

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

MARIA CHRISTINA ANDRADE

**ÍNDICE DE DEGRADAÇÃO DA BACIA DE MANANCIAL DO RIBEIRÃO JACUTINGA**  
**SITUADA NO NORTE DO PARANÁ**

**LONDRINA**

**2021**

MARIA CHRISTINA ANDRADE

**ÍNDICE DE DEGRADAÇÃO DA BACIA DE MANANCIAL DO RIBEIRÃO JACUTINGA  
SITUADA NO NORTE DO PARANÁ**

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

Orientador: Prof. Dra. Ligia Flávia Antunes Batista.

**LONDRINA**

**2021**



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Londrina  
Coordenação de Engenharia Ambiental



## TERMO DE APROVAÇÃO

Índice de degradação da bacia de manancial do Ribeirão Jacutinga, situada no norte do  
Paraná  
por

Maria Christina Andrade

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no dia x de dezembro de 2021 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Ajadir Fazolo  
(UTFPR)

---

Prof. Dr. Ricardo Nagamine Costanzi  
(UTFPR)

---

Profa. Dra. Ligia Flávia Antunes Batista  
(UTFPR)  
Orientador

---

Profa. Dr. Orlando de Carvalho Júnior  
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus e a espiritualidade por terem me guiado durante minha trajetória, apesar das dificuldades e tropeços estiveram junto a mim durante meu crescimento pessoal nesses anos de curso, todo amadurecimento obtido na graduação só agrega no meu futuro profissional.

Agradeço a minha família, que nessa reta final me fez muita falta pela pandemia e a dificuldade dos mais de 2000 km de distância, porém mesmo com a diferença do Norte ao Sul, estiveram comigo virtualmente, e sou grata a Deus mais ainda pela minha mãe, que durante a pandemia esteve na linha frente desde o início e trabalhou muito, devo toda minha força a minha mãe Elisângela Xavier Andrade e ao meu pai Haroldo Bannwart de Andrade.

A minha orientadora e professora Dra. Lígia Flávia Antunes Batista, por toda paciência e dedicação, sou grata pela oportunidade de desenvolver este trabalho e ainda mais por ela ter sido responsável por me apresentar e essa área de estudo, acredito que a experiência e o interesse por este campo irão abrir novas portas e surgirão novas oportunidades nessa nova fase.

Aos meus amigos que são parte importante da minha história no curso, Fernanda Tavares, Johvanny Lourenço Mendonça, Carlos Eduardo Brandão, Laura Campos, Augusto Gabriel e todos os outros que estiveram ao meu lado esse tempo todo.

Ao meu namorado Victor Hugo Yoshitani, por todo companheirismo e paciência por todos esses anos, pelos momentos mais difíceis esteve ao meu lado sempre, um pilar fundamental da minha trajetória até aqui, sempre acreditou em mim e meu maior incentivador para crescimento pessoal e profissional. A minha sogra Rosa Yoshitani, que se tornou minha mãe adotiva, que me acolheu por todos esses anos e se tornou essencial na minha vida.

Ao meu avô Manoel Jorge de Andrade, que sempre prezou pelo ensino superior, e infelizmente não está mais entre nós para me ver formada, mas espero ser uma profissional tão dedicada e exemplar como ele já foi, minha eterna saudade.

## RESUMO

A bacia hidrográfica é uma região drenada por um conjunto de rios interligados, sendo delimitada por sua topografia. Com o crescimento populacional desenfreado, a expansão das cidades vem aumentando ao longo dos anos e, portanto, gera uma necessidade de avaliar as condições regionais de uma bacia hidrográfica, principalmente quando é utilizada para abastecimento urbano. A bacia do Jacutinga se localiza entre três municípios no norte do Paraná, sendo eles Cambé, Londrina e Ibiporã. O objetivo deste trabalho foi caracterizar os trechos de sub-bacias por meio de índice que considera grau de urbanização, índice de vegetação e escoamento fluvial. Foi organizado um banco de dados geográfico constituído de Modelo Digital de Elevação, imagens de satélite CBERS4A, rede hidrográfica e limite da bacia. Foram gerados dados de características morfométricas de cada trecho de sub-bacia, como coeficiente de compacidade, índice de circularidade, densidade hídrica, relação de relevo, bem como coeficiente de urbanização, escoamento superficial e índice médio de vegetação. Tais parâmetros foram integrados por meio do índice de degradação hídrica, que possibilitou a identificação de locais mais críticos em relação à degradação. A partir dos resultados obtidos é possível identificar que as áreas com maior índice de degradação (Dh) estão diretamente ligadas à urbanização, e os trechos mais críticos de degradação se encontram no município de Londrina com valores que variam de 2,7 a 25,2 e Cambé, onde se encontra a nascente do curso principal com Dh de 3,8. No município de Ibiporã é onde se encontram os menores índices de degradação da bacia, com valores de 0,02 e 0,09. Espera-se que esse estudo sirva como banco de dados para gestão e planejamento da recuperação e expansão urbana dos três municípios.

Palavras-chave: Geoprocessamento, índices morfométricos, gestão intermunicipal, expansão urbana, recursos hídricos.

## ABSTRACT

The hydrographic basin is a region drained by a set of interconnected rivers, being delimited by its topography. With unrestrained population growth, the expansion of cities has increased over the years and, therefore, generates a need to assess the regional conditions of a hydrographic basin, especially when it is used for urban supply. The Jacutinga basin is located between three municipalities in northern of Paraná state, namely Cambé, Londrina and Ibiporã. The objective of this work was to characterize the sub-basin sections through an index that considers the degree of urbanization, vegetation index and river flow. A geographic database consisting of a Digital Elevation Model, CBERS4A satellite images, hydrographic network and basin boundary was organized. Morphometric characteristics data were generated for each sub-basin stretch, such as compactness coefficient, circularity index, water density, relief ratio, as well as urbanization coefficient, runoff and average vegetation index. These parameters were integrated through the water degradation index, which allowed the identification of the most necessary places in relation to degradation. From the results obtained, it is possible to identify that the areas with the highest degradation index (Dh) are connected to urbanization and the most mandatory stretches of degradation are found in the municipality of Londrina with values ranging from 2.7 to 25.2 and Cambé, where the source of the main course is located with a Dh of 3.8. In the municipality of Ibiporã, it is where the lowest levels of degradation in the basin are found, with values of 0.02 and 0.09. It is expected that this study will serve as a database for the management and planning of urban recovery and expansion in the three municipalities.

Keywords: Geoprocessing, morphometric indices, intercity management. urban expansion, water resources.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação da ordem dos cursos d'água.....	6
Figura 2 – Imagem em composição colorida de 8 m de resolução(esquerda) e depois da fusão entre as bandas, com resolução de 2 m (direita).....	10
Figura 3 - Localização da bacia do Ribeirão Jacutinga .....	13
Figura 4 – Fluxograma de processos. ....	14
Figura 5 - Trechos gerados através da determinação de 500 células. Os círculos amarelos representam as regiões que foram unidas a outros trechos.....	16
Figura 6 - Mapa hipsométrico da Bacia do Jacutinga e trechos de sub-bacias delimitadas. ....	20
Figura 7 - Resultado da fusão.em que (a) é a área total da bacia do Jacutinga e (b) destaque da região destacada em que (1) é área densamente urbanizada, (2) é região de solo exposto, (3) região de cobertura vegetal e (4) área de cultura. ....	25
Figura 8 - Mapa da distribuição de valores do índice de vegetação médio por trechos. ....	27
Figura 9 - Índice de vegetação médio por diferença normalizada. Áreas com coloração verde representam presença de vegetação, regiões avermelhadas representam áreas de solo exposto e urbanização.....	28
Figura 10 –. Imagem em fusão da bacia em falsa cor, aplicação do NDVI no trecho 6, sendo (a) área urbana densamente urbanizada, (b) área de solo exposto e (c) vegetação.....	29
Figura 11 - Distribuição das áreas urbanizadas e em expansão na bacia do Jacutinga. ....	30
Figura 12 - Mapa do coeficiente de urbanização da Bacia do Jacutinga .....	32
Figura 13 – Análise da proximidade da urbanização a nascente do canal principal. ....	33
Figura 14 – Índice de degradação da bacia do Ribeirão Jacutinga.....	36

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tamanho mínimo das faixas de vegetação em APP conforme largura dos cursos d'água. ....	8
Tabela 2 - Bandas espectrais da Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WPM) .....	10
Tabela 3 – Classificação dos valores do índice de circularidade (C). ....	17
Tabela 4 – Classificação da densidade hídrica. ....	17
Tabela 5 - Classificação dos valores de densidade de drenagem. ....	18
Tabela 6 – Dados das características morfométricas dos trechos de sub-bacias do Jacutinga. ....	21
Tabela 7 - Valores resultantes da relação do escoamento fluvial (Ef).....	22
Tabela 8 - Valores do cálculo de Densidade de drenagem. ....	23
Tabela 9 - Valores obtidos de cada área e seus coeficientes de urbanização. Adu: áreas densamente urbanizadas; Aeu: áreas de expansão urbana; Ku: Coeficiente de urbanização.....	31
Tabela 10 – Resultados obtidos de cada parâmetro. ....	34



## SUMÁRIO

<b>SUMÁRIO .....</b>	<b>9</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>4</b>
3.1 POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS .....	4
3.2 BACIA HIDROGRÁFICA .....	4
3.3 ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTES .....	7
3.4 SENSORIAMENTO REMOTO .....	8
3.4.1 <i>Geotecnologias</i> .....	8
3.4.2 <i>Missão SRTM</i> .....	9
3.4.3 <i>Satélite CBERS 04A</i> .....	9
3.4.4 <i>Índice espectrais</i> .....	11
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>12</b>
4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA.....	12
4.2 MÉTODOS .....	14
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>20</b>
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>37</b>
<b>7. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>39</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Há muitas discussões sobre a disponibilidade de água doce no mundo, juntamente com a preocupação de escassez desse bem finito, que possui qualidade comprometida em escala global por atividades antrópicas pouco controladas (VON SPERLING, 2006). A água é um recurso vital para saúde humana e essencial para funcionamento biológico em todos os níveis, desde o metabolismo ao equilíbrio dos ecossistemas (CONFALONIERI; HELLER; AZEVEDO, 2010).

A água é recurso natural e um bem de domínio público, dotado de valor econômico, social e ambiental determinado pela Lei 9.433 de 1977 que determina a Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997) e a Lei Estadual 12.726 de 1999 que institui a Política Estadual de Recursos Hídricos (PARANÁ, 1999).

Tendo em vista a importância do uso da água para sociedade, é necessário a avaliação e monitoramento das bacias não só no aspecto químico, mas também da área onde ela se encontra. Os impactos das influências antrópicas como desmatamento das Áreas de Preservação Permanentes (APPs) e expansão urbana alteram o uso e ocupação do solo, que por sua vez influi no comportamento do escoamento fluvial, gerando degradação do recurso hídrico.

Dentre os critérios de preservação associados à legislação, expansão urbana e importância da água, evidencia-se que o conhecimento da área hidrológica possibilita aplicações práticas para planejamento, gerenciamento, projetos e operações de sistema como geração de energia elétrica, controle de enchentes, drenagem, abastecimento de água, controles de erosão e sedimentação e da poluição (JÚNIOR; BARBASSA, 2014).

O município de Londrina possui o Plano Municipal de Saneamento Básico, que informa que a bacia do Ribeirão Jacutinga é umas das bacias que mais interferem na dinâmica urbana juntamente com Ribeirão do Limoeiro e Ribeirão Três Bocas, devido a sua maior contribuição no escoamento de águas pluviais em galerias existentes

(LONDRINA, 2015). Com isso, torna-se evidente a importância de estudos que avaliem as condições de degradação de tal área, como propõe-se neste trabalho.

Na Bacia do Ribeirão Jacutinga, que se encontra nos municípios de Cambé, Londrina e Ibiporã na região norte do estado do Paraná, é de grande importância o levantamento das informações do estado de degradação em razão de sua localização em área metropolitana e utilização como manancial de abastecimento para um grande número de habitantes, bem como o levantamento de dados para produção de planos de ações necessários para sua recuperação e planejamento compartilhado da gestão de Recursos Hídricos.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar as condições de degradação da Bacia Hidrográfica de manancial do Ribeirão Jacutinga por meio de índice de degradação hídrica a fim de subsidiar as tomadas de decisões ambientais na gestão intermunicipal.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Realizar a delimitação da área da bacia do Jacutinga;
- b) Criar banco de dados geográficos da área, composto por dados de: imagem de sensoriamento remoto, modelo digital de elevação e dados de hidrografia;
- c) Identificar áreas densamente urbanizadas e de expansão urbana;
- d) Delimitar as Áreas de Proteção Permanentes e avaliar se estão preservadas a partir da comparação com as imagens de Sensoriamento Remoto;
- e) Gerar os índices associados a grau de urbanização, escoamento fluvial e vegetação;
- f) Comparar as condições de degradação dos trechos de sub-bacias a partir de índice de degradação.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS

Recursos hídricos são muito importantes, visto que a água é um recurso finito e insubstituível à vida no nosso planeta. São um componente vital para sobrevivência humana, sendo muito importante em diversas áreas como: econômica, social e ambiental. Além disso, a água também é a matéria prima de inúmeros processos industriais, meios de transporte e é o insumo para ciclo produtivo vegetal (CARVALHO; BRUMATTI; DIAS, 2012).

a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) pela Lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997 visa assegurar a disponibilidade de água nos padrões de cada enquadramento e seus usos preponderantes foi estabelecida (ANA, 2012).

