacias são subterrâneas, como em áreas cársicas

Fonte: Christofolletti (1980).

Para classificação dos padrões de drenagem, existe uma classificação conforme a disposição geométrica dos drenos, sendo: drenagem dentrítica, treliça, retangular, paralela, radial e anelar (SILVA, 2020), conforme ilustrado na Figura 04. De acordo com essa classificação, a MHBPF se apresenta como dentrítica, visto que seu desenvolvimento se assemelha à configuração de uma árvore. Aplicou-se ainda o cálculo referente a Textura Topográfica (T_t) para análise hipsométrica da rede hidrográfica e do padrão de drenagem, em que se baseia principalmente na densidade de drenagem e foi classificado com base na metodologia proposta por França (1968). Este parâmetro representa o grau de entalhamento e dissecação da bacia hidrográfica. Valores de textura da topografia menores do que 4,0 são classificados como textura grosseira, entre 4,0 e 10,0 textura média e maiores que 10,0 são considerados textura topográfica fina (TRAJANO et al., 2012; FRANCO; DAL SANTO, 2015).

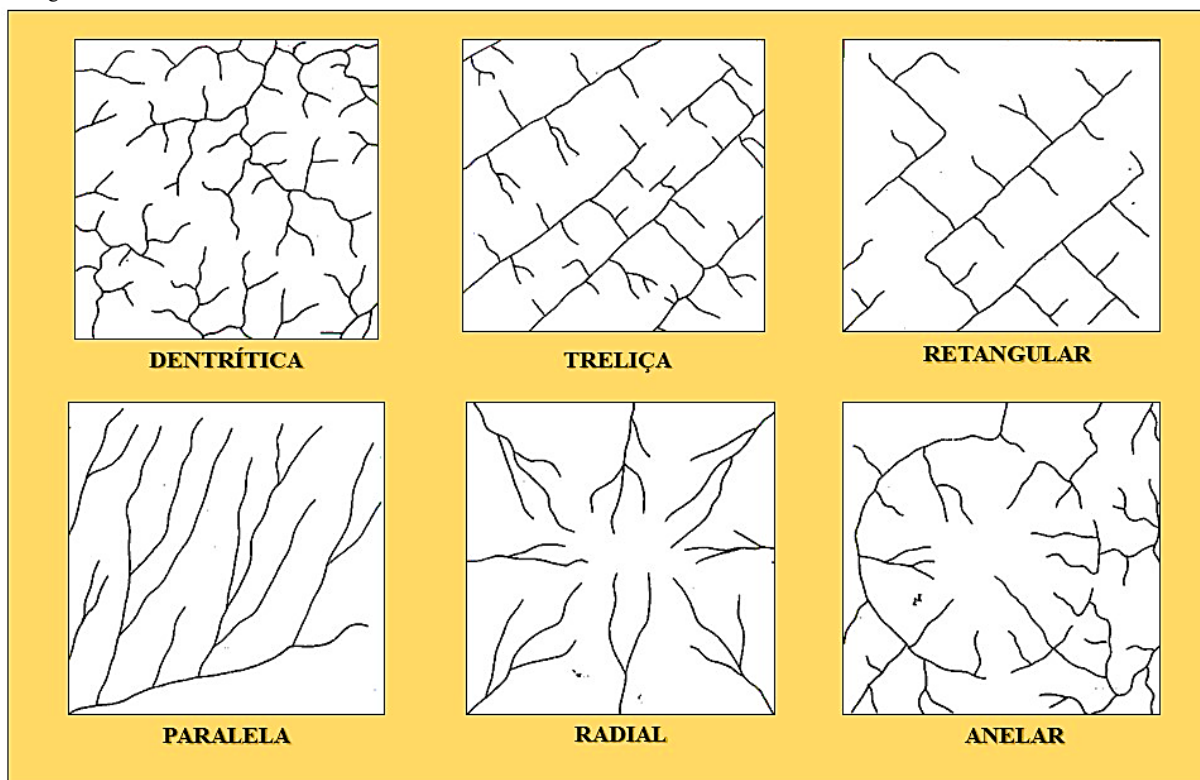
Conforme o resultado de T_t no valor de 1,70, considera-se que a microbacia hidrográfica apresenta textura grosseira, que favorece a disponibilidade hídrica devido a solos bem drenados, com alta taxas de infiltração e percolação. A análise deste parâmetro mostra-se relevante, pois possibilita realizar análises sobre os percursos dos canais de drenagem, bem como realizar inferências do ponto de vista geológico e geomorfológico em relação às áreas por onde se deslocam os segmentos fluviais (SILVA; VANZELA; RAMOS, 2020).

