

Received:
September 1, 2024

Accepted:
October 31, 2024

Published:
October 31, 2024

Morphometric characterization of the Three Hearts fluviometric station located in the Municipality of Três Corações in Minas Gerais, from SRTM data processed in QGIS

Aline Aparecida Andrade Costa¹ , Alexandre Sylvio Vieira da Costa¹ 

¹ Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil.

Email address

aline.andrade@ufvjm.edu.br – Corresponding author.

alexandre.costa@ufvjm.edu.br

Abstract

Population growth, industrialization, and the expansion of agriculture in the 20th century worsened the scarcity and degradation of water resources, and for this reason, water management became part of political and socioeconomic debates. The present work aimed to characterize the Three Hearts fluviometric station, located in the municipality of Três Corações, and demarcate the drainage area of the Rio Grande sub-basin, which is part of the greater Paraná River basin. Through remote sensing tools, it was possible to extract information such as elevation model, drainage networks, transversal profiles, basin slope, use of Thiessen Polygons, and flow calculation in geotechnology software (QGIS version 2.18), which became important for these types of analyses is evident. This type of study is fundamental because this is the territorial unit for the purposes of planning and managing water resources, which made it possible to characterize the Three Hearts fluviometric station, located in the Municipality of Três Corações.

Keywords: Climatology, Water Resources, Territory, Geotechnology.

1. Introdução

Os recursos hídricos são utilizados mundialmente em diversas finalidades com as intervenções antrópicas ao meio tornando-se cada vez mais frequentes (Oliveira, Campos e Castro, 2014; Droppers et al., 2020; Marques et al., 2023), o que é preocupante para as gerações presentes e futuras (Buzatto e Kuhnen, 2019; Vörösmart et al., 2000; Nijssen et al., 2001).

O crescimento populacional, a industrialização e a expansão da agricultura no Século XX agravou a escassez e a degradação dos recursos hídricos, e por esta razão, a gestão das águas passou a fazer parte dos debates políticos e socioeconômicos (Mazoyer e Roudart, 2010; Romanelli e Abiko, 2011; Castro, 2012; Saboia e Sampaio, 2016).

Conforme previsto pela Política Nacional de Recursos Hídricos, a gestão dos recursos hídricos possui como unidade básica de gestão, a bacia

hidrográfica. Tal divisão se faz necessária devido a garantia oferecida de um planejamento integrado e coerente ao longo de todo o corpo d'água. Dessa forma, considerando que o agravamento das disputas pelo uso da água pode aflorar em conflitos nesses territórios, o estabelecimento da bacia hidrográfica como unidade territorial física de gestão dos recursos hídricos permite equacionar problemas comuns além de contribuir positivamente para a tomada de decisões (Amorim, Ribeiro e Braga, 2016; Marques et al; 2021).

Os estudos em bacias hidrográficas são essenciais para o entendimento da dinâmica da água e suas consequências ambientais (Garau, Torralba e Pueyo-Ros (2021); Zy Harifidy et al., 2022), pois proporcionam uma visão completa do ambiente, solo, água e vegetação e os efeitos do uso e manejo do solo na sustentabilidade do sistema e do ciclo hidrológico (Avazani, 2005).

O planejamento das atividades antrópicas em uma bacia hidrográfica é de fundamental

importância para o manejo adequado dos recursos nela contidos, mantendo, assim, sua integridade e equilíbrio ambiental (Gardiman Junior et al., 2012).

O SNIRH é um dos instrumentos de gestão previsto na Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, conhecida como Lei das Águas. Trata-se de um amplo sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos, bem como fatores intervenientes para sua gestão (ANA, 2021).

A tecnologia SIG tem sido usada por vários setores que tratam da questão ambiental como importante ferramenta para o planejamento ambiental, pois a avaliação integrada de um grande número de variáveis se torna possível e simplificada com o uso deste sistema permitindo a rápida geração de informações intermediárias e finais, além da inclusão de variáveis anteriormente não pensadas, visto que possibilita novas interações a qualquer momento (Donha et al; 2006).

Nesse intuito, se faz necessário o uso de técnicas e ferramentas, como o SIG (Sistema de Informações Geográficas), que é definido segundo Aronoff (1989), como um conjunto de procedimentos, manual ou automatizado, utilizados no sentido de armazenamento e manipulação de informações georreferenciadas consistindo em um conjunto de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre o mundo real.

Dentre as bacias existentes no Brasil, há a bacia do Rio Paraná, que abrange seis Estados brasileiros e o Distrito Federal. Sua área até a confluência com o Rio Iguazu, de 820.000 km² inclui a região mais industrializada e urbanizada do país e concentra um terço da população brasileira em centros urbanos como São Paulo, a maior cidade da América Latina (Itaipú Binacional, 2017).

Uma bacia hidrográfica é constituída por um conjunto de superfícies e uma rede de drenagem constituída por cursos de água que convergem até atingirem um único leito no ponto de partida. Na Figura (1) podemos visualizar a delimitação de uma bacia hidrográfica.

O presente trabalho tem por objetivo caracterizar a Estação Fluviométrica Três Corações, situada no município de Três Corações em Minas Gerais e demarcar a área de drenagem da sub-bacia Rio Grande, que faz parte da grande bacia do Rio Paraná, suas características (forma, rede de

drenagem e relevo), a partir de dados SRTM processados no programa livre QGIS.

2. Metodologia

Foi utilizado o software QGIS (versão 2.18), para a produção dos mapas e a obtenção dos dados. Os dados foram obtidos através de pesquisas feitas nos sites do Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM, Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos – SNIRH, sistema *HidroWeb* da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA, Embrapa Relevo, Instituto Prístino e no Atlas Digital Águas de Minas da UFV.

A estação caracterizada foi a estação fluviométrica UHE Luiz Carlos Barreto De Carvalho Rio Verde, localizada no município de Três Corações, Minas Gerais.

A demarcação da área de drenagem da sub-bacia Rio Grande, na bacia do Rio Paraná, utilizou ferramentas específicas do software QGIS 2.18.

As análises foram de caráter qualitativo e quantitativo com auxílio de bibliografias diversificadas (Villela e Mattos, 1975; Cunha e Bacani, 2016; Pinto, Pacheco e Almeida, 2019; Gomes, 2020; Silva e Silva, 2022).

2.1. Localização

Os dados apresentados na Tabela (1) refere-se à caracterização da Estação Fluviométrica de Três Corações, localizada no município de Três Corações, Minas Gerais. São dados referentes a uma seção do Rio Verde, obtidos através das séries históricas do *Hidroweb* (Tabela 1), essa estação disponibiliza dados de medições de descarga líquida, nível de água e vazão.