Um dos instrumentos previsto na PNRH é o Sistema Nacional de Recursos Hídricos (SNIRH) que é um sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos, tem como princípios a descentralização da obtenção e produção de dados e informações, coordenação unificada do sistema e acesso aos dados e informações garantidos à toda sociedade. A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico é a responsável por gerir e organizar o SNIRH e com objetivo de reunir, atualizar informações sobre todo território nacional e fornecer subsídios para elaboração de Planos de Recursos Hídricos (ANA, 2021).

#### 3.2 BACIA HIDROGRÁFICA

A bacia hidrográfica é uma região com área drenada por um conjunto de rios interligados sendo definida por diferenças de altitudes. É alimentada pela água da chuva e por escoamento superficial e infiltração ocorre, o abastecimento das águas subterrâneas (BARRELLA et al., 2000).

Os limites das bacias são determinados pelo sentido de fluxo da rede de drenagem, em que, os escoamentos convergem para um único ponto de saída denominado exutório, que se encontra na parte mais baixa do trecho do curso d'água principal (FINKLER, 2017).

Uma das características morfométricas utilizadas para diferenciar as bacias é a sua forma. As bacias dos grandes rios possuem formato de pêra ou de leque, enquanto bacias menores variam no formato. A forma superficial demonstra a caracterização do tempo de concentração. Quanto maior o tempo de concentração mais lenta é a resposta de vazão no exutório em ocorrência de precipitação. Com isso, infere-se sobre a tendência ou não a enchentes (PIMENTEL, 2021).

O índice que indica a irregularidade da forma da bacia é o Coeficiente de compacidade ( $K_c$ ) (Equação 1) que é a relação entre o perímetro e a área da bacia. Quanto mais irregular for a bacia, maior será o  $K_c$ , em coeficientes acima de um, a bacia apresentará baixa suscetibilidade a ocorrências de enchentes, todavia quanto menor o valor de compacidade, mais regular e arredondada será a bacia, portanto aumentando a tendência a enchentes (VILLELA; MATTOS, 1975).

$$K_c = 0,28 \frac{\text{Perímetro}}{\sqrt{\text{Áreadabacia}}}$$

(1)

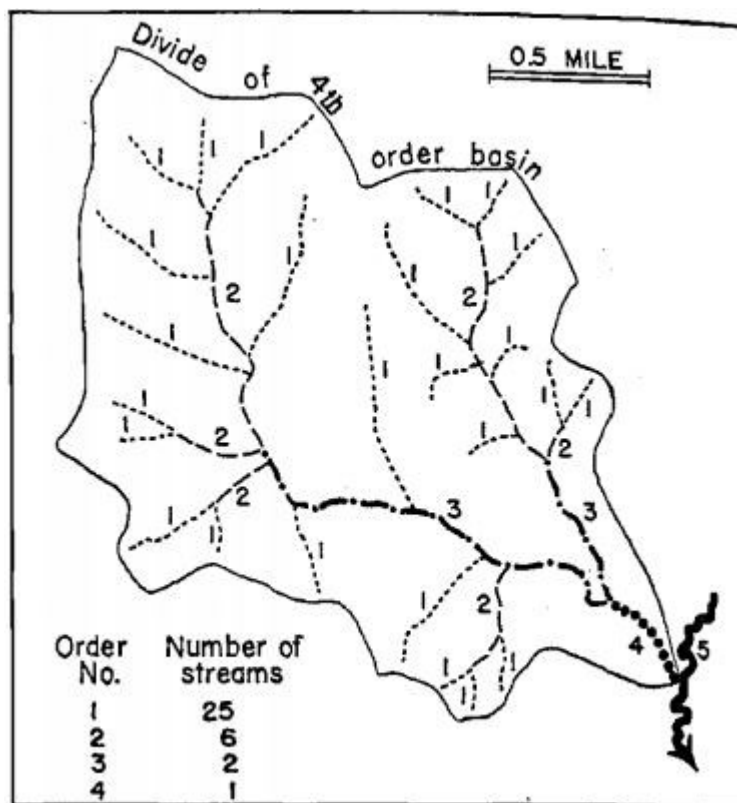
Diferentemente do Coeficiente de compacidade, o índice de circularidade (C) expressa através da tendência do valor próximo a unidade, o formato da bacia similar à forma de um círculo. Valores a baixo de 0,5 demonstram formato mais alongado, enquanto valores acima de 0,5 mostram que a bacia tende a ter formato mais circular (TRAJANO et al., 2012). É assim uma indicação limitada da forma da bacia, utilizando-se

também da relação do perímetro e área da bacia, como representado na Equação 2 (SOUZA, 2005).

$$C = 12,57 \frac{\text{Área da bacia}}{\text{Perímetro}^2} \quad (2)$$

Um dos fatores de avaliação da rede de drenagem é pela ordem dos cursos d'água ( $n_{ordem}$ ), que consistem em enumerá-los através da classificação publicada por Robert E. Horton (HORTON, 1945) e modificada por Strahler (1957). Os rios de primeira ordem são os menores canais sem tributários iniciando na nascente até a confluência, os de segunda ordem aparecem da convergência de dois rios de primeira ordem e só recebem afluentes destes, os canais de terceira ordem são resultantes de confluência de canais de segunda ordem, e assim sucessivamente (TRAJANO et al., 2012) como representado na Figura 1.

Figura 1 - Classificação da ordem dos cursos d'água



Fonte: (STRAHLER, 1957).

### 3.3 ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTES

As matas ciliares são uma formação florestal que acompanham as margens de rios, córregos, lagos, represas, igarapés e nascentes que visam evitar a erosão do solo e carreamento de sedimentos por escoamento. Também servem como filtros impedindo a contaminação do corpo hídrico por poluentes como os utilizados na agricultura, além disso permitem deslocamento de animais silvestres (STEIN, 2017).

Devido a isso as matas ciliares foram consideradas pelo Código Florestal Brasileiro como Área de Preservação Permanente (APP) a fim de protegê-las legalmente e definir regras para a fiscalização.

O Código Florestal define APP como uma área protegida, coberta ou não por vegetação nativa com a função de preservar os recursos hídricos, estabilidade ecológica e a biodiversidade e para proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 2012). As APPs preservadas contribuem para a manutenção do meio ambiente equilibrado como citado Constituição Brasileira (BRASIL, 1988).

Além das matas ciliares, são considerados APPs áreas no entorno de reservatórios d'água superficiais, áreas no entorno das nascentes e olhos d'água perenes, encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% na linha de maior declive, as restingas como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues, toda extensão de manguezais, as bordas dos tabuleiros e chapas, topos de morros, montes, montanhas e serras (BRASIL, 2012).

O artigo 4 da Lei 12.651 de 2012 define as larguras mínimas das faixas marginais que qualquer curso d'água natural, perene e intermitentes deve ter de cobertura florestal (Tabela 1). O item IV deste artigo define largura mínima de raio de 50 metros no entorno de nascentes e de olhos d'água perenes.



Tabela 1 - Tamanho mínimo das faixas de vegetação em APP conforme largura dos cursos d'água.

<b>Largura da APP</b>	<b>Largura do curso d'água</b>
30 m	Inferior a 10 m
50 m	10 a 50 m
100 m	50 a 200 m
200 m	200 m a 600 m
500 m	Superior a 600 m

Fonte: (BRASIL, 2012)

### 3.4 SENSORIAMENTO REMOTO

#### 3.4.1 Geotecnologias

O geoprocessamento é o conjunto de técnicas, métodos e ferramentas que utiliza procedimentos matemáticos e computacionais para o tratamento de dados geográficos. As geotecnologias possibilitam o armazenamento e a captação dessas informações e auxiliam na tomada de decisões envolvendo o meio ambiente, tais como indicação de escassez da água em determinada região; pobreza do solo; distribuição geográfica de recursos minerais (IBRAHIN, 2016a).

As informações obtidas pelo sensoriamento remoto têm sido utilizadas para estudos de levantamento de recursos naturais, topografia, construção de mapas e zoneamentos pois possuem visão sinótica que facilita a observação de grandes áreas em uma mesma imagem. Além disso, conforme sua resolução temporal, possibilita coletar dados em diferentes épocas viabilizando análise temporal. De acordo com sua resolução espectral possibilita obter informações sobre a reflectância de um alvo em diferentes regiões do espectro eletromagnético. Ainda, com base na resolução espacial, pode-se coletar informação em diferentes escalas, regionais e até locais (IBRAHIN, 2016b).

Pode-se obter informação da topografia por meio de sensoriamento, como é o caso da missão SRTM, tratada na seção 3.4.2 e imagens que caracterizam o alvo por meio de sua reflectância, geradas por diversos satélites. Neste texto, enfatiza-se na seção 3.4.3 o satélite sino-brasileiro CBERS4a, cujos dados foram utilizados neste projeto.

### 3.4.2 Missão SRTM

A coleta de dados da missão *Shuttle Radar Topography Mission*, foi realizada em 11 dias, no período de 11 a 22 de fevereiro de 2000, a bordo da nave espacial Endeavour pela *National Imagery and Mapping Agency* (NIMA) e a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) (EMBRAPA, 2021).

O satélite possuía como propósito atuar na produção de banco de dados para elaboração de Modelos Digitais de Elevação (MDE) de terras continentais de todo o planeta.

Os dados são distribuídos em formato raster sob domínio do *United States Geological* (USGS), com resolução vertical de 30 metros para os Estados Unidos e 90 metros de resolução para outros países. A Embrapa Territorial desenvolveu um projeto denominado Brasil em Relevo como banco de dados mosaicos com SRTM para análise de paisagens de todo o território brasileiro (EMBRAPA, 2021).

### 3.4.3 Satélite CBERS 04A

O programa CBERS surgiu de uma parceria entre Brasil e China, com o Brasil ingressando no grupo de países detentores da tecnologia de geração de dados primários de sensoriamento remoto. Esta parceria tem propiciado uma forma muito eficiente de monitoramento territorial de grande extensão com satélites próprios de sensoriamento remoto (INPE, 2018).

Após o envio de cinco satélites sendo eles CBERS 1, 2, 2B e 3 e o sucesso do CBERS 4, a parceria Sino-Brasileira assinou um novo protocolo complementar para fabricação de um novo satélite desse mesmo programa: CBERS 04A (INPE, 2018).

As imagens do satélite CBERS são utilizadas para controle de desmatamento e queimadas na Amazônia Legal, o monitoramento de recursos hídricos, áreas agrícolas, crescimento urbano, entre outras aplicações (INPE, 2018).

O lançamento foi realizado no dia 20 de dezembro de 2019 pelo foguete Longa Marcha 4B no Centro de Lançamento de Satélites de Taiyuan (TSLC) na China (INPE, 2020). As primeiras imagens do CBERS 04A foram obtida em 27 de dezembro de 2019

(INPE, 2019a). Ele possui uma resolução que varia entre 2 e 60 metros e um ciclo de repetição de 31 dias e equipado com três câmeras sendo elas a Câmera Multiespectral (MUX) e Câmera de Campo Largo (WFI) que já eram utilizadas nos satélites anteriores.

A nova Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WPM) que fornece imagens pancromáticas com resolução de 2 metros e resolução multiespectral de 8 metros nas bandas do visível e infravermelho próximo. Tais dados podem ser processados por meio de fusão entre as bandas e a geração de imagens com alta resolução colorida (Figura 2) com capacidade de 92 quilômetros de largura de faixa imageada, suas bandas espectrais estão representadas na Tabela 2 (INPE, 2019b).

Figura 2 – Imagem em composição colorida de 8 m de resolução(esquerda) e depois da fusão entre as bandas, com resolução de 2 m (direita).