Figura 03. Rede de Drenagem e Hierarquia de Canais da MHBPF



Fonte: Autores (2020)

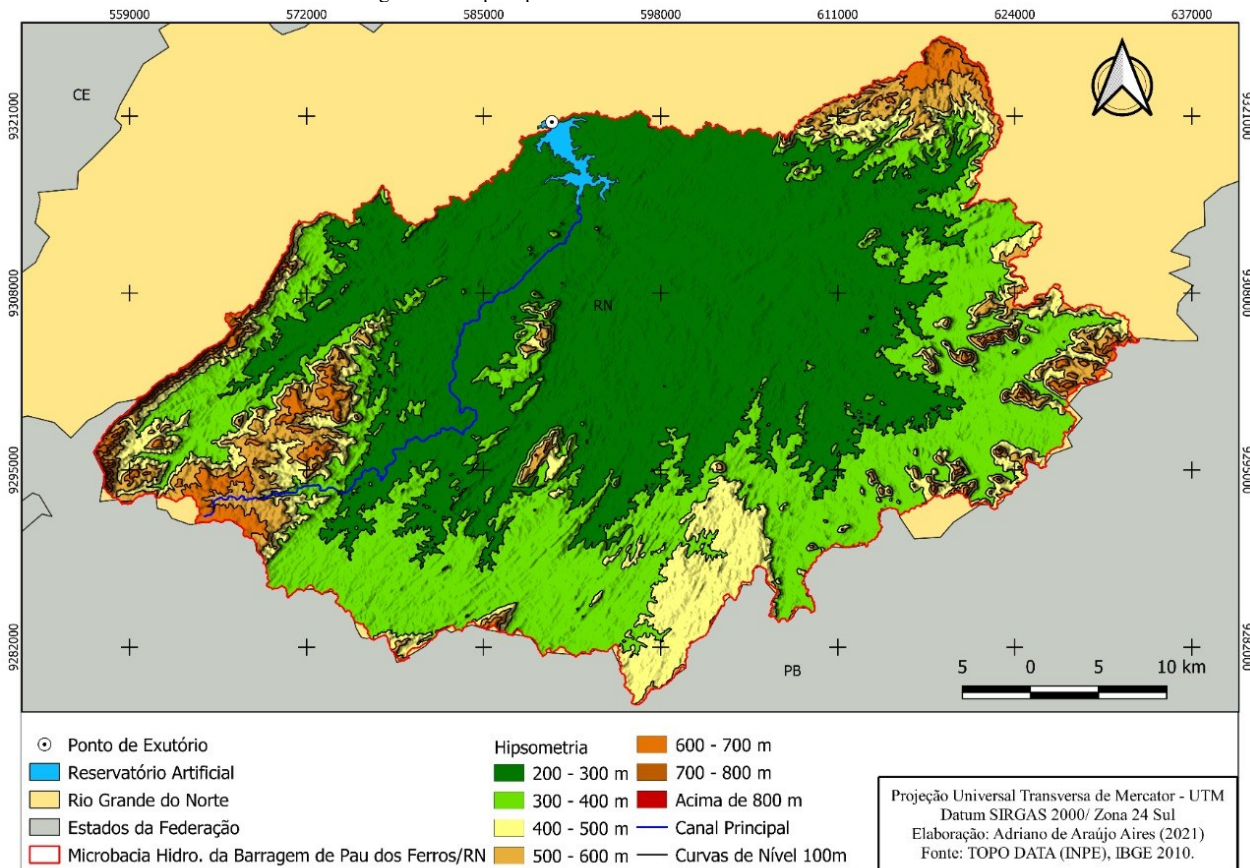
Figura 04. Classificação segundo Christofletti (1980), para rede de drenagem



Fonte: Silva (2020)

Enquanto a hipsometria apresentou uma variação de perfil topográfico de 205 m a 859 m. Os locais onde a MHBPF demonstra menores valores altimétricos (200 – 300 m) estão situados nas proximidades do corpo hídrico lântico, enquanto os maiores valores (600 – 800 m) altimétricos ficam situados na microrregião da Serra de São Miguel e na microrregião de Umarizal (Figura 05).

