

Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

**POTENCIAL DE APLICAÇÃO DO ÍNDICE NDWI PARA ANÁLISE DE ÁREAS  
ÚMIDAS – ESTUDO DE CASO: SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO TRIÂNGULO  
MINEIRO.**

Caio Abreu Simões

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vânia Silvia Rosolen

**Rio Claro (SP)**  
**2019**

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

CAIO ABREU SIMÕES

POTENCIAL DE APLICAÇÃO DO ÍNDICE NDWI PARA ANÁLISE  
DE ÁREAS ÚMIDAS – ESTUDO DE CASO: SUB-BACIA  
HIDROGRÁFICA DO TRIÂNGULO MINEIRO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Campus  
de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista  
Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de  
Bacharel em Engenharia Ambiental.

S593p

Simões, Caio Abreu

Potencial de aplicação do índice ndwi para análise de áreas úmidas  
– estudo de caso: sub-bacia hidrográfica do triângulo mineiro / Caio  
Abreu Simões. -- Rio Claro, 2019

52 f. : il., tabs., mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia  
Ambiental) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de  
Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro

Orientadora: Vania Silvia Rosolen

1. Estudo ambiental. 2. Áreas Úmidas. 3. Geoprocessamento. I.  
Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de  
Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada

CAIO ABREU SIMÕES

POTENCIAL DE APLICAÇÃO DO ÍNDICE NDWI PARA ANÁLISE  
DE ÁREAS ÚMIDAS – ESTUDO DE CASO: SUB-BACIA  
HIDROGRÁFICA DO TRIÂNGULO MINEIRO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas -  
Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual  
Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do  
grau de Engenheiro Ambiental.

Comissão Examinadora:

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vania Silvia Rosolen

MSc. Lucas Moreira Furlan

Guilherme Whyte Afonso Ferreira

Rio Claro, 25 de novembro de 2019.

---

Caio Abreu Simões

---

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vania Silvia Rosolen

## **AGRADECIMENTOS**

Aqui fica o agradecimento, primeiramente, a minha orientadora, Prof<sup>a</sup> Vania Rosolen, que desde o princípio me incentivou a concluir diversas etapas da minha graduação apesar dos contratempos, e cujo apoio e confiança foram cruciais para que eu desenvolvesse o projeto de forma autônoma e auto-crítica, se mostrando presente para todos os momentos, mesmo que eu próprio não estivesse ali. Ainda em primeiro lugar, o agradecimento especial aos meus pais e familiares, principalmente à minha avó, que sempre me apoiaram e dedicaram suas forças exaustivamente, sempre depositando em mim sua confiança plena, acreditando que eu encontraria o meu caminho sozinho, mas sempre acompanhado de suas bênçãos. Sem eles, nada disso faria sentido.

Em segundo lugar, o agradecimento aos meus amigos e colegas de trabalho, pelas palavras inspiradoras, apoio moral, e risadas e momentos de descontração, que me foram tão essenciais quanto os momentos de cobrança e broncas pelos atrasos intrínsecos à minha pessoa. Aos colegas de faculdade, amigos para toda vida, faltam palavras que descrevam tudo o que passamos juntos, e que foram essenciais para se chegar a este momento, que é o fim de um ciclo pra todos nós, dentre os tantos que existirão em nossas vidas. A todos eles, minha consideração extrema e agradecimento eterno por terem sido peças chave na minha caminhada.

## RESUMO

As áreas úmidas, como ecossistemas frágeis e extremamente relevantes no contexto das áreas protegidas por lei, no Brasil, têm se mostrado cada vez mais sensíveis às mudanças antrópicas. No contexto da pesquisa desenvolvida neste trabalho, o objetivo foi analisar historicamente a resposta do Índice NDWI (Índice de Água por Diferença Normalizada) frente a uma área de Cerrado do Triângulo Mineiro já intensamente modificada pela ação humana, identificando as áreas úmidas e avaliando sua evolução ao longo do período histórico determinado (1986 a 2019), e relacionando os dados gerados com índices pluviométricos acumulados, adquiridos a partir de estação pluviométrica localizada na bacia hidrográfica correspondente. Os resultados mostraram uma relação íntima entre o NDWI e a precipitação para a maior parte da estação chuvosa, sendo que a manifestação hídrica das áreas úmidas dos anos mais recentes, porém, não acompanhou o regime de chuvas discriminado a partir dos dados pluviométricos. Para a estação seca, os resultados mostraram uma diminuição bastante significativa dessas áreas, apesar da pouca alteração verificada no regime de chuvas, mostrando que o fator uso do solo, bem como fatores pedológicos e geológicos, poderiam vir a explicar este fenômeno. O estudo se mostrou bastante relevante para entender a dinâmica de áreas úmidas num contexto de série histórica, sem ausentar a necessidade de se desenvolver outros estudos acerca do tema na área delimitada, abordando os possíveis fatores de influência.

**PALAVRAS-CHAVE:** áreas úmidas. Cerrado. NDWI. índices pluviométricos. série histórica.

## **ABSTRACT**

Wetlands, as fragile and extremely relevant ecosystems in the context of legally protected areas in Brazil, have been increasingly sensitive to anthropogenic changes. In the context of the research developed in this work, the objective was to historically analyze the response of the NDWI Index (Normalized Difference Water Index) to an area of Cerrado of the Triângulo Mineiro already intensively modified by human action, identifying wetlands and evaluating their evolution over the determined historical interval (1986 to 2019), and relating the generated data with accumulated rainfall patterns, acquired from a weather station located in the corresponding watershed. The results showed an intimate relationship between NDWI and precipitation for most of the rainy season, but the water manifestation of wetlands in recent years, however, did not follow the rainfall regime discriminated from rainfall data. For the dry season, the results showed a significant decrease of these areas, despite the little change in the rainfall regime, showing that the land use factor, as well as pedological and geological factors, could explain this phenomenon. The study proved to be very relevant to understanding the dynamics of wetlands in a historical series context, without putting aside the need to develop other studies on the theme in the specified area, addressing the possible factors of influence.

**KEY WORDS:** wetlands. Cerrado. NDWI. Rainfall patterns. historical series.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> Localização da área de estudo em imagem de satélite.....                                                                      | 16 |
| <b>Figura 2.</b> Localização da área de estudo no contexto das Bacias Hidrográficas.....                                                       | 17 |
| <b>Figura 3.</b> Cenas SRTM brutas da área de interesse antes do processo de mosaicagem. ....                                                  | 23 |
| <b>Figura 4.</b> Cenas SRTM brutas da área de interesse após o processo de mosaicagem. ....                                                    | 23 |
| <b>Figura 5.</b> Arquivo shapefile do estado de MG, com destaque para as bacias de interesse a serem extraídas. ....                           | 24 |
| <b>Figura 6.</b> Arquivo shapefile das bacias de interesse: Baixo Rio Paranaíba, Rio Araguaari e Baixo Rio Grande. ....                        | 24 |
| <b>Figura 7.</b> Arquivo shapefile dos municípios de interesse selecionados sobre raster recortado. ....                                       | 25 |
| <b>Figura 8.</b> Arquivo raster gerado partir da extração dos limites dos municípios de interesse. ....                                        | 25 |
| <b>Figura 9.</b> Descrição de ferramentas geradoras da sub-bacia de forma automática pelo ArcHydro. ....                                       | 26 |
| <b>Figura 10.</b> Produto em formato Shapefile com a delimitação da área maior de interesse, o Chapadão Uberaba-Uberlândia.....                | 27 |
| <b>Figura 11.</b> Arquivo Shapefile da área maior de interesse sobreposta à imagem de satélite. ....                                           | 27 |
| <b>Figura 12.</b> Rede de drenagem com pontos de drenagem para geração da sub-bacia de interesse. ....                                         | 28 |
| <b>Figura 13.</b> Sub-bacia final definida como área de estudo a ser analisada. ....                                                           | 28 |
| <b>Figura 14.</b> Características das bandas espectrais do sensor TM.....                                                                      | 30 |
| <b>Figura 15.</b> Exemplo de mapeamento por poligonização das áreas úmidas de expressão hídrica relevante. ....                                | 31 |
| <b>Figura 16.</b> Interface da plataforma online do Landviewer, fonte das imagens de NDWI geradas. ....                                        | 32 |
| <b>Figura 17.</b> Representação de reclassificação do arquivo raster do NDWI para as classes de interesse. ....                                | 34 |
| <b>Figura 18.</b> Classes do NDWI atribuídas ao raster reclassificado, para a estação chuvosa. ....                                            | 34 |
| <b>Figura 19.</b> Classes do NDWI atribuídas ao raster reclassificado, para a estação seca. ....                                               | 35 |
| <b>Figura 20.</b> Mapa de resultado do NDWI para os anos de 1986, 1990, 1994 e 2000, da estação chuvosa. ....                                  | 38 |
| <b>Figura 21.</b> Mapa de resultado do NDWI para os anos de 2005, 2010, 2015 e 2019, da estação chuvosa. ....                                  | 39 |
| <b>Figura 22.</b> Evolução temporal do índice NDWI das áreas úmidas, em porcentagem, para as seis classes de interesse da estação chuvosa..... | 40 |
| <b>Figura 23.</b> Evolução temporal do índice NDWI das áreas úmidas, em porcentagem, para as classes 5 e 6. ....                               | 41 |
| <b>Figura 24.</b> Gráfico de precipitação acumulada para a série histórica.....                                                                | 42 |
| <b>Figura 25.</b> Valor total de área dos polígonos delimitados para cada ano da série estudada. ....                                          | 43 |
| <b>Figura 26.</b> Mapa de resultado do NDWI para os anos de 1986, 1990, 1994 e 2000, da época seca. ....                                       | 44 |

|                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 27.</b> Mapa de resultado do NDWI para os anos de 2005, 2015 e 2019, da época seca.                                            | 45 |
| <b>Figura 28.</b> Evolução temporal do índice NDWI das áreas úmidas, em porcentagem, para as cinco classes de interesse da estação seca. | 46 |
| <b>Figura 29.</b> Evolução temporal do índice NDWI das áreas úmidas, em porcentagem, para as classes 4 e 5.                              | 46 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1.</b> Satélites e bandas empregadas para mapeamento das AUs. .... | 29 |
|------------------------------------------------------------------------------|----|

## SUMÁRIO

|                                                                                  |           |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                                        | <b>11</b> |
| <b>2 OBJETIVOS .....</b>                                                         | <b>15</b> |
| 2.1 Objetivo geral .....                                                         | 15        |
| 2.2 Objetivos específicos .....                                                  | 15        |
| <b>3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>                                  | <b>16</b> |
| 3.1 Área de Estudo.....                                                          | 16        |
| 3.2 Geologia regional .....                                                      | 18        |
| 3.3 Hidrogeologia .....                                                          | 19        |
| 3.3.1 Aquífero Bauru Superior .....                                              | 19        |
| 3.3.2 Aquífero Bauru Inferior .....                                              | 20        |
| <b>4 METODOLOGIA.....</b>                                                        | <b>22</b> |
| 4.1 Delimitação da Área de Estudo .....                                          | 22        |
| 4.2 Aquisição de imagens de satélite Landsat e delimitação de áreas úmidas ..... | 29        |
| 4.3 Obtenção das imagens NDWI, reclassificação e cálculo de áreas úmidas .....   | 31        |
| 4.4 Aquisição de dados de Precipitação e geração de gráfico .....                | 35        |
| <b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                                           | <b>37</b> |
| 5.1 Estação Chuvosa (Janeiro – Março) .....                                      | 37        |
| 5.1.1 Análise do NDWI .....                                                      | 37        |
| 5.1.2 Análise de precipitação e áreas úmidas por poligonização.....              | 41        |
| 5.2 Estação Seca (Julho – Setembro).....                                         | 44        |
| <b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>                                               | <b>47</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                                         | <b>48</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>                                                              | <b>50</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

No atual cenário mundial de fenômenos de mudanças climáticas e escassez de recursos naturais para suprir a crescente demanda da humanidade, é de suma importância a necessidade de se discutir a utilização racional e sustentável dos recursos hídricos, e que se apresenta como um problema crônico em diversas regiões do planeta.

Em um país mundialmente reconhecido por ser detentor de enormes reservas de água doce e extensos canais fluviais, o setor hídrico vem ganhando atenção e interesse da sociedade brasileira, no que tange a necessidade de se discutir a gestão adequada desse recurso. Isto pode ser verificado pelo crescente número de estudos e pela elaboração de leis específicas para a sua gestão, nas quais a água passa a ser tratada como um recurso escasso e limitado.

O histórico da legislação brasileira aborda, dentre as cartas legais, a Lei 9.433 de 07 de janeiro de 1997, que estabelece a Política Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e a Lei 9.984 de 17 de julho de 2000, que instituiu a Agência Nacional de Águas (ANA). O órgão federal tem como função a implementação da referida Política, assim como a coordenação do Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos, que fornece diretrizes para a gestão hídrica no âmbito municipal, estadual e federal.

Entre as ações de maior importância para a conservação dos recursos hídricos a fim de manter o equilíbrio ambiental e o bem-estar das populações humanas, está a preservação das áreas úmidas, que desempenham um papel fundamental no equilíbrio hidrológico, garantindo a sua perenidade e oferta deste recurso com qualidade e disponibilidade adequada para as atividades humanas.

De acordo com Junk et al. (2013), “Áreas Úmidas são ecossistemas na interface entre ambientes terrestres e aquáticos, continentais ou costeiros, naturais ou artificiais, permanente ou periodicamente inundados ou com solos encharcados. As águas podem ser doces, salobras ou salgadas, com comunidades de plantas e animais adaptados à sua dinâmica hídrica”.

Ainda em outra definição, áreas úmidas (AUs) são ecossistemas de alta importância para o ser humano, pois exercem muitas funções, como prover alimentos, estocar e regularizar o fluxo de água, abrigar uma biodiversidade alta e influenciar substancialmente

o ciclo de carbono e outros gases do efeito estufa (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005).

No âmbito da legislação nacional, a importância das áreas úmidas foi incorporada plenamente ao arcabouço legal do Brasil em 1996, pela promulgação do Decreto nº 1.905/96. Essa incorporação se deu pelo fato de o Brasil ter sido um dos países signatários da Convenção sobre Zonas Úmidas de Importância Internacional, mais conhecida como Convenção de Ramsar. Estabelecida em fevereiro de 1971, na cidade iraniana de Ramsar, a Convenção é um tratado intergovernamental que estabeleceu marcos para ações nacionais e para a cooperação entre países com o objetivo de promover a conservação e o uso racional de áreas úmidas no mundo. Essas ações estão fundamentadas no reconhecimento, pelos países signatários da Convenção, da importância ecológica e do valor social, econômico, cultural, científico e recreativo de tais áreas.

No Brasil, áreas úmidas são encontradas em diversos biomas e se diferem principalmente em relação aos fatores: qualidade de água, teor de sal, altitude e dinâmica do fluxo (intensidade, sazonalidade, amplitude, período de alagamento, fonte de alimentação). Algumas categorias que podem ser citadas são: (a) áreas alagáveis ao longo de grandes rios de diferente qualidade de água (águas brancas: várzeas, pretas e claras: igapós), (b) baixios ao longo de igarapés de terra firme, (c) áreas alagáveis nos interflúvios (campos, campinas alagáveis, campos úmidos, veredas, campos de murundus, brejos, florestas paludosas) e (d) áreas úmidas do estuário (mangues, banhados e lagoas costeiras). Todos os tipos de áreas úmidas devem receber tratamento específico na forma da lei, para absorver os avanços científicos e permitir o uso adequado desses ambientes (JUNK et al., 2011a).

No cenário de enorme biodiversidade e pluralidade de biomas que existem no Brasil, o Cerrado é um exemplo de negligência. Enquadrado como o segundo maior bioma do país, ocupando originalmente uma área de mais de 200 milhões de hectares pelo território nacional, o espaço geográfico ocupado pelo bioma Cerrado desempenha papel fundamental por ser o local de origem das grandes regiões hidrográficas brasileiras. Considerada a mais úmida das savanas do mundo, detentora de solos arenosos e profundos na maior parte do país, o Cerrado, especialmente por meio de sua vegetação campestre e savânica, funciona como uma esponja, absorvendo a água abundante das chuvas de verão e liberando essa

água lentamente ao longo de todo o ano, garantindo rios perenes, enquanto em outras savanas do mundo os rios permanecem secos durante boa parte do ano. A vegetação típica de áreas úmidas do Cerrado, especialmente, com seus solos orgânicos profundos e extensas turfeiras sob vegetação herbácea, exerce com alta eficiência o papel de armazenar água e abastecer nascentes durante a estiagem. (DURIGAN et al. 2018).