Tabela 1 – Dados de identificação da estação fluviométrica.

Estação	TRÊS CORAÇÕES
Código	61510000
Bacia	6- RIO PARANÁ
Sub-bacia	61- RIO GRANDE
Rio	RIO VERDE
Estado	MINAS GERAIS
Município	TRÊS CORAÇÕES
Responsável	ANA
Operadora	IGAM-MG
Latitude	S 21° 42' 11.16"
Longitude	W 45° 14' 51.00"
ALTITUDE (m)	832
Área de drenagem(km²)	4180

Através das coordenadas geográficas disponibilizadas no *Hidroweb*, foi possível criar o ponto exutório (Estação Três Corações) no software *Google Earth Pro* em extensão *KML*, utilizada para delimitar a bacia com o uso das imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*).

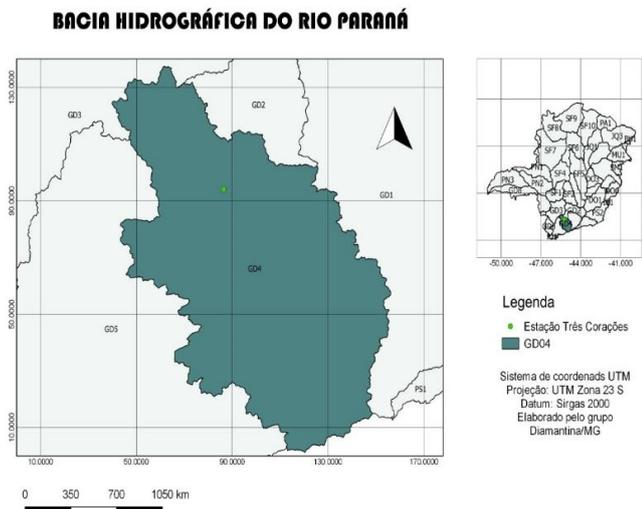


Figura 1 – Delimitação da área da bacia hidrográfica do Rio Paraná.

2.2. Composição das redes de drenagem a partir de um modelo digital de elevação

A partir de dados SRTM obtidos através do site Embrapa Relevos, foram definidas as redes de drenagem existentes na sub-bacia de estudo (Rio Grande). Unificou as quatro cartas SRTM (sf-23-v-d, sf-23-x-c, sf-23-y-b e sf-23-z-a), através da função mosaico para posteriormente serem realizados os processamentos.

A base topográfica utilizada foi o MDE (Modelo Digital de Elevação) definindo as características físicas da área, retratando no ambiente computacional as formas do terreno representada por uma matriz de pixels.

Através da ferramenta *r.stream.extract* foram criadas as camadas de rede de drenagem, com os valores de acumulação mínima de vazão para fluxos de 500 e 2000.

2.3. Características da rede de drenagem

- **Ordem dos cursos d'água:** É o grau de ramificações e/ou bifurcações presentes em uma bacia hidrográfica (Andrade et al., 2008). A junção de dois canais de primeira ordem forma um canal de segunda ordem; quando dois rios de segunda ordem se unem, forma-se um

rio de terceira ordem e, assim por diante (Nascimento et al., 2013).

- **Densidade de Drenagem (Dd):** Indica a eficiência real da drenagem atuante nas bacias hidrográficas (Carvalho et al. 2009). A densidade pode ser obtida de acordo com a Equação (1).

$$Dd = \frac{Cr}{A} \quad (1)$$

Onde:

Cr = Comprimento da rede de drenagem (km);

A = Área da bacia (km²)

A classificação dos valores numéricos de densidades de drenagem é realizada em 4 classes (menor que 0.5 km/km² - baixa; de 0.5 a 2.00 - média; de 2.01 a 3.5 - alta; maior que 3.5 - muito alta).

- **Coefficiente de Manutenção (Cm):** Representa a área necessária que a bacia deve ter para manter perene cada metro de canal de drenagem (Santos et al., 2012). O Coeficiente de manutenção (Cm) é calculado de acordo com a Equação (2).

$$Cm = \frac{1}{Dd} \quad (2)$$

Onde:

Dd = Densidade de drenagem

- **Extensão do Percurso Superficial (Eps):** Considerada a distância média que um fluxo hídrico percorre até chegar ao leito do rio (Nunes et al., 2006). O resultado obtido também serve para caracterizar a textura topográfica sendo calculada conforme a Equação (3) (Christofolletti, 1969).

$$Eps = \frac{1}{2Dd} \quad (3)$$

Onde:

Dd = Densidade de drenagem

Para Pinto, Júnior e Rossete (2005) o valor obtido pelo cálculo da extensão do percurso superficial é análogo, quanto à interpretação, ao coeficiente da manutenção. O que diferencia é o fato

de que no índice de coeficiente de manutenção o resultado é expresso em área mínima necessária para a existência de um canal, enquanto que o índice da extensão do percurso superficial indica o comprimento do caminho percorrido pelas águas pluviais antes de se estabilizarem ao longo de um canal.

2.4. Delimitação de bacias com imagens SRTM

Através da ferramenta *r.watershed* foram criadas as camadas de rede de drenagem, com os valores de acumulação mínima de vazão para fluxos do ano 2000, o segmento do fluxo (*stream segments*) e direção de drenagem (*drainage direction*).

Posteriormente, através da ferramenta *r.water.outlet* ocorreu a delimitação da Bacia levando em consideração o ponto exutório e calculado sua área através da calculadora de campo da tabela de atributos no QGIS 2.18.

2.5. Características geométricas

- **Área:** Essencial para a obtenção dos outros parâmetros físicos (Villela e Mattos, 1975). A fim de verificar se uma bacia é classificada como grande ou pequena, considera-se a classificação feita por Wisler e Brater (1964) em que, bacias com área inferior a 26 km² são classificadas como pequenas, e acima desse valor são classificadas como grandes. O valor foi gerado no programa QGIS, expresso em quilômetro quadrado (km²).
- **Perímetro:** Comprimento da linha do divisor topográfico que delimita a área da bacia (Smith, 1950), ou seja, o comprimento do rio principal. Esse valor foi gerado no programa QGIS e expresso em quilometro (km).
- **Coefficiente de compacidade (Kc):** Um os parâmetros que refletem a forma da bacia. Segundo Villela e Mattos (1975), este coeficiente é um número adimensional, que indica a relação entre o perímetro da bacia e o perímetro de um círculo de área igual à da bacia, obtido pela Equação (4).

