

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS LONDRINA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

Gustavo Rodrigues Pires Tokunaga

**PRIORIZAÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS PELO MÉTODO
WEIGHTED SUM ANALYSIS: ESTUDO DE CASO DA BACIA DO RIO
PIQUIRI**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA

2021

Gustavo Rodrigues Pires Tokunaga

**PRIORIZAÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS PELO MÉTODO
WEIGHTED SUM ANALYSIS: ESTUDO DE CASO DA BACIA DO RIO
PIQUIRI**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Ligia Flávia Antunes Batista

**LONDRINA
2021**

GUSTAVO RODRIGUES PIRES TOKUNAGA

**PRIORIZAÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS PELO MÉTODO WEIGHTED SUM
ANALYSIS: ESTUDO DE CASO DA BACIA DO RIO PIQUIRI**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambi-
ental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Data de aprovação: 15/Dezembro/2021.

Prof. Dr. Ajadir Fazolo
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Departamento de Engenharia Ambiental

Prof. Dr. Ricardo Nagamine Costanzi
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Departamento de Engenharia Ambiental

Orientadora
Profa. Dra. Ligia Flávia Antunes Batista
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Departamento de Engenharia Ambiental

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, que sempre me guiou para os caminhos corretos e tornou possível a conclusão de mais um ciclo com muita fé, saúde e coragem.

A minha família, principalmente meus pais, Helio e Edna, pelo amor incondicional e apoio em todos os momentos. E a minha namorada Basima que me acompanhou desde o início desse ciclo, sempre me ajudando, incentivando e amando.

Agradeço a todos os meus amigos que participaram de alguma forma dessa jornada, em especial a Fernanda que estudamos juntos desde o começo em 2/2016 e agora vamos nos formar juntos.

Agradeço também, a minha orientadora Dra. Ligia Flávia Antunes Batista pela oportunidade que me deu de desenvolver esse trabalho e sempre foi paciente, dedicada e colaborou para o meu crescimento pessoal e profissional. Por fim, agradeço o Prof. Dr. Ajadir Fazolo e o Prof. Dr. Ricardo Nagamine Costanzi que se disponibilizaram a avaliar este trabalho.

RESUMO

A Bacia Hidrográfica do Piquiri (BHP) é uma das maiores do Estado do Paraná e apresenta vulnerabilidade nas questões ambientais e socioambientais. O presente trabalho teve como objetivo definir uma hierarquia de priorização de trechos de sub-bacias (TSBs) para a BHP, de forma que auxilie na tomada de decisões e ações de gestão. A BHP possui uma população aproximada de 549 mil habitantes, sua área abrange 71 municípios com 24.171,7 km². Os remanescentes de floresta nativa ocupam 5,69% da área e o tipo de solo predominante são: Latossolo, Argissolo e Nitossolo. *Weighted Sum Analysis* (WSA) foi o método aplicado para a determinação das prioridades dos TSBs, o qual depende da análise de correlação de Spearman aplicada aos parâmetros morfométricos de cada TSB. Em termos de caracterização quantitativa os parâmetros morfométricos considerados foram: Densidade hidrográfica (Dh), relação de bifurcação (Rb), densidade de drenagem (Dd), razão de textura (Rt), índice de circularidade (Ic), fator de forma (F), razão de alongamento (Re), coeficiente de compacidade (Kc) e forma da bacia (Fb). Os parâmetros Dh, Dd e Fb são praticamente uniformes em toda a bacia. Re, variou de 0,54 a 0,844 e quanto mais próximo do valor 1 o seu formato se aproxima de um círculo. Já para o F, Ic e o Kc que variou de 1,788 a 2,549, indicam que os trechos de sub-bacias possuem um formato alongado e não são propensa a enchentes. Rb variou entre 1,641 e 3,809, em função da quantidade de trechos d'água de ordens diferentes. Rt, variou de 0,316 a 1,18 para todos os trechos e foi classificada como cursos d'água distantes um do outro. Com os valores dos parâmetros foi aplicado o método WSA para gerar a classificação de priorização que identificou as áreas TSB1, TSB6, TSB2 e TSB4 como as áreas prioritárias. Essas são áreas pequenas em relação aos outros trechos e estão localizadas próximas ao exutório. Com esses resultados espera-se que sirvam como auxiliares na tomada de decisões e ações de gestão na BHP.

Palavras-chave: Morfometria; gestão de recursos hídricos; correlação.

ABSTRACT

The Piquiri Watershed (BHP) is one of the largest in the State of Paraná and is vulnerable to environmental and socio-environmental issues. The present work aimed to define a prioritization hierarchy of sub-basin stretches (TSBs) for BHP, in order to assist in decision making and management actions. BHP has a population of approximately 549 thousand inhabitants, its area covers 71 municipalities with 24,171.7 km². The remnants of native forest occupy 5.69% of the area and the predominant soil type are: Latosol, Argisol and Nitossolo. Weighted Sum Analysis (WSA) was the method applied to determine the priorities of the TSBs, which depends on the Spearman correlation analysis applied to the morphometric parameters of each TSB. In terms of quantitative characterization, the morphometric parameters considered were: Stream frequency (Dh), bifurcation ratio (Rb), drainage density (Dd), drainage texture (Rt), circulatory ratio (Ic), form factor (F), elongation ratio (Re), compactness constant (Kc) and basin shape (Fb). The parameters Dh, Dd and Fb are practically uniform across the basin. Re, it ranged from 0.54 to 0.844 and the closer to the value 1 its shape gets closer to a circle. For F, Ic and Kc, which ranged from 1.788 to 2.549, they indicate that the sub-basin sections have an elongated format and are not prone to flooding. Rb varied between 1.641 and 3.809, depending on the number of water sections of different orders. Rt, ranged from 0.316 to 1.18 for all stretches and was classified as distant water courses. With the parameter values, the WSA method was applied to generate the prioritization classification that identified areas TSB1, TSB6, TSB2 and TSB4 as the priority areas. These are small areas in relation to the other stretches and are located close to the outlet. With these results, it is expected that they will help in decision-making and management actions at BHP.

Keywords: Morphometry; water resources management; correlation.

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Expressões para o cálculo dos parâmetros morfométricos. Nu - Número total de segmentos de fluxo de ordem 'u'; Nu + 1 - Número de segmentos da ordem superior seguinte; A - Área total da bacia; Lu - Comprimento total de todos os canais; Nt - Número total de segmentos de riacho de todas as ordens P – Perímetro; Lax - Comprimento axial.	17
QUADRO 2 - Classificação da densidade hidrográfica.	18
QUADRO 3- Classificação da Dd.	18
QUADRO 4 - Caracterização da textura de drenagem.	19
QUADRO 5 Classificação do F.	19
QUADRO 6- Classificação do Ic.	20
QUADRO 7– Classificação do Kc.	20
QUADRO 8 – Número de trecho de cursos d'água por ordem em cada TSB.	36

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de posto de priorização para os parâmetros.....	21
Figura 2 – Modelo Digital de Elevação do Paraná.	24
Figura 3 – Correção de depressões espúrias.....	25
Figura 4 – Direção de drenagem gerada a partir do MDE.....	25
Figura 5 – Diferença de resultado na delimitação de TSB, sendo: (a) limiar de 100 mil células ou 810 km ² ; (b) limiar de 50 mil células ou 405 km ² ; (c) limiar de 30 mil células ou 243 km ²	26
Figura 6 - Localização da Bacia Hidrográfica do Piquiri.	28
Figura 7 - Fluxograma.	29
Figura 8 – Mapa de elevação sem depressões espúrias.	32
Figura 9 – Drenagem em formato matricial.	32
Figura 10 – Mapa de direção de drenagem.....	33
Figura 11 – Trechos de sub-bacias (TSBs).....	34
Figura 12 – Mapa de trechos de sub-bacias.	34
Figura 13 - Mapa de identificação das ordens dos cursos d'água.....	37
Figura 14 – Trechos de sub-bacias (TSB) prioritários.	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros da rede de drenagem.....	35
Tabela 2 – Razão de bifurcação.....	38
Tabela 3 – Parâmetros morfométricos para cada trecho de sub-bacia (TSB).....	38
Tabela 4 – Ranking (posto) preliminar para cada parâmetro morfométrico, por TSB.	40
Tabela 5 – Matriz de correlação.	41
Tabela 6 – Método WSA aplicado para cada TSB.	42
Tabela 7 – Classificação de prioridade.	42

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

A	Área total da bacia
ASI	Agência Espacial Italiana
BHP	Bacia Hidrográfica do Piquiri
Dd	Densidade de drenagem
Dh	Densidade hidrográfica
DLR	Agência Espacial Alemã
F	Fator de forma
Fb	Forma da bacia
GIS	Geographic Information System
GRASS	Geographic Resources Analysis Support System
IAT	Instituto Água e Terra
Ic	Índice de circularidade
Kc	Coeficiente de compacidade
km	Quilômetros
L	Litro
Lax	Comprimento axial
Lu	Comprimento total de todos os canais
MDE	Modelo Digital de Elevação
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NGA	National Geospatial-Intelligence Agency
Nt	Número total de segmentos de cursos d'água de todas as ordens
Nu	Número total de segmentos de fluxo de ordem 'u'
Nu + 1	Número de segmentos da ordem superior seguinte
P	Perímetro
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
Pr	Paraná
Rb	Relação de bifurcação
Re	Razão de alongamento
Rt	Razão de textura
s	Segundo
SEMA	Secretaria de Meio Ambiente

SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TSB	Trecho de sub-bacia
Uc	Unidade de Conservação
UTM	Universal Transversal de Mercator
WSA	Weighted Sum Analysis

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
3. REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1 LEGISLAÇÃO	15
3.2 ESTADO DO PARANÁ.....	15
3.3 BACIA HIDROGRÁFICA.....	16
3.4 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA	16
3.5 MÉTODO <i>WEIGHTED SUM ANALYSIS</i> (WSA).....	21
3.6 ANÁLISE DE BACIAS COM GEOPROCESSAMENTO.....	23
4. MATERIAIS E MÉTODOS	28
4.1 ÁREA DE ESTUDO	28
4.2 BANCO DE DADOS GEOGRÁFICOS.....	29
4.3 DELIMITAÇÃO DOS TRECHOS DE SUB-BACIAS.....	30
4.4 CÁLCULO DOS PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS.....	31
4.5 APLICAÇÃO DO MÉTODO <i>WEIGHTED SUM ANALYSIS</i> (WSA).....	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
6. CONCLUSÕES	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

1. INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei nº 9.433 de 1997, foi um marco para a gestão destes recursos naturais. Essa Lei deixa clara a importância da água como um bem de domínio público, um recurso natural limitado, dotado de valor econômico, de uso múltiplo e de gestão descentralizada. Além de estabelecer a bacia hidrográfica como unidade territorial (BRASIL, 1997).

Bacia hidrográfica é uma área definida geograficamente no território que é delimitada pela linha de cumeada, formada pelos pontos mais altos do terreno e sua rede de drenagem que convergem para um ponto de saída (SILVA, 2015). Para Queiroz et al. (2014) e Teodoro et al. (2007) a bacia hidrográfica como unidade de planejamento ambiental é um instrumento importante para a dinâmica ambiental local.

A Bacia Hidrográfica do Piquiri (BHP) está localizada em três unidades aquíferas: Caiuá, Guarani e Serra Geral Sul e possui uma disponibilidade hídrica subterrânea de 43.532 (L/s) e superficial de 157.173 (L/s). Seu balanço hídrico é positivo, com uma demanda hídrica superficial de 1.523 L/s que representa apenas 1% do total (PLERH, 2010 e IPARDES, 2017).

A BHP é uma das maiores do Paraná com 24.171,7 km² (PLERH, 2010 e IPARDES, 2017). A ocupação predominante na bacia é a agropecuária com 46,5% e possui apenas 5,69% de remanescentes de floresta nativa que é considerado como em uma situação desfavorável pelo IPARDES (2017). Apresenta vulnerabilidade nas questões ambientais e socioambientais (IPARDES, 2013).

Em 2021, a BHP teve parte das áreas do Rio Jesuítas (Cafelândia, Nova Aurora, Jesuítas, Iracema do Oeste e Formosa do Oeste – PR), parte do Ribeirão Hong Kong (Nova Aurora - PR), parte do Córrego Pinhalzinho Segundo (Umuarama - PR) e parte do Rio Pioneiro (Palotina e Maripá - PR) consideradas como críticas quanto ao uso de recursos hídricos e a necessidade de tomada de ações para sua melhoria (IAT, 2021a; IAT, 2021b; IAT, 2021c; IAT, 2021d).

As áreas críticas quanto ao uso de recursos hídricos estabelecido pela Resolução CERH 09 - 29 de Setembro de 2020, são aquelas áreas com potencial conflito que pode ocorrer por indisponibilidade hídrica, risco de comprometimento de

sistemas de abastecimento público de água ou pela contaminação de águas subterrâneas.

Esses são alguns motivos pelos quais é necessário conhecer e identificar quais são as necessidades de atuação, gestão e conservação na bacia. Por conta da sua extensa área é muitas vezes inviável que projetos ambientais abranjam toda a BHP. Por isso, é necessário identificar quais são as áreas prioritárias de intervenção. Este trabalho pretende auxiliar na identificação das áreas de unidade hidrográfica prioritárias, considerando o método *Weighted Sum Analysis* (WSA), aplicado a trechos de sub-bacias (TSBs).

Uma maneira de identificar as áreas prioritárias de uma bacia hidrográfica é por meio de métodos matemáticos com base em seus dados morfométricos. Segundo Florenzano (2018), a morfometria caracteriza o relevo por meio de aspectos quantitativos como a hipsometria, amplitude altimétrica ou declividade.

Aher et al. (2014) em Pimpalgaon Ujjaini na Índia e Soares et al. (2016) no Baixo Curso do rio Itapecuru, no Maranhão; utilizaram a mesma técnica, WSA, para encontrar os TSBs prioritários e tiveram resultados satisfatórios. Aher et al. (2014) identificaram regiões para o planejamento e gestão ambiental em escala local. Já Soares et al. (2016) chegaram a conclusão de que seu local de estudo precisa de um planejamento integrado e de estratégias que sintonizem o uso e ocupação da terra com a proteção e manutenção dos ecossistemas naturais e das águas.

