

**INSTITUTO FEDERAL**  
**GOIANO**  
Câmpus Rio Verde

**ENGENHARIA AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO MORFOMÉTRICA E BIOFÍSICA DA  
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA LAJE, RIO  
VERDE, GOIÁS.**

**BRUNA DIAS SILVA**

**Rio Verde, GO**

**2021**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E  
TECNOLOGIA GOIANO – CAMPUS RIO VERDE  
ENGENHARIA AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO MORFOMÉTRICA E BIOFÍSICA DA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA LAJE, RIO VERDE, GOIÁS.**

**BRUNA DIAS SILVA**

Trabalho de Curso apresentado ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Dr. Lucas Peres Angelini

Rio Verde – GO

2021

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP  
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
**Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano**

SSI586  
a Silva, Bruna  
AVALIAÇÃO MORFOMÉTRICA E BIOFÍSICA DA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA LAJE, RIO VERDE, GOIÁS.  
/ Bruna Silva; orientador Lucas Peres Angelini. --  
Rio Verde, 2021.  
41 p.

TCC (Graduação em Engenharia Ambiental) --  
Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2021.

1. Albedo. 2. NDVI. 3. Recursos hídricos. I. Peres  
Angelini, Lucas, orient. II. Título.

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

**Identificação da Produção Técnico-Científica**

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese                          | <input type="checkbox"/> Artigo Científico              |
| <input type="checkbox"/> Dissertação                   | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro              |
| <input type="checkbox"/> Monografia - Especialização   | <input type="checkbox"/> Livro                          |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC - Graduação    | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional | - Tipo:   |

Nome Completo do Autor: Bruna Dias Silva

Matrícula: 2016102200740062

Título do Trabalho: AVALIAÇÃO MORFOMÉTRICA E BIOFÍSICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA LAJE, RIO VERDE, GOIÁS.

**Restrições de Acesso ao Documento**

Documento confidencial:  Não  Sim, justifique: \_\_\_\_\_

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 02/07/2021

O documento está sujeito a registro de patente?  Sim  Não

O documento pode vir a ser publicado como livro?  Sim  Não

**DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA**

O/A referido/a autor/a declara que:

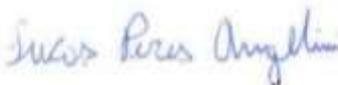
- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde, 25/06/2021.



Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:



Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 87/2021 - GGRAD-RV/DE-RV/CMPRV/IFGOIANO

### ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

No dia 04 de junho de 2021, às 14:00 horas, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: Lucas Peres Angelini (orientador), Édio Damásio da Silva Júnior (membro), Andriane de Melo Rodrigues (membro), para examinar o Trabalho de Curso intitulado "AVALIAÇÃO MORFOMÉTRICA E BIOFÍSICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA LAJE, RIO VERDE, GOIÁS" da estudante **Bruna Dias Silva**, Matrícula nº2016102200740062 do Curso de Engenharia Ambiental do IF Goiano - Campus Rio Verde. A palavra foi concedida a estudante para a apresentação oral do TC, houve arguição da candidata pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela **APROVAÇÃO** da estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

*(Assinado Eletronicamente)*

Lucas Peres Angelini (IF Goiano - Rio Verde)

Orientador(a)

*(Assinado Eletronicamente)*

Édio Damásio da Silva Júnior (IF Goiano - Rio Verde)

Membro

*(Assinado Eletronicamente)*

Andriane de Melo Rodrigues (IF Goiano - Rio Verde)

Membro

**Observação:**

( ) O(a) estudante não compareceu à defesa do TC.

Documento assinado eletronicamente por:

- **Edio Damasio da Silva Junior**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 14/06/2021 18:39:53.
- **Lucas Peres Angelini**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 07/06/2021 19:16:01.
- **Andriane de Melo Rodrigues**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 04/06/2021 15:52:30.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 04/06/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 276342

Código de Autenticação: 4b2b2e1275



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Rio Verde

Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, None, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970

(64) 3620-5600

## DEDICATÓRIA

*Dedico a minha mãe, Lásara Dias Moraes por todo o incentivo, amor e ensinamentos. E ao meu tio Antônio Moraes Dias, que conseguiu formar todas as suas irmãs, servindo como exemplo para todos os seus sobrinhos.*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, a Deus por sempre está iluminando meus passos e sempre me proporcionando energia e sabedoria para concluir este trabalho.

Agradeço minha família, principalmente minha mãe, Lásara Dias Moraes por sempre me apoiar, aconselhar e fazer de tudo para que esses anos se tornassem mais leves. Também ao meu pai, Cledson Pereira da Silva, por sempre me incentivar em todas minhas escolhas durante este percurso.

Ao meu professor orientador, Lucas Peres Angelini, por toda a paciência que teve comigo e por todos os ensinamentos passados durante este trabalho e anos de iniciação científica.

Aos colegas de laboratório Nivalda, Luciane, Geovana, Lucas e Wellmo, por todos os ensinamentos, ajudas e companhias diárias desde o primeiro dia que iniciei este trabalho.

Aos meus amigos que a engenharia ambiental me proporcionou em especial Maria Antonia, Mikelle Ferreira e Arilson, vocês tornaram estes cinco anos inesquecíveis, desde os perrengues que passávamos em provas até viagens, festas e cafés na lanchonete do Instituto.

Aos meus amigos Guilherme Medeiros, Gabrielly Franca, Maria Clara, Pablo, Ana Cristina e Janison, vocês foram extremamente importantes. Não tenho como mensurar meu carinho por vocês.

Ao Diretório Acadêmico Extinta e Liga das Engenharias Alpha, por todos os eventos acadêmicos, esportivos e festivos, pois os mesmos proporcionaram lembranças que carregarei por todos os anos que estão por vir.

Aos professores do curso de Bacharel em Engenharia Ambiental, do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, por todo o conhecimento e vivência compartilhado.

## RESUMO

Os recursos hídricos são indispensáveis para a vida humana, tanto para o abastecimento urbano, quanto para desenvolvimento de atividades agropecuárias e industriais. A contaminação por esgoto doméstico, ocupação das margens dos rios e o desmatamento tem acarretando inúmeros impactos ambientais. Nesse sentido, a Política Nacional de Recursos Hídricos estabelece o gerenciamento de recursos hídricos como uma de suas diretrizes. O uso do geoprocessamento como ferramenta de gestão de bacias hidrográficas tem grandes potencialidades, pois permite uma análise espaço-temporal das bacias a um baixo custo. Portanto, esse estudo teve como objetivo avaliar a morfometria e índices biofísicos da bacia hidrográfica do Ribeirão da Laje em Rio Verde, GO, através de técnicas de geoprocessamento. Foi possível verificar que a área de estudo possui uma área de 431,55 km<sup>2</sup> e um perímetro de 141,1 km, sendo assim a mesma possui um formato mais alongado, não sendo favorável a inundações, sendo classificada com de 4º ordem. A bacia possui um relevo suave ondulado, sendo predominante para atividades agropecuárias, onde são uma classe influente na bacia, pois a mesma apresenta uma classe de 78,23% no uso do solo, influenciando nos índices de vegetação por diferença normalizada (NDVI - Normalized Difference Vegetation Index) e albedo nos períodos de estiagem e chuvoso. O NDVI apresentou uma maior variação no período chuvoso nas classes de vegetação e área construída, já no período seco apresentou uma variação maior nas classes de vegetação e agricultura. O albedo apresentou poucas mudanças nos períodos de chuvosos e de estiagem nas classes de vegetação e construção, já as áreas de agricultura apresentaram redução de 38% do albedo durante a estação seca. De maneira geral, é possível compreender o comportamento da bacia hidrográfica e distinguir áreas com impactos antrópicos com vegetação natural, possibilitando uma gestão a baixo custo da mesma.

Palavras-chave: Albedo; NDVI; Recursos hídricos.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICO.....	13
2.1 Geral .....	13
2.2 Específicos .....	14
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	14
3.1 Monitoramento de Bacias Hidrográficas por Geoprocessamento .....	14
3.2 Análises morfométricas .....	15
3.2.1 Coeficiente de compacidade .....	15
3.2.2 Fator de forma .....	16
3.2.3 Índice de rugosidade.....	16
3.2.4 Densidade hidrográfica.....	16
3.2.5 Índice de circularidade.....	17
3.2.6 Declividade do canal principal .....	17
3.2.7 Amplitude altimétrica máxima .....	17
3.2.8 Índice de sinuosidade do rio principal.....	17
3.2.9 Razão de relevo da bacia .....	18
3.2.10 Densidade de drenagem.....	18
3.2.11 Coeficiente de manutenção.....	18
3.2.12 Extensão do percurso superficial.....	19
3.3 Classificação do uso do solo.....	19
3.4 Estimativa de índices biofísicos .....	20
3.4.1 NDVI .....	20
3.4.2 Albedo .....	20
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
4.1 Área de Estudo .....	20
4.2 Aquisição dos Dados Orbitais .....	21
4.3 Variáveis Morfométricas .....	22
4.4 Processamento das Imagens .....	24
4.5 Análises de Dados .....	24
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	25
5.1 Uso e Ocupação do Solo.....	25
5.2 Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica Ribeirão Laje.....	27
5.2.1 Características geométricas .....	27

5.2.2 Características de relevo .....	28
5.2.3 Características da rede de drenagem .....	32
5.3 Índices Biofísicos .....	35
6 CONCLUSÃO.....	37
7 REFERÊNCIAS .....	38

# 1 INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos são indispensáveis para a vida humana, tanto para abastecimento quanto para o desenvolvimento de atividades agrícolas e industriais (ALVES et al., 2017). O Brasil é um país dotado de grandes reservas hídricas superficiais e biodiversidade aquática, mas com uma distribuição desigual, refletindo em uma escassez em diversas regiões do país (ANA, 2015). Este quadro tem sido agravado em conjunto de relações entre às atividades econômicas e desenvolvimento urbano, provocando mudanças diretas na paisagem natural (NUNES, 2020).

O crescente consumo urbano, a contaminação por esgoto doméstico, ocupação das margens dos rios e desmatamento da mata ciliar para exploração agrícola e pecuária, tem gerado um desequilíbrio ao ecossistema aquático, e conseqüentemente a deterioração das fontes de água a nível de bacia hidrográfica (SILVA et al., 2008; TORRES e FABIAN, 2006). Desta maneira, a intensificação dos processos agrícolas, industriais e urbanos vivenciado nos últimos anos, tem acarretado em inúmeros impactos socioambientais, resultando em uma crescente contaminação de corpos d'água e a redução na disponibilidade de água.

O monitoramento dos recursos hídricos é previsto pela Lei 9.433/97, sendo realizado mediante as análises das bacias hidrográficas. No entanto, observa-se altos custos e restrições em escala espacial e temporal para monitoramentos *in situ* das bacias (SHEELA et al., 2011; MACHADO e BAPTISTA, 2016).

No Brasil, somente 27% dos recursos hídricos superficiais estão disponíveis para 95% da população, sendo uma vazão de aproximadamente 33.777.297 m<sup>3</sup>/ano derivada de mananciais destinado para a agricultura (LIMA, 2001). No município de Rio Verde a Bacia Ribeirão da Laje fornece de 100 a 110 L.s<sup>-1</sup> de água utilizada para abastecimento urbano, propriedades rurais e uso na agricultura para irrigação, além de suprir os municípios de Santa Helena de Goiás e Santo Antônio Da Barra (ALVES et al., 2018).

Informação sobre a “Alocação negociada da água no Ribeirão Lage”, junto ao CBH Bois (2019):

Art. 3º Definir, na bacia do Ribeirão Lage, a montante do ponto de coordenadas 17º 44' 25.2”S; 50º 55' 13.8”W a alocação de água aos seguintes usuários e nos quantitativos descritos abaixo:

I – 26,0 l/s (vinte e seis litros por segundo) aos Produtores Rurais da bacia;

II – 60,0 l/s (sessenta litros por segundo) a SANEAGO S.A;

Nesse sentido, o uso do geoprocessamento como ferramenta de gestão de bacias hidrográficas tem grandes potencialidades, pois permite uma análise espaço-temporal das bacias à baixo custo, e em áreas de difícil acesso (SILVA et al., 2014). O que permite identificar usos predominante, principais atividades econômicas e por consequência, identificar potenciais agentes poluidores a nível de bacia hidrográfica (ALVES et al., 2016). Esses resultados podem ser obtidos a partir de uma análise criteriosa de uso e ocupação do solo associada a uma análise morfométrica da bacia (SILVA et al., 2014; ALVES et al., 2016).