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (4)$$

Onde:

P = perímetro (km)

A = área (km²)

Quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente de compacidade (Cardoso et al. 2006). Quanto mais próximo de 1, mais circular é a bacia e maior a sua tendência a gerar enchentes rápidas e acentuadas.

Cardoso et al. (2006) descreve que tanto a forma da bacia quanto a forma do sistema de drenagem podem ser influenciadas por algumas características, principalmente a geologia. O Índice de forma desempenha um papel importante em seu comportamento hidrológico. A partir da comparação de bacias com características semelhantes, identifica-se que bacias com formato mais circular tendem a gerar maiores picos de inundação em relação às bacias alongadas (Villela e Mattos, 1975).

- **Índice de Circularidade (Ic):** É a relação entre a área da bacia e a área do círculo de mesmo perímetro. O valor máximo a ser obtido é igual a 1.0, onde quanto maior o valor, mais próxima da forma circular estará a bacia de drenagem. Para determinar o índice de circularidade utiliza-se a Equação (6).

$$Ic = \frac{12,57 * A}{P^2} \quad (5)$$

Onde

Ic = índice de circularidade

A = área de drenagem (km²)

P = perímetro (km)

As bacias circulares possuem drenos distintos com extensões semelhantes e, portanto, o caminho do escoamento é mais curto, gerando respostas mais rápidas e concentradas aos eventos de chuva. As bacias mais longas, em geral, têm um rio principal com vários afluentes menores onde as águas têm que percorrer um caminho mais longo até a saída. Desta forma, tende a apresentar inundações mais distribuídas com menor pico de vazão (Villela e Mattos, 1975).

2.6. Cálculo da declividade máxima, mínima e média da bacia

No manejo de bacias a declividade é um parâmetro de grande relevância, pelo fato de influenciar diretamente no escoamento e no tempo de concentração da água. Foram calculadas as declividades máxima, média e mínima da sub-bacia em estudo, a partir do Modelo Digital de Elevação (imagem SRTM), obtidos e classificados através da ferramenta *r.slope* em: menor que 17°, entre 17 e 25°, entre 25 e 30°, entre 30 e 45° e declividade maior que 45°. A altitude média também foi determinada.

Posteriormente foram reclassificados baseados na classificação de declividade da Embrapa (Figura 2), através da ferramenta *r.reclass*.

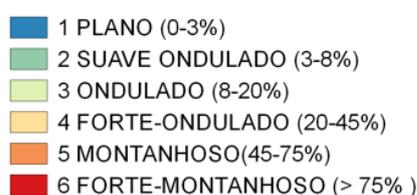


Figura 2 – Classes de Declividade (Embrapa, 1979).

2.7. Produção de perfis transversais – perfis topográficos (visualização 3D)

Para a realização das análises do relevo da bacia, foram elaborados dois perfis topográficos, um no sentido transversal E-W, e outro no sentido vertical N-S. O perfil topográfico faz uma representação gráfica de um dado corte vertical do terreno escolhido, seguindo uma direção (E-W ou N-S). Para produção da imagem foram usadas as ferramentas: *Profile Tool* e *Terrain profile*.

Para criação da imagem em 3D foi utilizado o complemento *Qgis2threejs*.

2.8. Polígonos de Thiessen aplicados à estimativa de pluviosidade na bacia

Polígonos de Thiessen são áreas de “domínio” de uma estação pluviométrica. Considera-se que no interior dessas áreas a altura pluviométrica é a mesma da respectiva estação (Marcello Benigno, 2017). O Método de Thiessen (1911) consiste em:

- unir as estações por trechos retilíneos;
- traçar linhas perpendiculares aos trechos retilíneos sobre a mediatriz da linha que liga as estações;
- alongar as linhas perpendiculares até encontrar outra mediatriz.

O polígono de Thiessen é formado pela interseção das linhas das mediatrizes, correspondendo à área de influência de cada estação (Equação 6).

$$Pm = \frac{\sum A_i P_i}{A} \quad (6)$$

Onde:

Pm = precipitação média na bacia (mm);

P_i = precipitação na estação (mm);

A_i = área de influência da estação;

A = área total da bacia.

No software QGIS 2.18, os Polígonos de Thiessen foram elaborados fazendo o uso da ferramenta “*Voronoi Polygons*” no menu *Vector > Geometry Tools*.

Posteriormente foram eliminados os polígonos sem dados, gerando assim os polígonos de *Thiessen* com todas as estações que possuíam dados pluviométricos, gerando assim uma tabela com o cálculo da precipitação média anual de cada estação pluviométrica que influencia diretamente na bacia em estudo.

Os dados pluviométricos de todas as estações foram obtidos através das séries históricas do *Hidroweb*.

2.9. Vazão de referência na estação fluviométrica

Vazão é a quantidade de fluido que escoar através de um conduto num determinado período de tempo.

As vazões de referência utilizadas são as vazões mínimas, de forma a caracterizar uma condição de alta garantia de água no manancial. A partir dessa condição, são realizados os cálculos de alocação da água, de modo que, quando essas vazões mínimas ocorram, os usuários ou os usos prioritários mantenham, de certa forma, suas retiradas de água.

As vazões de permanência no tempo mais utilizadas são as vazões Q90 ou Q95, onde os respectivos valores podem ser fixados em porcentagens para estipular seus tetos de uso.

Foram utilizadas séries históricas de dados fluviométricos da estação número 61510000 da Agência Nacional de Águas (ANA). A estação abrange dados de 01/09/1933 a 01/12/2014. Ao fazer os ajustes e o cálculo das vazões de referências, foi feito um ajustamento visual sob o

modelo, comparando a curva entre os pontos ajustados.

Para os cálculos das vazões foi necessário seguir os seguintes passos:

1º) Calcular o valor da amplitude total de variação das vazões máximas e mínimas da série histórica pela Equação (7).

$$Amplitude\ total = Q_{m\acute{a}x} - Q_{m\acute{i}n} \quad (7)$$

Onde:

$Q_{m\acute{a}x}$ = vazão máxima;

$Q_{m\acute{i}n}$ = vazão mínima.