Nas últimas décadas, as barreiras tecnológicas do Cerrado foram vencidas, levando a taxas alarmantes de conversão de uso de solo (SANO et al. 2009, STRASSBURG et al. 2017) e igualmente alarmantes perdas de biodiversidade que colocaram o bioma entre os hotspots globais para a conservação da natureza (MYERS et al. 2000). A agricultura, se por um lado é uma atividade altamente dependente dos fatores climáticos, cujas alterações podem afetar a produtividade e o manejo das culturas, além de fatores sociais, econômicos e políticos (LIMA; CABRAL; MIGUEZ, 2001), por outro lado, é uma das atividades que mais pode influenciar nas alterações de CO<sub>2</sub>, em virtude da substituição de áreas de vegetação nativa por áreas agricultáveis, ao passo que essas áreas de vegetação nativa possuem elevado potencial de sequestro de carbono, sendo capazes de minimizar os efeitos causados pelo lançamento de gases poluentes na atmosfera.

Somente a partir da década de 1970 a questão ambiental passou a ter maior atenção das instituições governamentais, justamente quando o Cerrado brasileiro é alvo de ocupação, cooptado pelos incentivos estatais à agricultura, de uma ocupação baseada na degradação dos recursos naturais. Essa degradação é dada notadamente a partir da retirada indiscriminada da vegetação natural em áreas de chapada, que são propícias para agropecuária.

Neste contexto, a área de estudo a ser analisada, situada na região do Triângulo Mineiro, no oeste do estado de Minas Gerais, se destaca por ser uma área de Cerrado fortemente impactada pela expansão da fronteira agrícola, e alvo de plantio intensivo de grãos para exportação e culturas voltadas a produção de biocombustíveis em larga escala. Ao mesmo tempo, esta região se destaca por abrigar um grande volume de áreas úmidas, que contribuem para a conservação de fauna e flora, além de serem áreas estratégicas de nascentes e de recarga de aquífero.

Posta em evidência a importância do tema, o monitoramento dessas áreas a partir de geotecnologias, empregadas neste estudo, se mostram ferramentas extremamente úteis para

os mais variados estudos ambientais. O sensoriamento remoto tem sido largamente utilizado em diversas áreas do conhecimento, pois se constitui em importante ferramenta de registro e análise dos fenômenos que ocorrem na superfície da terra. No que se refere a vegetação e à identificação de Áreas Úmidas, a utilização de índices (NDVI, NDWI, SAVI) têm sido amplamente utilizados por possibilitar o monitoramento e sua quantificação a partir do arranjo e manipulação das bandas espectrais. Combinado a outros dados referentes a precipitação e histórico de uso de solo, propiciam um estudo bastante válido e relevante para o entendimento de dinâmicas ambientais da área em questão.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

O principal objetivo deste trabalho é avaliar a dinâmica de retração das áreas úmidas no contexto de uma série histórica, além de explorar o potencial de relacionar o comportamento de um Índice de Umidade da vegetação com a dinâmica dessas áreas na sub-bacia delimitada. Além disso, procedeu-se à utilização de dados pluviométricos acumulados, de forma a gerar um cenário que pudesse explicitar uma possível relação com o contexto histórico de modificação da área de estudo.

### **2.2 Objetivos específicos**

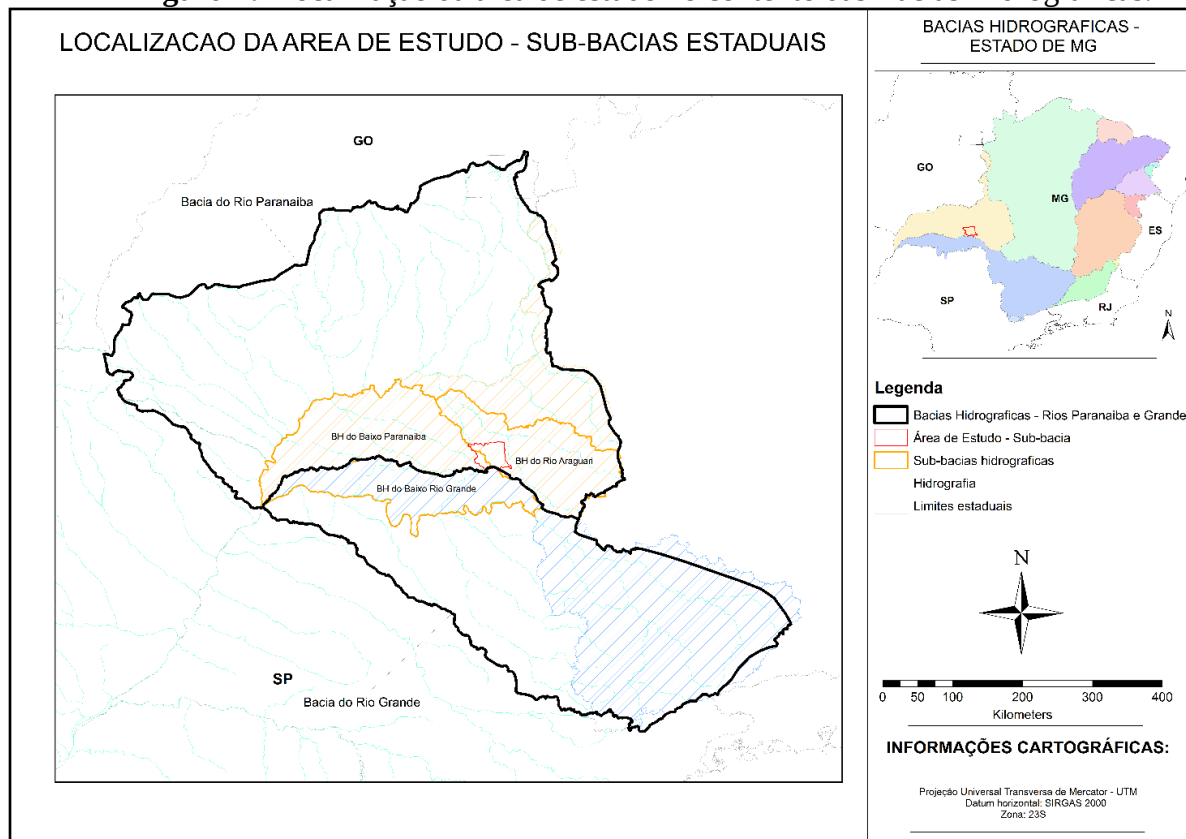
- a. Aplicação do Índice de Umidade por Diferença Normalizada (NDWI) para estações seca e chuvosa dos anos de 1986, 1990, 1994, 2000, 2005, 2010, 2015 e 2019;
- b. Delimitação visual de áreas alagadas no contexto das áreas úmidas para extração de dados de área e comparação de valores entre os anos analisados;
- c. Aquisição de dados pluviométricos da região de interesse para avaliar influência da chuva na dinâmica de áreas úmidas.



ainda na definição do projeto RADAMBRASIL (1983), “planaltos e chapadas que formam a Bacia Sedimentar do Paraná”.

Drenada pelas águas de importantes rios, ribeirões e córregos do oeste Mineiro, como os rios Uberabinha e Claro, o ribeirão do Beija-flor, e os córregos Fundo, das Laranjeiras, da Fortaleza, entre outros, a área de estudo está inserida no contexto das grandes bacias Hidrográficas dos Rios Paranaíba e Grande. Ao nível de bacias hidrográficas estaduais, a sub-bacia definida como área de estudo neste trabalho foi definida a partir da drenagem de três sub-bacias regionais: do Baixo Rio Paranaíba, do Rio Araguari, e do Baixo Rio Grande, sendo que grande parte de sua extensão está inserida na bacia do rio Araguari, como mostra a figura 2.

**Figura 2.** Localização da área de estudo no contexto das Bacias Hidrográficas.



Fonte: autor.

No contexto hidrográfico, os rios Uberabinha e Claro possuem suas nascentes (e as nascentes de seus formadores) na Chapada referida, e são afluentes da margem esquerda do Rio Araguari, que por sua vez compõe a grande bacia do Rio Paranaíba. O Rio Paranaíba,

ao se encontrar com o Rio Grande, origina o Rio Paraná. Toda a área em questão é abrangida pela Região Hidrográfica do Paraná, cuja área ocupa aproximadamente 10% do território nacional e abrange sete estados brasileiros, dentre eles o de Minas Gerais (CBH Araguari, 2011).

A área de estudo possui o Cerrado como bioma predominante, apesar de se tratar de uma área já intensamente modificada pela ação antrópica, e com baixa densidade de vegetação nativa.

### **3.2 Geologia regional**

O Triângulo Mineiro está posicionado no compartimento setentrional da Bacia Sedimentar do Paraná. A Geologia da região é caracterizada por áreas de embasamento cristalino, rochas metamórficas do grupo Araxá, de idade pré-cambriana, encontradas nas bordas da bacia e em faixas de erosão, exumadas pelas drenagens do alto curso do rio Paranaíba e baixo curso dos rios Araguari e Uberabinha. Os arenitos eólicos da Formação Botucatu (Grupo São Bento) compõem a base estratigráfica mesozoica na região analisada. As camadas areníticas apresentam-se intertrapeadas com os basaltos, e na maioria das vezes, tem sua estrutura silicificada pelo contato com os derrames. Os derrames basálticos da Formação Serra Geral, Cretáceo Inferior, recobrem os arenitos da Formação Botucatu em toda sua área de ocorrência, sendo que nas áreas de inexistência dos arenitos, os basaltos assentam-se diretamente sobre as rochas de embasamento. Já no Cretáceo Superior os sedimentos do Grupo Bauru fecham o ciclo de deposição na referida bacia. Os depósitos cenozóicos compreendem colúvios pedogenizados localizados em áreas de escarpa de basalto, depósitos inconsolidados de fundo de vale e depósitos fluviais caracterizados por areais e cascalhos.

### **3.3 Hidrogeologia**

A localização da área de estudo analisada corresponde à unidade geológica do Grupo Bauru, formados principalmente pelos latossolos e as fácies conglomeráticas do Membro Araguari, ambos da Formação Marília. Conforme distinção geológica e comportamento hidrodinâmico, a área situa-se sobre uma região de aquífero caracterizado como poroso ou intergranular.

O aquífero poroso é aqui denominado de Sistema Aquífero Bauru. O Grupo Bauru em toda a extensão da área de estudo comporta-se como aquífero livre. Conforme distinção litológica, porosidade e dinâmica da água no subsolo, o aquífero poroso foi dividido em dois subsistemas: Aquífero Bauru Superior e Inferior.

O Aquífero Bauru Superior é formado pelos latossolos profundos e intemperizados. O Aquífero Bauru Inferior engloba os arenitos e conglomerados do Membro Araguari – base do aquífero. O Sistema Aquífero Bauru compreende os depósitos não confinados de água subterrânea, associados às fácies sedimentares da Formação Marília – Grupo Bauru. Os sedimentos estão sobrepostos aos basaltos da Formação Serra Geral, acima da cota topográfica de 860 metros de altitude, e recobrem toda a área de chapada. Apesar do caráter intergranular da porosidade, o Sistema Aquífero Bauru é heterogêneo. As fácies que compõem o sistema aquífero apresentam distinção quanto à granulometria, porosidade, condutividade hidráulica e litotipo. A espessura das fácies representativas do Aquífero Bauru Superior varia de acordo com a posição ocupada no relevo: as fácies são mais espessas em áreas localizadas na porção interna da chapada, adelgaçando em direção às bordas da chapada até desaparecerem nas áreas de encostas. A espessura das fácies do Subsistema Inferior também é variável. Além dos condicionantes impostos pelo relevo, a espessura das fácies está condicionada também pela paleogeografia irregular do topo do basalto, caracterizada por alternância de cristas e vales onde a amplitude entre os pontos mais baixos e os mais elevados pode chegar a 15 metros.

#### **3.3.1 Aquífero Bauru Superior**

Os latossolos ferralíticos são solos profundos e intemperizados, espessos (até 45 m) e localizados acima da cota topográfica de 860 m. Os solos lateríticos englobam a couraça

laterítica na porção superior dos perfis e concreções ferruginosas em meio à matriz areno-argilosa na porção basal. Com relação às couraças lateríticas é importante observar que no alto da chapada do rio Uberabinha, estas constituem uma barreira hidráulica ao deslocamento vertical da água subterrânea. Dessa forma, nos locais onde as couraças ainda estão cimentadas, formam-se os aquíferos suspensos, a barreira hidráulica inviabiliza a infiltração da água a maiores profundidades, e com isso, quando do período de chuvas, com a recarga do aquífero, tem-se a elevação do nível freático até a superfície do terreno ou próximo deste, propiciando a existência de sub-ambientes úmidos e campos hidromórficos (BORTOLOZO, 2011). Os latossolos que compõem o topo do subsistema compreendem os latossolos vermelhos (EMBRAPA, 1999), que cobrem a maior parte da área de chapada. Esses solos apresentam distinção granulométrica ao longo do perfil vertical. De acordo com estudos realizados por Oliveira e Campos (2003) na cidade vizinha de Araguari, neste subsistema, em superfície, o solo apresenta textura média e condutividade hidráulica entre  $10^{-5}$  e  $10^{-6}$  m/s, coeficientes superiores àqueles medidos em profundidade. Abaixo do horizonte superficial e até a 15 metros de profundidade, há incremento no teor de argila no solo resultando na diminuição dos valores de condutividade hidráulica, que ficam na ordem de  $10^{-6}$  e  $10^{-7}$  m/s. Abaixo de 15 metros de profundidade prevalecem os solos areno-siltosos, dominados por areia fina, textura média e condutividade hidráulica em torno de  $10^{-6}$  m/s. A porosidade efetiva média levantada nos latossolos foi de 15%. Devido as suas condições de porosidade e de condutividade hidráulica, os latossolos assumem importante papel na recarga dos aquíferos poroso e fraturado. Ainda de acordo com os autores, nos pontos mais altos do relevo, o nível estático dos poços varia entre 8 e 30 m.

### **3.3.2 Aquífero Bauru Inferior**

Esse subsistema é formado pelos sedimentos do Membro Araguari. As fácies conglomeráticas do Membro Araguari estão assentadas discordantemente sobre os basaltos da Formação Serra Geral e compõem a base do Sistema Aquífero Bauru. a espessura da camada deste subsistema é variável, podendo chegar até a 20 metros. As fácies conglomeráticas apresentam amplo sortimento de seixos de diâmetros variados, entre 2 a 350 mm de eixo maior, mal selecionados, são clastosustentados e apresentam matriz

arenosa a areno-argilosa. A maioria dos seixos, mais de 90%, é composta por quartzito com grau de arredondamento variável (friáveis a litificados), características de retrabalhamento fluvial. A camada de conglomerado é encontrada em toda a área de extensão do Sistema Aquífero Bauru. Apesar da variação na espessura, o topo da camada é homogêneo, e comporta-se como uma superfície plana. Com exceção das áreas marginais, onde há adelgaçamento de camada, a fácies conglomerática localizada no interior da chapada encontra-se constantemente saturada de água.

## 4 METODOLOGIA

Os procedimentos para se realizar a análise proposta foram divididos em quatro partes: 1) Delimitação da área de estudo; 2) Aquisição de imagens de satélite Landsat e delimitação de áreas alagáveis; 3) Obtenção das imagens NDWI, reclassificação e cálculo de áreas úmidas e 4) Aquisição de dados de precipitação e geração de gráficos.