As técnicas de classificação de uso do solo têm sido aplicadas em diversas linhas de pesquisa para compreender a magnitude do avanço das atividades antrópicas no espaço (SHARMA et al., 2013; ALVES et al., 2016;). A maioria dos algoritmos utilizados para classificação do uso do solo têm como base o uso de índices de vegetação, em especial o índice de área foliar (IAF) e o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) (SHARMA et al., 2013).

Entretanto, essas técnicas falham quando a superfície apresenta uma alta complexidade com diversas assinaturas espectrais, sendo necessário técnicas com maior poder de distinção, como os algoritmos de decisão hierárquico (SHARMA et al., 2013).

Além disso, há necessidade da análise de parâmetros da superfície com o aumento da substituição de coberturas superficiais naturais (TOFFOLLI, RODRIGUES JUNIOR e FERREIRA, 2019).

O monitoramento dos corpos hídricos com a integração de técnicas geoprocessamento é uma importante ferramenta de gestão de grandes regiões e pode nortear políticas públicas de gestão de recursos hídricos. No caso da bacia do Ribeirão da Laje, estudos nesse sentido podem fornecer informações acerca usos predominantes e solidificar o conhecimento para possíveis tomadas de decisão de entes públicos, tais como os comitês de bacias e órgãos ambientais.

## **2 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICO**

### **2.1 Geral**

Avaliar a morfometria e índices biofísicos da bacia hidrográfica do Ribeirão da Laje em Rio Verde, GO através de técnicas de geoprocessamento.

## **2.2 Específicos**

- a) Delimitar a bacia hidrográfica do córrego da Lajes através de técnicas de geoprocessamento no município de Rio Verde.
- b) Estimar os índices NDVI e Albedo da superfície através de técnicas de geoprocessamento.
- c) Avaliação do uso e ocupação do solo atual para a bacia hidrográfica do Ribeirão da Laje através de técnicas de geoprocessamento.
- d) Relacionar o uso solo com os índices biofísicos, bem como as características morfométricas da bacia.

## **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **3.1 Monitoramento de Bacias Hidrográficas por Geoprocessamento**

A Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelece na como diretrizes gerais da política as articulações do planejamento de recursos hídricos com os setores e usuários, bem como a gestão de recursos hídricos com o uso do solo (BRASIL, 1997). Nesse sentido, a política solidifica a necessidade de integrar a relação entre os usos e ocupação do solo com respectivos impactos aos recursos hídricos.

Visando preencher essa demanda de conhecimento estabelecida na política supracitada, muitos estudos foram feitos e metodologias foram desenvolvidas com vistas no monitoramento e gestão dos recursos hídricos em nível de bacias hidrográficas (SILVA et al., 2014; SILVA et al., 2015; ALVES et al., 2016; SANTOS et al., 2018). No sentido regional (Centro-oeste e Goiás), alguns estudos têm focado em relacionar as características físicas e morfométricas com a qualidade da água (ALVES et al., 2016;2018; SANTOS et al., 2018).

As informações resultantes desses estudos têm apontado para uma drástica mudança de uso do solo nas últimas décadas na região sudoeste goiana (ALVES et al., 2016). O que pode resultar em alterações dos parâmetros físico-químicos e biológicos da água, tendo em vista o intenso uso para agricultura, pecuária e indústria (ALVES et al., 2016). Parte desse fenômeno ser constatado em análises da qualidade das águas das bacias dos Córregos do sapo e Barrinha, ambas dentro da área urbana (SANTOS et al., 2018). Nesses casos, observou-se mudanças nos parâmetros físico-químicos da água (MORAIS, et al., 2016).

Neste sentido, o monitoramento de bacias hidrográficas como instrumento de gestão através de técnicas de geoprocessamento tem sido aplicado em diferentes regiões do Brasil (SILVA et al., 2014; SILVA et al., 2015). Os resultados desses monitoramentos já demonstram avanços na gestão e no levantamento de informações, fornecendo dados para os respectivos comitês de bacias (SILVA et al., 2017).

### **3.2 Análises morfométricas**

As análises morfométricas de bacias hidrográficas constituem uma das técnicas mais importantes para conhecimento físico das bacias. Essas análises fornecem preciosas informações acerca das relações geométricas das bacias, relevo e da rede de drenagem, sendo essas informações cruciais para o entendimento e previsões de fenômenos, tais como perda de solo, risco de inundação e mudanças na qualidade da água (CORDEIRO et al., 2019; ALMEIDA et al., 2019).

As análises geométricas de bacias constituem-se em uma série de índices calculados a partir da vetorização (delimitação) das bacias hidrográficas (ALMEIDA et al., 2019). Esses índices relacionam a forma, a circularidade, a rugosidade e compacidade das bacias a partir de dados das análises do relevo e da rede de drenagem (ALVES et al., 2016; ALMEIDA et al., 2019).

Atualmente, reporta-se o uso de mais de 25 variáveis morfométricas, estimadas a partir das propostas de Horton (1945), Strahler (1952 e Christofolletti (1980). Essas variáveis têm sido estimadas a partir de técnicas de geoprocessamento em ambientes SIG, em que a principal fonte de dados são imagens do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) geradas pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), disponíveis pelo *United States Geological Survey* (USGS) e pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

#### *3.2.1 Coeficiente de compacidade*

O coeficiente de compacidade ( $K_c$ ) proposto por Villela e Mattos (1975) é representado pela relação do perímetro ( $P_c$ ) e a área da bacia ( $A$ ) (Equação 1). Este coeficiente relaciona o formato da bacia com a área de um círculo (CARDOSO et al., 2006). Quanto maior for a irregularidade da bacia maior será o seu coeficiente, ou seja, quanto menor for seu coeficiente de compacidade a bacia tenderá ser mais circular, sendo assim, terá uma maior tendência de ocorrer picos de enchentes (CARDOSO et al., 2006).

$$Kc = \frac{0,28P}{\sqrt{A}} \quad \text{Eq. (1)}$$

Este parâmetro associa principalmente o quanto a bacia hidrográfica é sucessível para enchentes, pois quanto mais o valor de coeficiente de compacidade se aproximar da unidade, mais riscos de enchentes rápidas a bacia apresentará (CARDOSO et al., 2006).

### 3.2.2 Fator de forma

O fator forma (Kf) é a relação entre comprimento axial ( $La^2$ ) com a área da bacia (A) (Equação 2). Bacias com o fator de forma baixo é menos sucessível á enchentes (VILLELA e MATTOS, 1975; CARDOSO et al., 2006). Em bacias com fator de forma baixo, possuindo uma área estreita e longa é menos possível que ocorra chuvas intensas que consiga cobrir a área total da bacia (VILLELA e MATTOS, 1975).

$$Kf = \frac{A}{La^2} \quad \text{Eq. (2)}$$

### 3.2.3 Índice de rugosidade

Segundo Melton (1957) o Índice de rugosidade (Ir) é influenciado pela relação entre altitude altimétrica (Hm) e pela densidade de drenagem da bacia (Dd) (Equação 3). Quando os valores são elevados, resultam em uma maior declividade do terreno e um maior valor da rampa, resultando em pouca drenagem e intensificando processos erosivos na bacia (SOUZA, 2012; RODRIGUES, 2008; BATISTA et al., 2018).

$$Ir = Hm * Dd \quad \text{Eq. (3)}$$

### 3.2.4 Densidade hidrográfica

De acordo com Horton (1945), a densidade hidrográfica (Dh) é verificada através da relação da área (A) e dos números de cursos existentes na bacia hidrográfica (N) (Equação 4). Este parâmetro relaciona as qualidades geológicas da bacia identificando suas características do solo, assim sendo capaz de demonstrar se tem facilidade para infiltração e escoamento superficial, realizando a formação de rios perenes (BIER,2013).

$$Dh = \frac{N}{A} \quad \text{Eq. (4)}$$

A delimitação da rede de drenagem deste trabalho foi realizada através do Modelo Digital de Elevação (MDE). O valor utilizado de números de canais da bacia hidrográfica corresponderá a quantidade de rios de primeira ordem, pois segundo Bier (2013) corresponde ao todo rio que surge de uma nascente.

### 3.2.5 *Índice de circularidade*

O Índice de circularidade (IC) proposto por Muller (1953) é demonstrado pela relação da área de drenagem (A) em m<sup>2</sup> e o perímetro (P) em m (Equação 5). Quanto mais o valor se aproxima de 1,0 sua semelhança será com formas circulares, ou seja, mais propensa a enchentes, pois em casos de precipitação é possível que atinja ao mesmo tempo toda a bacia, assim contribuindo para a infiltração em excesso no solo (BIER, 2013).

$$IC = \frac{12,57A}{P^2} \quad \text{Eq. (5)}$$

Este índice é semelhante com o fator forma e índice de compacidade, pois ambos designam valores que assemelham a forma da bacia, sendo ela circular ou alongada (BIER, 2013).

### 3.2.6 *Declividade do canal principal*

O parâmetro de declividade principal (S1) do canal é proposto por Villela e Mattos (1975), onde é a relação entre amplitude altimétrica (Hm) e comprimento em plano do curso de água principal (Lcp) em metros, demonstrado na equação 6. Segundo Lorenzo et al., (2014) este parâmetro é um dos mais importantes dentro da morfometria, pois é possível designar a propensão à ocorrência de enchentes (ALVES et al., 2018).

$$S1 = \frac{100Hm}{Lcp} \quad \text{Eq. (6)}$$

### 3.2.7 *Amplitude altimétrica máxima*

A amplitude altimétrica máxima (Hm) proposta por Strahler (1952) é dada através da relação da maior cota (P1) e menor cota (P2) encontrada na bacia, demonstrada na equação 7. Este parâmetro é importante pois através dele é possível calcular a declividade do canal, índice de rugosidade e razão de relevo da bacia.

$$Hm = P1 - P2 \quad \text{Eq. (7)}$$

### 3.2.8 *Índice de sinuosidade do rio principal*

O índice de sinuosidade do rio principal (Is) é proposto por Schumm (1963) onde relaciona comprimento em plano do curso de água principal em metros (Lcp) e o equivalente vetorial (Ev) médio em linha reta em Km (Equação 8). Através deste índice é possível identificar o grau de sinuosidade do rio principal, pois quando valores se

encontram próximos à 1,0 significa que o curso hídrico tende a ser retilíneo, já para valores acima de 2,0 indicam que o canal é mais tortuosos e valores intermediários são considerados canais transicionais, regulares e irregulares (LOPES et al., 2007).

$$I_s = \frac{L_{cp}}{E_v} \quad \text{Eq. (8)}$$

Porém a sinuosidade do canal pode ser afetada pela declividade, aspectos geológicos, carga de sedimentos e compartimentação litológica da bacia hidrográfica (LOPES et al., 2007).

### 3.2.9 Razão de relevo da bacia

A Razão de relevo da bacia ( $R_r$ ) é a relação entre a amplitude altimétrica ( $H_m$ ) e comprimento em plano do curso de água principal da bacia ( $L_{cp}$ ), proposta por Schumm (1956), expressada na equação 9. Esta razão é importante pois quanto maior a razão do relevo, maior vai ser a velocidade de escoamento e do volume do fluído no sentido do seguimento da bacia (PIEDADE, 1980; LOPES et al., 2007).

$$R_r = \frac{H_m}{L_{cp}} \quad \text{Eq. (9)}$$

### 3.2.10 Densidade de drenagem

A densidade de drenagem ( $D_d$ ) apresentado por Horton (1945) é a associação entre comprimento da rede de drenagem total ( $L_t$ ) e área da bacia ( $A$ ) manifestado na equação 10. Este parâmetro é refletido diretamente a suscetibilidade que o terreno tem para erosão (LANA et al., 2001). Segundo Cristofolletti (1974) é possível classificar o escoamento linear da água em baixa ( $<7,5\text{km/km}^2$ ), médio ( $7,5 - 10 \text{ km/km}^2$ ) e alto ( $> \text{ km/km}^2$ ).

$$D_d = \frac{L_t}{A} \quad \text{Eq. (10)}$$

### 3.2.11 Coeficiente de manutenção

O coeficiente de manutenção ( $C_m$ ) relatado por Schumm (1956) é expresso pela densidade de drenagem da bacia ( $D_b$ ) (Equação 11). Esta propriedade é considerada um dos parâmetros morfométricos mais importante para as bacias hidrográficas, pois ele fornece a área mínima para manutenção da vazão (SCHUMM 1956; LANA et. al., 2001).

$$C_m = \frac{1000}{D_d} \quad \text{Eq. (11)}$$

### 3.2.12 Extensão do percurso superficial

A extensão do percurso superficial (Eps), demonstrada por Horton (1945), está relacionada à densidade de drenagem da bacia (Dd) (Equação 12). Este valor representa a distância média que as enxurradas vão percorrer até chegar ao leito do rio, ou seja, o percurso que haverá escoamento superficial até encontrar um curso hídrico (LOPES et al., 2007).

$$Eps = \frac{1}{2Dd} \quad \text{Eq. (12)}$$

Este cálculo é similar ao de coeficiente de manutenção, pois ambos estão relacionados à densidade de drenagem da bacia. A diferença encontrada entre estes parâmetros são que o coeficiente de manutenção é o resultado da existência de um novo canal, já o índice de extensão do percurso superficial está diretamente voltado para a distância percorrida pelo fluído até chegar no curso d'água (LOPES et al., 2007).

