



**INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS**  
***CAMPUS PIRANHAS***  
**CURSO SUPERIOR EM ENGENHARIA AGRONÔMICA**

**JOSÉ ROBERTO DE ARAUJO**

**MORFOMETRIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JACARÉ, POÇO  
REDONDO, SE**

**PIRANHAS, AL**  
**2023**

JOSÉ ROBERTO DE ARAUJO

MORFOMETRIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JACARÉ, POÇO REDONDO,  
SE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso Superior em Engenharia Agrônômica,  
do Instituto Federal de Alagoas, *Campus* Pira-  
nhas, como requisito parcial para obtenção de  
grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Ênio Gomes Flôr Souza  
Coorientador: Prof. Dr. José Madson da Silva

PIRANHAS, AL

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Instituto Federal de Alagoas  
*Campus Piranhas*  
Biblioteca Tabela Cacilda Damasceno Freitas

---

A663m Araujo, José Roberto de.

Morfometria da bacia hidrográfica do Rio Jacaré, Poço Redondo, SE.. / José Roberto de Araujo.–  
2023.

Trabalho de Conclusão de curso ( graduação em Engenharia Agrônômica) -  
Instituto Federal de Alagoas, *Campus Piranhas*, Piranhas, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Ênio Gomes Flôr Souza

1.Delimitação. 2.Características morfométricas. 3. Modelos digitais de elevação.  
4. Alto sertão de Sergipe. I. Título.

---

CDD:630

Fabio Fernandes Silva  
Bibliotecário – CRB- 4/2302

JOSÉ ROBERTO DE ARAUJO

MORFOMETRIA DA BACIA HIDROGRAFICA DO RIO JACARÉ, POÇO REDONDO,  
SE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso Superior em Engenharia Agrônômica,  
do Instituto Federal de Alagoas, *Campus* Pira-  
nhas, como requisito parcial para obtenção de  
grau de Engenheiro Agrônomo.

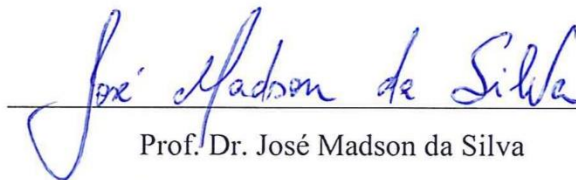
Aprovado em: 24/08/2023

**BANCA EXAMINADORA**



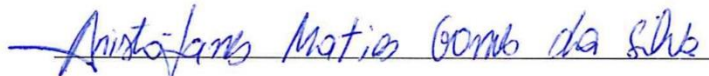
Prof. Dr. Ênio Gomes Flôr Souza (Orientador)

Instituto Federal de Alagoas – IFAL, *Campus* Piranhas



Prof. Dr. José Madson da Silva

Instituto Federal de Alagoas – IFAL, *Campus* Piranhas



Prof. Me. Aristófanes Matias Gomes da Silva

Instituto Federal de Alagoas – IFAL, *Campus* Piranhas

**Dedico.**

Aos meus saudosos pais, Vicente Cícero de  
Araujo e Maria Helena de Araujo, dos quais  
uma vez ouvi: “quero ver onde você vai chegar!”

## AGRADECIMENTOS

Ao “Criador” e “Grande Arquiteto do Universo”, pela vida e iluminar meus caminhos.

Aos meus pais, Vicente Cícero de Araujo (*in memorian*) e Maria Helena de Araujo (*in memorian*), que sempre se preocuparam com minha instrução desde a infância; à minha irmã, Lenira Maria de Araujo Lins, pela motivação para alcançar meus objetivos e pelo amor incondicional. Aos meus filhos, Giusepe Augusto Araujo, Sara Augusta Araujo e Vicente Porto de Araujo, pela paciência e ausência em diversos momentos de suas vidas.

À Juliana Vicente Porto de Araujo (esposa) e seus pais Erionaldo Vicente Porto e Maria Anita de Paula Porto, que me ajudaram em diversos momentos difíceis durante esse período de tempo.

Aos amigos e companheiros, Ewerton Lima de Oliveira, Lucas Akira Tanabe Quaresma e minha comadre Marize de Campos Lima; pela amizade, companheirismo e apoio em diversos momentos da nossa jornada, dos quais, ninguém ficou para trás!

Ao Instituto Federal de Alagoas (IFAL), *Campus* Piranhas, na pessoa do Diretor Antônio Iatanilton Damasceno pela estrutura material e imaterial.

Aos meus orientadores, Prof. Dr. Ênio Gomes Flôr Souza e Prof. Dr. José Madson da Silva, pelo incentivo, amizade, dedicação em transmitir seus conhecimentos e pela compreensão nos momentos difíceis.

Aos membros da banca, Prof. Dr. Ênio Gomes Flôr Souza, Prof. Dr. José Madson da Silva e Prof. Me. Aristófares Matias Gomes da Silva, pelo interesse, disponibilidade e considerações acerca da pesquisa.

Àqueles, que em sua paciência durante todo o curso de Engenharia Agrônômica, se doaram para que a turma pudesse produzir conhecimento, cada qual em suas especialidades, lançaram os fundamentos para nossa formação, ao Dr. Kleyton Danilo da Silva Costa; Dr. Fabiano Barbosa de Souza Prates; Dr. Michelangelo de Oliveira Silva; Me. Fábio José Marques; Dr. José Madson da Silva; Dr. Ênio Gomes Flôr Souza; Me. Ellen Abreu da Cruz; Me. Aristófares Matias Gomes da Silva; Dr. Almir Rogerio Evangelista de Souza; Dra. Roberta B. Teodoro Alves; Dra. Francilene de Lima Tartaglia; Me. Élcio Goncalves dos Santos; Dr. Randerson Cavalcante Silva; Dr. Samuel Silva; Dr. Braulio Crisanto Carvalho da Cruz; Dr. Ronny Francisco Marques de Souza; Me. Luiz Felipe Naziazeno Neto; Me. Evandro Barbosa Nunes; Me. Andrea Luciana de Aragão Ribeiro; Me. Victor Ribeiro Cedro; Dr. Cristian J. S. Costa; Dr. Danilo Olimpio Gomes; Me. Thyago Ruzemberg Gonzaga de Souza; Dr. Claudemir Martins Cosme; Dr. Gerardo Facundo de Souza Neto; Dr. Antônio Francelino de Oliveira Filho; Me. Alex Sandro

Chagas Mecenas; meus sinceros agradecimentos, não apenas pela transmissão de conhecimento, mas no que diz respeito ao crescimento profissional, pessoal e de cidadania.

À Empresa de Desenvolvimento Agropecuário de Sergipe (EMDAGRO), por ter contribuído com minha formação profissional, por meio do estágio supervisionado obrigatório, em especial, ao Dr. Jefferson Feitoza de Carvalho, por me aceitar como estagiário, e ao Eng. Francisco Luciano Macedo Firmino (eterno supervisor), D<sup>a</sup> Eulina Marques de Souza e Eng. Cleilson Alves da Silva e demais funcionários da “Emdagro Poço Redondo”.

Se enxerguei mais longe, é porque estava sobre os ombros de “gigantes”.

Sir Isaac Newton



## RESUMO

Há ausência de trabalhos voltados para a delimitação e caracterização morfométrica (forma, rede de drenagem e relevo) de Bacias Hidrográficas no Alto Sertão de Sergipe, onde a escassez de chuvas agrava o gerenciamento dos recursos hídricos na região. A interferência humana somada à falta de conhecimento sobre preservação e ocupação de áreas rurais e matas ciliares produz o assoreamento dos rios e afluentes, além da redução da infiltração de água no solo, produzindo enchentes e a lixiviação do solo em anos com maior incidência de chuvas. Neste sentido, esse trabalho tem o objetivo de fornecer informações referentes à caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Jacaré, em Poço Redondo, Sergipe, que auxiliará na gestão da água como recurso natural. Foram utilizadas imagens de Modelos Digitais de Elevação (MDE) *Copernicus*, com 30 m de resolução, baseadas nos dados de radar adquiridos durante a Missão *TanDEM-X*, sendo processadas nos programas livres Quantum Gis (QGIS) e nos *plugins*: Sistema de Apoio à Análise de Recursos Geográficos (GRASS) e Sistema para Análise Geocientífica Automatizada (SAGA GIS), os quais produziram MDEs. A bacia estudada possui 937,88 km<sup>2</sup>, classificada de sexta ordem e é relevante para o Alto Sertão de Sergipe; densidade de drenagem de 1,93 km km<sup>-2</sup>; fator de forma de 0,33; coeficiente de compacidade de 1,61 e o índice de circularidade de 0,38, indicando que a bacia possui formato alongado e baixa tendência a enchentes. Observou-se que as áreas de maior declividade da bacia encontram-se nos últimos 20 km próximos ao exutório, 66,6% da área da bacia apresenta elevação entre 200 a 300 m, com relevo plano e suave ondulado, assim como solo raso em grandes extensões de terras que prejudicam a drenagem e promovem o surgimento de cheias e enchentes na região em anos que ocorrem chuvas intensas.

**Palavras-chave:** Delimitação. Características morfométricas. Modelos digitais de elevação. Alto Sertão de Sergipe.

## ABSTRACT

There is a lack of work focused on the delimitation and morphometric characterization (shape, drainage network and relief) of hydrographic basins in the Alto Sertão de Sergipe, where the scarcity of rainfall aggravates the management of water resources in the region. Human interference, added to the lack of knowledge about the preservation and occupation of rural areas and riparian forests, leads to the silting up of rivers and tributaries, in addition to reducing water infiltration into the soil, producing floods and soil leaching in years with a higher incidence of rainfall. In this sense, this work aims to provide information regarding the morphometric characterization of the hydrographic basin of the Rio Jacaré, in Poço Redondo, Sergipe, which will help in the management of water as a natural resource. *Copernicus* Digital Elevation Model (DEM) images were used, with 30 m resolution, based on radar data acquired during the *TanDEM-X* Mission, being processed in the free Quantum Gis (QGIS) programs and in the plugins: Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) and System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA GIS), which produced DEMs. The studied basin has 937.88 km<sup>2</sup>, classified as a sixth-order and is relevant to the Alto Sertão de Sergipe; drainage density of 1.93 km km<sup>-2</sup>; form factor of 0.33; compactness coefficient of 1.61 and circularity index of 0.38, indicating that the basin has an elongated shape and low tendency to flooding. It was observed that the areas with the greatest slope of the basin are found in the last 20 km close to the mouth of the basin, 66.6% of the basin area presents an elevation between 200 and 300 m, with flat and gently undulating relief, as well as shallow soil in large extensions of land that impair drainage and promote floods in the region in years with heavy rainfall.

