

**UNIVERSIDADE FUMEC  
FACULDADE DE CIÊNCIAS EMPRESARIAIS  
MESTRADO ACADÊMICO EM SISTEMAS  
DE INFORMAÇÃO E GESTÃO DO CONHECIMENTO**

**Cobertura vegetal e uso do solo a partir  
de imagens de satélite na região de  
Jaíba e Gortuba em Minas Gerais: uma  
análise do tratamento da informação  
espacial**

**Pedro Assis Gomide**

**Belo Horizonte  
2019**

**UNIVERSIDADE FUMEC  
FACULDADE DE CIÊNCIAS EMPRESARIAIS  
MESTRADO ACADÊMICO EM SISTEMAS  
DE INFORMAÇÃO E GESTÃO DO CONHECIMENTO**

**Pedro Assis Gomide**

**Cobertura vegetal e uso do solo a partir de imagens de satélite na região de Jaíba e Gortuba em Minas Gerais: uma análise do tratamento da informação espacial**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Sistemas de Informação e Gestão do Conhecimento da Universidade FUMEC como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Sistemas de Informação e Gestão de Conhecimento.

**Área de Concentração: Sistemas de Informação e Gestão do Conhecimento**

**Linha de Pesquisa: Sistemas e tecnologia da informação**

**Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Marta Macedo Kerr Pinheiro**

**Coorientador: Prof. Dr. Leônidas Conceição Barroso**

**Belo Horizonte  
2019**

### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

G633c Gomide, Pedro Assis, 1981-  
Cobertura vegetal e uso do solo a partir de imagens de satélite na região de Jaíba e Gortuba em Minas Gerais: uma análise do tratamento da informação espacial / Pedro Assis Gomide. - Belo Horizonte, 2019.  
156 f. ; 29,7 cm

Orientadora: Marta Macedo Kerr Pinheiro  
Coorientador: Leônidas Conceição Barroso  
Dissertação (Mestrado em Sistemas de Informação e Gestão do Conhecimento), Universidade FUMEC, Faculdade de Ciências Empresariais, Belo Horizonte, 2019.

1. Gestão do conhecimento. 2. Sensoriamento remoto. 3. Solo – uso – Minas Gerais. 4. Cartografia – Minas Gerais. I. Título. II. Pinheiro, Marta Macedo Kerr. III. Barroso, Leônidas Conceição. IV. Universidade FUMEC, Faculdade de Ciências Empresariais.

CDU: 65.01:001



**FUMEC**

Dissertação intitulada “**Cobertura Vegetal e o uso do solo a partir de imagens de satélite na região de Jaíba e Gortuba em Minas Gerais: uma análise do tratamento da informação espacial**” de autoria de Pedro Assis Gomide, aprovado pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores:

Prof. Dra. Marta Macedo Kerr Pinheiro – Universidade FUMEC  
(Orientadora)

Prof. Dr. Leônidas Conceição Barroso – Universidade FUMEC  
(Orientador)

Prof. Dr. João Victor Boechat Gomide – Universidade FUMEC  
(Examinador Interno)

Prof. Dr. André Hirsch – UFSJ  
(Examinador Externo)

Prof. Dr. Fernando Silva Parreiras  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Informação e Gestão do  
Conhecimento da Universidade FUMEC

Belo Horizonte, 27 de setembro de 2019.

**CAMPUS**

Rua Cobre, 200 - Cruzeiro  
30310-190 - Belo Horizonte, MG  
Tel. (31) 3228-3000  
www.fumec.br

# Agradecimentos

Agradeço a Deus por ter me iluminado nesta caminhada.

Agradeço também a minha família. Primeiramente a minha esposa Fabiana, minha filha Sofia e à Aurora. Sem elas com certeza não completaria esta jornada.

Agradeço as minhas irmãs Carolina, Camila, agregados e à Mia, minha sobrinha.

Agradeço aos meus pais Zuilma e Reinaldo, pois sem eles não conseguiria completar este trabalho. Obrigado mesmo pela ajuda!

Ao Professor Dr. Leônidas C. Barroso e ao Professor Dr. Orlando A. Gomes, pela inspiração a seguir nesta trilha de pesquisa e de motivar para os estudos nesta área.

À Dr.<sup>a</sup> Charlotte Landau pelo auxílio e disponibilização dos softwares necessários para a realização das tarefas.

Agradeço a minha orientadora, a Professora Dr.<sup>a</sup> Marta Kerr, que me deu o apoio necessário pois, sem a expertise dela, seria muito difícil desenvolver esta dissertação.

Agradeço aos professores do programa de mestrado da FUMEC e aos demais que de alguma forma colaboraram com este trabalho.

Obrigado!

*"Life moves pretty fast. If you don't stop and look around once in a while, you could miss it."  
(Ferris Bueller)*

# Resumo

A aquisição de imagens de satélite tem sido utilizada para mapear, planejar e monitorar o ambiente terrestre. Tecnologias cada vez mais modernas estão associadas a softwares de geoprocessamento para a análise dessas imagens de satélite com o enfoque espacial, espectral e temporal de diferentes territórios. Analisar as alterações na paisagem é de fundamental importância, pois permite detectar padrões de uso e ocupação do solo e relacionar as modificações ocorridas. Essas técnicas integradas ao contexto agrícola, social e ambiental tornam-se uma alternativa para identificar e entender a dinâmica da cobertura vegetal da região de Jaíba e Gortuba, a área de estudo desta pesquisa. O principal objetivo deste trabalho é abordar a representação pela dinâmica espacial, espectral e temporal, as alterações do uso e ocupação do solo nos anos de 2007/2008 e 2017/2018 na região de Jaíba e Gortuba, utilizando como base os modelos de índices de vegetação relacionados à cobertura vegetal e solos expostos. É um trabalho que realiza uma análise da informação espacial do uso e ocupação do solo e faz uma abordagem quantitativa e descritiva das imagens obtidas por satélite e agrega conhecimentos de áreas multidisciplinares, uma vez que envolve um processo de gestão por parte de prefeitos, produtores agrícolas, cooperativas e instituições de apoio ao pequeno e médio empresário. Utilizou-se uma representação cartográfica para expor os resultados obtidos das análises informacionais para uma melhor compreensão do cenário em questão, uma vez que os mapas facilitam bastante os processos de tomadas de decisão no uso e ocupação do solo.

**Palavras-chaves:** Informação espacial, espectral e temporal, Uso e ocupação do solo, Cobertura vegetal, Representação cartográfica.

# Abstract

The acquisition of satellite images are being used to map, plan and monitor earth environment. Increasingly modern technologies are associated to geoprocessing softwares for analysis of these satellite images with the spatial, spectral and temporal focus of different territories. Analyzing changes in the landscape is of great importance because it permits to detect patterns of land use and occupation and relate changes of the territories. These techniques integrated to the agricultural, social and environmental context becomes an alternative to identify and understand the dynamics of vegetation cover of the Jaíba and Gortuba region, the study area of this research. The main objective of this work is to approach spatial, spectral and temporal dynamic representation on changes in land use and occupation in the years 2007/2008 and 2017/2018 in the region of Jaíba and Gortuba using as base vegetation indexes models related to vegetation cover and exposed soil. It is a work that performs a spatial information analysis of land use and occupation and makes a quantitative and descriptive approach to the images obtained by satellite and aggregates knowledge from multidisciplinary areas, since it involves a process of management by mayors, agricultural producers, cooperatives and institutions to support the small and medium entrepreneur. A cartographic representation was used to present the results obtained from the information analysis for a better understanding of the scenario in question since the maps greatly facilitate the processes of decision making in the use and occupation of the soil.

**Key-words:** Spatial, spectral and temporal information, Land use and occupation, Vegetation cover, Cartographic representation.



# Lista de ilustrações

Figura 1 – Processo da Transformação de Dado em Informação . . . . .	24
Figura 2 – Componentes de um SIG . . . . .	26
Figura 3 – Representação no modelo matricial de um ponto, linha e área. . . . .	28
Figura 4 – Referenciamento no modelo matricial. . . . .	29
Figura 5 – Representação no modelo vetorial de um ponto, linha e área. . . . .	29
Figura 6 – Representação dos modelos matriciais, em mais de um atributo. . . . .	30
Figura 7 – Representação de uma imagem digital bidimensional. . . . .	31
Figura 8 – Relação entre SIG, Análise Espacial e Geografia . . . . .	33
Figura 9 – Aquisição de dados por um satélite. . . . .	35
Figura 10 – Espectro Eletromagnético. . . . .	35
Figura 11 – Comportamento espectral de alvos em relação ao espectro eletromagnético nas faixas do visível, infravermelho próximo e de ondas curtas. . . . .	36
Figura 12 – Localização de Jaíba e Gortuba, no norte de Minas Gerais . . . . .	42
Figura 13 – Esboço geológico do vale do Rio São Francisco no norte de Minas Gerais, incluindo o Distrito Agroindustrial do Jaíba . . . . .	43
Figura 14 – Mapa geológico da área do perímetro irrigado de Gortuba no Norte de Minas Gerais . . . . .	44
Figura 15 – Levantamento semidetalhado dos solos da área de expansão do projeto de irrigação do Jaíba (Etapa III, 12.015 ha), região Norte de Minas Gerais, na escala 1:50.000 . . . . .	45
Figura 16 – Mapa de solo da área do perímetro irrigado de Gortuba no Norte de Minas Gerais . . . . .	46
Figura 17 – Variação mensal com média por decêndios da temperatura do ar máxima (Tmax), mínima (Tmin) e média (Tmed), em °C, referentes aos períodos entre 01/01/1999 e 31/07/2012 (Jaíba/Mocambinho-Moc) e 01/01/1999 e 31/08/2016 (Gortuba/Janaúba-Jan). . . . .	48
Figura 18 – Variação mensal com média por decêndios da precipitação (Prec med, em mm) e da umidade relativa do ar (URmed, em %), referentes aos períodos entre 01/01/1999 e 31/07/2012 (Jaíba/Mocambinho-Moc) e 01/01/1999 e 31/08/2016 (Gortuba/Janaúba-Jan) . . . . .	50

Figura 19 – Balanço hídrico climatológico mostrando a variação de excedente hídrico (EXC), deficiência hídrica (DEF), precipitação, evapotranspiração potencial (ETP), evapotranspiração real (ETR) e armazenamento de água no solo (ARM), para a região de Jaíba (Mocambi- nho), a partir de uma capacidade de água disponível (CAD) no solo de 100mm e de dados climáticos mensais de médias por decêndios do período entre 01/01/1999 e 31/07/2012 . . . . .	54
Figura 20 – Balanço hídrico climatológico mostrando a variação de excedente hídrico (EXC), deficiência hídrica (DEF), precipitação, evapotranspi- ração potencial (ETP), evapotranspiração real (ETR) e armazena- mento de água no solo (ARM), para a região de Janaúba (Goru- tuba), a partir de uma capacidade de água disponível (CAD) no solo de 100 mm e de dados climáticos mensais de médias por decêndios do período entre 01/01/1999 e 31/08/2016 . . . . .	55
Figura 21 – Busca de imagens no site do USGS . . . . .	61
Figura 22 – Passos para obtenção, processamento e mapeamento dos dados e imagens . . . . .	62
Figura 23 – Definição da área de interesse no mapa . . . . .	73
Figura 24 – Definição do conjunto de dados para a busca . . . . .	74
Figura 25 – Resultado da busca, conforme critérios estabelecidos . . . . .	74
Figura 26 – Imagem colorida capturada pelo satélite Landsat 8 no dia 04/08/2017 - WRS 218/71 . . . . .	76
Figura 27 – Localização da imagem capturada do satélite Landsat 8 no dia 04/08/2017 - WRS 218/71 . . . . .	76
Figura 28 – Projeto Jaíba - Mapa de Reflectância - Landsat 5 . . . . .	78
Figura 29 – Projeto Jaíba - Mapa de Reflectância - Landsat 8 . . . . .	79
Figura 30 – Projeto Gortuba - Mapa de Reflectância - Landsat 5 . . . . .	80
Figura 31 – Projeto Gortuba - Mapa de Reflectância - Landsat 8 . . . . .	81
Figura 32 – Projeto Jaíba - Mapa do índice de vegetação por diferença normali- zada - Landsat 5 . . . . .	86
Figura 33 – Projeto Jaíba - Mapa do índice de vegetação por diferença normali- zada - Landsat 8 . . . . .	87
Figura 34 – Projeto Gortuba - Mapa do índice de vegetação por diferença nor- malizada - Landsat 5 . . . . .	88
Figura 35 – Projeto Gortuba - Mapa do índice de vegetação por diferença nor- malizada - Landsat 8 . . . . .	89
Figura 36 – Projeto Jaíba - Mapa do índice de vegetação ajustado ao solo - Landsat 5 . . . . .	94

Figura 37 – Projeto Jaíba - Mapa do índice de vegetação ajustado ao solo - Landsat 8 . . . . .	95
Figura 38 – Projeto Gortuba - Mapa do índice de vegetação ajustado ao solo - Landsat 5 . . . . .	96
Figura 39 – Projeto Gortuba - Mapa do índice de vegetação ajustado ao solo - Landsat 8 . . . . .	97
Figura 40 – Projeto Jaíba - Mapa do índice de área foliar - Landsat 5 . . . . .	99
Figura 41 – Projeto Jaíba - Mapa do índice de área foliar - Landsat 8 . . . . .	100
Figura 42 – Projeto Gortuba - Mapa do índice de área foliar - Landsat 5 . . . . .	101
Figura 43 – Projeto Gortuba - Mapa do índice de área foliar - Landsat 8 . . . . .	102
Figura 44 – Projeto Jaíba - Mapa da temperatura da superfície - Landsat 5 . . . . .	105
Figura 45 – Projeto Jaíba - Mapa da temperatura da superfície - Landsat 8 . . . . .	106
Figura 46 – Projeto Gortuba - Mapa da temperatura da superfície - Landsat 5 . . . . .	107
Figura 47 – Projeto Gortuba - Mapa da temperatura da superfície - Landsat 8 . . . . .	108
Figura 48 – Projeto Jaíba - Mapa do albedo da superfície - Landsat 5 . . . . .	111
Figura 49 – Projeto Jaíba - Mapa do albedo da superfície - Landsat 8 . . . . .	112
Figura 50 – Projeto Gortuba - Mapa do albedo da superfície - Landsat 5 . . . . .	113
Figura 51 – Projeto Gortuba - Mapa do albedo da superfície - Landsat 8 . . . . .	114

# Lista de tabelas

Tabela -1 – Dados, Informação e Conhecimento . . . . .	25
Tabela 0 – Bandas do Landsat 5 . . . . .	38
Tabela 1 – Bandas do Landsat 8 . . . . .	39
Tabela 2 – $ESUN_{\lambda}$ para o Landsat 5 . . . . .	64
Tabela 3 – Áreas em Km <sup>2</sup> e % do uso e ocupação dos solos dos projetos Jaíba e Gorutuba para análise das transformações sazonais e interanuais ocorridas. . . . .	91





# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>17</b>
<b>1.1</b>	<b>Problema de Pesquisa</b>	<b>19</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivo Geral</b>	<b>19</b>
1.2.1	Objetivos Específicos	19
<b>1.3</b>	<b>Justificativa</b>	<b>19</b>
<b>1.4</b>	<b>Relação com o programa e trilha de pesquisa</b>	<b>22</b>
<b>1.5</b>	<b>Estrutura do Trabalho</b>	<b>22</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>23</b>
<b>2.1</b>	<b>Sistemas de Informação</b>	<b>23</b>
2.1.1	Dado, Informação e Conhecimento	23
2.1.1.1	Dado	23
2.1.1.2	Informação	24
2.1.1.3	Conhecimento	24
2.1.1.4	Gestão do Conhecimento	25
<b>2.2</b>	<b>Sistemas de Informação Geográfica</b>	<b>26</b>
2.2.1	Representação Cartográfica	27
2.2.1.1	Software de mapeamento cartográfico ArcGIS	28
2.2.2	Modelo matricial e vetorial	28
2.2.3	Processamento digital de imagens	30
2.2.3.1	Representação de um modelo de imagem digital	30
2.2.3.2	Software de Processamento de Imagens ERDAS	32
<b>2.3</b>	<b>Análise Espacial</b>	<b>32</b>
2.3.1	Uso e ocupação do solo	33
2.3.2	Sensoriamento Remoto	34
2.3.3	Interação da radiação na superfície dos alvos ou objetos de interesse	36
2.3.4	Satélites Landsat	37
2.3.4.1	Satélite Landsat 5	38
2.3.4.2	Satélite Landsat 8	38
<b>2.4</b>	<b>Localização e descrição geral da área de estudo</b>	<b>40</b>
2.4.1	O distrito agroindustrial do Jaíba	40
2.4.2	O perímetro irrigado de Gorutuba	41
2.4.3	Geologia e Solos	42
2.4.4	Clima	46
2.4.5	Temperatura	47

2.4.6	Precipitação e Umidade relativa do ar . . . . .	49
2.4.7	Balanço hídrico e classificação climática . . . . .	51
2.4.8	Vegetação e Urbanização . . . . .	56
2.4.9	Produção e Comercialização de Produtos Agrícolas no Norte de Minas	57
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA . . . . .</b>	<b>60</b>
<b>3.1</b>	<b>Dados do Landsat 5 e Landsat 8 e escolha dos períodos de estudo</b>	<b>60</b>
<b>3.2</b>	<b>Procedimentos para a tratamento dos dados . . . . .</b>	<b>61</b>
<b>3.3</b>	<b>Radiância Espectral . . . . .</b>	<b>62</b>
<b>3.4</b>	<b>Reflectância . . . . .</b>	<b>63</b>
3.4.1	Reflectância no topo da atmosfera . . . . .	63
3.4.2	Reflectância na superfície . . . . .	64
<b>3.5</b>	<b>Cálculo dos índices de vegetação para a classificação das ima- gens obtidas . . . . .</b>	<b>66</b>
3.5.1	NDVI - Normalized Difference Vegetation Index . . . . .	66
3.5.2	SAVI - Soil-adjusted Vegetation Index . . . . .	67
3.5.3	LAI - Leaf Area Index . . . . .	68
<b>3.6</b>	<b>Emissividades da Superfície . . . . .</b>	<b>68</b>
<b>3.7</b>	<b>Temperatura de Superfície . . . . .</b>	<b>69</b>
<b>3.8</b>	<b>Albedo . . . . .</b>	<b>69</b>
3.8.1	Albedo no topo da atmosfera . . . . .	70
3.8.2	Transmissividade atmosférica . . . . .	70
3.8.3	Albedo da superfície terrestre . . . . .	71
<b>3.9</b>	<b>Mapeamento dos dados obtidos . . . . .</b>	<b>71</b>
<b>4</b>	<b>ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS . . . . .</b>	<b>73</b>
<b>4.1</b>	<b>Coleta das imagens dos satélites Landsat 5 e Landsat 8 . . . . .</b>	<b>73</b>
<b>4.2</b>	<b>Seleção e preparação das imagens dos satélites a serem utilizadas</b>	<b>75</b>
<b>4.3</b>	<b>Elaboração dos modelos que foram utilizados . . . . .</b>	<b>77</b>
<b>4.4</b>	<b>Execução dos modelos . . . . .</b>	<b>77</b>
<b>4.5</b>	<b>Classificação das imagens . . . . .</b>	<b>82</b>
<b>4.6</b>	<b>Geração dos mapas a partir das imagens classificadas . . . . .</b>	<b>83</b>
4.6.1	Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) . . . . .	83
4.6.2	Soil-adjusted Vegetation Index (SAVI) . . . . .	92
4.6.3	Leaf Area Index (LAI) . . . . .	98
4.6.4	Temperatura da superfície ( $T_s$ ) . . . . .	103
4.6.5	Albedo da Superfície ( $\alpha$ ) . . . . .	109
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS . . . . .</b>	<b>115</b>
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>120</b>



<b>APÊNDICE A – MODELOS ESPACIAIS UTILIZADOS PARA O TRATAMENTO DOS DADOS - LANDSAT 5 . . . . .</b>	<b>132</b>
<b>APÊNDICE B – MODELOS ESPACIAIS UTILIZADOS PARA O TRATAMENTO DOS DADOS - LANDSAT 8 . . . . .</b>	<b>139</b>
<b>APÊNDICE C – MÉDIAS POR DECÊNDIOS DE DADOS CLIMÁTICOS MENSAIS DE JANAÚBA (GORUTUBA) . . .</b>	<b>147</b>
<b>APÊNDICE D – MÉDIAS POR DECÊNDIOS DE DADOS CLIMÁTICOS MENSAIS DE JAÍBA (MOCAMBINHO) . . . .</b>	<b>149</b>
<b>APÊNDICE E – MÉDIAS DOS DADOS DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO PARA A REGIÃO DE JANAÚBA (GORUTUBA) . . . . .</b>	<b>151</b>
<b>APÊNDICE F – MÉDIAS DOS DADOS DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO PARA A REGIÃO DE JAÍBA (MOCAMBINHO) . . . . .</b>	<b>153</b>

# 1 Introdução

A aquisição de dados ambientais espaço-temporais está cada vez mais sendo estimulada com o propósito de entender e compreender melhor os padrões de uso e ocupação e organização do homem no espaço, devido principalmente à redução dos recursos naturais (solo, água, vegetação) causados pela ação antrópica. O homem cada vez mais necessita das cultivares vegetais e dos animais para produção de alimentos – com o intuito de garantir a sua subsistência e de movimentar a economia. De acordo com Fonseca e Fonseca (2012), o meio em que vivemos está sendo transformado para satisfazer às necessidades e desejos da população e da sociedade.