### 4.1 Delimitação da Área de Estudo

Para delimitação de uma área de estudo que contemplasse a região de interesse onde estariam localizadas as áreas úmidas, optou-se pela delimitação de uma sub-bacia hidrográfica com o auxílio de software de manipulação de imagens, um SIG (Sistema de Informação Geográfica). No caso do presente trabalho, foi utilizado o software ArcGIS (versão 10.4), da marca ESRI. Os arquivos utilizados foram:

-11 *imagens SRTM* (arquivo raster, disponível no site TOPODATA em <<http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>>)

-*arquivo (.shp)*: mapa do estado de MG

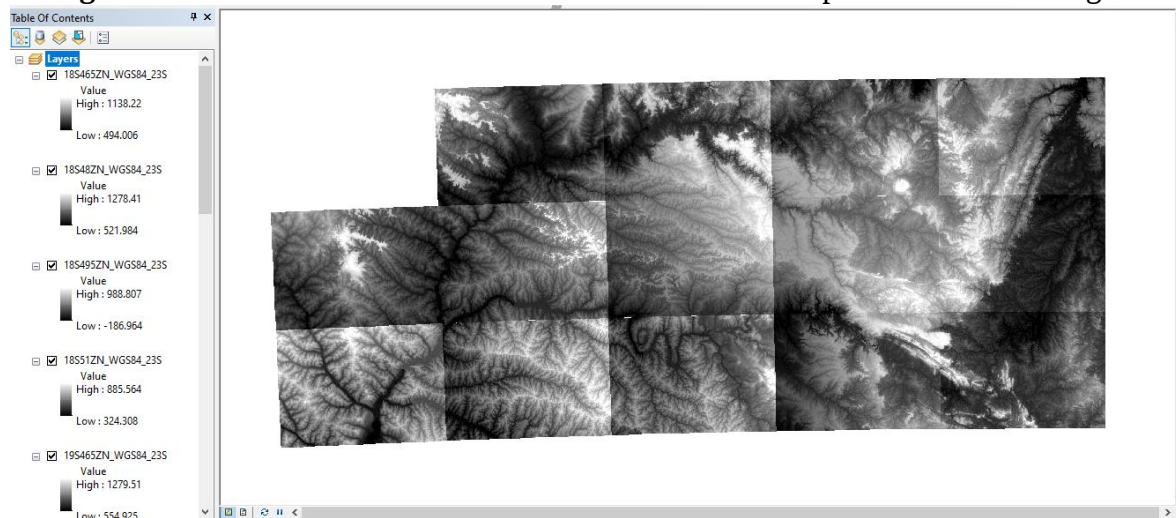
-*arquivo (.shp)*: bacias hidrográficas do estado de MG

Primeiramente, foi necessário a aquisição de imagens do sensor SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). A missão SRTM, lançada pela Agência Espacial Norte-Americana (NASA) teve por objetivo a criação de um amplo banco de dados de imagens geradas por um sensor a partir de técnicas de interferometria, e que foram necessárias para a geração de um Modelo Digital de Elevação global, com as informações altimétricas das terras continentais. Possuem uma resolução espacial de 30 m para as áreas dos Estados Unidos, e de aproximadamente 90 m para as demais localidades do planeta. A partir das informações altimétricas contidas nessas imagens, será gerada a sub-bacia hidrográfica de interesse.

As imagens SRTM deste trabalho foram adquiridas através do portal TOPODATA, no formato *geotiff* para a localidade do oeste de Minas Gerais, e submetidas a um processo

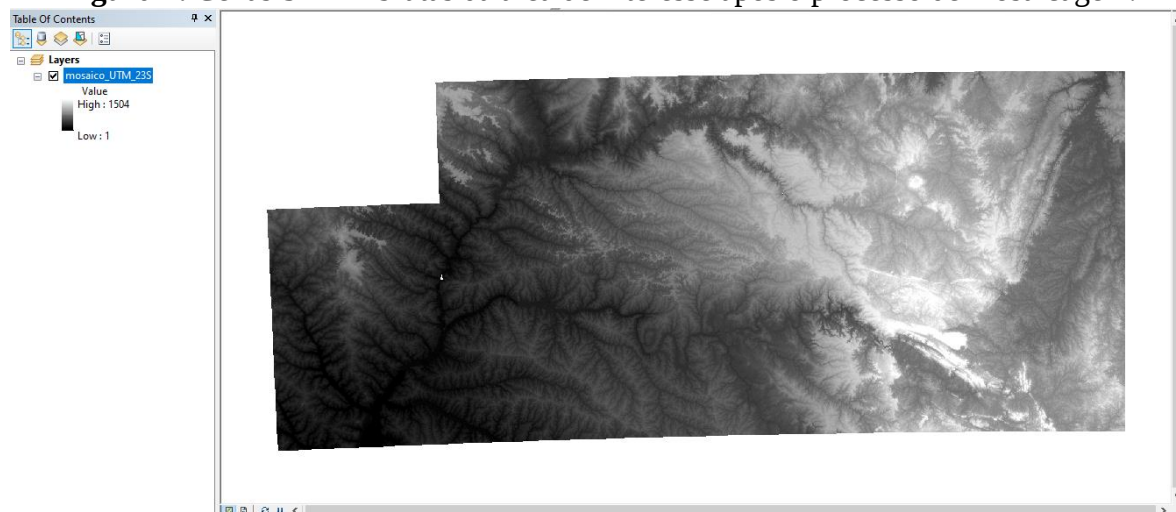
de mosaicagem (a união das imagens de interesse em um só mosaico) no ambiente do ArcGIS. Todas as cenas foram reprojetaadas para o Datum WGS84, Zona 23S.

**Figura 3.** Cenas SRTM brutas da área de interesse antes do processo de mosaicagem.



Fonte: Autor.

**Figura 4.** Cenas SRTM brutas da área de interesse após o processo de mosaicagem.

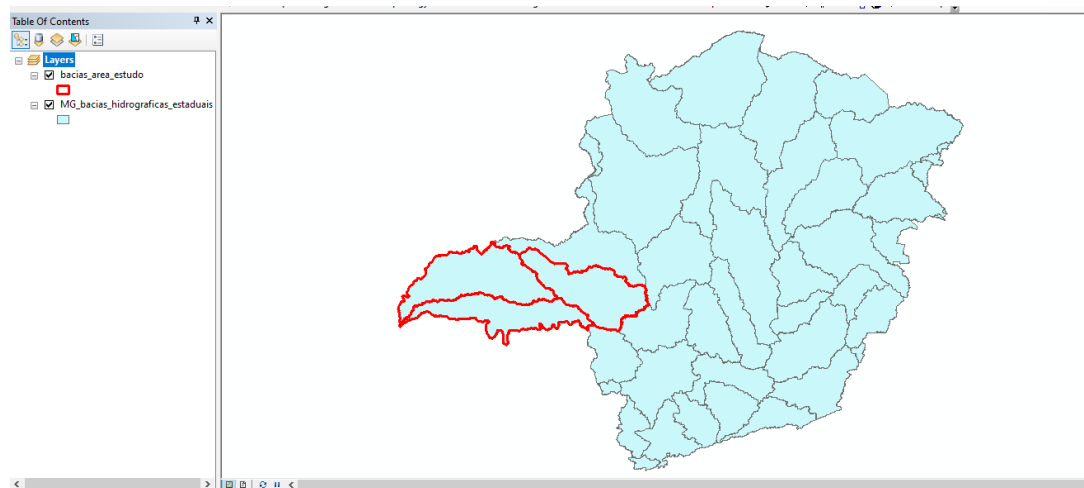


Fonte: Autor.

Posterior a essa etapa, o segundo passo foi a aquisição de uma base no formato Shapefile (.shp) das bacias hidrográficas do estado de MG, adquiridas através do portal METADADOS (disponível em <<https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>>), no site da Agência Nacional de Águas (ANA). A partir dessa base, foram extraídos, no ambiente do ArcGIS,

os shapefiles referentes às bacias de interesse: Baixo Rio Paranaíba, Rio Araguari e Baixo Rio Grande. Com os limites das bacias, foi realizada a extração desses limites a partir do mosaico SRTM gerado anteriormente.

**Figura 5.** Arquivo shapefile do estado de MG, com destaque para as bacias de interesse a serem extraídas.



Fonte: Autor.

**Figura 6.** Arquivo shapefile das bacias de interesse: Baixo Rio Paranaíba, Rio Araguari e Baixo Rio Grande.

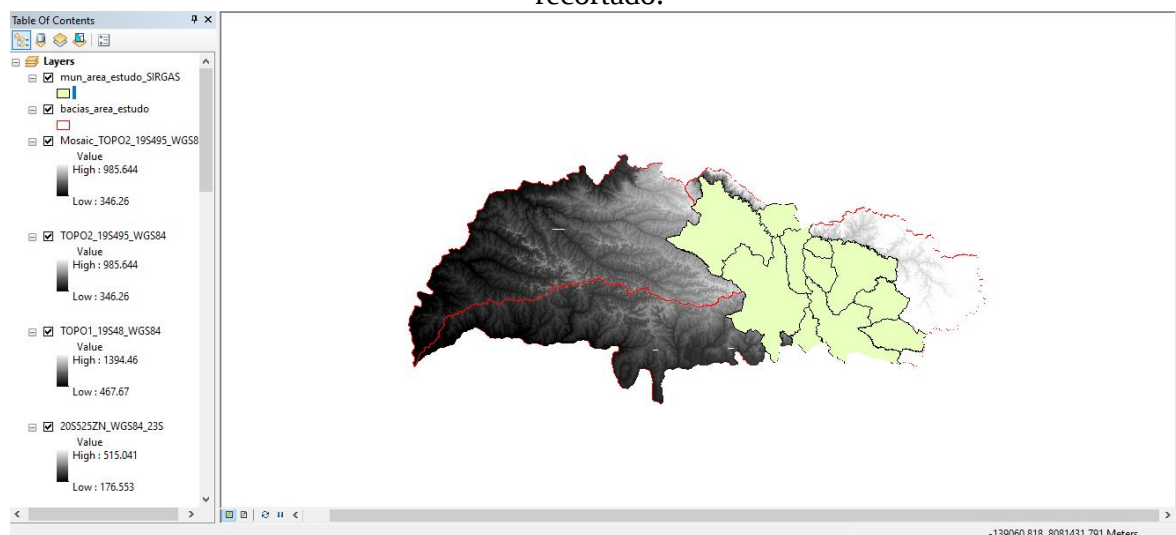


Fonte: Autor.

O terceiro passo foi a extração da área dos municípios de interesse a partir da imagem SRTM gerada no primeiro passo. Para tal, foram selecionados 8 municípios contidos nas bacias de interesse a partir de outro arquivo Shapefile adquirido diretamente do site do

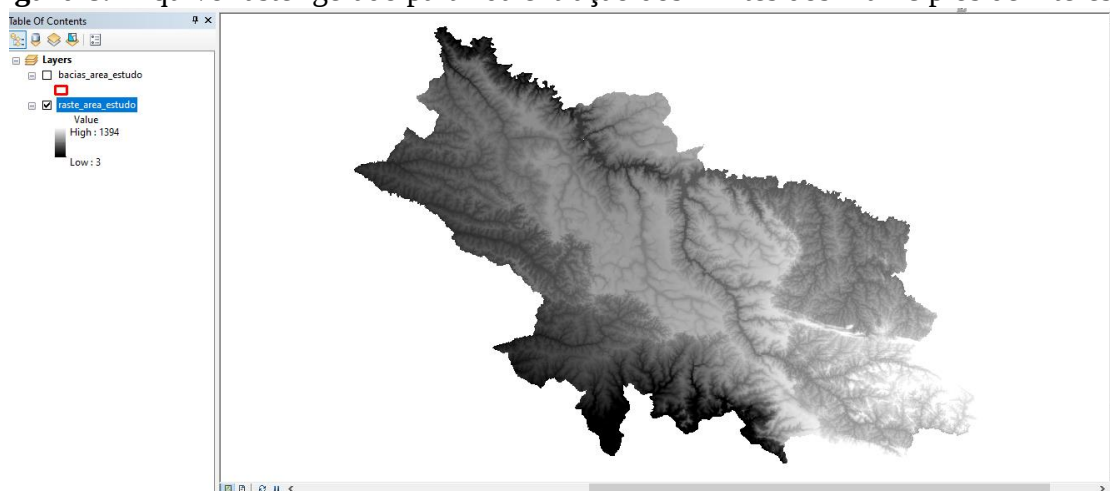
IBGE (disponível em <<https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/mapas-municipais.html>>). Assim, o produto desta etapa foi um arquivo SRTM dos limites dos municípios citados acima.

**Figura 7.** Arquivo shapefile dos municípios de interesse selecionados sobre raster recortado.



Fonte: Autor.

**Figura 8.** Arquivo raster gerado partir da extração dos limites dos municípios de interesse.



Fonte: Autor.

O próximo passo diz respeito à geração de um produto vetorial que representa as sub-bacias hidrográficas que compuseram a definição final da área de estudo. Para esta etapa foi

utilizado uma extensão do software ArcGIS denominada ArcHydro Tool. Essa extensão oferece ao usuário um conjunto de ferramentas desenvolvidas para o processamento de MDE's em ambiente SIG, o qual permite a aquisição de características topológicas em bacias hidrográficas bem como informações necessárias para o pré-processamento de modelos hidrológicos. Dentre os principais produtos que podem ser gerados através desta extensão estão: direções de escoamento da água com base no relevo, rede hidrográfica iniciada a partir de uma área mínima de drenagem, delimitação da bacia até um ponto de interesse, e a subdivisão desta bacia em pequenas áreas de contribuição (catchments), as quais são caracterizadas pela área situada entre duas confluências ou entre uma confluência e uma cabeceira de drenagem.

A figura 9 resume alguns dos passos reproduzidos de forma automática pela extensão do ArcHydro, mas que também podem ser reproduzidos de forma manual no ArcGIS para geração de sub-bacias de interesse.

**Figura 9.** Descrição de ferramentas geradoras da sub-bacia de forma automática pelo ArcHydro.

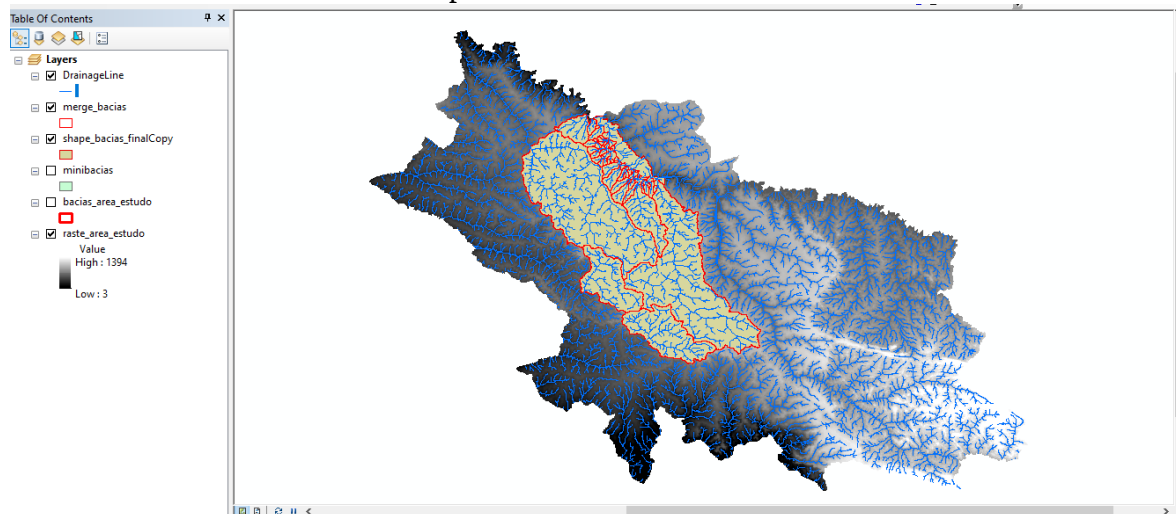
| Ferramenta                | Descrição                                                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sink and Destroy          | Permite a remoção de depressões existentes no MDE através de duas diferentes metodologias: PFS ( <i>Priority First Search</i> ) e MHS ( <i>Modified Heuristic Search</i> ), determinando inclusive as direções de fluxo da água em cada célula do MDE. |
| Flow Accumulation         | Determina o fluxo acumulado que drena para cada célula do MDE.                                                                                                                                                                                         |
| Stream Definition         | Determina a rede de drenagem sobre o MDE, com base em um limiar de fluxo acumulado de células.                                                                                                                                                         |
| Stream Segmentation       | Segmenta a rede de drenagem em diversos trechos, com subdivisão nas confluências (junções).                                                                                                                                                            |
| Watershed Delineation     | Delimita a bacia hidrográfica para um ou mais exutórios pré-definidos.                                                                                                                                                                                 |
| Catchment Delineation     | Delimita bacias hidrográficas que drenam para cada trecho da rede de drenagem ( <i>catchments</i> ).                                                                                                                                                   |
| Drainage Line             | Transforma a rede de drenagem gerada em um arquivo vetorial (linha) do tipo shapefile.                                                                                                                                                                 |
| Watershed Polygon         | Transforma as bacias delimitadas em um arquivo vetorial (polígono) do tipo shapefile.                                                                                                                                                                  |
| Depth-Area-Volume         | Fornecer as curvas cota-área e cota-volume até uma altura determinada em um ponto qualquer da rede de drenagem.                                                                                                                                        |
| Extract Raster by Raster  | Permite a extração das células de um <i>raster</i> para uma máscara específica.                                                                                                                                                                        |
| Conversion IRST-ASCII     | Possibilita a conversão de um arquivo do formato IRST para ASCII.                                                                                                                                                                                      |
| Process All Steps         | Ferramenta que permite a realização de diversos processos simultaneamente para gerar os arquivos acima.                                                                                                                                                |
| Hydrologic Response Units | Permite a criação de um arquivo <i>raster</i> que combina uso e tipo de solo para aplicação no modelo MGB-IPH.                                                                                                                                         |

Fonte: SIQUEIRA et al. (2015).