### 3.3 Classificação do uso do solo

A classificação do uso do solo consiste na identificação espacial das atividades desenvolvidas em determinada região, ou seja, na discriminação espacial dos usos do solo em determinada região (SHARMA et al., 2013). A classificação consiste em uma das ferramentas mais importantes nos estudos a nível de bacia hidrográfica (SILVA et al., 2014; 2016). Essa variável (uso do solo), pode indicar as potencialidades das bacias em sofrerem poluições difusas, bem como, indica o nível de preservação dentro dos limites da bacia (SILVA et al., 2014; 2016).

Atualmente, inúmeras técnicas de classificação de uso do solo vêm sendo desenvolvidas ou aprimoradas (SHARMA et al., 2013). Em alguns softwares é possível realizar essa operação de maneira automatizada ou semi-automatizada, no processo conhecido como classificação não supervisionada. Contudo, essas técnicas podem não gerar produtos de classificação confiáveis, necessitando de revisões e ajustes (SHARMA et al., 2013; SILVA et al., 2016).

Para estudos mais minuciosos ou para uma superfície muito complexa, como áreas urbanas, existem propostas baseadas em algoritmos de decisão hierárquica, que utilizam índices biofísicos ou assinatura espectrais (SHARMA et al., 2013). Felizmente, a nível de bacia hidrográfica, as técnicas de classificação supervisionadas a partir dados orbitais têm provido resultados satisfatórios, com acurácia consistente para estudos hídricos (ALVES et al., 2016).

### **3.4 Estimativa de índices biofísicos**

Os índices biofísicos consistem em variáveis estimadas a partir de dados de sensores orbitais, que evidenciam o efeito dos constituintes da superfície (vegetação) na radiação eletromagnética solar (FAUSTO et al., 2014; ANGELINI et al., 2017). Esses índices forneceram informações acerca das interações macro e microscópicas da radiação na superfície (PONZONI et al., 2012). Sendo assim, esses índices podem subsidiar processos de classificação do uso do solo, efeitos físicos das atividades humanas e estágios fenológicos ou verdor da vegetação (SHARMA et al., 2013; FAUSTO et al., 2014;2016; ANGELINI et al., 2017).

#### *3.4.1 NDVI*

Dentre os índices biofísicos, destaca-se os índices de vegetação, que demonstram a intensidade e valor da vegetação na superfície (ANGELINI et al., 2017). O índice de vegetação mais utilizado em estudos ambientais é o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*), desenvolvido por Rouse et al. (1974). Esse índice relaciona as bandas do vermelho e do infravermelho próximo para obter valores entre -1 a 1, em que valores negativos indicam presença de corpos d'água e valores acima de zero para presença de algum tipo de vegetação (PONZONI et al., 2012).

#### *3.4.2 Albedo*

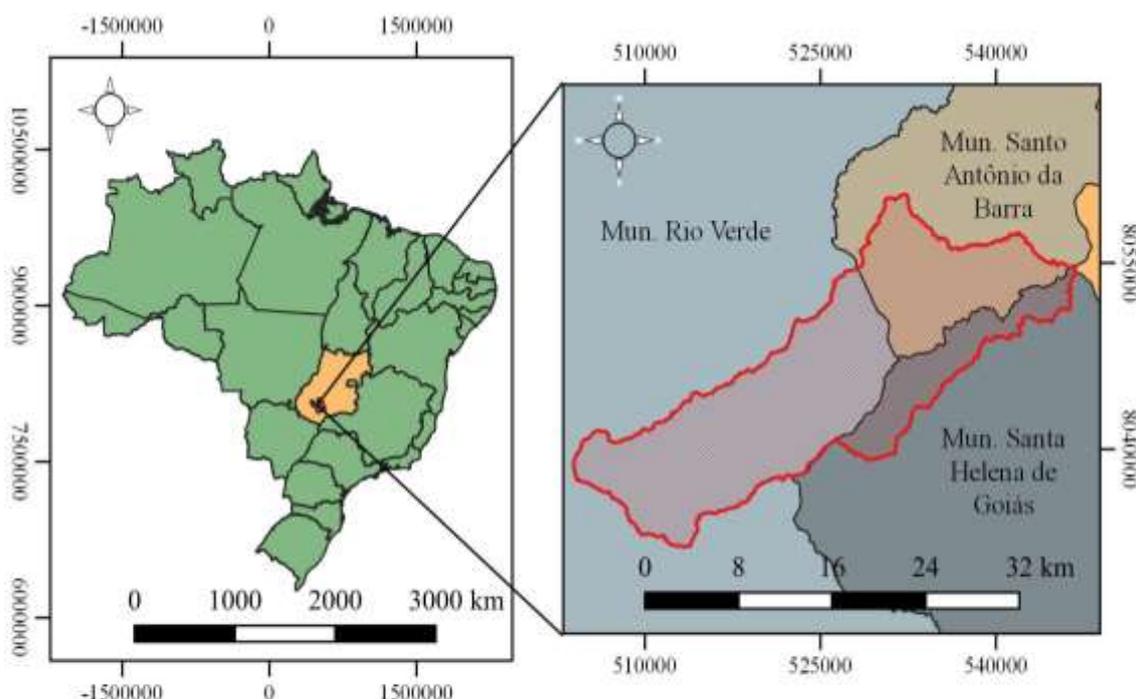
Outro índice de natureza física, mas com relações biológicas é o albedo da superfície. O albedo representa a capacidade de determinada superfície em refletir radiação eletromagnética, em um amplo espectro (banda larga) em múltiplas direções nas frações direta e difusa da radiação de onda curta (TASUMI et al., 2008). Nesse sentido, o albedo da superfície é um dos principais componentes do balanço de radiação superficial, indicando de certa maneira a capacidade da superfície em reter radiação de ondas curta (FAUSTO et al., 2014).

## **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1 Área de Estudo**

O estudo foi realizado na bacia hidrográfica do Ribeirão da Laje localizada majoritariamente no Município de Rio Verde (17° 35' 39.27'' S e 50° 32' 32.35'' W) inserido na microrregião Sudoeste do Estado de Goiás, Centro-Oeste brasileiro. O

município fica a 220 km de Goiânia, capital do Estado, e a 420 km de Brasília, capital do Brasil (Figura 1). O clima da região, segundo Köppen é do tipo Aw tropical, com chuvas concentradas no verão e período seco bem definido durante a estação de inverno (PELL et al., 2017). A média anual da precipitação é de 1.500 mm e média anual de temperatura de 23,3 ° C (INMET, 2019).



## Legenda



**Figura 1:** Mapa da área de estudo, Bacia Ribeirão da Laje, situada nos Municípios de Rio Verde, Santa Helena de Goiás e Santo Antônio da Barra, no Estado de Goiás, Brasil. Fonte: Bases disponibilizado pelo SIEG (2017), organizados pelos autores (2021), na projeção Universal Transversa de Mercador (UTM), Datum: Sirgas 2000, Hemisfério Sul – Fuso 22.

## 4.2 Aquisição dos Dados Orbitais

Neste estudo foram utilizadas imagens de modelo digital de elevação (MDE) do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) e dos sensores OLI (*Operational Land Imager*) e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) a bordo do satélite Landsat 8. As imagens serão adquiridas na plataforma ESPA (*EROS Science Processing Architecture*) do Serviço Geológico Americano (USGS).

A imagem SRTR foram coletadas em 2000 a bordo da nave espacial Endeavour e possuem resolução espacial de 90 metros, resolução radiométrica de 16 bit

disponibilizadas formato de dados espacial tipo raster (EMBRAPA, 2013). As imagens dos sensor OLI foram adquiridas como produtos de reflectância da superfície corrigida. Esse produto resulta do processamento do software LEDAPS (*Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System*) hospedado na plataforma ESPA.

O LEDAPS consiste em um complexo algoritmo que integra dados internos dos sensores (metadados) com dados externos (NCEP, NOAA e NASA) para alcançar três objetivos chaves: i) converter número digital em refletância TOA; ii) detectar pixel com nuvens a partir da refletância TOA e; iii) obter a refletância da superfície corrigida a partir da refletância TOA (SCHMIDT et al., 2013).

As imagens do sensor OLI são compostas por 9 bandas, com resoluções espaciais de 30 metros para as bandas 1-7 e 9, e de 15 metros para banda 8 (pancromática). As imagens do sensor TIRS são compostas pelas bandas 10 e 11, com resolução espacial de 90 metros. A resolução temporal do satélite Landsat 8 é de 16 dias e a resolução radiométrica de 16 bits (VERMOTE et al., 2016).

#### 4.3 Variáveis Morfométricas

A caracterização das variáveis morfométricas foi obtida em duas etapas. Na primeira, com uso das bases de dados geográficos da rede de drenagem do estado de Goiás (a partir da base 1:100.000), disponibilizada pelo SIEG, e do SRTM que foi obtido no site do USGS. Foram elaborados os mapas de: hidrografia e hierarquia da rede de drenagem, elevação e declividade da bacia. Para a declividade, considerou-se a classificação da EMBRAPA (2013), apresentada no Quadro 1.

**Quadro 1.** Classes de relevo utilizadas de acordo com sua declividade.

<b>Declividade</b>	<b>Classificação</b>
0–3%	Plano
3% – 8%	Suave-ondulado
8% – 20%	Ondulado
20% – 45%	Forte-ondulado
45% – 75%	Montanhoso
>75%	Escarpado

**Fonte:** EMBRAPA (2013).

As hierarquias dos cursos hídricos foram elaboradas conforme Strahler (1957). Nesta etapa obteve-se as seguintes variáveis morfométricas: área, perímetro, número dos cursos hídricos, comprimento axial, ponto mais alto, ponto mais baixo, altitude média,

comprimento do curso hídrico principal, comprimento total dos canais e equivalente vetorial médio em linha reta.

A segunda etapa metodológica consistiu na aplicação em equações específicas, as quais são apresentadas no Quadro 2. A partir destas equações (Quadro 2), a bacia hidrográfica foi caracterizada considerando a sua geometria, relevo e rede de drenagem.

**Quadro 2.** Equações e fontes dos índices morfométricos utilizados na caracterização da bacia do Ribeirão da Laje, no Sudoeste de Goiás.

<b>Índice morfométrico</b>	<b>Equação</b>	<b>Fonte</b>
Coeficiente de compacidade	$Kc = \frac{0,28P}{\sqrt{A}}$	Villela e Mattos (1975)
Fator de forma	$Kf = \frac{A}{La^2}$	Villela e Mattos (1975)
Índice de rugosidade	$Ir = Hm * Dd$	Melton (1957)
Densidade hidrográfica	$Dh = \frac{N}{A}$	Horton (1945)
Índice de circularidade	$IC = \frac{12,57A}{P^2}$	Muller (1953)
Declividade do canal principal	$S1 = \frac{100Hm}{Lcp}$	Villela e Mattos (1975)
Amplitude altimétrica máxima	$Hm = P1 - P2$	Strahler (1952)
Índice de sinuosidade do rio principal	$Is = \frac{Lcp}{Ev}$	Schumm (1963)
Razão de relevo da bacia	$Rr = \frac{Hm}{Lcp}$	Schumm (1956)
Densidade de drenagem	$Dd = \frac{Lt}{A}$	Horton (1945)
Coeficiente de manutenção	$Cm = \frac{1000}{Dd}$	Schumm (1956)
Extensão do percurso superficial	$Eps = \frac{1}{2Dd}$	Horton (1945)

Onde, A: área da bacia (km<sup>2</sup>), Dd: densidade de drenagem da bacia (km km<sup>-2</sup>), Ev: equivalente vetorial médio em linha reta (km), Hm: amplitude altimétrica da bacia (km), Lt: comprimento da rede de drenagem total (km), N: quantidade de canais, P: perímetro da bacia (km), P1: maior cota da bacia (m), P2: menor cota da bacia (m), La: comprimento axial da bacia (km) e Lcp: comprimento em plano do curso de água principal (m).