Para isso, imagens de satélite têm sido utilizadas para fins de mapeamento, planejamento e monitoramento ambiental há várias décadas. Atualmente, novas tecnologias aliadas a *softwares* de geoprocessamento cada vez mais modernos têm possibilitado o uso e a análise dessas imagens de satélite para variados fins dentro de um enfoque espacial, espectral e temporal dos diferentes territórios. Hoje a sua representação por meio de mapas temáticos facilita e permite a compreensão e análise do cenário que está sendo exposto e modificado. Isso possibilita uma tomada de decisão mais assertiva do uso e ocupação do solo.

Analisar as alterações na paisagem natural é importante, visto que permite estudar o comportamento e os padrões de uso da cobertura da terra e relacionar essas modificações aos elementos de forma espacial e temporal (SOARES FILHO, 1998). Nesse sentido, integrar as técnicas de *Sensoriamento Remoto* (SR) no contexto agrícola, social e ambiental da região torna-se uma alternativa para identificar e entender a dinâmica da cobertura vegetal da região de Jaíba e Gortuba. "O sensoriamento remoto, como fonte regular de obtenção de dados da superfície terrestre, constitui-se numa importante técnica para o monitoramento sistemático da dinâmica da vegetação" (SILVA et al., 2012).

As técnicas mais apuradas utilizadas atualmente para o estudo da cobertura vegetal referem-se aos *Índices de Vegetação* (IV), tais como o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI) e o *Leaf Area Index* (LAI). Tais índices permitem avaliar o grau de modificação provocado pela ação do homem na paisagem de domínio de uma região. Dessa forma, a importância dos IV nos estudos de cobertura vegetal pode ser assim definida: "Facilita a obtenção e modelagem de parâmetros biofísicos das plantas, como a área foliar, biomassa e porcentagem de cobertura do solo", com destaque para a região do espectro eletromagnético do vermelho e infravermelho próximo, que podem fornecer importantes informações

sobre o uso e a ocupação dos solos (JENSEN, 2009). Os IV resultam de combinações lineares de dados espectrais, realçando o sinal da vegetação, que minimizam as variações na irradiância solar e os efeitos do substrato do dossel vegetal (solos) (SILVA; HAMULAK; RIBEIRO, 2012). Wang, Rich e Price (2003) indicam o NDVI como um dos mais utilizados para o estudo da vegetação. A sensibilidade destes IV torna possível realizar estudos de comparações espaciais em diferentes escalas de caráter local, regional e global.

As análises espaciais foram realizadas a partir de imagens de satélite do Landsat 5 e Landsat 8, processadas por meio de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Para tanto, os municípios de Jaíba, Matias Cardoso, Janaúba e Nova Porteirinha, localizados na mesorregião do Norte de Minas, onde estão inseridos Jaíba e Gortuba, serão considerados nas áreas de interesse deste estudo, onde as condições climáticas não são favoráveis para a produção agrícola e as chuvas não são distribuídas de maneira uniforme. Dois períodos distintos, um seco e um úmido, serão selecionados para a análise. Para os anos de 2007 e de 2017 será feito um estudo do período seco e para os anos de 2008 e 2018, o úmido. A razão da escolha desses períodos se justifica com base nas imagens que são ofertadas pela *United States Geological Survey* (USGS) e também no que diz respeito à qualidade das imagens, que podem ter algum tipo de ruído ou nuvens, que impedem uma visualização mais nítida de todo o exposto.

Contudo, a proximidade de rios perenes, tais como Verde Grande e Gortuba, ligados à bacia hidrográfica do alto médio São Francisco, favorece a utilização de técnicas, de infraestruturas e de perímetros de irrigação, que representam um potencial fator econômico da região. No entanto, isso atua nos consequentes impactos e interferências na paisagem natural, no solo, nos corpos hídricos e na regeneração dessas estruturas vegetais devido ao manejo de uso e ocupação do solo pelo homem, através de edificações em áreas urbanas, estabelecimento de comércios e parques industriais, reservas com vegetação natural e exploração de sistemas de produção agrícola, tanto os de sequeiro (onde predomina as pastagens) como os irrigados (com culturas perenes e anuais). A necessidade de estudar este tema surgiu do fato de a região possuir um dos menores indicadores socioeconômicos do estado de Minas, sendo "palco" de implantação de políticas públicas e projetos que visam ao desenvolvimento regional, entre eles os projetos de irrigação de Jaíba e Gortuba. A partir da agricultura irrigada, uma cadeia (rede) produtiva se formou impulsionando a criação/desenvolvimento de comércio, circulação (transporte, comunicação e informação) e serviços especializados.

## 1.1 Problema de Pesquisa

Como, pelo uso de imagens de satélite, pode-se representar a informação espacial, espectral e temporal da cobertura vegetal e dos solos expostos na região de Jaíba e Gortuba para estabelecer as diferentes classificações do uso e ocupação do solo dessa região?

## 1.2 Objetivo Geral

Representar, pela informação espacial, espectral e temporal, as alterações do uso e ocupação do solo nos anos de 2007/2008 e 2017/2018 na região de Jaíba e Gortuba, com base nos modelos de índices de vegetação relacionados à cobertura vegetal e uso do solo.

### 1.2.1 Objetivos Específicos

- extrair e processar imagens da cobertura vegetal e uso do solo da região de Jaíba e Gortuba nos anos de 2017/2018 e 2007/2008 dos satélites Landsat 5 e Landsat 8, com base nos modelos de índices de vegetação, geoprocessados e classificados pelo *software* ERDAS;
- elaborar uma análise espacial e temporal das imagens multiespectrais de diferentes bandas;
- explicar as alterações ocorridas na cobertura vegetal e no uso do solo do ecossistema da região analisada;
- mapear as transformações ocorridas em dois períodos distintos, um seco e outro úmido, pela informação espacial, espectral e temporal, sem a necessidade de levantamento em campo; e
- representar os conhecimentos encontrados através de mapas, relativos aos modelos de índices de vegetação, que propiciem as melhores caracterizações da cobertura vegetal e do uso do solo, para gestores dos municípios e dos perímetros irrigados de Jaíba e Gortuba.

## 1.3 Justificativa

A principal justificativa para a realização deste trabalho é o vínculo que possuo com a *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária* (Embrapa), o que se tornou um grande motivador para o início dos estudos. A Embrapa Milho e Sorgo atualmente possui um campo experimental no município de Nova Porteirinha, Minas Gerais, dentro do

perímetro irrigado de Gorutuba. Esta dissertação contribui diretamente não só com a pesquisa agropecuária em benefício da sociedade brasileira, mas também em outras áreas de caráter multidisciplinar. É possível elencar também a estrutura disponível na empresa e a equipe de profissionais altamente capacitados que dominam as áreas de estudos abordados para o encorajamento nos estudos.

O Projeto Jaíba teve início na década de 1950, tendo em vista um potencial agrícola entre os rios São Francisco e Verde Grande, e serviu de início para assentar pequenos agricultores. Ao longo das décadas foram sendo investidos recursos financeiros nacionais e internacionais. Órgãos como a *Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco* (CODEVASF) contribuem com o desenvolvimento do projeto. A iniciativa privada também foi incorporada ao longo do tempo, a região foi se desenvolvendo e a infraestrutura foi melhorando ao que hoje é conhecido como o *Distrito de Irrigação de Jaíba* (DIJ) (DIJ, 2019).

O Projeto Gorutuba foi concebido no final da década de 1970, juntamente com a construção da barragem Bico da Pedra. Já neste período, os irrigantes e pequenos produtores foram se estabelecendo. Como o Projeto Jaíba, a CODEVASF contribui para o desenvolvimento do projeto. Em 1993 foi instituído o *Distrito de Irrigação do Perímetro Gorutuba* (DIG), onde se incorporaram as atividades de administração, operação, manutenção e conservação de todo o projeto (DIG, 2019).

A região de Jaíba e Gorutuba vem crescendo e se desenvolvendo, à medida que tecnologias aplicadas à agricultura vêm se intensificando no campo (SANTOS; SILVA, 2010). Com isso cada vez mais a produção hortifrúti, sementes, açúcar e álcool na região está ganhando mais destaque, inclusive tendo projeção internacional, onde a produção é exportada para diversos países (VALVERDE, 2015).

Alguns procedimentos são necessários para o bom desenvolvimento das culturas nessa região, entre elas a irrigação. Devido ao clima predominantemente seco, a irrigação se faz necessária (SANTOS; SILVA, 2010). Ao se identificarem os perímetros irrigados, os solos expostos e as pastagens através do *software* de processamento de imagens *Earth Resource Development Assessment System* (ERDAS), ter-se-á uma ideia bem clara de como o solo é usado e ocupado. Através da geografia e da cartografia, a visualização desta ocupação será mais facilitada ainda, propiciando um entendimento explicitado para quem estiver analisando a informação.

A contribuição social deste trabalho é conduzir a uma melhor compreensão do uso e ocupação do solo da região em dois períodos distintos, um seco e outro úmido, selecionados nos anos de 2017/2018 e 2007/2008, contribuindo assim para que gestores dos municípios dos dois perímetros públicos irrigados de Jaíba e Gorutuba, inseridos na região semiárida do Norte de Minas, se beneficiem das tecnologias geradas pelo meio acadêmico e científico, tendo como consequência a geração de empregos

diretos e indiretos, contribuindo assim para ações governamentais mais efetivas da inclusão social, reduzindo a pobreza e a migração para os grandes centros urbanos da região, como as cidades de Janaúba e Montes Claros (ARROBAS; ENEI, 2009). As condições climáticas dessas regiões contribuem favoravelmente para os cultivos irrigados de espécies perenes frutíferas e algumas culturas anuais que, no caso dos referidos perímetros irrigados, destaca-se o plantio da banana, limão, cana-de-açúcar.

Com relação à questão social e econômica desses perímetros públicos irrigados da região Norte de Minas Gerais, é interessante destacar que os parques industriais desenvolveram-se mediante os incentivos públicos fiscais recebidos, que, juntamente com os subsídios, baratearam a formação bruta de capital, favorecendo a criação das aglomerações industriais, porém com fracas articulações produtivas locais (NOGUEIRA; CARVALHO FILHO; MENDES, 2008). Um dos fatores que marca o processo de ocupação da região é a instalação de ferrovias, no início do século XX, entre Montes Claros e Pirapora, que viabilizou a comercialização dos produtos agropecuários e um maior intercâmbio entre os municípios da região. Foi nesse contexto que Montes Claros começou a alcançar a posição de centro econômico e político regional (FRANÇA; SOARES, 2006).

Com a difusão das práticas agrícolas, Jaíba e Gortuba passam a ser centros sub-regionais, fato que proporciona certo destaque e diferenciação, que assumem algumas polarizações socioeconômicas e espaciais dessas regiões, destacando-se a liderança dos processos de produção frutífera e de algumas culturas anuais e também através da prestação de alguns serviços especializados, com realce para assistência técnica à produção agrícola e saúde.

Portanto, o uso e a ocupação dos solos nas áreas dessa região de Jaíba e Gortuba caracterizam-se por ter a sua maior ocupação de terras relacionadas a atividades agrícolas, com plantios em áreas irrigadas, e pecuária (gado de corte e de leite), com predominância de plantios de pastagens de sequeiros. As principais cidades inseridas na região são Janaúba, onde são oferecidos e disponibilizados bens e serviços ao espaço microrregional, desempenhando o papel de centro de crescimento social e econômico regional, apresentando relações de dinamização com o espaço rural que a envolve e uma diferenciação do espaço interurbano; e também Jaíba e Porteirinha. Nesses locais, as áreas com vegetação nativa vêm sofrendo a degradação ambiental ao longo dos anos, devido ao avanço da agropecuária, ao crescimento das cidades e à retirada de carvão vegetal.

A região de Jaíba e Gortuba no Norte do Estado de Minas Gerais apresenta um valor de *Índice de Desenvolvimento Humano* (IDH) inferior ao do Nordeste brasileiro, região mais pobre do Brasil. O contraste observado entre a riqueza da biodiversidade de plantas nessa região e a situação atual de carência da população mostra a

importância das instituições de ensino e pesquisa e das organizações governamentais no processo de desenvolvimento sustentável e na melhoria da qualidade de vida da população (OLIVEIRA et al., 2008). Nenhuma solução dirigida para a resolução dos problemas do norte de Minas Gerais poderá abstrair o comportamento do seu meio ambiente, inclusive no que diz respeito à fisiologia da paisagem, aos tipos de tecidos ecológicos e à utilização adequada dos recursos humanos e hídricos disponíveis (AB'SÁBER, 1999).

## 1.4 Relação com o programa e trilha de pesquisa

No programa de Sistemas de Informação e Gestão do Conhecimento, a trilha de pesquisa escolhida é a de Tratamento da Informação Espacial. Contempla a interdisciplinaridade do programa, reunindo conhecimentos de Sistemas de Informação, da Gestão de Conhecimentos, da Geografia, da Geografia Espacial, da Cartografia e da Economia. O trabalho desenvolvido alinha-se a esses temas, pois para se analisar o uso e a ocupação do solo das regiões de Jaíba e Gortuba, em períodos de seca e de chuva, recorreu-se à análise espacial no tratamento de imagens de satélite. O resultado da elaboração de mapas cartográficos enquadra-se na área de Sistemas de Informação Geográfica por estar relacionado à elaboração de mapas cartográficos. O tratamento dos dados envolveu uma análise estatística, bem como uma seleção de dados e modelos de índices de vegetação na classificação das imagens de satélite.

## 1.5 Estrutura do Trabalho

Após esta introdução, a estrutura do projeto consiste no Referencial Teórico, descrevendo Sistemas de Informação, Sistemas de Informação Geográfica e Análise Espacial. Logo em seguida, é colocada a metodologia do projeto, seguida da análise e discussão dos resultados e das considerações finais.

## 2 Referencial Teórico

### 2.1 Sistemas de Informação

Antes de conceituar sistemas de informação, é interessante conceituar o que são sistemas. Os sistemas são um conjunto de partes interagentes e interdependentes que formam um todo unitário com determinado objetivo e efetuam determinada função (OLIVEIRA, 1992). Também pode ser definido como a disposição das partes de um todo que formam a estrutura organizada, com a finalidade de executar inúmeras atividades ou um conjunto de eventos que se repetem em ciclos na realização de tarefas predefinidas (BATISTA, 2004). As organizações espaciais se comportam como sistemas. Então a análise sistêmica pode ser usada como instrumento de previsão. A teoria dos sistemas na espacialização serviu para delinear melhor as pesquisas geográficas. O uso de modelos, sejam estatísticos, matemáticos ou biofísicos, permitiu a estruturação da utilização de sistemas na análise e na organização espacial.

Os *Sistemas de Informação* (SI) têm como objetivo elaborar informações para auxílio na tomada de decisão. Os dados são coletados, processados e transformados em informação. Eles possuem uma série de elementos que se relacionam entre si, que coletam, manipulam, armazenam e disseminam os dados e informações e fornecem um mecanismo de *feedback* (STAIR, 2013). Os SI também podem ser enxergados como um conjunto de recursos humanos, materiais, tecnológicos e financeiros, unidos numa sequência lógica e que permitem o processamento de dados e informações (GIL, 1999).

Segundo Laudon, K. e Laudon, J. (1999), as organizações constroem os SI para resolver problemas da corporação e também para reagir a mudanças no ambiente. Moresi (2000) ainda afirma que os SI otimizam o fluxo de informação relevante no âmbito de uma organização, facilitando um processo de conhecimento e de tomada de decisão a partir de dados, informações e conhecimentos.

#### 2.1.1 Dado, Informação e Conhecimento

##### 2.1.1.1 Dado

Dado pode ser compreendido como um elemento da informação (letras e números), em que cada um, sendo analisado isoladamente, não transmite nenhum conhecimento, ou seja, não contém um significado (BIO, 2007). Dado também pode ser definido como uma sequência de símbolos quantificados ou quantificáveis (SETZER, 2001).



Para os dados fazerem algum sentido, eles precisam ser gerenciados. É um processo difícil, pois envolve diversas etapas e locais diferentes. Algumas destas razões são a quantidade de dados envolvidos, a dispersão dos dados e a diversidade de fontes (TURBAN et al., 2007).

### 2.1.1.2 Informação

A informação define-se como fabricada pelos indivíduos a partir de experiências passadas e de acordo com as suas exigências de determinada situação na qual a informação deve ser utilizada (CHOO, 2003). Ela é carregada de significado, ou seja, constrói um sentido para quem a utiliza. A informação deverá possuir características, como responder a uma indagação, solucionar um problema, apoiar uma decisão ou dar algum sentido a uma situação (STAIR; REYNOLDS, 2002).