Com o auxílio do ArcHydro, foi iniciado o quinto passo do processamento, com a geração de diversos subprodutos a partir da imagem gerada anteriormente. O resultado foi um Shapefile da sub-bacia referente ao Chapadão Uberaba-Uberlândia, do qual seria

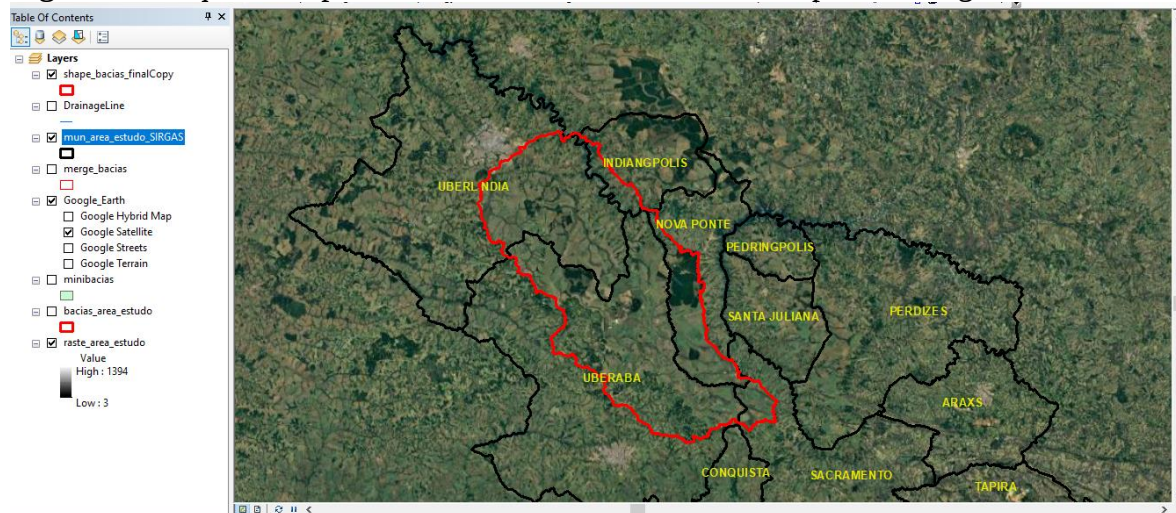
extraída a sub-bacia final, gerando a área de estudo relevante, onde estão presentes as áreas úmidas analisadas.

**Figura 10.** Produto em formato Shapefile com a delimitação da área maior de interesse, o Chapadão Uberaba-Uberlândia.



Fonte: Autor.

**Figura 11.** Arquivo Shapefile da área maior de interesse sobreposta à imagem de satélite.

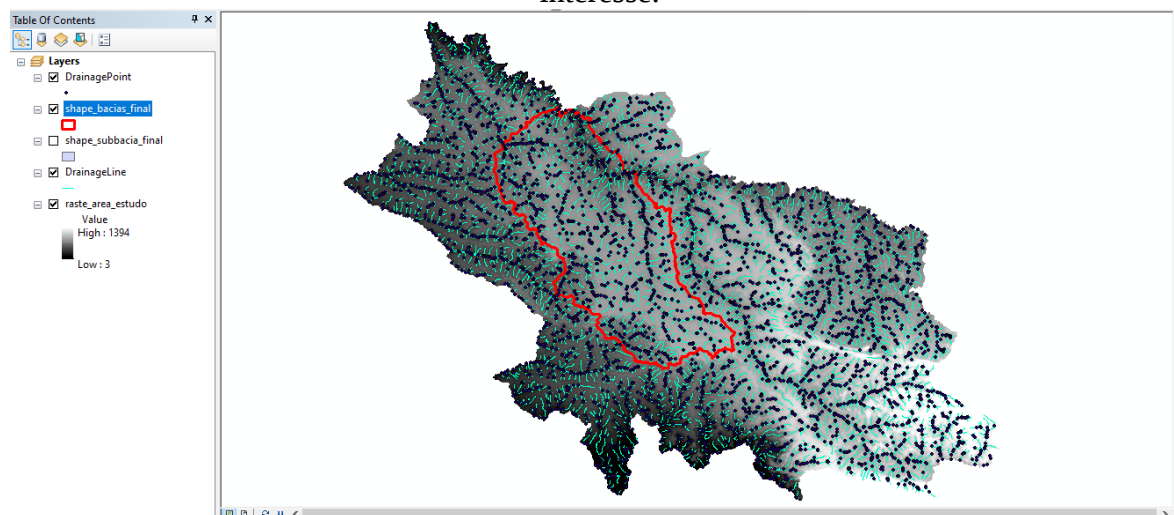


Fonte: Autor.

O último passo foi a geração da sub-bacia referente a área de estudo deste trabalho, gerada a partir da rede de drenagem que originou o shapefile do passo anterior. Para isso foi utilizado um arquivo de referência da malha hidrográfica da região, adquirido no portal do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Minas Gerais, IDE-SISEMA

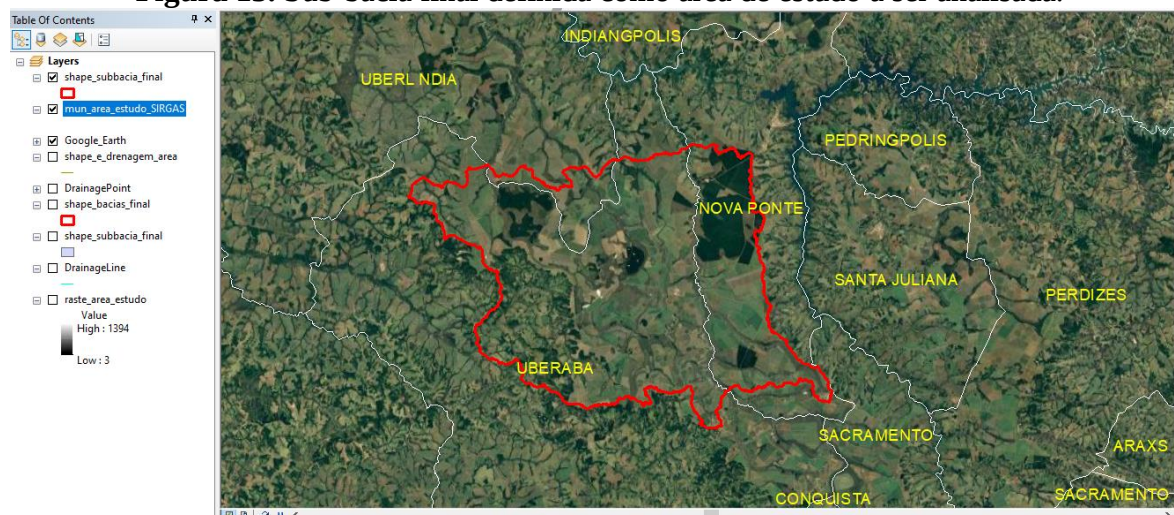
(disponível em <http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>). Com a rede hidrográfica de referência, foram selecionados os pontos de drenagem dos rios e córregos de interesse, originando a sub-bacia referente à área de estudo. Esse shapefile, referente a sub-bacia da área de estudo, foi convertido para o Datum SIRGAS2000, e nesse formato foi utilizado para todas as etapas seguintes do estudo.

**Figura 12.** Rede de drenagem com pontos de drenagem para geração da sub-bacia de interesse.



Fonte: Autor.

**Figura 13.** Sub-bacia final definida como área de estudo a ser analisada.



Fonte: Autor.

## 4.2 Aquisição de imagens de satélite Landsat e delimitação de áreas úmidas

Nesta etapa, o objetivo foi a delimitação AUs da região de interesse a partir das imagens de satélite do período analisado. A data das imagens corresponde às estações seca e chuvosa dos anos de 1986, 1990, 1994, 2000, 2005, 2010, 2015 e 2019.

A partir da área de estudo definida, foram localizados os pontos e órbitas das cenas das imagens de satélite de interesse. As cenas utilizadas dizem respeito às órbitas 220 e 221, e pontos 73 e 74, das imagens multiespectrais da Série Landsat, obtidas a partir do portal online Earth Explorer, do Serviço Geológico dos Estados Unidos (<<https://earthexplorer.usgs.gov/>>). As cenas utilizadas, bem como suas respectivas datas de aquisição pelo satélite, e o sensor utilizado, estão descritos no Anexo 1 deste trabalho.

O passo subsequente à aquisição das imagens de satélite foi a delimitação das AUs da região de interesse a partir da detecção visual dessas áreas, que foi possível devido à correta combinação de bandas do Landsat 5 e 8, e que permitiu a extração dessas informações. Para tal, foram utilizadas as bandas de radiação eletromagnética no espectro do vermelho de ondas curtas ao infravermelho médio. Nesse sentido, para os produtos do sensor TM foi realizada a fusão das bandas 5 (infravermelho médio, 1,55 - 1,75  $\mu\text{m}$ ), 4 (infravermelho próximo, 0,76 - 0,90  $\mu\text{m}$ ) e 3 (vermelho visível, 0,63 - 0,69  $\mu\text{m}$ ) com a finalidade de obter uma imagem composta em cores falsas (Tabela 1). Nos produtos do sensor OLI foi realizada a fusão das bandas 6 (Infravermelho médio, 1,57 - 1,65  $\mu\text{m}$ ), 5 (infravermelho próximo, 0,85 - 0,88  $\mu\text{m}$ ) e 4 (vermelho visível, 0,64 - 0,67  $\mu\text{m}$ ), intervalo espectral equivalente ao utilizado para os sensores TM (Tabela 1). As características das bandas espectrais do Sensor TM encontram-se resumidas na Figura 14.

**Tabela 1.** Satélites e bandas empregadas para mapeamento das AUs.

| Satélite  | Sensor | Resolução espacial | Bandas usadas | Período estudado              |
|-----------|--------|--------------------|---------------|-------------------------------|
| Landsat 5 | TM     | 30m                | 5-4-3         | 1986/1990/1994/2000/2005/2010 |
| Landsat 8 | OLI    | 30m                | 6-5-4         | 2015 e 2019                   |

Fonte: Autor.

**Figura 14.** Características das bandas espectrais do sensor TM.

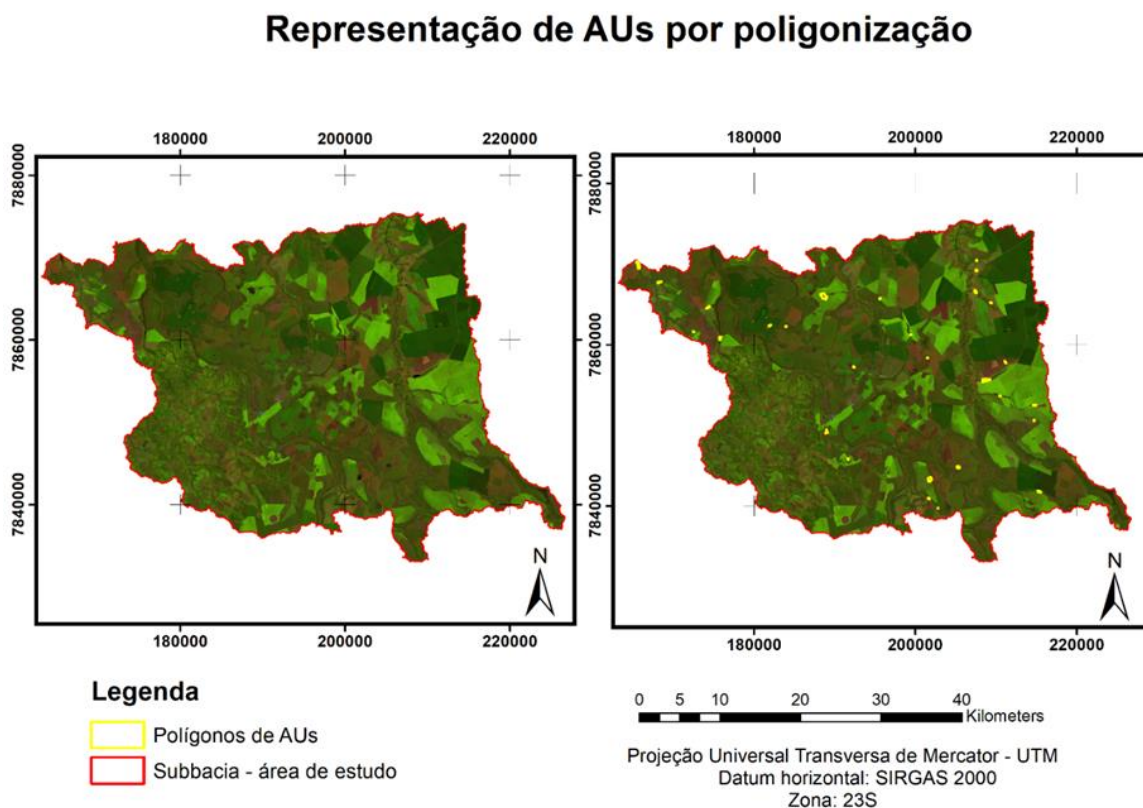
| Sensor                       | Bandas Espectrais          | Resolução Espectral       | Resolução Espacial | Resolução Temporal | Área Imageada | Res. Radiométrica |
|------------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------|--------------------|---------------|-------------------|
| TM (Thematic Mapper)         | (B1) AZUL                  | 0.45 - 0.52 $\mu\text{m}$ | 30 m               | 16 dias            | 185 km        | 8 bits            |
|                              | (B2) VERDE                 | 0.52 - 0.60 $\mu\text{m}$ |                    |                    |               |                   |
|                              | (B3) VERMELHO              | 0.63 - 0.69 $\mu\text{m}$ |                    |                    |               |                   |
|                              | (B4) INFRAVERMELHO PRÓXIMO | 0.76 - 0.90 $\mu\text{m}$ |                    |                    |               |                   |
|                              | (B5) INFRAVERMELHO MÉDIO   | 1.55 - 1.75 $\mu\text{m}$ | 120 m              |                    |               |                   |
|                              | (B6) INFRAVERMELHO TERMAL  | 10.4 - 12.5 $\mu\text{m}$ |                    |                    |               |                   |
|                              | (B7) INFRAVERMELHO MÉDIO   | 2.08 - 2.35 $\mu\text{m}$ | 30 m               |                    |               |                   |
| s.d. = sem dados/informações |                            |                           |                    |                    |               |                   |

Fonte: INPE (2013).