Assim, há áreas na bacia que requerem maior investimento do ponto de vista de recursos hídricos e tais áreas podem ser identificadas pela aplicação de modelos baseados em análise morfométrica. Esse estudo pretende definir uma hierarquia de priorização de unidades hidrográficas para a BHP, por meio de dados morfométricos e da metodologia WSA utilizada por Aher et al. (2014) e Soares et al. (2016), para auxiliar na tomada de decisões de gestão na BHP.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Definir uma hierarquia de priorização de trechos de sub-bacias (TSBs) na Bacia Hidrográfica do Piquiri com base em dados morfométricos, pelo método *Weighted Sum Analysis* (WSA).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Organizar um banco de dados geográfico para caracterizar a área de estudo com dados de altimetria (Modelo Digital de Elevação - MDE), declividade e hidrografia;
- Delimitar os TSBs da Bacia Hidrográfica do Piquiri
- Calcular os parâmetros morfométricos de cada TSB: Densidade hidrográfica (Dh), relação de bifurcação (Rb), densidade de drenagem (Dd), razão de textura (Rt), fator de forma (F), índice de circularidade (Ic), razão de alongamento (Re), coeficiente de compacidade (Kc) e forma da bacia (Fb).

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 LEGISLAÇÃO

No âmbito de legislação nacional para a gestão de recursos hídricos a Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 é uma Lei norteadora que estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e formaliza o Comitês de Bacia Hidrográfica com a participação do governo, sociedade e usuários.

Os fundamentos da PNRH se baseiam na água como um recurso natural, limitado, de domínio público, dotado de valor econômico, de uso múltiplo e de gestão descentralizada. Em escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é voltado para o consumo humano e dessedentação de animais. Além disso, a bacia hidrográfica é considerada como a unidade territorial para a implementação e o planejamento da PNRH (BRASIL, 1997).

Segundo Wolkmer e Pimmel (2013) a gestão de recursos hídricos no Brasil antes da PNRH era voltada para o desenvolvimento industrial, após a PNRH a gestão de recursos hídricos se torna mais complexa (descentralizada e participativa) e passa a visar o desenvolvimento sustentável.

De acordo com a Resolução nº 024 da SEMA de 2006, o Paraná possui 16 bacias hidrográficas e reconhece a bacia hidrográfica como importante para a qualidade e quantidade das águas, uma ferramenta para gestão das políticas públicas e gestão ambiental (SEMA, 2006).

3.2 ESTADO DO PARANÁ

O Estado do Paraná localizado na região Sul do Brasil é limitado na região Norte e Oeste pelos rios Paranapanema e Paraná e na face Leste pelo Oceano Atlântico. Possui uma extensão territorial de 196 mil km², com 16 bacias hidrográficas e 12 unidades hidrográficas de gerenciamento de recursos. As unidades hidrográficas de gerenciamento dos recursos hídricos são áreas que podem ser uma parte, um conjunto ou a totalidade de uma bacia hidrográfica, o

objetivo dessa divisão é auxiliar no planejamento e gestão dos recursos hídricos (PLERH,2010).

3.3 BACIA HIDROGRÁFICA

Bacia hidrográfica é definida por Silva (2015) como uma área do território que é delimitada pela linha de cumeada, formada pelos pontos mais altos do terreno e sua rede de drenagem que convergem para um exutório, local da saída de água ou foz do rio principal. Seu desague pode ocorrer para outro rio, lago ou para o mar. Além disso, para Tucci (2001), a bacia hidrográfica é um elemento fundamental para o ciclo hidrológico e pode ser considerada como um sistema físico de entrada (volume precipitado) e saída de água (volume escoado).

As características fisiográficas de bacia hidrográfica são: tipo de solo, geomorfologia, geologia, clima, tipologias de uso e ocupação, cobertura vegetal, regime fluviométrico e pluviométrico. Essas características influenciam no principal fator que é a disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica (OLIVEIRA e OLIVEIRA, 2017). Segundo Vilaça et. al. (2009) para caracterizar e conhecer uma bacia, os seus dados quantitativos e inter-relações são importantes, pois permitem entender sobre o seu comportamento hidrológico.

De acordo com Tundisi (2005), somente seus parâmetros físicos não são suficientes para simplificar a dinâmica da bacia hidrográfica, mas servem como uma avaliação preliminar de auxílio e direcionamento.

3.4 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA

A morfometria é um ramo da morfologia relacionada a caracterizar o relevo por meio de aspectos quantitativos como a hipsometria (altitude em relação ao nível do mar), amplitude altimétrica (diferença entre o ponto mais alto e o mais baixo do terreno) ou a declividade (FLORENZANO, 2008).

Soares et al. (2016) realizaram um estudo para definir a priorização dos TSBs em uma bacia hidrográfica no norte do Maranhão e utilizaram os parâmetros morfométricos de densidade hidrográfica, relação de bifurcação, densidade de drenagem, razão de textura, índice de circularidade, fator de forma, razão de alongamento, coeficiente de compacidade e forma da bacia. O Quadro 1, adaptado

de Aher et al. (2014) apresenta as fórmulas para o cálculo de cada um dos parâmetros morfométricos.

QUADRO 1 - Expressões para o cálculo dos parâmetros morfométricos. Nu - Número total de segmentos de fluxo de ordem 'u'; Nu + 1 - Número de segmentos da ordem superior seguinte; A - Área total da bacia; Lu - Comprimento total de todos os canais; Nt - Número total de segmentos de riacho de todas as ordens P – Perímetro; Lax - Comprimento axial.

Parâmetro morfométrico	Fórmula	Unidades	Referência
Densidade hidrográfica (Dh)	$Dh = \frac{N_u}{A}$	$\frac{\text{Rios}}{\text{km}^2}$	Horton (1932)
Relação de bifurcação (Rb)	$Rb = \frac{N_u}{N_{u+1}}$	Adimensional	Schumm (1956)
Densidade de drenagem (Dd)	$Dd = \frac{L_u}{A}$	$\frac{\text{km}}{\text{km}^2}$	Horton (1932)
Razão de textura (Rt)	$Rt = \frac{N_u}{P}$	$\frac{\text{Rios}}{\text{km}}$	Horton (1945)
Fator de forma (F)	$F = \frac{A}{L_{ax}^2}$	Adimensional	Horton (1932)
Índice de circularidade (Ic)	$Ic = \frac{4x\pi xA}{P^2}$	Adimensional	Miller (1953)
Razão de alongamento (Re)	$Re = \frac{\sqrt{\frac{4xA}{\pi}}}{L_{ax}}$	Adimensional	Schumm (1956)
Coefficiente de compacidade (Kc)	$Kc = \frac{0,2821xP}{A^{0,5}}$	Adimensional	Horton (1945)
Forma da bacia (Fb)	$Fb = \frac{Ic x Re x Kc}{3}$	Adimensional	Aher et al. (2014)

Fonte: Adaptado de Aher et al. (2014).

A densidade hidrográfica (Dh) é calculada pela média da quantidade de canais fluviais pela área da bacia, representa a capacidade hídrica e facilidade em formar novos canais fluviais (SANTOS e MORAIS, 2012). Além disso, para Souza (2005), a densidade hidrográfica está relacionada aos processos de escoamento superficial e o comportamento hidrográfico da bacia. Ela depende de fatores como o relevo, cobertura vegetal, volume de chuva, condições do terreno e resistência à erosão.

Lollo (1995) classifica a densidade hidrográfica ou frequência de canais nos intervalos de valores conforme o Quadro 2.

QUADRO 2 - Classificação da densidade hidrográfica.

Característica	Densidade hidrográfica (rios/ km²)
Baixa	< 3
Média	3 - 7
Alta	7 - 15
Muito alta	> 15

Fonte: Adaptado de Lollo (1995).

A relação de bifurcação (Rb) ou ramificação da rede de drenagem pode ser classificada pela ordem dos cursos d'água. Pelo critério de Strahler, o curso d'água primário, que não recebe água de nenhum outro trecho, é de ordem 1. A ordem aumenta uma unidade assim que dois cursos de mesma ordem se juntam. Para cursos d'água de ordem diferente prevalece a ordem maior e a classificação da bacia hidrográfica é a mesma do rio de maior ordem (Christofolletti, 1974). E como consequência desse critério a Rb geralmente não possui valor inferior a 2, já que para formar um curso de ordem superior é necessário pelo menos dois de ordem inferior.

Segundo Oliveira et al. (2010) a densidade de drenagem (Dd) representa o quanto o sistema de drenagem da bacia hidrográfica é desenvolvido, indica sua eficiência. Além disso, para Cardoso et al. (2006), a densidade de drenagem está associada à vazão de saída da bacia hidrográfica. A densidade de drenagem depende de variáveis como o relevo, cobertura vegetal, volume de chuva, condições hidrológicas do terreno e resistência à erosão (SOUZA, 2005). No Quadro 3 é apresentado a classificação de Dd segundo Christofolletti (1974).

QUADRO 3- Classificação da Dd.

Característica	Densidade de drenagem (km/km²)
Baixa densidade	$\leq 7,5$
Média densidade	$7,5 < Dd < 10$
Alta densidade	≥ 10

Fonte: Christofolletti (1974).

Segundo Aher et al. (2014), a definição de Horton para a razão de textura (Rt) ou textura de drenagem é a razão entre o número total dos trechos de água, pelo perímetro da bacia hidrográfica. O único fator que influencia a razão de textura

é a capacidade de infiltração. França (1990) compara a textura de drenagem com os valores da textura topográfica para auxiliar a caracterização do solo e classifica de acordo com o Quadro 4.

QUADRO 4 - Caracterização da textura de drenagem.

Característica	Razão de textura (rios/Km)
Maior distância entre cursos d'água	< 2,5
Distância média entre cursos d'água	2,5 - 6,2
Baixa distância entre cursos d'água	> 6,2

Fonte: Adaptado de França (1990).

O fator de forma (F) associa o formato da bacia hidrográfica com a de um retângulo, representa a razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia (distância do exutório ao ponto mais longe dentro da bacia hidrográfica). É calculado pela razão entre a área de drenagem e o comprimento axial da bacia (CARDOSO et al., 2006). Além disso, segundo Silva (2015) as unidades devem ser compatíveis para o fator de forma ser adimensional.

O fator de forma baixo indica uma menor ocorrência de enchentes em comparação com uma bacia de mesma área com fator de forma maior, ocorre por ser uma bacia estreita e longa o que dificulta a ocorrência de chuvas cobrindo toda sua extensão (OLIVEIRA et. al., 2010). Segundo Silva e Mello (2008) o fator de forma pode ser classificado conforme o Quadro 5.

QUADRO 5 Classificação do F.

Característica	Fator de forma
Bacia não propensa a enchentes	< 0,50
Bacia com tendência mediana	0,75 – 0,50
Bacia propensa a enchentes	1,00 – 0,75

Fonte: Silva e Mello (2008).

Igualmente ao fator de forma, o índice de circularidade (I_c) tende para 1 conforme a bacia se assemelha a um círculo e diminui quando possui formato alongado. Para bacias circulares, a chance de ocorrer chuvas intensas em toda a bacia é maior e concentra um grande volume de água no rio principal (CARDOSO et al., 2006).

Silva (2015) conclui que para bacias hidrográficas de ordens maiores é comum serem mais alongadas e bacias de ordens menores possuem formato mais circular, devido ao comprimento do perímetro da bacia que depende da linha de

contorno, sendo geralmente mais irregular em bacias hidrográficas maiores. O Quadro 6 apresenta a classificação do Ic para Schumm (1956).

QUADRO 6- Classificação do Ic.

Característica	Índice de circularidade
Bacia mais alongada - Favorece o escoamento superficial	< 0,45
Escoamento superficial moderado e pequena probabilidade de cheias rápidas	0,45 - 0,51
Bacia circular - Favorece os processos de inundação;	> 0,51

Fonte: Schumm (1956) e Moura (2013).

Outro parâmetro que compara a bacia a um círculo é a razão de alongamento (Re). Segundo Schumm (1956), a razão de alongamento é a razão entre o diâmetro de um círculo que possui a mesma área que a bacia e seu comprimento máximo. Para valores próximos de um, a bacia de drenagem se aproxima de um círculo.

De acordo com Villela e Mattos (1975), o coeficiente de compacidade (Kc) relaciona o perímetro da bacia com a circunferência de um círculo de mesma área que a bacia. É um coeficiente adimensional que varia conforme a forma da bacia e não depende do seu tamanho. Bacias irregulares apresentam coeficientes maiores e uma bacia circular terá o coeficiente mínimo igual à unidade e possui alta propensão a enchentes. As bacias podem ser classificadas de acordo com o Quadro 7 (SILVA e MELLO, 2008).

QUADRO 7- Classificação do Kc.

Característica da bacia	Coefficiente de compacidade
Bacia com alta propensão a enchentes	1,00 – 1,25
Bacia com tendência mediana a grandes enchentes	1,25 – 1,50
Bacia não sujeita a grandes enchentes.	> 1,50

Fonte: Silva e Mello (2008).

É necessário conhecer a forma da bacia (Fb) devido ao tempo de concentração ou tempo de percurso que a água leva para sair de sua extremidade à montante e chegar ao ponto de saída da bacia à jusante (VILLELA e MATTOS, 1975). A forma da bacia não depende de seu tamanho. Geralmente, formas alongadas ou retangulares possuem o escoamento das águas mais eficiente do que formas mais circulares (SOUZA, 2005). Segundo Andrade et. al. (2008) a forma da

bacia é determinada utilizando os parâmetros morfométricos fator de forma, índice de circularidade e coeficiente de compacidade.