**Keywords:** Delimitation. Morphometric characteristics. Digital elevation models. Alto Sertão de Sergipe.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Órbita dos satélites <i>TerraSAR-X</i> e <i>TanDEM-X</i> .....	19
Figura 2 – Mapa de localização da bacia hidrográfica do Rio Jacaré, SE.....	21
Figura 3 – Página da <i>Open Topography</i> e Imagem COP30.....	22
Figura 4 – Área de trabalho do QGIS (Hannover).....	23
Figura 5 – Caixas de diálogo “ <i>r.fill.dir</i> ” e “ <i>r.watershed</i> ” .....	24
Figura 6 – Delimitação da Bacia do Rio Jacaré.....	25
Figura 7 – Representação da rede de drenagem e a hierarquia dos cursos d’água da bacia hidrográfica do Rio Jacaré,SE.....	31
Figura 8 – Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do Rio Jacaré, SE.....	32
Figura 9 – Representação gráfica altimétrica entre a nascente do Canal principal e o exutório da bacia hidrográfica do Rio Jacaré, SE.....	33
Figura 10 – Representação do modelo digital de declividade da bacia hidrográfica do Rio Jacaré, SE.....	34
Figura 11 – Assoreamento do Rio Jacaré e danos em ponte por enchente.....	35

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Equações para cálculo dos índices geométricos, hidrográficos e de relevo, utilizados para a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Jacaré, SE.....	26
Tabela 2 – Características e índices geométricos da bacia hidrográfica do Rio Jacaré, SE.....	29
Tabela 3 – Características e índices hidrográficos da bacia hidrográfica do Rio Jacaré, SE....	30
Tabela 4 – Classificação da densidade hidrográfica (Dh) de uma bacia.....	31
Tabela 5 – Área em função da altitude na bacia hidrográfica do Rio Jacaré, SE.....	33

## LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

A	ÁREA DA BACIA HIDROGRÁFICA
ASI	AGÊNCIA ESPACIAL ITALIANA
APA	ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL
ASTER	RADIÔMETRO SPACEBONE AVANÇADO DE REFLEXÃO E EMISSÃO TÉRMICA
Bsh	CLIMA MUITO QUENTE
2-D	DUAS DIMENSÕES
DATUM	SISTEMA DE REFERÊNCIA GEOGRÁFICA
Dcp	DECLIVIDADE DO CANAL PRINCIPAL
Dd	DENSIDADE DE DRENAGEM
Dh	DENSIDADE HIDROGRÁFICA
$\Delta H$	AMPLITUDE ALTIMÉTRICA
DLR	CENTRO AEROESPACIAL ALEMÃO
EMBRAPA	EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA
GDEM	MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO GLOBAL
GRASS	SISTEMA DE APOIO À ANÁLISE DE RECURSOS GEOGRÁFICOS
°C	GRAU CÉLSIUS
GEOTIFF	FORMATO DE ARQUIVO DE IMAGEM GEOGRÁFICA MARCADA
IBGE	INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA
Ic	ÍNDICE DE CIRCULARIDADE
Ir	ÍNDICE DE RUGOSIDADE
Is	ÍNDICE DE SINUOSIDADE DO CANAL PRINCIPAL
Kc	COEFICIENTE DE COMPACIDADE
Kf	FATOR DE FORMA
km	KILÔMETRO
Km <sup>-1</sup>	KILÔMETRO ELEVADO À MENOS UM
km <sup>2</sup>	KILÔMETRO QUADRADO
km <sup>-2</sup>	KILÔMETRO ELEVADO À MENOS DOIS
km.km <sup>-2</sup>	KILÔMETRO VEZES KILÔMETRO ELEVADO À MENOS DOIS
L	COMPRIMENTO DO EIXO DA BACIA HIDROGRÁFICA
Lcp	COMPRIMENTO DO CANAL PRINCIPAL
LIDAR	DETECÇÃO DE LUZ E ALCANCE

Lm	EXTENSÃO MÉDIA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL
Lrp	COMPRIMENTO DO TALVEGUE DO CANAL PRINCIPAL
Ls	COMPRIMENTO DA DECLIVIDADE DO TERRENO
m	METRO
mm	MILÍMETRO
MDE/ DEM	MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO
MDT	MODELO DIGITAL DE TERRENO
MFD	DIREÇÃO DE FLUXO MULTIPLO
MNT	MODELO DIGITAL DE TERRENO
NASA	AGÊNCIA ESPACIAL NORTEAMRICANA
NGA	AGÊNCIA AMERICANA DE INTELIGENCIA AEROESPACIAL
Ns1	NÚMERO DE SEGMENTOS DE RIOS DE 1ª ORDEM
Nt	NÚMERO TOTAL DE SEGMENTOS DO RIO
P	PERÍMETRO DA BACIA HIDROGRÁFICA
%	PORCENTO
QGIS	QUANTUM SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA
Rd	COMPRIMENTO DA REDE DE DRENAGEM
Re	RAZÃO DE ELONGAÇÃO
Rr	RAZÃO DE RELEVO
SAGA	SISTEMA PARA ANÁLISE GEOCIENTÍFICA AUTOMATIZADA
SIG	SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA
Srp	SINUOSIDADE DO CANAL PRINCIPAL
SRTM	MISSÃO DE TOPOGRAFIA DE RADAR DE TRANSPORTE
T	RAZÃO DE TEXTURA
TAUDEM	MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO USANDO ANÁLISE DE TERRENO
TOPODATA	BANCO DE DADOS GEOMORFOMÉTRICOS DO BRASIL
VNIR	VISÍVEL E INFRAVERMELHO PRÓXIMO
WGS84	SISTEMA GEODÉSICO MUNDIAL 1984.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>15</b>
2.1 BACIA HIDROGRÁFICA .....	15
2.2 RIO JACARÉ, POÇO REDONDO-SE.....	16
2.3 SENSORIAMENTO REMOTO .....	17
2.4 <i>SOFTWARES</i> LIVRES E MODELOS DIGITAIS DE ELEVÇÃO .....	19
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>20</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	20
3.2 PROCESSAMENTO DOS DADOS DE RADAR DA MISSÃO <i>TANDEM-X</i> .....	21
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>28</b>
4.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS .....	28
4.2 CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS .....	29
4.3 CARACTERÍSTICAS DE RELEVO.....	32
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>36</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>37</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica pode ser considerada como um sistema físico sujeito a entradas de água por meio de precipitação, que gera saídas de água pelo escoamento e evapotranspiração. A bacia hidrográfica transforma uma entrada concentrada no tempo de precipitação, em uma saída relativamente distribuída no tempo de escoamento (COLLISCHONN; TASSI, 2008). A bacia hidrográfica converge os escoamentos para um único ponto de saída, denominado exutório (TUCCI, 2015).

Historicamente, a delimitação físico-territorial de uma bacia hidrográfica, foi, ao longo do tempo, realizada sobre imagens aéreas (fotografias) e cartas topográficas, buscando seu contorno mediante a análise e traçado do relevo a partir de curvas de nível do terreno (COSTA *et al.*, 2007; MARK, 1983; SILVA; ABDON, 1998). Costa *et al.* (2007) também apontaram que, para a análise destes produtos, se fazia necessário um bom treinamento para os executores, pois a visão planar 2-D dos atributos de relevo, no formato de curvas de nível, não é de fácil interpretação pelo olho humano, cuja principal característica é o atributo da visão tridimensional. Aliado a isso, a modelagem do relevo a partir de curvas de nível se deu no mapeamento sistemático brasileiro, entre 1978 e 1985, em escala média de 1:100.000 ou menor (LEAL, 2007).

Para melhorar esse quadro, é necessário realizar um zoneamento do local através de tecnologias avançadas, a fim de implementar políticas de conservação nos mananciais, sendo a cobertura vegetal o fator de maior influência sobre a perda do solo e da água, influenciando na qualidade e disponibilidade hídrica. Sendo assim, a relação do uso e ocupação do solo com os recursos hídricos passam a ser uma informação primordial para o planejamento e gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica (OLIVEIRA *et al.*, 2011; VANZELA *et al.*, 2010).

No Brasil, país de dimensões continentais, onde mão de obra especializada é escassa, e a gestão de água em regiões onde a pluviosidade é irregular ou com pouca incidência de chuvas, o Sistema de Informações Geográfica (SIG) agregado a outros *softwares* livres, surge como ferramenta imprescindível no mapeamento, delimitação e caracterização morfométrica de Bacias Hidrográficas, apresentando grande precisão nas imagens produzidas, além de excelente qualidade. Dessa forma, vêm auxiliar na gestão dos recursos hídricos, através do geoprocessamento de Bacias Hidrográficas, de forma remota, minimizando custos com mão de obra especializada em Topografia e transporte à locais de difícil acesso.

Quanto ao emprego de geotecnologias para a delimitação territorial de bacias hidrográficas, percebe-se, na literatura, que a automação dos processos de extração das



características do meio físico apresenta mais eficiência (MARTZ; GARBRECHT, 1992). O SIG é proposto no meio científico como poderosa ferramenta de auxílio na elaboração de modelos tridimensionais de excelente qualidade, construindo perspectivas de geoprocessamento indiscutíveis (PARETA; PARETA, 2011). Esse sistema ainda possibilita a realização de análises complexas, ao integrar dados de várias fontes e criar banco de dados georreferenciados, no qual possibilitam a automatização da produção de materiais cartográficos (SILVA; MARIANI; GONZÁLEZ, 2018). No ambiente do Sistema para Análises Geocientíficas Automatizadas (SAGA) tem-se, como exemplo, os trabalhos de Aranha e Ferreira (2013) e Marinho Filho (2014).

A bacia hidrográfica do Rio Jacaré é caracterizada por ter múltiplas nascentes, porém, a vegetação ciliar desta bacia encontra-se reduzida e com poucos remanescentes. Além da pouca vegetação nativa encontrada, há também a presença de espécies arbóreas exóticas como a algaroba, que margeia os principais afluentes do Rio Jacaré. Em decorrência do desmatamento, supressão da vegetação ciliar, construção de aguadas, tanques e barragens, os fluxos naturais dos córregos e minadouros que formam os mais importantes riachos são impossibilitados, dificultando sua contribuição para o rio principal (SANTANA, 2006).

Os principais impactos produzidos por alterações no uso e na cobertura do solo em bacias são: a diminuição da capacidade de infiltração, o aumento do escoamento superficial e consequentemente dos processos erosivos, a diminuição da cota do leito dos rios e, portanto, o aumento de cheias e inundações (CENTURION *et al.*, 2001; GROVE *et al.*, 1998).

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 BACIA HIDROGRÁFICA**

A bacia hidrográfica converge os escoamentos para um único ponto de saída, denominado exutório (TUCCI, 2015). Características físicas de uma bacia são fundamentais para se obter êxito na compreensão do estudo da mesma, complexidade da sua dinâmica (SANTOS *et al.*, 2012).

Oliveira *et al.* (2011) também afirmaram que a ocupação desordenada das áreas próximas a rios, devido à retirada da vegetação nativa para implementar agricultura, pastagens e urbanização, provoca problemas como erosão, assoreamento, degradação ambiental, desaparecimento de espécies e fenômenos de desertificação, principalmente na região

semiárida do Nordeste, prejudicando a região como um todo.

Os principais impactos produzidos por alterações no uso e na cobertura do solo em bacias são: a diminuição da capacidade de infiltração, o aumento do escoamento superficial e consequentemente dos processos erosivos, a diminuição da cota do leito dos rios e, portanto, o aumento de cheias e inundações (CENTURION *et al.*, 2001; GROVE *et al.*, 1998).

Rodrigues *et al.* (2008) relataram que as características físicas presentes nas bacias hidrográficas, são de suma importância, pois atuam no ciclo hidrológico, influenciando de maneira direta aspectos relacionados com a infiltração, a evapotranspiração e o escoamento subsuperficial e superficial.

Fontes *et al.* (2008) e Cardoso *et al.* (2006) afirmaram que com o conhecimento das características físicas é possível determinar como se desenvolve o escoamento superficial em uma determinada localidade, possibilitando formular medidas prévias para o controle de enchentes, caso a bacia seja susceptível a esse tipo de evento. Moura (2005) afirmou que o processo de caracterização fisiográfica em bacias é essencial para a elaboração e implementação de futuros projetos, pois, os resultados auxiliam na compreensão do escoamento superficial de uma bacia hidrográfica.

De acordo com Oliveira (1997), os resultados obtidos para o coeficiente de compacidade ( $K_c$ ) demonstram se uma bacia é suscetível ou não a enchentes. Segundo o autor, os valores variam de  $< 1,2$  (totalmente sujeito a enchente), entre  $1,2$  a  $1,5$  (parcialmente sujeito a enchentes) e  $> 1,5$  (não sujeito a enchentes).