Figura 05. Mapa hipsométrico com curvas de nível da MHBPF



Fonte: Autores (2020)

A MHBPF apresentou uma Declividade do Curso d'água principal (I_{eq}) no valor de 10,26 m/Km (Figura 06). O parâmetro da declividade pode ser entendido como a inclinação de um terreno, em outras palavras é o grau de inclinação em relação à linha do horizonte, considerada do ponto mais alto em relação ao ponto mais baixo deste terreno (AUGUSTO; SEABRA, 2017).

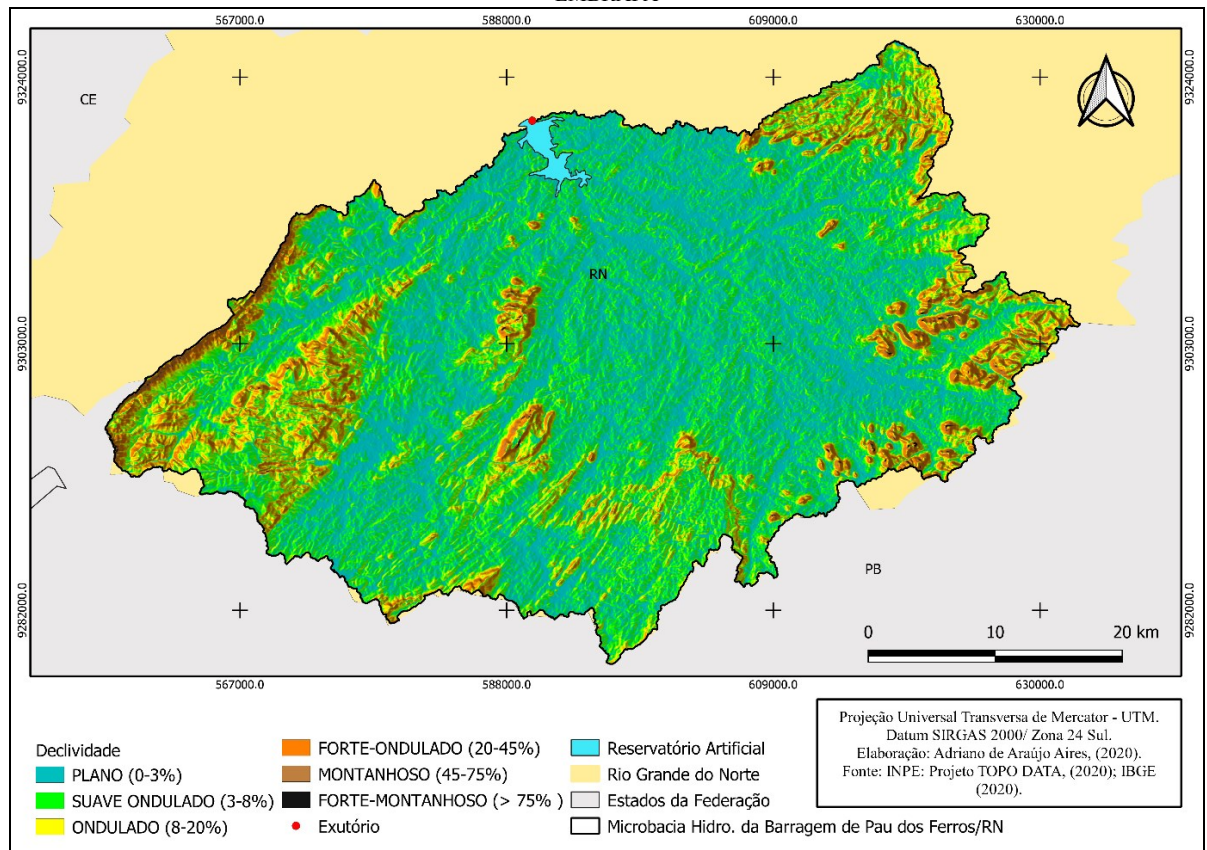
A MHBPF apresentou em sua grande maioria uma declividade suave ondulada (3 - 8 %) e plana (0 - 3 %), com pouca ocorrência de superfícies do tipo forte-ondulado (20 - 45 %) e montanhoso (45 - 75 %), e quase ausência de forte-montanhoso (>75), segundo classificação proposta pela Embrapa (1979).