Para se chegar a uma informação, algum dado foi transformado. Na Figura 1 é representado o processo da transformação de dado em informação.

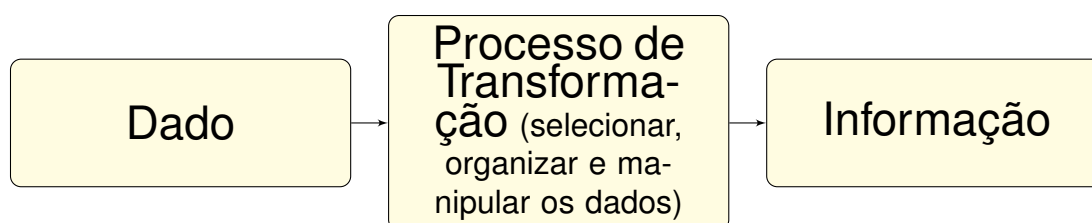


Figura 1 – Processo da Transformação de Dado em Informação.

Fonte: Stair e Reynolds (2002).

### 2.1.1.3 Conhecimento

Conhecimento é uma informação contextual, relevante e acionável. Em outras palavras, conhecimento é a informação em ação (TURBAN et al., 2007). Conhecimento também pode ser visto como uma informação valiosa da mente. Inclui reflexão, síntese e contexto. É difícil de estruturar, capturar em computadores e é tácito, portanto individualizado (algo que não é explícito) e sua transferência é complexa (AUDY; ANDRADE; CIDRAL, 2005). Setzer (2001) define como uma abstração interior, pessoal, de algo que foi experimentado, vivenciado por alguém.

Na Tabela -1 é representada a relação entre dados, informação e conhecimento.

<b>Dados</b>
<p>Simple observações sobre o estado do mundo</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Facilmente estruturado</li> <li>- Facilmente obtido por máquinas</li> <li>- Frequentemente quantificado</li> <li>- Facilmente transferível</li> </ul>
<b>Informação</b>
<p>Dados dotados de relevância e propósito</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Requer unidade de análise</li> <li>- Exige consenso em relação ao significado</li> <li>- Exige necessariamente a mediação humana</li> </ul>
<b>Conhecimento</b>
<p>Informação valiosa da mente humana. Inclui reflexão, síntese e contexto</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- De difícil estruturação</li> <li>- De difícil captura em máquinas</li> <li>- Frequentemente tácito</li> <li>- De difícil transferência</li> </ul>

Tabela -1 – Dados, Informação e Conhecimento.

Fonte: Davenport e Prusak (1998).

#### 2.1.1.4 Gestão do Conhecimento

A *Gestão do Conhecimento* (GC) é um processo articulado e intencional, que promove e sustenta o desempenho global de uma determinada organização, tendo como base a criação e a circulação de conhecimento (CANONGIA et al., 2004). Os autores Nonaka e Takeuchi (1995) citam as práticas de GC como fontes de criação que incentivam o surgimento de inovação.

A GC é vista como uma "mola indutora da produtividade e criatividade dos trabalhadores do conhecimento" (TERRA et al., 2012). Segundo o modelo proposto por Terra (2001), a GC ocorre em 3 níveis: estratégico, organizacional e infraestrutura.

Segundo (MUYLDER et al., 2014), existem formas diferentes de se praticar a GC e, possivelmente, formas diferentes de obter resultados com ela. As práticas em cada nível são voltadas para dimensões diferentes como visão estratégica, sistema de informação, cultura organizacional entre outras.

## 2.2 Sistemas de Informação Geográfica

Quase tudo que acontece, acontece em algum lugar. Os humanos restringem suas atividades geralmente à superfície ou às proximidades da superfície da Terra. Com base nisso, a análise espacial pode ser compreendida como o processo pelo qual transformamos dados espaciais brutos em informação espacial útil. Até agora, entendemos a criação da informação espacial como agregação de valor a dados de atributo através de seletividade ou de preparação para uma finalidade (LONGLEY et al., 2013).

Os *Sistemas de Informação Geográfica* (SIG) estão inseridos neste contexto. Eles podem ser conceituados como um conjunto manual ou computacional de procedimentos utilizados para armazenar e manipular dados georreferenciados. Podem ser apresentados ainda como um sistema de captação, armazenamento, visualização, análise e apresentação de dados (ARONOFF, 1989).

Os SIG também podem ser conceituados como composto por *hardware*, *software*, dados e pessoas para ajudar na manipulação, análise e apresentação, como ilustrado na Figura 2.

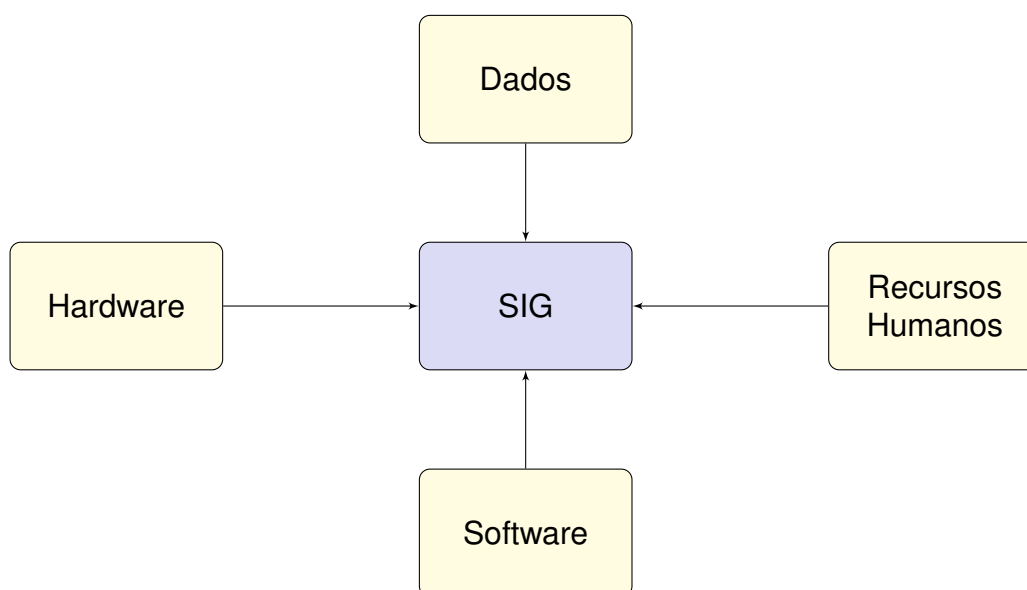


Figura 2 – Componentes de um SIG.

Fonte: Rufino (2018).

Os SIG levam em consideração as características do local ou as variáveis geográficas que são representadas por camadas e propriedades geométricas como a distância e a posição. Em um SIG observa-se a transformação de uma paisagem real para uma paisagem gráfica ou digital (FERREIRA; BARROSO; ABREU, 2015).

### 2.2.1 Representação Cartográfica

Entre os vários conceitos de cartografia compilados da literatura, vale citar o estabelecido em 1964, no XX Congresso Internacional de Geografia, organizado pela *Associação Cartográfica Internacional (ACI)*, sintetizado como (IBGE, 1998):

"Conjunto de estudos e operações científicas, artísticas e técnicas, baseado nos resultados de observações diretas ou de análise de documentação, com vistas à elaboração e preparação de cartas, projetos e outras formas de expressão, assim como a sua utilização."

A representação cartográfica é tida como sendo uma das mais antigas, com origem nos primórdios da antiguidade, quando o homem primitivo já sentia necessidade de registrar o espaço, a fim de demarcar os lugares mais importantes para a sua sobrevivência (ELMIRO, 2001). Posteriormente, com o advento do comércio entre os povos e o conseqüente aparecimento dos primeiros exploradores e navegadores, a necessidade de registrar as novas terras e riquezas ampliou os horizontes geográficos conhecidos, ocasionando a maior necessidade de se localizar sobre a superfície terrestre; com os novos interesses instaurados, estabeleceu-se o marco inicial da Cartografia como ciência (MAIO, 2008). A Cartografia tem, nos dias atuais, aplicação em praticamente todas as áreas que lidam com recursos geograficamente distribuídos, tais como Engenharia, Geografia, Geologia, Pedologia, Agricultura, Arquitetura, Navegação, Transporte, Turismo, Meteorologia, Urbanismo, Geoprocessamento, entre outros.

Os elementos geográficos da superfície terrestre, naturais ou concebidos pelo homem podem ser organizados em um SIG por modelos sequenciais, sejam eles gráficos ou digitais. E estes elementos geográficos passam por uma construção feita pela ciência cartográfica. A redução da dimensão real para uma representação em papel ou computador tem como base a escala. Itens básicos que devem compor todo mapa são o título, a orientação, a legenda e a fonte (FERREIRA; BARROSO; ABREU, 2015). Uma reconstrução do espaço geográfico, em que os modelos são estruturados em um formato cartográfico possivelmente foi percebido por cartógrafos, pois atualmente tem-se um número significativo de projeções cartográficas para explicar características de representação do mundo real (ABREU; BARROSO, 1982).

A razão principal da relação interdisciplinar forte entre cartografia com o geoprocessamento é o espaço geográfico. A cartografia preocupa-se em apresentar um modelo de representação de dados para os processos que ocorrem no espaço geográfico. O geoprocessamento representa a área de atuação que envolve a coleta e tratamento de informação espacial, assim como o desenvolvimento de novos sistemas e aplicações. A tecnologia ligada ao geoprocessamento envolve equipamentos (*hardware*) e programas (*software*) com diversos níveis de sofisticação destinados à

implementação de sistemas, com fins didáticos, de pesquisa acadêmica ou aplicações profissionais e científicas nos mais diversos ramos da geociências (CRISTOFOLETTI; MARETTI; TEIXEIRA, 1992).

### 2.2.1.1 Software de mapeamento cartográfico ArcGIS

O ArcGIS é um *software* proprietário da *Environmental Systems Research Institute* (ESRI) e é utilizado para mapeamento de diversas funções geográficas, tanto de dados rasterizados quanto de dados vetoriais. O ArcGIS auxilia na gestão efetiva de dados, onde é possível mapear vários tipos de dados juntamente com os seus atributos. Tarefas como mapear estradas, edificações, restaurantes e hospitais podem ser alcançados utilizando-se o ArcGIS (ESRI, 2018). No caso deste trabalho, mapear-se-á o resultado das classificações das imagens fornecidas pelo ERDAS em uma representação em mapa confeccionado pelo ArcGIS.

### 2.2.2 Modelo matricial e vetorial

O modelo de dados matricial ou *raster* representa superfícies projetadas com um padrão regular. Ele lembra um tabuleiro de xadrez ou uma grade de células. O modelo é fácil de implementar e manipular no computador através de pixels, como explicita Burrough (1986), porém a matriz produz uma aparência de dente ou serra. Na Figura 3 há uma representação do modelo matricial de um ponto, linha e área.

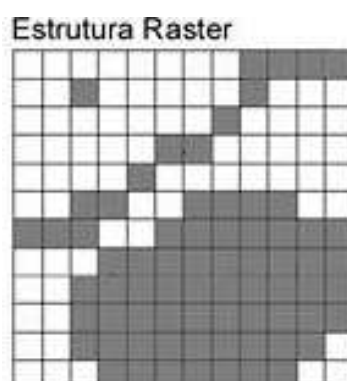


Figura 3 – Representação no modelo matricial de um ponto, linha e área.  
Fonte: Saboya (2005).

No modelo matricial, a célula recebe apenas um valor. Assim, objetos gráficos diferentes e seus valores (solos, vegetação, uso e ocupação) devem ser atribuídos a diferentes planos de informação. Desta forma, em modelos matriciais existem planos de informação para cada tema, como o uso e ocupação do solo. Como consequência, o modelo matricial gera mais planos de informação do que o modelo vetorial (MIRANDA, 2015). Na Figura 4 é ilustrado o referenciamento no modelo matricial.

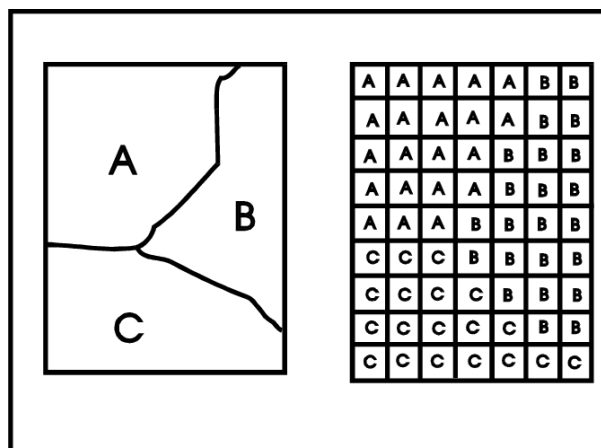


Figura 4 – Referenciamento no modelo matricial.  
 Fonte: Câmara et al. (2018).

No modelo vetorial, a projeção é representada por linhas perfeitamente retas, ligadas por pontos. As bordas em linha reta entre os vértices são denominadas de polígonos ou área. os pontos são representados por um par de coordenadas (x,y), geralmente exposto por coordenadas geográficas, e são armazenados com ele outros atributos para indicar de que tipo ele é (LONGLEY et al., 2013). Na Figura 5 é representado um modelo vetorial num dado espaço.



Figura 5 – Representação no modelo vetorial de um ponto, linha e área.  
 Fonte: Saboya (2005).

No modelo vetorial, os atributos podem ser armazenados em um plano de informação. Por exemplo, os valores das bandas espectrais geradas pelo Landsat 8 são armazenadas em campos de atributos. No modelo matricial, mais de um atributo seria necessário, cada um com células para armazenar os valores destas variáveis (MIRANDA, 2015). Na Figura 6 há uma representação desses modelos matriciais.

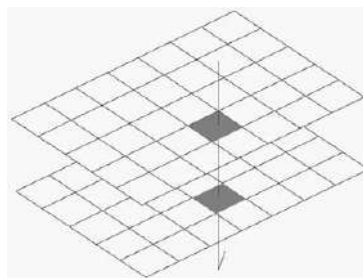


Figura 6 – Representação dos modelos matriciais, em mais de um atributo.  
Fonte: Moura et al. (2010).

Os modelos matriciais e vetoriais relacionam-se com o objetivo proposto neste trabalho, pois o *software* de processamento de imagens ERDAS utiliza em sua execução esses modelos descritos para a modelagem das imagens de satélite capturadas pelo Landsat 8. Com esta modelagem, é possível ter acesso a uma série de informações armazenadas em cada pixel da imagem do satélite, em suas diferentes bandas, para a posterior elaboração dos mapas cartográficos.

## 2.2.3 Processamento digital de imagens

### 2.2.3.1 Representação de um modelo de imagem digital

Uma imagem monocromática é uma função bidimensional  $f(x,y)$ , onde  $x$  e  $y$  são coordenadas espaciais e o valor de  $f$  no plano cartesiano  $(x,y)$  é proporcional à intensidade luminosa (brilho, tons de cinza ou cores) no ponto considerado (JÄHNE, 2002; ACHARYA; RAY, 2005; FORSYTH; PONCE, 2001; RENCZ; RYERSON, 1999; RUSS, 2000).

Como as máquinas não são capazes de processar imagens contínuas mas apenas vetores de números digitais, é preciso representar imagens como arranjos bidimensionais de pontos. Cada ponto na grade bidimensional que representa a imagem digital é denominada pixel, que varia entre 0 a 255. A notação matricial usual para a localização de um pixel no arranjo de pixels de uma imagem bidimensional é apresentada na Figura 7. O primeiro valor ( $m$ ) representa a posição da linha onde o pixel se encontra enquanto o segundo valor ( $n$ ) representa a posição da coluna. Caso a imagem tiver  $m$  linhas e  $n$  colunas, o índice  $m$  vai variar de 0 a  $m-1$ , enquanto  $n$  vai variar de 0 a  $n-1$ . O sentido da varredura e a convenção usualmente adotada na representação espacial de uma imagem deverão ser observados (RANGEL; GOMES, 2001).

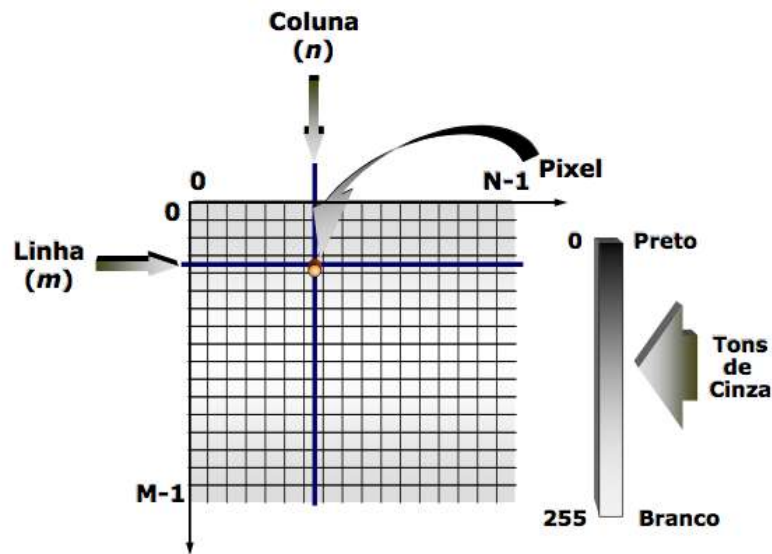


Figura 7 – Representação de uma imagem digital bidimensional.  
Fonte: Rangel e Gomes (2001).

A intensidade luminosa no ponto  $(x,y)$  pode ser demonstrada como aponta Gonzales e Woods (2014):

- (i) Componente de iluminação;
- $i(x,y)$ , associada à quantidade de luz incidente sobre o ponto  $(x,y)$ ; e
- componente de reflectância,  $r(x,y)$ , associada à quantidade de luz refletida pelo ponto  $(x,y)$ .

O produto de  $i(x,y)$  e  $r(x,y)$  resulta em:

$$f(x, y) = i(x, y) * r(x, y) \quad (2.1)$$

na qual  $0 < i(x,y) < \infty$  e  $0 < r(x,y) < 1$ , sendo  $i(x,y)$  dependente das características da fonte de iluminação, enquanto  $r(x,y)$  dependente das características dos alvos ou objetos das superfícies.

Já numa imagem digital colorida no sistema do espectro visível RGB, um pixel pode ser visto como um vetor cujos componentes representam as intensidades de vermelho, verde e azul. A imagem colorida pode ser vista como a composição de três imagens monocromáticas (GONZALES; WOODS, 2014):

$$f(x, y) = f_R(x, y) + f_G(x, y) + f_B(x, y) \quad (2.2)$$



na qual  $f_R(x,y)$ ,  $f_G(x,y)$ ,  $f_B(x,y)$  representam as intensidades luminosas das componentes vermelha, verde e azul da imagem no ponto  $(x,y)$  (RANGEL; GOMES, 2001). Os mesmos conceitos formulados para uma imagem digital monocromática aplicam-se a cada plano de uma imagem colorida.