## 2.2 RIO JACARÉ, POÇO REDONDO-SE

O município de Poço Redondo está situado no Estado de Sergipe, às margens do Rio São Francisco. Tem área total de  $1.212 \text{ km}^2$ , faz divisa com os municípios de Canindé de São Francisco e Porto da Folha, está situado a 140 km da capital Aracaju e é caracterizado pelo grande número de assentamentos rurais, com grandes áreas demarcadas no território. As precipitações médias anuais de Poço Redondo são de 535,20 mm, sendo este valor obtido em um período de 1963 a 2005. A bacia do Rio Jacaré orienta-se no sentido norte-nordeste, seus tributários da margem esquerda são: Riacho Novo, Córrego Santa Maria e o Riacho do Brás, sendo este o mais importante da margem esquerda. Na margem direita, encontram-se: Riachos do Boqueirão, da Guia, São Clemente e o Riacho Caraibeiro (SANTANA, 2006).

Segundo a classificação climática de Koppen (1918), o clima é do tipo Bssh – clima muito quente, semiárido, tipo estepe, Caatinga hiperxerófila com estação chuvosa no inverno compreendendo os meses de abril a julho e seco durante os meses restantes do ano com precipitação baixas e irregulares. A pluviosidade média anual situa-se em 552,25 mm, local com elevadas temperaturas média superior a 23 °C e evapotranspiração superior a 1500 mm anuais. Os solos na região são predominantemente do tipo Luvisolo Crômico, são rasos com textura franco argilosa, dificuldade de drenagem e boa fertilidade o que favorecem os cultivos agrícolas observados (SALES *et al.*, 2018). As médias das características climáticas na região para o período de 1980 a 2016 de acordo com o banco de dados disponibilizado por Xavier *et al.* (2015).

A variação de altitude média é um fator muito importante, pois a temperatura e precipitação estão relacionadas com a altitude. Variações de temperatura influenciam as perdas de águas que ocorrem na forma de evaporação e transpiração, já variações na precipitação atuarão diretamente no escoamento superficial e infiltração (VILLELA; MATTOS, 1975).

A bacia hidrográfica do Rio Jacaré é caracterizada por ter múltiplas nascentes, porém, a vegetação ciliar desta bacia encontra-se reduzida e com poucos remanescentes. Além da pouca vegetação nativa encontrada, há também a presença de espécies arbóreas exóticas como a algaroba, que margeia os principais afluentes do Rio Jacaré. Em decorrência do desmatamento, supressão da vegetação ciliar, construção de aguadas, tanques e barragens, os cursos naturais dos córregos e minadouros que formam os mais importantes riachos são impossibilitados, dificultando sua contribuição para o rio principal (SANTANA, 2006).

## 2.3 SENSORIAMENTO REMOTO

Quanto ao emprego de geotecnologias para a delimitação territorial de bacias hidrográficas, percebe-se, na literatura, que a automação dos processos de extração das características do meio físico apresenta mais eficiência (MARTZ; GARBRECHT, 1992). Tendo em vista a importância da bacia hidrográfica como unidade de estudo e gestão territorial, estabelecida a partir da lei 9.433/1997 (BRASIL, 1997).

O Sensoriamento Remoto pode ser entendido como a medição ou identificação de uma área ou objeto, sem necessidade de contato físico com o mesmo, podendo ser dividido em orbital quando os sensores se localizam em órbita (imagens de satélite), e sub-orbital realizado

por aparelhos aerotransportados, não localizados em órbitas (fotografias aéreas) (PIROLI, 2010).

Segundo Alves (2011), o SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) é a Missão Topográfica por Radar do Ônibus Espacial Endeavour. A operação projetada e financiada pela Agência Espacial Americana (Nasa), Agência Americana de Inteligência Aeroespacial (NGA), em colaboração com a Agência Espacial Italiana (ASI) e o Centro Aeroespacial Alemão (DLR), foi realizada em fevereiro de 2000. A missão SRTM foi realizada para adquirir dados de altimetria de todo o globo terrestre a partir de sensores ativos (radar).

A resolução original das imagens geradas é de 30 metros; porém, para a América do Sul a NASA liberou imagens com resolução de 90 metros. O produto é georreferenciado ao datum WGS84, em coordenadas geográficas decimais e pode ser obtido via Internet. As Imagens SRTM do Brasil foram tratadas pela Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária e disponibilizadas gratuitamente na internet através do endereço eletrônico: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/index.htm> (ALVES, 2011).

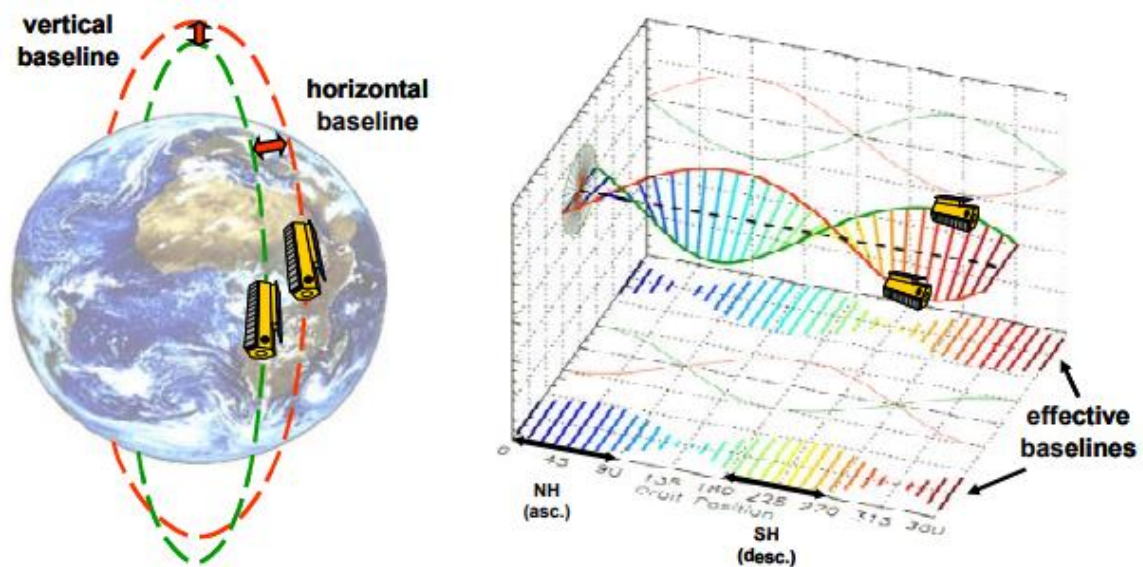
Os princípios do produto SRTM foram desenvolvidos no início dos anos 1980. A altitude de um ponto, na superfície terrestre pode ser determinada, a partir da diferença de fase entre reflexões de um mesmo sinal de radar, captado por dois receptores distantes um do outro. No caso da missão SRTM, os canais principais de transmissão e recepção para as bandas C e X foram posicionados na área de carga do ônibus espacial Endeavour, enquanto que as antenas secundárias (somente recepção) foram colocadas, na extremidade de um mastro retrátil de 60 m de comprimento (GROHMANN *et al.*, 2008).

Com o advento de sensores orbitais, modelos de elevação que permitem a determinação da rede de drenagem puderam ser extraídos através da interferometria. Este processo é o modo de operação de alguns sensores imageadores de microondas, como o exemplo do SRTM, ou da estereoscopia, através de sensores ópticos que adquirem imagens com retrovisada, a exemplo do ASTER/Terra - *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (FUCKNER *et al.*, 2009).

*Copernicus Global Digital Elevation Model* é um Modelo Digital de Superfície (MDS), que representa a superfície da Terra, incluindo edifícios, infraestrutura e vegetação, sendo chamado de *WorldDEM*, baseado em dados de satélite de radar adquiridos durante a Missão *TanDEM-X*, financiada por parceria público-privada entre a Alemanha (Centro Aeroespacial Alemão - DLR e a *Airbus Defence and Space*). A Missão foi realizada entre 2007 com o satélite *TerraSAR-X* e 2010 com o *TanDEM-X* (Figura 1). A *Open Topography* fornece

acesso aberto a dados com pixels de 30 m x 30 m e 90 m x 90 m de resolução (HAJNSEK *et al.*, 2014).

**Figura 1** – Órbita dos satélites *TerraSAR-X* e *TanDEM-X*



Fonte: <https://tandemx-Science.dlr.de/cgi-bin/wcm.pl?page=TDM-Mission>

## 2.4 SOFTWARES LIVRES E MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO

Segundo Galvêncio *et al.* (2007), o desenvolvimento de *softwares* de geoprocessamento, favoreceu os estudos dos recursos hídricos, já que, possibilitou que os dados fossem obtidos de maneira mais rápida e apresentando resultados satisfatórios. Dias *et al.* (2004) comentaram que as técnicas de geoprocessamento, tem sido utilizada com muita frequência em estudos de análise ambiental, possibilitando a detecção de alterações provenientes da intervenção humana em ecossistemas naturais ou em agroecossistemas.

Hasenack *et al.* (1998) relataram que as técnicas de análise espacial associadas com o geoprocessamento, proporcionam a integração e consequentemente a espacialização de um grande número de variáveis, diminuindo a subjetividade na metodologia de análise e permitindo a visualização dos dados e a espacialização dos resultados na forma de mapas temáticos.

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) é proposto no meio científico como poderosa ferramenta de auxílio na elaboração de modelos tridimensionais de excelente qualidade, construindo perspectivas de geoprocessamento indiscutíveis (PARETA; PARETA, 2011). O SIG gera análises complexas, devido sua integração com várias fontes como SRTM,

na otimização dos resultados propostos (SILVA; MARIANI; GONZÁLEZ, 2018). Para Rodriguez *et al.* (2006), os dados SRTM têm boa qualidade, o que colabora para que os resultados obtidos do processamento dos softwares livres de refinamento, Quantum GIS (QGIS) e *Terrain Analysis Using Digital Elevation Models* (TauDEM) sejam de excelente qualidade.

Além disso, o SIG possibilita a realização de análises complexas, ao integrar dados de várias fontes e criar banco de dados georreferenciados, no qual possibilitam a automatização da produção de materiais cartográficos (SILVA; MARIANI; GONZÁLEZ, 2018). Com as aplicações do SIG, a geração de modelos digitais de elevação (MDE) a partir de dados SRTM permite a reprodução com exatidão do caminho preferencial de escoamento da água superficial (ALVES SOBRINHO *et al.*, 2010), e, assim, podem ser derivadas características e índices físicos de uma bacia hidrográfica de forma mais precisa, tais como a forma, as dimensões, o sistema de drenagem e o relevo, os quais são fundamentais para o estabelecimento de estratégias de gestão sustentável dos recursos hídricos de uma unidade territorial (BRASIL, 1997).