3.5 MÉTODO *WEIGHTED SUM ANALYSIS* (WSA)

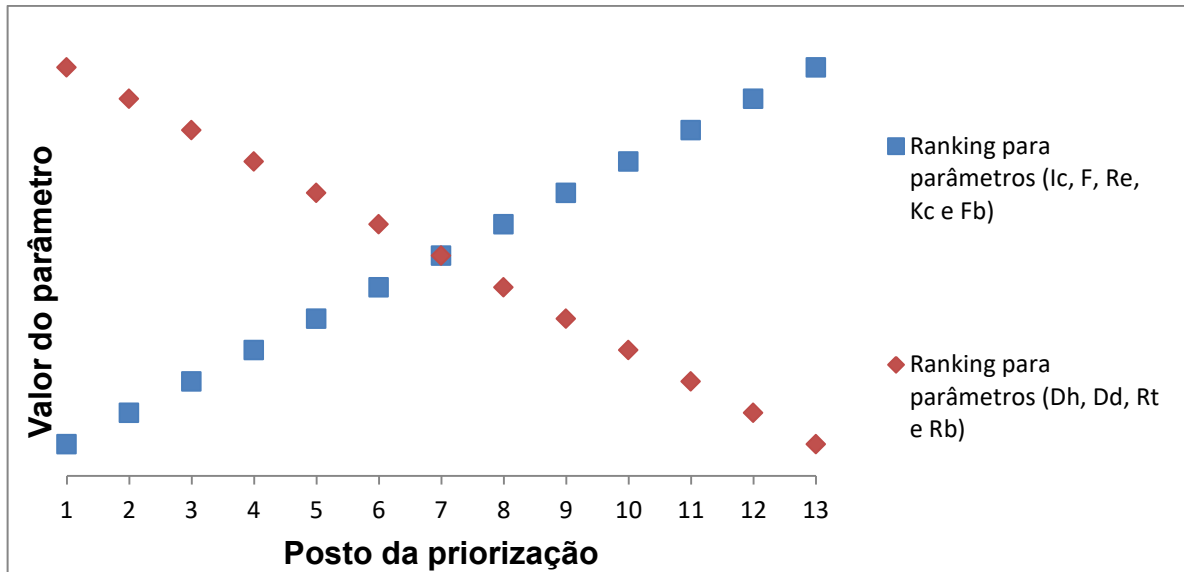
3.5.1 Classificação preliminar dos parâmetros

Os parâmetros de densidade hidrográfica, densidade de drenagem, razão de textura e relação de bifurcação (respectivamente D_h , D_d , R_t e R_b) expressam uma relação direta com fatores de degradação do solo e água em uma bacia hidrográfica (SOARES et. al., 2016), ou seja, são inversamente proporcionais ao posto que indica o grau de priorização para a bacia. Segundo Aher et. al. (2014), a maior prioridade é determinada pelo posto (ou rank) igual a um, a partir dos TSBs que apresentam o maior valor obtido para o parâmetro e o maior posto (menor prioridade) será atribuído ao menor valor do parâmetro obtido.

Para os parâmetros restantes (índice de circularidade, fator de forma, razão de alongamento, coeficiente de compacidade e forma de bacia), seus valores são inversamente proporcionais a fatores de degradação do solo e água. Neste caso, a maior prioridade começa com o posto (ou rank) igual a um, a partir do menor valor obtido para o parâmetro e o maior posto será atribuído ao TSB com maior valor obtido para o parâmetro (AHER et al., 2014).

A Figura 1 é um exemplo de como ocorre a priorização para os parâmetros I_c , F , R_e , K_c . O eixo das ordenadas representa o valor obtido para o parâmetro e o eixo das abscissas é o posto da priorização para os TSBs. A priorização de posto 1 será para os parâmetros o menor valor da série de dados, já para os parâmetros, será o maior valor da série de dados.

Figura 1 - Exemplo de posto de priorização para os parâmetros.



3.5.2 Coeficiente de correlação de Spearman

O coeficiente de Spearman é utilizado para relações monotônicas, lineares ou não lineares e analisa a intensidade e o sentido entre duas variáveis (SOUSA, 2019). Segundo Bauer (2007) a correlação de Spearman é um método estatístico na qual (x, y) devem estar em escala nominal ou em postos, quando são dados quantitativos. Os resultados variam entre menos um e um.

O coeficiente de correlação de Spearman (ρ) entre duas variáveis X e Y é dado por (SPIEGEL, 1993):

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d^2}{n(n^2 - 1)} \quad (1)$$

em que d = diferenças entre os postos dos valores correspondentes de X e Y , n = número de pares de valores (X, Y) dos dados.

3.5.3 Equação ponderada para a priorização de bacias conforme o método WSA

Segundo Aher et al. (2014) para o método WSA, os pesos finais serão a razão entre a soma dos coeficientes de correlação para cada parâmetro dividido

pelo total geral das correlações, ou seja, os pesos (R_i) para cada parâmetro serão determinados conforme a Equação 2.

$$R_i = \frac{\text{Somadas correlações}}{\text{Total geral}} \quad (2)$$

A Equação 3 apresenta o modelo de priorização que foi adaptado de Aher et al. (2014) e Soares et al. (2016). Quanto maior for o resultado obtido, melhor é a condição do TSB e significa que o grau de prioridade para o TSB é baixo quando comparado com os outros TSBs.

Inversamente, quanto menor for o resultado de WSA para o TSB, pior é sua condição e maior é a importância de priorizar ações de planejamento na bacia.

$$WSA = (R_i \times Dh) + (R_i \times Rb) + (R_i \times Dd) + (R_i \times Rt) + (R_i \times F) + (R_i \times Ic) + (R_i \times Re) + (R_i \times Fb)(R_i \times Kc) \quad (3)$$

3.6 ANÁLISE DE BACIAS COM GEOPROCESSAMENTO

3.5.1 Modelo Digital de Elevação (MDE)

De acordo com Valeriano (2008), os modelos digitais de elevação são dados de registros altímetros dispostos em linhas e colunas georreferenciadas. Esses registros altímetros precisam ser correspondentes à altitude do relevo, para representar a sua topografia.

Segundo Doyle (1978), em sua época, os modelos digitais eram adquiridos de mapas existentes de forma manual por meio das curvas de níveis e possuíam alta probabilidade de erros e duplicação ou omissão de informações. Também eram utilizados métodos melhores como estereomodelos fotogramétricos e de levantamentos de solo. Além disso, já existiam sistemas como o altímetro transportado em aeronaves e satélites, mas esses dados ainda não eram usuais.

Atualmente, existem métodos como a estereoscopia orbital (comparação de duas imagens do mesmo local em ângulos distintos) e interferometria por radar (emissão de sinal pelo radar e registro das características no retorno por meio de

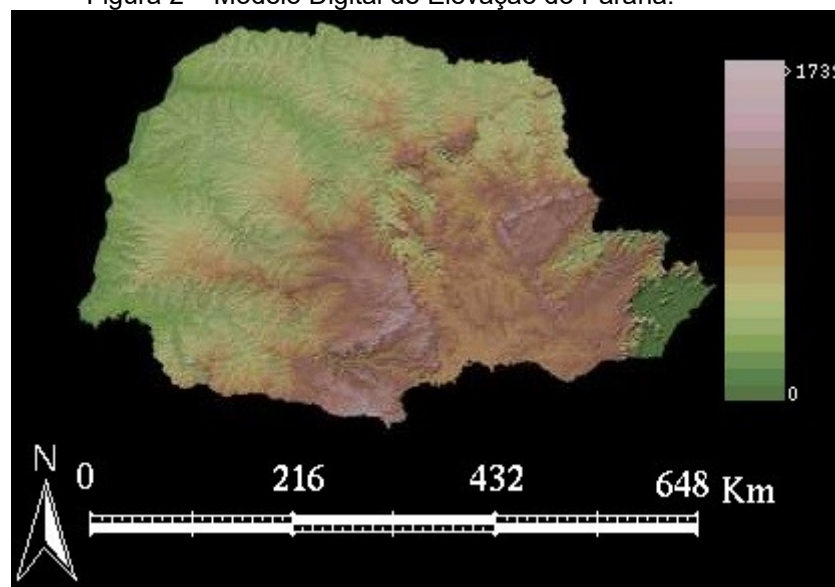
duas antenas), são métodos mais eficientes e geram bases topográficas padronizadas (LANDAU e GUIMARÃES, 2011).

Segundo Crepani e Medeiros (2004) o *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) é um projeto que teve como objetivo gerar um MDE da Terra por meio da interferometria. É uma parceria entre *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), *National Geospatial-Intelligence Agency* (NGA), Agência Espacial Alemã (DLR) e Agência Espacial Italiana (ASI).

No Brasil, o projeto Brasil em Relevo da Embrapa Monitoramento por Satélite disponibiliza gratuitamente as imagens de satélite de todo território nacional, obtidas a partir do projeto SRTM. O SRTM e o projeto Brasil em Relevo possuem uma resolução espacial (pixel) de 90 metros, isso significa que a cada área de 90 metros por 90 metros existe uma medida altimétrica (MIRANDA, 2005).

A Figura 2 é um exemplo de MDE do Estado do Paraná da missão SRTM disponibilizada pelo projeto Brasil em Relevo. As cores representam a cota do terreno que varia de 0 a 1739 metros.

Figura 2 – Modelo Digital de Elevação do Paraná.



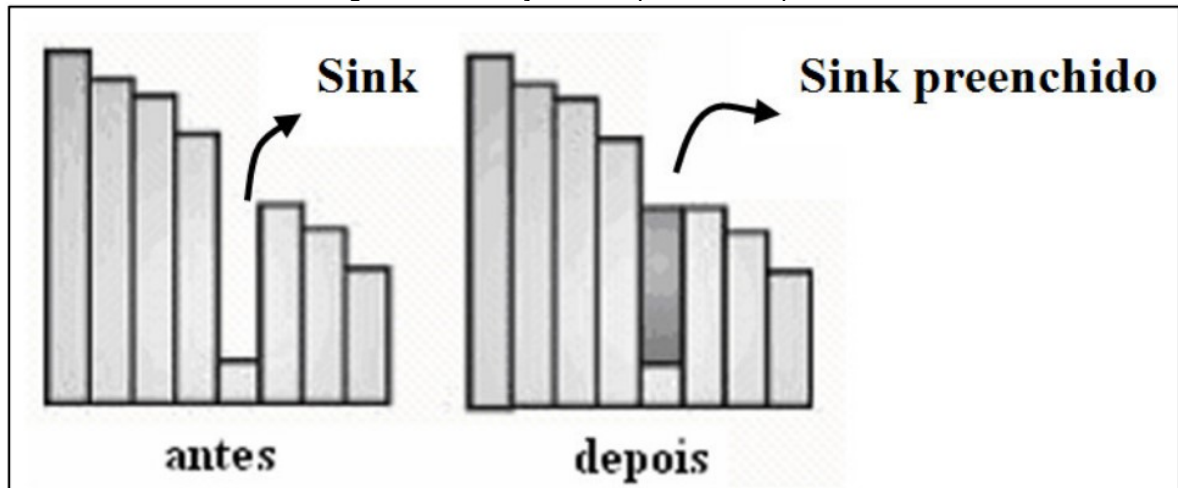
Fonte: Embrapa (2005).

3.5.2 Processo de delimitação de bacias

Para definir os limites dos TSBs foi utilizado o MDE da missão SRTM (RENNÓ, 2004) e para realizar a delimitação foi utilizado o *Geographic Resources Analysis Support System* (GRASS) *Geographic Information System* (GIS).

A sequência de processamento envolve preencher todas as depressões espúrias (sumidouros) presentes no MDE (Figura 3). Em seguida, é possível utilizar a função `r.watershed` para calcular os parâmetros hidrológicos e gerar mapas de acúmulo de fluxo, direção de drenagem (Figura 4), localização de cursos d'água e dos TSBs (GRASS, 2021).

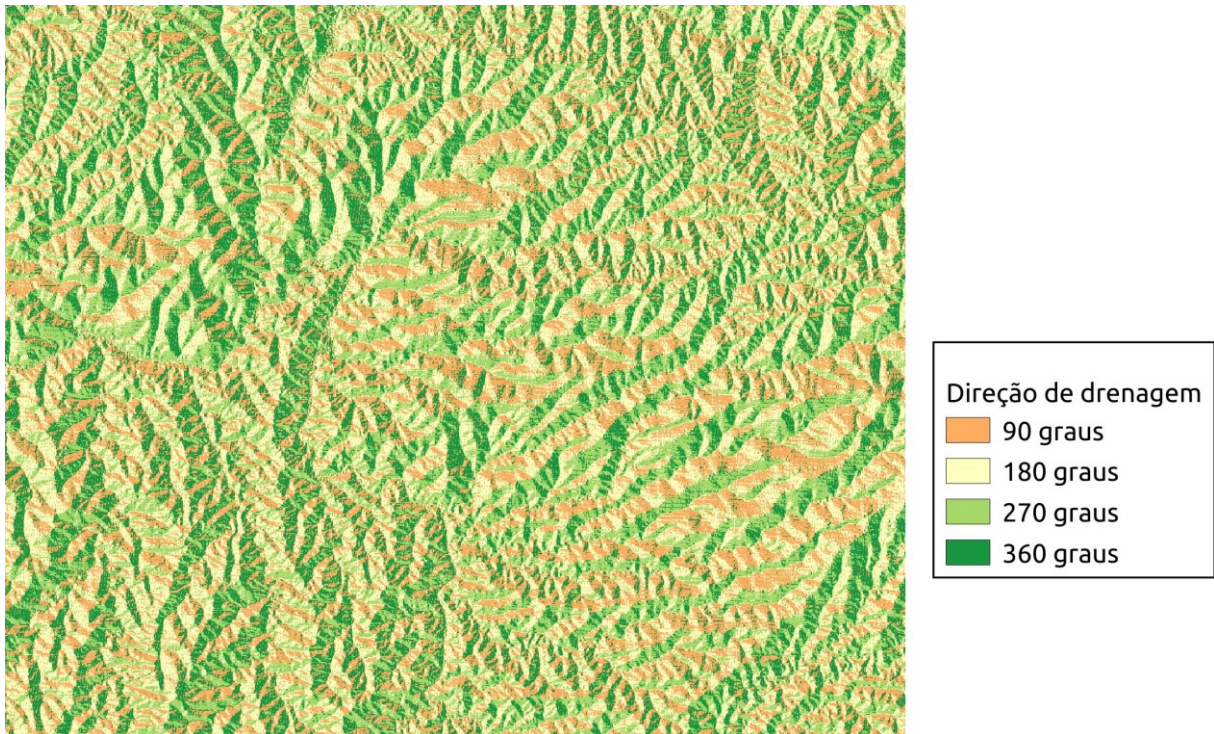
Figura 3 – Correção de depressões espúrias.



Fonte: Sobrinho et. al. (2010).

A drenagem possui 8 direções numeradas que ao multiplicar os valores positivos por 45 obtém-se a direção em graus para o escoamento superficial percorrido pela célula. Valor zero significa que é uma área de depressão. Valores negativos significam que o escoamento está deixando a região geográfica atual. Já o valor absoluto representa a direção do fluxo (GRASS, 2021). A Figura 4 apresenta um recorte da área de estudo e é um exemplo de como é a direção de drenagem em graus.

Figura 4 – Direção de drenagem gerada a partir do MDE.