#### 4.4 Processamento das Imagens

As imagens SRTM e do Landsat 8 foram processadas no software Qgis versão 3.10.6 'A Caruña', realizada em três etapas: delimitação da bacia hidrográfica do Ribeirão da Laje; ii) Classificação do uso do solo e; iii) estimativa dos índices biofísicos.

A delimitação da bacia hidrográfica a partir dos dados SRTM realizou-se a partir do algoritmo r.watershed no software Qgis. A classificação do uso do solo será realizada utilizando um sistema de classificação supervisionada baseando-se em amostras de usos do solo a partir de composições RGB (bandas *red*, *green* e *blue*) das imagens do sensor OLI a bordo do satélite Landsat 8.

Os índices biofísicos utilizados serão o NDVI e o albedo da superfície, obtidos através da calculadora raster do software Qgis. O NDVI foi calculado a partir da equação (13) proposta por Rouse et al. (1974), relacionando as bandas do vermelho e do infravermelho próximo do sensor OLI.

$$NDVI = \frac{\rho_4 - \rho_5}{\rho_4 + \rho_5} \quad \text{Eq. (13)}$$

em que  $\rho_4$  corresponde a banda espectral da faixa do vermelho e  $\rho_5$  corresponde a banda espectral da faixa do infravermelho próximo.

O albedo de superfície é estimado pelo modelo parametrizado por Angelini (2018), para o sensor OLI nas condições espectrais brasileiras (Equação 14). Para a realização deste índice foi necessário a reconstrução sequencial de 100 pixels de referencia (ANGELINI, 2018).

$$\begin{aligned} \alpha_{sup} = & 0,4739\rho_2 + 0,4372\rho_3 + 0,165\rho_4 + 0,2831\rho_5 + 0,1072\rho_6 \\ & + 0,1029\rho_7 + 0,0366 \end{aligned} \quad \text{Eq. (14)}$$

onde,  $\alpha_{sup}$  corresponde ao albedo de superfície e  $\rho_2 \dots \rho_7$  são as refletâncias da superfície das bandas 2 a 7 do sensor OLI do Landsat 8.

#### 4.5 Análises de Dados

As médias dos valores de NDVI e albedo de superfície para os usos do solo amostrados foram calculadas com intervalo de confiança (IC) de  $\pm 95\%$  utilizando *bootstrapping* de 1000 iterações das reamostragens aleatórias com substituição (EFRON e TIBSHIRANI, 1993) no software R.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Uso e Ocupação do Solo

Através da classificação do uso e solo na bacia hidrográfica Ribeirão da Laje, foi possível separar os usos predominantes dentro do limite da bacia, se destacando áreas com construção, vegetação e agricultura (Quadro 3).

**Quadro 3:** Uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica Ribeirão da Laje, Goiás.

Classes	Área em hectare	S%
Construção	1.591	3,68
Vegetação	7.823	18,13
Agricultura	33.753	78,23

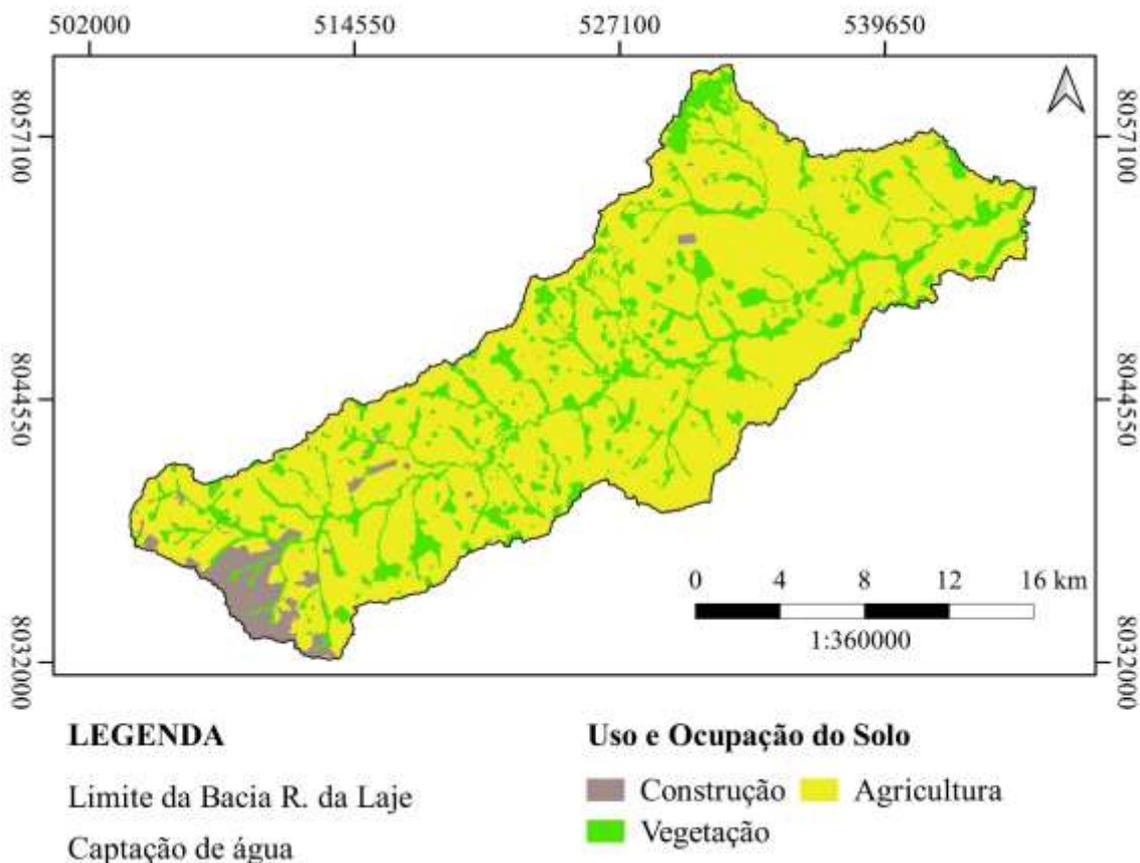
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A bacia hidrográfica Ribeirão da Laje abrange uma área de 43.145 hectares, no Quadro 3 demonstra que o valor total da área construída foi de 3,68%, mas vale ressaltar que uma pequena parte da área urbana do município de Rio Verde se encontra dentro da bacia hidrográfica. Alves et. al. (2018) apontam que nas áreas construídas da bacia hidrográfica Ribeirão da Laje destacam-se também áreas industriais e construções rurais. Dentro da classe de construção, encontra-se a Estação de Tratamento de Esgoto Chapadinha, onde a mesma possui uma vazão média de 8 L/s, com uma eficiência de 87,2% (ARANTES NETO, 2021).

É visualmente notado que em maior parte da bacia o uso do solo para a agricultura é predominante com 78,23% (Quadro 3). Foram identificadas áreas irrigadas contabilizando no total 17 pivôs centrais, podendo ocasionar problemas para os recursos hídricos superficiais e subterrâneos quando não é realizado o manejo adequado, tais como a contaminação dos mesmos por fertilizantes e agrotóxicos, além de afetar a qualidade do solo (SETTI et al., 2001). Ziani, Facco e Foletto (2018) afirmam que presenças de pivôs de irrigação em bacias hidrográficas podem resultar na pressão de determinados cursos hídricos, aumentando a demanda do consumo de água, podendo ocasionar a diminuição destes cursos hídricos.

Em maior parte da bacia se encontra vegetação apenas onde se passa o os córregos (Figura 2), assim sendo utilizadas como Áreas de Preservação Permanentes (APP's). Segundo Firkowski (2007) as APP's são muitas das vezes questionadas sobre sua atuação a longo prazo, podendo assim encontrar dificuldades de conciliar com a sua

biodiversidade e uso humano (SILVA e FRANÇA, 2013). Esta falta de vegetações pode refletir diretamente nos aspectos qualitativos e quantitativos da bacia hidrográfica, devido à proximidade entre áreas agrícolas e cursos hídricos superficiais, através dos agrotóxicos, pesticidas e fungicidas, podendo acarretar no assoreamento dos mesmos (ZIANI, FACCO e FOLETO, 2018).



**Figura 2:** Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica Ribeirão da Laje, situada nos Municípios de Rio Verde, Santa Helena de Goiás e Santo Antônio da Barra, no Estado de Goiás, Brasil. Fonte: Elaborado pelo autor (2021), na projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum: Sirgas 2000, Hemisfério Sul – Fuso 22.

Atualmente a bacia hidrográfica Ribeirão da Laje está sendo gradativamente impactada por ações antrópicas, de diferentes setores, vindo desde de desmatamentos em áreas próximas a cursos hídricos até áreas com potencial para usos como Reservas Ambientais (ALVES, 2018). Conforme o Quadro 3 é possível observar que a bacia hidrográfica possui apenas 18,13% de vegetação, somando com as Áreas de Preservação Permanente e Reservas Legais não atingem o valor estabelecido de 20% de vegetação nativa, conforme a Lei 12.651, de 25 de maio de 2012.

Foram encontradas próximo aos cursos hídricos construções e áreas desmatadas durante a construção do mapa de uso e ocupação de solo da Bacia. Almeida et. al. (2013)

afirmam que a falta de vegetação devido às ações antrópicas relacionadas à agricultura, expansão urbana e utilização de máquinas de grandes portes potencializa processos erosivos em Bacias hidrográficas (ALVES et. al., 2018).

Em um estudo Costa (2020), encontrou valores para erosividade da bacia hidrográfica Ribeirão da Laje entre 7.757,23 a 8.435,69 MJ mm ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, com valores elevados nas extensões da área de estudo, ou seja, possui um potencial suave moderado para processos erosivos (NUNES, 2019).

## 5.2 Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica Ribeirão Laje

### 5.2.1 Características geométricas

A bacia hidrográfica Ribeirão da Laje apresenta 43.155 hectares, um perímetro de 141,1 km e comprimento axial de 42,76 km<sup>2</sup>, possibilitando a caracterização geométrica da área de estudo (Tabela 1).

**Tabela 1.** Caracterização geométrica da Bacia Ribeirão da Laje, Goiás.

<b>Características Físicas</b>	<b>Resultados</b>
Área (A)	431, 55 km <sup>2</sup>
Perímetro (P)	141,1 km
Comprimento axial (La)	42,76 km <sup>2</sup>
Coefficiente de compacidade (Kc)	1,90
Fator de forma (Kf)	0,23
Densidade hidrográfica (Dh)	0,17 canais.km <sup>2</sup>
Índice de circularidade (Ic)	0,27

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O coeficiente de compacidade da Bacia Ribeirão da Laje é de 1,90, associado ao fator forma que foi de 0,23 e o Índice de circularidade que apresentou o valor de 0,27, é possível afirmar que a bacia hidrográfica não possui um formato de uma circunferência, ou seja, ela possui um formato mais alongado (TONELLO et al., 2006). Sendo assim, a área em estudo se encontra longe de inundações em anos com precipitações normais (DUARTE et al., 2007). Santos et al. (2012) apresentou valores semelhantes nas sub-bacias Perdizes e Fojo, afirmando assim que não possuem valores altos de escoamento superficial (VILLELA e MATTOS, 1975).

A densidade hidrográfica encontrada é de 0,17 canais/km<sup>2</sup>, apresentando uma baixa capacidade de formação de novos canais (SANTOS e MORAIS, 2012). Pois

segundo Lana et al. (2001) quando este coeficiente apresentar o valor superior a 2,00 canais/km<sup>2</sup>, a bacia hidrográfica estará propícia a formação de novos canais (SANTOS et al., 2012). Alves et al. (2020), encontrou resultados semelhantes na bacia hidrográfica Rio Verdinho, onde a mesma apresenta uma boa capacidade de infiltração devido à dificuldade da água precipitada de encontrar um curso hídrico próximo.