Fonte: Autoria própria (2021)

Tabela 2 - Bandas espectrais da Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WPM)

<b>Bandas espectrais</b>	<b>Dados</b>	<b>Características</b>	<b>Dados</b>
<b>Pancromática</b>	0,45 - 0,90 $\mu\text{m}$	<b>Largura da faixa imageada</b>	92 km
<b>B1 - azul</b>	0,45 - 0,52 $\mu\text{m}$	<b>Resolução Espacial</b>	2 m (pancromática)
<b>B2 - verde</b>	0,52 - 0,59 $\mu\text{m}$		8 m (multiespectral)
<b>B3 - vermelho</b>	0,63 - 0,69 $\mu\text{m}$	<b>Visada lateral de Espelho</b>	Não
<b>B4 – infravermelho próximo</b>	0,77 - 0,89 $\mu\text{m}$	<b>Taxa Bruta de Dados</b>	1800,8 e 450.2 Mbps

Fonte: (INPE, 2019b).

### 3.4.4 Índice espectrais

A obtenção de imagens por sensoriamento remoto em múltiplas bandas espectrais é uma das mais importantes propriedades dos sensores a bordo do satélite, que possui pelo menos três parâmetros: número de bandas que o sensor possui; a largura e comprimento de onda e as posições que as bandas estão situadas no espectro eletromagnético (MENESES, 2012).

A combinação de bandas por meio de equações permite a geração de índices como por exemplo o índice de vegetação que realça a densidade da cobertura vegetal. Para facilitar a análise, o índice de vegetação mais utilizado é o de diferença normalizada, chamado *Normalize Difference Vegetation Index* (NDVI) (Equação 3), que depende de duas bandas. Uma delas é a banda da faixa de 650 nm que está na região da luz vermelha visível (RED) (MENESES; ALMEIDA, 2012) correspondente à banda 3 do CBERS4a. Nessa faixa de comprimento de onda a energia consumida para fotossíntese faz com que estas áreas se apresentem escurecidas, devido à baixa reflectância da energia eletromagnética. A outra banda necessária para calcular o NDVI é a do infravermelho próximo (NIR), que apresenta grande reflectância em função da estrutura da planta, demonstrando tonalidades claras (RUDORFF, 2021), faixa esta correspondente à banda 4 do satélite CBERS4a. O NDVI possui a vantagem de ser proporcional à biomassa (MENESES; ALMEIDA, 2012), com valores variando de -1,0 a 1,0. Valores negativos são formados principalmente por nuvens, neve e água, valores próximos a zero são formados principalmente por rochas, solo exposto e areia. Conforme o aumento dos valores há aumento na cobertura vegetal, de arbustos até florestas fechadas com valores próximos a 1,0 (EOS, 2021).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

(3)

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

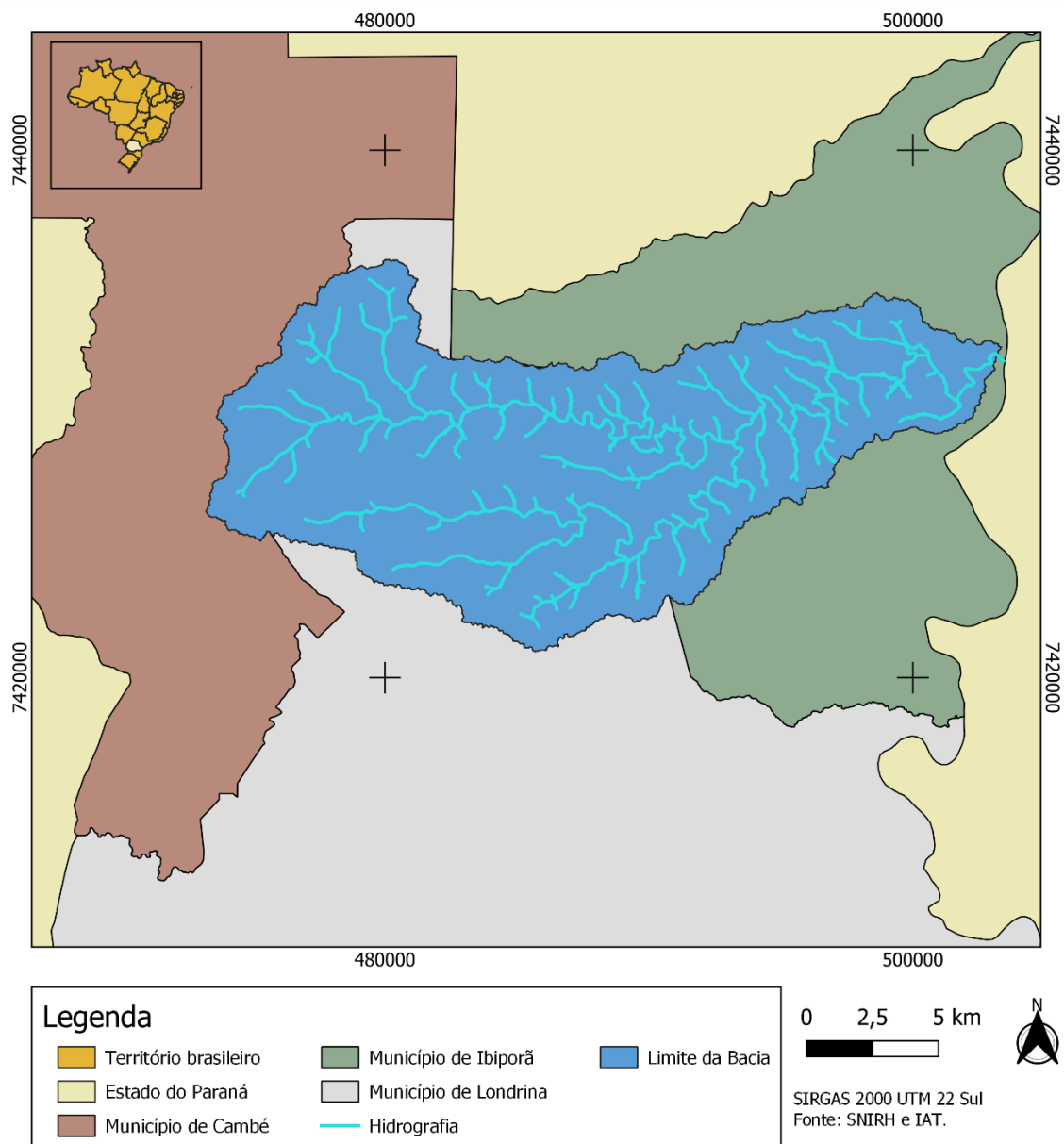
### 4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A Bacia do Ribeirão Jacutinga se encontra nos limites dos municípios de Cambé, Londrina e Ibiporã (Figura 3) no norte do Estado do Paraná, na região geomorfológica denominada Terceiro Planalto Paranaense ou Planalto de Guarapuava constituída por estratos do arenito da formação São Bento (MAACK, 1947).

A bacia do Ribeirão Jacutinga possui um comprimento total dos cursos d'água de 249,84 km, é caracterizada como bacia de 4ª ordem na hierarquia fluvial com uma área de 237,68 km<sup>2</sup> e perímetro de 84,32 km, e variação de altitude de 347m e 680 m. Pelos parâmetros morfométricos apresenta uma baixa densidade hidrográfica de 0,49 rios/km<sup>2</sup> e uma densidade de drenagem de 1,05 km/km<sup>2</sup> (LONDRINA, 2015).

A bacia do Ribeirão Jacutinga possui nascentes nos limites municipais de Londrina com Cambé (MACIEL et al., 2019). A cidade de Ibiporã tem 45% do seu abastecimento proveniente da captação deste manancial e o restante capitado do aquífero Guarani (ARABORI et al., 2021).

Figura 3 - Localização da bacia do Ribeirão Jacutinga

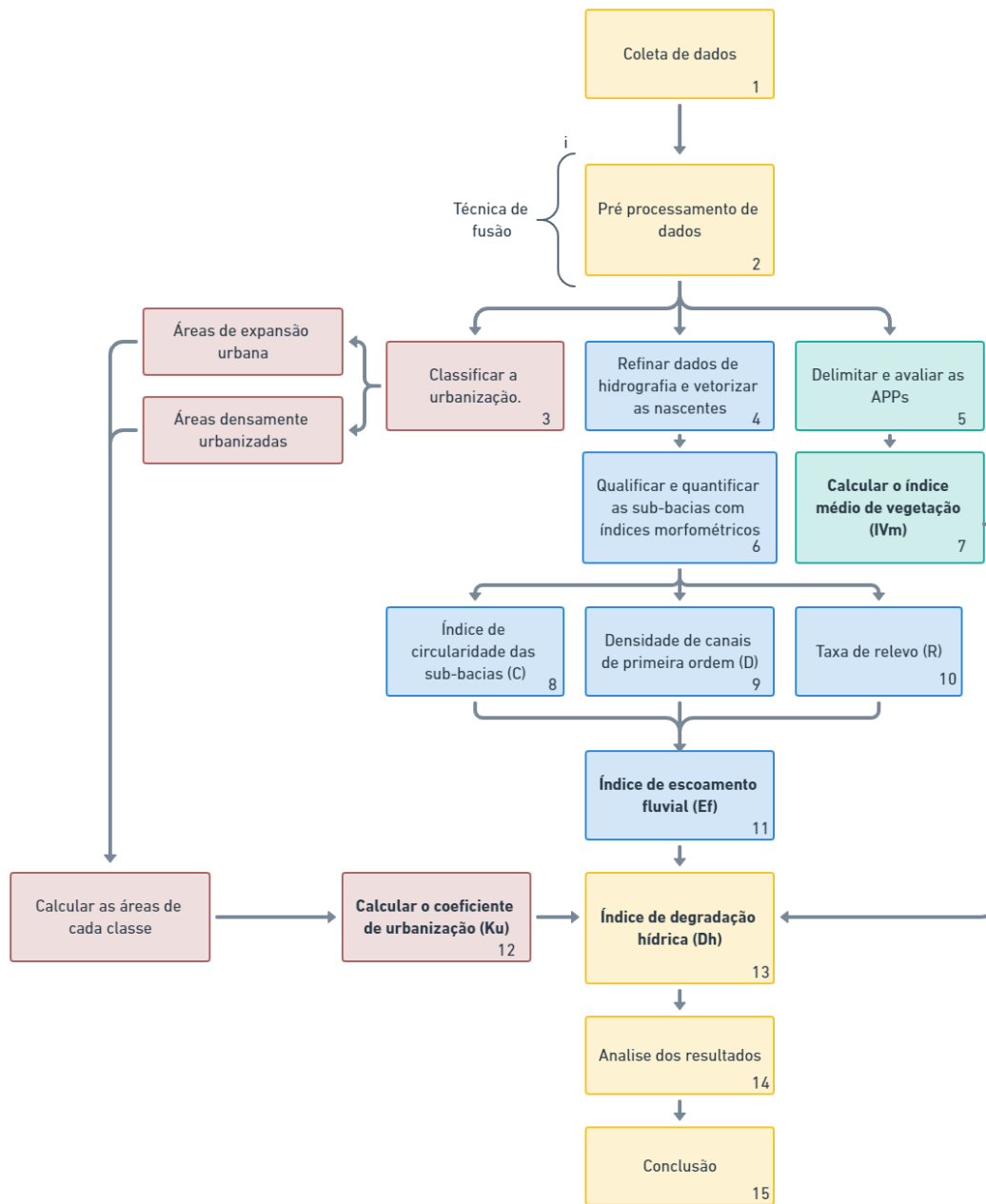


Fonte: Autoria própria (2021).

## 4.2 MÉTODOS

Os passos que foram seguidos para elaboração desse projeto estão esquematizados na Figura 4.

Figura 4 – Fluxograma de processos.



Fonte: Autoria própria (2021).