### 2.2.3.2 Software de Processamento de Imagens ERDAS

O *software* de processamento de imagens escolhido para a realização deste trabalho foi o ERDAS Imagine. O ERDAS Imagine é um *software* proprietário de processamento de imagens que permite ao usuário processar tanto imagens geoespaciais como dados vetoriais. O *software* também suporta imagens hiperespectrais de vários sensores. Ele oferece um módulo de visualização em 3D e um módulo vetorial para modelagem. Basicamente, o ERDAS é um *software* de processamento de imagens que é utilizado para estudo e análises de imagens de satélite. As imagens podem ser utilizadas para extração dos valores dos números digitais de cada pixel, importar e exportar imagens de satélite rasterizadas, combinar várias bandas para executar análises detalhadas de vários objetos e informações (HEXAGON GEOSPATIAL, 2018). Tudo que é realizado no ERDAS Imagine tem um conceito para interpretação visual de imagens de satélite.

Há outros *softwares* de processamento de imagens no mercado como o *Environment for Visualizing Images* (ENVI) e Geomatica. Porém o ERDAS demonstrou ser mais interessante na utilização deste trabalho por ser integrado a outras ferramentas de *Geographic Information Systems* (GIS) e outros aplicativos de sensoriamento remoto; o formato de armazenagem do ERDAS pode ser lido em várias outras aplicações, como o ArcGIS (*software* de produção de mapas cartográficos).

Inserido no tema de SIG, a análise espacial é conceituada como um conjunto de métodos cujos resultados mudam quando se muda a localização dos objetos em estudo (LONGLEY et al., 2013).

O uso e ocupação do solo, atrelado à análise espacial, espectral e temporal será exposto relacionando-se os conceitos de SIG.

## 2.3 Análise Espacial

A ênfase da análise espacial é mensurar propriedades e relacionamentos, levando em conta a localização espacial do fenômeno de estudo de forma explícita, tendo como ideia central incorporar o espaço à análise que se deseja fazer (CÂMARA et al., 2004). A análise espacial inclui transformações, manipulações e métodos que podem ser aplicados aos dados geográficos para adicionar valor a eles, para apoiar decisões e para revelar padrões e anomalias que não são vistos à primeira vista. É

ainda um ponto crucial dos SIG e um meio de agregar valor aos dados geográficos e transformar dados em informação útil. Pode revelar coisas que seriam invisíveis, tornando explícito o que está implícito (LONGLEY et al., 2013). A geografia, os SIG e a análise espacial estão inter-relacionados, como mostra a Figura 8. O estudo da análise espacial servirá para distribuir os dados das regiões de Jaíba e Gortuba de forma estratificada e de acordo com as necessidades de irrigação nos períodos seco e úmido.

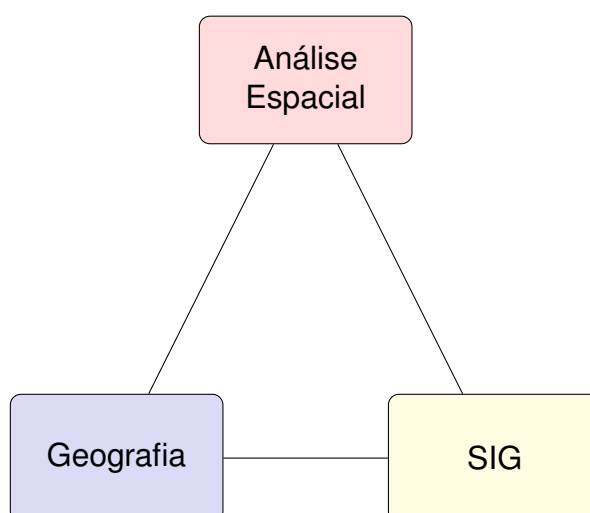


Figura 8 – Relação entre SIG, Análise Espacial e Geografia.

Fonte: Ferreira, Barroso e Abreu (2015).

Segundo Ferreira (2007), há a compreensão para as origens e a inserção dos SIG na Geografia e que não basta compreender os SIG por uma ótica comercial, dada a grande notoriedade da gestão e domínio da informação, mas também discutir conceitos e paradigmas da análise espacial como razão para a existência de um SIG.

### 2.3.1 Uso e ocupação do solo

A ocupação espacial cresce em grande escala, buscando atender às demandas do modelo econômico hegemônico contemporâneo (SANTOS, 1993). O espaço pode ser ocupado de diversas formas, como construção de cidades, de pastagens, de represas e da agricultura.

A análise espacial e temporal analisa o ambiente e como ele se transforma rapidamente nos diversos cenários. Na expansão das cidades, o solo é ocupado por edificações. No meio rural, a agricultura e a pecuária ocupam espaços para a produção de alimento para a população. Com chuvas e secas, o solo se comporta conforme o clima (BRIASSOULIS, 2000).

Os SIG ganham enorme importância quando se estabelece um paralelo entre a análise espacial e temporal (DRUCK et al., 2004, p. 8-1):

"...o que distingue um SIG de outros tipos de sistemas de informações são aquelas funções que possibilitam a realização de análises espaciais (geográfica). Tais funções utilizam os atributos espaciais; buscando fazer simulações (modelos) sobre os fenômenos do mundo real, seus aspectos ou parâmetros."

O sensoriamento remoto será aplicado aos conceitos apresentados no trabalho, principalmente no que diz respeito à análise espectral.

### 2.3.2 Sensoriamento Remoto

A utilização do sensoriamento remoto, mais especificamente com o uso de satélites, teve início na década de 60, com a captura de imagens. As imagens capturadas são escolhidas pelas suas características espectrais e pela sua repetitividade na discriminação de alvos que ocorrem na superfície (PINTO, 1991). Os satélites permitem capturar informações sobre objetos ou fenômenos na superfície da terra, sem ter nenhum contato com eles (ROCHA, 2000).

Os componentes para a aquisição de dados por um satélite são (INPE, 2018):

- a fonte de radiação eletromagnética;
- o alvo que recebe, absorve e reflete a radiação;
- sensor;
- a plataforma que transporta o sensor;
- a atmosfera por onde se propaga a energia; e
- o produto resultante das interações entre a radiação e o alvo.

Na Figura 9 é ilustrado como são capturados pelo sensor de um satélite os dados no meio ambiente. O Sol emite uma radiação eletromagnética, e esta atinge a superfície após se propagar pela atmosfera. A superfície reflete porções de energia e retornam para o sensor do satélite ou a superfície absorve parte da energia. O sensor registra a energia refletida da superfície para análise e interpretação (INPE, 2018).

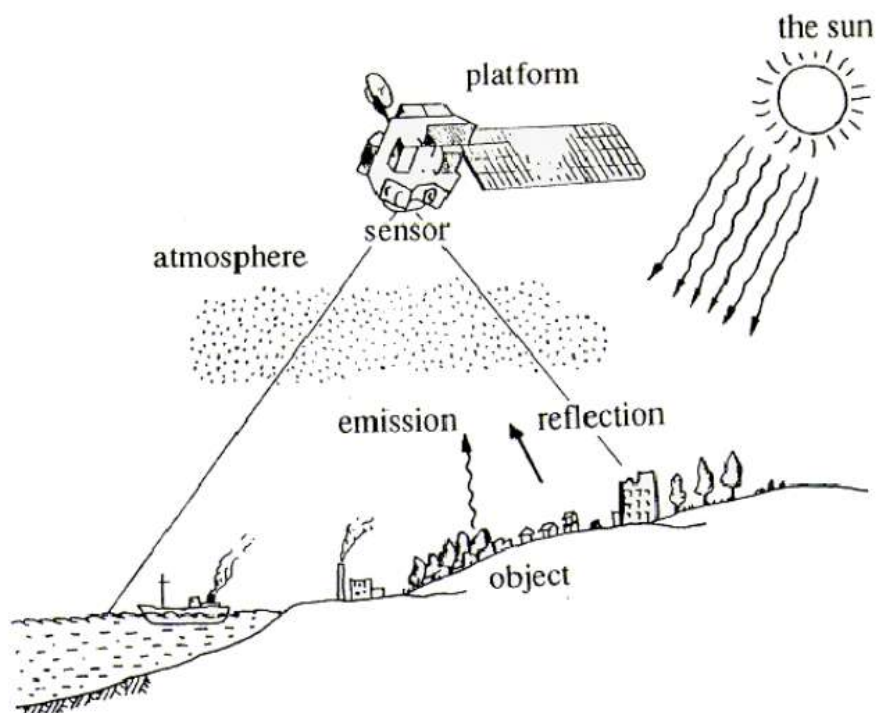


Figura 9 – Aquisição de dados por um satélite.  
 Fonte: Murali (2015).

O espectro eletromagnético é composto por classes e o que as difere é o seu comprimento de onda. Uma classe é o espectro visível, ou seja, são as cores que o ser humano consegue enxergar. Outras classes também compõem o espectro eletromagnético, como as ondas de rádio e o raio-x. Na Figura 10 há o espectro eletromagnético exemplificado.

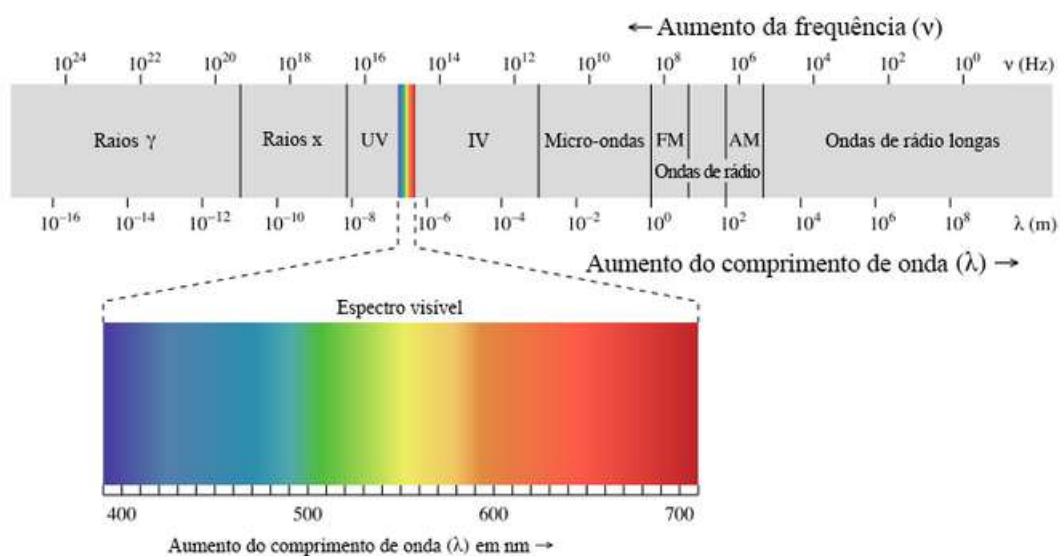


Figura 10 – Espectro Eletromagnético.  
 Fonte: UC Davis (2018).

Conceituar a interação da radiação com a superfície é interessante para entender melhor o processo de radiância e espectrância.

### 2.3.3 Interação da radiação na superfície dos alvos ou objetos de interesse

O processo de interação entre a radiação eletromagnética e a vegetação nos remete ao fato de que os vegetais realizam fotossíntese, processo este fundamentado na absorção da radiação solar por parte dos pigmentos fotossintetizantes (clorofilas localizadas nas folhas das plantas), sendo que "o comportamento espectral da vegetação se modifica ao longo do seu ciclo vegetativo", devido principalmente às mudanças de sua área foliar e ao conteúdo de umidade de suas folhas (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010; NOVO, 2010). Essa absorção não ocorre indistintamente ao longo de todo o espectro eletromagnético, mas especificamente na região do visível (0,40 a 0,72  $\mu\text{m}$ ), em que os pigmentos existentes nas folhas dominam a reflectância (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010). No entanto, as diferenças de resposta espectral entre os alvos "água", "solo" e "vegetação" tendem a ser realçadas nesse intervalo do espectro eletromagnético, diferenciando, além das classes de água entre si, as demais classes (solo, vegetação), e discriminando melhor as classes de vegetação mais densas, como a floresta, em que a resposta do solo é insignificante, daquelas menos densas, a exemplo de vegetação herbácea, em que a contribuição do solo é mais evidente. Uma indicação da diferenciação espectral entre esses alvos é apresentada na Figura 11 em termos de percentagem da reflectância em relação ao comprimento de onda do espectro eletromagnético nas faixas do visível, do infravermelho próximo e de ondas curtas (SANTOS; FRANCISCO; ALMEIDA, 2015).

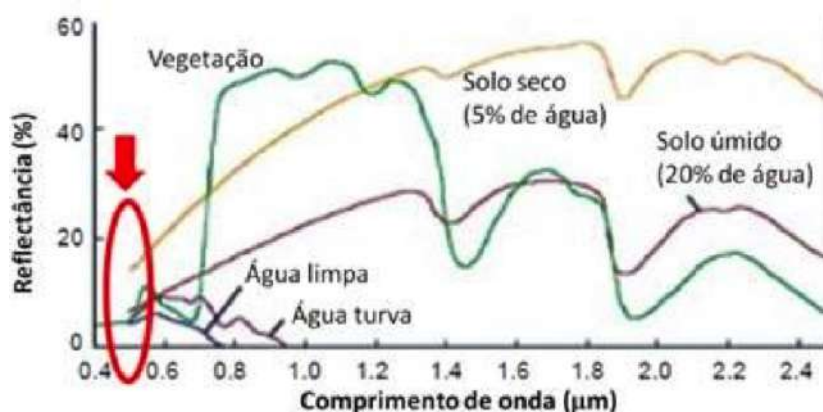


Figura 11 – Comportamento espectral de alvos em relação ao espectro eletromagnético nas faixas do visível, infravermelho próximo e de ondas curtas.

Fonte: Jiang (2013).

Na faixa espectral do vermelho, há alta absorção de energia solar devido à

presença da clorofila e isso ocasiona baixa reflectância. Por sua vez, na faixa do infravermelho próximo, essa absorção é baixa e resulta em alta reflectância. Portanto, a combinação dessas duas faixas espectrais realça as áreas de vegetação nas imagens e quanto maior o contraste maior é o vigor e exuberância da vegetação na área que terá a sua imagem elaborada.

Uma assinatura espectral, também conhecida como curva de reflectância, pode ser denominada como a resposta-padrão que uma classe de mapeamento, no caso os pixels, apresenta ao longo do espectro eletromagnético, em suas diferentes bandas, em termos de quantidade de energia refletida, ou classes de reflectância, captada pelo sensor de um satélite (AVERY; BERLIN, 1992; LILLESAND; KIEFER, 1994; JENSEN, 1996).

Para o presente estudo, utilizam-se os satélites Landsat 5 e Landsat 8 para a aquisição e processamento digital de imagens.

### 2.3.4 Satélites Landsat

O programa Landsat é um programa que utiliza satélites que orbitam o planeta Terra e obtém imagens destes. A *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) em colaboração com a USGS são as responsáveis pelo programa de lançamento, operação e manutenção dos satélites e aquisição das imagens. Ela teve sua origem em 1972 quando o primeiro satélite do programa, o *Earth Resources Technology Satellite*, foi lançado. Desde então o programa Landsat permaneceu ininterrupto, auxiliando especialistas ao redor do mundo a monitorar a água, agricultura, florestas e recursos naturais do planeta (USGS, 2019a).

Na coleta e em todo o processo de seleção das melhores imagens utilizadas neste trabalho, realizado através do site do EarthExplorer que é gerenciado pela USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>), foram recuperados um total de 44 imagens no período de 2002 a 2012 do satélite Landsat 5 e de 25 imagens no período de 2013 a 2019 do satélite Landsat 8, somando um total de 69 imagens.

Para obter imagens homogêneas do Landsat 5 e do Landsat 8, onde as imagens capturadas pelo sensor *Thematic Mapper* (TM) do Landsat 5 são de 8 bits e as imagens capturadas pelo sensor *Operational Land Imager* (OLI) / *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) do Landsat 8 são de 16 bits, utilizou-se o ERDAS. Na configuração das imagens processadas, definiu-se o número de bits necessários para coincidir com os das imagens de entrada e corroborar com os cálculos inseridos nos modelos elaborados (APÊNDICES A e B).

### 2.3.4.1 Satélite Landsat 5

O satélite Landsat 5 era um satélite de observação terrestre e foi lançado em 1984 na Califórnia, Estados Unidos. Ele equipou o sensor TM, que consistia de seis bandas espectrais com uma resolução espacial de 30 metros para as bandas de 1 a 5 e a banda 7, e uma banda termal na banda 6, com uma resolução espectral de 120 metros. A cena capturada pelo satélite é de aproximadamente 170 km de norte a sul e de 183 km de leste a oeste. O Landsat 5 está no "Guinness - O Livro dos Recordes" como o satélite que observou o planeta Terra pelo maior tempo. Ele foi desativado no ano de 2013 após apresentar falhas mecânicas múltiplas (USGS, 2019b).

O satélite Landsat 5 passava pelo Brasil por volta de 10 horas e 15 minutos, numa largura de faixa imageada de 185km. Sua órbita era circular, heliossíncrona, descendente, 98,2 graus de inclinação, período de 99 minutos e altitude de 705 Km (USGS, 2018a).

A Tabela 0 exibe as bandas utilizadas pelo sensor TM.

	Bandas	Largura de Banda (um)	Resolução (m)
Landsat 5	Banda 1 - Azul	0,45 - 0,52	30
	Banda 2 - Verde	0,52 - 0,60	30
	Banda 3 - Vermelho	0,63 - 0,69	30
	Banda 4 - Infravermelho Próximo (NIR)	0,76 - 0,90	30
	Banda 5 - Infravermelho de ondas curtas (SWIR) 1	1,55 - 1,75	30
TM	Banda 6 - Infravermelho termal (TM)	10,40 - 12,50	120
	Banda 7 - Infravermelho de ondas curtas (SWIR) 2	2,08 - 2,35	30

Tabela 0 – Bandas do Landsat 5.

Fonte: USGS (2019b).

### 2.3.4.2 Satélite Landsat 8

O satélite Landsat 8 é um satélite de observação terrestre, sucessor do Landsat 5 e foi lançado em 2013 na Califórnia, Estados Unidos. O sensor OLI, presente no satélite Landsat 8, incorporou algumas inovações, entre as quais destaca-se a resolução radiométrica de 16 bits, que acarretou em ganho qualitativo em função da maior precisão radiométrica registrada em comparação a imagens de outros sensores, que costumavam variar entre 8 e 11 bits. Em comparação aos sensores dos Landsat anteriores, o sensor OLI também apresenta uma redução nas larguras espectrais de todas as bandas, com destaque para a banda do infravermelho próximo (USGS, 2018a). As bandas do visível sofreram as menores alterações, com amplitude entre 0 e 0,01  $\mu\text{m}$ , enquanto as bandas do infravermelho a amplitude foi de 0,06 a 0,10  $\mu\text{m}$ .