2º) Calcular o número de classes (NC), pela Equação (8).

$$NC = 1 + 3,3 \log(N); \quad (8)$$

3º) A amplitude de cada classe foi encontrada pela seguinte Equação (9).

$$AC = \frac{Amplitude\ total}{NC} \quad (9)$$

Ao concluir os passos 1, 2 e 3, foi realizado a distribuição das classes para que fosse possível estipular quantas ocorrências havia em cada classe,

plotando os dados em uma tabela onde foram enumeradas as ocorrências entre os limites inferiores e superiores. Com o propósito de elaborar uma curva de permanência onde se relaciona a vazão com a frequência acumulada, pelos dados de ocorrência, foi calculada a frequência de ocorrência para cada classe e após concluir todos os passos determinou-se a Q7,10, Q90 e Q95.

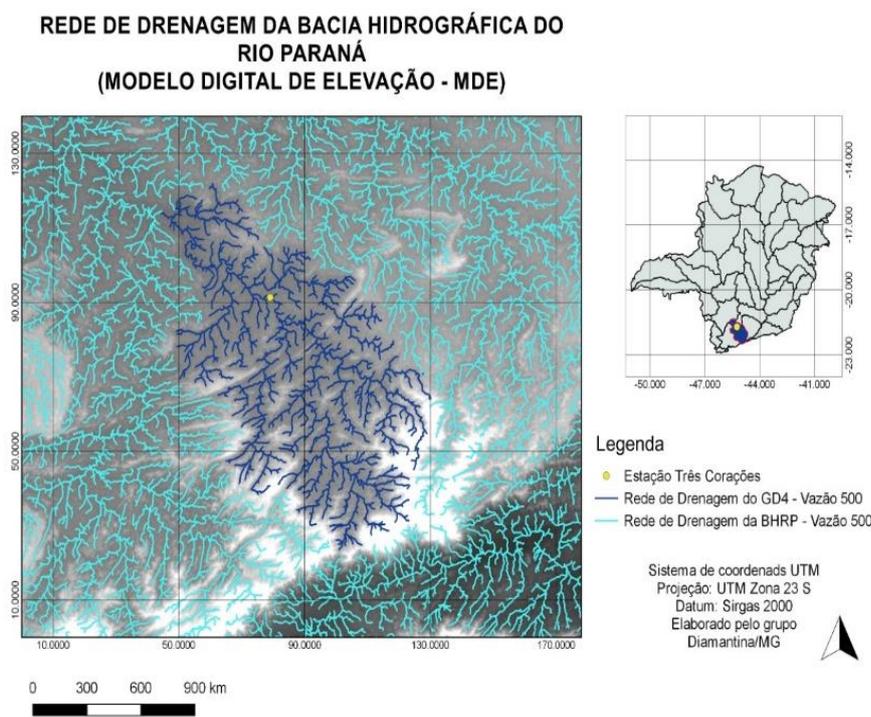
2.10. Obtenção e comparação dos dados de vazão de referência específica através do “Atlas Digital Águas de Minas”

Para obter e comparar os dados de vazão de referência específica para sua área de estudo no “Atlas Digital Águas de Minas (2012)” da UFV, foram realizados os cálculos da área, pelas vazões de referência Q90, Q95 e Q7,10 (incluindo as versões sazonais) da estação fluviométrica Três Corações e da vazão outorgável de acordo com os critérios oficiais vigentes na região.

3. Resultados e discussão

3.1. Redes de drenagem

A Figura (3) representa a rede de drenagem da bacia hidrográfica do Rio Paraná (modelo digital de elevação-MDE) com vazão de 500.



Ao analisar o mapa, percebe-se que quanto menor a vazão, mais detalhado fica a rede de drenagem. A Figura (3) apresenta áreas onde não há drenagens, mesmo sendo visível as redes, além de apresentar um padrão de drenagem complexo que não permite entender a direção do fluxo. As características da rede de drenagem podem ser visualizadas na Tabela (2).

Tabela 2 – Dados de identificação da estação fluviométrica.

CARACTERÍSTICAS DA REDE DE DRENAGEM	
Parâmetro	Valor
Área (A) (Km ²)	4459
Comprimento da rede de drenagem (Cr)(km)	1857,11
Densidade de Drenagem (Dd)	0,42
Coeficiente de Manutenção (Cm)	2,40
Extensão do Percurso Superficial (Eps)	0,21

Já na rede de drenagem com acumulação mínima de vazão para fluxos com o valor de 500, observa-se uma rede muito mais detalhada e completa sendo possível identificar padronização nas drenagens bem como a direção do fluxo.

A bacia é de 9º ordem (Tabela 3), indicando ser muito ramificada, apesar de ser considerada uma bacia pequena com uma área de 4.459 km² e perímetro de 424 km conforme Tabela (6). Foram contabilizados ordem de rio a partir da quinta ordem por subentender que ordens menores são irrelevantes em relação as principais. O comprimento total da rede de drenagem é 1.857,11 km.

A densidade de drenagem é de 0.42 km/km² indicando que a bacia possui uma baixa capacidade de drenagem, referenciando por Villela e Mattos (1975) que em suas análises concluíram que a densidade varia de pobre (0.5 km/km²) a bem drenada (>3.5 km/km²).

Oliveira et al. (2011), concluiu que densidades de drenagem refletem a vulnerabilidade a erosão. Desta forma podemos inferir que essa bacia é pouco suscetível à erosão dos solos.

A bacia possui coeficiente de manutenção de 2,40 km²/km, ou seja, são necessários 2,40 km² de área para manter perene cada quilômetro de canal da bacia.

A densidade de drenagem baixa indica boa capacidade de infiltração da água no solo e de cobertura vegetal. O Cm baixo indica que o canal não consegue manter ativo o canal fluvial.

A Extensão do Percurso Superficial que indica a distância média percorrida pelas enxurradas antes de encontrar um canal permanente foi de 0,210 km. Este valor permite inferir se a bacia hidrográfica apresenta ou não risco de inundação. No caso em questão o risco de inundação é alto.

Tabela 3 – Cinco maiores ordens da Bacia.

5 maiores ordens da Bacia	
Ordem	Área total (Km ²)
5	950,21
6	475,68
7	222,09
8	123,02
9	86,11
Total Geral	1857,11

3.2. Delimitação da bacia

A bacia estudada é classificada como pequena e elementar como mostra a Tabela (4). Uma bacia é classificada como grande ou pequena considerando-se a classificação feita por Wisler e Brater (1964) em que, bacias com área inferior a 26 km² são classificadas como pequenas.

Bacias Elementares são de pequeno porte, que constituem a menor unidade geomorfológica onde podem ocorrer todos os processos elementares do ciclo hidrológico. Em geral, têm até 5 km² de extensão (Paiva e Paiva, 2001).