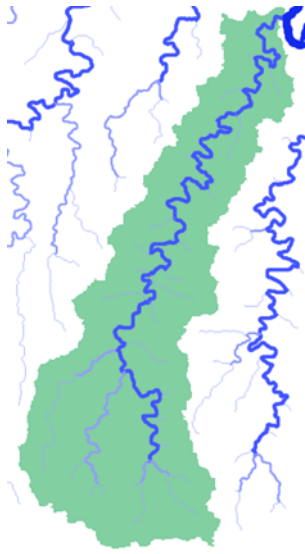


Fonte: Autoria própria, 2021.

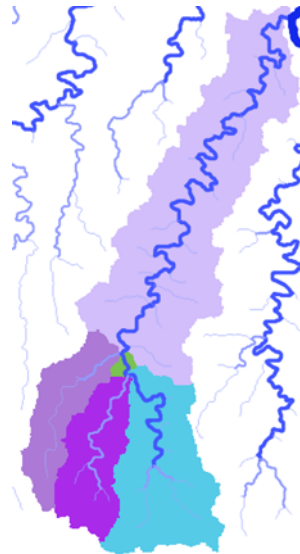
A função `r.watershed` gera limites dos TSBs por meio do algoritmo A^T , o qual é um método de busca heurística que visa identificar o caminho mais curto entre dois pontos, desenvolvido com base na forma em que um indivíduo determina o fluxo de drenagem manualmente. O caminho que deve ser encontrado tem relação com a direção de drenagem, de modo que a elevação de cada célula do MDE está associada ao custo do caminho, gerando informações sobre o fluxo acumulado em cada ponto e com base nisso, os limites de TSB (Ehlschlaeger, 1989).

O parâmetro chave para a geração dos TSB é um limiar que define o tamanho mínimo de um TSB (em termos de números de células do MDE). Quanto maior este parâmetro, menor o número final de TSB gerados em uma área. Na Figura 5 tem-se a ilustração da diferença de resultados para a região de um corpo d'água, conforme o limiar adotado, em que cada cor representa a delimitação de uma sub-bacia ou TSB. Enquanto na Figura 5 (a), com limiar de 100 mil células, a delimitação resulta em uma única bacia, na Figura 5 (b), com limiar de 50 mil células são gerados quatro TSB e na Figura 5 (c), com limiar de 30 mil células, são gerados 6 TSB.

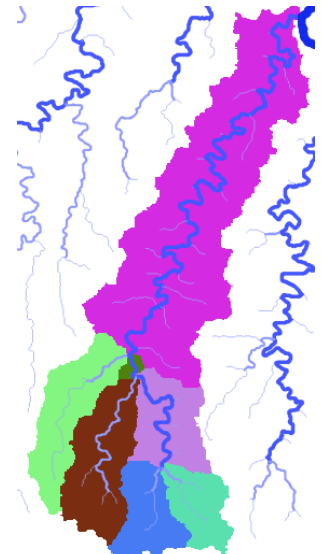
Figura 5 – Diferença de resultado na delimitação de TSB, sendo: (a) limiar de 100 mil células ou 810 km²; (b) limiar de 50 mil células ou 405 km²; (c) limiar de 30 mil células ou 243 km².



(a)



(b)



(c)

Fonte: Autoria própria, 2021.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

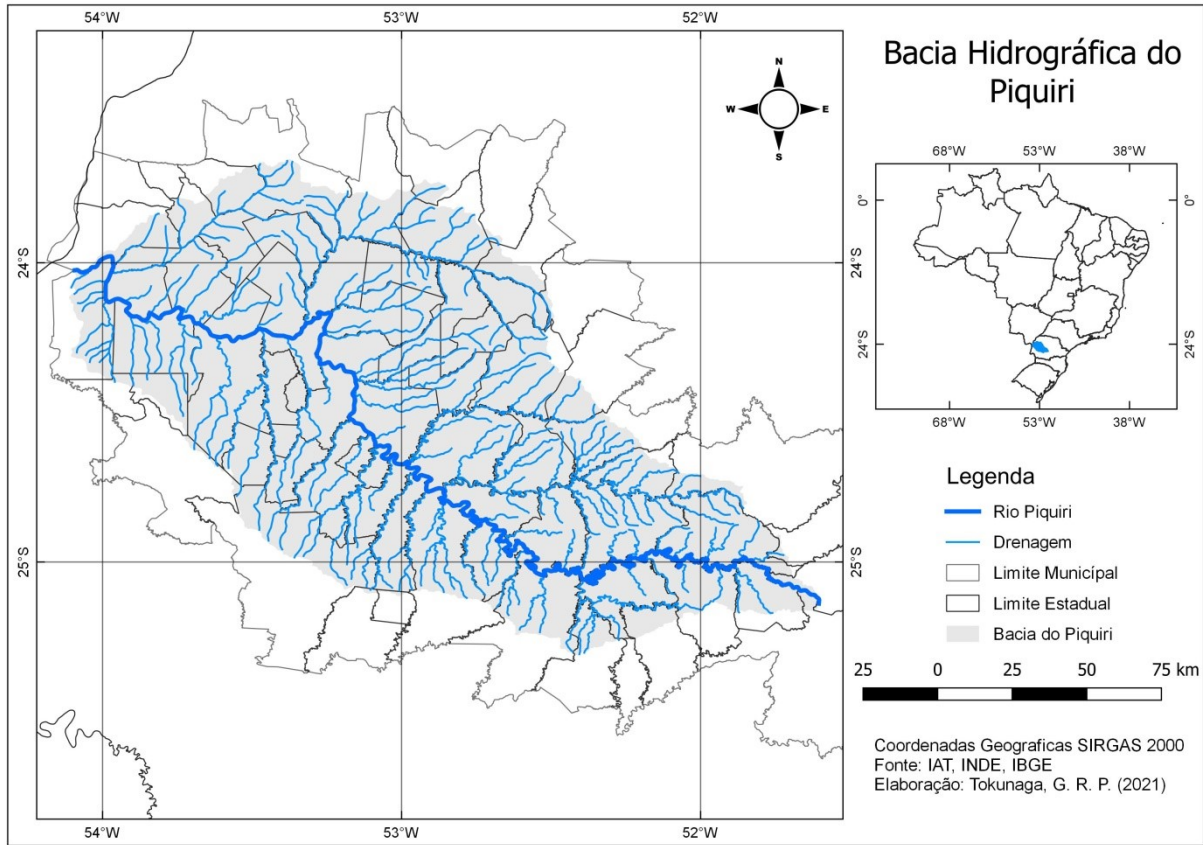
A Bacia Hidrográfica do Piquiri (BHP) está localizada na região centro-oeste do estado do Paraná, Terceiro Planalto paranaense com relevo suavemente ondulado (IPARDES, 2013), entre as latitudes de 23° 30' S, 25° 20' S e longitude 51° 30' W, 54° 10' W. Sua área é de 24.171,7 km² (PLERH, 2010 e IPARDES, 2017) e de acordo com o IPARDES (2017) a ocupação predominante na bacia é a agropecuária com 46,5%. Os remanescentes de floresta nativa ocupam 5,69% e remanescentes protegidos por Unidades de Conservação (UCs) de proteção integrada é de 4,9%. A população aproximada para área é de 549 mil habitantes (IBGE, 2010) e existem 71 municípios na área da bacia hidrográfica.

Os tipos de solos predominantes na região da BHP são: Latossolo, Argissolo e Nitossolo (IAT, 2008).

Segundo Lepsch (2010), os Latossolos são intemperados e seu perfil típico é possuir um horizonte A pouco espesso e horizonte B muito espesso, com até mais de 2 metros de profundidade, além de alta porosidade. Varia de médio a muito argiloso com grãos de 1 a 3 milímetros e mesmo quando são muito argilosos possuem uma alta permeabilidade por conta do seu espaço poroso. Argissolos são heterogêneos, possuem um aumento na quantidade de argila conforme a profundidade. O acúmulo de argila ocorre no horizonte B, sua espessura média está entre 0,5 metros e 1,5 metros. Já os Nitossolos possuem textura argilosa ou muito argilosa com uma profundidade considerada média e a característica do horizonte B é possuir macroagregados nítidos e reluzentes.

O principal rio da bacia é o Rio Piquiri com uma extensão de 485 km, é afluente da margem esquerda do Rio Paraná. Na Figura 6 é possível observar a localização e delimitação da BHP, os cursos d'água e a delimitação dos municípios que fazem parte da bacia.

Figura 6 - Localização da Bacia Hidrográfica do Piquiri.

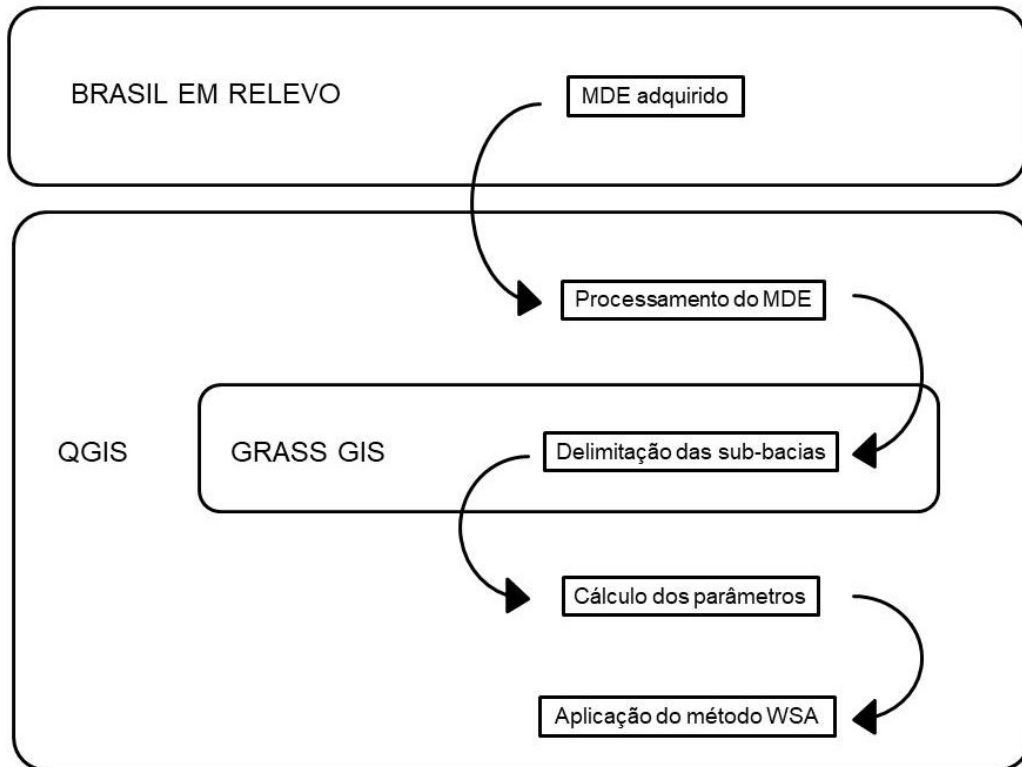


Fonte: Autoria própria, 2021.

4.2 BANCO DE DADOS GEOGRÁFICOS

Para simplificar o método que foi aplicado neste estudo, a Figura 7 representa o fluxograma do processo, desde a organização do banco de dados até a definição da prioridade dos TSBs.

Figura 7 - Fluxograma.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Para o processamento e análise dos dados foi utilizado o software livre de Sistema de Informação Geográfica (SIG) QGIS (Quantum Gis), versão 3.16. A projeção cartográfica adotada foi a Universal Transversal de Mercator (UTM) e o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000), adotado no Brasil como Sistema Geodésico de Referência oficial (IBGE, 2015).

Para cobrir totalmente a BHP foram necessários 7 arquivos do projeto SRTM, sendo eles: SF-21-Z-D, SF-22-Y-C, SG-21-X-B, SG-22-V-A, SG-22-V-B, SG-22-V-C e SG-V-D.

4.3 DELIMITAÇÃO DOS TRECHOS DE SUB-BACIAS

Para delimitar os TSBs foi feito o mapeamento hidrográfico baseado na metodologia de Jenson e Dominique (1988) que consistiu em gerar um mapa de elevação sem depressões espúrias. Foi utilizado o limiar de 500 mil células como área mínima, que corresponde a 4050 km². Essa área está relacionada com as bacias denominadas de internas pelo método de busca heurística A^T (Ehlschlaeger, 1989). Sendo assim, algumas das bacias, não consideradas internas pelo método, podem ter área resultante menor que este valor.

Foram feitos vários testes de limiares e a escolha deste valor foi realizada em função do número de TSBs resultantes que ficasse entre 10 e 20.

Em seguida, realizou-se o processamento dos dados derivados; pelo ponto de exutório foi possível identificar os TSBs e após a vetorização das camadas foram calculados os parâmetros morfométricos.

4.4 CÁLCULO DOS PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS

Foram calculados os parâmetros morfométricos de Dh, Rb, Dd, Rt, Ic, F, Re, Kc e Fb baseado nas fórmulas apresentadas no Quadro 1.

Conforme o item 3.5.1, cada parâmetro possui um ranqueamento de forma que Dh, Dd, Rt e Rb, são inversamente proporcionais ao posto do grau de priorização, de forma que a priorização inicia com o posto um a partir do maior valor obtido para o parâmetro e terminam no menor valor obtido.

Para os parâmetros Ic, F, Re, Kc e Fb são proporcionais ao posto do grau de priorização, assim, a priorização inicia com o posto um a partir do menor valor obtido para o parâmetro termina no maior valor obtido para o parâmetro.

Dessa forma para todos os parâmetros em primeiro lugar está o TSB em pior estado e de maior prioridade. Seguindo essa classificação, em último lugar está o TSB que se encontra em melhor condição e de menor prioridade.