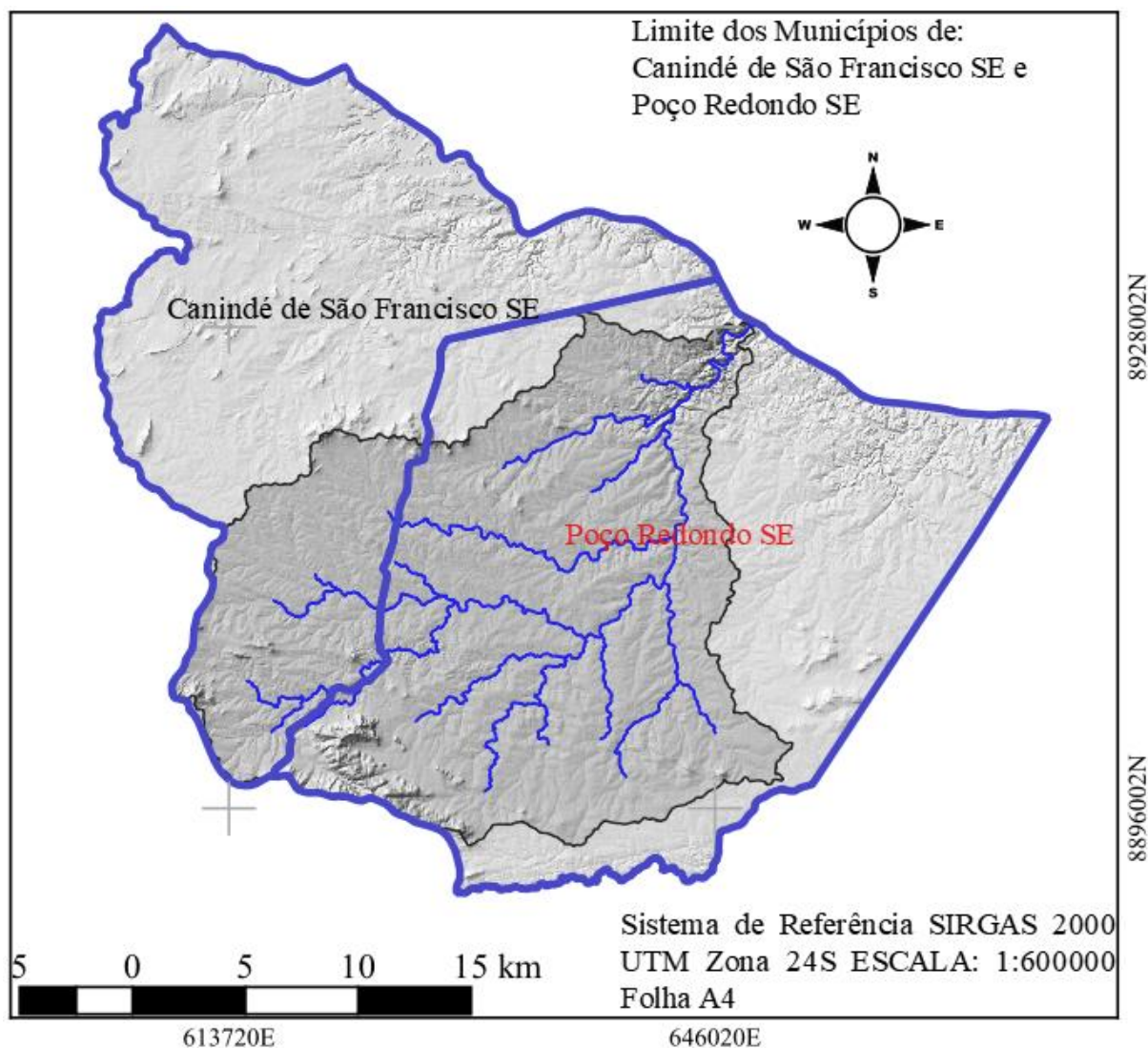
As características do relevo que relacionam as principais medidas do comportamento das altitudes e declividades na bacia foram determinadas por meio das curvas hipsométrica e de declividade (VILLELA; MATTOS, 1975), além da declividade média do rio principal, do índice de rugosidade e da razão de relevo.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia do Rio Jacaré localiza-se entre os municípios de Poço Redondo e Canindé de São Francisco, situados no Estado de Sergipe, às margens do Rio São Francisco, acerca de a 140 km da capital Aracaju (Figura 2). Tem área total de 937,88 km<sup>2</sup>, seu rio principal orienta-se no sentido oeste-nordeste, seus tributários da margem esquerda são: Riacho Novo, Córrego Santa Maria e o Riacho do Brás; na margem direita, encontram-se: Riachos do Boqueirão, da Guia, São Clemente e Caraibeiro. As precipitações médias anuais da região são de 535,20 mm, sendo este valor obtido em um período de 1963 a 2005 (SANTANA, 2006).

**Figura 2** – Mapa de localização da bacia hidrográfica do Rio Jacaré, SE



Fonte: Elaborada pelo autor.

### 3.2 PROCESSAMENTO DOS DADOS DE RADAR DA MISSÃO TANDEM-X

Os dados de radar da Missão *TanDEM-X* foram adquiridos no site da *Open Topography* – dados e ferramentas de topografia de alta resolução, denominados COP30, pertencentes à coleção de imagens da organização (Figura 3). As imagens formadas por radar, COP30, contém dados altimétricos com *pixels* de resolução espacial de 30 m x 30 m, as quais foram tratadas com o *software* livre QGIS versão 3.16.16 (Hannover), para eliminar *pixels* sem valores altimétricos (Figura 4). Com a nova imagem foi possível produzir MDEs, que foram tratados com os *plugins* GRASS 7.8.5 (Sistema de Suporte à Análise de Recursos Geográficos) e SAGA GIS 2.3.2 (Sistema para Análises Geocientíficas Automatizadas), os quais são compostos por algoritmos capazes de extrair e fornecer dados para análise, tais como: gerar mapas de relevo,



declividade, drenagem, bacias e sub-bacias hidrográficas, etc., assim como dados quantitativos que auxiliam no cálculo de índices geográficos e hidrográficos.

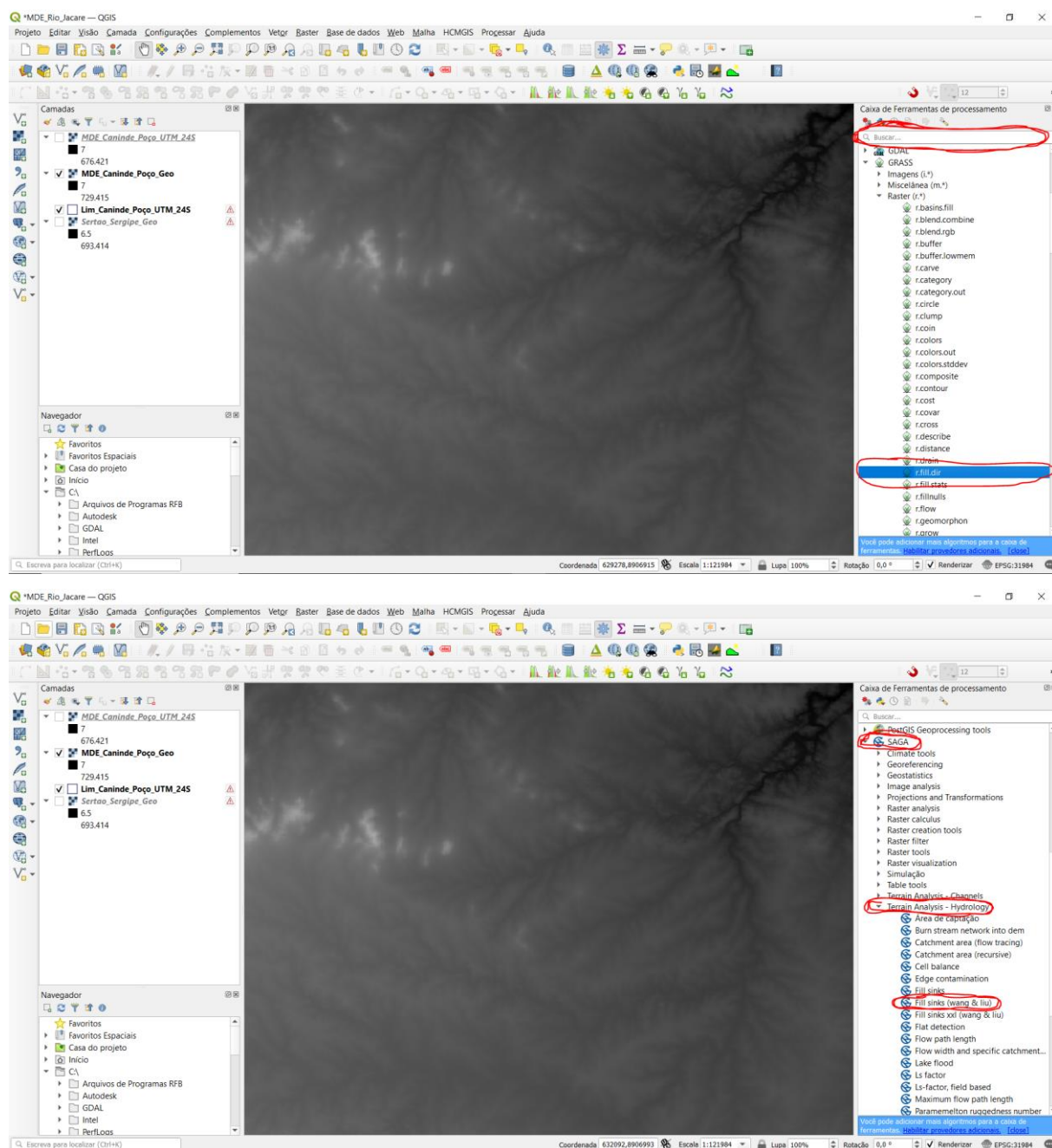
**Figura 3** – Página da *Open Topography* e Imagem COP30.

The screenshot displays the OpenTopography website interface. At the top, there is a navigation bar with links for 'Primeiros passos', 'MyOpenTopo', 'Seja nosso parceiro', and a search bar. Below this, the 'Catálogo de Dados' (Data Catalog) section is visible, featuring filters for 'Financia', 'coletor', 'localizaç', and 'avançada'. A list of data sets is shown, including 'Ártico DEM', 'Global Ecosystem Dynamics Investigation (GED) L3', 'Modelo de Terreno Digital da Europa Continental', 'Modelo de elevação digital de 1/3 de segundo de arco USGS', and 'Modelo de elevação digital de 1 segundo de arco USGS'. To the right of the list, there are buttons for 'Ártico DEM 32m', 'Ártico DEM 10m', 'Ártico DEM 2m', 'GED L3', 'Europa DTM', 'USGS 10m', and 'USGS 30m'. Below the catalog, a large satellite image of a forest canopy is displayed, showing a dense network of tree branches and leaves.

Fonte: <https://opentopography.org>



**Figura 4 – Área de trabalho do QGIS (Hannover)**



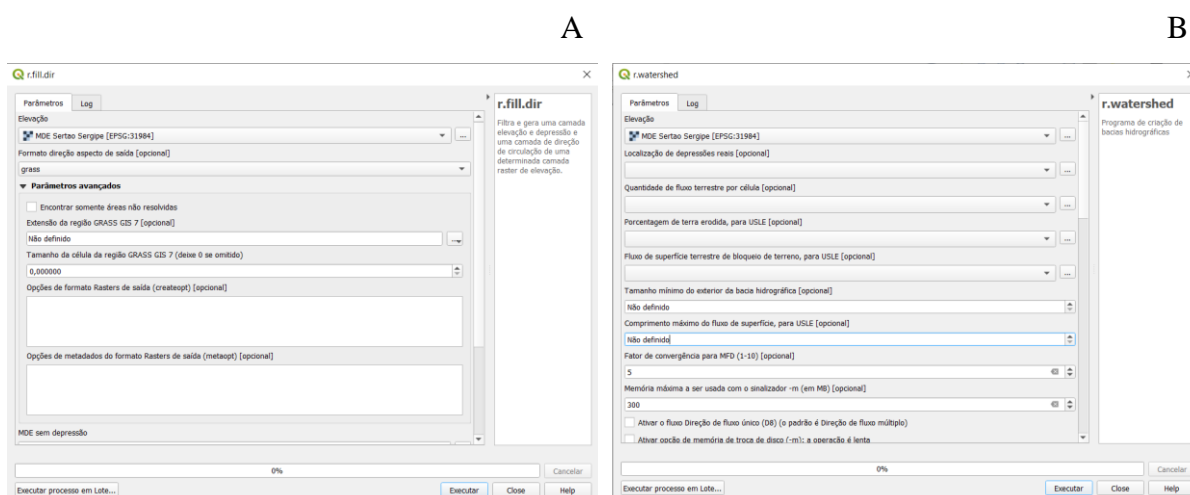
Fonte: Elaborada pelo autor.