Tabela 4 – Tamanho da bacia a partir do ponto e Exutório.

	value	label	calc_area	area	area_ha	KM2
1	445899		4458993257		445899	4459

3.3. Características geométricas

A bacia em estudo apresenta baixa densidade de drenagem, embora possua um relevo significativamente ondulado, conforme Figura (4).

O fator de forma é de 0,24 e o índice de circularidade de 0,31, indicando que o perímetro da bacia aproxima-se a um círculo, favorecendo os processos de inundação (cheias rápidas), pois as maiores possibilidades de chuvas intensas ocorrerem simultaneamente em toda sua extensão, concentrando grande volume de água no tributário principal (Cardoso et al., 2006).

O Coeficiente de compacidade (Kc) de 1,78 (Tabela 5) demonstrando que a área é pouco suscetível a grandes enchentes, pois é >1,5. Kc entre 1,25 a 1,5 apresenta bacia com tendência

mediana a grandes enchentes e $Kc < 1,25$ bacia com altas propensões a inundações.

Tabela 5 – Características morfométricas.

Características morfométricas	
Parâmetro	Valor
Área (A) (Km ²)	4459
Perímetro (P) (Km)	424,00
Comprimento da Bacia (L) (Km)	135,00
Coefficiente de compacidade (Kc)	1,78
Índice de Circularidade (Ic):	0,31

3.4. Mapa de declividade da bacia com imagens SRTM

A bacia hidrográfica é uma bacia natural para a água da chuva que faz o escoamento convergir para um único ponto de saída. Este ponto é

denominado exutório. A área de interesse foi delimitada a partir da estação de Três Corações (Figura 4).

A Figura (4) representa a declividade da bacia, onde foi possível observar que a área é declivosa em grande parte, variando entre forte-ondulado e forte montanhoso. A declividade pode interferir de forma qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos, onde ocorrendo um aumento na declividade, ocorrerá também um aumento no escoamento superficial, e como consequência, uma diminuição na taxa de infiltração de água no solo acarretando em processo erosivo.

Pode-se observar também, quais áreas estão aptas a cada tipo de uso. Com essa análise é possível definir as áreas que tem o seu uso restrito em decorrência de sua declividade acentuada. Pode-se inferir que as áreas em vermelho são áreas de preservação permanente (APP), pois além de ser topo de morro, apresenta significativa inclinação.

REDE DE DRENAGEM DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANÁ (MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO - MDE)

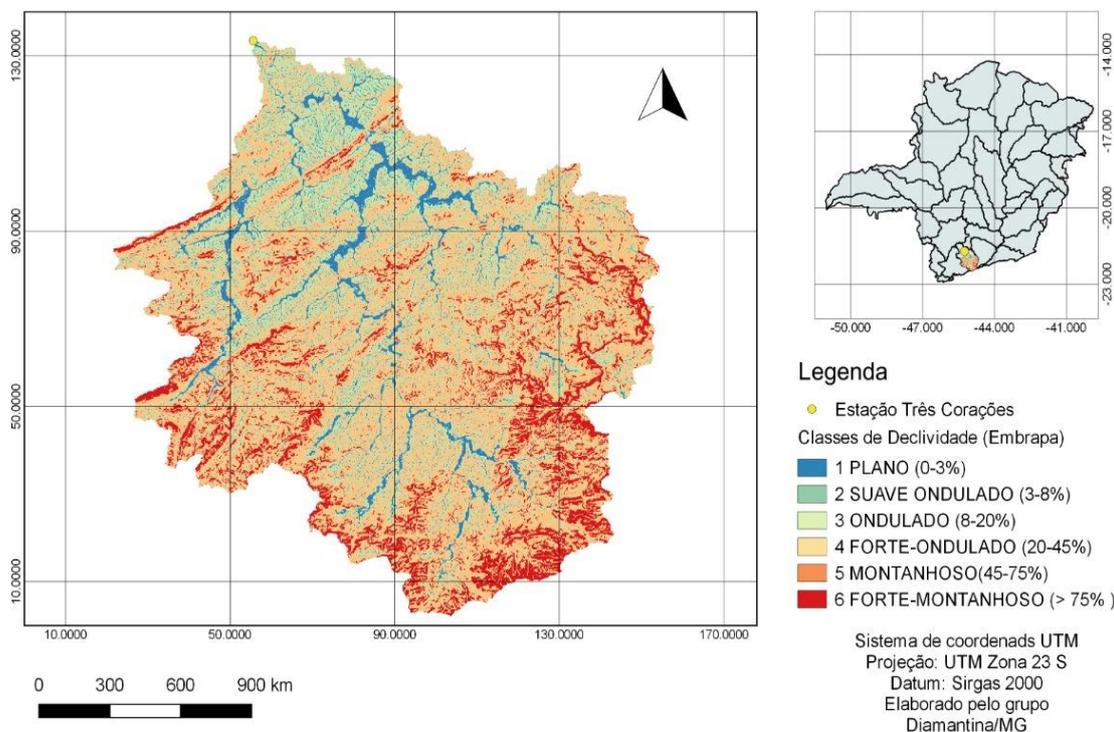


Figura 4 – Mapa da declividade da bacia hidrográfica.

3.5. Perfis topográficos da bacia

Os perfis topográficos possibilitam compreender as regiões mais planas e/ou mais

íngremes de um determinado terreno. Onde as regiões mais planas representarão os vales e as regiões mais íngremes os picos (Figuras 5 e 6).

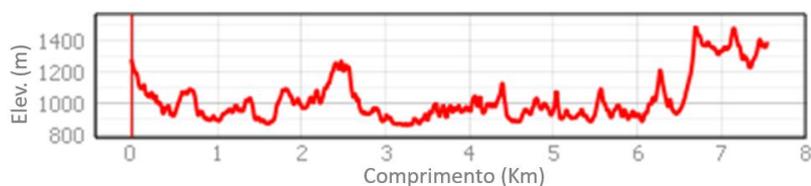


Figura 5 – Perfil topográfico longitudinal, sentido Norte- Sul.

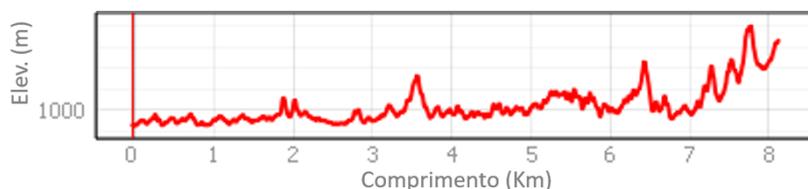


Figura 6 – Perfil topográfico transversal, sentido Leste-Oeste.