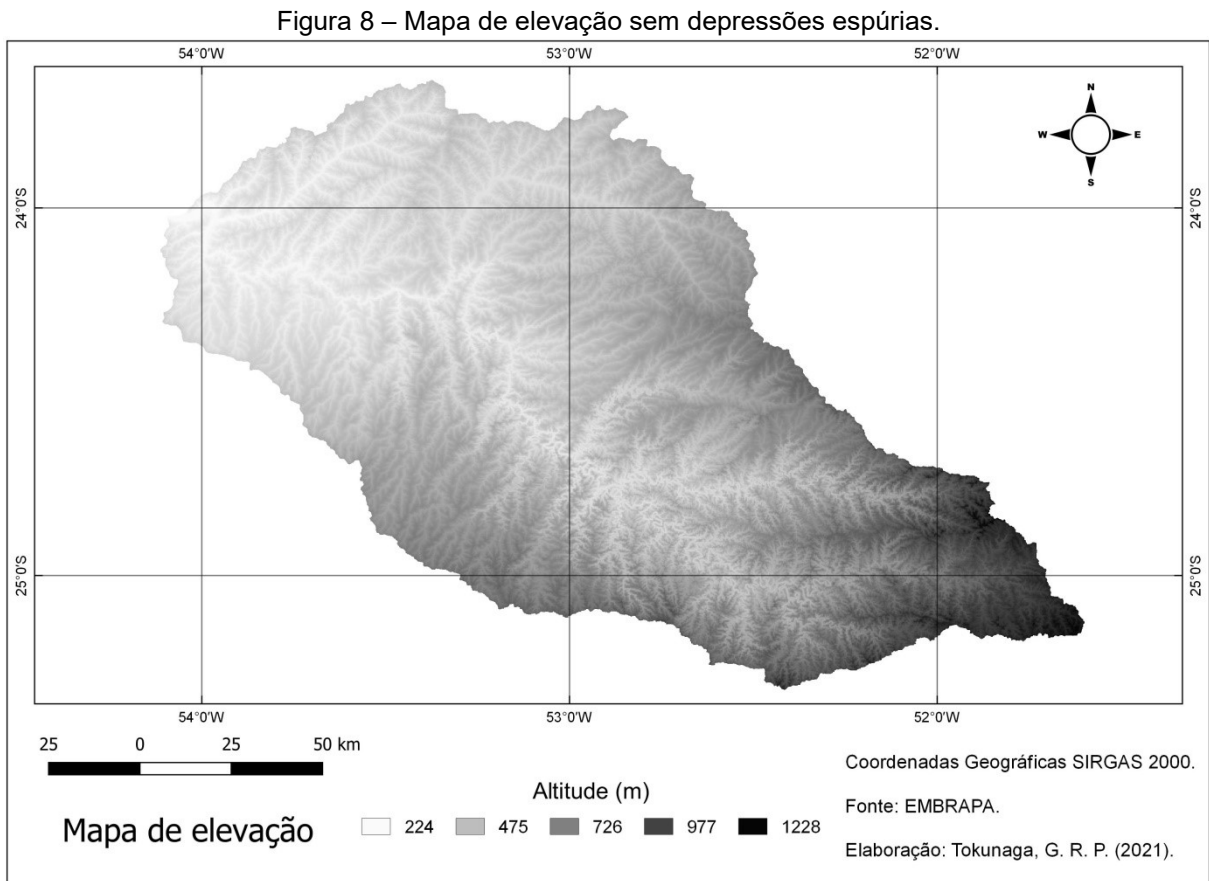
4.5 APLICAÇÃO DO MÉTODO WEIGHTED SUM ANALYSIS (WSA)

Utilizando o ranque preliminar dos TSBs foi calculado o coeficiente de Spearman para cada par de parâmetros conforme a Equação 1 e a partir dos resultados obtidos, foi criada uma matriz de correlação dos parâmetros morfométricos, que contém a somatória das correlações e o total geral.

Para encontrar a equação ponderada conforme o método WSA, foi calculado os pesos para cada parâmetro morfométrico. Com os pesos calculados, foi utilizada a Equação 3 em cada TSB e de acordo com o resultado encontrado, foi definida a classificação de prioridade.

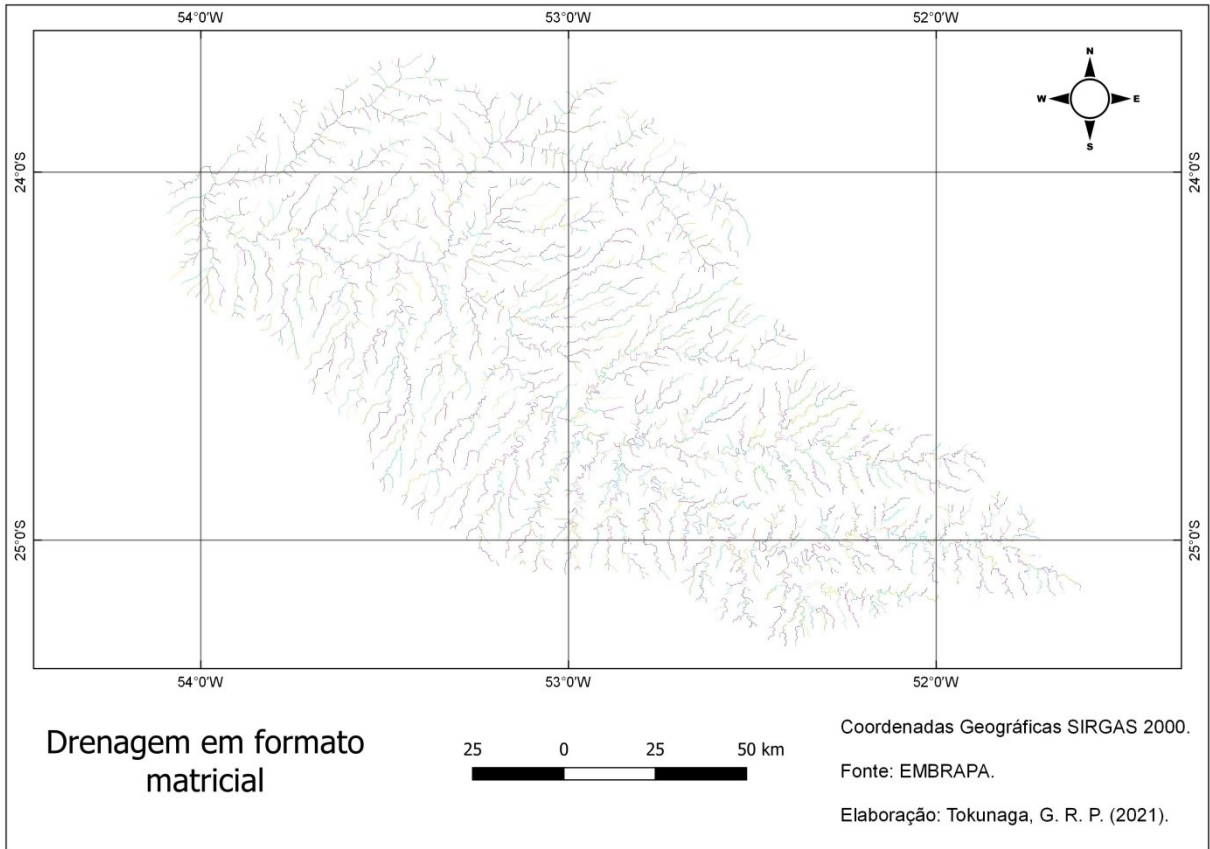
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 8 apresenta o mapa gerado de elevação sem depressões espúrias. A altitude da BHP varia entre 224 metros no ponto mais baixo e 1228 metros no ponto mais alto. Os dados resultantes após o processamento do mapa de elevação sem depressões espúrias foram os segmentos de drenagem em formato matricial (Figura 9) com cada segmento possuindo uma cor diferente e representam um trecho d'água. Gerou-se também a direção de drenagem (Figura 10), em que cada pixel possui apenas um único sentido. E por fim, todos os TSBs da área de estudo (Figura 11).



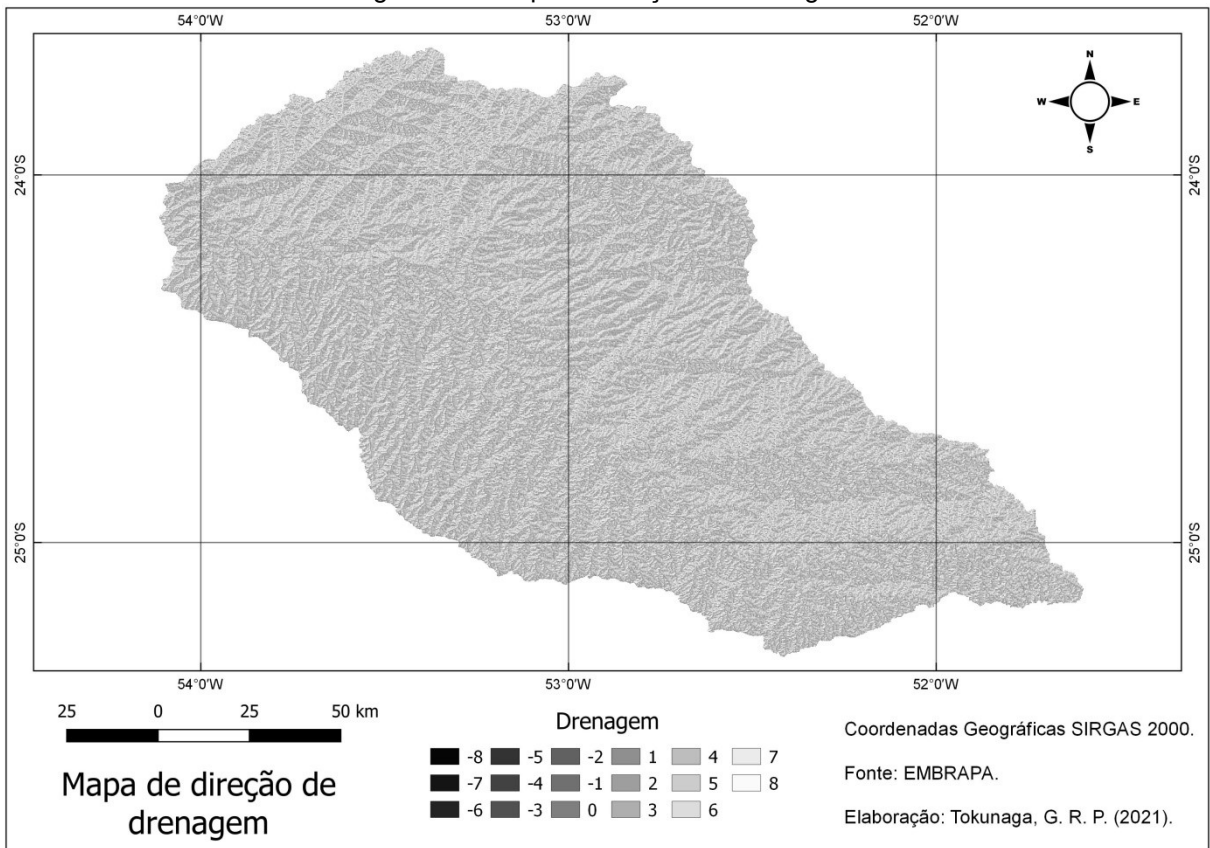
Fonte: Autoria própria, 2021.

Figura 9 – Drenagem em formato matricial.



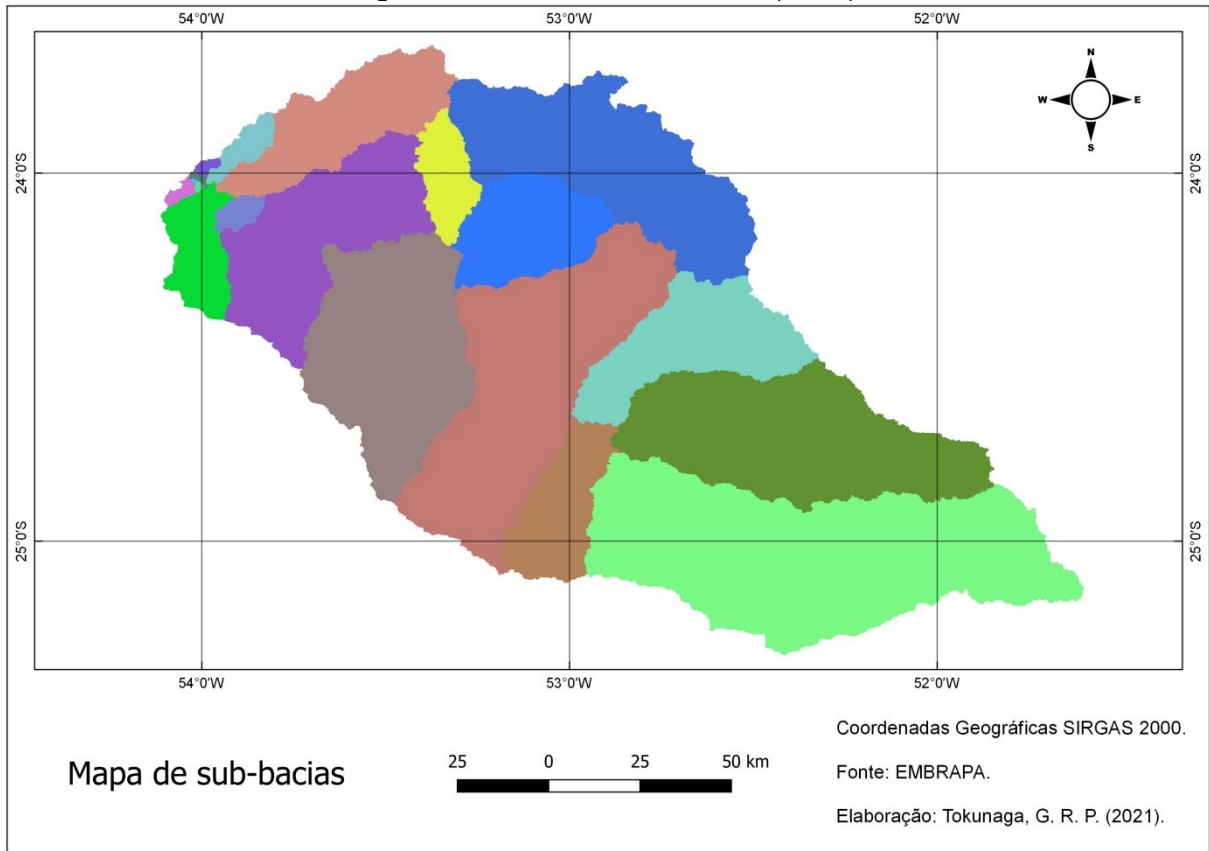
Fonte: Autoria própria, 2021.

Figura 10 – Mapa de direção de drenagem.



Fonte: Autoria própria, 2021.