Inicialmente, na caixa de Ferramentas de Processamento, selecionado o *plugin* GRASS, na janela “Buscar” foi digitado o comando: “*r.fill.dir*” (Figura 5). Com dois cliques, abre-se uma caixa de diálogo que busca o modelo de elevação do trabalho, onde, nessa caixa, seleciona-se “*Depressionless DEM*”, seleciona-se local para salvar o arquivo que será gerado com a eliminação dos *pixels* sem valores de elevação (onde o fluxo de água não corre para nenhum lugar), originando um novo MDE. Essa operação também pode ser realizada pelo *plugin* SAGA // *Terrain Analysis – Hidrology* // pela Ferramenta “*Fill skins (Wang & Liu)*” para

preenchimentos de depressões, de células do MDE, até o valor mais baixo da elevação tolerável, encontrado em uma das oito células vizinhas, realizando assim a depuração dos dados, tornando-os mais próximos da realidade.

Na janela “Buscar”, digita-se: “*r.watershed*” (Figura 5), sendo possível obter os seguintes dados, fornecendo o MDE da Bacia, valor mínimo de células que uma bacia pode ter (foi utilizado 100). No fator de convergência *Multiple Flow Direction* (MFD) foi utilizado o valor aconselhado pelo manual do *software* = 5, obtendo os seguintes arquivos de saída: fluxo acumulado, direção de drenagem, bacia identificada, segmentos de rio, sub-bacias, comprimento da declividade do terreno (fator LS), declividade, índice topográfico (TCI) e índice de potência de fluxo de saída. A partir de então, foi possível gerar os mapas com as informações de direções de fluxo e de declividade. Tais informações foram necessárias para a composição do mapa da área de contribuição de fluxo.

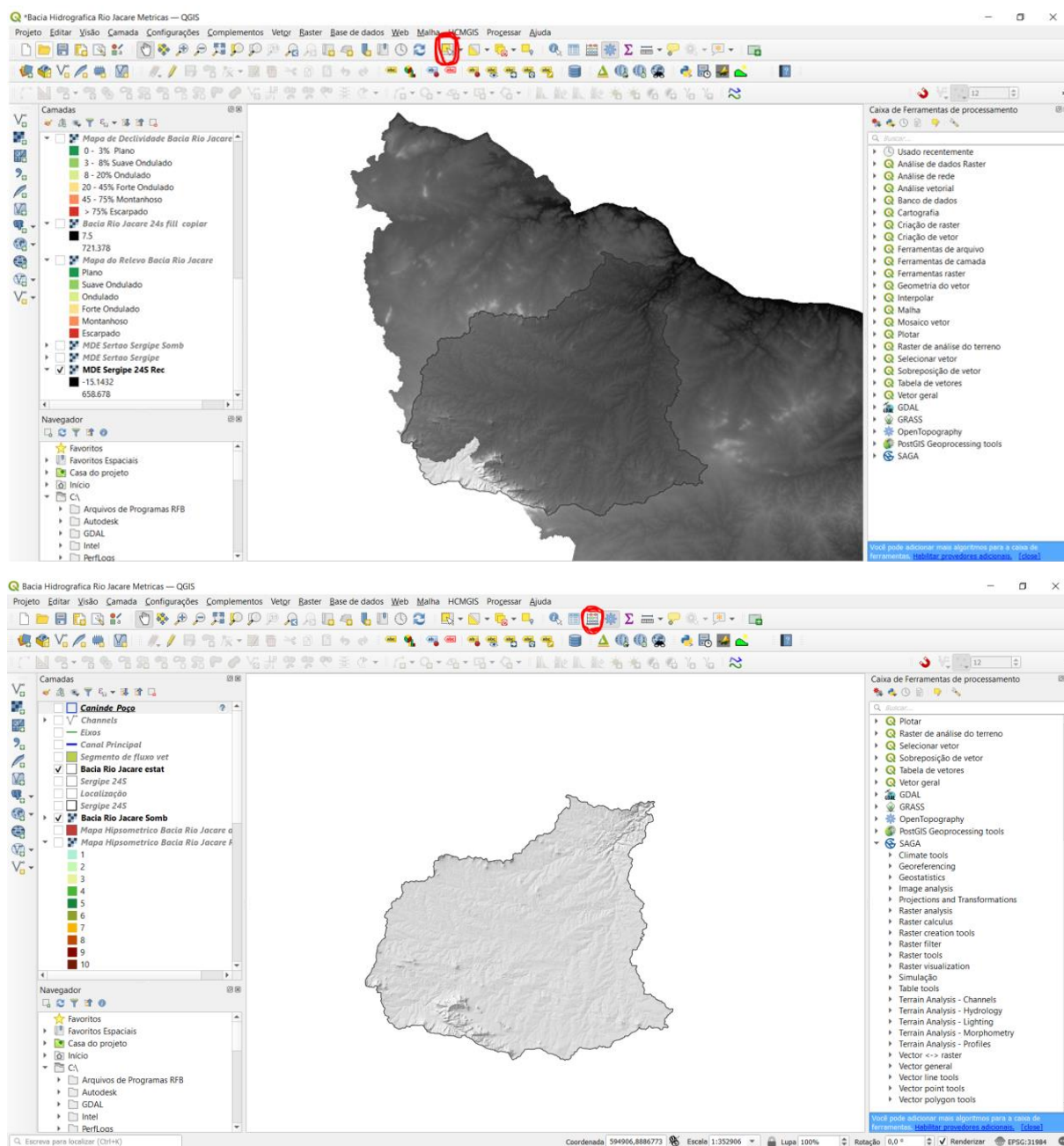
**Figura 5** – Caixas de diálogo “*r.fill.dir*” (A) e “*r.watershed*” (B)



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na janela “Buscar”, digita-se: “*r.water.outlet*”, gera imagem no formato “*raster*” da delimitação da bacia à partir do exutório. Esta imagem foi convertida para o formato vetorial, e com a mesma, sobrepõe-se a imagem raster do novo MDE, recortando a delimitação da bacia com a Ferramenta Selecionar Feições (Figura 6), para se trabalhar com arquivo menor e reduzir o esforço de processamento do computador.

**Figura 6 – Delimitação da Bacia do Rio Jacaré**



Fonte: Elaborada pelo autor.

Com as ferramentas “Calculadora de Campo” do QGIS foram inseridos dados lógicos para formular equações e obter índices geométricos. Com a Ferramenta “Estatísticas zonais” mesclou-se dados em duas imagens simultaneamente, uma no formato *raster* e outra no formato vetorial, fornecendo índices hidrográficos e de relevo para a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Jacaré, conforme Tabela 1.

**Tabela 1** – Equações para cálculo dos índices geométricos, hidrográficos e de relevo, utilizados para a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Jacaré, SE

<b>Características Geométricas</b>			
<b>Parâmetro</b>	<b>Descrição</b>	<b>Equação</b>	<b>Fonte</b>
Coeficiente de compacidade (Kc)	Relação entre o perímetro (P, km) da bacia e a área da bacia (A, km <sup>2</sup> ).	$Kc = 0,28 (P/A^{0.5})$	Lima (1969)
Fator de forma (Kf)	Relação entre a área da bacia (A, km <sup>2</sup> ) e o comprimento do eixo da bacia (L, km).	$Kf = A/L^2$	Horton (1945)
Índice de circularidade (Ic)	Relação entre a área da bacia (A, km <sup>2</sup> ) e o perímetro (P, km) da bacia.	$Ic = 12,57 (A/P^2)$	Müller (1953)
Razão de alongação (Re)	Relação entre índices pré-determinados, a área da bacia (A, km <sup>2</sup> ) e o comprimento do eixo da bacia (L, km).	$Re = 1,128 [(A^{0.5})/L]$	Schumm (1963)
<b>Características Hidrográficas</b>			
Densidade de drenagem (Dd, km km <sup>-2</sup> )	Relação entre o comprimento da rede de drenagem (Rd, km) e a área da bacia (A, km <sup>2</sup> ).	$Dd = Rd/A$	Horton (1945)
Densidade hidrográfica (Dh, km <sup>-2</sup> )	Relação entre o número de segmentos de rios (Nt) e a área da bacia (A, km <sup>2</sup> ).	$Dh = Nt/A$	Christofolletti (1969)
Extensão média do escoamento superficial (Lm, km)	Relação entre a área da bacia (A, km <sup>2</sup> ) e o comprimento da rede de drenagem (Rd, km).	$Lm = A/4Rd$	Villela e Matos (1975)
Índice de sinuosidade do rio principal (Is, %)	Relação entre o comprimento rio principal (R, km) e o comprimento do talvegue do rio principal (Lrp, km).	$Is = 100(R-Lrp)/R$	Schumm (1963)

Sinuosidade do rio principal (Srp)	Relação entre o comprimento rio principal (R, km) e o comprimento do talvegue do rio principal (Lrp, km).	$Srp = R/Lrp$	Schumm (1963)
------------------------------------	---	---------------	---------------

Parâmetro	Descrição	Equação	Fonte
Razão de textura (T, km <sup>-1</sup> )	Relação entre o número de segmentos de rios (Nt) e o perímetro da bacia (P, km).	$T = Nt/P$	França (1968) Smith (1950)

#### Características do Relevo

Declividade do rio principal (m m <sup>-1</sup> )	Relação da variação da cota ( $\Delta H$ ) e do comprimento do rio principal (Lcp);	$Dcp = \Delta h/Lcp$	Villela e Matos (1975)
Índice de rugosidade (Ir)	Relação entre a amplitude altimétrica ( $\Delta H$ , km) e a Densidade de drenagem (Dd, km km <sup>-2</sup> ).	$Ir = \Delta H * Dd$	Christofolletti (1969)
Razão de relevo (Rr)	Relação entre a amplitude altimétrica ( $\Delta H$ , km) e o comprimento do eixo da bacia (L, km).	$Rr = \Delta H/L$	Christofolletti (1969)

O *plugin* GRASS gerou dados geométricos como: área da bacia (km<sup>2</sup>), perímetro da bacia (km), comprimento do eixo da bacia (km); comprimento do canal principal (km), tal-vegue do canal principal (km), comprimento da rede de drenagem (km), amplitude altimétrica calculado pelo QGIS (km) e número total de segmentos de rio.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é função de suas características geomorfológicas (forma, relevo, área, geologia, rede de drenagem, solo, dentre outros) e do tipo da cobertura vegetal (LIMA, 1986). De acordo com Oliveira (1997), os resultados obtidos para o coeficiente de compacidade ( $K_c$ ) demonstram se uma bacia é suscetível ou não a enchentes. Segundo o autor, os valores variam de  $< 1,2$  (totalmente sujeito à enchente), entre 1,2 a 1,5 (parcialmente sujeito a enchentes) e  $K_c > 1,5$  (não sujeito a enchentes). Porém, conforme Brito (2008), os solos da região são rasos, com cerca de 70 cm de profundidade em grande parte da bacia, tornando-a propensa à erosão e enchentes em anos com maior incidência de chuvas.