3.6. Polígonos de Thiessen

A Figura (7) representa as estações pluviométricas que avaliam a precipitação média anual da bacia de estudo. A média anual registrada foi de 1.520,26 mm (nos últimos 20 anos). A estação

pluviométrica Alagoa foi a que apresentou maior registro de precipitação, com uma média anual de 4.938,75 mm (Tabela 6). A Precipitação média anual da bacia calculada a partir dos Polígonos de Thiessen foi de 1.516,1 mm.

POLÍGONOS DE THIESSEN APLICADO À ESTIMATIVA DE PLUVIOSIDADE NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANÁ

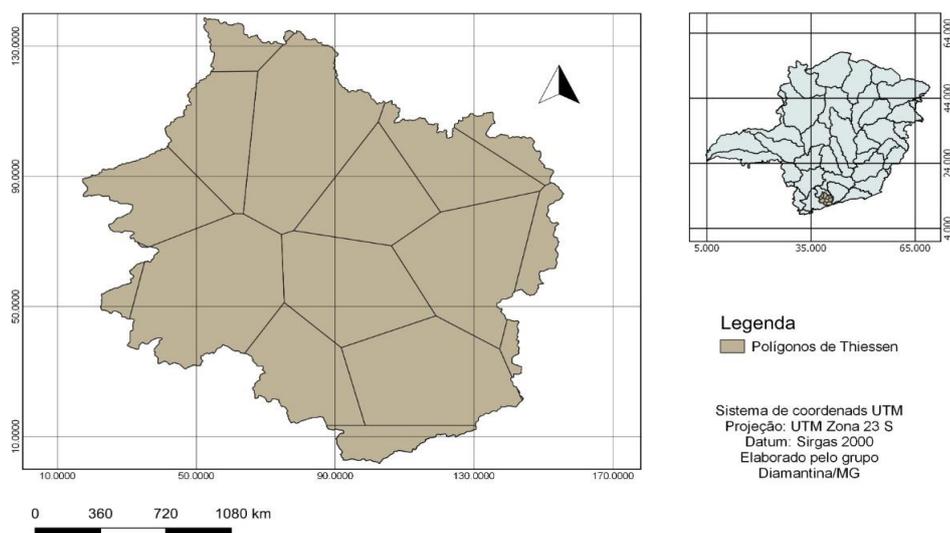


Figura 7 – Polígono de Thiessen referente a área de estudo.

Tabela 6 – Precipitação média anual das estações pluviométricas que influenciam na bacia.

Estação Pluviométrica	Precipitação Média Anual (mm)
Caxambu	1500,92
Baependi	1340,63
Cristina	1496,9
Cruzília	1366,47
Luminárias	657,45
Conceição do Rio Verde	1488,555
Três Corações	1209,52
Fazenda Juca Casimiro	1261,125
Chácara Santana	152,8
Usina Congonhal	1556,995
Alagoa	4938,75
Itanhandu	1374,165
Pouso Alto	1432,975
Virgínia	1510,695
Lambari	1479,145
Conceição das Pedras	1557,015
Total Geral	24324,11
Precipitação média dos últimos 20 anos	1520,26

3.7. Modelo da bacia em 3D

A Figura (8) apresenta a visualização em 3D da área da bacia em estudo, sendo possível observar as diferentes altitudes do local bem como seu relevo.

3.8. Curva de permanência

As vazões de referência Q90 igual a 38,84 m³/s e Q95 igual a 33,18 m³/s foram calculadas a partir do gráfico de curva de permanência (Figura 9).

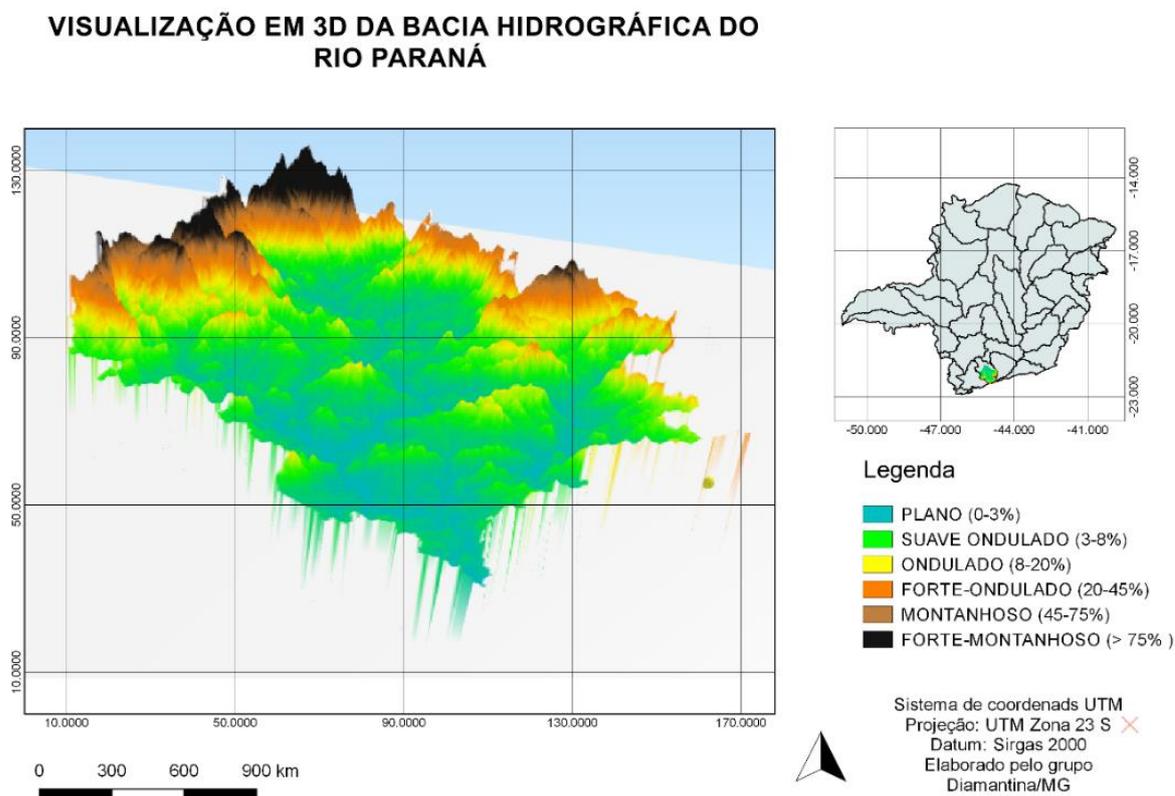


Figura 8 – Visualização em 3D da bacia hidrográfica do Rio Paraná.