A escolha das bandas utilizadas teve por base as informações técnicas que se encontram no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a respeito das características dos satélites da série Landsat, além de outros trabalhos científicos que atuaram em estudos similares a este, que ressaltaram a utilização da composição de cores falsas para melhor distinção de corpos d'água em relação a outros elementos do espaço geográfico.

A delimitação, ou poligonização, das áreas úmidas foi realizada com o objetivo de se traçar uma análise acerca da expressão hídrica que os corpos hídricos perenes e áreas alagáveis apresentaram ao longo da série histórica. Dessa forma, a delimitação por poligonização foi realizada com o objetivo de extrair as áreas desses polígonos e realizar uma comparação entre os anos. Na Figura 15 está o exemplo da etapa de poligonização para o ano de 1986, cujo procedimento foi adotado para os demais anos, e representam apenas a estação chuvosa dos anos analisados, ficando de fora o procedimento para a estação seca. Neste trabalho será apresentado apenas o resultado das áreas obtidas pelo processo descrito acima.

**Figura 15.** Exemplo de mapeamento por poligonização das áreas úmidas de expressão hídrica relevante.



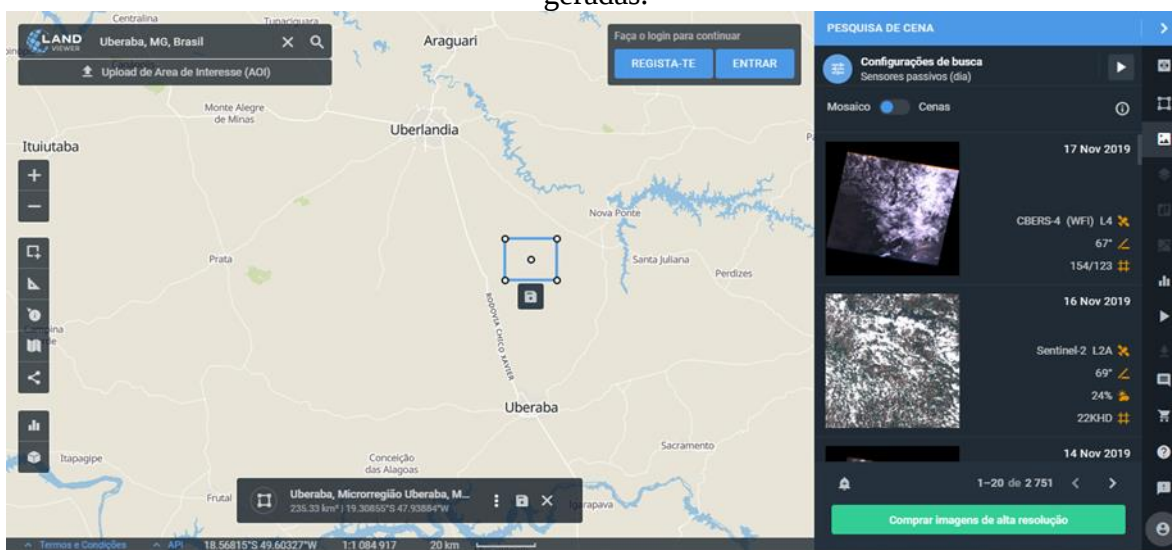
Fonte: Autor.

#### 4.3 Obtenção das imagens NDWI, reclassificação e cálculo de áreas úmidas

As imagens NDWI foram adquiridas diretamente do portal online Landviewer, pertencente à plataforma do EOS (Earth Observing System) (disponível em: <<https://eos.com/landviewer/>>). Trata-se de um programa da Agência Espacial Norte-Americana (NASA) que engloba uma série de satélites na órbita terrestre vinculados a um sistema de dados que continuamente emitem informações de observações do sistema terrestre, incluindo a superfície terrestre, biosfera, atmosfera, oceanos, afim de se obter dados referentes às mudanças globais e interferências do homem no planeta (EOS, NASA, 2019). A série Landsat é apenas um dos diversos satélites da Agência Norte-Americana.

A plataforma do Landviewer disponibiliza aos usuários imagens de diversos satélites, e uma ampla gama de processamentos dessas imagens, disponíveis em nuvem para acesso remoto e download instantâneo. Dessa forma, para o estudo foi utilizado o processamento do NDWI (Índice de Água por Diferença Normalizada) para a aquisição das imagens. Na figura 16 é apresentada uma prévia do portal online do Landviewer.

**Figura 16.** Interface da plataforma online do Landviewer, fonte das imagens de NDWI geradas.



Fonte: EOS Landviewer (2019).

À respeito do Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI), trata-se de um índice que foi concebido com a finalidade de delinear ambientes de águas abertas, automatizando a determinação do limiar entre água e terra (vegetação terrestre e solos), permitindo, segundo McFeeters (1996): a) maximizar a reflectância típica da água utilizando o comprimento de onda do verde; b) minimizar a baixa reflectância dos corpos de água no infravermelho próximo; e c) realçar o contraste entre a água e a cobertura vegetal, proporcionada pelo infravermelho próximo. Segundo Ji et al., (2009), a concepção de um índice espectral de água foi baseada no fato de que a água absorve energia em comprimentos de onda do infravermelho próximo (NIR) e ondas curtas de infravermelho (SWIR). O NDWI é obtido através das bandas do verde (V) e do infravermelho médio (IV) do satélite Landsat 5:

$$NDWI = \frac{(TM2 - TM4)}{(TM2 + TM4)}$$

Onde:

TM2: banda correspondente ao comprimento de onda do verde;

TM4: banda correspondente comprimento de onda do infravermelho próximo.

Para o satélite Landsat 8, a expressão se mantém a mesma, porém são utilizadas as bandas 3 (TM 3) do verde e 5 (TM5) do infravermelho médio, de acordo com a expressão abaixo:

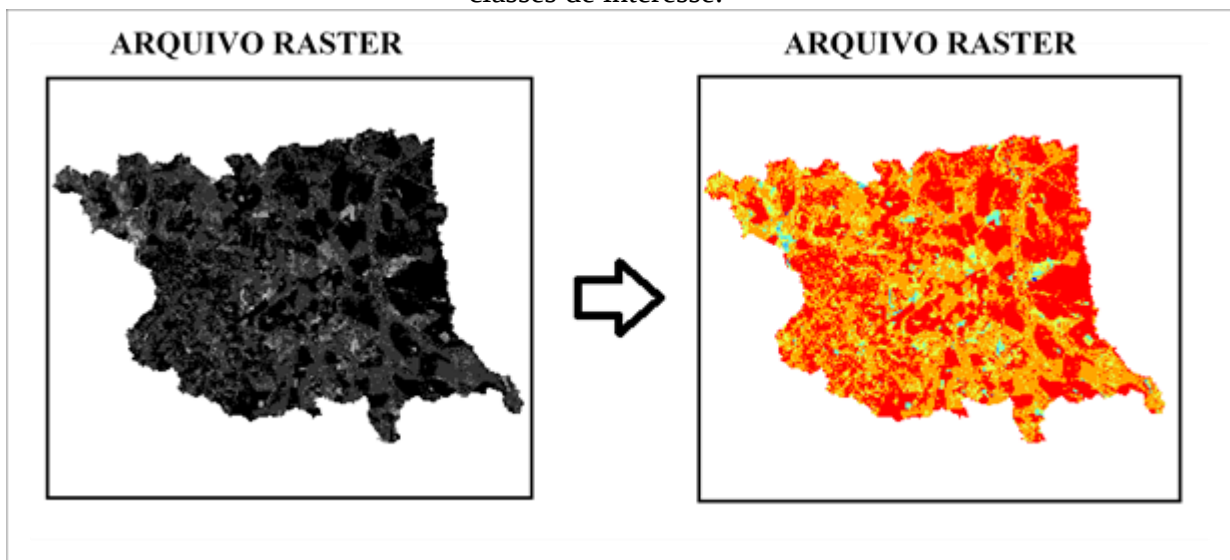
$$NDWI = \frac{(TM3 - TM5)}{(TM3 + TM5)}$$

O valor de NDWI varia de -1 para 1. McFeeters (1996) definiu zero como o limiar. Isto é, o tipo de cobertura é a água se  $NDWI \geq 0$  e é não água se  $NDWI \leq 0$  (BRUBASCHER E GUASSELLI, 2013). Nota-se que na equação foram utilizadas as faixas espectrais do verde e infravermelho próximo, diferentemente do índice de diferença normalizada da água proposto por Gao (1996), que emprega na equação as duas bandas na faixa espectrais do infravermelho próximo (0,86  $\mu m$  e 1,24  $\mu m$ ).

O passo subsequente à obtenção das imagens NDWI foi sua manipulação através do software ArcMap, com o objetivo de extrair adequadamente da área de estudo específica, e realizar uma reclassificação do arquivo raster gerado com esses limites, a fim de se estabelecer classes de interesse que permitissem entender a dinâmica das áreas úmidas como um todo, ou seja, a ocorrência de perenidade das áreas alagáveis, bem como avaliar as alterações do índice de umidade ao longo da série temporal estabelecida. Para tanto, cada cena foi reprojetada para o Datum SIRGAS 2000 Zona 23S.

A reclassificação do arquivo raster da área de interesse foi realizada primeiramente de forma automática para geração de seis classes de interesse para a estação chuvosa dos anos estudados, e cinco classes de interesse automáticas para a estação seca. A figura 17 representa um exemplo do resultado de uma reclassificação, e repetida para todos os anos.

**Figura 17.** Representação de reclassificação automática do arquivo raster do NDWI para as classes de interesse.



Fonte: Autor.

A partir da reclassificação acima, foi realizada uma segunda reclassificação, agora de forma manual, e baseada na atribuição de valores de quebra específicos que permitissem uniformizar os valores das classes do NDWI a serem geradas, a fim de permitir uma comparação exata no que diz respeito à área representada por cada classe em relação a área de estudo.

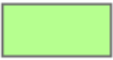
A representação dessas classes nos mapas e nos gráficos gerados obedeceram ao esquema apresentado nas figuras 18 e 19.

**Figura 18.** Classes do NDWI atribuídas ao raster reclassificado, para a estação chuvosa.

|                                                                                     |                         |                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------------|
|  | <b>-1 - -0.500</b>      | <b>Classe 1</b> |
|  | <b>-0.500 - -0.400</b>  | <b>Classe 2</b> |
|  | <b>-0.400 - -0.300</b>  | <b>Classe 3</b> |
|  | <b>-0.300 - -0.2000</b> | <b>Classe 4</b> |
|  | <b>-0.200 - 0</b>       | <b>Classe 5</b> |
|  | <b>0 - 1</b>            | <b>Classe 6</b> |

Fonte: Autor.

**Figura 19.** Classes do NDWI atribuídas ao raster reclassificado, para a estação seca.

|                                                                                   |                        |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------------|
|  | <b>-1 - -0.300</b>     | <b>Classe 1</b> |
|  | <b>-0.300 - -0.200</b> | <b>Classe 2</b> |
|  | <b>-0.200 - -0.100</b> | <b>Classe 3</b> |
|  | <b>-0.100 - 0</b>      | <b>Classe 4</b> |
|  | <b>0 - 1</b>           | <b>Classe 5</b> |

Fonte: Autor.

A partir da reclassificação, procedeu-se a etapa final, que diz respeito ao cálculo da área ocupada por cada classe de interesse. Através do procedimento de reclassificação, cada pixel da imagem foi associado a uma das classes geradas. Sendo assim, o cálculo de área de cada classe resultou da multiplicação da quantidade de pixels dessa classe por 900 (cada pixel equivale a um quadrado de 30x30 m). O resultado, em m<sup>2</sup>, foi convertido para km<sup>2</sup>, e então organizado em um gráfico comparativo de cada classe ao longo da série histórica.

#### 4.4 Aquisição de dados de Precipitação e geração de gráfico

Para uma análise comparativa entre a dinâmica das áreas úmidas e dos campos úmidos alagados, fez-se necessária também a aquisição de dados pluviométricos mensais da série histórica estudada. Para tal, foi realizada uma consulta online ao portal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), onde foi acessado o Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP – disponível em <<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>>) O BDMEP abriga dados meteorológicos diários em forma digital, de series históricas das várias estacoes meteorológicas convencionais da rede de estacoes do INMET, com milhões de informações referentes as medições diárias de acordo com normas técnicas internacionais da Organização Meteorológica Nacional.

Os dados de precipitação obtidos para este estudo em questão dizem respeito a Estação 83577 – Uberaba, localizada no município de Uberaba-MG. Localiza-se a uma

altitude de 737 m, e situa-se nas coordenadas  $-19,73^{\circ}$  S e  $-47,95^{\circ}$  W. Deste banco de dados foram adquiridos os índices pluviométricos mensais dos anos de 1989 a 2018.

Para a geração do gráfico de interesse, foi realizada somatória dos índices pluviométricos ano a ano, obtendo-se uma precipitação acumulada anual. Os dados pluviométricos mensais utilizados encontram-se disponíveis no Anexo 2 desse trabalho.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1 Estação Chuvosa (Janeiro – Março)**

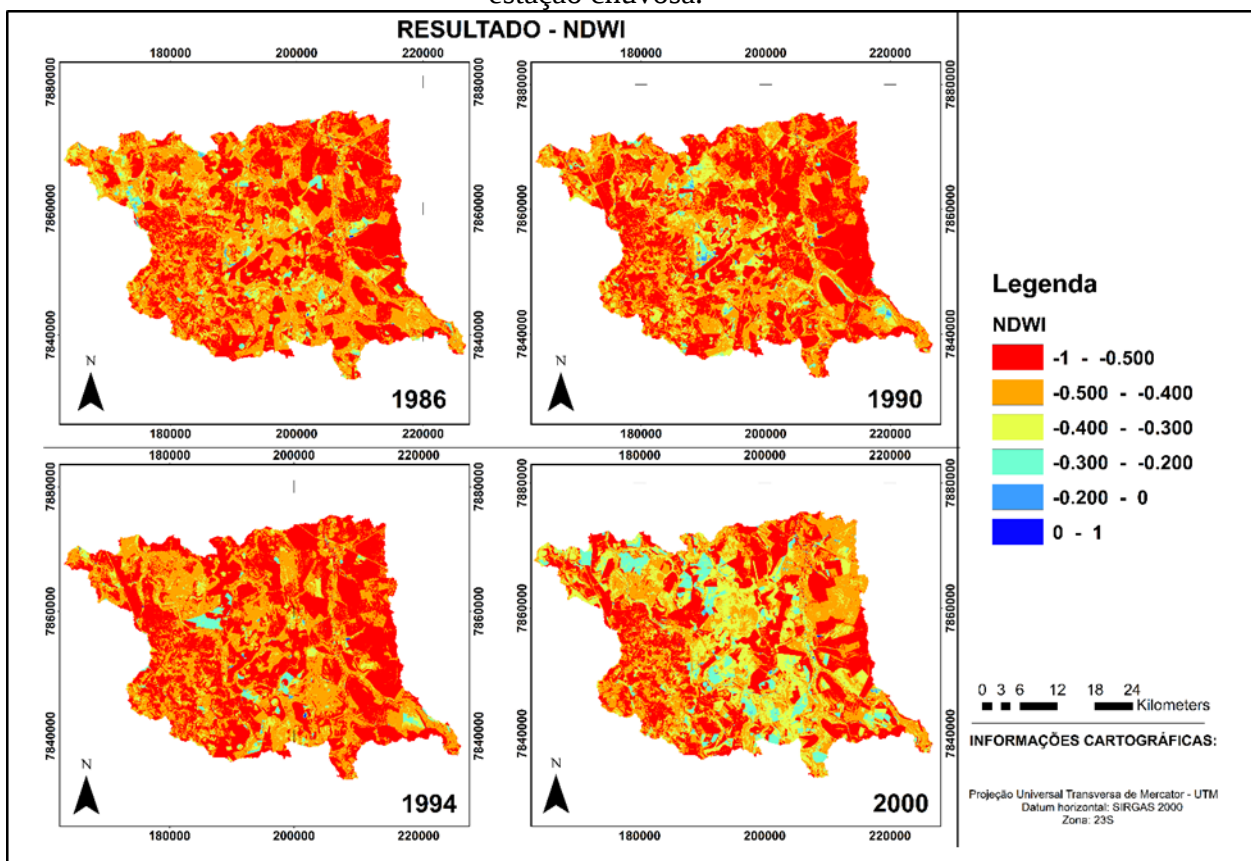
#### **5.1.1 Análise do NDWI**

A geração dos índices do NDWI para a época chuvosa dos anos amostrados resultou num modelo capaz de representar o modo como os índices espectrais absorvidos pelo satélite Landsat reagem às diferentes expressões hídricas no solo e na vegetação da sub-bacia.