A bacia analisada pode ser classificada como “não sujeita a enchentes”, devido ao valor do  $K_c$  determinado ser de 1,61 (Tabela 2). Ainda com a obtenção do mesmo fator, conclui-se que a mesma apresenta um formato alongado, pois, quanto mais distante de 1, menos circular são as bacias. Segundo Vilella e Matos (1975), bacias com formatos alongados apresentam menores concentrações de deflúvio, isto é, são pouco suscetíveis a enchentes e com  $K_f$  de 0,33 é pouco provável que a mesma sofra chuva intensa em toda sua extensão.

Carvalho *et al.* (2015) encontrou área de 939 km<sup>2</sup> utilizando arquivo com resolução de 5m, para a bacia hidrográfica do Rio Jacaré, perímetro de 207,7 km, declividade média de 4,8 m/km e índice de compacidade igual a 1,89 quando estudava a ocupação do solo nessa bacia. Segundo o Atlas de Recursos Hídricos de Sergipe, os tipos de solo presentes na bacia do Rio Jacaré são: Bruno não cálcico (1017,29 km<sup>2</sup>), Regossolos (718,21 km<sup>2</sup>), Planossolos (640,84 km<sup>2</sup>) e Solos litólicos (137,91 km<sup>2</sup>). Estes solos estão presentes em boa parte do Alto Sertão Sergipano, sendo característicos por apresentarem elevada taxa de potássio e fertilidade natural. Trata-se, portanto, de faixas de solos rasos (70 cm), uma vez que os mesmos dificultam a mecanização, logo, propensos à erosão.

**Tabela 2** – Características e índices geométricos da bacia hidrográfica do Rio Jacaré, SE

<b>Características Geométricas</b>	<b>Valor</b>
Área de drenagem (A)	937,88 km <sup>2</sup>
Perímetro (P)	176,53 km
Comprimento do eixo (L)	53,069 km
Coeficiente de compacidade (Kc)	1,61
Fator de forma (Kf)	0,33
Índice de circularidade (Ic)	0,38
Razão de alongação (Re)	0,65

Porém, observa-se na bacia em questão que, mesmo ela apresentando boas características geométricas, tem ocorrido enchentes em anos com chuvas mais intensas. Diversos fatores antrópicos na região favorecem para que esses fenômenos ocorram. Os principais impactos produzidos por alterações no uso e na cobertura do solo em bacias são: a diminuição da capacidade de infiltração, o aumento do escoamento superficial e, conseqüentemente, dos processos erosivos, a diminuição da cota do leito dos rios e, portanto, o aumento de cheias e inundações (CENTURION *et al.*, 2001; GROVE *et al.*, 1998). Rodrigues *et al.* (2008) relataram que as características físicas presentes nas bacias hidrográficas são de suma importância, pois atuam no ciclo hidrológico, influenciando de maneira direta nos aspectos relacionados com a infiltração, a evapotranspiração e o escoamento subsuperficial e superficial. Fontes *et al.* (2008) e Cardoso *et al.* (2006) afirmaram que com o conhecimento das características físicas é possível determinar como se desenvolve o escoamento superficial em uma determinada localidade, possibilitando formular medidas prévias para o controle de enchentes, caso a bacia seja susceptível a esse tipo de evento.

#### 4.2 CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS

O parâmetro ordem dos canais se refere a uma classificação sobre o grau de ramificações e/ou bifurcações presentes em uma bacia hidrográfica. A classificação de ordenamento dos cursos mais utilizada é a proposta por Horton (1945) e modificada por Strahler (1957). Segundo Carvalho *et al.* (2009), a densidade de drenagem indica a real eficiência da drenagem atuante na bacia hidrográfica. Sua determinação consiste numa relação entre o comprimento total dos cursos d'água e a área de drenagem. A extensão média de escoamento superficial relaciona a distância média que a água proveniente das precipitações teria que escoar sobre a bacia em linha reta do ponto onde ocorreu a sua queda até o ponto mais próximo do leito de qualquer curso d'água. Para facilitar a obtenção do parâmetro, a bacia é modificada para forma

de retângulo com uma mesma área, no qual, o lado maior é a soma dos comprimentos da bacia (VILELLA; MATTOS, 1975).

A Bacia analisada apresentou as seguintes informações (Tabela 3): canal principal de 71,75 km, o comprimento do talvegue de 38,95 km e rede de drenagem de 1.808,36 km, contendo 701 segmentos de rios de 1ª ordem (602,13 km), 330 segmentos de 2ª ordem (315,82 km), 135 segmentos de 3ª ordem (114,74 km), 151 segmentos de 4ª ordem (126,95 km), 31 segmentos de 5ª ordem (22,98 km) e 49 segmentos de 6ª ordem, segundo a classificação de ordens de Strahler (1957). Em virtude da extensa rede de drenagem, somando-se à característica do solo raso em grande parte da bacia, com faixas de 70 cm, propensos à erosão e enchentes (BRITO, 2008); que influenciam principalmente no escoamento superficial das águas e na densidade de drenagem, dificultando a infiltração das águas em anos de chuvas mais intensas. Para determinação das ordens dos cursos d'água, os aplicativos interpretam como curso d'água, como toda junção entre dois cursos d'água, independentemente de sua ordem.

**Tabela 3** – Características e índices hidrográficos da bacia hidrográfica do Rio Jacaré, SE

<b>Características Hidrográficas</b>	<b>Valor</b>
Comprimento da rede de drenagem (Rr)	1.808,36 km
Número de segmentos de rios de 1ª ordem (Ns1)	701
Comprimento do rio principal (Lcp)	71,75 km
Comprimento do talvegue do rio principal (Lrp)	38,95 km
Densidade de drenagem (Dd)	1,93 km km <sup>-2</sup>
Densidade hidrográfica (Dh)	4,61 km <sup>-2</sup>
Extensão média do escoamento superficial (Lm)	0,13 km
Índice de sinuosidade do rio principal (IS)	46%
Razão de textura	24,51 km <sup>-1</sup>

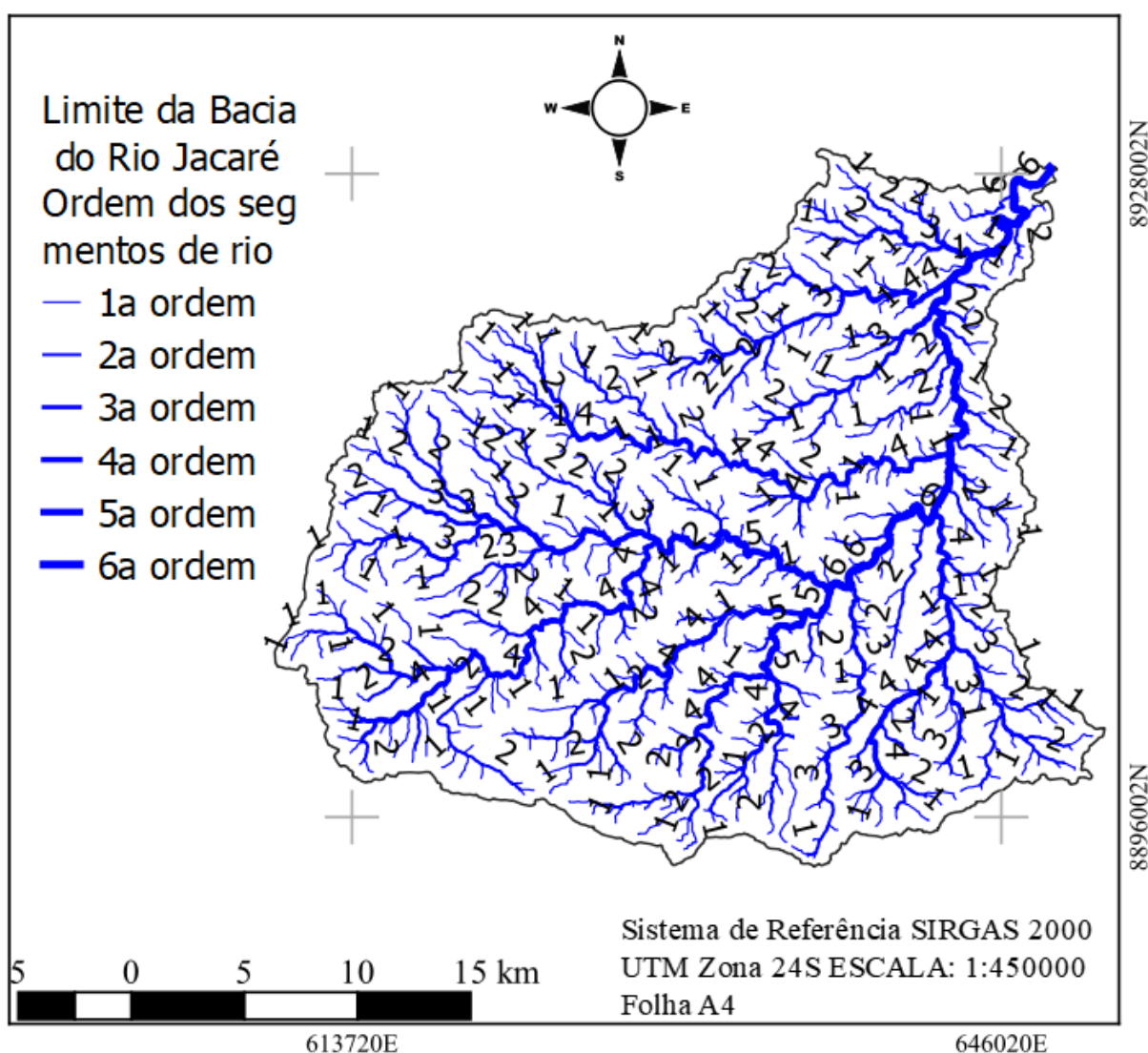
A densidade hidrográfica (Dh) relaciona o número de rios ou canais com a área da bacia. Este índice expressa a grandeza da rede hidrográfica da bacia, indicando a capacidade de gerar novos cursos d'água sugere a utilização de “N” como o número de canais de primeira ordem, conforme classificação de Strahler (CHRISTOFOLETTI, 1969), podendo produzir resultados satisfatórios e realistas sobre o comportamento da bacia. Lollo (1995) cita uma classificação da densidade hidrográfica em faixas de valores, conforme Tabela 4. Dessa forma, percebe-se que a bacia pode ser classificada com baixa densidade hidrográfica.



**Tabela 4** – Classificação da densidade hidrográfica (Dh) de uma bacia

Dh (N km <sup>-1</sup> )	Denominação
< 3	Baixa
3 - 7	Média
7 - 15	Alta
> 15	Muito alta

\*N = Comprimento dos rios de primeira ordem conforme Strahler (1952). Fonte: Lollo, 1995.