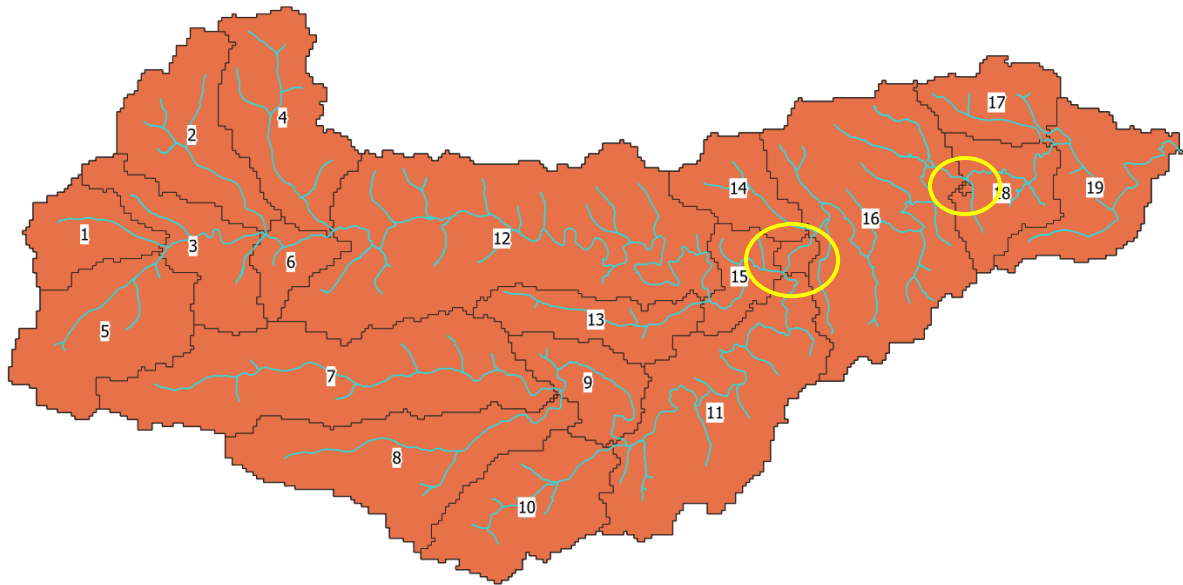
Na coleta de dados (etapa 1), foi realizada aquisição da imagem do satélite CBERS4A, no repositório do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Para delimitação da bacia e trechos de sub-bacias e nascentes foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) do satélite *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) no portal de dados da Embrapa Territorial. Sobre dados de recursos hídricos foram coletados a partir do Catálogo de Metadados da ANA, da Bacia Hidrográfica do Paranapanema, do módulo de Inteligência Geográfica do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

O pré-processamento das imagens do satélite CBERS4A (etapa 2) consistiu no ajuste do Sistema de Referência Geodésico brasileiro SIRGAS 2000 UTM 22S. Quanto ao MDE, foi possível a utilização de um único arquivo para obtenção das imagens, sem a necessidade de realização de mosaico. A preparação das imagens com a realização da fusão das bandas 1, 3, 4 e pancromática, permitiu melhor visualização com simbologia em falsa cor.

Da camada SRTM foi extraída a rede de drenagem, feito o recorte da hidrografia pertencente ao Ribeirão Jacutinga e realizado o procedimento de processamento com remoção de depressões espúrias e identificação do fluxo do escoamento superficial. Adotou-se o limiar de 500 células para obtenção de trechos de sub-bacias. Alguns trechos de sub-bacias foram unidos com outras por terem sido geradas em tamanhos muito pequenos (Figura 5), respeitando a hierarquização dos cursos hídricos. Foram feitas correções no arquivo de hidrografia do SNIRH para corrigir inconsistências referentes a cursos d'água inexistentes na camada vetorial utilizando a imagem terrestre da fusão como referência e adequar a situação atual dos corpos hídricos.



Figura 5 - Trechos gerados através da determinação de 500 células. Os círculos amarelos representam as regiões que foram unidas a outros trechos



Fonte: Autoria própria (2021)

Com a camada da hidrografia corrigida, foram inseridos pontos de identificação das nascentes nos cursos de primeira ordem e delimitada a Área de Preservação Permanente (APP). Como em quase todos os cursos não é possível visualizar a lâmina d'água a partir da imagem, adotou-se uma largura de rio de 10 metros e 30 metros de APP em cada margem de acordo com o Código Florestal (BRASIL, 2012)

Para representar a cobertura vegetal presente na bacia foi calculado por diferença normalizada o índice de vegetação NDVI ( $IV_m$ ) (Etapa 7), por meio da razão das bandas do infravermelho próximo e vermelho (NIR e RED) (Equação 4) de cada sub-bacia (MENESES; ALMEIDA, 2012).

$$IV_m = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

(4)

Em cada trecho de sub-bacia foram calculados os valores de:

- a) índice de circularidade (C) (Equação 5) (etapa 8) que demonstra o formato limitado da bacia, se possui tendência arredondada ou comprida de acordo com sua classificação (Tabela 3);

Tabela 3 – Classificação dos valores do índice de circularidade (C).

C	Formato	Interpretação ambiental
< 0,4	Comprida	tendência a conservação
0,4 - 0,6	Oblonga	baixa tendência a enchentes
0,6 - 0,8	Ovalada	mediana tendência a enchentes
0,8 - 1,0	Redonda	Alta tendência a enchentes

Fonte: (VILLELA; MATTOS, 1975)

- b) Densidade hídrica (D) (Equação 6) (etapa 9) que corresponde à relação entre o número de cursos de água de primeira ordem e a área da sub-bacia considerada trazendo indicações do comportamento hidrográfico da bacia e a capacidade de geração de novos cursos d'água (SOUZA, 2005), classificado de acordo com a Tabela 4;

Tabela 4 – Classificação da densidade hídrica.

D (canais/km <sup>2</sup> )	Classificação
< 3	Baixa
3 - 7	Média
7 - 15	Alta
> 15	Muito alta

Fonte:(LOLLO, 1995).

- c) Taxa de relevo ou relação de relevo (Rr) (Equação 7) (Etapa 10) que é a relação entre a amplitude altimétrica e o comprimento do rio principal da bacia (SCHUMM, 1956) , para encontrar o potencial escoamento das águas da chuva através do índice de escoamento fluvial) (etapa 11) pela Equação 8 (FERREIRA; MORETI, 1998).

$$C = 12,57 \frac{\text{Área da bacia}}{\text{Perímetro}^2}$$

$$D = \frac{n^{\circ} \text{decanais}}{\text{área da bacia}}$$

(6)

$$Rr = \frac{\text{Amplitude altimétrica}}{\text{Comprimento do rio principal}}$$

(7)

$$E_f = D \cdot R \cdot C$$

(8)

Para relacionar os dados de escoamento superficial com outro parâmetro, foi calculado a Densidade de Drenagem (Dd) (Equação 9) para verificar a indicação do grau de desenvolvimento do sistema de drenagem da bacia, este parâmetro expressa a relação entre o comprimento total dos cursos d'água e sua área total (VILLELA; MATTOS, 1975), sendo classificados de acordo com a Tabela 5. (VILLELA; MATTOS, 1975)

$$Dd = \frac{\text{Comprimento total dos cursos d'água}}{\text{Área da Bacia}}$$

(9)

Tabela 5 - Classificação dos valores de densidade de drenagem.

Classificação	(km/km <sup>2</sup> )
Pobre	Dd < 0,5
Regular	0,5 ≤ Dd < 1,5
Boa	1,5 ≤ Dd < 2,5
Muito Boa	2,5 ≤ Dd < 3,5
Bem drenadas	Dd ≥ 3,5

Fonte: (CARVALHO; SILVA, 2006)

Após o cálculo dos índices morfométricos, foi calculada a área densamente urbanizada ( $A_{du}$ ) com base nos dados shapefile do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) do projeto Áreas Urbanizadas do Brasil 2015.

Estas informações geradas pelo IBGE têm o objetivo de fornecer perspectivas da urbanização brasileira, de modo a complementar estudos urbanos focados na identificação de tendências e potenciais vetores de expansão urbana das cidades e acerca da forma urbana e suas diferenciações regionais, da influência do meio físico (IBGE, 2017a). Com este banco de dados foi possível incluir informações dos três municípios em que a bacia do Ribeirão Jacutinga está inserida. São áreas de expansão urbana ( $A_{eu}$ ) todo aglomerado que constituem segmento avançado de urbanização (IBGE, 2017b) de cada sub-bacia ( $A_b$ ), ou seja, qualquer conjunto de habitações. Foram calculadas suas respectivas áreas, para obter o coeficiente de urbanização ( $K_u$ ) (etapa 12) por meio da Equação 10 (FERREIRA; MORETI, 1998).

$$K_u = \frac{(A_{du} + A_{eu})}{A_b} \quad (10)$$

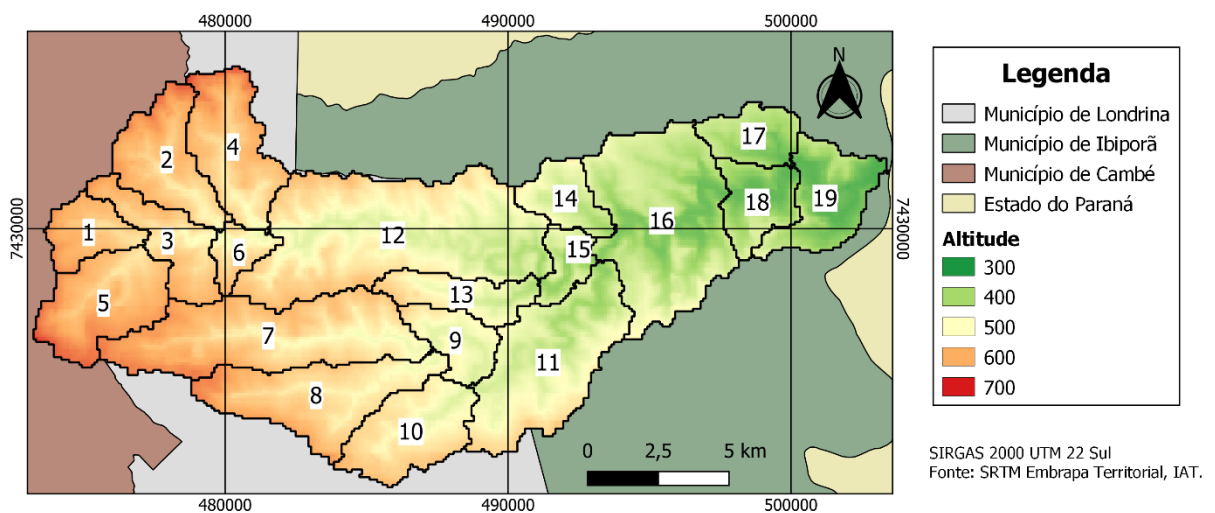
Com a junção dos dados do coeficiente de urbanização, índice médio de vegetação e o índice de escoamento fluvial, foi calculado o índice de degradação hídrica ( $D_h$ ) mediante a integração destes parâmetros pela Equação 11 (FERREIRA; MORETI, 1998).

$$D_h = Ef \frac{K_u}{IV_m} \quad (11)$$

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

É possível observar na (Figura 6), que apresenta os dados altimétricos da bacia que áreas com cotas mais altas se encontram na região pertencente ao município de Cambé e a oeste de Londrina, as altitudes diminuem no sentido ao município de Ibiporã.

Figura 6 - Mapa hipsométrico da Bacia do Jacutinga e trechos de sub-bacias delimitadas.



Fonte: Autoria própria (2021)

A amplitude altimétrica dos trechos, como mostrado na Tabela 6, variou de 98 a 199 metros. Juntamente com o comprimento de cada curso principal, foi possível obter a Relação de Relevo (Rr), que permite analisar o relacionamento existente entre o decaimento com a extensão do trecho de sub-bacia. Neste estudo foi feito a partir do curso hídrico principal.

A influência no valor do escoamento fluvial, juntamente com o índice de circularidade, que em todos os trechos mostrou valores abaixo de 0,5, demonstrando a tendência de formato alongado o que também favorece o escoamento das águas e menor probabilidade de enchentes.

Tabela 6 – Dados das características morfométricas dos trechos de sub-bacias do Jacutinga.

Trechos	Área (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)	Compacidade (Kc)	Amplitude altimétrica (m)	Índice de Circularidade (C)	Comprimento do canal principal (km)
1	5,96	14,23	1,63	98	0,37	3,08
2	11,17	20,53	1,72	168	0,33	5,30
3	8,55	21,43	2,05	124	0,23	3,25
4	12,73	22,15	1,74	188	0,33	6,37
5	13,03	19,81	1,54	157	0,42	4,08
6	3,43	11,17	1,69	114	0,35	2,10
7	24,19	36,02	2,05	162	0,23	11,70
8	16,27	28,45	1,98	157	0,25	8,50
9	5,95	15,31	1,76	118	0,32	5,22
10	11,61	19,99	1,64	146	0,37	5,07
11	20,95	30,26	1,85	183	0,29	11,09
12	37,07	41,42	1,91	199	0,27	19,68
13	6,85	18,73	2,00	177	0,25	5,75
14	5,72	13,33	1,56	152	0,41	3,43
15	3,85	12,25	1,75	118	0,32	3,37
16	27,12	31,88	1,71	154	0,34	12,13
17	6,04	13,69	1,56	106	0,41	3,67
18	6,97	15,31	1,62	126	0,37	4,07
19	10,22	21,43	1,88	151	0,28	6,49

Fonte: Autoria própria (2021)

Dentre os resultados, destaca-se o parâmetro de Densidade hídrica (D) que traz indicações sobre o escoamento superficial e o comportamento da bacia e a geração de novos cursos d'água (SOUZA, 2005), pois permite comparar a quantidade de cursos de água existentes em uma área por quilômetro quadrado (CHRISTOFOLETTI, 1980). O trecho de nº 1 obtém o menor valor de D (Tabela 7), devido a sua composição única de curso hídrico de primeira ordem, ou seja, não possui nenhum tributário. Entretanto não é o trecho de sub-bacia que possui menor valor de escoamento, isso se dá por não possuir formato tão circular com índice de circularidade de 0,37

Trechos das subbacias com tendência circular possuem valores mais próximos de 0,5 (TRAJANO et al., 2012). Valores abaixo de 0,5 indicam a tendência do

alongamento da bacia, que contribui para o processo de escoamento, desfavorecendo a propensão a enchentes, valores maiores que 0,5 mostram a tendência do formato circular da bacia que favorece a ocorrência de enchentes devido a diminuição do processo de escoamento (SCHUMM, 1956).