O satélite Landsat 8 passa pelo Brasil por volta de 10 horas da manhã, numa largura de faixa imageada de 185km. Sua órbita é circular, heliossíncrona, descendente, 98,2 graus de inclinação, período de 99 minutos e altitude de 705 Km (USGS, 2018a).

A Tabela 1 expõe as bandas utilizadas pelos sensores OLI e TIRS. As bandas de 1 a 7 são do sensor OLI e são responsáveis por capturar as bandas do espectro visível e do infravermelho próximo. As bandas 10 e 11 capturadas pelo sensor TIRS refletem as bandas termais e extraem a temperatura de superfície. A resolução na captura das imagens do sensor OLI é da ordem de 30 metros, enquanto a do sensor TIRS é de 100m.

	Bandas	Largura de Banda (um)	Resolução (m)
Landsat 8	Banda 1 - Ultra-azul (coastal/aerosol)	0,435 - 0,451	30
	Banda 2 - Azul	0,452 - 0,512	30
	Banda 3 - Verde	0,533 - 0,590	30
OLI	Banda 4 - Vermelho	0,636 - 0,673	30
	Banda 5 - Infravermelho Próximo (NIR)	0,851 - 0,879	30
e	Banda 6 - Infravermelho de ondas curtas (SWIR) 1	1,566 - 1,651	30
	Banda 7 - Infravermelho de ondas curtas (SWIR) 2	2,107 - 2,294	30
TIRS	Banda 8 - Pancromática	0.50-0.68	15
	Banda 9 - Cirrus	1.36-1.38	30
	Banda 10 - Infravermelho termal (TIRS) 1	10,60 - 11,19	100
	Banda 11 - Infravermelho termal (TIRS) 2	11,50 - 12,51	100

Tabela 1 – Bandas do Landsat 8.

Fonte: USGS (2018a).



## 2.4 Localização e descrição geral da área de estudo

O desenvolvimento agrícola da região norte de Minas Gerais ocorreu principalmente devido a investimentos públicos em perímetros irrigados, motivado pela similaridade climática com o Nordeste do Brasil, onde as condições climáticas adversas caracterizam a presença de uma região semiárida, que fez com que essa região fosse incluída nas áreas de atuação da *Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste* (SUDENE), do Banco do Nordeste do Brasil e da CODEVASF. Esses perímetros irrigados foram idealizados com o propósito de aumentar a produção, a produtividade e, conseqüentemente, o nível de renda do produtor. A expectativa era de que eles, com a adoção de técnicas de uso e manejo de água de irrigação gerada pela pesquisa, associadas à assistência técnica para difundi-las, promovessem condições para induzir o desenvolvimento regional e melhoria do IDH, pois se imaginava que os pequenos produtores, alocados nos menores lotes, seriam capazes de gerar alimentos para sua própria subsistência e excedentes para comercialização nos grandes centros consumidores do País. Ao mesmo tempo, era esperado dos empresários o papel de alavancar o caráter econômico dos projetos, introduzindo tecnologias modernas, liderando um processo de industrialização e, naturalmente, sendo responsáveis pela geração de grande volume de produtos agrícolas para o mercado, contribuindo, inclusive, para melhorar o desempenho de exportação de produtos primários do país (RODRIGUES, 2001; ARAUJO; GUIMARÃES; LANDI, 2004).

Com a implantação dos perímetros irrigados, a ideia era proporcionar aos produtores condições administrativas, técnicas e econômicas para contribuir com o desenvolvimento da agricultura irrigada e do agronegócio no Norte de Minas, visando à fixação do homem ao campo e a sua inclusão no processo produtivo, à geração de emprego e renda e à redução de custos operacionais; promover o desenvolvimento socioeconômico regional com o conseqüente resgate da cidadania, consolidando o empreendimento para a transferência da gestão aos produtores.

A partir da década de 1970, o Governo Federal, através da CODEVASF, incorporou-se ao projeto captando recursos e empréstimos para a execução das obras de infraestrutura de irrigação (DIJ, 2019).

### 2.4.1 O distrito agroindustrial do Jaíba

O distrito agroindustrial do Jaíba está localizado em uma área (mesorregião) no extremo norte do estado de Minas Gerais, que se estende ao norte da cidade de Jaíba, entre as margens à direita do rio São Francisco e à esquerda de seu afluente, o rio Verde Grande, até a confluência deste, no limite com o estado da Bahia. Em sua porção sul encontra-se instalado o Projeto de Irrigação do Jaíba, correspondente à

zona do Alto-Médio São Francisco, abrangendo parte dos municípios de Jaíba, Matias Cardoso e Verdelândia, entre 14° 33' e 15° 28' de latitude sul e 43° 29' e 44° 08' de longitude oeste (Figura 12). A área total aproximada da região é de 107.610 ha, que inclui cerca de 29.270 ha como reserva da vegetação nativa e 65.880 ha potencialmente irrigáveis (61,2% do total), dos quais as áreas referentes às duas primeiras etapas do projeto (Etapas I e II, correspondentes a 70,9% da área total do projeto), já dispõem da infraestrutura específica de irrigação e estão em produção e que em breve deverá estender-se às etapas III e IV, começando com a área aproximada de 12.015 ha da etapa III, localizada na parte nordeste do projeto (CODEVASF, 2019c). A CODEVASF foi a gestora da Etapa I e o Governo do Estado de Minas Gerais gerenciou a Etapa II.

#### 2.4.2 O perímetro irrigado de Gorutuba

O perímetro irrigado de Gorutuba está localizado nos municípios de Nova Porteira, Janaúba e Porteira e parte dos municípios de Verdelândia e Pai Pedro, na região Norte de Minas Gerais, coordenadas geográficas de 15° 47' de latitude sul e 43° 18' de longitude oeste (Figura 12) e a altitude média de 516 m, à margem direita do rio Gorutuba, com uma área irrigável de 4.734 ha, distribuída em 2.473 ha de lotes familiares e 2.261 ha de lotes empresariais. A implantação do projeto Gorutuba somente foi possível devido à construção da barragem Bico da Pedra, que tem como objetivos principais a regularização da vazão ecológica do rio Gorutuba, o fornecimento de água para os projetos de irrigação do Gorutuba e Lagoa Grande, o abastecimento público de água para os municípios de Janaúba e Nova Porteira e também o abastecimento de água industrial. Essa barragem tem a capacidade de acumular 705 milhões de m<sup>3</sup> de água. A estrutura de irrigação construída no projeto Gorutuba compreende 127 km de canais, com vazão inicial de 6 m<sup>3</sup>/s, 136 km de drenos e 320 km de estradas, além de um dique com 5,4 km contra as enchentes do Rio Mosquito (CODEVASF, 2019b).

No perímetro de Gorutuba são utilizados os métodos de irrigação por microaspersão, aspersão convencional, gotejamento e sulcos. Nesse perímetro existe uma área de pesquisa e experimentação da *Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais* (EPAMIG) e um Campo Experimental de Pesquisa da Embrapa Milho e Sorgo.

O projeto Gorutuba exerce forte influência na economia agrícola regional, com reflexos inclusive em outros setores como o comércio e a indústria. Os pequenos irrigantes residem em três núcleos habitacionais e alguns nos próprios lotes, havendo, ainda, um centro técnico-administrativo, três escolas e quatro postos de saúde.

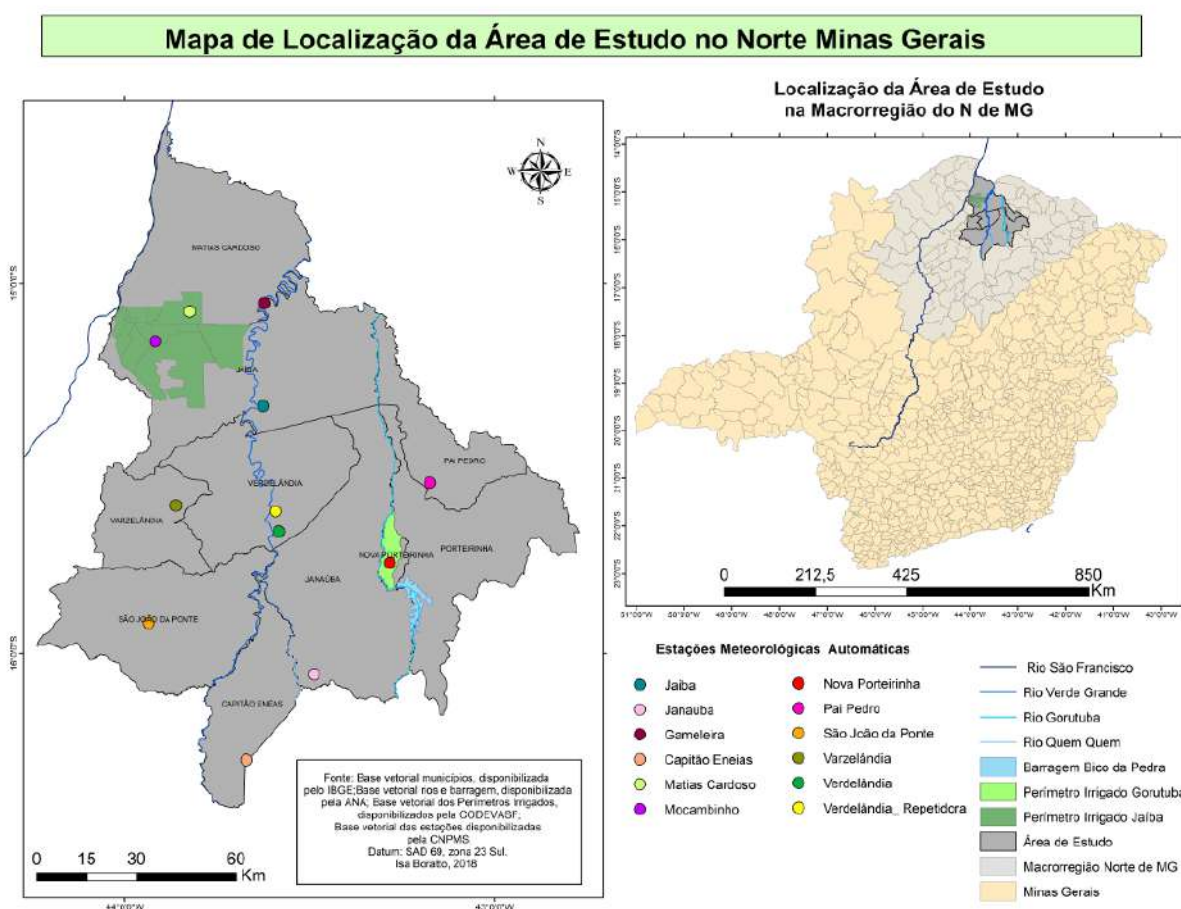


Figura 12 – Localização de Jaíba e Gortuba, no norte de Minas Gerais  
Fonte: Isa Maria de Paula Boratto

### 2.4.3 Geologia e Solos

Geologicamente, Jaíba e Gortuba estão localizados em áreas de solos de depósitos aluvionares, que são encontrados na forma de faixas estreitas e alongadas, com altitudes baixas (planícies aluviais e terraços aluviais), ao longo dos cursos dos principais rios da região (São Francisco, Verde Grande, Gortuba e Mosquito).

Na região de Jaíba e Gortuba, há o domínio das rochas neoproterozoicas do Grupo Bambuí, em grandes extensões recobertas por sedimentos cenozoicos (terciário-quaternários), cujas litologias e relações estratigráficas foram também estudadas em diversos trabalhos de mapeamento e caracterização geológica do Distrito Agroindustrial do Jaíba e Gortuba, sintetizados por Iglesias e Uhlein (2009), ECOPLAN (2011) e Naime et al. (2011), que realizaram a integração de amplo acervo de dados e atualização de informações de projetos anteriores, referentes a uma extensa área no vale do Rio São Francisco, norte de Minas Gerais (Figuras 13 e 14). Gortuba apresenta áreas de depósitos detrítico-lateríticos (areias argilosas e argilas arenosas intercaladas com argilas, folhelhos e linhito) que têm parte inserida também no Grupo Bambuí (Figura 14), onde o relevo é marcado pela evolução cárstica modelada, principalmente

pelo escoamento superficial e infiltração da água e por processos fluviais normais atuantes no substrato carbonático e condicionados ao sistema de fraturamento do mesmo (SILVA et al., 2008).

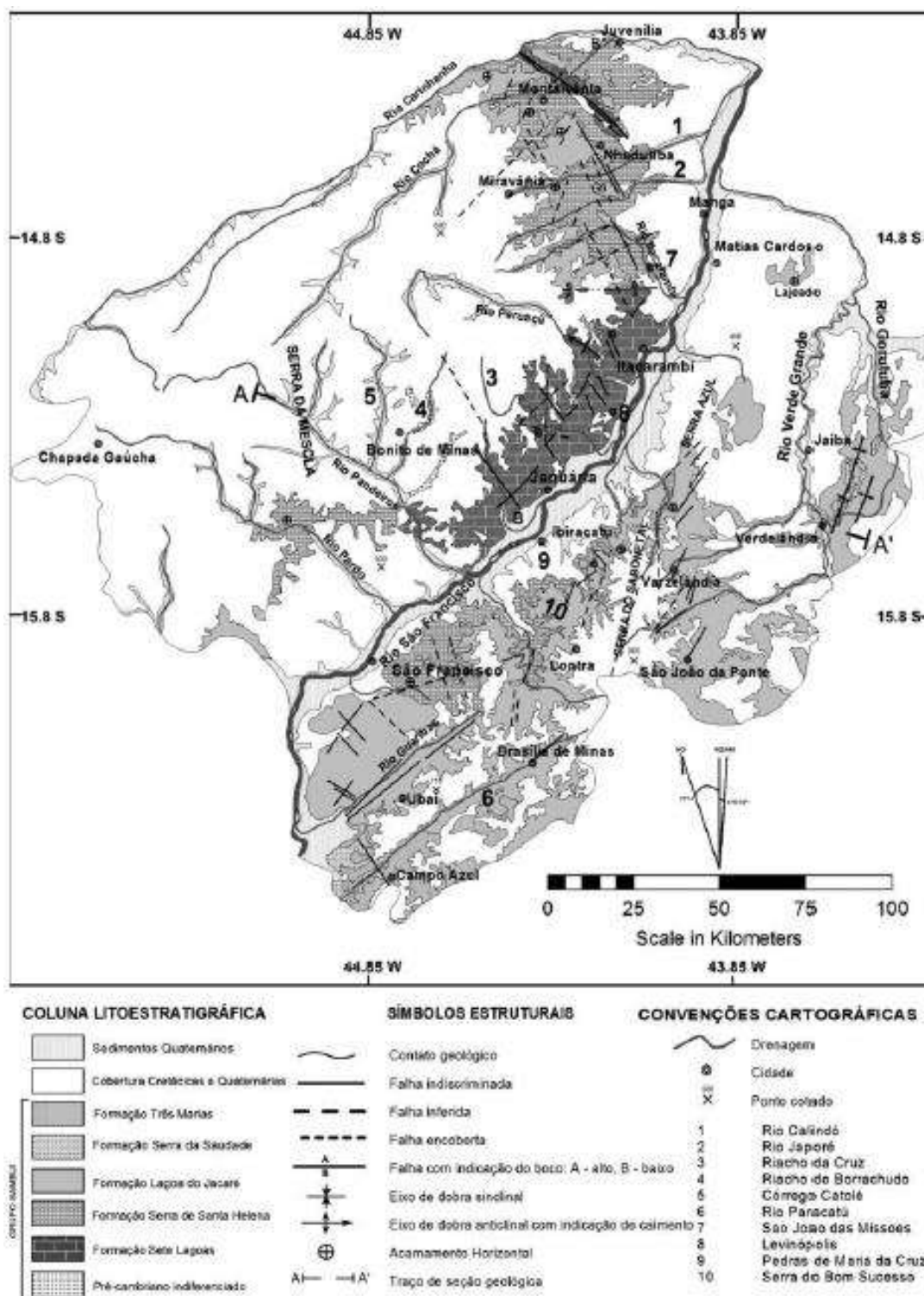


Figura 13 – Esboço geológico do vale do Rio São Francisco no norte de Minas Gerais, incluindo o Distrito Agroindustrial do Jaíba.  
 Fonte: Iglesias e Uhlein (2009).

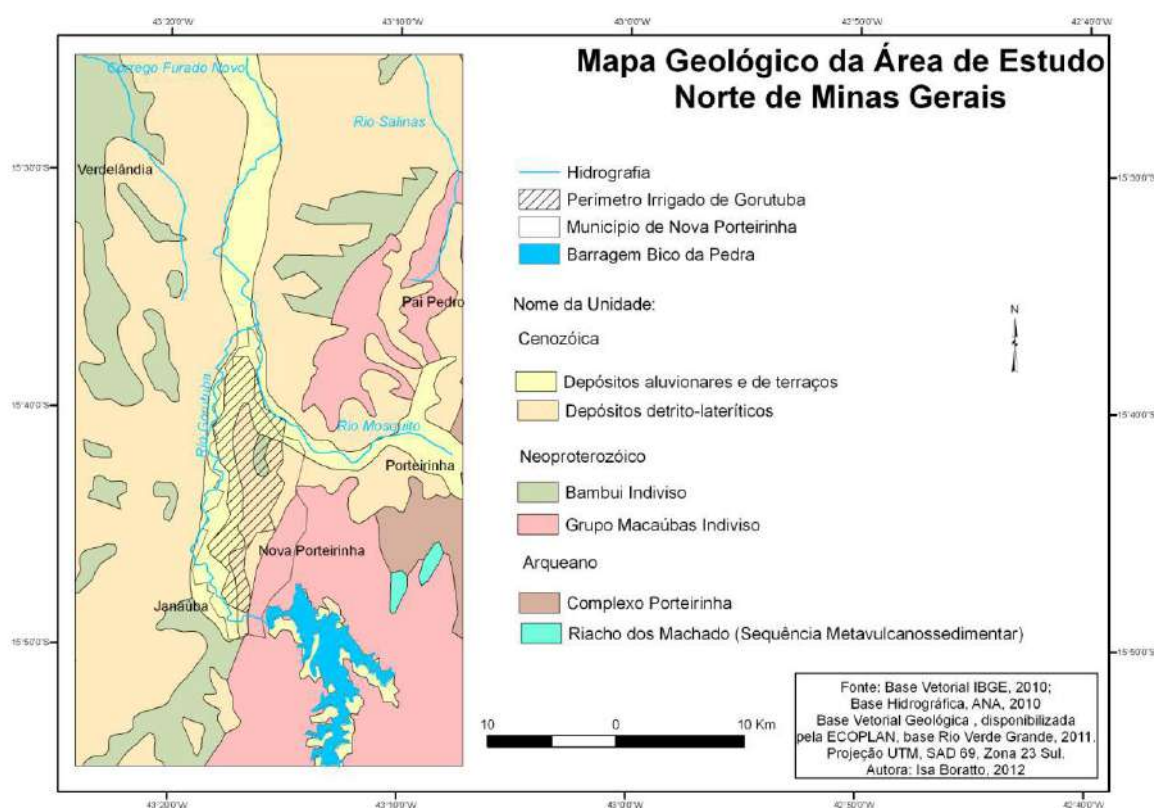


Figura 14 – Mapa geológico da área do perímetro irrigado de Gorutuba no Norte de Minas Gerais.