Os resultados ofertados pelas cartas de declividade são ferramentas úteis para análise do relevo,

sendo uma forma de representação temática da distribuição espacial dos diferentes níveis de inclinação existentes no terreno, amparando a análise da paisagem, sendo um fator predominante na compreensão das formas do relevo de uma região sujeita a movimentos de massa e fluidos (LEDA et al., 2015; MEDEIROS et al., 2020).

A importância do estudo da declividade de um terreno está diretamente relacionada ao grau de erosão, pois a declividade é um dos fatores que interferem sobre o processo erosivo do terreno, sendo um importante fator do relevo que condiciona o processo de erosão, podendo acelerar conforme o grau de inclinação do relevo da bacia (SCHIAVO et al., 2016).

Figura 06. Declividade do relevo na MHBPF/RN, segundo a classificação da EMBRAPA



Fonte: Autores (2020)

Conclusão

A utilização de ferramentas das geotecnologias para a análise ambiental, possibilitou mapear os principais aspectos físicos e morfométricos, propiciando subsidiar melhorias quanto à qualidade ambiental de recursos hídricos na unidade territorial.

Verificou-se que microbacia com formação inicial no município de Luís Gomes/RN e exutório situado no município de Pau dos Ferros/RN, conforme as variáveis analisadas, apresentou aspectos em sua morfometria que a classifica como sendo de baixa tendência para grandes enchentes. Somado a esta informação, constatou-se ainda que o sistema de drenagem apresentou uma abundância de drenos com ramificação de 6ª ordem do ordenamento da microbacia. Como consequência das muitas ramificações identificadas, o que propicia um rápido acúmulo d'água no reservatório, constatou-se uma classificação do tipo dendrítica e endorreica. Conforme o resultado apresentado pela textura topográfica, observa-se que a unidade territorial de estudo apresenta textura grosseira, ou seja, essa característica favorece a disponibilidade hídrica devido seus solos bem drenados, com alta taxas de infiltração e percolação. Através dos resultados dos parâmetros na MHBPF verificou-se que as características geométricas, de relevo e rede de drenagem se mostraram favoráveis ao abastecimento hídrico. Portanto, a efetivação de um planejamento e gerenciamento adequado dos recursos hídricos na região podem, a longo prazo, minimizar efeitos antrópicos adversos que podem atingir a disponibilidade da qualidade e quantidade de recursos hídricos.

Contribuição dos autores

Os autores desse artigo declaram que contribuíram de forma igualitária na sua elaboração.

Referências

- ALMEIDA, R. F. B. **Morfometria e uso da terra da bacia hidrográfica do rio do coco e suas implicações sobre a produção e transporte de sedimentos**. 2017. 134f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.
- ALMEIDA, W. S.; SOUZA, N. M.; REIS JÚNIOR, D. S.; CARVALHO, J. C. Análise morfométrica em bacias hidrográficas fluviais como indicadores de processos erosivos e aporte de sedimentos no entorno do reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) Corumbá IV. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 2, 2013.
- AUGUSTO, R. C.; SEABRA, V. S. Mapeamento dos domínios geomorfológicos da Bacia Hidrográfica do Rio Caceribu-RJ. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 2, 2017.
- BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação**. Florianópolis: ED. UFSC, 1994.
- BEZERRA, J. M.; REGO, V. G. S.; POSSAS, J. M. C.; SOUZA, E. P.; FERNANDES NETO, S. Análise morfométrica da microbacia hidrográfica Riacho das Piabas/PB. **CONTECC**, p. 4, 2015.
- BRASIL. **Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União: Brasília/DF, 1997.