### 5.2.2 Características de relevo

Em termos das características do relevo são apresentados na Tabela 2, onde a hipsometria é demonstrada na Figura 3, e declividade na Tabela 2 e figura 4.

**Tabela 2:** Caracterização do relevo da Bacia Ribeirão da Laje, Goiás.

<b>Variáveis Morfométricas</b>	<b>Resultados</b>
Altitude máxima (P1)	869 m
Altitude mínima (P2)	520 m
Amplitude altimétrica (Hm)	349 m
Índice de sinuosidade (Is)	1,37 km.km <sup>-1</sup>
Índice de rugosidade (Ir)	188,56
Razão relevo (Rr)	5,96 m.km <sup>-1</sup>
Declividade mínima da bacia	0%
Declividade máxima da bacia	40%
Declividade média da bacia	4,23%

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A amplitude altimétrica obteve-se o valor de 349 metros, não apresentando um relevo montanhoso, influenciando na quantidade de radiação que chegará a superfície da bacia, podendo afetar nos valores dos índices biofísicos da bacia como a evapotranspiração, temperatura e albedo (TONELLO et al., 2006; SANTOS et al., 2012). Soares e Souza (2012) apresentaram valores semelhantes, afirmando que a bacia hidrográfica José dos Pinhais em Paraná, possui uma vazão lenta em sua jusante devido a amplitude altimétrica (BRISKI, 2004).

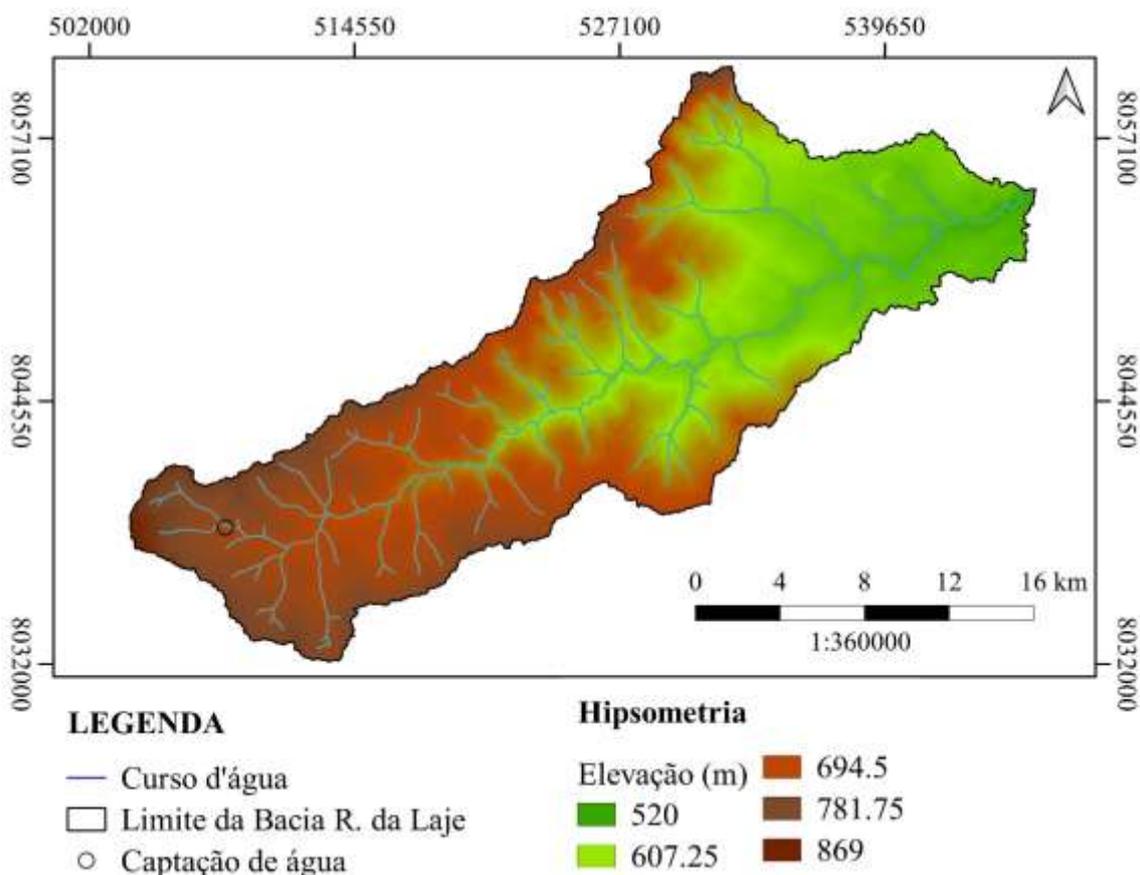
O índice de sinuosidade foi de 1,37 km.km<sup>-1</sup>, sendo assim a bacia apresenta um canal mais retilíneo, ou seja, um curso hídrico mais próximo a linha reta (LOPES et al., 2007). A bacia hidrográfica Rio Lago Verde, situada no município de Lagoa da Confusão – TO, apresentou valores semelhantes ao da área em estudo, com o valor de 1,30 km.km-

<sup>1</sup>, sendo assim a mesma apresenta pouca influência geológica no local (SANTOS e MORAIS, 2012).

O índice de rugosidade apresentou o valor de 188,56, segundo Batista et. al., (2017) valores muito altos de rugosidade se resultam em um terreno mais com mais declividade, podendo assim colaborar para escoamento superficial e erosão hídrica (SOUZA e RODRIGUES, 2012). Calil et al. (2012) apresentou valores semelhantes em uma análise das sub bacias da bacia hidrográfica do Alto Meia Ponte, onde foram classificado 7 sub bacias, e as mesmas variam nos valores entre 149,7 e 309,4.

O fator de relevo da bacia é de 5,96 m.km<sup>-1</sup>, neste sentido é indicado que a razão relevo é baixa. Em uma classificação semelhante na bacia hidrográfica do Rio Verdinho Alves et al. (2020) apresentada valores próximos (3,43 m.km<sup>-1</sup>), onde os autores mencionam que devido ao valor baixo a bacia possui uma boa capacidade de infiltração, tendo como consequência pouca probabilidade de erosão e assoreamento (ALVES et al., 2016).

A altimetria é importante para compreender as análises de energia da bacia hidrográfica, ou seja, através de seu estudo é possível demonstrar áreas que possuem condições favoráveis a dissecação como áreas de maior altitude, e áreas de acumulação como as que possuem menor altitude (TRENTIN e ROBAIANA, 2005; BOLORATI, 2019). Neste sentido, a elevação da bacia Ribeirão da Laje (Figura 3 e Tabela 2) variou de 520 metros à 869 metros.



**Figura 3:** Altitude da área de estudo, Bacia Ribeirão da Laje, situada nos Municípios de Rio Verde, Santa Helena de Goiás e Santo Antônio da Barra, no Estado de Goiás, Brasil. Fonte: Elaborado pelo Autor (2021), na projeção Universal Transversa de Mercador (UTM), Datum: Sirgas 2000, Hemisfério Sul – Fuso 22.

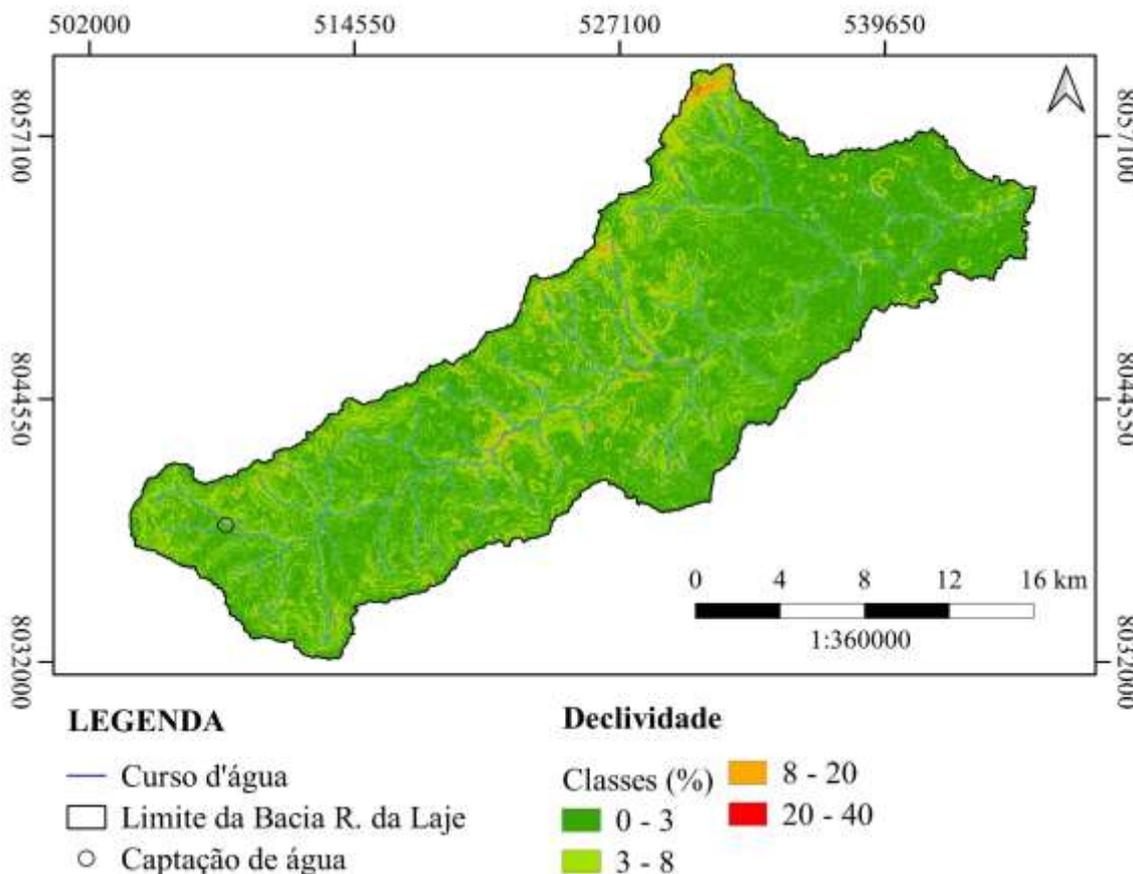
Alves et al. (2020) encontrou valores semelhantes para a Bacia Hidrográfica Rio Verdinho, situada também no município de Rio Verde - Goiás, onde foi obtido a elevação de 510 metros como menor ponto e 960 como maior ponto. Para valores de altitudes altas e no exutório da bacia hidrográfica, Menezes et al. (2014) afirma que ocorre um aumento da velocidade média no escoamento do rio (ALVES et al., 2020). Neste sentido, o valor da velocidade escoamento da bacia hidrográfica Ribeirão da Laje é considerado baixo, devido aos valores de altitude e declividade encontrados.

A declividade média encontrada na baía foi de 4,23% coincidindo com o relevo suave – ondulado. Na Tabela 2 e figura 3 apresentam as distribuições dos valores obtidos através da reclassificação seguindo as classes apontadas no Quadro 1.

**Tabela 3:** Declividade em determinados pontos da bacia hidrográfica Ribeirão da Laje.

Relevo	Área (Km)	S%
Plano	151,66	35,15
Suave – ondulado	236,59	54,83
Ondulado	42,12	9,76
Forte -ondulado	1,08	0,25

Fonte: Elaborado conforme a classificação Embrapa (2013).



**Figura 4:** Declividade da área de estudo, Bacia Ribeirão da Laje, situada nos Municípios de Rio Verde, Santa Helena de Goiás e Santo Antônio da Barra, no Estado de Goiás, Brasil. Fonte: Elaborado pelo Autor (2021), na projeção Universal Transversa de Mercador (UTM), Datum: Sirgas 2000, Hemisfério Sul – Fuso 22.

O relevo da bacia hidrográfica apresentou uma grande oscilação entre as classes de plano e ondulado, com um pequeno porcentual de declividade forte - ondulado (Tabela 2). Neste sentido, a declividade da bacia hidrográfica Ribeirão da Laje nas áreas com menores valores são adequadas para plantios anual, desde que tenha práticas de uso e conservação do solo para controlar e evitar processos erosivos (CORSEUIL e CAMPOS, 2007; FINK et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2013).