Devido ao tamanho menor de área e comprimento do trecho 1, gera-se uma relação de relevo com valor acima da média e da mediana.

O produto entre relação de relevo, circularidade e densidade de rios de primeira ordem resulta a relação do escoamento fluvial (Ef) de cada trecho mostrado na Tabela 7.

Tabela 7 - Valores resultantes da relação do escoamento fluvial (Ef).

Trechos	Rr (m/km)	D (canais/km <sup>2</sup> )	C	Ef
1	31,85	0,17	0,37	1,98
2	31,69	0,36	0,33	3,78
3	38,18	0,23	0,23	2,09
4	29,50	0,39	0,33	3,78
5	38,45	0,31	0,42	4,92
6	54,26	0,29	0,35	5,47
7	13,84	0,29	0,23	0,94
8	18,47	0,18	0,25	0,86
9	22,61	0,34	0,32	2,42
10	28,81	0,60	0,37	6,34
11	16,50	0,48	0,29	2,27
12	10,11	0,43	0,27	1,19
13	30,77	0,58	0,25	4,42
14	44,34	0,35	0,41	6,27
15	34,99	0,52	0,32	5,87
16	12,70	0,52	0,34	2,20
17	28,91	0,66	0,41	7,76
18	30,94	0,43	0,37	4,98
19	23,28	0,20	0,28	1,27
Média	28,43	0,39	0,32	3,62
Desvio padrão	11,28	0,15	0,06	2,12
Mediana	29,50	0,36	0,33	3,78

Fonte: Autoria própria (2021).

Os trechos com valores de escoamento fluvial acima da média foram 2, 4, 5, 6, 10, 13, 14, 15, 17, e 18. Nos trechos 10, 13 e 17, o fator contribuinte para desempenho do escoamento é o maior valor de densidade hídrica, maior número de cursos d'água por comprimento, mostrando maior capacidade de realizar o escoamento fluvial. Nos casos 5, 6 e 14 a influência se deu por meio do parâmetro de relação de relevo.

Foram calculados os valores de densidade de drenagem (Dd), que mostraram que os trechos 15 e 17 foram os que obtiveram os maiores valores.

Devido ao alto valor de comprimento de canais (Tabela 8). Entretanto, toda bacia é classificada como densidade de drenagem regular, com exceção do trecho 5 que é classificado como pobre em drenagem Tabela 5.

Tabela 8 - Valores do cálculo de Densidade de drenagem.

Trecho	Área (km <sup>2</sup> )	Comprimento totais de canais (km)	Densidade de drenagem (km/km <sup>2</sup> )	Classificação
1	5,96	3,08	0,52	Regular
2	11,17	8,13	0,73	Regular
3	8,55	6,79	0,79	Regular
4	12,73	10,29	0,81	Regular
5	13,03	6,27	0,48	Pobre
6	3,43	2,67	0,78	Regular
7	24,19	15,85	0,66	Regular
8	16,27	10,41	0,64	Regular
9	5,95	6,16	1,04	Regular
10	11,61	8,49	0,73	Regular
11	20,95	19,75	0,94	Regular
12	37,07	37,87	1,02	Regular
13	6,85	6,77	0,99	Regular
14	5,72	4,26	0,74	Regular
15	3,85	5,23	1,36	Regular
16	27,12	33,42	1,23	Regular
17	6,04	6,64	1,10	Regular
18	6,97	7,32	1,05	Regular
19	10,22	9,73	0,95	Regular

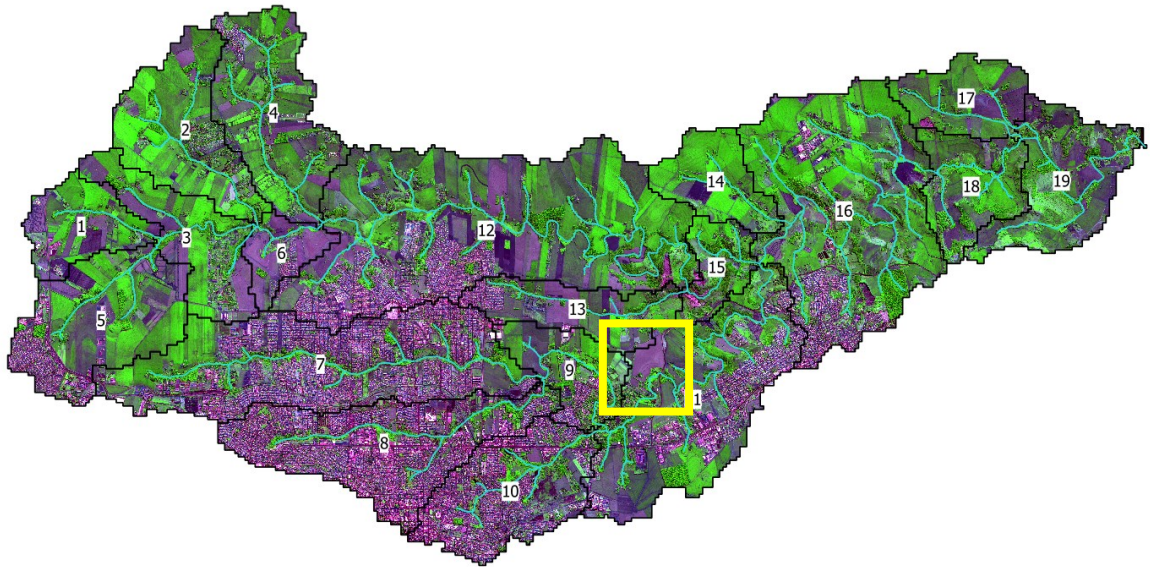
Fonte: Autoria própria (2021).



Com a utilização da técnica de fusão na imagem de satélite e aplicação da simbologia em falsa cor (Figura 7 (a)), é possível observar as classes de ocupação do solo na Figura 7 (b), em que o número 1 indica área urbana, a região 2 possui cobertura de solo exposto, 3 apresenta vegetação e região 4 indica cultura agrícola.

Figura 7 - Resultado da fusão em que (a) é a área total da bacia do Jacutinga e (b) destaque da região destacada em que (1) é área densamente urbanizada, (2) é região de solo exposto, (3) região de cobertura vegetal e (4) área de cultura.

a)



b)



Fonte: Autoria própria (2021)

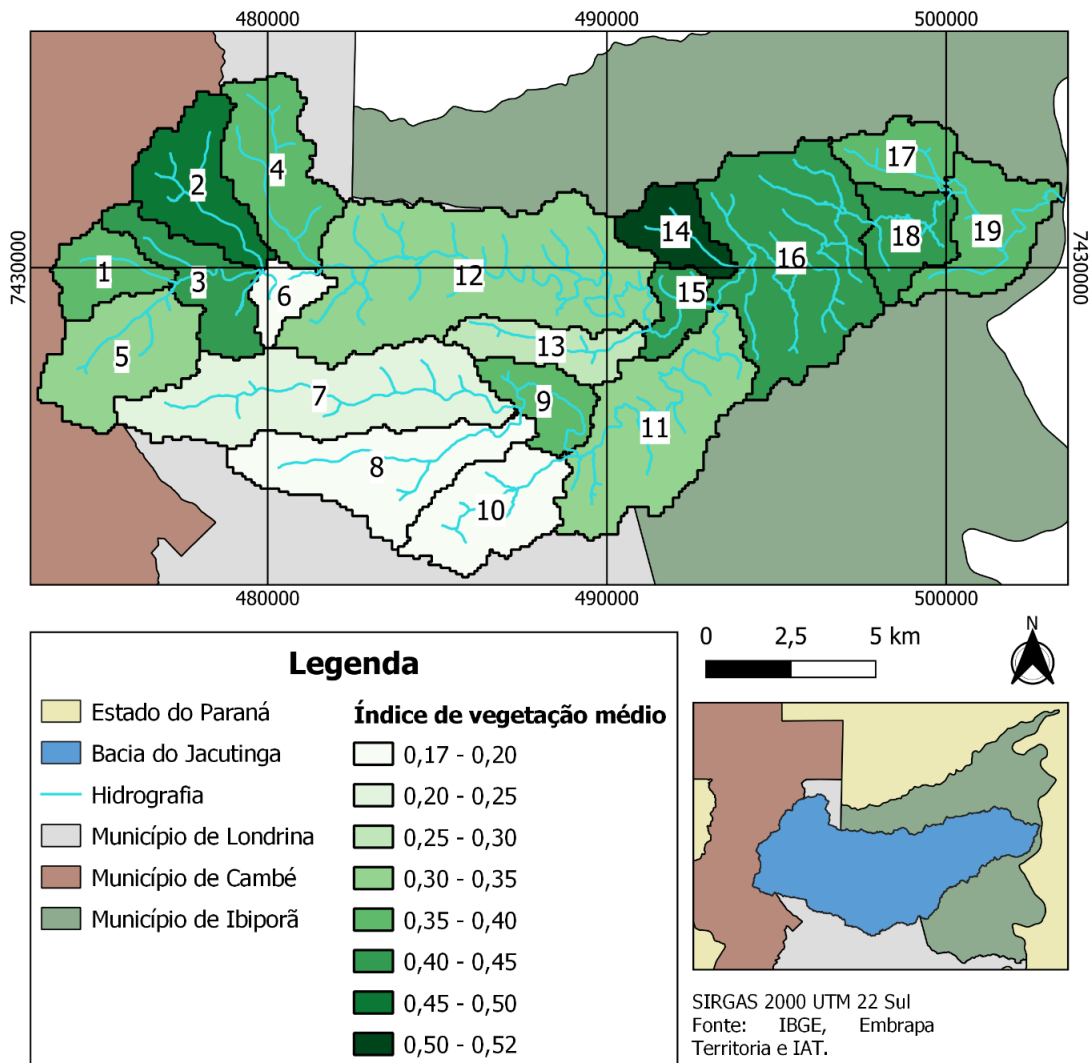
Na Figura 8 é possível observar os valores obtidos pela média do NDVI de cada trecho, em que ficam evidentes os baixos valores nos trechos 7, 8 e 10 que são áreas densamente urbanizadas, como mostrado na Figura 9. O trecho 6 apesar de ter pouca área densa de urbanização (a), é uma região com quase a totalidade composta por solo exposto (b) e pouca cobertura vegetal (c) (Figura 10).

No trecho 14 se encontra maior valor médio de NDVI, seguido do trecho 2 que mesmo com uma área retratada como expansão urbana, possui uma vasta porção de solo coberto por cultura, igualmente ao trecho 14.

Os trechos 3, 15, 16 e 18 possuem um IVm entre 0,40 e 0,45 onde apenas o 16 possui uma pequena região densamente urbanizada, mas devido sua extensão contém fragmentos de vegetação fechada.