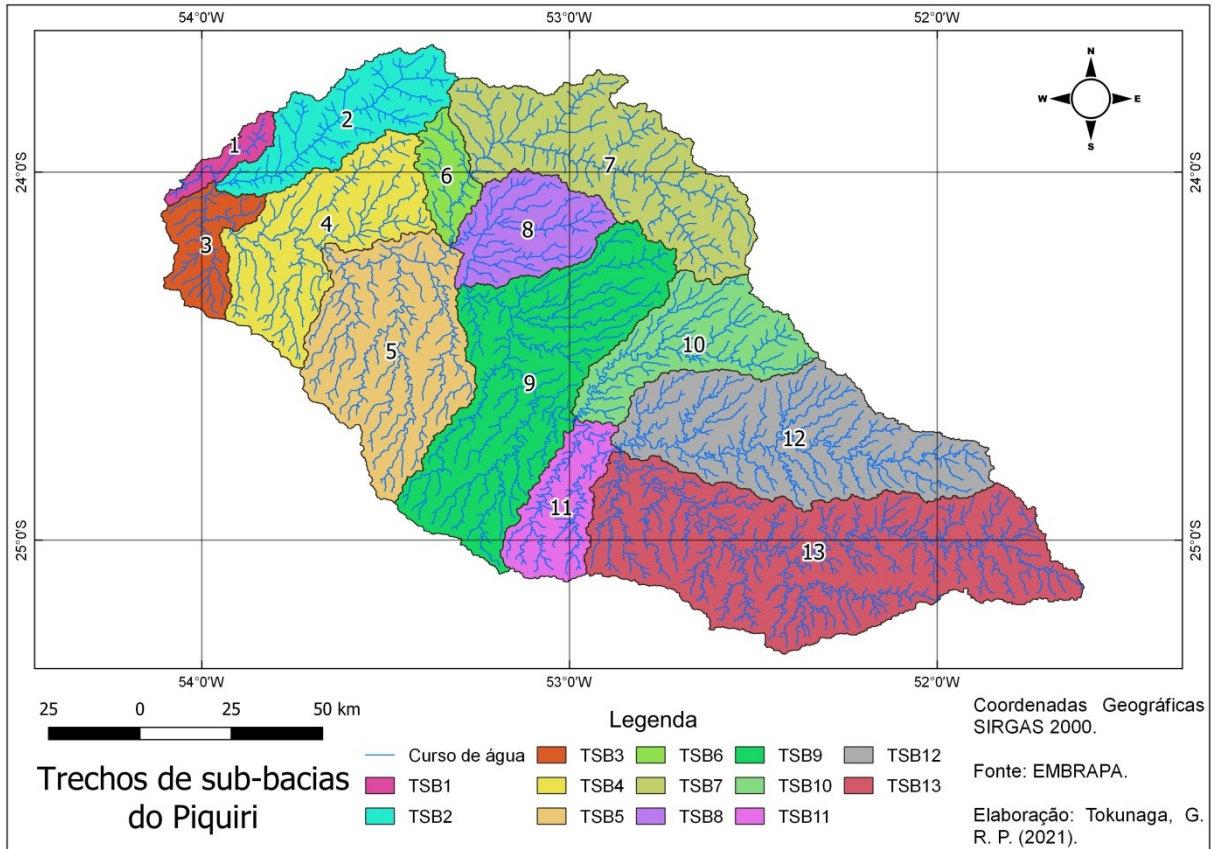
Figura 11 – Trechos de sub-bacias (TSBs).



Fonte: Autoria própria, 2021.

Na Figura 12, apresenta-se a rede de drenagem da BHP, já dividida em 13 TSBs. É possível observar que a Figura 11 apresenta mais divisões de TSBs do que a Figura 12. Os trechos pequenos da Figura 11 foram unidos respeitando a rede de drenagem, para que os TSBs não apresentassem regiões muito pequenas. Percebe-se que os TSBs de número 2, 7, 10, 12 e 13 são, por definição, sub-bacias, na medida em que todo o fluxo da drenagem converge para um único ponto, seu exutório e nem recebem fluxo de entrada de outro TSB. Os demais trechos não atendem a este requisito, em função do método computacional A^T , executado no SIG e descrito na seção 3.5.2, e por isso foi adotado neste trabalho a nomenclatura diferenciada de TSB.

Figura 12 – Mapa de trechos de sub-bacias.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Os parâmetros iniciais calculados foram área, perímetro, comprimento axial e somatória da rede de drenagem que estão apresentados na Tabela 1 para cada trecho. Com destaque para a menor área de 247,918 km² do TBS1 e para a maior área de 4.733,892 km² do TSB13, possuem uma diferença de 4.485,974 km².

Tabela 1 – Parâmetros da rede de drenagem.

TSB	Área (A) (km ²)	Perímetro (P) (km)	Comprimento axial (Lax) (km)	Soma da rede de drenagem (km)
TSB1	247,918 (1,0%)	142,277 (3,5%)	32,917 (3,7%)	77,096 (0,8%)
TSB2	1303,049 (5,4%)	290,733 (7,2%)	74,398 (8,3%)	423,053 (4,6%)
TSB3	637,122 (2,6%)	192,456 (4,8%)	40,856 (4,6%)	230,785 (2,5%)
TSB4	1951,368 (8,1%)	356,932 (8,9%)	59,062 (6,6%)	684,666 (7,4%)

TSB5	2554,318 (10,6%)	341,323 (8,5%)	78,878 (8,8%)	962,762 (10,4%)
TSB6	441,019 (1,8%)	156,731 (3,9%)	41,703 (4,7%)	150,103 (1,6%)
TSB7	2589,173 (10,8%)	418,283 (10,4%)	82,566 (9,2%)	858,792 (9,3%)
TSB8	1073,225 (4,5%)	207,679 (5,2%)	46,454 (5,2%)	387,447 (4,2%)
TSB9	3361,816 (14,0%)	465,395 (11,6%)	87,996 (9,8%)	1277,925 (13,8%)
TSB10	1432,533 (5,9%)	291,246 (7,2%)	63,922 (7,1%)	571,808 (6,2%)
TSB11	859,318 (3,6%)	214,893 (5,3%)	49,202 (5,5%)	356,911 (3,9%)
TSB12	2897,006 (12,0%)	398,212 (9,9%)	103,147 (11,5%)	1209,22 (13,1%)
TSB13	4733,892 (19,7%)	542,776 (13,5%)	133,584 (14,9%)	2053,975 (22,2%)
Total	24081,757 (100%)	4018,936 (100%)	894,685 (100%)	9244,543 (100%)

Outro valor obtido a partir do processamento de dados foi a quantidade de trechos de curso d'água para cada ordem e TSB, apresentado no Quadro 8. Para os TSBs 2, 7, 10, 12 e 13 que são considerados como sub-bacias, o número de trechos por ordem decresce sem que haja ordens intermediárias sem nenhum trecho. Já para os TSBs restantes, por possuírem entrada de água de outros trechos, algumas ordens intermediárias apresentam nenhum trecho. Como no caso do TSB1 que não possui ordem 4 e nem ordem 5, isso ocorreu por conta dos cursos d'água de ordem 3 desaguarem direto no curso d'água de ordem 6, o caso o Rio Piquiri.

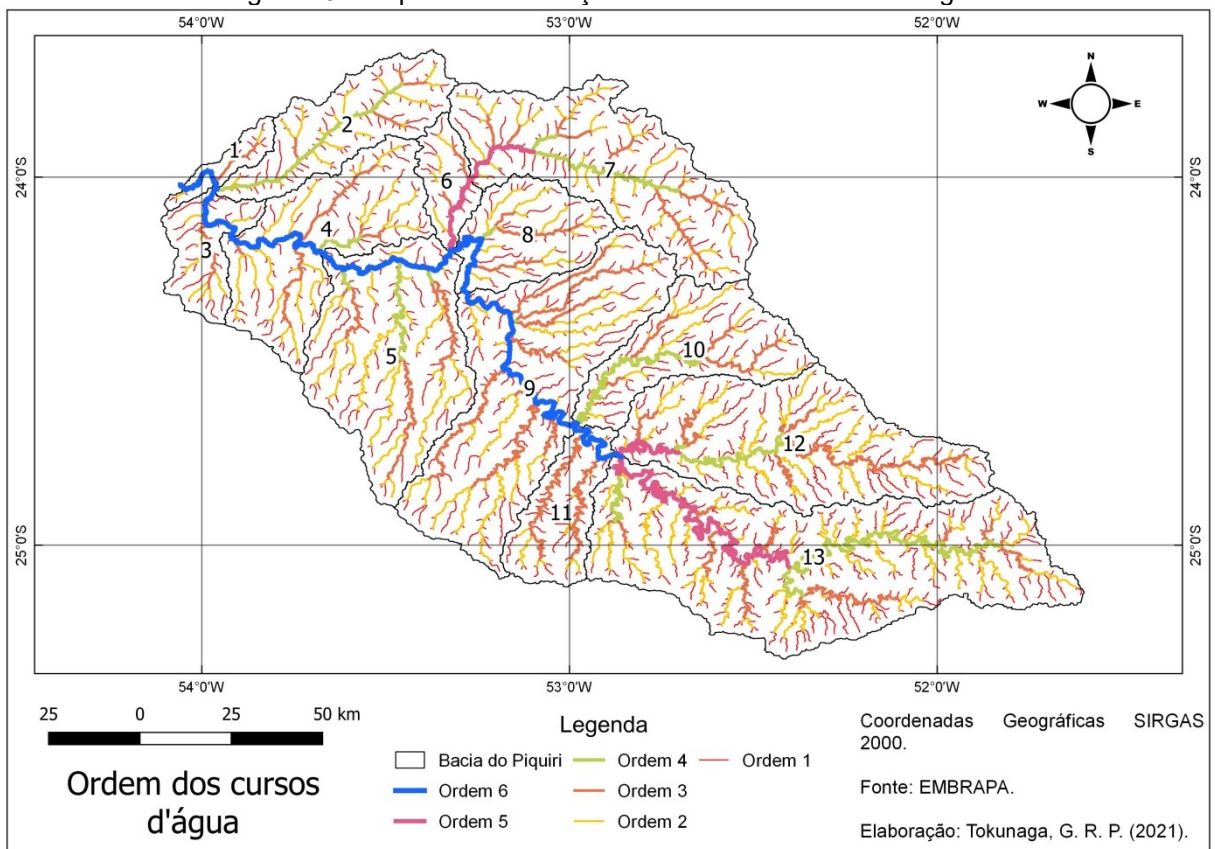
QUADRO 8 – Número de trecho de cursos d'água por ordem em cada TSB.

Ordem TSB	1	2	3	4	5	6	Total de trechos
TSB1	22	6	7	0	0	10	45

TSB2	112	44	13	53	0	0	222
TSB3	40	16	12	0	0	11	79
TSB4	134	66	41	10	0	17	268
TSB5	145	65	41	20	0	20	291
TSB6	32	11	7	0	14	0	64
TSB7	185	79	51	36	18	0	369
TSB8	70	33	22	3	0	11	139
TSB9	195	84	79	1	0	32	391
TSB10	84	27	32	25	0	0	168
TSB11	63	13	44	0	0	7	127
TSB12	175	82	56	23	12	0	348
TSB13	322	167	60	52	41	0	642

O Mapa da Figura 13 identifica os cursos d'água em sua respectiva ordem com cores e espessuras diferentes. O Rio Piquiri apresentado na Figura 6 possui cursos d'água de ordem 6 nos TSB1, TSB3, TSB4, TSB5, TSB8, TSB9 e TSB11. Além disso, sua cabeceira está localizada no TSB13 que possui ordem 5.

Figura 13 - Mapa de identificação das ordens dos cursos d'água.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Para o cálculo da razão de bifurcação foi realizado a divisão entre a ordem do TSB e a ordem do TSB existente superior. O valor médio obtido para cada TSB representa a razão de bifurcação, conforme expresso pela Tabela 2. No caso dos TSBs que possuíram ordens intermediárias sem nenhum trecho de curso d'água, foi realizada a razão entre as ordens subsequentes, de acordo com cada TSB.

Como, por exemplo, para o TSB1 que não possui ordem 3 e 4, na coluna 3/4 foi feita a razão entre ordem 3 e ordem 6. Isso é o que acontece realmente no TBS1. Para o TSB9 foi necessário considerar a soma entre as ordens 4 e 6 para calcular o valor em 3/4. Isso foi feito por causa da ordem 4 possuir somente 1 curso d'água enquanto que o de ordem 6 possui 32 cursos d'águas.

Tabela 2 – Razão de bifurcação.

TSB	1/2	2/3	3/4	4/5	Média
TSB1	3,667	0,857	0,700	-	1,741
TSB2	2,545	3,385	0,245	-	2,058
TSB3	2,500	1,333	1,091	-	1,641
TSB4	2,030	1,610	4,100	0,588	2,082
TSB5	2,231	1,585	2,050	1,000	1,717
TSB6	2,909	1,571	0,500	-	1,660
TSB7	2,342	1,549	1,417	2,000	1,827
TSB8	2,121	1,500	7,333	0,273	2,807
TSB9	2,321	1,063	2,500	-	1,962
TSB10	3,111	0,844	1,280	-	1,745
TSB11	4,846	0,295	6,286	-	3,809
TSB12	2,134	1,464	2,435	1,917	1,987
TSB13	1,928	2,783	1,154	1,268	1,783

A Tabela 3 apresenta os resultados dos parâmetros morfométricos que foram calculados no software QGis para cada TSB. Para os valores destacados em verde de Rb, são todos os valores acima de 2 e estão de acordo com sua definição. O valor de F em amarelo representa o TSB com tendência mediana a enchente. Em azul, os valores de Kc, representam valores considerados altos para a classificação de Kc. Já os resultados que não estão destacados são valores baixos para sua classificação.

Tabela 3 – Parâmetros morfométricos para cada trecho de sub-bacia (TSB).

TSB	Dh	Rb	Dd	Rt	F	lc	Re	Kc	Fb
Unidade	Rios/km ²	-	km/km ²	Rios/km	-	-	-	-	-
TSB1	0,182	1,741	0,311	0,316	0,229	0,154	0,540	2,549	0,071

TSB2	0,170	2,058	0,325	0,764	0,235	0,194	0,547	2,272	0,080
TSB3	0,124	1,641	0,362	0,410	0,382	0,216	0,697	2,151	0,108
TSB4	0,137	2,082	0,351	0,751	0,559	0,192	0,844	2,279	0,123
TSB5	0,114	1,717	0,377	0,853	0,411	0,276	0,723	1,905	0,127
TSB6	0,145	1,660	0,340	0,408	0,254	0,226	0,568	2,105	0,090
TSB7	0,143	1,827	0,332	0,882	0,380	0,186	0,695	2,319	0,100
TSB8	0,130	2,807	0,361	0,669	0,497	0,313	0,796	1,788	0,148
TSB9	0,116	1,962	0,380	0,840	0,434	0,195	0,743	2,264	0,109
TSB10	0,117	1,745	0,399	0,577	0,351	0,212	0,668	2,171	0,102
TSB11	0,148	3,809	0,415	0,591	0,355	0,234	0,672	2,068	0,108
TSB12	0,120	1,987	0,417	0,874	0,272	0,230	0,589	2,087	0,094
TSB13	0,136	1,783	0,434	1,183	0,265	0,202	0,581	2,225	0,087

Densidade hidrográfica (Dh), Relação de bifurcação (Rb), Densidade de drenagem (Dd), Razão de textura (Rt), Fator de forma (F), Índice de circularidade (Ic), Razão de alongamento (Re), Coeficiente de compacidade (Kc) e Forma da bacia (Fb).