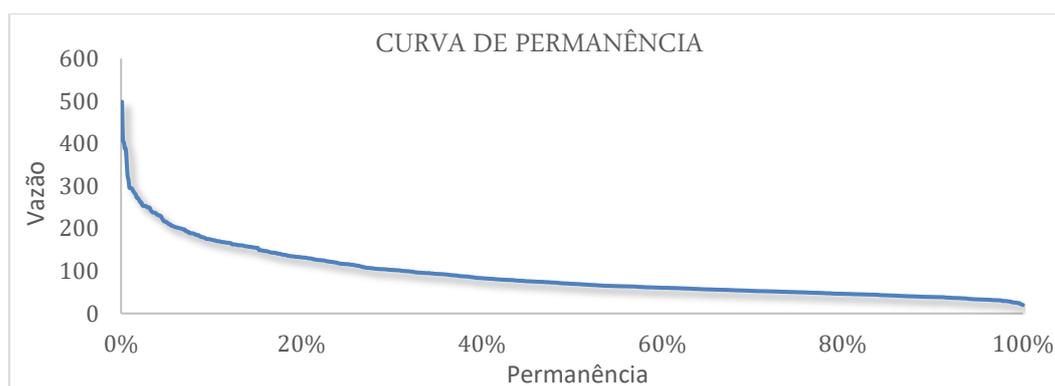


Figura 9 – Curva de permanência da vazão da estação fluvimétrica.

3.9. Comparação dos resultados obtidos com o plano diretor da UPGRH

A vazão mínima da estação alvo deste estudo, em relação a Q90 foi de 22,99 m³/s e Q95 de 34,67 m³/s de acordo com o Plano Diretor da UPGRH GD4. Os valores obtidos neste trabalho mostraram-se diferentes dos obtidos no plano diretor da UPGRH GD4.

3.10. Obtenção e comparação dos dados de vazão de referência específica através do “Atlas Digital Águas de Minas”

A Tabela (7) apresenta os valores da Q7,10, Q95 e Q 90, que foram estimados a partir de modelos ajustados para a região da bacia de estudo obtidos pelo site Atlas Digital das Águas de Minas

e a vazão outorgável onde é permitida realizar outorga de 30% da vazão máxima da bacia.

Os valores calculados diferem muito entre si na estação fluviométrica em estudo, podendo-se inferir que há algum tipo de inconsistência de dados.

Tabela 7 – Valores da Q7,10, Q90 e Q95 da bacia de estudo.

Vazão de Referência	Valores (m ³ /s)	Vazão Outorgável (m ³ /s)
Q7,10	20,01	20,31
Q95	30,00	30,30
Q90	34,67	34,97

6. Conclusão

Através de ferramentas de sensoriamento remoto foi possível extrair informações como modelo de elevação, redes de drenagem, perfis transversais, declividade da bacia, utilização dos Polígonos de Thiessen e cálculo de vazão em um software de geotecnologia (QGIS versão 2.18), tornando evidente a importância dos mesmos para esses tipos de análises. Esse tipo de estudo é fundamental por ser a unidade territorial para fins de planejamento e de gerenciamento dos recursos hídricos, o que possibilitou a caracterização da Estação Fluviométrica Três Corações, situada no município de Três Corações.

Referências

ANA – Agência Nacional de Águas, 2021. *Sobre o SNIRH*. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/portal/snirh-1/o-que-e>>. [Acessado 12 dezembro 2021]

Amorim, A.L., Ribeiro, M.M.R. e Braga, C.F.C., 2016. *Conflitos em bacias hidrográficas compartilhadas: o caso da bacia do rio Piranhas-Açu/PB-RN*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 21(1), pp. 36-45. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v21n1.p36-45>

Andrade, N.L.R., Xavier, F.V., Alves, E.C.R.F., Silveira, A. and Oliveira, C.U.R., 2008. *Caracterização morfológica e pluviométrica da bacia do Rio Manso – MT*. Geociências, 27(2), pp. 237-248.

Aronoff, S., 1989. *Geographic information systems: a management perspective*. Ottawa: DL Publications.

Atlas Digital das Águas de Minas, 2012. *Consulta Espacial Georreferenciada: Modelos ajustados por curso d'água - Bacia do rio Grande*. Disponível em <http://www.atlasdasaguas.ufv.br/grande/Modelo_Ajustado/Modelo_Ajustado.html> [Acessado 6 dezembro 2021]

Avazani, J.C., 2005. *Modelagem do escoamento superficial e erosão hídrica em uma microbacia hidrográfica na região dos tabuleiros costeiros*. Mestrado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas. Universidade Federal de Lavras, Lavras.

Benigno, M., 2013. *QGIS: cálculo da precipitação média pelo método de Thiessen*. Disponível em <<http://profmarcello.blogspot.com/2013/07/qgis-caculo-da-precipitacao-media-pelo.html>> [Acessado 6 fevereiro 2021]

Buzatto, L. e Kuhnen, C.F.C., 2019. *Interpretative tracks a practice for environmental Education*. Vivências, 16(30), pp. 291-231. <https://doi.org/10.31512/vivencias.v16i30.151>

Castro, C.N., 2012. *Gestão das águas: experiências internacional e brasileira*. Textos para discussão 1744. IPEA.

Cardoso, C.A., Dias, H.C.T., Soares, C.P.B. and Martins, S.V., 2006. *Caracterização morfológica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ*. Revista Árvore, 30(2), pp. 241-248. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622006000200011>.

Carvalho, W.M.C., Vieira, E.O., Rocha, J.M.J., Pereira, A.K.S. and Carmo, T.V.B., 2009. *Caracterização Fisiográfica da Bacia Hidrográfica do Córrego do Malheiro, no município de Sabará – MG*. Revista Irriga, 14(3), pp. 398-412. <https://doi.org/10.15809/irriga.2009v14n3p398-412>.

Christofolletti, A., 1969. *Análise morfológica de bacias hidrográficas*. Notícia Geomorfológica, 18(9), pp. 35-64.