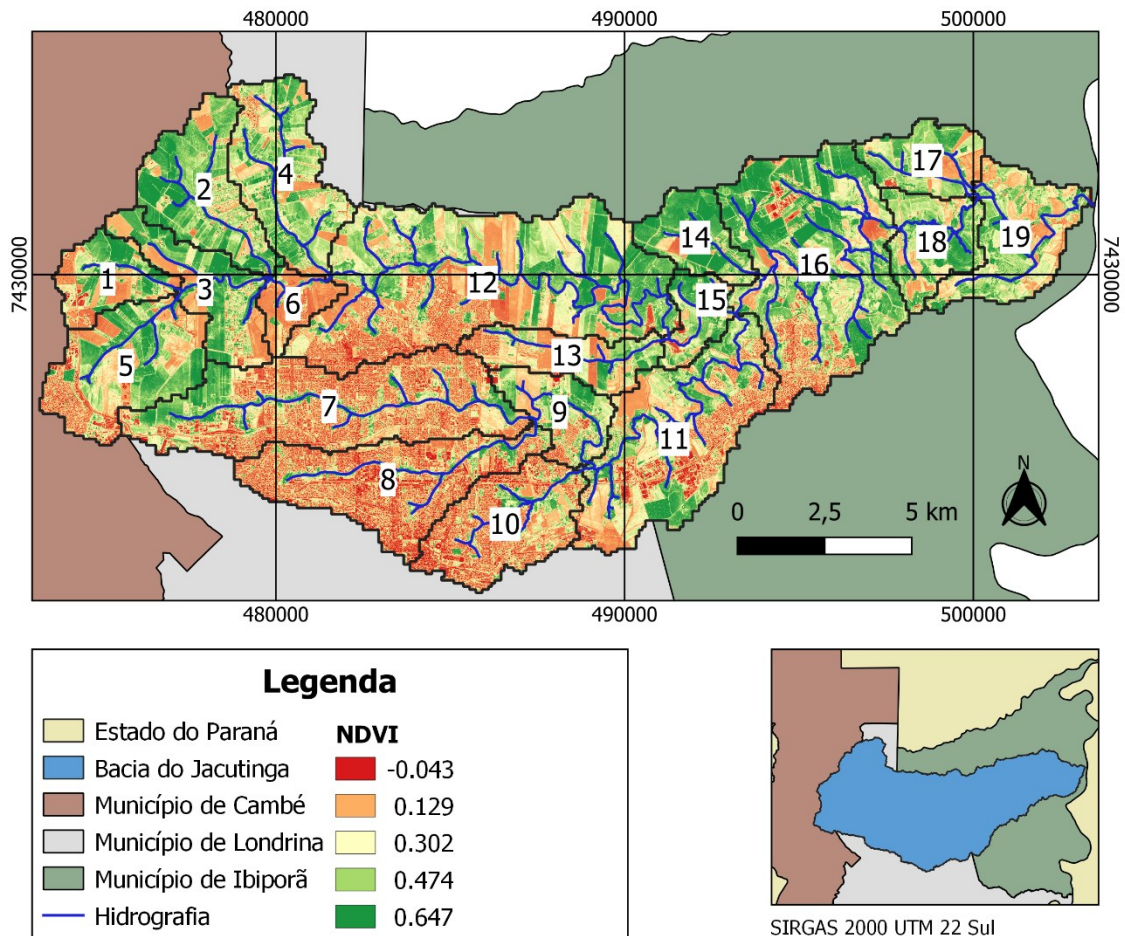
As regiões 1, 4, 9, 17 e 19 com IVm de 0,35 e 0,40 contam com território de manejo de culturas, por serem uma extensão mais afastada dos núcleos, predominam atividades rurais. Os trechos 5, 12, 11 com IVm de 0,30 e 0,35 por apresentarem uma baixa porcentagem de sua área com regiões com densa urbanização e dispõem também de faixas de expansão urbana.

Figura 8 - Mapa da distribuição de valores do índice de vegetação médio por trechos.



Fonte: Autoria própria (2021).

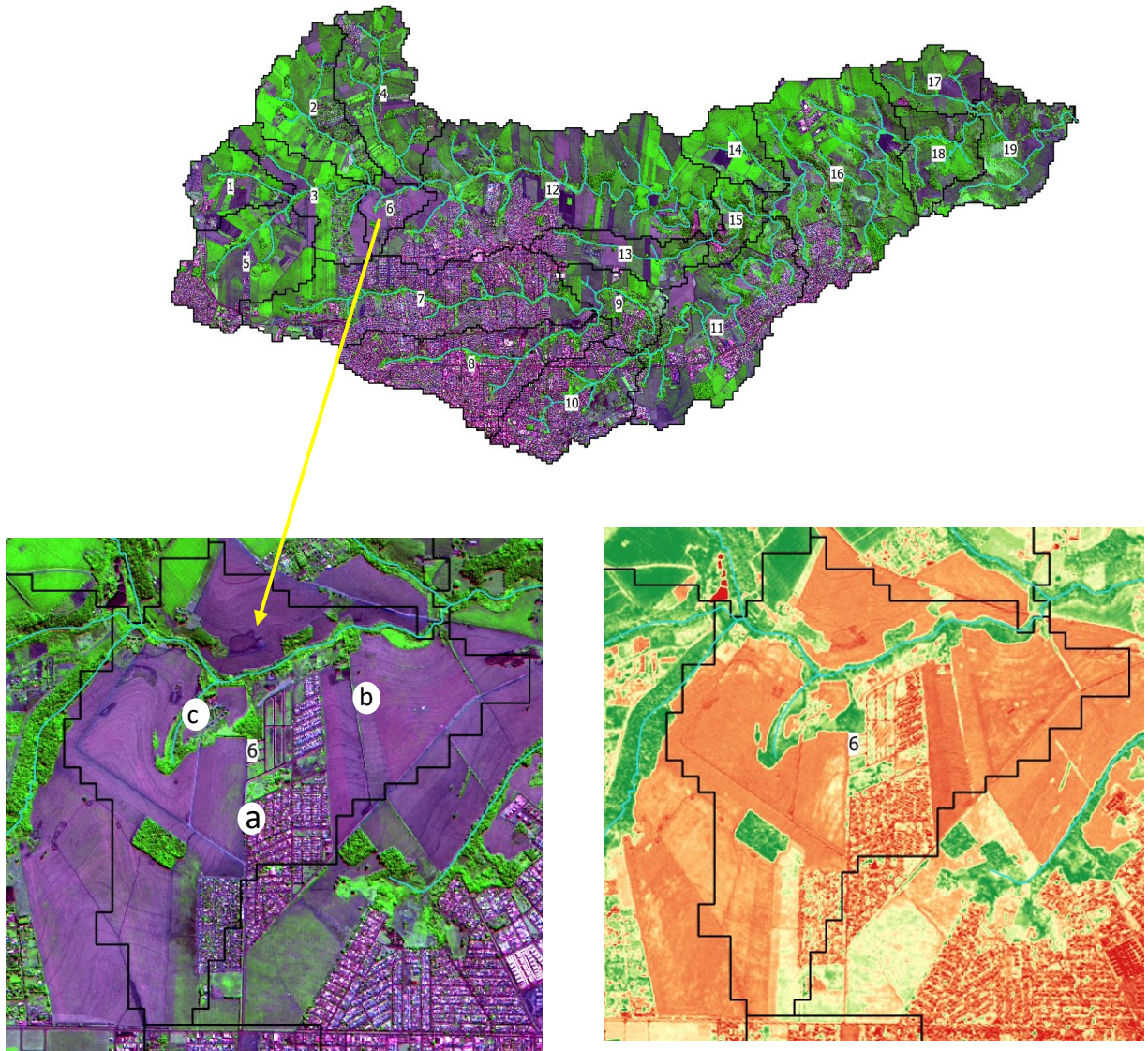
Figura 9 - Índice de vegetação médio por diferença normalizada. Áreas com coloração verde representam presença de vegetação, regiões avermelhadas representam áreas de solo exposto e urbanização



SIRGAS 2000 UTM 22 Sul  
 Fonte: SRTM Embrapa Territorial,  
 IAT, SNIRH.

Fonte: Autoria própria (2021).

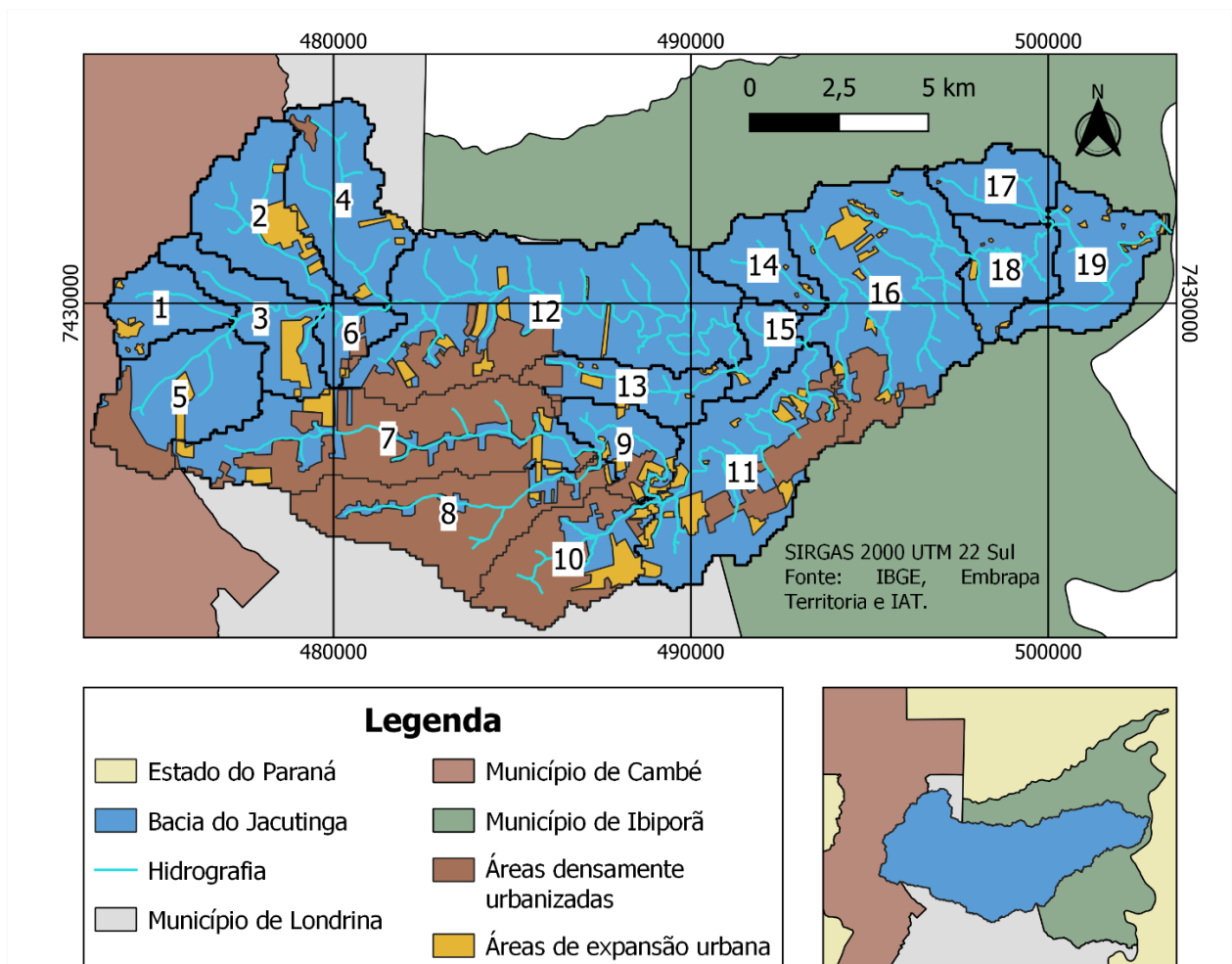
Figura 10 – Imagem em fusão da bacia em falsa cor, aplicação do NDVI no trecho 6, sendo (a) área urbana densamente urbanizada, (b) área de solo exposto e (c) vegetação



Fonte: Autoria própria (2021).

Com resultado da distribuição das áreas densamente urbanizadas (Adu) e áreas de expansão urbana (Aeu) (Figura 11), foi calculado o coeficiente de urbanização (Ku) e obtida a porcentagem de ocupação Ku (%) (Tabela 9).

Figura 11 - Distribuição das áreas urbanizadas e em expansão na bacia do Jacutinga.



Fonte: Autoria própria (2021).

Tabela 9 - Valores obtidos de cada área e seus coeficientes de urbanização. Adu: áreas densamente urbanizadas; Aeu: áreas de expansão urbana; Ku: Coeficiente de urbanização.

Trecho	Área (Km <sup>2</sup> )	Adu (Km <sup>2</sup> )	Aeu (Km <sup>2</sup> )	Ku	Ku (%)
1	5,96	0,00	0,38	0,06	6,30
2	11,17	0,00	1,53	0,14	13,70
3	8,55	0,00	1,20	0,14	14,00
4	12,73	0,33	0,57	0,07	7,00
5	13,03	2,88	0,56	0,26	26,40
6	3,43	0,33	0,03	0,11	10,60
7	24,19	15,12	1,48	0,69	68,60
8	16,27	14,14	0,30	0,89	88,70
9	5,95	0,81	0,81	0,27	27,10
10	11,61	7,83	1,39	0,79	79,40
11	20,95	4,43	2,34	0,32	32,30
12	37,07	6,03	1,38	0,20	20,00
13	6,85	0,76	0,32	0,16	15,70
14	5,72	0,00	0,09	0,02	1,50
15	3,85	0,00	0,08	0,02	2,20
16	27,12	3,04	1,44	0,17	16,50
17	6,04	0,00	0,01	0,00	0,10
18	6,97	0,00	0,18	0,03	2,60
19	10,22	0,00	0,26	0,03	2,50

Fonte: Autoria própria (2021).