Fonte: Base vetorial IBGE (2010), ECOPLAN (2011). Mapa por Boratto (2012).

Um levantamento semidetalhado dos solos da área de expansão do projeto de irrigação do Jaíba (Etapa III, região Norte de Minas Gerais, que abrange 12.015 ha) foi realizado na escala 1:50.000 por Lumbreras et al. (2014), conforme as normas preconizadas pela Embrapa Solos, a fim de possibilitar o adequado planejamento e monitoramento das atividades agrossilvipastoris e de preservação ambiental (Figura 15). Nessa região do projeto Jaíba predomina cobertura sedimentar cenozoica sobre rochas do Grupo Bambuí, dispostas em superfície aplainada, amplamente dominante, além de trechos de planícies fluviais, ao longo de rios. A diferenciação de solos na área está bem condicionada ao nível topográfico relativo dos terrenos. Da superfície plana do topo da paisagem em direção às depressões semicirculares dispersas na área tem-se uma topossequência característica, com Latossolos Amarelos de caráter distrófico e textura média leve dominante na ampla área em nível topográfico superior; e solos dessa mesma classe, mas em geral com saturação por bases altas (eutróficos) e teores de argila ligeiramente mais elevados, localizados em depressões suavizadas, ou nas bordas ligeiramente inclinadas das dolinas; seguidos de Cambissolos Háplicos Tb Eutrófico (petroplínticos, endorredóxicos ou gleissólicos) de textura argilosa, em nível topográfico intermediário; aos quais se sucedem Planossolos e Gleissolos, que

ocorrem associados nos fundos das dolinas e uvalas, mais rebaixadas (LUMBRERAS et al., 2014).

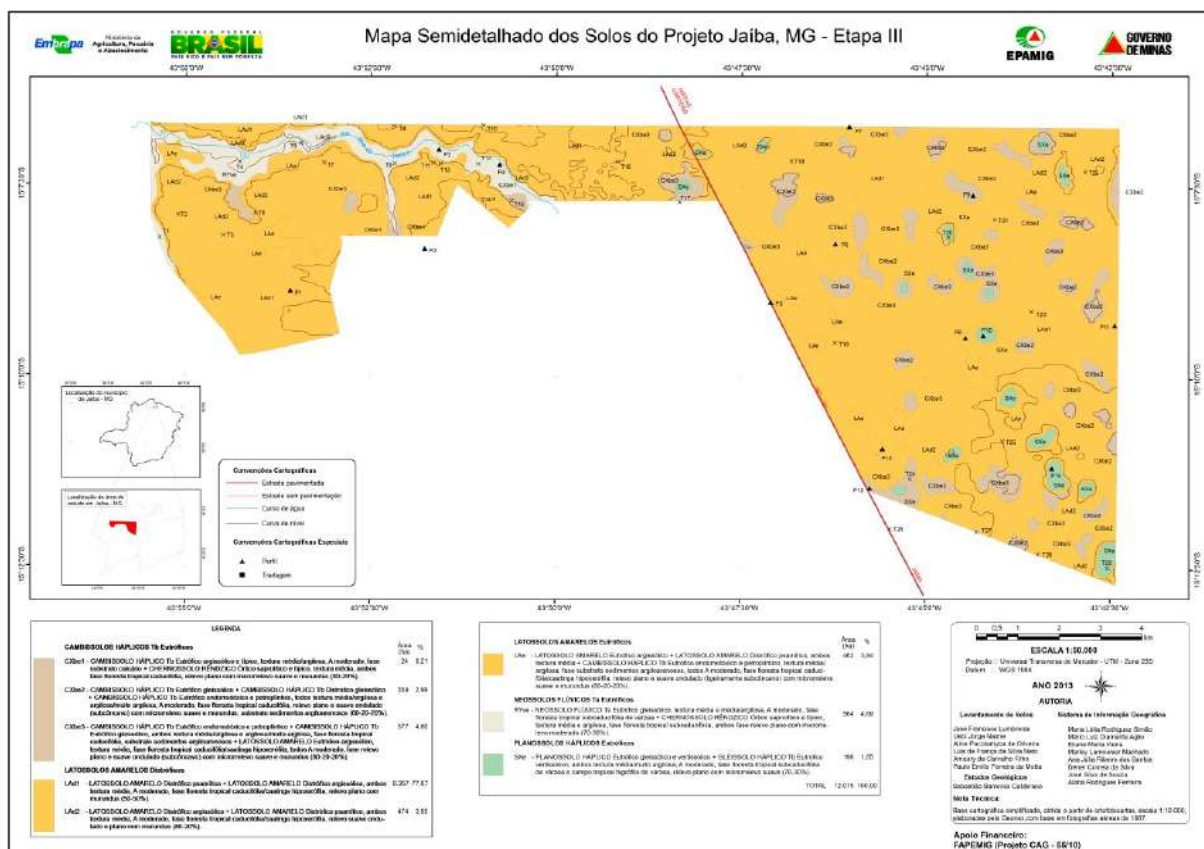


Figura 15 – Levantamento semidetalhado dos solos da área de expansão do projeto de irrigação do Jaíba (Etapa III, 12.015 ha), região Norte de Minas Gerais, na escala 1:50.000.

Fonte: Lumbreras et al. (2014).

A extensa área aplainada apresenta boas condições para agricultura intensiva com irrigação, porém com restrições decorrentes da baixa capacidade de água disponível, elevada taxa de infiltração e baixa fertilidade natural. Em direção aos níveis topográficos mais baixos, há uma tendência geral de aumentar as limitações à utilização agrícola, sobretudo em decorrência da deficiência de aeração, imposta pela dificuldade de drenagem e escoamento, assim como pela possibilidade de encharcamento por fluxo de água proveniente dos terrenos circundantes (LUMBRERAS et al., 2014).

Na Barragem Bico da Pedra, a geologia predominante é o Grupo Macaúbas, considerada exclusivamente como sedimentar, conforme demonstram Pedrosa-Soares e Wiedemann (2000) e Pedrosa-Soares et al. (2001); é composta predominantemente por quartzo-mica xisto bandado, metagrauvaca, micaxisto e grafita xisto, com intercalações frequentes de rocha cálcio-silicática paraderivada e raras intercalações de metaconglomerado clasto-suportado e mármore calcítico (ECOPLAN, 2011). O levan-

tamento de Aptidão para Irrigação e Mapeamento Pedológico, realizado pela CODEVASF (1978), caracterizou o solo como: solos aluviais fracos, latossolos eutróficos e distróficos, possuindo classificação textural de franco argiloso a argiloso, possuindo maior quantidade de solos franco-argilo-arenosos (Figura 16).

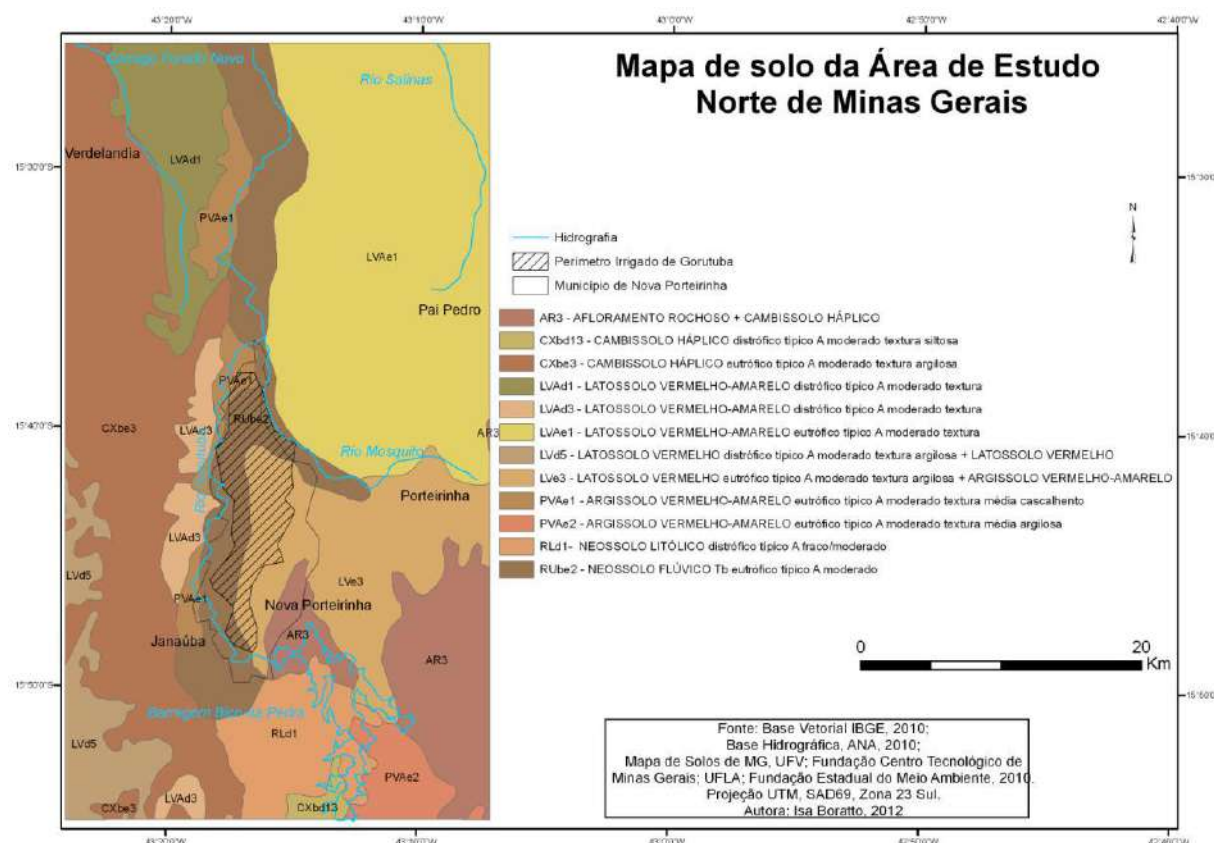


Figura 16 – Mapa de solo da área do perímetro irrigado de Gorutuba no Norte de Minas Gerais.

Fonte: CODEVASF (1978), base vetorial IBGE (2010) e mapa por Boratto (2012).

#### 2.4.4 Clima

A caracterização climática da região onde se inserem os Projetos Jaíba e Gorutuba foi realizada com base em dados climáticos históricos diários do *Instituto Nacional de Meteorologia* (INMET) (INMET, 2019), referentes aos períodos entre 01/01/1999 e 31/07/2012 (Jaíba) e 01/01/1999 e 31/08/2016 (Gorutuba), relativos à temperatura do ar (máxima, mínima e média), umidade relativa do ar média, precipitação, velocidade do vento média e insolação, obtidos do *Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa* (BDMEP), respectivamente nas estações climatológicas, cadastradas na *Organização Mundial de Meteorologia* (OMM), situadas nos municípios de Jaíba (Identificação: Mocaminho-MG OMM-83389) e Janaúba (Identificação: Janaúba-MG OMM-83395). Os períodos entre Jaíba e Gorutuba não coincidem pois não havia dados históricos disponíveis no INMET que coincidisse exatamente com as duas loca-

lidades.

#### 2.4.5 Temperatura

A região de Jaíba e Gortuba é caracterizada por um padrão de temperaturas médias elevadas, típicas do clima tropical, influenciadas também pelas baixas altitudes e relativa distância do oceano (continentalidade) (CAVALCANTI et al., 2009). O regime térmico dessa região apresenta temperaturas médias anuais em torno de 25,4°C e 25,1°C, respectivamente para Jaíba/Mocambinho e Janaúba/Gortuba, próximas das maiores médias registradas entre as estações climatológicas do estado de Minas Gerais, situadas em Araçuaí (24,4°C), Governador Valadares (24,5°C) e Aimorés (24,6°C) (CAVALCANTI et al., 2009). As temperaturas máximas ao longo de todo o ano estão acima de 30°C, sendo que as temperaturas máximas mais elevadas entre 33 e 35°C ocorrem nos meses de agosto, setembro e outubro; junho e julho são os meses mais frios, com médias ao redor de 15,0 e 16,8°C e temperaturas mínimas de 14,3 e 16,2°C respectivamente para Mocambinho e Janaúba (Figura 17).



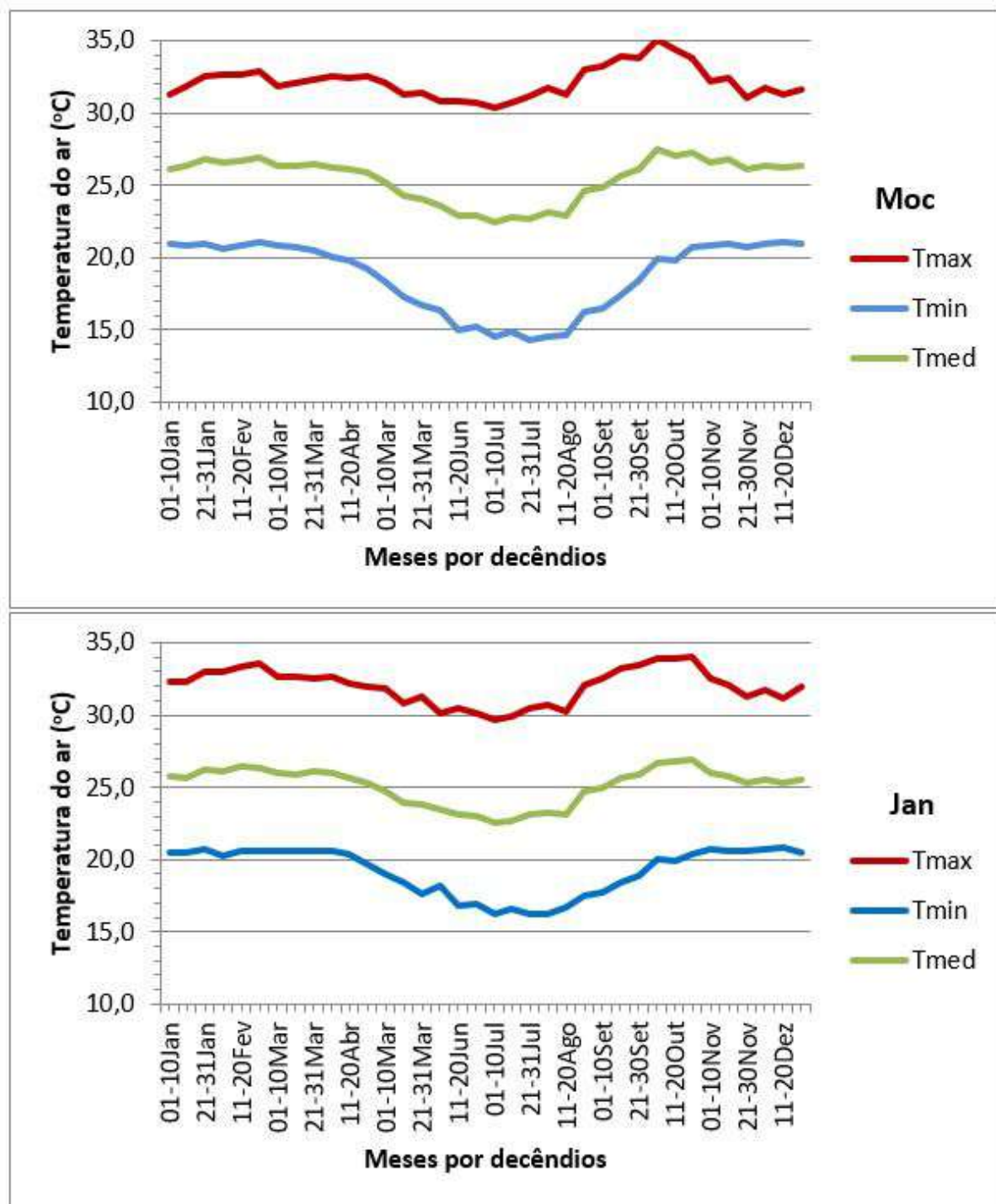


Figura 17 – Variação mensal com média por decêndios da temperatura do ar máxima (Tmax), mínima (Tmin) e média (Tmed), em °C, obtidas da base de dados climáticos históricos diários do INMET (2019), referentes aos períodos entre 01/01/1999 e 31/07/2012 (Jaíba/Mocambinho-Moc) e 01/01/1999 e 31/08/2016 (Gorutuba/Janaúba-Jan).

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

#### 2.4.6 Precipitação e Umidade relativa do ar

As precipitações médias na região de Jaíba e Gortuba situam-se abaixo dos 1.050 mm anuais (Figura 18). O regime pluviométrico da região caracteriza-se por período chuvoso, que se estende de janeiro a abril, quatro primeiros meses do ano, com precipitações médias acumuladas de 500 mm, e de outubro a dezembro, três últimos meses, com precipitações médias acumuladas de 520 mm, meses esses correspondentes às estações de primavera e verão, perfazendo 97,1% do total anual de precipitação. As estações de outono e inverno, e o início da primavera, são bem mais secas, com índices muito baixos de pluviosidade, apenas 2,9% do total anual de precipitação, que apresentam precipitações médias acumuladas de 30 mm e abrangem os meses de maio a setembro, sendo que praticamente na maior parte dos decêndios destes meses a precipitação média fica abaixo dos 6 mm (Figura 18).