**Figura 7** – Representação da rede de drenagem e a hierarquia dos cursos d'água da bacia hidrográfica do Rio Jacaré, SE

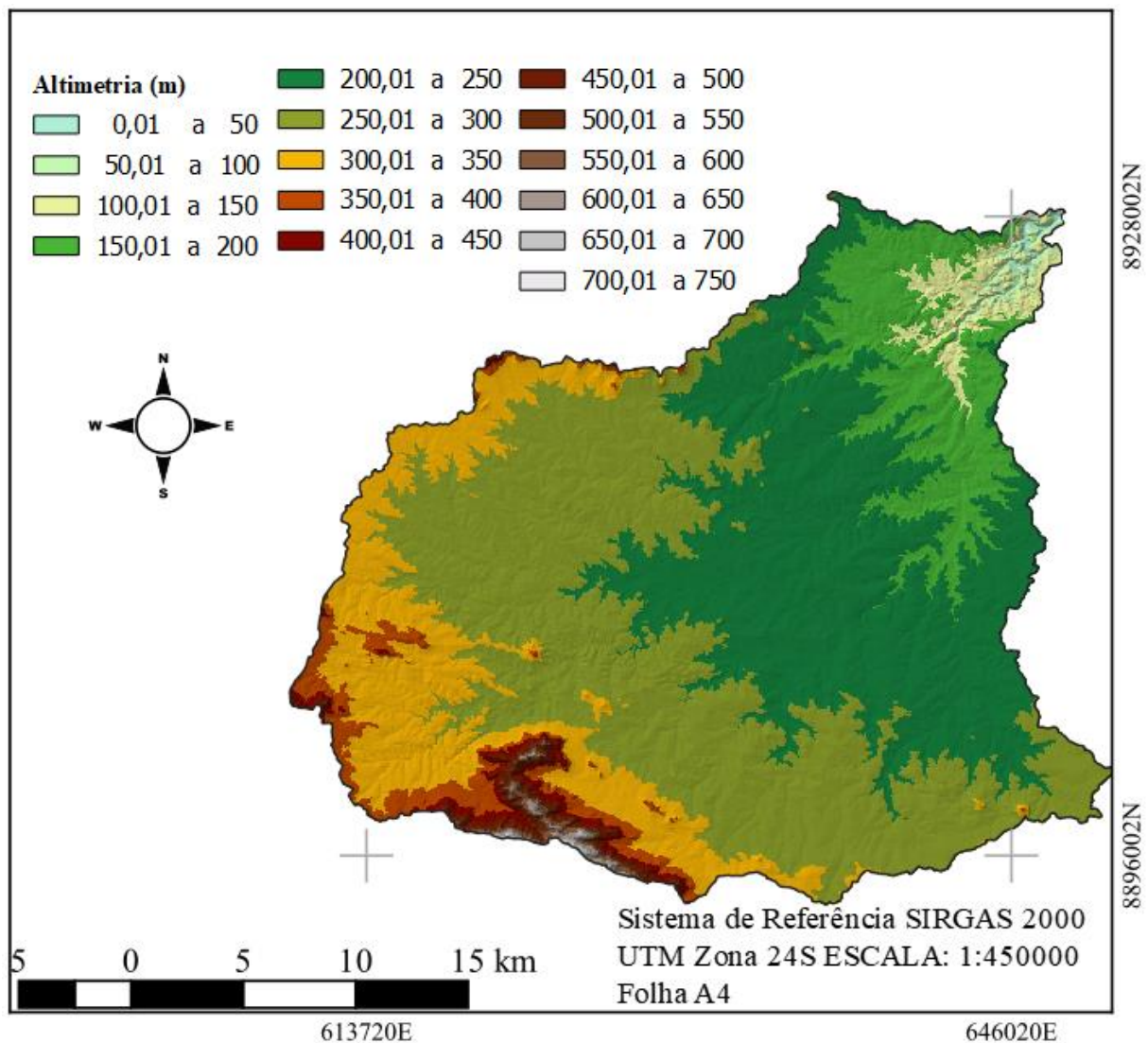
Fonte: Elaborada pelo autor.

### 4.3 CARACTERÍSTICAS DE RELEVO

Para Christofolletti (1980), a hipsometria estuda a distribuição das unidades espaciais em relação às faixas longitudinais, indicando a proporção ocupada por determinada área em relação às variações altimétricas a partir da curva de nível.

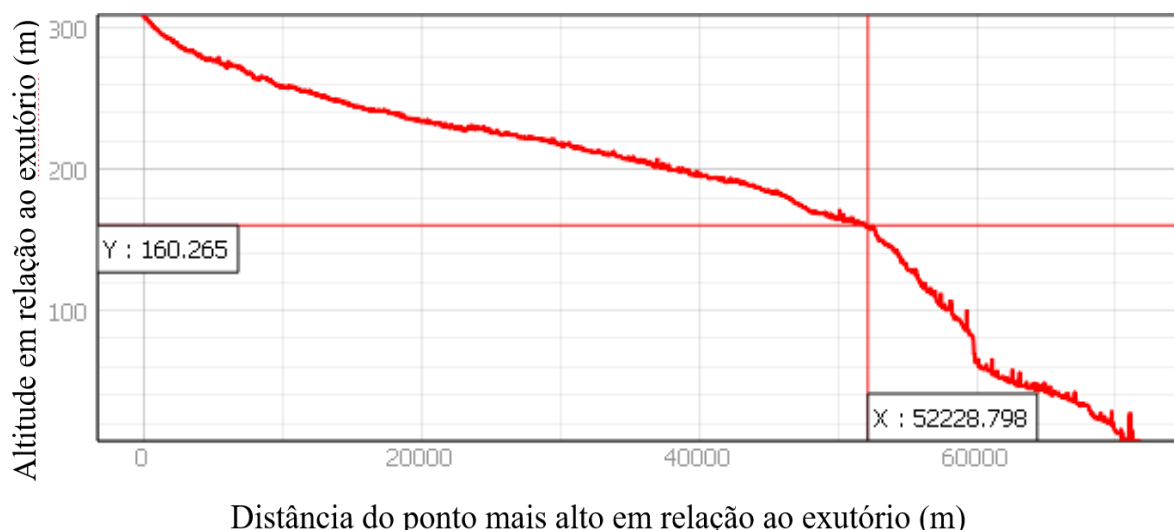
Por meio da Figura 8, pode-se analisar e interpretar o comportamento e características da bacia hidrográfica do Rio Jacaré, pois a mesma representa as características espaciais de altitude, do Modelo Digital de Elevação ou Mapa hipsométrico. Comparando a Figura 8 com a Figura 9, torna-se evidente a rede de drenagem, o escoamento superficial dos cursos d'água e suas conectividades que formam a bacia hidrográfica.

**Figura 8** – Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do Rio Jacaré, SE



Fonte: Elaborada pelo autor.

**Figura 9** – Representação gráfica altimétrica entre a nascente do canal principal e o exutório da bacia hidrográfica do Rio Jacaré, SE



Fonte: Elaborada pelo autor.

A representação da legenda das classes hipsométricas na bacia hidrográfica do Rio Jacaré foi representada por faixas de altitudes divididas de 50 em 50 metros (Figura 8). A maior altitude encontrada nessa bacia foi de 730,78 m e a menor foi de 7,5 m em relação ao nível do mar.

Por meio da Figura 8, representada na Tabela 5, torna-se visível que 66,6% da extensão de terras da bacia, está localizada numa escala de altitudes entre 200 m e 300 m. E, em comparação com a Figura 10, o relevo dessa área foi classificado entre plano e suave ondulado, conforme Classes de Declividade da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Este pode ser um dos fatores que dificultam o escoamento das águas em anos com maior incidência de chuvas na região.

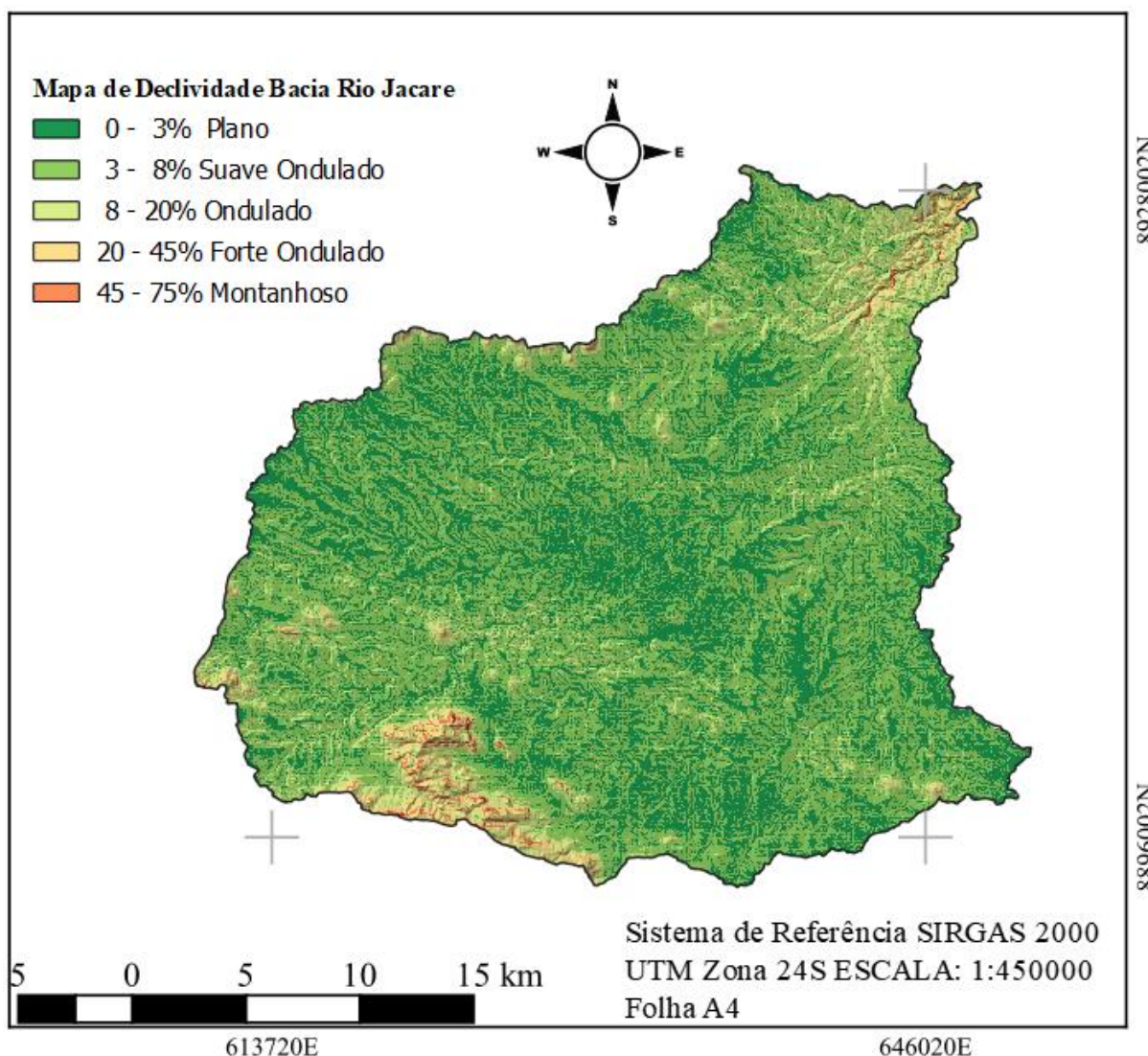
**Tabela 5** – Área em função da altitude na bacia hidrográfica do Rio Jacaré, SE

Altitude (m)	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)	Altitude (m)	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
0,00 a 100,00	8,24	0,9	300,01 a 400,00	159,38	17,0
100,01 a 200,00	109,73	11,7	400,01 a 500,00	21,58	2,3
200,01 a 300,00	623,87	66,6	500,01 a 750,00	13,03	1,5

Com o QGIS, foi gerado um gráfico de declividade do canal principal da bacia do Rio Jacaré, conforme a Figura 9, e selecionou valores aleatórios para X e Y. No ponto em que os eixos X e Y se cruzam, para Y = 160,26 m, cerca de metade da altitude do ponto mais alto da bacia em relação ao exutório; e X = 52.228,79 m, demonstrando graficamente a declividade,

para cada metro de altitude, é necessário percorrer cerca de 326 metros de extensão, e, assim, criando a possibilidade de alagamentos em função dos solos rasos. Por outro lado, nos últimos 20 km finais sentido ao exutório, a declividade muda, e para cada metro de altitude, percorre-se cerca de 125 metros, gerando erosão do solo. Com relação ao canal principal, a Figura 9 mostra que o ponto mais alto da bacia, está localizado à 309 m de altitude em relação ao exutório.