A baixa variação topográfica e características de relevo, predominantemente plano ou com suave ondulado na planície aluvial, aliada às propriedades dos solos, contribuem categoricamente para elevação do lençol freático e inundação das planícies nessa região. A aplicação do NDWI teve a finalidade de demonstrar as feições nas quais podem se encontrar o acúmulo de corpos hídricos, permitindo a verificação e análise da dinâmica das áreas úmidas alagadas, bem como a dinâmica de manifestação hídrica como um todo, nos diferentes usos da terra presentes na área de estudo.

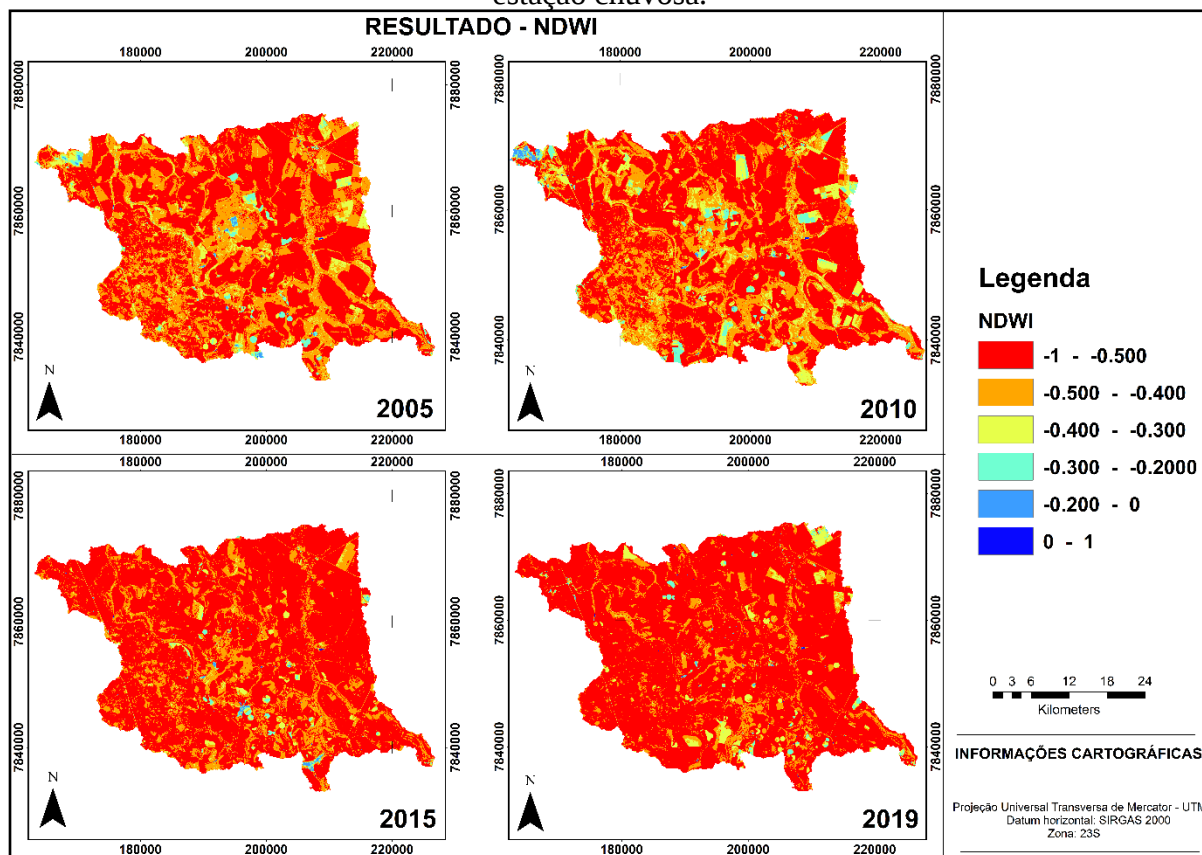
A partir dos mapas gerados e apresentados nas figuras 20 e 21, foi possível extrair as informações referentes às porcentagens de área que cada classe definida para o NDWI representou em relação à área total da sub-bacia. Para melhor visualização da situação descrita, foi gerado um gráfico referente à variação temporal do valor de área de cada classe, bem como um gráfico específico para os valores de 0 a 1 do NDWI, permitindo visualizar a dinâmica de comportamento dos corpos d'água superficiais, referentes às áreas alagáveis, nascentes e trechos de escoamento dos cursos d'água.

**Figura 20.** Mapa de resultado do NDWI para os anos de 1986, 1990, 1994 e 2000, da estação chuvosa.



Fonte: Autor

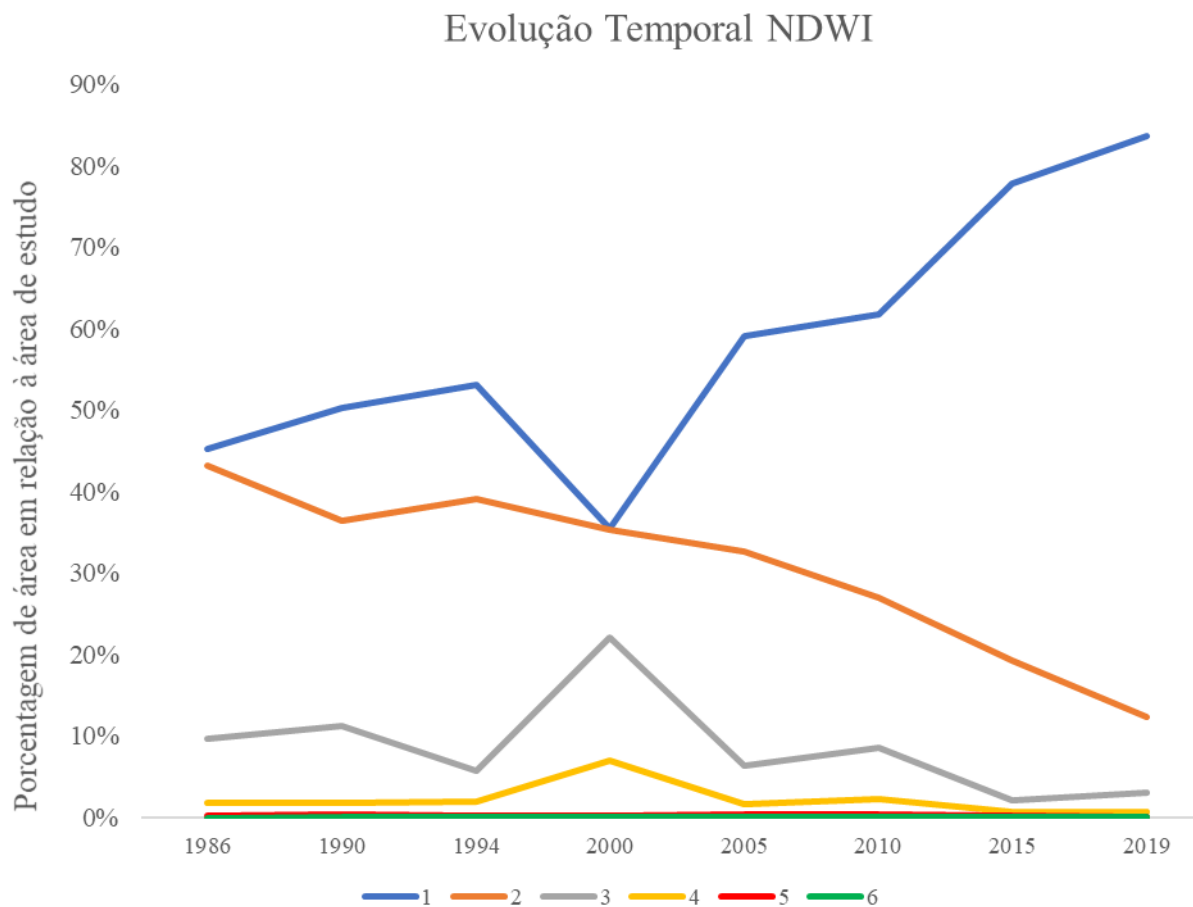
**Figura 21.** Mapa de resultado do NDWI para os anos de 2005, 2010, 2015 e 2019, da estação chuvosa.



Fonte: Autor.

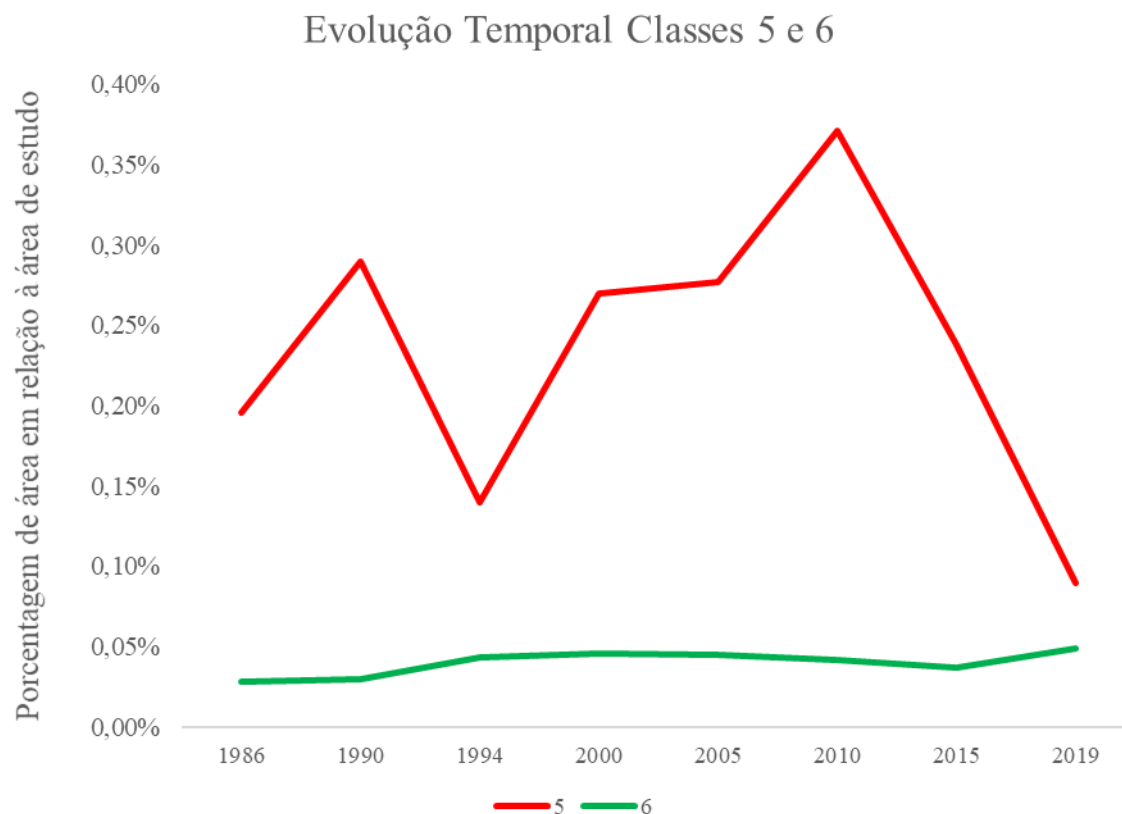
Como pode ser observado a partir do gráfico da figura 22, gerado para as seis classes de interesse do NDWI da época chuvosa a partir da reclassificação, houve um aumento considerável da porcentagem de área representada pela classe 1 (-1 a -0,500), especialmente a partir do ano 2000, o que significa um aumento significativo no déficit hídrico da sub-bacia, e que pode ser associado a transformações profundas no uso do solo dessa região, principalmente no que diz respeito à conversão de terras para agricultura, e aumento de áreas de solo exposto. Tal afirmação pode ser baseada também a partir da observação do comportamento das outras duas classes negativas subsequentes, 2 (-0,500 a -0,400) e 3 (-0,400 a -0,300), que apresentaram um expressivo declínio em quantidade de área no mesmo período, indicando a conversão das áreas relativas a essas duas classes, para a classe 1.

**Figura 22.** Evolução temporal do índice NDWI das áreas úmidas, em porcentagem, para as seis classes de interesse da estação chuvosa.



Em relação a classe 5 e 6, que representam respectivamente os intervalos  $-0,200$  a  $0$ , e  $0$  a  $1$ , pode se observar, a partir do gráfico da figura 23, que sua variação desde o início da série temporal se manteve abaixo de  $0,50\%$ , com destaque para a classe positiva ( $0$  a  $1$ ), que em nenhum momento se mostrou acima dos  $0,05\%$ . A classe 5, por sua vez, apresentou variações de pico que podem estar associados à variação dos índices pluviométricos ao longo dos anos, a ser explorado no item seguinte.

**Figura 23.** Evolução temporal do índice NDWI das áreas úmidas, em porcentagem, para as classes 5 e 6.



Fonte: Autor.

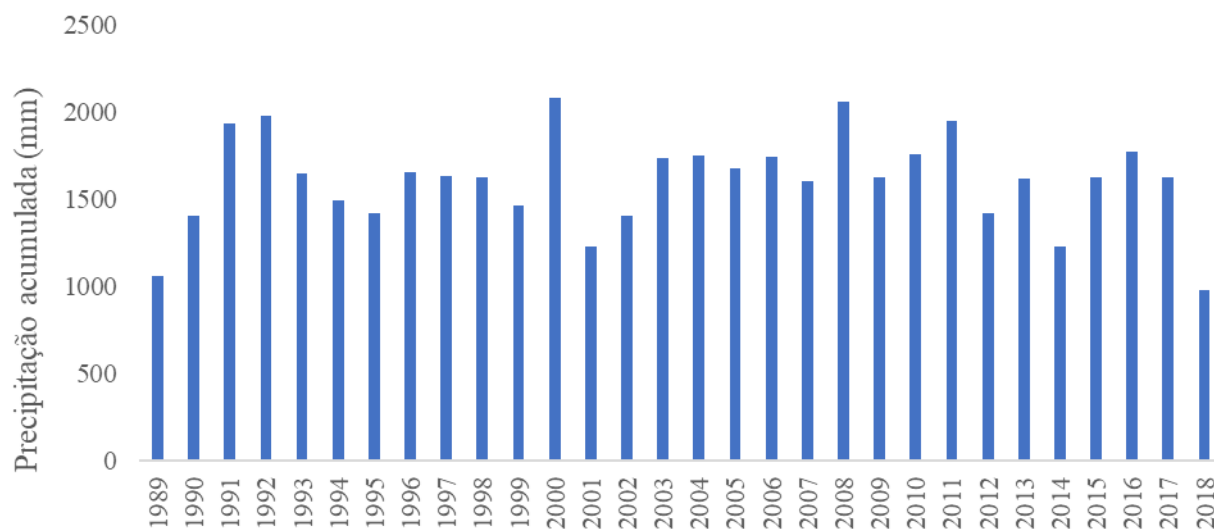
### 5.1.2 Análise de precipitação e áreas úmidas por poligonização

A análise dos índices pluviométricos também é praticamente imprescindível no que tange estudos relativos à dinâmica de áreas úmidas, uma vez que essas áreas estão intimamente relacionadas a todo ciclo hidrológico da sub-bacia hidrográfica. Vale ressaltar aqui que áreas úmidas de planícies de inundação possuem dinâmicas influenciadas por diferentes fatores. Para Junk et al. (1989), são áreas “episodicamente ou periodicamente inundadas pelo transbordamento lateral de rios ou lagos e/ou pela precipitação direta ou pelo afloramento do lençol freático, de forma que a biota responde ao ambiente físico-químico (...)” Dessa forma, a aquisição de séries históricas de precipitação se torna muito eficiente para estudar a relação entre precipitação e comportamento de áreas úmidas.