- Cunha, E.R. e Bacani, V.M., 2016. *Morphometric Characterization of a Watershed through SRTM Data and Geoprocessing Technique*. Journal of Geographic Information System, 8(2), pp. 238-247. <http://dx.doi.org/10.4236/jgis.2016.82021>
- Donha, A.G., Souza, L.C.P. and Sugamoto, M.L., 2006. *Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG*. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, 10(1), pp.175-181.
- Droppers, B., Franssen, W.H.P., VAN Vliet, M.T.H., Nijssen, B., e Ludwig, F., 2020. *Simulating human impacts on global water resources using VIC-5*. Geoscientific Model Development, 13, pp.5029-5052. <https://doi.org/10.5194/gmd-13-5029-2020>
- Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1979. Relevo. In: Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Súmula da X reunião técnica de levantamento de solos. p.27. Rio de Janeiro. Available at: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/212100/1/SNLCS-Miscelania-1-1979.pdf>> [Accessed 10 February 2020].
- Garau, E., Torralba, M. e Pueyo-Ros, J., 2021. *What is a river basin? Assessing and understanding the sociocultural mental constructs of landscapes from different stakeholders across a river basin*. Landscape and Urban Planning, 214, p. 104192. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104192>
- Gardiman Júnior, B.S., Couto, D.R., Souza, F.B.C., Santos Júnior, G.N. dos, Santos, A.R., 2012. *Perda de solo por erosão hídrica em áreas de preservação permanente na microbacia hidrográfica Córrego do Horizonte, Alegre, Espírito Santo*. Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal, 9, pp. 21-34.
- Gomes, J.L.S., 2020. *Morphometric characterization of the Todos os Santos river basin in Minas Gerais – Brazil*. International Journal of Geoscience, Engineering and Technology, 1(1), pp. 1-6. <https://doi.org/10.70597/ijget.v1i1.361>
- Itaipú Binacional. Bacia do Rio Paraná, 2017. Disponível em <<https://www.itaipu.gov.br/energia/bacia-do-rio-parana>> [Accessado 8 dezembro 2021]
- Marques, H.F.M., Reis, B.C., Feitoza, V.S., Silva, J.G., Monte-Mor, R.C.A., 2021. *Conflitos na gestão de recursos hídricos no Estado de Minas Gerais: Estudo de caso da Bacia Hidrográfica do córrego dos Quatis, Itueta – Minas Gerais, Brasil*. Research, Society and Development, 10(1), p. e27910111967.
- Marques, R.F.P.V., Santos, C.S., Ritá, F.S., Barbosa, R. S., Oliveira, A.S. e Alves, G.S. (orgs.), 2023. *Alterações Antrópicas & Meio Ambiente*. Campina Grande: EPTEC.
- Mazoyer, M. e Roudart, L., 2010. *História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea*. São Paulo: Editora UNESP; Brasília: NEAD.
- Nascimento, F.I.C., Santos, W.L., Lira, E.M., Arcos, F.O., 2013. *Caracterização morfométrica como base para o manejo da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco – Acre*. Revista Brasileira de Geografia Física, 06(2), pp. 170-183.
- Nijssen, B., O'Donnell, G.M., Hamlet, A.F. e Lettenmaier, D.P., 2001. *Hydrologic Sensitivity of Global Rivers to Climate Change*. Climatic Change 50, pp.143-175. <https://doi.org/10.1023/A:1010616428763>
- Nunes, F.G., Ribeiro, N.C., Fiori, A.P., 2006. *Propriedades morfométricas e aspectos físicos da bacia hidrográfica do rio Atuba: Curitiba-Paraná*. In *VI Simpósio Nacional de Geomorfologia / Regional Conference on Geomorphology*, 6. Goiânia/GO.
- Oliveira, E.D., Oliveira, E.D., Crestani, A., 2011. *Caracterização fisiográfica da bacia de drenagem do córrego Jandaia, Jandaia do Sul/PR*. Acta Geográfica, Boa Vista, 5(10), pp. 169-183. <http://dx.doi.org/10.5654/acta.v5i10.427>
- Oliveira, R.C.N., Campos, R.P. e Castro, C.L., 2014. *Hidrologia política e a preservação de rios federais*. In: *XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*, 12, pp.1-10. Disponível em: <<https://eventos.abrh.org.br/xiisrh/anais/papers/PAP018521.pdf>> [Accessado 10 julho 2024].
- Pinto Junior, O.B., Rossete, A.N., 2005. *Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do ribeirão Cachoeira, MT-Brasil*. Geoambiente, Jataí, (4), pp. 01-16. <https://doi.org/10.5216/rev. geoambie.v0i4.25872>

- Paiva, J.B.D., Paiva, E.M.C.D., 2001. *Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas*. Porto Alegre: ABRH.
- Pinto, D.B.F., Pacheco, P.H.V.V. e Almeida, R.A., 2019. Caracterização Hidrológica da Bacia Hidrográfica do Rio Todos os Santos. *Voices dos Vales*, VII(16), pp.1-19. Disponível em: <<http://site.ufvjm.edu.br/revistamultidisciplinar/files/2019/10/Daniel.pdf>> [Acessado 10 julho 2024].
- Romanelli, C. e Abiko, A.K., 2011. *Processo de Metropolização no Brasil*. São Paulo: EPUSP. Texto técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, TT/PCC/28.
- Santos, A.M., Targa, M.S., Batista, G.T., Dias, N.W., 2012. *Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil*. *Revista Ambiente & Água*, Taubaté, 7(3), pp. 195-211. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.945>.
- Silva, M.H.M. e Silva, F.L., 2022. *Characterization of Geospatial, Morphometric, and Environmental Dynamics of the Mariana Microbasin in Alta Floresta-MT, Brazil*. *Engenharia Agrícola*, 42(1), p. e20200128. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v42n1e20200128/2022>
- Smith, K.G., 1950. *Standards for grading texture of erosional topography*. *American Journal Science*, New Haven, 248, pp. 655-68.
- Villela, S.M., Mattos, A., 1975. *Hidrologia aplicada*. São Paulo: McGRAWHill do Brasil.
- Vörösmarty, C. J., Green, P., Salisbury, J., and Lammers, R. B., 2000. *Global Water Resources Vulnerability from Climate Change and Population Growth*. *Science* 289(5477), pp. 284-288. <https://doi.org/10.1126/science.289.5477.284>
- Wisler, C.O., Brater, E.F., 1964. *Hidrologia*. Tradução e publicação de Missão Norte-Americana pela Cooperação Econômica e Técnica no Brasil. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico S.A.
- Zy Harifidy, R., Zy Misa Harivelo, R., Hiroshi, I., Jun, M., e Kazuyoshi, S., 2022. *A Systematic Review of Water Resources Assessment at a Large River Basin Scale: Case of the Major River Basins in Madagascar*. *Sustainability*, 14(19), p. 12237. <https://doi.org/10.3390/su141912237>