- CARVALHO, A. C. F.; SILVA, C. W. G.; RODRIGUES, E. S.; CALDAS, A. M. Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Terra Nova – PE. **Revista Semiárido de Visu**, v. 8, n. 1, p. 3-14, 2020.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ªed. São Paulo. Edgard Blücher, p. 03- 50, 1980.
- DIAS, N. O.; MACHADO, V. S.; MARCATO JÚNIOR, J.; OSCO, L. P.; RAMOS, A. P. M. Análise morfométrica de bacia hidrográfica utilizando dados de diferentes modelos digitais de superfície. **Colloquium Exactarum**, v. 11, n. 4, p. 23-35, 2019.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). In: **Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1979.
- FIGUEIREDO, C. H.; AGUILAR, T. Caracterização morfométrica da sub-bacia hidrográfica do córrego Murubia no município de Muqui-ES, Brasil. **Agrarian Academy**, v. 6, n. 12, 2019.
- FRANCO, A. C. V.; DAL SANTO, M. A. Contribuição da morfometria para o estudo das inundações na sub-bacia do rio Luís Alves/SC. **Mercator (Fortaleza)**, v. 14, n. 3, p. 151-167, 2015.
- FRANCO, E. J. **Dimensionamento de bacias de detenção das águas pluviais com base no método racional**. 2004. 155f. Dissertação do Curso de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, Universidade Federal do Paraná, Curitiba: 2004.
- GOMES, F. A. L. **Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Farinhas-PB através de dados SRTM**. 2016. 54f. Trabalho de Graduação em Agronomia Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, 2016.
- GOUVEIA, R. L.; PEDROSA, I. V. Gestão das políticas governamentais para os recursos hídricos, Recife, Pernambuco, Brasil. **Desenvolvimento em Questão**, v. 13, n. 32, p. 103, 2015.
- KROTH, G. A. B.; VIEIRA, I. C. B.; YKEIZUMI, L. Y. F. Estudos do crescimento urbano no município de Ihota-SC no período de 1999–2019. **Metodologias e Aprendizado**, v. 2, p. 10-14, 2020.
- LEDA, V. C.; POLONIO, V. D.; SARTORI, A. A. C.; NICOLETE, D. A. P.; CARVALHO, T. M.; ZIMBACK, C. R. L. **Análise comparativa de mapas de declividade na Bacia do Ribeirão da Prata em Lençóis Paulista - SP**. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, n. 1, p. 6381–6388, 2015.
- LIMA, D. F.; SOUTO, L. V.; FILHO BOANERGES, F. B. A seca e seus desdobramentos: reflexões a partir da realidade da Microrregião de Pau dos Ferros. **Journal of Urban Technology and Sustainability**, v. 3, n. 1, p. 65-77, 2020.
- MEDEIROS, G. F.; CASTRO, A. S.; RODRIGUES, R. J. R.; RESPLANDES, J. M.; ALMEIDA, J. G. R. Fatores geomorfológicos na contribuição de ocorrência de processos erosivos as margens da Rodovia TO-445, município de Miracema-TO. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 6, n. 2, p. 01–11, 2020.
- MELLO, C. R.; SILVA, A. M. **Hidrologia: Princípios e Aplicações em Sistemas Agrícolas**. UFLA/MG, 455p, 2013.
- MOURA, C. A. Avaliação de tendência a enchentes das bacias hidrográficas do município de Caraguatatuba (SP). **Revista de Geografia**, v. 30, n. 2, p. 123–138, 2013.
- NOBRE, N. C.; SILVA, C. M.; SANTANA, J. S.; SILVA, W. A. Caracterização morfométrica, climática e de uso do solo da Bacia hidrográfica do rio Farinha-MA. **Acta Iguazu**, v. 9, n. 1, p. 11–34, 2020.
- OLIVEIRA NETO, M. B.; SANTOS, J. C. P.; MEDEIROS, J. F.; QUEIROZ, A. F.; MARQUES, F. A.; SILVA, M. S. L. **Zoneamento da área do entorno da barragem de Pau dos Ferros-RN**. In: Reunião Nordestina de Ciência do Solo, 3, 2016, Aracaju. Integração e uso do conhecimento para uma agricultura sustentável no Nordeste. Aracaju: SBSC, Núcleo Regional Nordeste, 2016., 2016.