Na Figura 11 pode-se notar os trechos com maior índice de urbanização da bacia, se tornando evidente o maior grau nos trechos 8, 10 e 7, encontrados no município de Londrina nas faixas de 88,7%, 79,4% e 68,6% respectivamente Tabela 9.

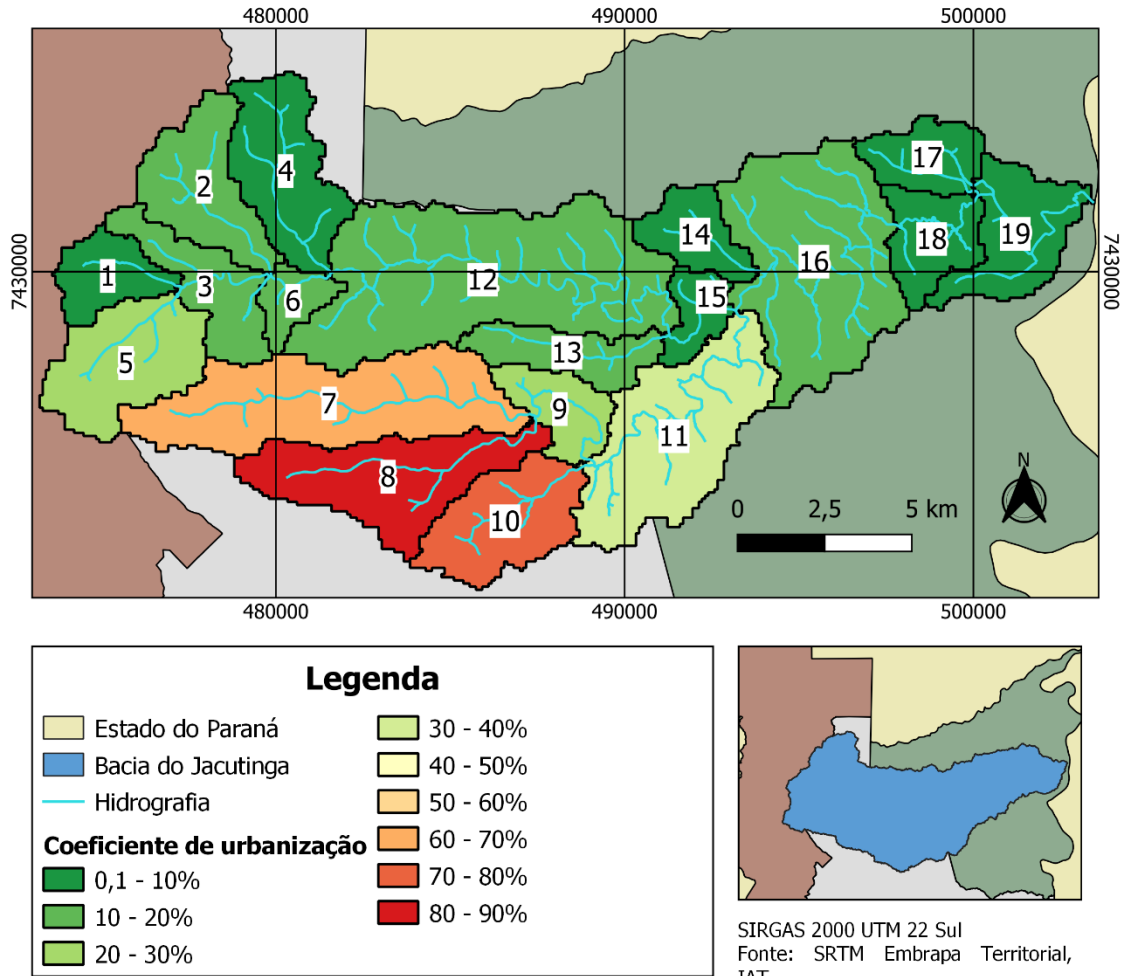
No município de Ibiporã percebe-se urbanização intensa apenas no trecho 11 (Figura 12), com valor de 32,3%, a expansão urbana ocorre em pequenas parcelas, sendo o município que possui menor porcentagem de ocupação do solo por urbanização na área de estudo de abrangência da bacia. Acrescenta-se que é o local onde se encontra maior índice de vegetação da bacia de acordo com mapa da Figura 8.

No município de Cambé onde há menor parcela pertencente a bacia, não se observa grau elevado de urbanização, porém é nesse trecho onde se encontra a nascente do curso principal (Figura 13), localizada no trecho 5 com coeficiente de 26,4%, sendo o maior valor dessa região. A proximidade da densa urbanização é fator



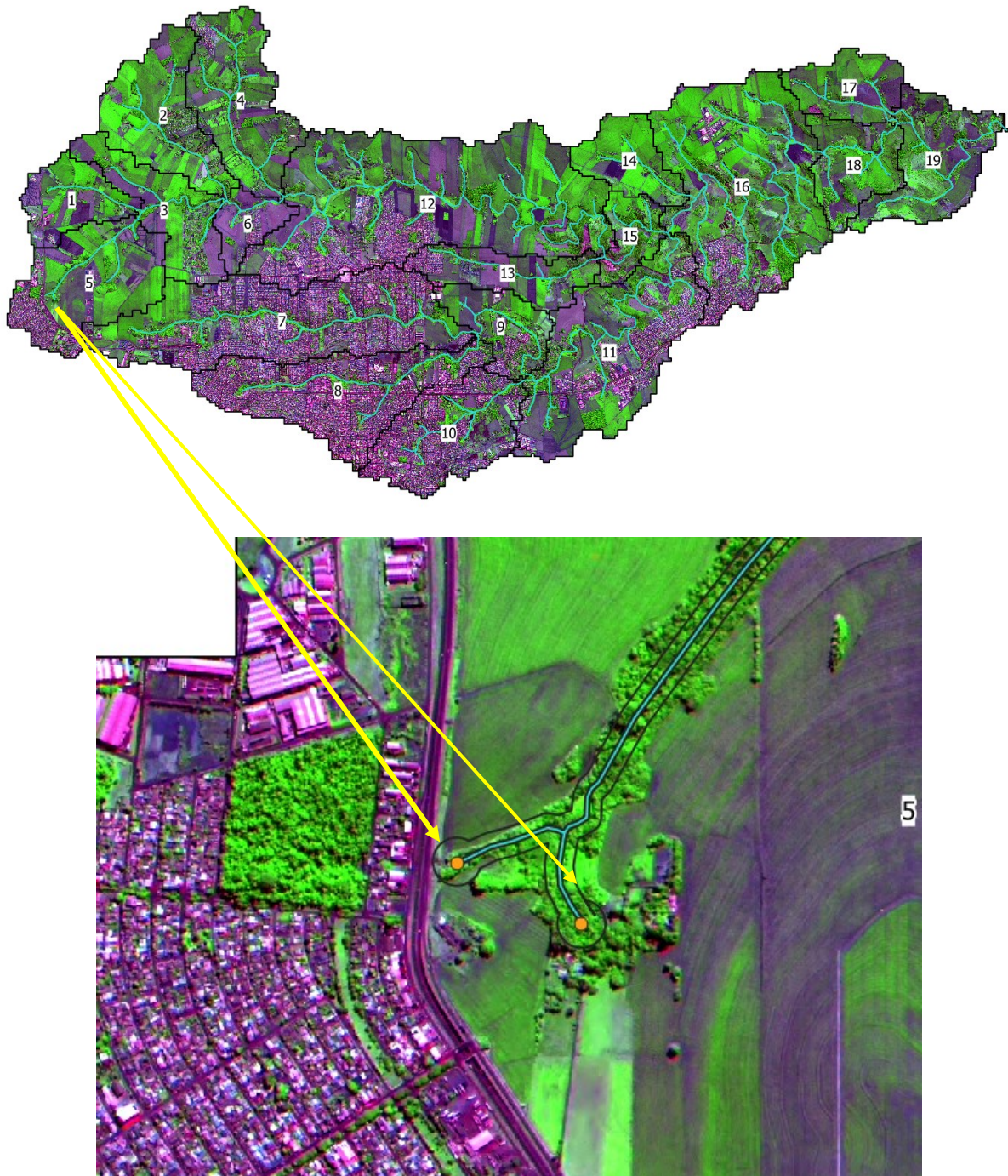
preocupante e exige atenção, uma vez que a APP de uma delas demonstra não estar totalmente preservada com raio menor que 50 metros e muito próximo à rodovia.

Figura 12 - Mapa do coeficiente de urbanização da Bacia do Jacutinga



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 13 – Análise da proximidade da urbanização a nascente do canal principal.



Fonte: A autoria própria (2021).

Com as três variáveis, foi calculado o índice de Degradação Hídrica (Dh) de cada trecho, cujos valores estão na Tabela 9 e ilustrados na (Figura 14). O índice de escoamento fluvial (Ef) depende das características morfométricas e hidrológicas de cada sub-bacia. A relação entre coeficiente de urbanização (Ku) e índice de vegetação (IVm) é indicador de atividade antrópica relacionando áreas densamente urbanizadas e em expansão com áreas verdes (FERREIRA; MORETI, 1998).

Tabela 10 – Resultados obtidos de cada parâmetro.

Trecho	Ef	Ku	IVm	Dh
1	1,98	0,06	0,36	0,35
2	3,78	0,14	0,48	1,09
3	2,09	0,14	0,41	0,72
4	3,78	0,07	0,40	0,66
5	4,92	0,26	0,34	3,85
6	5,47	0,11	0,19	3,10
7	0,94	0,69	0,24	2,70
8	0,86	0,89	0,17	4,42
9	2,42	0,27	0,36	1,83
10	6,34	0,79	0,20	25,25
11	2,27	0,32	0,30	2,42
12	1,19	0,20	0,34	0,70
13	4,42	0,16	0,29	2,37
14	6,27	0,02	0,52	0,18
15	5,87	0,02	0,45	0,29
16	2,20	0,17	0,42	0,86
17	7,76	0,00	0,40	0,02
18	4,98	0,03	0,45	0,29
19	1,27	0,03	0,37	0,09
Média	3,62	0,23	0,35	2,69
Desvio padrão	2,12	0,27	0,10	5,62
Mediana	3,78	0,14	0,36	0,86

Fonte: Autoria própria (2021).

O trecho com maior índice de degradação hídrica é o trecho 10 e 8, com um valor de 25,25 e 4,42 respectivamente. Eles se encontram com valores acima da média de cada trecho da bacia, juntamente com os trechos 5 e 7 com índice de 3,85 e 2,70 respectivamente. São locais em que o índice de vegetação apresentou valores abaixo da média geral e conseqüentemente altos valores de urbanização, com poucas áreas verdes e alta ocupação antrópica por construções civis, aumentando com isso os valores do índice de degradação hídrica.

Das regiões analisadas, a exceção a análise é o trecho 6, devido à baixa vegetação presente na imagem registrada pelo CBERS4a e solo exposto associado à cultura recém-plantada ou recém-colhida, e não havendo praticamente expansão urbana e pequena parcela de área densamente urbanizada, seu valor de degradação não está interligado com o fator urbano, mas sim com o fator rural.