Os resultados obtidos do parâmetro de Dh foram entre 0,144 rios/ km² e 0,182 rios/ km². Segundo Lollo (1995), são considerados baixos todos os valores menores que 3 rios/ km². A Dh nessa faixa de valores pode indicar problemas ambientais para a BHP.

Os valores de Rb para o TSB2 foi 2,058, TSB4 foi 2,082, TSB8 foi 2,807 e para o TSB11 foi de 3,809. São valores que estão de acordo com o que Christofolletti (1974) propôs de Rb ser superior a 2,0. Já os restantes dos TSBs não estão de acordo por possuem valores inferiores a 2,0.

Da mesma forma que a Dh, a Dd apresenta valores baixos entre 0,311 Km/Km² e 0,434 Km/Km². Segundo Chistofolletti (1974), são considerados de baixa densidade todos aqueles com valores inferiores ou iguais a 7,5 Km/Km².

Para Hiruma e Ponçano (1994), valores baixos de Dd estão associados ao tipo de solo, normalmente espessos que se desenvolvem em relevos planos ou pouco ondulados e são solos permeáveis. O relevo da BHP é suavemente ondulado e é formado principalmente por: Latossolo vermelho, considerado espesso (até mais de 2 metros de profundidade) e de alta permeabilidade; Argissolo de espessura média entre 0,5 metros e 1,5 e Nitossolos de profundidade mediana. As características do Latossolo estão de acordo com o que representa os valores baixos de Dd. Já o Argissolo e Nitossolo possuem algumas características semelhanças para valores baixos de Dd, em relação ao terreno

França (1990) classifica o Rt como grosseira, com grandes distâncias entre cursos d'água, para valores menores do que 2,5 rios/Km e no caso da BHP todos os TSB apresentaram valores entre 0,316 rios/Km e 1,183 rios/Km. Resultado

parecido foi obtido por Soares et. al. (2016), com valores entre 0,117rios/Km e 1,16 rios/Km. Rt pequenos são resultados esperados para áreas pequenas.

O parâmetro F, exceto o TSB4, os demais apresentaram valores inferiores a 0,5. Silva e Mello (2008) classificam F menor que 0,5 como não propensas a enchentes e para valores entre 0,75 e 0,5, a tendência a enchentes é mediana.

Já o Ic, todos os TSBs apresentaram valores menores que 0,45 o que segundo Schumn (1956) indica que a bacia possui formato alongado e é favorecido o escoamento superficial.

De acordo com Soares et. al. (2016), os valores entre 0,81 e 0,88 para Re foram considerados como bacias ovais e o único TSB nesse intervalo é o TSB4 com 0,844.

Kc teve todos os TSB classificados como não sujeito a grandes enchentes, seguindo a classificação de Silva e Mello (2008).

Como Fb não possui relação com o tamanho da bacia, os valores foram baixos e próximos entre si. Soares et. al. (2016) obtiveram valores que variaram de 0,47 a 0,71 e para este trabalho foram valores de 0,071 a 0,148. Assim, para os TSBs o escoamento não é considerado eficiente.

Com os dados da Tabela 3 foi criado um ranque preliminar dos parâmetros morfométricos de priorização dos TSBs, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Ranking (posto) preliminar para cada parâmetro morfométrico, por TSB.

TSB	Dh	Rb	Dd	Rt	F	Ic	Re	Kc	Fb
TSB1	1	10	13	13	1	1	1	13	1
TSB2	2	4	12	6	2	4	2	10	2
TSB3	9	13	7	11	9	8	9	6	9
TSB4	6	3	9	7	13	3	13	11	11
TSB5	13	11	6	4	10	12	10	2	12
TSB6	4	12	10	12	3	9	3	5	4
TSB7	5	7	11	2	8	2	8	12	6
TSB8	8	2	8	8	12	13	12	1	13
TSB9	12	6	5	5	11	5	11	9	10
TSB10	11	9	4	10	6	7	6	7	7
TSB11	3	1	3	9	7	11	7	3	8
TSB12	10	5	2	3	5	10	5	4	5
TSB13	7	8	1	1	4	6	4	8	3
Ordem dos valores	Maior para o menor	Maior para o menor	Maior para o menor	Maior para o menor	Menor para o maior	Menor para o maior	Menor para o maior	Menor para o maior	Menor para o maior

Com o ranking da Tabela 4 foi calculado o coeficiente de Spearman para cada par de parâmetros conforme a Equação 1 e a classificação foi de acordo com a ordem dos valores e inicia-se no valor posto 1 como de maior prioridade e finaliza no 13 com a menor prioridade. Para os parâmetros inversamente proporcionais (Dh, Rb, Dd e Rt), foram do maior para o menor valor do parâmetro. Já os parâmetros proporcionais (F, Ic, Re Kc e Fb), foram do menor para o maior valor do parâmetro.

Dessa forma, com os resultados obtidos foi criada uma matriz de correlação dos parâmetros morfométricos (Tabela 5), que pode ser calculada pela Equação 1 ou também pode ser obtida de maneira mais simples pela função do Excel: =CORREL(matriz1;matriz2). A Tabela 5 contém a somatória das correlações e o total geral.

Tabela 5 – Matriz de correlação.

Índice de correlação	Dd	Ic	Kc	F	Re	Fb	Rb	Dh	Rt	Total
Dd	1,000	-0,511	0,511	-0,176	-0,176	-0,225	0,137	-0,582	0,401	
Ic	-0,511	1,000	-1,000	0,275	0,275	0,511	-0,088	0,440	0,016	
Kc	0,511	-1,000	1,000	-0,275	-0,275	-0,511	0,088	-0,440	-0,016	
F	-0,176	0,275	-0,275	1,000	1,000	0,951	-0,291	0,560	-0,203	
Re	-0,176	0,275	-0,275	1,000	1,000	0,951	-0,291	0,560	-0,203	
Fb	-0,225	0,511	-0,511	0,951	0,951	1,000	-0,225	0,621	-0,077	
Rb	0,137	-0,088	0,088	-0,291	-0,291	-0,225	1,000	0,209	0,280	
Dh	-0,582	0,440	-0,440	0,560	0,560	0,621	0,209	1,000	-0,346	
Rt	0,401	0,016	-0,016	-0,203	-0,203	-0,077	0,280	-0,346	1,000	
Soma dos índices	0,379	0,918	-0,918	2,841	2,841	2,995	0,819	2,022	0,852	12,747

Para encontrar a equação ponderada conforme o método WSA, foram calculados os pesos para cada parâmetro morfométrico de acordo com a Equação 2 e os resultados foram substituídos na Equação 3. Assim, foi obtida a Equação 4 para calcular a priorização para cada TSB, método WSA.

$$\begin{aligned}
 \text{Priorização} = & (0,159 \times Dh) + (0,064 \times Rb) + (0,030 \times Dd) + (0,067 \times Rt) \\
 & + (0,223 \times F) + (0,072 \times Ic) + (0,223 \times Re) + (0,235 \times Fb) \\
 & + (-0,072 \times Kc)
 \end{aligned} \quad (4)$$

Na Equação 4, os valores numéricos que estão sendo multiplicados pelo parâmetro, é o resultado da razão entre a Soma dos índices pelo Total.

A Tabela 6 apresenta os valores que foram utilizados na Equação 4 para realizar a multiplicação em cada TSB, o resultado foi a coluna Priorização.

Tabela 6 – Método WSA aplicado para cada TSB.

TSB	Dd	Ic	Kc	F	Re	Fb	Rb	Dh	Rt	Priorização
1	0,009	0,011	-0,183	0,051	0,120	0,017	0,112	0,029	0,021	0,187
2	0,010	0,014	-0,164	0,052	0,122	0,019	0,132	0,027	0,051	0,263
3	0,011	0,016	-0,155	0,085	0,155	0,025	0,105	0,020	0,027	0,290
4	0,010	0,014	-0,164	0,125	0,188	0,029	0,134	0,022	0,050	0,407
5	0,011	0,020	-0,137	0,092	0,161	0,030	0,110	0,018	0,057	0,362
6	0,010	0,016	-0,152	0,057	0,127	0,021	0,107	0,023	0,027	0,236
7	0,010	0,013	-0,167	0,085	0,155	0,023	0,117	0,023	0,059	0,318
8	0,011	0,023	-0,129	0,111	0,177	0,035	0,180	0,021	0,045	0,473
9	0,011	0,014	-0,163	0,097	0,166	0,026	0,126	0,018	0,056	0,351
10	0,012	0,015	-0,156	0,078	0,149	0,024	0,112	0,019	0,039	0,291
11	0,012	0,017	-0,149	0,079	0,150	0,025	0,245	0,023	0,039	0,442
12	0,012	0,017	-0,150	0,061	0,131	0,022	0,128	0,019	0,058	0,298
13	0,013	0,015	-0,160	0,059	0,129	0,020	0,115	0,022	0,079	0,291

De acordo com o resultado encontrado na Tabela 6, foi definida a classificação de prioridade para os TSBs, Tabela 7. A classificação ocorreu de forma que quanto menor o valor maior a prioridade e vice-versa.

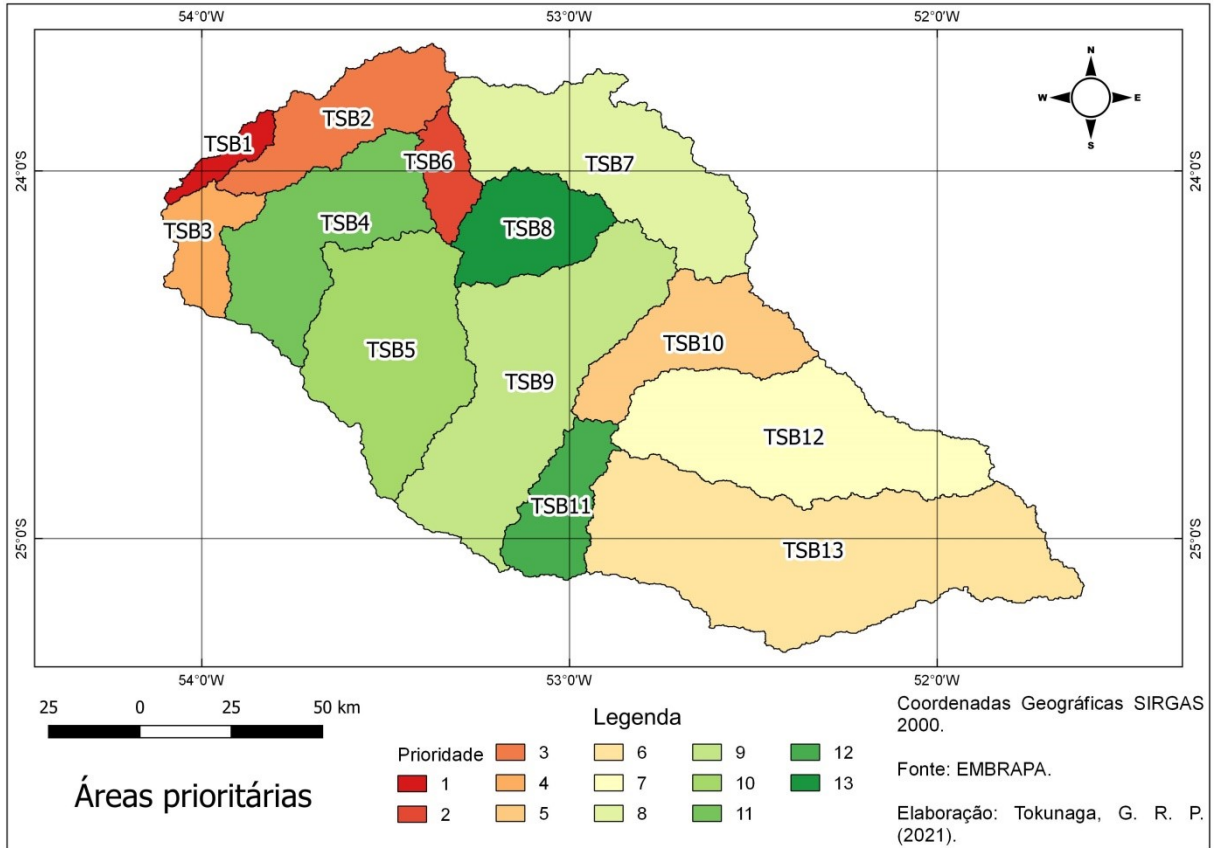
Tabela 7 – Classificação de prioridade.

Prioridade	TSB
1	TSB1
2	TSB6
3	TSB2
4	TSB3
5	TSB10
6	TSB13
7	TSB12
8	TSB7
9	TSB9
10	TSB5

11	TSB4
12	TSB11
13	TSB8

O mapa da Figura 14 indica quais são os trechos prioritários classificados pela Tabela 7.

Figura 14 – Trechos de sub-bacias (TSB) prioritários.



Fonte: Autor próprio, 2021.

A classificação de prioridade dos TSB atribui maiores valores àqueles trechos próximos ao exutório do Rio Piquiri, sendo elas TSB1 e suas áreas vizinhas TSB2 e TSB3. Além da área próxima TSB6. Esses são os TSB identificados como os que requerem mais atenção do ponto de vista de gestão, segundo a metodologia WSA. As áreas de média priorização são as localizadas no lado Leste, TSB13, TSB12, TSB10 inclui-se o TSB7. Já a área de baixa priorização está localizada na região central da BHP e são os TSB4, TSB5, TSB8, TSB9 e TSB11.

As áreas prioritárias de TSB1, TSB2, TSB3 e TSB6 possuem áreas pequenas quando comparadas com a BHP ou com os outros TSBs.

Conforme a Tabela 4, para os parâmetros Dd, Kc, Rb e Rt; os resultados das áreas prioritárias foram classificados, como de menor priorização. Agora, para os parâmetros Ic, F, Re, Fb e Dh seus resultados foram ranqueados como os TSBs prioritários.