**Figura 10** – Representação do modelo digital de declividade da bacia hidrográfica do Rio Jacaré, SE



Fonte: Elaborada pelo autor.

Segundo Benatti *et al.* (2015), a declividade apresentada por uma bacia hidrográfica é um dos fatores que afeta consideravelmente a velocidade do escoamento superficial, reduzindo, assim, a infiltração da água no solo, que, em casos de ausência de cobertura vegetal e elevadas precipitações, potencializam o processo de erosão do solo e a ocorrência de enchentes.



Alves *et al.* (2016) ressaltaram que em regiões acima de 45% de declividade deve ser caracterizada como área de preservação permanente, em conformidade com o novo Código Florestal Brasileiro, Lei nº 12.651 (BRASIL, 2012).

**Figura 11** – Assoreamento do Rio Jacaré e danos em ponte por enchente



Fonte: Santana (2007).

## 5 CONCLUSÕES

Em relação à análise das características morfométricas da bacia do Rio Jacaré, pode-se classificá-la como “não sujeita a enchentes”, se for considerada a análise dos dados obtidos como: índice de circularidade (0,38); fator de forma (0,33); compacidade (1,61), como a mesma apresenta formato alongado, em tese, apresenta baixa tendência a enchentes.

Porém, por apresentar extensa rede de drenagem, solo raso em grandes extensões de terras e relevo plano a suave ondulado, há dificuldade de infiltração de água no solo, contribuindo para o escoamento superficial das águas, favorecendo o surgimento de enchentes em anos de chuvas mais intensas na região da bacia. Observa-se que as áreas de maior declividade da bacia encontram-se nos últimos 20 km próximos ao exutório, os quais não são suficientes para que a bacia não sofra enchentes e cheias nas áreas anteriores até a nascente.

As imagens de radar utilizadas do *Copernicus* MDE “30 m” ou WorldDEM (*DEM: Digital Elevation Models*), adquiridas durante a Missão *TanDEM-X*, em conjunto com os *softwares* livres QGIS, GRASS e SAGA GIS, não deixam dúvidas que o produto final alcançado resulta na obtenção de materiais satisfatórios, no tocante à delimitação dessa bacia hidrográfica, reproduzindo o detalhamento topográfico necessário e as características morfométricas da bacia em questão, reduzindo o aporte de recursos financeiros e material humano.

Se fazem necessários estudos mais detalhados sobre a ocupação do solo e implementação de medidas de conservação das matas ciliares, além de estudos que visem o barramento de águas nos períodos de chuvas intensas; e que auxiliem a infiltração das mesmas nos lençóis freáticos, minimizando cheias e enchentes, no tocante ao gerenciamento dos recursos hídricos na região.

## REFERÊNCIAS

- ALVES SOBRINHO, T. *et al.* Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 1, p. 46- 57, 2010.
- ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, n. 2, p. 117-127, 2003.
- ANDRADE, N. L. R. de *et al.* Caracterização morfométrica e pluviométrica da bacia do Rio Manso – MT. **Geociências**, v. 27, n. 2, p. 237-248, 2008.
- ARANHA, C. F.; FERREIRA, N. C. Mapeamento geomorfométrico da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite – GO, utilizando software livre. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013. **Anais...** Bento Gonçalves: SBRH, 2013.
- BENATTI, D. P. *et al.* Morfometria e uso e cobertura de uma microbacia no município de Sete Barras, São Paulo. **Irriga**, v. 20, n. 1, p. 21-32, 2015.
- BOMFIM, José Wellington Rodrigues. **Ambiente e apropriação do espaço na Sub-Bacia do Rio Jacaré/SE**. 2013. 100 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2013.
- BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Brasília: Diário Oficial da União, 1997.
- BRITO, L. T. L. *et al.* Perdas de solo e de água em sistemas de captação in situ no semi-árido brasileiro. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 3, p. 507-515, 2008.
- CARDOSO, C. A. *et al.* Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo-RJ. **Árvore**, v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006.
- CARVALHO, W. M. de C. *et al.* Caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica do Córrego do Malheiro, no município de Sabará – MG. **Revista Irriga**, v. 14, n. 3, p. 398-412, 2009.
- CENTURION, F. J. *et al.* Efeitos de formas de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um latossolo vermelho em diferentes agroecossistemas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 2, p. 254-258, 2001.
- COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo Hidrologia**. Apostila do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.
- COSTA, C. A. G. *et al.* Comparação do uso do SRTM para delimitação e caracterização fisiográfica de uma micro-bacia hidrográfica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. 2007. **Anais...** Florianópolis, 2007. p. 4833-4840.
- COSTA, F. R. da; SOUZA, R. F. de; SILVA, S. M. P. da. Análise comparativa de metodologias aplicadas à delimitação da bacia hidrográfica do Rio Doce – RN. **Sociedade e Natureza**, v. 28, n. 3, p. 429-442, 2016.

DIAS, L.S.O. *et al.* Utilização do radar interferométrico para delimitação automática de bacias hidrográficas. **Bahia Análise & Dados**, v. 4, n. 2, p. 265-271, 2004.

FONTES, M. P. *et al.* Análise comparativa das características hidrológicas de duas sub-bacias de Sergipe com uso de técnicas de geoprocessamento. *In*: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, 4., 2008. **Anais...** Aracaju, 2008.

FUCKNER, M. A. *et al.* Avaliação altimétrica de modelos digitais de elevação extraídos de imagens ASTER em áreas com configuração topográfica distinta. *In*: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14., 2009. **Anais...** Natal: INPE, 2009. p. 683-690.

GALVÍNCIO, J. D. *et al.* Determinação das características físicas, climáticas e da paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Brígida com auxílio de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. **Revista de Geografia**, v. 24, n. 2, p. 83-96, 2007.

GROHMANN, C. H.; RICCOMINI, C.; STEINER, S. S. Aplicações dos modelos de elevação SRTM em geomorfologia. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 2, n. 2, p. 73-83, 2008.

GROVE, M. *et al.* Composite vs. distributed curve numbers: effects on estimates of storm runoff depth. **Journal of the American Water Resource Association**, v. 34, n. 5, p. 1015-1023, 1998.

HAJNSEK, I. *et al.* **DLR Microwaves and Radar Institute**. TanDEM-X Ground Segment Announcement of Opportunity: TanDEM-X Science Phase. 2014. Disponível em: <https://tan-demx-science.dlr.de/cgi-bin/wcm.pl?page=TDM-Mission>.

HASENACK, H. *et al.* Análise de vulnerabilidade de um parque urbano através de módulos de apoio à decisão em sistemas de informação geográfica. *In*: CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO DA AMÉRICA LATINA, 4., 1998. **Anais...** Curitiba, 1998.

LIMA, W. P. **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas**. São Paulo: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1986. 242 p.

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.

LOPES, I.; LEAL, B. G.; RAMOS, C. M. C. Caracterização morfométrica de bacia hidrográfica no semiárido de Pernambuco através de dados SRTM em softwares livre. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 8, n. 1 p. 31-40, 2018.

MACEDO, F. L. de *et al.* Caracterização fisiográfica da Sub-Bacia do Riacho Jacaré – SE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 3, n. 3, p. 163-169, 2010.

MARINHO FILHO, Gilberto Milhomem. **Avaliação do potencial natural de erosão na bacia hidrográfica do rio Formoso através da aplicação da equação universal de perda do solo**. 2014. 52 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2014.



MARK, D. M. Relations between field-surveyed channel networks and map-based geomorphometric measures, Inez, Kentucky. **Annals of the Association of American Geographers**, n. 73, v. 3, p. 358-372, 1983.

MARTZ, L.W.; GARBRECHT, J. Numerical definition of drainage network and subcatchment areas from digital elevation models. **Computers & Geosciences**, v. 18, n. 6, p. 747-761, 1992.

MOURA, R. S. **Caracterização fisiográfica e regionalização de vazão na microbacia do Córrego do Boi, Aparecida D'Oeste, SP**. 2008. 48 f. Monografia (Graduação em Engenharia Agrônômica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira, UNESP, Ilha Solteira, 2008.

NESPOLO, Camila. **Índices geomorfológicos e teores de ferro em solos da Bacia do Rio Jirau**. 2018. 27 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2018.

OLIVEIRA, J. N. **Classificação de características fisiográficas**. Texto básico para a disciplina “Hidrologia Básica”. Ilha Solteira: UNESP, 1997. 5 p.

OLIVEIRA, T. H.; GALVÍNIO, J. D. Uso e cobertura do solo em áreas semiáridas do Nordeste do Brasil. **Revista de Geografia**, v. 28, p. 120-133, 2011.

PARETA, K.; PARETA, U. Quantitative morphometric analysis of a Yamuna Basin, India using ASTER (DEM) Data and GIS. **International Journal of Geomatics and Geosciences**, v. 2, n. 1, p. 248-269, 2011.

RODRIGUES, F. M. *et al.* Caracterização morfométrica da microbacia hidrográfica do Córrego da Fazenda Glória, Município de Taquaritinga, SP. **Revista Irriga**, v. 13, n. 3, p. 310-322, 2008.

RODRIGUEZ, E.; MORRIS, C. S.; BELZ, J. E. A global assessment of the SRTM performance. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 72, p. 249-260, 2006.

SALES, J. M. J. *et al.* Caracterização da bacia escola Jacaré-Curitiba, em Poço Redondo-SE. In: COSTA, P. R. S. M.; AGUIAR NETTO, A. O. (Org.). **Lugares, Potencialidades e Resistências: Terra e Povo no São Francisco**. 1 ed. Aracaju: Criação, 2018. p. 111- 132.

SANTANA, Jorge Luiz Sotero de. **Planejamento e Gestão Ambiental (Recursos Hídricos): Modelo Precipitação-Vazão na Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Jacaré (Poço Redondo –SE) e suas Relações Ambientais e Antrópicas**. São Cristóvão: UFS, 2006.

SANTOS, A. M. *et al.* Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v. 7, n. 3, p. 195-211, 2012.

SANTOS, D. B. *et al.* Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio São José, Cascavel, PR. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 5, n. 2, p. 7-18, 2012.

SILVA, A. C. C.; MARIANI, L.; GONZÁLEZ, R. H. A. **Fundamentos da gestão territorial para recursos hídricos e caracterização de bacias hidrográficas: unidade 1**. Brasília:

ANA, 2012.

SILVA, J. S. V.; ABDON, M. M. Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n. especial, p. 1703-1711, 1998.

OPENTOPOGRAPHY. **Copernicus global digital elevation models**. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.5069/G9028PQB>. Acesso em: 3 mar. 2023.

SOUZA, Ênio Gomes Flôr. **Delimitação e caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Riacho do Navio, Pernambuco, a partir de dados SRTM Processados no QGIS**. 2020. 22 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Georreferenciamento e Geoprocessamento) - Instituto Nacional de Ensino e Pesquisa, Serra Talhada, 2020.

TELES, B. B. *et al.* Gestão de Recursos Naturais: Estudo de caso na Bacia Hidrográfica do Rio Jacaré, Sergipe. **Revista ADMpg Gestão Estratégica**, v. 9, n. 1, p.83-89, 2016.

TOMAZONI, J. C.; GUIMARÃES, E.; GOMES, T. C., SILVA, T. G. Uso de modelo digital de elevação gerados a partir do ASTER GDEM e SRTM para caracterização de rede de drenagem. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 2, 365-376, 2011.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2015. 944 p.

VANZELA, L.S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 1, p. 55-64, 2010.

XAVIER, A. C. *et al.* Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 6, p. 2644- 2659, 2015.