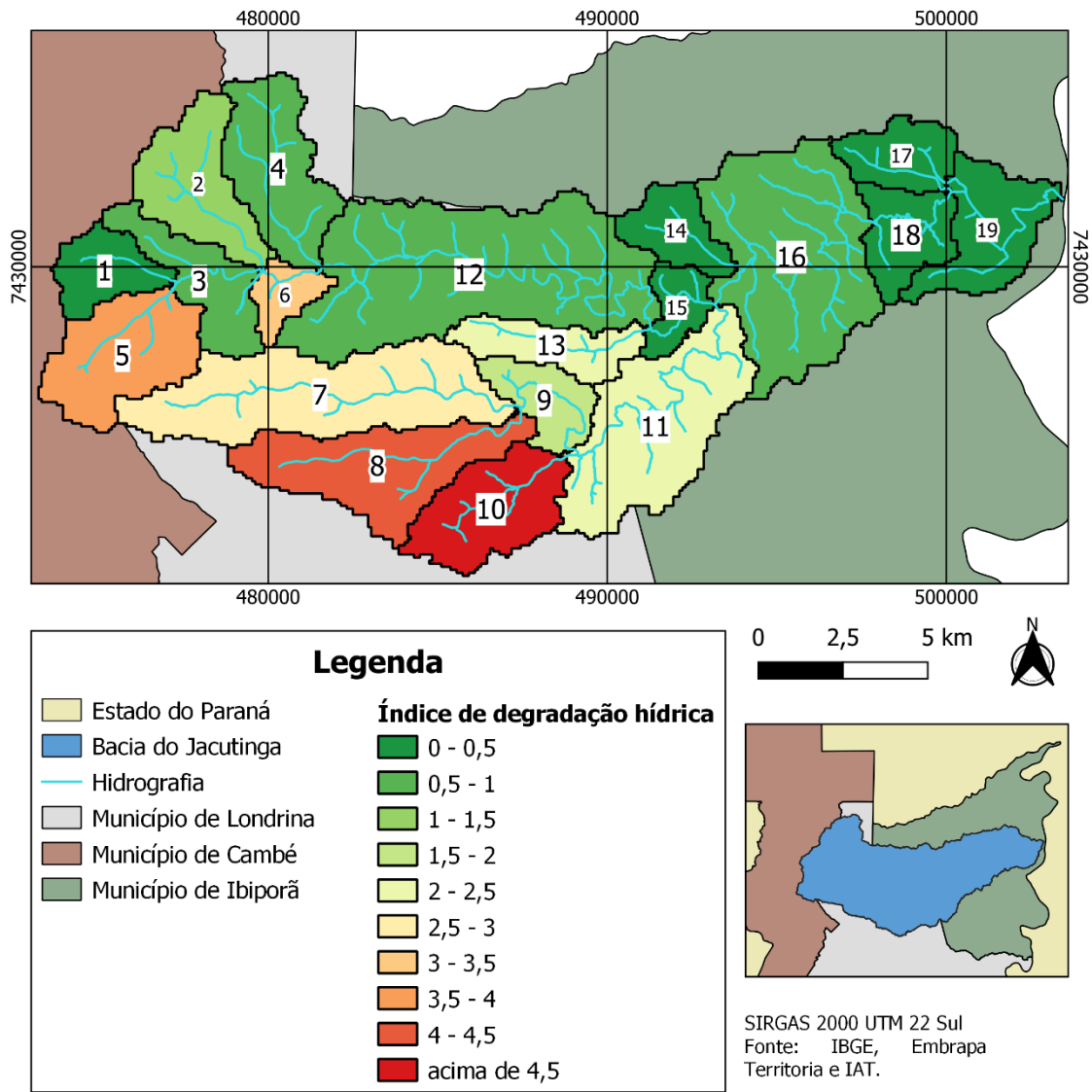
As regiões 11 e 13 chegaram próximos ao valor da média da bacia, regiões que sofrem por atividades antrópicas e por conseqüência estão abaixo do valor mediano de 0,36 do índice médio de vegetação devido a sua ocupação do solo.

Entre os trechos que se encontram acima do valor mediano de degradação hídrica que seria 0,86, estão os trechos 2, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 13 e 16. Destas, apenas as regiões 2 e 16 possuem índice de vegetação acima da média da bacia, isso se dá pela sua distância das áreas urbanas possuindo menor porcentagem ocupada com 13,7 e 16,5% dentre as regiões de maior degradação.

De forma geral, percebeu-se que o índice está associado a risco ou susceptibilidade das sub-bacias, considerando os seus aspectos geomorfológicos, área urbanizada e com vegetação densa. Ressalta-se assim, que não possui relação com a qualidade ou uso dos recursos hídricos presentes na bacia.

Pela forma como o índice é calculada, não deve ser aplicado em regiões que não possuem áreas urbanizadas, uma vez que o produto tornar-se-ia nulo. Sugere-se inclusive estudos subsequentes que realizem análise de sensibilidade dos parâmetros, bem como teste de outras expressões matemáticas, como somatório dos fatores envolvidos, a fim de eliminar o problema de resultar em valor nulo quando não se tem área urbanizada.

Figura 14 – Índice de degradação da bacia do Ribeirão Jacutinga



Fonte: Autoria própria (2021).

## 6. CONCLUSÃO

Com base na análise dos três parâmetros que compõem o índice de degradação, foi possível realizar uma avaliação geral da bacia hidrográfica do Ribeirão Jacutinga baseada em algumas características morfométricas dos recursos hídricos, cobertura vegetal e urbanização.

A partir dos dados resultantes dos cálculos, é possível concluir que os trechos da bacia que possuem maior degradação estão dentro de áreas urbanizadas onde sua vegetação é mais precária. Neste caso, os trechos que necessitam de atenção são os trechos 6, 7, 8, 10 no município de Londrina e o trecho 5 no município de Cambé, onde estão localizadas algumas nascentes e principalmente a nascente do curso principal. Os trechos citados foram considerados prioritários pelo fato de apresentarem índice de degradação hídrica acima da média.

Foram caracterizadas as condições dessa bacia de manancial e de seus trechos de sub-bacias com o intuito de gerar informações que subsidiem as tomadas de decisões associadas a questões ambientais. Além disso foi gerado banco de dados que pode ser utilizado para planejamento urbano, que poderia adotar critérios para uma expansão urbana mais organizada e com normas e monitoramento contínuo quanto ao uso do solo próximo ao manancial presente. Considera-se este banco de dados geográfico como importante contribuição do trabalho, o qual pode ser ponto de partida para integração de outras informações georreferenciadas que possibilitariam a expansão da análise para outros critérios ambientais e socioeconômicos, essenciais para uma caracterização mais ampla da área de estudo.

Das ações que podem ser implantadas estão o Plano de recuperação de áreas degradadas principalmente no entorno de nascentes, e nas regiões em que os corpos hídricos se localizam dentro do perímetro urbano denso; Plano de monitoramento e recuperação de ambientes aquáticos que apresentarem degradação, pois o escoamento superficial muda quando há a impermeabilização das superfícies pela urbanização. Com o valor do índice de degradação de cada sub-bacia é possível identificar, ainda, quais áreas requerem prioridade em termos de planejamento e gestão.

Ressalta-se, enfim, que as cidades que possuem corpos hídricos e que se utilizam dessa água como fonte de vida e desenvolvimento devem ter um plano básico de controle e preservação, considerando o cenário atual e perspectivas de médio e longo prazo (TUCCI, 1997), principalmente em casos de bacias intermunicipais.

Este trabalho pode servir de base para futuros trabalhos com desenvolvimento do índice de degradação de bacia e a sua classificação, adequação para outros tipos de estudos, como também para análise temporal de regiões de bacias urbanas e análise do comportamento da expansão urbana.

## 7. REFERÊNCIAS

ANA. Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil 2012. In: **Agência Nacional de Águas**. Brasília: [s.n.]. p. 265.

ANA. **Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos**. Disponível em: <<https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/politica-nacional-de-recursos-hidricos/sistema-de-informacoes-sobre-recursos-hidricos>>. Acesso em: 11 nov. 2021.

ARABORI, M. K. N. et al. Análises das características hidrogeológicas da microbacia do ribeirão Jacutinga em Ibiporã-PR. **Ciência Geográfica - Bauru**, v. XXV, n. 1, p. 243–252, 2021.

BARRELLA, W. et al. As relações entre as matas ciliares, rios e os peixes. In: **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2000. p. 187–207.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**, 1988. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicaocompilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm)>

BRASIL. **Lei 9433 de 8 de janeiro de 1997**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm)>. Acesso em: 29 jul. 2021.

BRASIL. **Lei 12.651 de 25 de maio de 2012 Casa Civil**, 2012. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm)>

CARVALHO, A. P. V.; BRUMATTI, D. V.; DIAS, H. C. T. Importância do manejo da bacia hidrográfica e da determinação de processos hidrológicos. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v. 2, p. 148–156, 2012.

CARVALHO, D. F. DE; SILVA, L. D. B. DA. Bacia Hidrográfica. In: **Hidrologia**. Rio de Janeiro: UFRRJ, 2006. p. 15–32.



CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blugücher, 1980.

CONFALONIERI, U.; HELLER, L.; AZEVEDO, S. Água e saúde: Aspectos globais e nacionais. In: **Águas do Brasil Análises estratégicas**. 1. ed. São Paulo: Academia Brasileira de ciências, 2010. p. 27–38.

EMBRAPA. **SRTM - Shuttle Radar Topography Mission**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/srtm>>. Acesso em: 28 out. 2021.

EOS. **NDVI**. Disponível em: <<https://eos.com/pt/make-an-analysis/ndvi/>>. Acesso em: 8 nov. 2021.

FERREIRA, M. C.; MORETI, E. Um Indicador de Degradação de Bacias Hidrográficas obtido a partir de Modelos Digitais do Terreno e Dados Orbitais em Ambiente de Geoprocessamento. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. IX, p. 549–560, 1998.

FINKLER, R. Unidade 1 Bacia Hidrográfica. In: **Planejamento, manejo e gestão de bacias**. [s.l.] Agência Nacional de águas, 2017. p. 1–55.

HORTON, R. E. Erosional development os streams and their drainage basins; Hydrophysical approach to quantitativa morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v. 56, p. 275–370, 1945.

IBGE. **Áreas urbanizadas do Brasil : 2015**. Disponível em: <[https://www.ibge.gov.br/apps/areas\\_urbanizadas/](https://www.ibge.gov.br/apps/areas_urbanizadas/)>. Acesso em: 1 nov. 2021a.

IBGE. **Classificação e caracterização dos espaços rurais e urbanos no Brasil**. 11.

ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017b.

IBRAHIN, F. I. D. Sensoriamento remoto. In: **Introdução ao geoprocessamento ambiental**. 1. ed. São Paulo: Editora Érica, 2016a. p. 86–101.

IBRAHIN, F. I. D. Aspectos gerais do geoprocessamento ambiental. In: **Introdução ao geoprocessamento ambiental**. 1. ed. São Paulo: Editora Érica, 2016b. p. 13–35.

INPE. **Sobre CBERS**. Disponível em: <<http://www.cbbers.inpe.br/sobre/index.php>>. Acesso em: 20 jul. 2021.

INPE. **Primeiras Imagens do CBERS 04A**. Disponível em: <[http://www.cbbers.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod\\_Noticia=5331](http://www.cbbers.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=5331)>. Acesso em: 20 jul. 2021a.

INPE. **Câmeras Imageadoras CBERS 04A**. Disponível em: <<http://www.cbbers.inpe.br/sobre/cameras/cbbers04a.php>>. Acesso em: 20 jul. 2021b.

INPE. **Lançamento CBERS 04A**. Disponível em: <<http://www.cbbers.inpe.br/lancamentos/cbbers04a.php>>. Acesso em: 20 jul. 2021.

JÚNIOR, C. B.; BARBASSA, A. P. **Geoprocessamento e recursos hídricos**. 1. ed. São Carlos: EdUFSCAR, 2014.

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** Tese de Soutorado em Geotecnia São Carlos Universidade de São Paulo, , 1995.

LONDRINA. Plano Municipal de Saneamento Básico. **Prefeitura do município de Londrina**, v. VOLUME I, 2015.

MAACK, R. Breves Notícias Sobre a Geologia dos Estados do Paraná e Santa Catarina.

**Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. jubilee, n. 0, p. 169–288, 1947.

MACIEL, A. F. T. et al. Análise morfométrica da bacia do Rio Jacutinga. **Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, n. 11 e 15, p. 1–13, 2019.

MENESES, P. R. Princípios do Sensotamento Remoto. In: **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. 1. ed. Brasília: UNB, 2012. p. 1–31.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. DE. Aritmética de Bandas. In: **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UNB, 2012. p. 138–167.

PARANÁ. Lei Estadual 12.726 de 26 de novembro de 1999. **Sistema Estadual de Legislação**, p. 1–19, 1999.

PIMENTEL, L. **Bacia Hidrográfica**. Disponível em:

<<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595155510/>>. Acesso em: 19 jul. 2021.

RUDORFF, B. F. T. **Material didático para ensino de Sensoriamento Remoto do Programa Educa Sere**. Disponível em:

<<http://www3.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/>>. Acesso em: 14 jul. 2021.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. In: **Geological Society of America Bulletin**. 5. ed. Colorado: [s.n.]. p. 597–646.

SOUZA, C. R. DDE G. Suscetibilidade morfométrica de bacias de drenagem ao desenvolvimento de inundações em áreas costeiras. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, p. 45–61, 2005.

STEIN, R. T. Conceitos sobre mata de galeria, mata ciliar, resiliência, ecossistema estável e ecossistema perturbado. In: **Recuperação de áreas degradadas**. [s.l: s.n.]. p. 250–252.

STRAHLER, A. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. **American Geophysical Union**, v. 38, n. 6, p. 913–920, 1957.

TRAJANO, S. R. R. DA S. et al. Análise Morfométrica de Bacia Hidrográfica - Subsídio à Gestão Territorial Estudo de caso no Alto e Médio Mamanguape. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento - Embrapa Gestão Territorial**, v. 2, n. 1, p. 18–22, 2012.

TUCCI, C. E. M. Água Doce. In: **Água no meio urbano**. 1. ed. Rio Grande do Sul: Instituto de Pesquisas Hidráulicas/UFRGS, 1997. p. 40.

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

VON SPERLING, E. Afinal, qaunta água temos no planeta ? **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, p. 189–199, 2006.