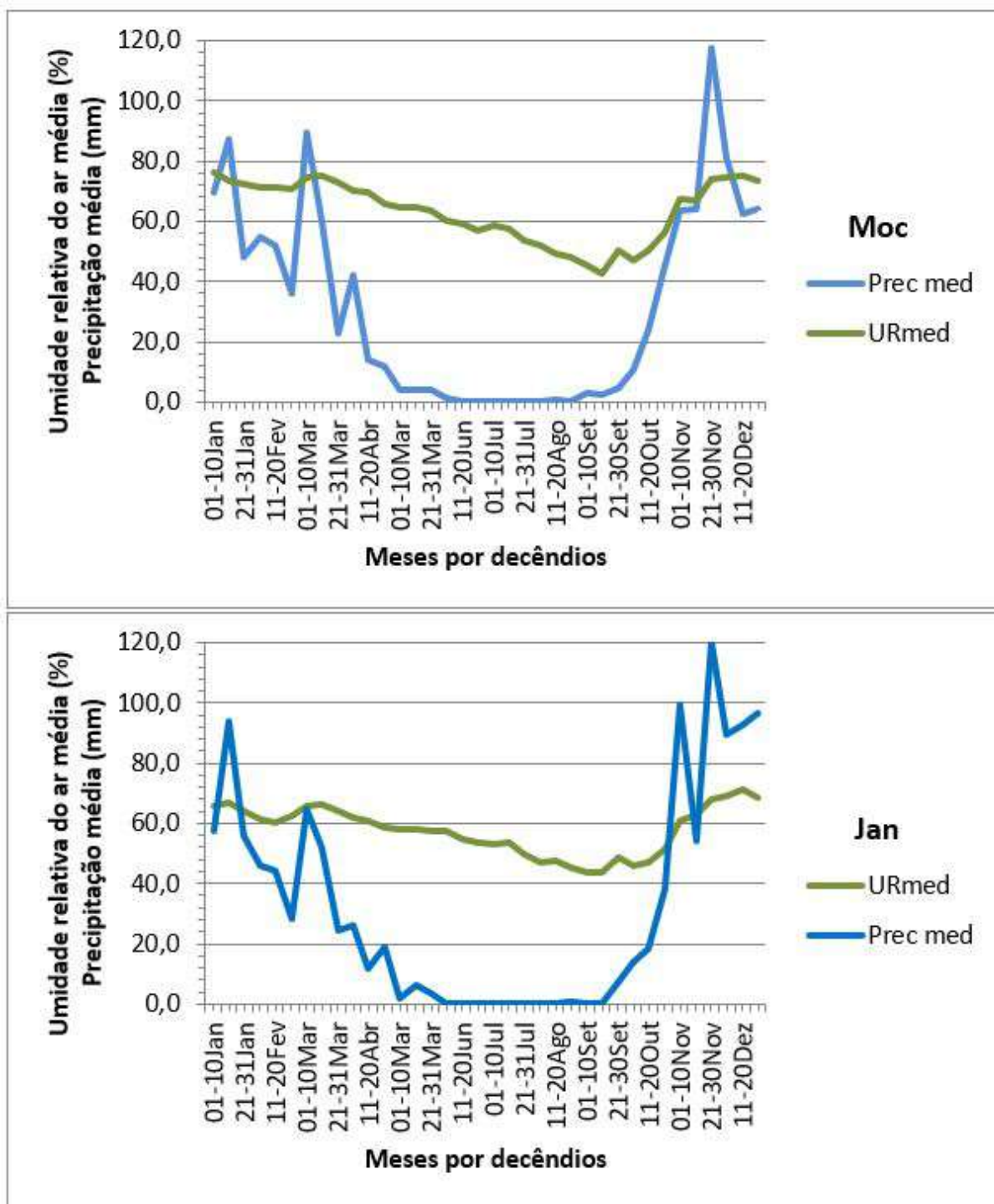


Figura 18 – Variação mensal com média por decêndios da precipitação (Prec med, em mm) e da umidade relativa do ar (URmed, em %), obtidas da base de dados climáticos históricos diários do INMET (2019), referentes aos períodos entre 01/01/1999 e 31/07/2012 (Jaíba/Mocimbinho-Moc) e 01/01/1999 e 31/08/2016 (Gorutuba/Janaúba-Jan).

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

A umidade relativa média do ar, apesar de não oscilar muito durante o ano, apresenta valores mais baixos no inverno que se estende do terceiro decêndio de ju-

nho ao terceiro decêndio de setembro, decrescendo continuamente de abril a outubro, com médias por decêndios que vão de 65,6% a 42,8% para Mocambinho e Janaúba, dados que estão em conformidade com os baixos índices pluviométricos no referido período. Os menores índices de umidade relativa do ar referem-se ao mês de setembro (42,8% e 43,5% para Mocambinho e Janaúba, respectivamente), enquanto os meses de janeiro e dezembro apresentam os maiores índices (73,6% a 76,3% para Mocambinho e 65,7% a 71,5% para Janaúba, respectivamente) (Figura 18).

#### 2.4.7 Balanço hídrico e classificação climática

Com base em dados mensais de médias por decêndios do regime pluviométrico e térmico, extraídos dos mesmos dados climáticos históricos diários do INMET (2019), referentes aos períodos entre 01/01/1999 e 31/07/2012 (Jaíba / Mocambinho) e 01/01/1999 e 31/08/2016 (Gorutuba / Janaúba), foi calculado o balanço hídrico climatológico pelo método de Thornthwaite e Mather (1955) em planilha EXCEL elaborada por Rolim, Sentelhas e Barbieri (1998). A *Capacidade de Água Disponível* (CAD) no solo até uma profundidade de 1m igual a um nível máximo de armazenamento de 100mm. É importante salientar que a sigla CAD utilizada neste trabalho não tem nenhuma relação com a ferramenta de desenho técnico digital *Computer Aided Design* (CAD). A classificação climática foi determinada pelos sistemas de Köppen (1931) e Thornthwaite e Mather (1955). Esse balanço hídrico climatológico é uma das várias maneiras de se monitorar a variação do *Armazenamento de Água no Solo* (ARM) através da contabilização do suprimento natural de água ao solo, pela chuva ou precipitação, e da demanda atmosférica, pela *Evapotranspiração Potencial* (ETP), estimada pelo método de Thornthwaite (1948), e fornece como resultados as estimativas de *Evapotranspiração Real* (ETR), de *Deficiência Hídrica* (DEF) e de *Excedente Hídrico* (EXC), podendo ser elaborado desde a escala diária até a mensal (CAMARGO; CAMARGO, 1993; PEREIRA; NOVA; SEDIYAMA, 1997).

O balanço hídrico climatológico é um instrumento agrometeorológico útil e prático para caracterizar o fator umidade do clima, sendo sua utilização indispensável na caracterização climática (VIANELLO; ALVES, 1991; CAMARGO; CAMARGO, 1993; PEDRO JÚNIOR; MELLO; PEZZOPANE, 1994) como também na definição da aptidão agrícola da região estudada (CAMARGO et al., 1974) e, quando empregado de maneira sequencial, ainda possibilita quantificar as necessidades de irrigação em uma determinada cultura (CAMARGO; PEREIRA, 1990) e relacionar o rendimento das culturas com o déficit hídrico (JENSEN, 1968; DOORENBOS; KASSAM, 1994).

O balanço hídrico climatológico para a região de Jaíba (Mocambinho) e Gorutuba (Janaúba), utilizando-se uma CAD no solo de 100mm, evidencia um período de déficit hídrico bem definido entre os meses de abril a novembro, que coincide com

as estações de outono, inverno e início da primavera (Figuras 19 e 20). Os maiores déficits hídricos ocorrem nos meses de maio a outubro, com valores máximos em setembro (36,5-37,3-38,6 mm e 36,6-35,5-39,5 mm para Mocambinho e Janaúba, respectivamente por decêndios) e outubro (41,1-32,2-25,5 mm e 34,4-33,2-29,8 mm para Mocambinho e Janaúba, respectivamente por decêndios). As Figuras 19 e 20 indicam que, durante a maior parte do ano, ocorre deficiência hídrica. A deficiência hídrica anual é superior a 500 mm, com 505,7 mm e 515,9 mm para Mocambinho e Janaúba respectivamente. O período favorável ao crescimento das plantas sem irrigação é bem curto, de novembro a janeiro; sem considerar ainda a possibilidade de ocorrência de veranicos, como indicado na queda de excedente hídrico no último decêndio de janeiro e nos três decêndios subsequentes de fevereiro (Figuras 19 e 20). Desse modo, a irrigação é uma prática quase indispensável para viabilizar a produção agrícola, de forma a aproveitar o potencial dos solos e as demais condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento de grande parte das culturas, como temperatura, insolação etc.

O suprimento natural de água ao solo, pela chuva ou precipitação, excede a demanda hídrica da atmosfera na forma de vapor d'água pela evapotranspiração real (ETR) e potencial (ETP), somente nos decêndios dos meses de janeiro a março e de novembro a dezembro. Verifica-se grande possibilidade de ocorrência de veranicos pela queda de precipitação no último decêndio de janeiro e nos três decêndios subsequentes de fevereiro (Figuras 19 e 20). Os maiores valores de déficits hídricos verificados nos meses de maio a outubro são devido ao fato de os valores de ETP serem bem superiores aos valores obtidos de ETR e também devido aos mais baixos valores de precipitação.

O esgotamento contínuo do armazenamento de água no solo (ARM) para a região de Jaíba e Gorutuba, a partir de uma capacidade de água disponível (CAD) no solo de 100mm, inicia-se no segundo decêndio de março com incrementos de variação cada vez mais decrescentes até o final de julho, sendo que, a partir de agosto, já se esgotou praticamente toda a água disponível às plantas até outubro (Figuras 19 e 20).

A classificação climática da região onde se inserem os Projetos Jaíba e Gorutuba, realizada com base nos tipos climáticos definidos pela sazonalidade e pelos valores médios anuais e mensais da temperatura do ar e da precipitação (KÖPPEN, 1931), enquadra-se no tipo climático Aw: clima tropical, megatérmico, com temperatura do mês mais frio superior a 18°C, e precipitação anual superior a 760mm (condições indicadas pela letra maiúscula A), com chuvas concentradas no verão (indicada pela letra minúscula w). Usando a classificação climática de Thornthwaite e Mather (1955), a região está inserida nos tipos climático C1 (subúmido seco) e D (semiárido), este último abrangendo uma parte da área da Etapa III do Jaíba (Figura 12). Ambas as classificações evidenciam fortes restrições climáticas para o desenvolvimento da

atividade agrícola de sequeiro (sem irrigação) na região. A aridez apresenta tendência de aumentar no sentido norte, ou seja, em direção à cidade de Matias Cardoso.

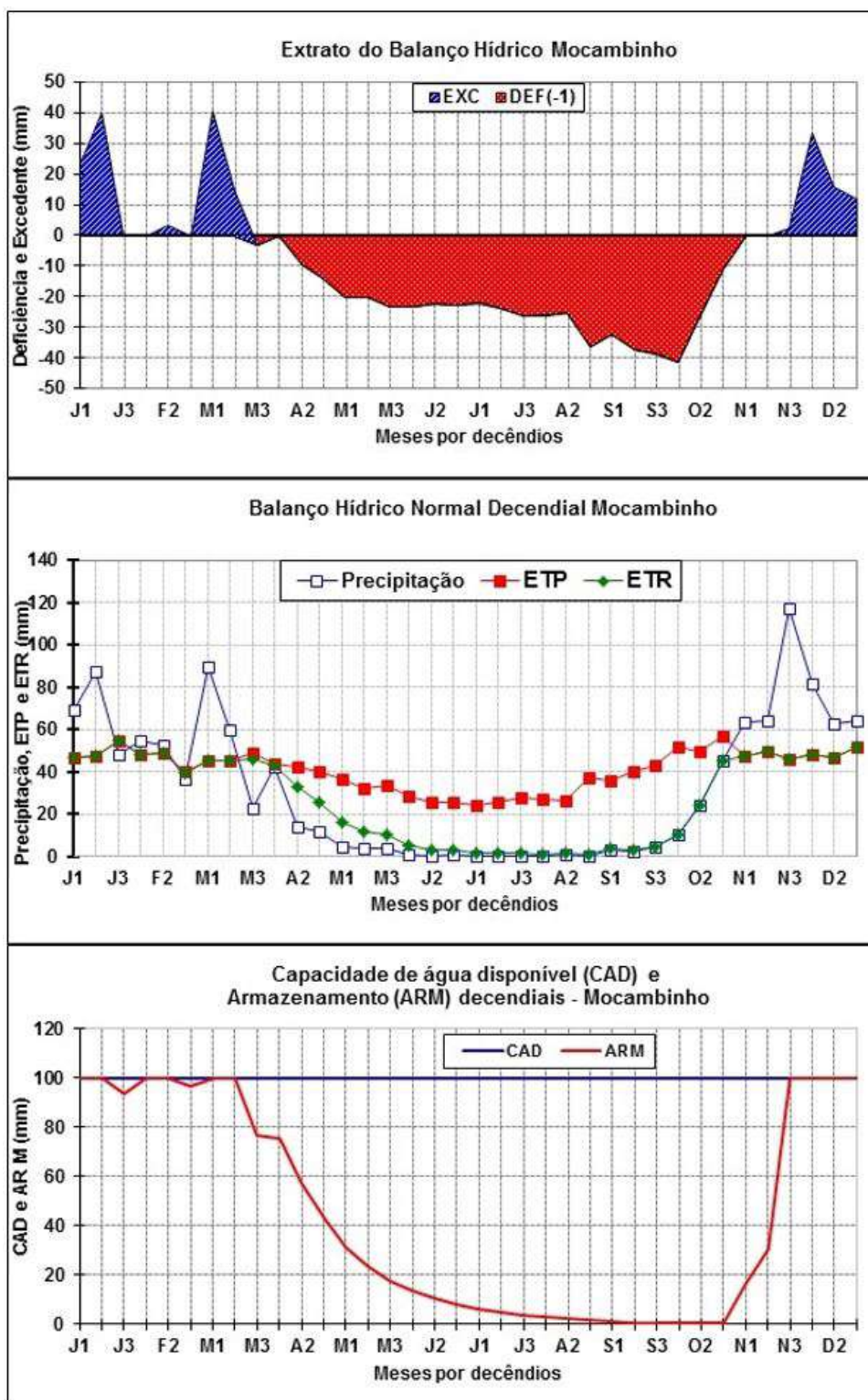


Figura 19 – Balanço hídrico climatológico mostrando a variação de excedente hídrico (EXC), deficiência hídrica (DEF), precipitação, evapotranspiração potencial (ETP), evapotranspiração real (ETR) e armazenamento de água no solo (ARM), para a região de Jaíba (Mocimbinho), a partir de uma capacidade de água disponível (CAD) no solo de 100 mm e de dados climáticos mensais de médias por decêndios do período entre 01/01/1999 e 31/07/2012.

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

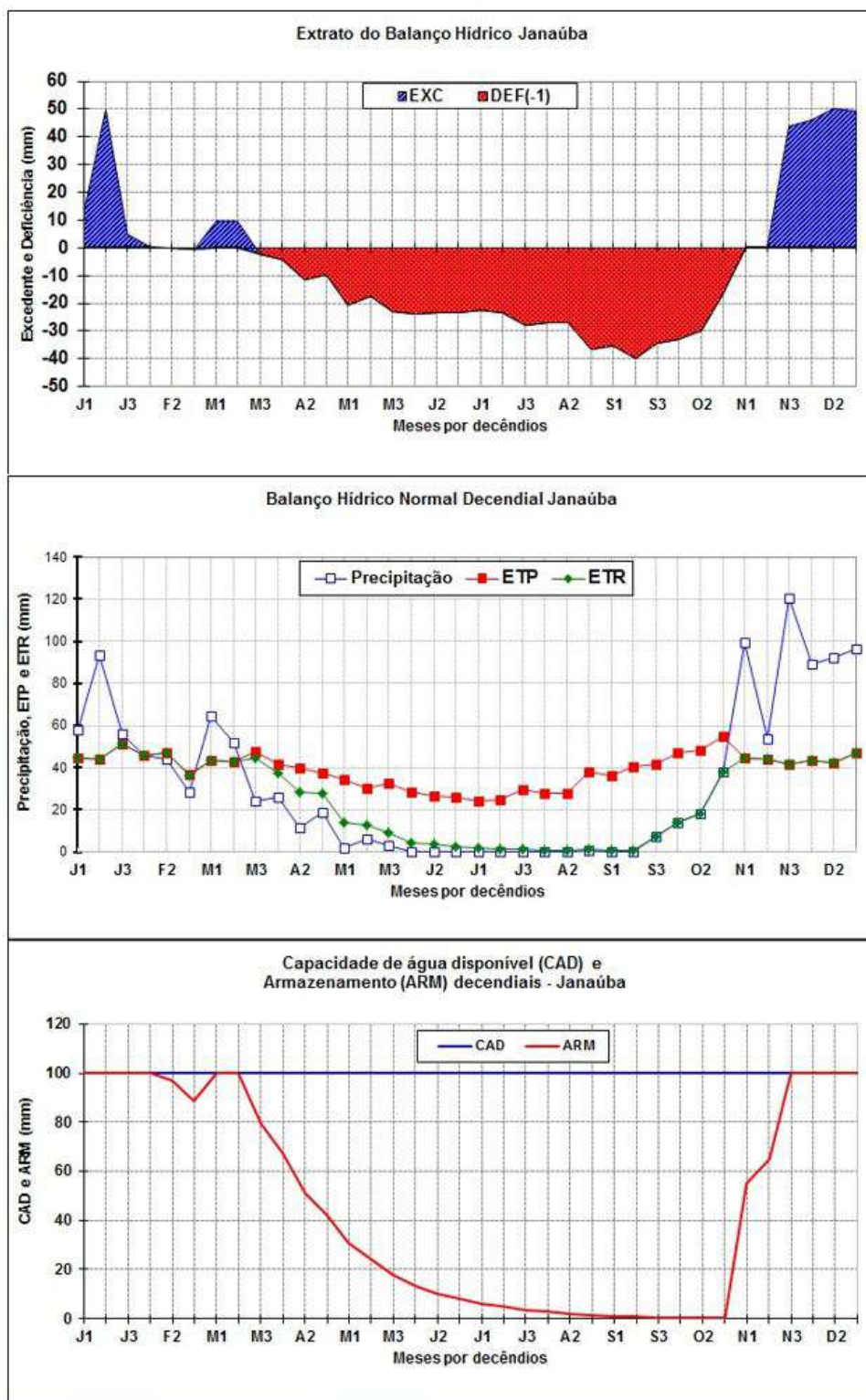


Figura 20 – Balanço hídrico climatológico mostrando a variação de excedente hídrico (EXC), deficiência hídrica (DEF), precipitação, evapotranspiração potencial (ETP), evapotranspiração real (ETR) e armazenamento de água no solo (ARM), para a região de Janaúba (Gorutuba), a partir de uma capacidade de água disponível (CAD) no solo de 100 mm e de dados climáticos mensais de médias por decêndios do período entre 01/01/1999 e 31/08/2016.

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.



## 2.4.8 Vegetação e Urbanização

A região do norte de Minas caracteriza-se como ambiente seco evidenciado pela sua vegetação natural, dominada por florestas decíduas e caatingas, ou transição entre uma vegetação típica do planalto central brasileiro, os Cerrados, e as formações que fazem contato com a Caatinga, vegetação típica do semiárido nordestino. Em função das mudanças de altitude e linhas de drenagem, vão se formando as áreas de domínio, ora do cerrado, ora da caatinga, conformando complexos e variados ecossistemas, as matas secas ou florestas caducifólias em variadas formas (D'ANGELIS FILHO, 2005).

O Cerrado caracteriza-se por cinco fitofisionomias, denominadas campo limpo, campo sujo, campo cerrado, cerrado *stricto sensu* e cerradão. A ocorrência dessas unidades é frequentemente dependente das propriedades do solo, profundidade, fertilidade e capacidade de drenagem, além do grau de interferência humana (ECOPLAN, 2011). A Caatinga, por sua vez, compreende um complexo de vegetação arbórea, caducifólia com franca penetração de luz solar. As variações no aspecto e na formação da vegetação recebem denominações regionais próprias como agreste, carrasco, sertão, cariri e seridó, que refletem o caráter geral básico que é o xerofilismo, consequência da ocupação de um ambiente seco com deficiência hídrica temporal, onde a água disponível às plantas procede unicamente do curto período da estação chuvosa e cujos elementos florísticos são adaptados a resistirem a esse ambiente (ECOPLAN, 2011).