Os TSBs 1, 2, 3 e 6 foram classificados como de mais alta prioridade. São áreas pequenas em relação às demais analisadas e encontram-se próximas ao exutório da BHP. Essas áreas não condizem com as áreas consideradas como críticas pelo IAT, pelo fato deste trabalho estar limitado ao escopo da análise morfométrica como indicativa de priorização.

Como o método empregado considera apenas parâmetros morfométricos, ressalta-se a importância de que, para realizar a gestão de bacias hidrográficas é necessário integrar outros estudos como o uso do solo, ciclo hídrico, análise do solo, densidade populacional e entre muitos outros fatores ambientais e econômicos. Os resultados produzidos neste trabalho servem como ponto de partida para organização de uma base de dados integrada que caracterize os diversos aspectos ambientais e socioeconômicos importantes para gestão de bacias.

A vantagem desse tipo de trabalho é que não é necessário realizar coleta de dados, possui baixo custo, pode ser automatizado e não possui muita diferença quando trabalhado em áreas grandes.

6. CONCLUSÕES

A área de estudo foi a BHP e o objetivo foi criar uma hierarquia de priorização de TSBs para realizar uma análise morfométrica a partir de dados de MDE, pelo método WSA, para servir como auxiliar na tomada de decisões e ações de gestão.

Os resultados mostraram que, considerando o método aplicado, os TSBs 1, 2, 3 e 6 são os de mais alta prioridade na área de estudo. São regiões com áreas pequenas em relação às demais analisadas e encontram-se próximas ao exutório da BHP.

Os resultados gerados servem para orientar o planejamento referente ao uso de recursos hídricos e manejo de solo, além de fornecer informações que podem ser utilizadas para subsidiar processos de tomada de decisão por meio de critérios técnicos nos municípios e nos Comitês de Bacias Hidrográficas associados à Bacia Hidrográfica do Piquiri.

Esse estudo contribui para outros projetos na Bacia Hidrográfica do Piquiri como de gestão ambiental, recuperação e conservação dos recursos naturais e de mapeamento das áreas prioritárias. Para outras áreas do Brasil espera-se que sejam realizados estudos semelhantes para identificação dos TSBs em estado prioritário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHER, P. D.; ADINARAYANA, J.; GORANTIWAR S. D. **Quantification of morphometric characterization and prioritization for management planning in semi-arid tropics of India: A remote sensing and GIS approach.** Journal of Hydrology, v. 511, p. 850–860, 2014.

BAUER, Lidiane. **Estimação do coeficiente de correlação de Spearman ponderado.** 2007.

Brasil. **Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o conselho nacional de recursos hídricos e o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos, 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm>. Acesso em: 29 jul. 2021.

CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. **Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ.** Revista Árvore, v. 30, n. 2, p.241-248, 2006.

CARDOSO, F. A. C. et al. **Modelo digital de elevação hidrologicamente consistente para a bacia do rio Doce: elaboração e análise.** Revista Brasileira de Geografia Física, v. 9, n. 6, p. 1978-1989, 2016.

CERH/PR. Conselho Estadual De Recursos Hídricos do Paraná. Resolução nº 09, de 29 de Setembro de 2020. Estabelece diretrizes e critérios gerais para a definição de áreas críticas quanto ao uso de águas superficiais e subterrâneas de domínio do Estado do Paraná. Disponível em: <<https://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/listarAtosAno.do?action=exibirImpressao&codAto=239999>>. Acessado em: 17 dez. 2021.

CREPANI, E. e MEDEIROS, J. S. D. **Imagens fotográficas derivadas de MNT do projeto SRTM para fotointerpretação na geologia, geomorfologia e pedologia.** São José dos Campos: INPE, 2004.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** Ed. Edgard Blucher Ltda e EDUSP, 1974.

DOYLE, F.J. **Digital terrain models: an overview.** Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v.44, n.12, p.1481-1485, 1978.

Ehlschlaeger C. Using the AT Search Algorithm to Develop Hydrologic Models from Digital Elevation Data, Proceedings of International Geographic Information Systems (IGIS) Symposium '89, pp 275-281. Baltimore, MD, 18-19 March 1989. Disponível em: <<http://chuck.ehlschlaeger.info/older/IGIS/paper.html>>. Acessado em: 26 nov. 2021.

EMBRAPA. Embrapa Monitoramento por Satélite. 2005. Disponível em: <<https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevobr/index.htm>>. Acessado em: 15 ago. 2021.

FLORENZANO, Tereza Galloti. (Org.). **Geomorfologia: Conceitos e Tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de textos, 2008.

FRANÇA, G. V.; DEMATTÊ, J. A. M. **Parâmetros da rede de drenagem de solos da região de Iracemápolis (SP)**. Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, v. 47, p. 541-555, 1990.

GRASS, Development Team. Geographic Resources Analysis Support System (GRASS). GRASS GIS 7.8.6dev Reference Manual, 2021. Disponível em: <<https://grass.osgeo.org/grass78/manuals/index.html>>. Acessado em: 13 ago. 2021.

HIRUMA, S. T.; PONÇANO, W. L. **Densidade de drenagem e sua relação com fatores geomorfopedológicos na área do Alto Rio Pardo, SP e MG**. Revista do Instituto Geológico, v. 15, n. 1-2, p. 49-57, 1994.

Horton, R.E. **Drainage basin characteristics**. Trans. Am. Geophys. Union 13, 350–361, 1932.

Horton, R.E. **Erosional development of streams and their drainage basins; hydrological approach to quantitative morphology**. Geol. Soc. Am. Bull. 56, 275– 370, 1945.

IAT. Instituto Água e Terra. Camada de Bacias Hidrográficas. 2021. Disponível em: <<http://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Mapas-e-Dados-Espaciais>>. Acesso em: 01 ago. 2021.

IAT. Instituto Água e Terra. Portaria nº 10, de 11 de janeiro de 2021. Declara área crítica quanto ao uso de recursos hídricos em parte do Rio Jesuítas. Curitiba, PR, 2021a. Disponível em: < <http://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Areas-Criticas-quanto-ao-uso-de-Recursos-Hidricos>>. Acesso em: 10 ago. 2021.

IAT. Instituto Água e Terra. Portaria nº 146, de 06 de maio de 2021. Declara área crítica quanto ao uso de recursos hídricos em parte do Ribeirão Hong Kong. Curitiba, PR, 2021b. Disponível em: < <http://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Areas-Criticas-quanto-ao-uso-de-Recursos-Hidricos>>. Acesso em: 10 ago. 2021.

IAT. Instituto Água e Terra. Portaria nº 147, de 06 de maio de 2021. Declara área crítica quanto ao uso de recursos hídricos em parte do Córrego Pinhalzinho Segundo. Curitiba, PR, 2021c. Disponível em: < <http://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Areas-Criticas-quanto-ao-uso-de-Recursos-Hidricos>>. Acesso em: 10 ago. 2021.

IAT. Instituto Água e Terra. Portaria nº 229, de 13 de julho de 2021. Declara área crítica quanto ao uso de recursos hídricos em parte do Rio Pioneiro. Curitiba, PR, 2021d. Disponível em: < <http://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Areas-Criticas-quanto-ao-uso-de-Recursos-Hidricos>>. Acesso em: 10 ago. 2021.

IAT. INSTITUTO ÁGUA E TERRA. **Solos: Estado do Paraná**. 2008. 1 mapa. Escala 1:2.000.000. Disponível em: <http://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Dados-e-Informacoes-Geoespaciais-Tematicos>. Acesso em: 29 nov. 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Camada Municípios e Estados Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas/15759-brasil.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 01 ago. 2021.

IBGE. Resolução da Presidência nº 01, de 24 de fevereiro de 2015. Define os referenciais geodésicos adotados no Brasil. 2015. Disponível em: <http://geoftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/rpr_01_2015_sirgas2000.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2021.

INDE. Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais. Camada de Hidrologia. Disponível em: < <https://visualizador.inde.gov.br/>>. Acesso em: 01 ago. 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo demográfico de 2010. 2010.

IPARDES. Indicadores de desenvolvimento sustentável por bacias hidrográficas do Estado do Paraná. 2013.

IPARDES. Indicadores de desenvolvimento sustentável por bacias hidrográficas do Estado do Paraná. 2017. Disponível em: < <http://www.ipardes.pr.gov.br/Pagina/Indicadores-de-Desenvolvimento-Sustentavel-0> >. Acessado em: 13 ago. 2021.

JENSON, S. K.; DOMINGUE, J. O. **Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 54, pp. 1593-1600, 1988.

LANDAU, E. C.; GUIMARÃES, D. P. **Análise comparativa entre os modelos digitais de elevação ASTER, SRTM e TOPODATA**. In: embrapa milho e sorgo-artigo em anais de congresso (alice). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. 2011, Curitiba. Anais. São José dos Campos: INPE, 2011.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. Oficina de textos, 2010.

LOLLO, J. A. **O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico**: sistematização e aplicação na quadrícula de Campinas. 1995. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/277716440_O_uso_da_tecnica_de_Avaliacao_do_Terreno_no_processo_de_elaboracao_de_Mapeamento_Geotecnico_sistemizacao_e_aplicacao_para_a_Quadrícula_de_Campinas_SP>. Acessado em: 13 ago. 2021.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 14 nov. 2021.

Miller, V.C. **A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch mountain area**. Technical Report-3, Columbia. University Department of Geology, New York, 1953.

MOURA, C. A. D. Avaliação de tendência a enchentes das bacias hidrográficas do município de Caraguatatuba (SP). Revista de Geografia (UFPE), v. 30, n. 2, 2013. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/229012/23414>>. Acesso em: 16 dez. 2021.

NASA. Jet Propulsion Laboratory: Photojournal. 19 jun. 2003. Disponível em: <<https://photojournal.jpl.nasa.gov/mission/SRTM?start=10>>. Acessado em: 13 ago. 2021.

Oliveira, P.T.S. de; Alves Sobrinho, T.; Steffen, J.L.; Rodrigues, D.B. **Caracterização morfológica de bacias hidrográficas através de dados SRTM**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2010.

OLIVEIRA, U. C.; OLIVEIRA, P. S. **Mapas de kernel como subsídio à gestão ambiental: análise dos focos de calor na bacia hidrográfica do Rio Acaraú, Ceará, nos Anos 2010 a 2015**. v. 7, n. 1, p. 87-99, 2017.

PLERH. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Paraná. 2010. Disponível em: <<http://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Plano-Estadual-de-Recursos-Hidricos-do-Parana-PLERHPR>>. Acessado em: 13 ago. 2021.

QUEIROZ, P. H. B.; SALES, M. C. L.; SILVA, J. M. O. **Indicadores morfológicos como subsidio ao planejamento ambiental em um setor do médio curso da bacia hidrográfica do Rio Pacoti - CE**. Revista Equador, v. 3, n. 1, p. 3-24, 2014.

RENNÓ, Camilo Daleles. **Construção de um sistema de análise e simulação hidrológica: aplicação a bacias hidrográficas**. Tese de Doutorado. Tese de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, 148p, 2004.

SANTOS, D. A. R.; MORAIS, F. **Análise morfológica da bacia hidrográfica do rio Lago Verde como subsídio à compartimentação do relevo da região de Lagoa da Confusão – TO**. Revista Geonorte, v. 3, n.4, p. 617-629, 2012.

SCHUMM S. A. **Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy**. Geological Society of America Bulletin, v. 67, p. 597-646, 1956. Disponível em: <<https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/gsabulletin/article/67/5/597/4811/EVOLUTION-OF-DRAINAGE-SYSTEMS-AND-SLOPES-IN>> Acessado em: 04 ago. 2021.

SEMA. Secretaria do Meio Ambiente. Resolução SEMA nº 024, de 06 junho de 2006. Institui as Diretrizes para Gestão de Bacias Hidrográficas. 2006. Disponível em: <https://celepar7.pr.gov.br/sia/atosnormativos/form_cons_ato1.asp?Codigo=1355>. Acesso em: 29 jul. 2021.

SILVA, A. M. da; MELLO, C.R, de; Apostila de Hidrologia. UFLA-MG, 2008.

SILVA, L. P. **Hidrologia: Engenharia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595155510/>>. Acesso em: 30 jul. 2021.

SOARES, Leonardo Silva et al. **Análise morfométrica e priorização de bacias hidrográficas como instrumento de planejamento ambiental integrado**. Revista do Departamento de Geografia, v. 31, p. 82-100, 2016.

SOBRINHO, A. T. et al. **Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM**. Engenharia Agrícola, v. 30, p. 46-57, 2010. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/eagri/a/BCFw7SYRfd8scZBTt7pKmsG/?lang=pt#>>. Acessado em: 27 nov. 2021.

SOUSA, Á. **Coefficiente de correlação de Pearson e coeficiente de correlação de Spearman: O que medem e em que situações devem ser utilizados?**. Correio dos Açores: Matemática, p. 19, 21 de Março de 2019. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10400.3/5365>>. Acessado em: 15 ago. 2021.

SOUZA, C. R. de G. **Suscetibilidade morfométrica de bacias de drenagem ao desenvolvimento de inundações em áreas costeiras**. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 6, n. 1, 2005.

SPIEGEL, M. R. **Estatística**. 3. ed. Makron Books, 1994.

TEODORO, V. L. I. *et al.* **Conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local**. Revista Uniara, n. 20, p. 137-156, 2007.

TONIOLO, B. P. et al. **Estudo comparativo de rede de drenagem na SABESP Oeste com auxílio de provedores SIG**. Geografia em Atos (Online), v. 5, p. 1-20, 2021.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH/Editora UFRGS, 2001.

TUNDISI, J. G.. **Água no século XXI: Enfrentando a Escassez**. 2 ed. São Carlos: RiMa, 2005. 248p.

Valeriano, M. M. **Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA**. 2005. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto XII, Goiânia. Anais INPE, 2005. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/10.29.11.41/doc/3595.pdf>>. Acesso em: 29 jul. 2021.

VALERIANO, Márcio M. **Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. São José dos Campos. SP: INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-15318-RPE/818). 72p., 2008.

VILAÇA, Marina Freitas et al. **Bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão**: O estudo de caso do ribeirão conquista no município de Itaguara/MG. Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, v. 13, 2009.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil. p. 245. 1975.

WOLKMER, M. de F. S.; PIMMEL, N. F. **Política Nacional de Recursos Hídricos: governança da água e cidadania ambiental**. Florianópolis. p. 165-198, 2013.

Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/seq/a/h9VQzwbk3BWwDtCHNQBN76P/?lang=pt#>>.

Acessado em: 13 nov. 2021.