No presente caso, as informações de precipitação da série temporal analisada permitiram identificar alguns anos de maior precipitação, de forma a gerar maiores índices

de NDWI, uma vez que a disponibilidade hídrica no solo se torna diretamente influenciada pela precipitação direta na bacia hidrográfica. O gráfico da figura 24 permite concluir que para o ano de 2000, em que houve uma queda nos valores de área das classes 1 (-1 a -0,500) e 2 (-0,500 a -0,400), e um aumento mesmo que pequeno no valor de área das classes 5 (-0,200 a 0) e 6 (0 a 1), a precipitação acumulada naquele ano foi o maior da série histórica (2081,5 mm).

**Figura 24.** Gráfico de precipitação acumulada para a série histórica.



Fonte: INMET (2019).

Os anos de 1990 e 2010 se apresentaram também como anos de pico de precipitação se comparados com a sequência de anos anteriores a eles, e concomitante a isso, representaram os anos em que houve também picos de área representada pelas classes 5 e 6, corroborando para a validação da influência direta da precipitação sobre a manifestação hídrica de áreas alagadas no solo.

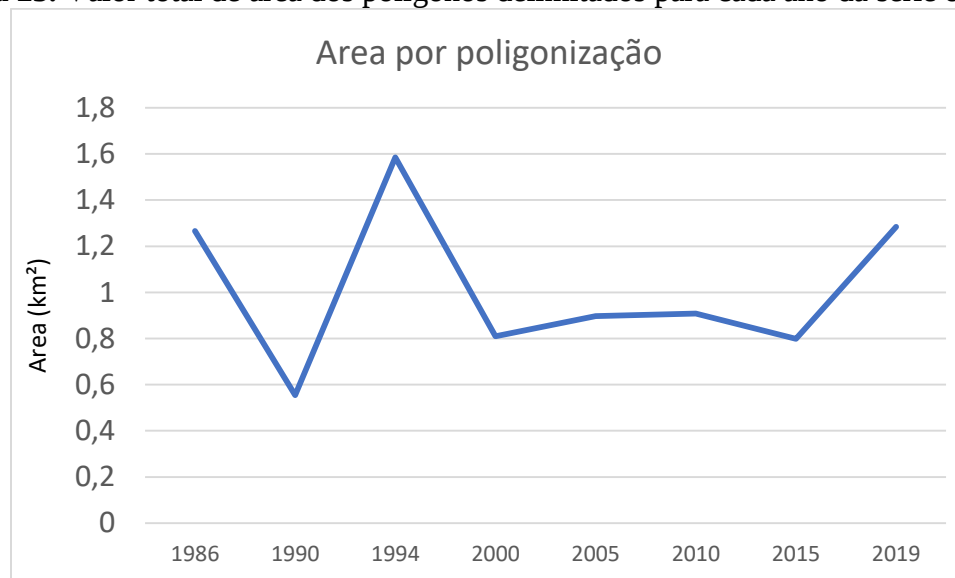
Apesar da pouca diferença apresentada nos índices de precipitação acumulada ao longo dos anos, é notável que o comportamento da classe 5 foi de contínuo declive a partir de 2010, enquanto que o comportamento das classes 1, que representa áreas de solo exposto, elevado déficit hídrico e de vegetação, e 2 e 3, que representam menores déficits hídricos e áreas de solo exposto, foi de aumento contínuo e queda contínua, respectivamente, demonstrando que a precipitação já não se mostrou um aspecto tão

relevante na manutenção de água e umidade no solo e vegetação da sub-bacia, e que áreas de pouca ou nenhuma umidade só aumentaram.

Para finalizar a discussão acerca das áreas úmidas do período chuvoso, foi proposto a análise espacial das áreas alagáveis que se manifestaram nas imagens de satélite dos anos analisados, de modo a se obter um panorama de quantificação dessas áreas pelo processo de poligonização no ArcGIS, e uma tentativa de relacionar esses resultados com a precipitação acusada para a área de estudo.

Os resultados, apresentados em formato de gráfico na figura 25, mostram que a relação direta entre a manifestação dessas áreas alagáveis e a precipitação não se mostrou clara, sendo que a relação entre a área total úmida por poligonização e as classes 5 e 6 do gráfico de áreas úmidas se mostrou mais direta. Dessa forma, pode-se dizer que o intervalo positivo do NDWI apontado pelas imagens, e a manifestação hídrica das áreas úmidas superficiais (alagáveis) apresentaram uma relação direta. A variação temporal da precipitação não se mostrou um fator direto de causalidade de manifestação das áreas úmidas, abrindo espaço para outros fatores que possam estar influenciando essa ausência de causalidade, como os fatores pedológicos e de mudança de uso e ocupação do solo.

**Figura 25.** Valor total de área dos polígonos delimitados para cada ano da série estudada.

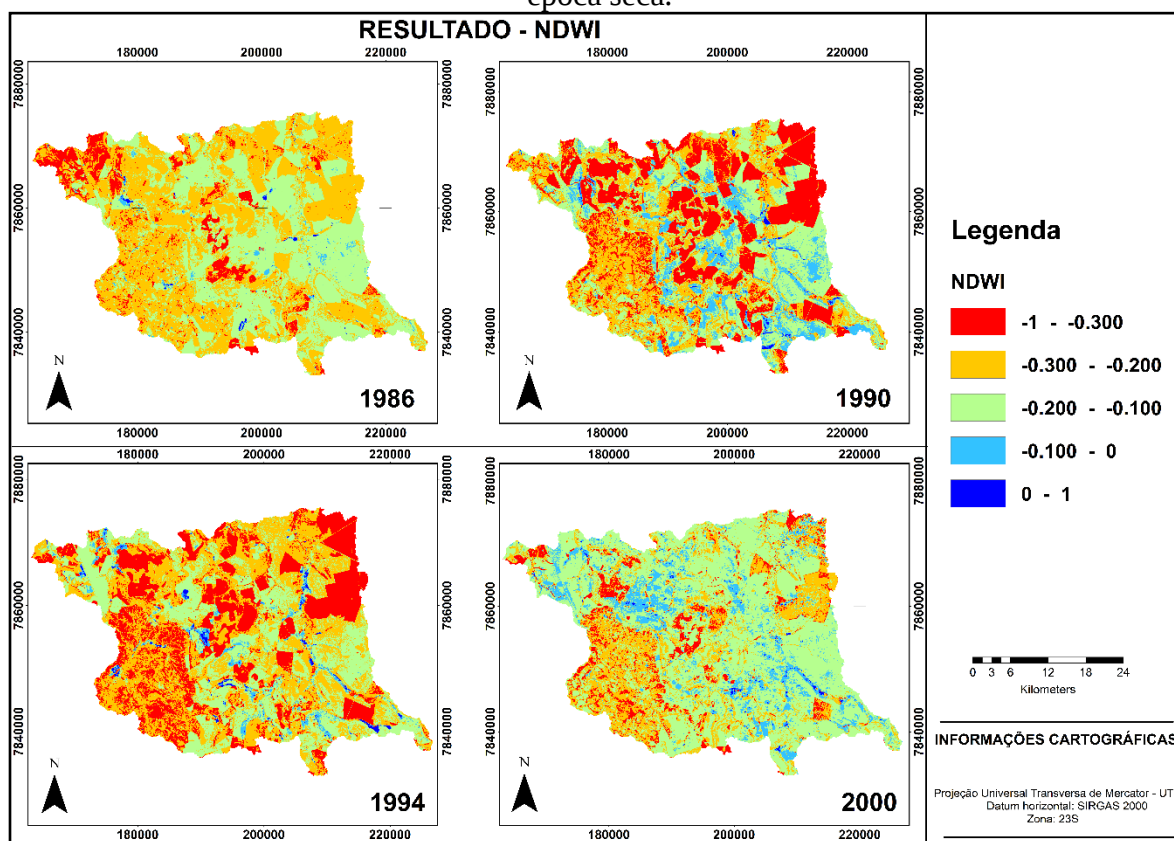


Fonte: Autor.

## 5.2 Estação Seca (Julho – Setembro)

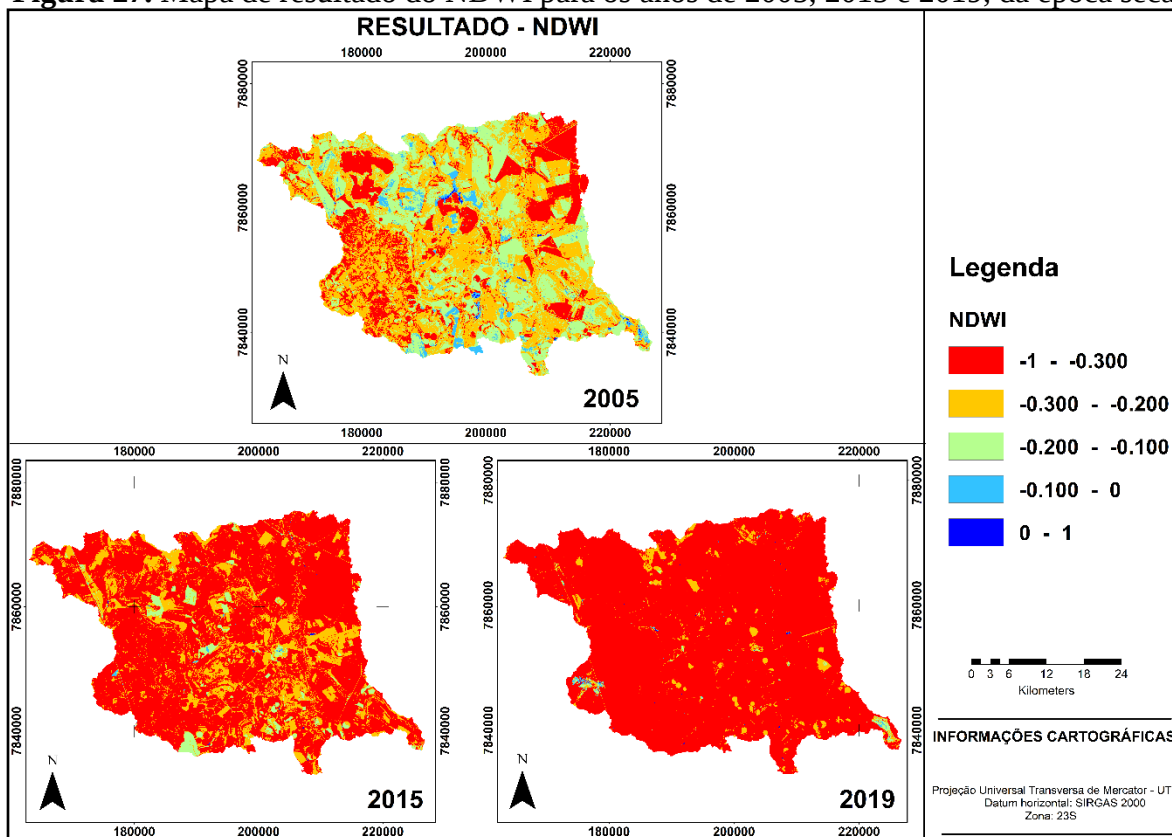
Assim como para a estação chuvosa, foram gerados os mapas do índice NDWI para a estação seca. A partir desses mapas, apresentados nas figuras 26 e 27, também foi possível extrair as informações referentes às porcentagens de área que cada classe definida para o NDWI representou em relação à área total da sub-bacia. Foram gerados aqui também um gráfico referente à variação temporal do valor de área de cada classe, bem como um gráfico específico para os valores de 0 a 1 do NDWI.

**Figura 26.** Mapa de resultado do NDWI para os anos de 1986, 1990, 1994 e 2000, da época seca.



Fonte: Autor.

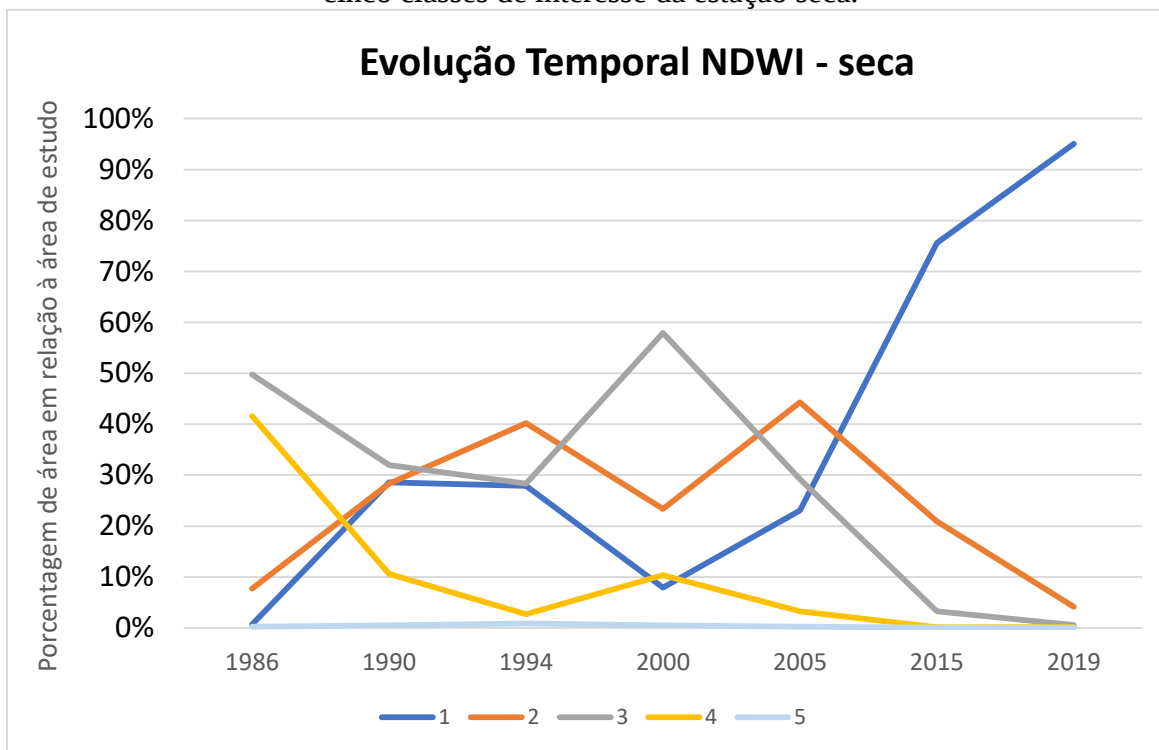
**Figura 27.** Mapa de resultado do NDWI para os anos de 2005, 2015 e 2019, da época seca.



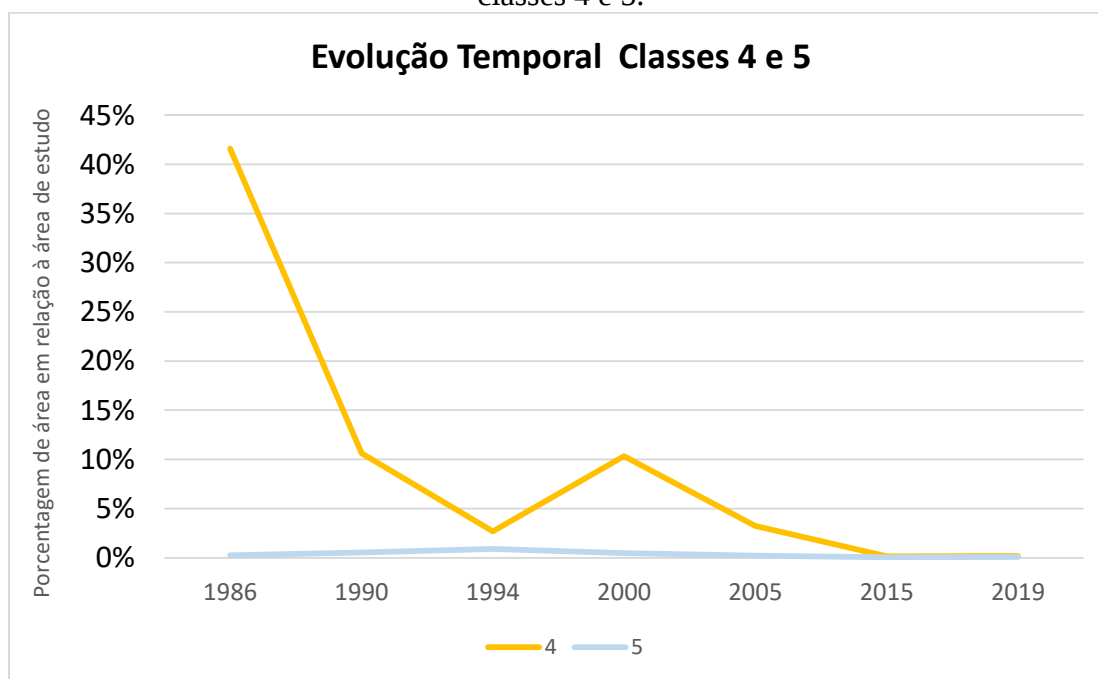
Fonte: Autor.