Sendo assim, a classe forte – ondulado apresentou apenas 0,25% (Tabela 2), tornando-se uma área com características para atividades de pecuária, silvicultura e áreas voltadas para preservação ambiental (CORSEUIL e CAMPOS, 2007; FINK et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2013). Para classes acima de 20% são denominadas como áreas vulneráveis a processos de encostas, facilitando a perda de solo, conseqüentemente do escoamento da água sob o efeito de gravidade (OLIVEIRA et al., 2013; CALDERANO, et al., 2014; ALVES et al., 2018).

Alves et al. (2018) apresentou valores semelhantes no relevo da bacia Ribeirão da Laje, onde os valores oscilaram entre 0% a 44,18 %, com uma declividade média de 4,43%. Já a Bacia Hidrográfica Ribeirão das Abóboras situada também no município de Rio Verde, apresentou uma declividade menor, variando entre 0% a 26%, sendo predominante o relevo suave-ondulado (ALVES et al., 2016).

### 5.2.3 Características da rede de drenagem

Os resultados obtidos da rede de drenagem são apresentados na Tabela 4 e Figuras 5 e 6, obtida através da base de dados do Sistema Estadual de Geoinformação (SIEG, 2017).

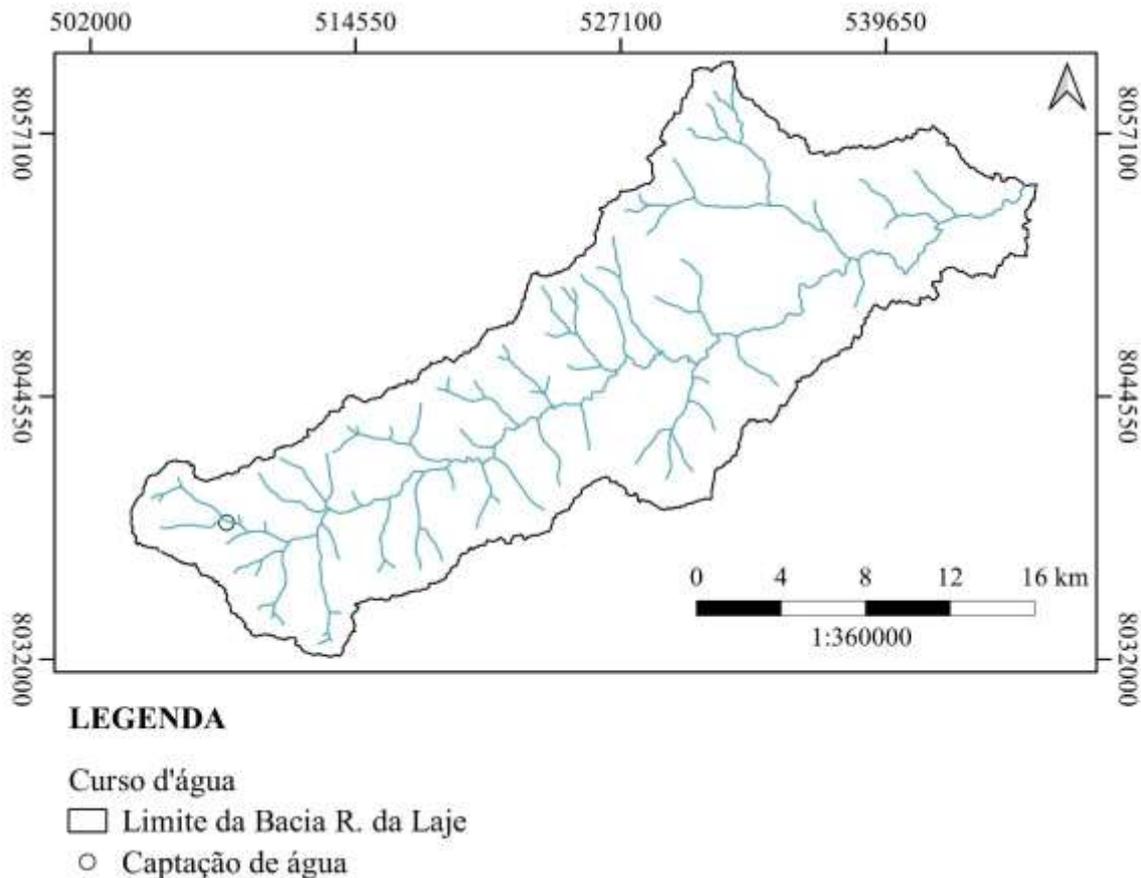
**Tabela 4:** Caracterização da rede de drenagem da Bacia Hidrográfica Ribeirão da Laje.

Variáveis	Resultados obtidos
Número de canais (N)	74
Ordem do curso hídrico principal	4º ordem
Comprimento da rede de drenagem total (Lt)	233,17 km
Comprimento do canal principal (Lp)	30,36 km
Equivalente vetorial em linha reta (EV)	42,5 km
Densidade da drenagem (Dd)	0,54 km/km <sup>2</sup>
Coefficiente de manutenção (Cm)	1.850,77m <sup>2</sup> /m <sup>-1</sup>
Extensão do percurso superficial (Eps)	0,92 km

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

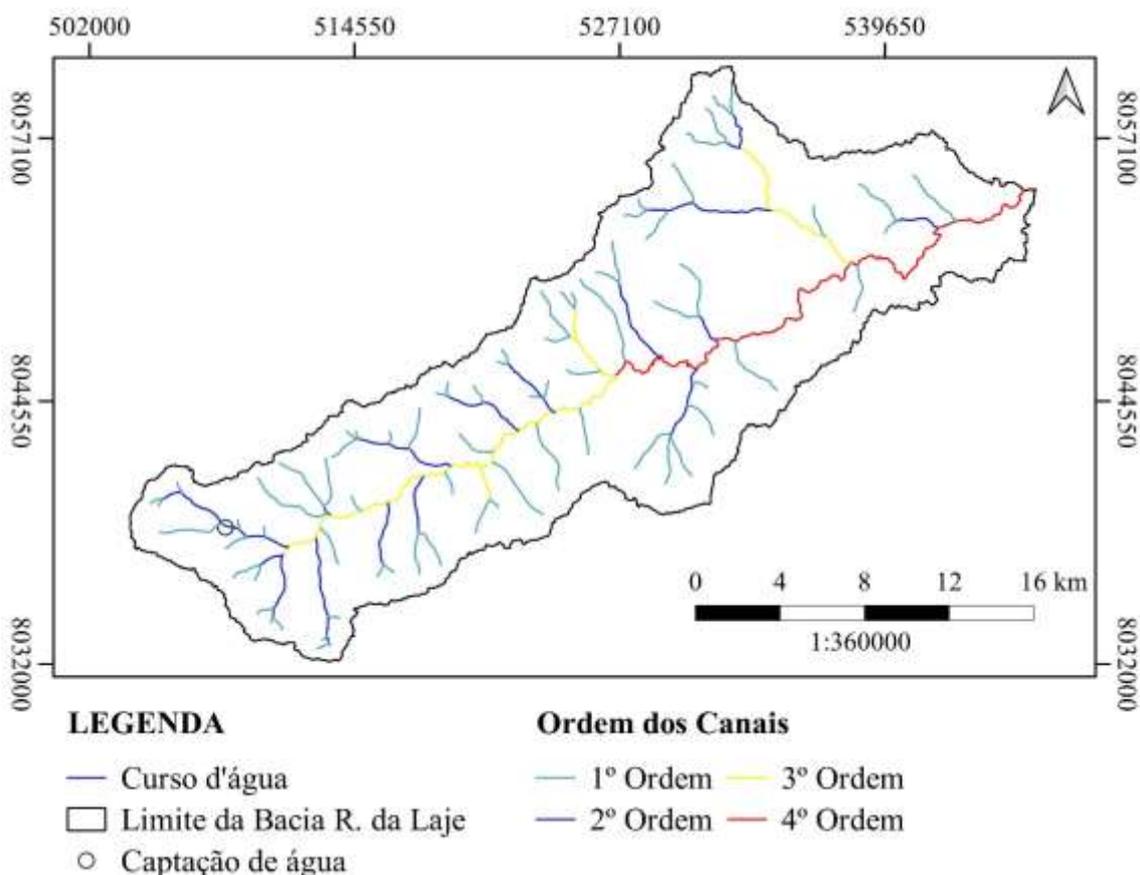
A Bacia hidrográfica Ribeirão da Laje apresenta 74 cursos hídricos onde os principais são: Ribeirão Laje, Córrego Capivara, Córrego da Divisa, Córrego Arrozal, Córrego de Furna, Córrego do Monjolinho, Córrego da Lajinha, Córrego das Pedras, Córrego da Laje, córrego do Gordura, Córrego Taperão, Córrego do Pontal, Córrego da Estiva, Córrego do Trabalho e Córrego Veredinha (ALVES et al., 2018).

Conforme a classificação global, a bacia hidrográfica Ribeirão da Laje pode ser classificada como uma drenagem dendrítica, ou seja, o desenho de sua drenagem no total se assemelha a uma árvore (Figura 4), onde se resultou em uma predominância de formações sedimentares/areníticas da região (CHRISTOFOLETTI, 1980; ALVES et al., 2020).



**Figura 5:** Hidrografia da Bacia Hidrográfica Ribeirão Laje, situada nos Municípios de Rio Verde, Santa Helena de Goiás e Santo Antônio da Barra, no Estado de Goiás, Brasil. Fonte: Elaborado pelo Autor (2021), na projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum: Sirgas 2000, Hemisfério Sul – Fuso 22.

Os sistemas lóticos são classificados em três classes de tamanho: rios de 1ª a 3ª ordem são as cabeceiras, rios de 4ª a 6ª ordem são considerados de trechos médios, já rios de 7ª ordem ou superior é denominado grandes rios (SILVEIRA, 2004).



**Figura 6:** Hierarquia de canais da Bacia Hidrográfica Ribeirão Laje, situada nos Municípios de Rio Verde, Santa Helena de Goiás e Santo Antônio da Barra, no Estado de Goiás, Brasil. Fonte: Elaborado pelo Autor (2021), na projeção Universal Transversa de Mercador (UTM), Datum: Sirgas 2000, Hemisfério Sul – Fuso 22.

Através das hierarquias dos cursos hídricos propostas por Strahler (1957), é possível observar que a bacia ribeirão laje é de quarta ordem, possuindo no total de 74 cursos hídricos (Figura 5 e Tabela 4), onde o valor total de canais representa o valor dos números de canais de primeira ordem, dando continuidade 17 destes canais são de segunda ordem, 3 de terceira ordem e 1 de quarta ordem.

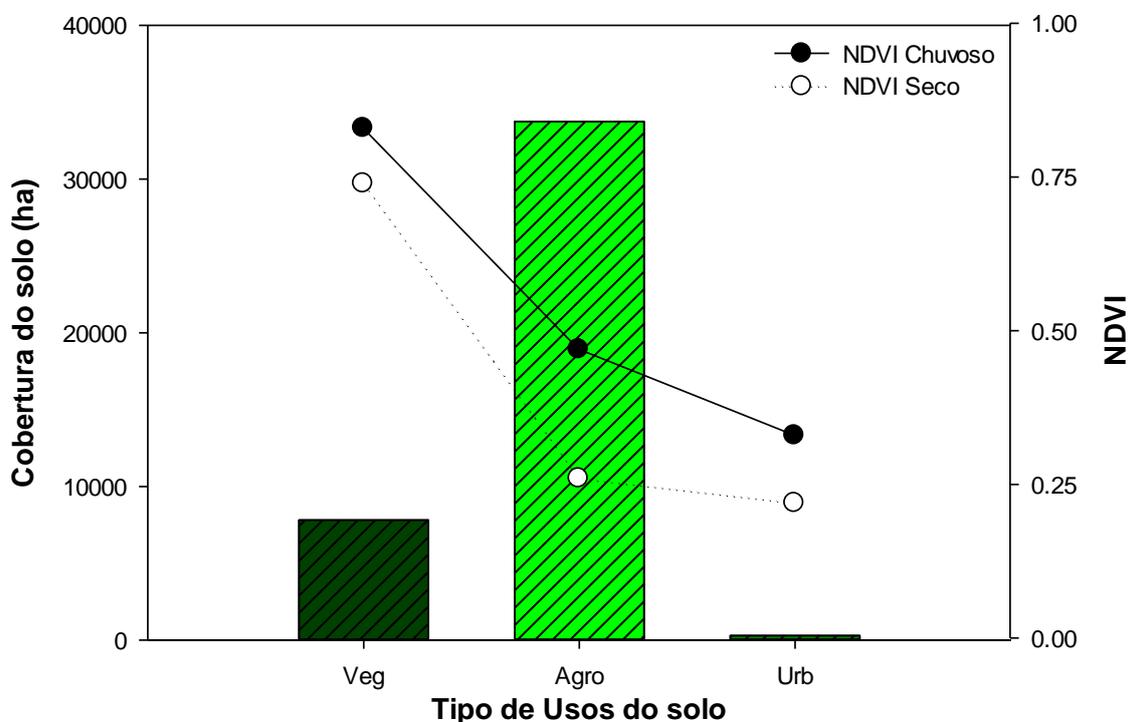
A densidade de drenagem é de 0,54 km/km<sup>2</sup>. Beltrame (1994) classifica esta variável como uma densidade média. Alves et al. (2020) encontrou valores semelhantes na bacia hidrográfica Rio Verdinho, no qual apresentou a densidade de 0,63 km/km<sup>2</sup>. Devido estas bacias apresentarem características e variáveis semelhantes, é possível considerar que esta bacia possui substrato geológico e o material pedológico são porosos (ALVES et al., 2020).