- PADILHA, R. M.; SOUZA, C. A. Características morfométricas do relevo e drenagem da bacia hidrográfica do Rio Carapá nos municípios de Colíder e Nova Canaã do Norte-MT. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 52-63, 2017.
- PINTO FILHO, J. L.; CUNHA, L. Governança da água: comparação entre a região hidrográfica do centro de Portugal e a bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró/RN no Brasil. **Geosul**, v. 36, n. 78, p. 582-609, 2021.
- QUEIROZ, A. F. **Contribuição metodológica aos estudos de degradação ambiental em bacias hidrográficas da região semiárida brasileira**. 2017. 57f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Manejo de Solo e Água, Mossoró, 2017.
- RÊGO, A. T. A.; COSTA, H. C. G.; NOBRE, S. B.; SOUZA, R. S.; QUEIROZ JÚNIOR, A. B.; LIMA, R. I. B. R.; COSTA, T. T.; ROQUE, F. S.; BEZERRA, J. M. Análise integrada da paisagem na bacia hidrográfica de Coronel João Pessoa/RN. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 7, p. 321-337, 2020.
- REIS, V.; ALVES, L. A.; ALVES, M. V.; MIRO, J. M. R. Caracterização morfométrica e dinâmica hídrica na bacia hidrográfica do Rio Guaxindiba, São Francisco de Itabapoana/RJ. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 771-783, 2017.
- ROCHA, R. M.; LUCAS, A. A. T.; ALMEIDA, C. A. P. D.; MENEZES NETO, E. L.; NETTO, A. D. O. A. CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA SUB-BACIA DO RIO POXIM-AÇU, SERGIPE, BRASIL. **Revista Ambiente e Água**, v. 9, n. 3, p. 445–458, 2014.
- SCHIAVO, B. N.; HENTZ, Â. M. K.; DALLA CORTE, A. P.; SANQUETTA, C. R. Characterization of the environmental fragility of a urban river basin in the municipality of Santa Maria-RS. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 464–474, 2016.
- SILVA, D. T. B. T.; VANZELA, L. S.; RAMOS, E. B. Características morfométricas das bacias do município de Fernandópolis-SP. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 24974-24994, 2020.
- SILVA, J. F. G. **Análise da morfodinâmica e identificação de geoindicadores de modificações processuais na Bacia Hidrográfica do Rio Beberibe (BHRB)**. 2020. 163f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2020.
- SILVA, V. C. B.; MACHADO, P. S. SIG na análise ambiental: susceptibilidade erosiva da bacia hidrográfica do córrego mutuca, Nova Lima-Minas Gerais. **Revista de Geografia**, v. 31, n. 2, p. 66–87, 2014.
- STRAHLER, A. N. **Quantitative analysis of watershed geomorphology**. New Halen: Transactions: American Geophysical Union, v. 38, p. 913-920, 1957.
- SEARH. Secretaria do Estado da Administração e dos Recursos Humanos. **Situação Volumétrica de Reservatórios do RN**. 2021. Disponível em: <http://sistemas.searh.rn.gov.br/monitoramentovolumetrico>. Acesso em: 15 ago. 2021.
- TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L.; RIBEIRO, C. A. A. S.; LEITE, F. P. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães - MG. **Revista Árvore**, v. 30, p. 849-857, 2006.
- TRAJANO, S. D. S.; SPADOTTO, C. A.; HOLLER, W. A.; DAL TIO, J.; MARTINHO, P. R. R.; FOIS, N. S.; ... LISBOA, F. S. Análise Morfométrica de Bacia Hidrográfica: Subsídio à Gestão Territorial Estado de Caso no Alto e Médio Mamanguape. **Embrapa Territorial-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2012.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw – Hill do Brasil. 1975.
- WESTPHALEN, L. A.; SANTOS, L. J. C. **Caracterização do meio físico da bacia hidrográfica do rio Itaqui/PR: subsídio para o mapeamento da fragilidade potencial**. In: V Simpósio Nacional de Geomorfologia I Encontro Sul-Americano de Geomorfologia UFSM - RS, 02 a 07 de agosto de 2004., v. 1998, p. 1–13, 2004.