Como pode ser observado a partir do gráfico da figura 28, gerado para as cinco classes de interesse do NDWI da época seca a partir da reclassificação, as classes pertencentes aos intervalos de -0,300 a -0,100 (classes 2 e 3) apresentaram um comportamento decrescente a partir dos anos 2000, concomitante a um aumento expressivo da classe 1 (-1 a -0,300) no mesmo período, que representou mais de 90% da área da sub-bacia no ano de 2019, significando uma conversão das áreas com maior índice de umidade para áreas com menor índices de umidade, ainda que no intervalo negativo do NDWI. A classe 4, referente ao intervalo de valor -0,100 a 0, apresentou uma redução expressiva no valor de área que ocupou ao longo dos anos, que apesar de se tratar de uma estação com ausência de chuva, passou de 40% a quase 0% ao longo da série histórica. Observando-se mais atentamente as classes 4 e 5 a partir do gráfico da figura 29, percebe-se que, apesar de já representar um valor ínfimo de área na estação seca, o intervalo positivo do NDWI (0 a 1) não passou de 1% ao longo da série histórica, e só diminuiu no decorrer do tempo.

**Figura 28.** Evolução temporal do índice NDWI das áreas úmidas, em porcentagem, para as cinco classes de interesse da estação seca.



**Figura 29.** Evolução temporal do índice NDWI das áreas úmidas, em porcentagem, para as classes 4 e 5.



## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo realizado neste trabalho se mostrou bastante relevante no que tange a exploração das geotecnologias para análises relacionadas às mudanças ambientais ocorridas ao longo do tempo.

Os resultados se mostraram relevantes para avaliar a comparação entre mudanças percebidas por imagens de satélite e resultados de mapeamentos de mudança de uso do solo, que indicaram a princípio uma grande alteração na porcentagem que as áreas úmidas representavam em relação ao uso de solo da sub-bacia, ao mesmo tempo que mostrou que a manifestação hídrica a partir de valores positivos e do primeiro intervalo negativo do NDWI (classes 4 e 5) obteve uma redução significativa em termos de área em ambas as estações consideradas, apesar da pouca variação de precipitação acumulada ao longo dos anos.

Em contrapartida, a análise feita através da poligonização das áreas úmidas superficiais da área de estudo não resultou em relações diretas de alteração da precipitação acumulada ao longo dos anos, como era de se esperar devido às dinâmicas de inundações das áreas úmidas nos períodos chuvosos. Dessa forma, fatores de alteração de uso de solo, assim como fatores pedológicos, podem vir a se tornar possíveis causalidades de mudanças nas dinâmicas das áreas úmidas. Em qualquer um dos casos, a necessidade de se discutir e avançar no debate em relação às áreas negligenciadas pela realidade de ocupação humana atual se torna cada vez mais urgentes, sobretudo ao se tratar de recursos naturais escassos que aos poucos perdemos.

Existe ainda uma necessidade de se explorar outros métodos que permitam validar os resultados obtidos nesse estudo, e aqui abre-se espaço para aplicação de outros índices de vegetação, e análises de séries históricas de vazão de corpos hídricos, de modo que se permita a conclusão de resultados precisos e que venham a explicar o fenômeno de alteração de áreas úmidas.

## REFERÊNCIAS

- ANA, Agência Nacional de Águas. **Região Hidrográfica Paraná**. 2019. Acesso em: 20/10/2019. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/as-12-regioes-hidrograficas-brasileiras/parana>>
- CBH ARAGUARI, Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari. **Caderno de Mapas: Plano Diretor – Programa de Gerenciamento de Recursos Hídricos**. 2019. Acesso em: 20/10/2019. Disponível em: <[http://cbharaguari.org.br/uploads/1\\_o\\_comite/3\\_legislacao/1\\_plano\\_diretor\\_bacia/16\\_pdr\\_h\\_araguari\\_caderno\\_de\\_mapas.pdf](http://cbharaguari.org.br/uploads/1_o_comite/3_legislacao/1_plano_diretor_bacia/16_pdr_h_araguari_caderno_de_mapas.pdf)>
- CBH ARAGUARI, Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari. **Proposta para Criação de APA na Chapada do Bugre/ Triângulo Mineiro**. 2011. 119 p. Acesso em: 20/10/2019. Disponível em: <<http://www.cbharaguari.org.br/arquivos/camaragrupos/RELATORIO-CONCLUIDO-GT-CHAPADA-FORMATADO-EM-16-DE-JUNHO-2011.pdf>>
- DURIGAN, G. et al. **Plantas Pequenas do Cerrado: Biodiversidade Negligenciada**. Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo, 2018. 722 p.
- EMBRAPA. **LANDSAT - Land Remote Sensing Satellite**. 2019. Acesso em: 20/10/2019. Disponível em: <[https://www.cnpem.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao\\_landsat.html](https://www.cnpem.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_landsat.html)>
- EMBRAPA. **SRTM - Shuttle Radar Topography Mission**. Acesso em: 20/10/2019. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/srtm>>
- EOS, Earth Observing System. **Landviewer**. 2019. Acesso em: 20/10/2019. Disponível em: <<https://eos.com/landviewer/>>
- EOS, Earth Observing System. **Missions: Earth Observing System (EOS)**. 2019. Acesso em: 20/10/2019. Disponível em: <<https://eosps.nasa.gov/mission-category/3>>
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malhas Digitais**. 2019. Acesso em: 20/10/2019. Disponível em: <<https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais>>
- IDE-SISEMA. **Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Minas Gerais**. Acesso em: 20/10/2019. Disponível em: <<http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>>
- IGAM, Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Mapa - Unidades de Planejamento**. 2019. Acesso em: 20/10/2019. Disponível em: <<http://comites.igam.mg.gov.br/mapa-unidades-de-planejamento>>

IGAM, Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **PN2 - CBH do Rio Araguari**. 2019. Acesso em: 20/10/2019. Disponível em: <<http://comites.igam.mg.gov.br/comites-estaduais-mg/pn2-cbh-do-rio-araguari>>

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. 2019. Acesso em: 20/10/2019. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>

INSTITUTO PRÍSTINO. **Baixe os arquivos .shp e .kml – Municípios de Minas Gerais**. 2019. Acesso em: 20/10/2019. Disponível em: <<https://www.institutopristino.org.br/atlas/municipios-de-minas-gerais/baixe-os-arquivos-shp-e-kml/>>

LIMA, J. E. F. W. Situação e perspectivas sobre as águas do cerrado. **Ciência e Cultura**, v. 63, n. 3, p. 27-29, 2011.

USGS, United States Geological Survey. **EarthExplorer – Home**. 2019. Acesso em: 20/10/2019. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>

## ANEXOS

## 1. Tabela de datas das cenas Landsat 5 e 8.

| Data da imagem  |      |              |                 |              |
|-----------------|------|--------------|-----------------|--------------|
| Satélite/Sensor | Ano  | Ponto-órbita | Estação chuvosa | Estação seca |
| Lansat 5/TM     | 1986 | 220-73       | 22/03/1986      | 14/09/1986   |
|                 |      | 220-74       | 22/03/1986      | 14/09/1986   |
|                 |      | 221-73       | 13/03/1986      | 21/09/1986   |
|                 | 1990 | 220-73       | 28/01/1990      | 08/08/1990   |
|                 |      | 220-74       | 28/01/1990      | 08/08/1990   |
|                 |      | 221-73       | 04/02/1990      | 18/08/1991   |
|                 | 1994 | 220-73       | 08/02/1994      | 03/08/1994   |
|                 |      | 220-74       | 08/02/1994      | 03/08/1994   |
|                 |      | 221-73       | 15/02/1994      | 10/08/1994   |
|                 | 2000 | 220-73       | 08/01/2000      | 18/08/2000   |
|                 |      | 220-74       | 08/01/2000      | 18/08/2000   |
|                 |      | 221-73       | 15/01/2000      | 10/08/2000   |
|                 | 2005 | 220-73       | 22/02/2005      | 17/08/2005   |
|                 |      | 220-74       | 22/02/2005      | 17/08/2005   |
|                 |      | 221-73       | 13/02/2005      | 08/08/2005   |
|                 | 2010 | 220-73       | 04/02/2010      | -            |
|                 |      | 220-74       | 04/02/2010      | -            |
|                 |      | 221-73       | 07/01/2009      | -            |
| Landsat 8/OLI   | 2015 | 220-73       | 17/01/2015      | 29/08/2015   |
|                 |      | 220-74       | 17/01/2019      | 29/08/2015   |
|                 |      | 221-73       | 08/01/2019      | 20/08/2015   |
|                 | 2019 | 220-73       | 28/01/2019      | 09/09/2019   |
|                 |      | 220-74       | 28/01/2019      | 09/09/2019   |
|                 |      | 221-73       | 19/01/2019      | 16/09/2019   |

## 2. Tabela de Precipitação Acumulada – 1989 a 2018.

| PRECIPITAÇÃO POR ANO |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                      | 1989  | 1990   | 1991   | 1992   | 1993   | 1994   | 1995   | 1996   | 1997   | 1998   | 1999   | 2000   | 2001   | 2002   | 2003   |
| Precipitação Mensal  |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| JAN                  | 299   | 217,7  | 547,2  | 355,2  | 137,8  | 352    | 259    | 296,4  | 378,3  | 273,8  | 425,2  | 523,1  | 175,2  | 308,8  | 550,3  |
| FEV                  | -     | 191,2  | 149,7  | 353,6  | 310,2  | 197,4  | 299,4  | 222,6  | 124,6  | 275,8  | 160,6  | 350    | 146,9  | 354,7  | 190,6  |
| MAR                  | 79,4  | 224,6  | 627    | 270,2  | 213    | 266,4  | 170,2  | 164    | 217,4  | 118,8  | 184,2  | 392,6  | 173,9  | 126    | 336,9  |
| ABR                  | 157,5 | 157,2  | 148,2  | 130,2  | 155    | 57,6   | 71,6   | 57,3   | 42,4   | 125,8  | 18,5   | 85,2   | 24,9   | 9,3    | 73     |
| MAI                  | 17,4  | 53,2   | 33     | 62,7   | 23,8   | 21,4   | 90,2   | 40,4   | 54,4   | 65,6   | 23,3   | 6,2    | 27,7   | 66     | 56,3   |
| JUN                  | 8,7   | 0      | 0      | 0      | 59     | 6,4    | 11,4   | 23,2   | 100,6  | 0      | 13,2   | 0      | 0,4    | 0      | 0      |
| JUL                  | 0     | 11,4   | 49,7   | 4,6    | 0      | 9,6    | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 9,1    | 23,9   | 13     | 0      |
| AGO                  | 12,7  | 72     | 0      | 43     | 11,8   | 0      | 0      | 16,6   | 0      | 67,3   | 0      | 6,4    | 74,1   | 2      | 12,7   |
| SET                  | 9,4   | 54     | 29,5   | 105,8  | 129,2  | 0      | 37,6   | 81,6   | 67,2   | 18,6   | 96,4   | 112,6  | 30     | 53,8   | 50,5   |
| OUT                  | 66,1  | 124,4  | 55     | 342,2  | 176,6  | 101    | 128,7  | 87     | 142,5  | 239,9  | 66,4   | 54,6   | 94     | 71,4   | 91,6   |
| NOV                  | 142   | 143,3  | 134,8  | 118,5  | 108,8  | 198    | 121,4  | 258,2  | 239,6  | 134,5  | 150,4  | 190,6  | 212,4  | 190,7  | 154,1  |
| DEZ                  | 268,8 | 155,1  | 156,1  | 191,3  | 323,1  | 283    | 230,4  | 406,4  | 268,7  | 301,4  | 323,9  | 351,1  | 242,7  | 206,1  | 221,1  |
| TOTAL                | 1061  | 1404,1 | 1930,2 | 1977,3 | 1648,3 | 1492,8 | 1419,9 | 1653,7 | 1635,7 | 1621,5 | 1462,1 | 2081,5 | 1226,1 | 1401,8 | 1737,1 |

|              | 2004   | 2005   | 2006   | 2007   | 2008   | 2009   | 2010   | 2011  | 2012   | 2013   | 2014   | 2015   | 2016   | 2017   | 2018  |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| <b>JAN</b>   | 214,4  | 395,2  | 245,3  | 414,9  | 341,9  | 291,2  | 411,2  | 284,7 | 415,5  | 293,2  | 178    | 91,4   | 315,2  | 275,3  | 439,5 |
| <b>FEV</b>   | 359,8  | 110,3  | 287,5  | 198,2  | 385,3  | 251,3  | 169,5  | 188,1 | 156    | 153,8  | 120,7  | 349,8  | 131,5  | 141,1  | 252,6 |
| <b>MAR</b>   | 168,6  | 258,8  | 285,6  | 104,9  | 320,8  | 200,6  | 211,8  | 629,3 | 128,5  | 230,3  | 149,1  | 302,4  | 292,9  | 122,4  | 92,2  |
| <b>ABR</b>   | 143    | 32,7   | 65,8   | 109,6  | 235,4  | 48,4   | 96     | 301,2 | 86,6   | 167,7  | 61,8   | 89,8   | 4,5    | 82,8   | 132,8 |
| <b>MAI</b>   | 58,2   | 103,6  | 46,2   | 17,3   | 75,2   | 41,5   | 18,3   | 0,6   | 73     | 97,9   | 1,8    | 89,4   | 8,4    | 150,7  | 34,6  |
| <b>JUN</b>   | 36,6   | 0      | 2      | 0      | 0      | 28,9   | 9,5    | 25,1  | 91     | 37,1   | 0,6    | 36,3   | 83,9   | 24,8   | 0     |
| <b>JUL</b>   | 31,4   | 5,5    | 0      | 15,7   | 0      | 11,4   | 0,7    | 0     | 10,2   | 14,8   | 62,1   | 6,4    | 0      | 0      | 0     |
| <b>AGO</b>   | 0,5    | 38,6   | 27,5   | 0      | 18,8   | 20,9   | 0      | 2,9   | 0      | 0      | 1,5    | 0      | 33,2   | 0      | 29,6  |
| <b>SET</b>   | 6      | 73,7   | 51,9   | 10,2   | 40,2   | 88,1   | 72,1   | 2     | 30,6   | 69,3   | 24,4   | 100    | 18,7   | 33,9   | -     |
| <b>OUT</b>   | 136,9  | 144,2  | 241,2  | 166,5  | 68,8   | 152,4  | 176,4  | 151,6 | 35,5   | 140    | 107,3  | 72,7   | 178,8  | 102,2  | -     |
| <b>NOV</b>   | 113    | 217,6  | 187,5  | 245,8  | 121    | 153,5  | 366,9  | 148,8 | 221,8  | 190,4  | 209,9  | 212,9  | 458,3  | 433,5  | -     |
| <b>DEZ</b>   | 482,8  | 298,2  | 299,7  | 317,6  | 450,3  | 339,3  | 226,3  | 213,7 | 169,2  | 224,7  | 309,3  | 276,2  | 247,2  | 260,7  | -     |
| <b>TOTAL</b> | 1751,2 | 1678,4 | 1740,2 | 1600,7 | 2057,7 | 1627,5 | 1758,7 | 1948  | 1417,9 | 1619,2 | 1226,5 | 1627,3 | 1772,6 | 1627,4 | 981,3 |