A Bacia Ribeirão da Laje apresenta o coeficiente de manutenção de 1.850,77 m<sup>2</sup>.m<sup>-1</sup> de manutenção a cada 1 metro. Sendo considerado um dos parâmetros morfométricos mais importante para as bacias hidrográficas, pois ele fornece a área

mínima para manutenção da vazão (SCHUMM 1956; LANA et. al., 2001). A extensão do percurso superficial foi de 0,92 km.km<sup>2</sup>, este valor representa a distância média que o curso hídrico vai percorrer até chegar ao leito do rio (HORTON, 1945; NUNES et. al., 2006).

### 5.3 Índices Biofísicos

O NDVI apresentou um gradiente de variação, sendo maior em áreas de vegetação (Veg) nativa e menor em áreas urbanas (Urb). A diferença do NDVI entre as coberturas do solo Veg e Urb chegou a 60% no período chuvoso e 70% no período seco. O NDVI reduziu 12% entre as estações em áreas de vegetação, reduziu 81% em áreas de agricultura e 50% em áreas urbanizadas.

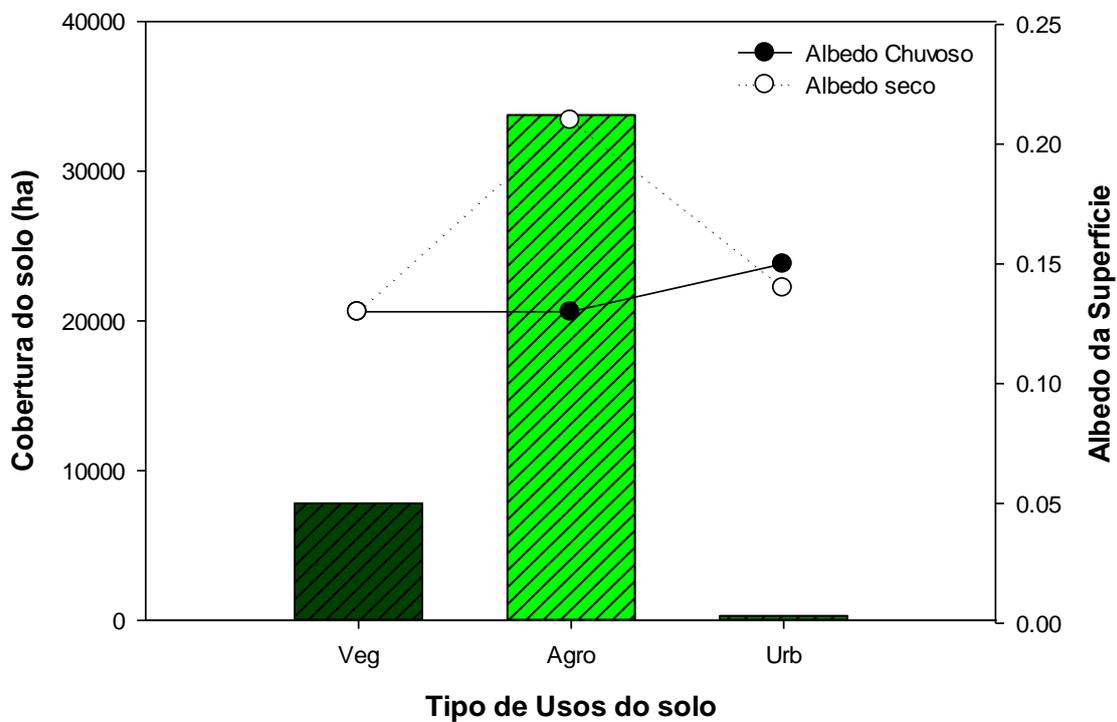


**Figura 7:** Relação sazonal entre NDVI e os diferentes tipos de uso de solo na Bacia Ribeirão Laje – GO. Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O NDVI é um índice que detecta a presença de massa verde, tendo em vista que seu cálculo foi realizada baseando-se em duas bandas com alta resposta espectral da vegetação (HUETE et al., 2002). Nesse sentido, as áreas com maior presença de vegetação possuem maiores valores de NDVI (FAUSTO et al., 2014). O NDVI em áreas de vegetação nativa de Cerrado apresentam valores típicos em torno 0,70 e em áreas de agricultura e áreas urbanas valores em torno de 0,40 e 0,30, respectivamente (FAUSTO et al., 2016; PAVÃO et al., 2017).

A variação do NDVI em resposta a sazonalidade climática está relacionada a disponibilidade de água no ambiente, ou seja, com maior aporte de água no ambiente os valores de NDVI tendem a aumentar (ANGELINI et al., 2017; PAVÃO et al., 2017). Nesse sentido, é importante observar que áreas antropizadas (Agro e Urb) tendem a apresentar maiores diferenças entre estações devido à baixa presença de vegetação ou elevado estresse hídrico da vegetação nesses ambientes (PAVÃO et al., 2017).

O Albedo da superfície apresentou comportamentos distintos entre os períodos analisados. As áreas de vegetação (Veg) e áreas urbanizadas (Urb) apresentaram poucas diferenças entre as estações. Por outro lado, as áreas de agricultura apresentaram redução de 38% do albedo durante a estação seca. O albedo da superfície em áreas de agricultura foi até 15% maior do que Veg e Urb.



**Figura 8:** Relação sazonal entre albedo da superfície e os diferentes tipos de uso do solo na Bacia Ribeirão Laje – GO. Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O albedo da superfície apresenta uma relação oposta do NDVI, nesse caso, as áreas com maiores níveis de modificação tendem a apresentar os maiores valores de albedo da superfície (NASCIMENTO et al., 2014). O albedo em áreas de vegetação tende a ser mais estável, pois as vegetações na área de estudo apresentam pouca variação do volume verde, haja vista os valores observados de NDVI anteriormente para essa cobertura do solo (ANGELINI et al., 2017).

O albedo em áreas antropizadas tendem a ser maiores tendo em vista que esse tipo de superfície possuem uma taxa de reflexão da radiação nos comprimentos entre 400-2.000 nm (LIANG et al 2002; DA SILVA et al., 2016). No caso das áreas de agricultura, os elevados valores no período seco decorrem da maior presença de solo exposto desse período, onde não há plantio (FAUSTO et al., 2016). No caso das áreas urbanas, a baixa variação do albedo da superfície está relacionada a predominância de materiais construtivos, que apresentam pouca variação das propriedades de reflexão (NASCIMENTO et al., 2014; PAVÃO et al., 2017).

## **6 CONCLUSÃO**

A bacia hidrográfica Ribeirão da Laje, apresentou uma área de 43.155 hectares, um perímetro de 141,1 km, podendo acervar que a classe de agricultura é predominante na bacia, em função da sua declividade ser adequada para plantios anuais, usufruindo cerca de 78,23% da área em estudo. Seguindo com 18,13% de vegetação, onde a maioria conta por APP's e 3,68% de área construída, já que engloba a parte urbana do município.

Através das características voltadas a rede de drenagem da bacia é possível concluir que a bacia hidrográfica possui 74 cursos hídricos com sua hierarquia de drenagem sendo de 4º ordem, podendo ser classificada como uma drenagem dendrítica.

O coeficiente de compacidade, Índice de circularidade e fator forma, apontou que a bacia estudada possui um formato mais alongado, possuindo um bom escoamento. Sendo assim, em anos com precipitações normais se encontra menor susceptibilidade a inundações.

Devido a declividade média encontrada de 4,23%, a baixa densidade hidrográfica, o índice de rugosidade e o fator de relevo da bacia é possível constatar que a área de estudo não está propícia a formação de novos canais, devido a sua boa capacidade de infiltração tendo como consequência pouca probabilidade de erosão e assoreamento.

Devido a amplitude altimétrica encontrada no valor de 349 metros é possível perceber que devido a sua declividade pode-se influenciar na radiação chegada na superfície. Nesse sentido, foi calculado o índice de albedo onde variou-se nos períodos seco e chuvoso, nas áreas de vegetação e áreas urbanizadas apresentaram poucas diferenças entre as estações. Por outro lado, as áreas de agricultura apresentaram redução de 38% do albedo durante a estação seca, apresentando maiores valores onde não se encontra plantio devido ao solo exposto.

Já o índice de NDVI apresentou maiores valores em vegetações nativas e menores valores em áreas construídas, afetando pouco nas mudanças de estações. Já na agricultura na transição do período chuvoso e período seco reduziu 81%, podendo ser justificado devido ao solo exposto na área.

Portanto, através das técnicas aplicadas neste estudo é possível compreender o comportamento da bacia hidrográfica e distinguir áreas com impactos antrópicos com vegetação natural, apresentando valores semelhantes a outros estudos comprovando as viabilidades das técnicas aplicadas e possibilitando uma gestão a baixo custo da mesma.

## **7 REFERÊNCIAS**

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Conjuntura dos recursos hídricos: informe 2014. Brasília: ANA, p. 107, 2015.

ALVES, W. S. SCOPEL, I. MARTINS, A. P.; MORAIS, W. A. Análise Morfométrica Da Bacia Do Ribeirão Das Abóboras – Rio Verde (GO). **Geociências**, v. 35, n 4, p. 568-584, 2016.

ALVES, W. S.; SANTOS, L. N. S., MEDEIROS; V. S., AQUINO, D. S; MORAIS, W. A., SALEH; PEREIRA, V. C; MOURA, D. M. B. Avaliação da Qualidade da Água e Estado Trófico do Ribeirão das Abóboras, em Rio Verde – Go, Brasil. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 36, n. 1, p. 13-29, 2017

ALVES, W. S.; SANTOS; BALBINO, M. A. P.; MARTINS, A. P.; SCOPEL, I. SILVA, H. T. F. Qualidade E Estado Trófico Da Água Na Alta Bacia Hidrográfica do Ribeirão da Laje, Em rio Verde (GO). **III fórum regional das águas e XX encontro de Geografia da UEG**, p. 295-306, 2018.

ALVES, W. S.; Martins, A. P.; MORAIS, W. A.; PÔSSA, E. M.; MOURA, D. M. B.; SANTOS, L. N. S.; FERREIRA R. S.; NUNES, N. C.; PEREIRA, M. A. B.; MOREIRA, E. P. Morfometria da Bacia Hidrográfica do Rio Verdinho, Sudoeste de Goiás, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 07, p. 3636-3658, 2020.

ANGELINI, L. P. Parametrização do albedo e correção da temperatura da superfície no balanço de energia por imagens do Landsat 8 na transição Cerrado-Pantanal. Dissertação

(Doutorado em Física Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, Mato Grosso, 2018.

ANGELINI, L. P. SILVA, P. C. B. S.; FAUSTO, M. A.; MACHADO, N. G.; BIUDES, M. S. Balanço de Energia nas Condições de Mudanças de Uso do Solo na Região Sul do Estado de Mato Grosso. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 3, 353-363, 2017.

ARANTES NETO, ALUÍSIO VIEIRA. ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS DE GESTÃO DE ESGOTO SANITÁRIO EM CONDOMÍNIOS HORIZONTAIS DO MUNICÍPIO DE RIO VERDE - GO MEDIANTE APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil), – Instituto Federal Goiano, Rio Verde, Goiás, 2021.

BATISTA, D. F.; CABRAL, J. B. P.; ROCHA, T.; BARBOSA, G. R. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do ribeirão santo antônio - go. **Geoambiente. Online**, n. 29, 16 jan. 2018.

BELTRAME, A. V. Diagnóstico do meio ambiente físico de bacias hidrográficas: modelo de aplicação. **Florianópolis: UFSC**, 112 p. 1994

BIER, F.B. Caracterização morfométrica e hidrológica da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição, Florianópolis – SC. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental), UFSC, Florianópolis, SC. 2013

BOLORATI, N. J. Análise Morfométrica e Hidrológica da Bacia do Ribeirão Estiva, Afluente do Rio Paraibuna, Juiz de Fora- Mg. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental), Universidade Federal de Juiz de Fora. 2019.

BRASIL. Lei Nº 9.433. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei Nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

BRASIL. Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro

de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 28 maio 2012

BRISKI, S. J. Análise do meio físico como suporte ao planejamento ambiental e gestão territorial do alto curso da bacia hidrográfica do Rio Iguaçu-PR (considerando os aspectos geológicos, geomorfológicos e hidro geológicos). Dissertação (Mestrado em Geologia) , UFPR. Curitiba. 2004.

CALDERANO, B. FILHO et al. Suscetibilidade dos solos à erosão na microbacia do córrego Fonseca, região Serrana do estado do Rio de Janeiro. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, Aracaju. **Anais...** Aracaju: GEONORDESTE, 2014, p. 571-576.

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

CHRISTOFOLETTI, A., Geomorfologia. Ed. Edgard Blucher Ltda, 1974 - EDUSP. 149 p.

CORSEUIL, C. W.; CAMPOS, S. Geoprocessamento aplicado na determinação das classes de declive e uso das terras na microbacia do arroio Ajuricaba, Marechal Cândido Rondon, PR. **Energia na Agricultura**, v.22, n.1, p.33-41, 2007.

EFRON, B.; TIBSHIRANI, R.J. An introduction to the bootstrap. **Chapman & Hall, New York**. p. 443, 1993.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3ª ed. Brasília: EMBRAPA; 2013.

FAUSTO, M. A.; ANGELINI, L. P.; MARQUES, H. O.; SILVA FILHO, A.; MACHADO, N. G.; BIUDES, M. S. Impacto da alteração do uso do solo no saldo de radiação no Cerrado do sul de Mato Grosso. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, n. 2, 2016.

FAUSTO, M. A.; MACHADO, N. G.; NOGUEIRA, J. S.; BIUDES, M. S. Net radiation estimated by remote sensing in Cerrado areas in the Upper Paraguay River Basin. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 8, 2014.

FINK, J.; POELKING, E. L.; CLAUDINO, A. E.; DALMOLIN, R. S. D. Uso da terra em função das classes de declividade no município de Itaara, RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 12., 16-21 abril 2005. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. 1 CD-ROM.

GARCIA, A. V.; OLIVEIRA, E. C. A.; SILVA, G. P.; COSTA, P. P.; OLIVEIRA, L. A. Disponibilidade hídrica e volume de água outorgado na microbacia do Ribeirão das Abóboras, município de Rio Verde, estado de Goiás. **Caminhos de Geografia**, v.8, n. 22, p. 97-106, 2007.

HORTON R. E. Erosional development of streams and their drainage basin: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945.

HUETE, A. R. DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. P.; GAO, X. FERREIRA, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 195–213, 2002.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**. Disponível: <<http://www.inmet.gov.br/>> Acesso em: 18/12/2020.

LANA, C. E., ALVES, J. M. D. P., & CASTRO, P. D. T. A. Análise morfométrica da bacia do Rio do Tanque, MG-Brasil. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 54, n. 2, p. 121-126, 2001.

LIANG, S. SHUEY, C. J.; RUSS, A. L.; FANG, H.; CHEN, M. WALTHALL, C. L.; DAUGHTRY, C. T. S.; HUNT JR, R. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo: II. Validation. **Remote Sensing of Environment**, v. 84, p. 25–41, 2002.

LIMA, Jorge E. F. W. Recursos hídricos no Brasil e no mundo. **Embrapa Cerrados-Documentos (INFOTECA-E)**, 2001.

LOPES, R. M., ASSUNÇÃO, H. F. D., SCOPEL, I., & CABRAL, J. B. P. Características fisiográficas e morfométricas da microbacia do Córrego Jataí no município de Jataí-GO. 2007.

MACHADO, M. T. S.; BAPTISTA, G. M. M. Sensoriamento remoto como ferramenta de monitoramento da qualidade da água do Lago Paranoá (DF). **Revista Engenharia Sanitária**, v. 21, n. 2, p. 357-365, 2016.

MELTON, M. A. An analysis of the relations among elements of climate, surface properties, and geomorphology. New York: Columbia University; 1957.

MENEZES, J. P. C., FRANCO, C. S., DE OLIVEIRA, L. F. C., BITTENCOURT, R. P., DE SÁ FARIAS, M., FIA, R. Morfometria e evolução do uso do solo e da vazão de máxima em uma microbacia urbana. **Revista Brasileira de Geomorfologia** [online] 15, 659-672. 2014.

MORAIS, W. A., SALEH, B. B., ALVES, W. S., AQUINO, D. S. Qualidade sanitária da água distribuída para abastecimento público em Rio Verde, Goiás, Brasil. **Cad. Saúde Colet.**, Rio de Janeiro, v.24, n.3, p. 361-367, 2016.

MÜLLER, V. C. A quantitative geomorphology study of drainage basin characteristic in the Clinch Mountain Area, New York, Virginia and Tennessee. New York: Columbia University; 1953.

NASCIMENTO, F. C. A.; ARAÚJO, F. R. C. D.; SANTOS, A. C.; SANTOS, E. G. Análise das mudanças ambientais provocadas pela expansão urbana na cidade de Mossoró-RN, através do uso de técnicas de Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 4, p. 636-642, 2014.

NUNES, N. C. Análise espaço-temporal da erosão hídrica em bacias hidrográficas no Sudoeste de Goiás. 2020. 63 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade) – Instituto Federal Goiano, Rio Verde, Goiás, 2020.

NUNES, F. G.; RIBEIRO, N. C.; FIORI, A. P. Propriedades morfométricas e aspectos físicos da bacia hidrográfica do Rio Atuba: Curitiba-Paraná. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, 6., 2006, Goiânia. **Artigos...** Goiânia: UFG, 2006.

OLIVEIRA, E. D et al. Uso das terras e aspectos fisiográficos da bacia de drenagem do Arroio do Butka, Guarapuava (PR). **Ateliê Geográfico**, Goiânia, v. 7, n. 1, p.215-236, abr. 2013.

OLIVEIRA, L. F. C., CALIL, P. M., RODRIGUES, C., KLIEMANN, H. J., OLIVEIRA, V. Á. Potencial do uso dos solos da bacia hidrográfica do alto rio Meia Ponte, Goiás. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 8, n. 1, p. 222-238, 2013.

PAVÃO, V. M.; NASSARDEN, D. C. S.; PAVÃO, L. L.; MACHADO, N. G.; BIUDES, M. B. Impacto da Conversão da Cobertura Natural em Pastagem e Área Urbana sobre Variáveis Biofísicas no Sul do Amazonas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 3, p. 343-351, 2017

PELL, M. C., FINLAYSON, B. L., MCMAHON, T. A. Updated world of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology Earth System Sciences**, v. 11, p. 1633–1644, 2007.

PIEDADE, G.C.R. Evolução de voçorocas em bacias hidrográficas do município de Botucatu, SP. Botucatu, 1980. 161 p. (Tese de Livre Docência) - FCA/UNESP, 1980.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, YOSIO, E.; **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2010.

RAMOS DOS SANTOS, D. A.; MORAIS, F. DE. Análise Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Lago Verde como Subsídio à Compartimentação do Relevo da Região de Lagoa da Confusão – TO. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 6, p. 617 - 629, 16 nov. 2012.

RODRIGUES, F. M.; PISSARRA, T. C. T.; CAMPOS, S. Caracterização morfométrica da microbacia hidrográfica do Córrego da fazenda Glória, município de Taquaritinga, SP. **Revista Irriga**, 13, p.310-322. 2008.

SANTOS, A., M.; TARGA, M., S.; BATISTA, G., T.; DIAS, N.M W. Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil. **Revista Ambiente & Água**. v. 7, n.3. 2012.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy, New Jersey. **Geological Society of America Bulletin**, v. 67, n. 5, p. 597-646, 1956.

SCHUMM S. A. Sinuosity of alluvial rivers on the great plains. **Geological Society of America Bulletin**, v. 74, n. 9, p. 1089-1100, 1963.

SHARMA, R.; GHOSH, A.; JOSHI, P. K. Spatio-temporal footprints of urbanisation in Surat, the Diamond City of India (1990–2009). **Environmental Monitoring and Assessment**, v.185, p.3313-3325, 2013.

SETTI, A. A.; LIMA, J. E. F. W.; CHAVES, A. G. M.; PEREIRA, I. C. Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica: Agência Nacional de Águas, 2001.

SHEELA, A. M.; LETHA, J.; JOSEPH, S.; RAMACHANDRAN, K. K.; SANALKUMAR, S.P. Trophic state index of a lake system using IRS (P6-LISS III) satellite imagery. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 177, n. 1-4, p. 575-592, 2011.

SILVA, E. R.; DELGADO, R. C.; SOUZA, L. P. S.; SILVA, I. S. Caracterização física em duas bacias hidrográficas do Alto Juruá, Acre. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 7, p. 714-719, 2014.

SILVA, B. B.; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C. L.; OLIVEIRA, M. M.; MONTENEGRO S. M. G. L.; BARBOSA JUNIOR, B. Procedures For Calculation of the Albedo With OLI-Landsat 8 Images: Application to the Brazilian Semi-Arid. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20: p. 3-8. 2016.

SOARES, M. R. G. J.; SOUZA, J. L. Mi. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Pequeno em São José dos Pinhais (PR). **Geografia (Londrina)**, v. 21, n. 1, p. 019-036, 2012.

STRAHLER A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis and erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, n. 11, p. 1117-1142, 1952.

TASUMI, M.; ALLEN, R. G.; TREZZA, R. At-Surface Reflectance and Albedo From Satellite for Operational Calculation of Land Surface Energy Balance. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 13, n. 2, p. 51-63, 2008.

TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. de S. Metodologia para mapeamento Geoambiental no Oeste do Rio Grande do Sul. In: XI Congresso Brasileiro de geografia Física Aplicada, 2005, São Paulo. Anais.São Paulo, 2005.

TOFFOLLI, T. N.; RODRIGUES JUNIOR, R. S.; FERREIRA, J. H. D. Padrão Espacial do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e da Temperatura da Superfície Terrestre (TST) no Município de Campo Mourão/PR. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 42, n. 4, p. 182-188, 2020.

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L.; RIBEIRO, C. A. A. S.; LEITE, F. P. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães - MG. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 5, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622006000500019>

TORRES, J. L. R. & FABIAN, A. J. Levantamento Topográfico e Caracterização da paisagem para planejamento conservacionista em microbacia hidrográfica de Uberaba-MG. **Caminhos de Geografia**, v. 6, n.19, p. 150-159, 2006.

VERMOTE, E. F.; JUSTICE, C. CLAVERIE, M; FRANCH, B. Preliminary analysis of the performance of the Landsat 8/OLI land surface reflectance product. **Remote Sensing of Environment**, v. 185, p. 46-56, 2016.

VILLELA, S. M. & Mattos, A. Hidrologia Aplicada. São Paulo: **McGraw-Hill**; 1975.

ZIANI, P.; FACCO, D. S.; FOLETO, E. M. ANÁLISE QUALI-QUANTITATIVA DOS RECURSOS HÍDRICOS SEUS USOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO JACUÍ/RS. **Geoambiente On-line**, n. 30, 2018. DOI: 10.5216/revgeoamb.v0i30.52824. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/geoambiente/article/view/52824>. Acesso em: 16 jun. 2021.