O uso e a ocupação do solo na região de Jaíba e Gortuba têm como característica serem áreas tipicamente agrícolas, onde a maior ocupação de terras está relacionada a atividades de agricultura e pecuária (pecuária de corte, a predominante, e leite), com explorações de plantio em áreas irrigadas e de sequeiros. Nestas áreas estão inseridas três cidades, uma considerada de médio porte que é Janaúba, onde são oferecidos e disponibilizados bens e serviços ao espaço microrregional desempenhando o papel de centro de crescimento econômico regional e se estabelecem relações de dinamização com o espaço rural que a envolve e uma diferenciação do espaço interurbano; e Jaíba e Porteirinha que, conforme dados do IBGE (2010), são os maiores produtores de banana da região.

As áreas com vegetação nativa vêm sofrendo a degradação ambiental ao longo dos anos, devido ao avanço da agropecuária, o crescimento das cidades e a retirada de carvão vegetal, principalmente nas áreas de cerrado. O norte do Estado de Minas Gerais apresenta um valor de IDH inferior ao do Nordeste brasileiro, região mais pobre do Brasil. O contraste observado entre a riqueza da biodiversidade de plantas nessa região e a situação atual de carência da população mostra a importância das instituições de ensino e pesquisa e das organizações governamentais no processo de

desenvolvimento sustentável e na melhoria da qualidade de vida da população (OLIVEIRA et al., 2008).

Destaca-se na região a importância de instituições de ensino e pesquisa, como a *Universidade Estadual de Montes Claros* (UNIMONTES), a *Universidade Federal de Minas Gerais* (UFMG) de Montes Claros, EPAMIG e Embrapa, na formação de recursos humanos qualificados e desenvolvimento de pesquisas, principalmente na área das ciências agrárias, e também para a conscientização da população local da importância da valorização dos produtos regionais e do desenvolvimento de estratégias de conservação da biodiversidade existente.

#### 2.4.9 Produção e Comercialização de Produtos Agrícolas no Norte de Minas

Jaíba é o maior projeto de irrigação da região, implantado por meio de iniciativas governamentais e privadas. O distrito agroindustrial do Jaíba produz, sobretudo, frutas, com destaque para banana, limão, mamão, manga e tangerina, coco, maracujá, goiaba, laranja, café, uva, abacate e urucum, que são destinadas para o abastecimento interno e para exportação (IBGE, 2017; DIJ, 2019). Já o perímetro irrigado de Gortuba destaca-se pela sua produção de banana, limão, laranja, manga, graviola, acerola, grãos (milho, sorgo e feijão) e algumas hortaliças (CODEVASF, 1999).

Como resultado, destaca-se a produção da banana destinada ao mercado interno e a produção de frutas cítricas, principalmente no município de Jaíba, que é destinada ao mercado interno e externo. No que diz respeito ao tipo de transporte, identificamos que, no mercado interno, o escoamento é feito pelo modal rodoviário, já para o mercado externo, temos o transporte intermodal: rodoviário, marítimo e, em pequena escala, o aeroviário, tendo como principais destinos os países da Europa. Por fim, analisamos o *Produto Interno Bruto* (PIB) municipal por setores produtivos, onde identificamos o crescimento gradativo e pequenas alterações na composição da população economicamente ativa. Os dados coletados foram armazenados em bancos de dados, possibilitando a geração de mapas e gráficos que abordam a produção de frutas nos municípios estudados.

A banana ainda é o principal produto agrícola produzido e comercializado no Norte de Minas, que está presente na grande maioria dos municípios, como Janaúba, Jaíba, Matias Cardoso, Nova Porteirinha, Capitão Éneas, Verdelândia, Itacarambi, Manga, entre outros, onde a região é responsável por significativa parcela da produção estadual e nacional (OLIVEIRA; SILVA; PEREIRA, 2018). No entanto, Oliveira, Silva e Pereira (2018) verificaram uma diminuição da produção de banana em 2015, quando comparado com a produção de 2005, devido principalmente à introdução de

cultivos de outros produtos, com a abertura de novos mercados. Esses autores mostraram que somente na região de Jaíba, entre os anos de 2005 a 2015, foram produzidas 797.340 mil toneladas de banana, destinadas ao consumo exclusivamente interno (nacional) visto o alto grau de perecibilidade e falta de logística adequada para exportar essa fruta.

Nos dias atuais, a seca e falta de investimentos no DIG vêm interferindo significativamente no projeto. O plantio da banana corresponde à maior produção da região (82%), movimentando cerca de 70 milhões de reais anuais na economia. Cerca de 10 mil empregos podem estar ameaçados caso o projeto seja extinto. A tendência da barragem Bico da Pedra em Gortuba é a perda de volume, e a suspensão da outorga da água pela *Agência Nacional de Águas* (ANA) já é uma ameaça real. Os canais de irrigação estão em estado precário e precisando de manutenção, o que agrava ainda mais a situação (ANTONINI, 2019).

O DIJ também passa dificuldades com a falta de água. Com a diminuição do volume de água do rio São Francisco, a ANA restringiu o uso da água do rio e também dos seus afluentes para garantir a manutenção dos reservatórios. A banana responde pela maior área de plantio com quase 7 mil hectares de área e foi impactada com o uso da água. Novos plantios estão sendo suspensos devido à falta de água na região (RIBEIRO, 2017).

A necessidade de Oliveira, Silva e Pereira (2018) estudarem o tema "produção e comercialização de produtos agrícolas no Norte de Minas" surgiu do fato de a região possuir um dos menores indicadores socioeconômicos do estado. Por isso, a região foi "palco" de implantação de políticas públicas e projetos que visam ao desenvolvimento regional, entre eles os projetos de irrigação Jaíba e Gortuba/Lagoa Grande. A partir da agricultura irrigada, uma cadeia (rede) produtiva se formou impulsionando a criação/desenvolvimento de comércio, circulação (transporte, comunicação e informação) e serviços especializados. Daí a importância de estudos geográficos que discutam e analisem a eficiência e eficácia econômica desse modelo para o desenvolvimento local/regional.

Em regiões com secas periódicas, como o Médio São Francisco, a agricultura irrigada é essencial para o desenvolvimento econômico, uma vez que garante a safra. Essa região está inserida no Polígono das Secas com alta vulnerabilidade para o desenvolvimento social em decorrência da instabilidade climática, dramatizada pelas secas que ocorrem. Assim, com intuito de promover o desenvolvimento da área, a CODEVASF iniciou a implantação, na década de 60, de perímetros irrigados como Jaíba, Gortuba e Lagoa Grande (CODEVASF, 2019a). Nesses perímetros, as águas utilizadas na irrigação provêm dos rios Gortuba e São Francisco. Os principais sistemas de irrigação utilizados nesses perímetros são a aspersão convencional, a microaspersão

e a irrigação por pivô central (DIJ, 2019). Com relação à produção agrícola desses perímetros, verifica-se a predominância da fruticultura, com destaque para o cultivo da banana que, em 2017, correspondeu a 82% do valor bruto de produção.

## 3 Metodologia

A análise deste trabalho é quantitativa e descritiva, realizando-se uma análise espacial das imagens obtidas por satélite, agregando conhecimentos de áreas multidisciplinares. A análise é quantitativa pois os resultados podem ser quantificados e se centram na objetividade. Recorre à linguagem matemática para descrever as causas de um fenômeno e as relações entre variáveis (FONSECA, 2002). A pesquisa é descritiva pois realiza-se o estudo, a análise, o registro e a interpretação dos fatos do mundo físico sem a interferência do pesquisador (BARROS; LEHFELD, 2007). O trabalho aborda a análise espacial pois por meio do uso de imagens de satélite, associado ao uso e à ocupação do solo, obtêm-se mapas para análise do cenário do espaço utilizado.

O envolvimento do processo de gestão foi considerado, pois o estudo visou englobar, a partir da precisão dos dados informacionais obtidos, diferentes atores ao incorporar partes interessadas no processo, como prefeitos, produtores agrícolas, cooperativas e instituições de apoio ao pequeno e médio empresário.

O desenvolvimento agrícola no norte de Minas Gerais veio através de investimentos públicos, principalmente pela atuação de órgãos como a SUDENE, CODEVASF e Banco do Nordeste. Com estes investimentos, buscou-se o aumento da produção, produtividade e a renda do produtor. Alavancou a melhora do IDH e o empresário local passou a investir mais na região (RODRIGUES, 2001; ARAUJO; GUIMARÃES; LANDI, 2004).

### 3.1 Dados do Landsat 5 e Landsat 8 e escolha dos períodos de estudo

Para este trabalho, utilizaram-se imagens dos satélites Landsat 5 TM, adquiridas nos períodos de 2007/2008 e Landsat 8 OLI, e nos períodos de 2017/2018, devido ao fato de estas imagens possuírem uma melhor qualidade, sem ruídos, sem nuvens ou falhas na passagem do satélite.

As imagens foram selecionadas para a caracterização de dois períodos distintos de estudo, um úmido (janeiro/fevereiro) e outro seco (agosto/setembro), cobrindo a respectiva região da pesquisa, que foram obtidas do site do USGS, agência científica ligada ao governo dos Estados Unidos. As imagens estão identificadas pela órbita 218 e pelo ponto 71 utilizado pelo Sistema de Referência Global, ou *Worldwide Reference System* (WRS) (NASA, 2019). Estes dados serão utilizados no momento da

busca das imagens no EarthExplorer, site da USGS. As imagens estão dispostas na projeção *Universal Transverse Mercator* (UTM) e Datum *World Geodetic System, 1984* (WGS84), zona 23 sul.

As imagens obtidas dos satélites Landsat são gratuitas e podem ser obtidas no site da USGS (USGS, 2018c). Vale observar que, apesar de o satélite Landsat 5 estar desativado, buscaram-se as imagens produzidas por este satélite junto ao banco de imagens da instituição citada, mesmo local de onde foram retiradas as imagens do Landsat 8. A licença de uso das imagens bem como os seus metadados podem ser encontradas na mesma plataforma (USGS, 2018b). Na figura 21 há uma ilustração de como é captada uma imagem no site da USGS.

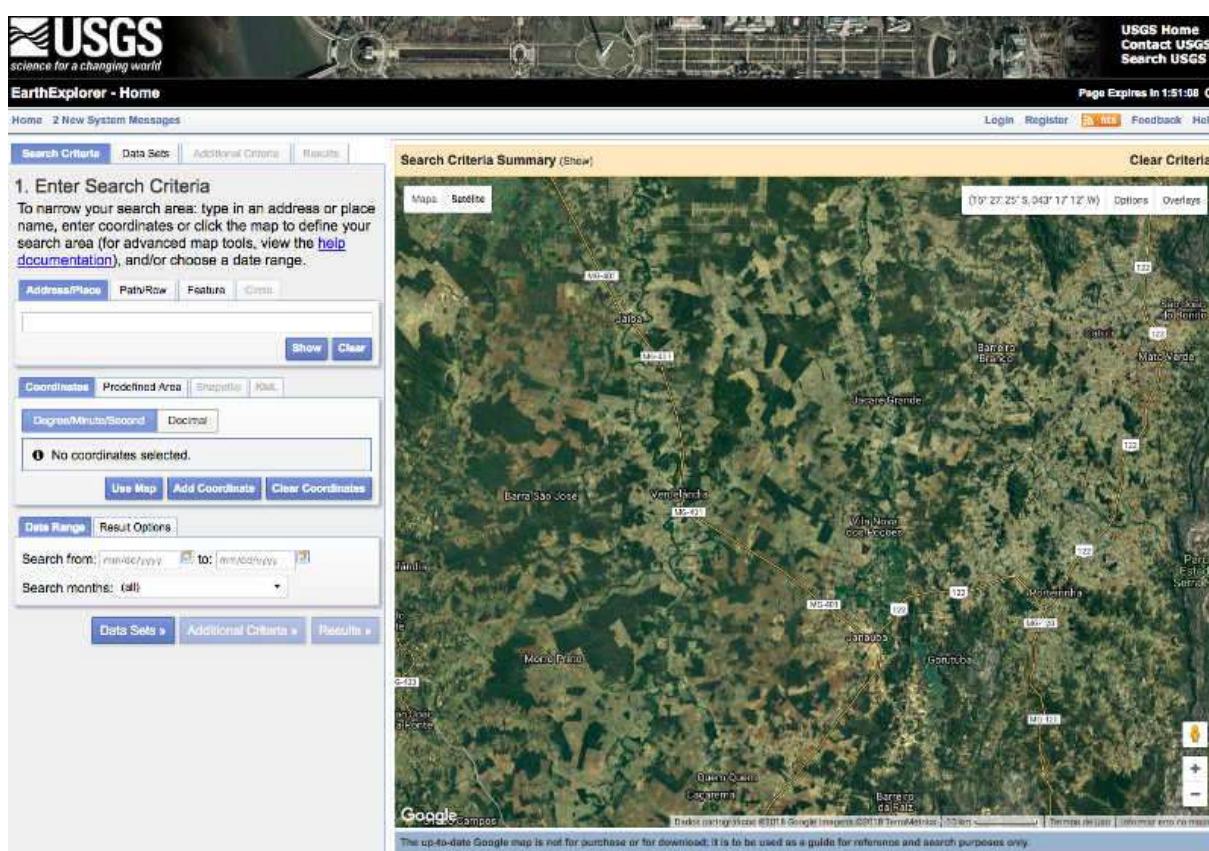


Figura 21 – Busca de imagens no site do USGS.

Fonte: USGS (2018c)

## 3.2 Procedimentos para a tratamento dos dados

Os dados das imagens de satélites e os modelos que definem os índices de vegetação e a temperatura da superfície do solo serão calibradas e processadas no software ERDAS 2016 e os mapas temáticos finais de uso e ocupação do solo serão gerados no ArcGIS 9.3. A Figura 22 apresenta as etapas para a obtenção desses mapas temáticos a partir das imagens dos satélites Landsat 5 e Landsat 8. A modelagem

dos índices de vegetação foi obtida por meio de *Processamento Digital de Imagens* (PDI) nas bandas que apresentam refletância na região do vermelho (visível) e do infravermelho próximo do espectro eletromagnético.

Os atributos estatísticos dos dados utilizados baseiam-se nas propriedades matemáticas das variações dos números digitais que compõem as matrizes das imagens para descrever suas medidas, enquanto que os contextuais consideram a distribuição espacial dessas variações, como textura, forma e topologia. Assim, a mineração de dados, aplicada na classificação de imagens de sensoriamento remoto, tem sido utilizada para selecionar descritores que discriminam as classes de cobertura do solo, a partir de um banco de dados formado por atributos extraídos de um conjunto volumoso de bandas multiespectrais e de imagens derivadas de processamento digital, além de outras fontes de dados (LEONARDI, 2010). Associado a isso, foram utilizados os dados climáticos de superfície proveniente de uma rede de estação meteorológica automática pertencente à Embrapa e ao INMET.

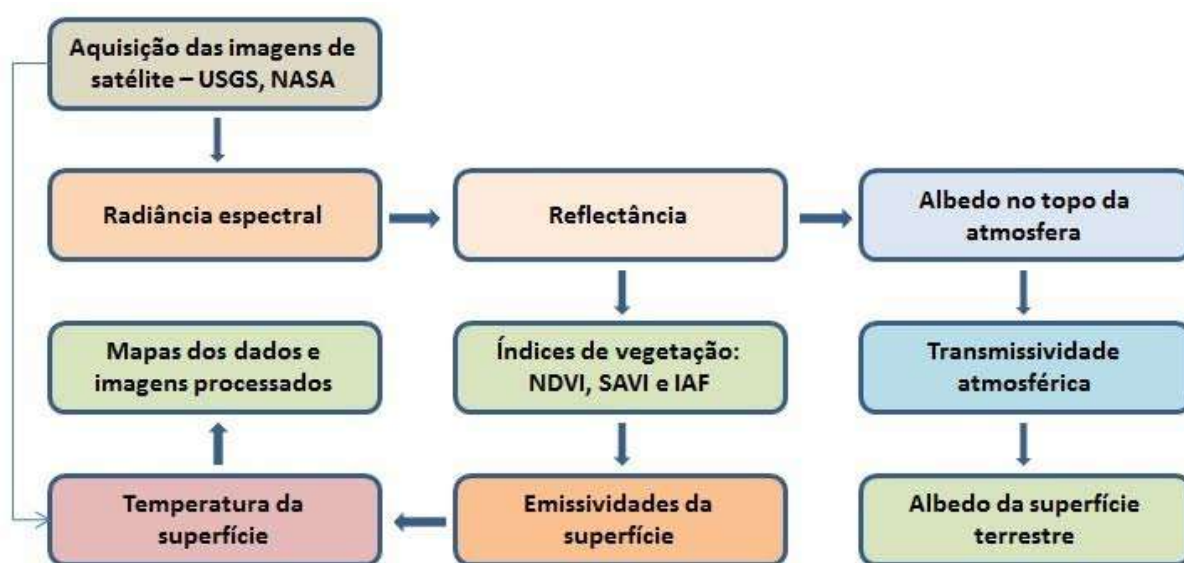


Figura 22 – Passos para obtenção, processamento e mapeamento dos dados e imagens.

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

### 3.3 Radiância Espectral

As imagens captadas do Landsat 5 (bandas de 1 a 7 do sensor TM) e do Landsat 8 (bandas de 2 a 7 e 10 dos sensores OLI/TIRS) são pré-processadas. As áreas de interesse são recortadas das imagens captadas. Após esta etapa, a radiância espectral é calculada seguindo a equação, considerando que  $L_\lambda$  é o cálculo da radiância espectral em ( $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$  - watt por metro quadrado vezes esterradiano vezes micrômetro), que converte números digitais em radiância espectral de cada pixel:

Seguem as fórmulas de radiância espectral:

Landsat 5 (ALLEN et al., 2002):

$$L_{\lambda} = \text{Min}_{\text{rad } \lambda} + \frac{\text{Max}_{\text{rad } \lambda} - \text{Min}_{\text{rad } \lambda}}{255} * \text{ND}_{\lambda} \quad (3.1)$$

Landsat 8 (USGS, 2019c):

$$L_{\lambda} = \text{Add}_{\text{rad } \lambda} + \text{Mult}_{\text{rad } \lambda} * \text{ND}_{\lambda} \quad (3.2)$$

Onde:

- $L_{\lambda}$  ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ ) é a radiância espectral de cada banda;
- $\text{Min}_{\text{rad } \lambda}$  e  $\text{Max}_{\text{rad } \lambda}$  são as radiâncias espectrais máximas e mínimas de cada banda, extraídos do metadado da imagem.
- $\text{Add}_{\text{rad } \lambda}$  e  $\text{Mult}_{\text{rad } \lambda}$  são os termos aditivo e multiplicativo de cada banda, extraídos do metadado da imagem.
- $\text{ND}_{\lambda}$  é a intensidade do pixel (valores entre 0 e 65365);

## 3.4 Reflectância

### 3.4.1 Reflectância no topo da atmosfera

A reflectância monocromática de cada banda ( $\rho_{\lambda}$ ) no topo da atmosfera é definida como sendo a razão entre o fluxo da radiação solar refletido e o fluxo da radiação solar incidente. A propriedade da reflectância depende da rugosidade ou do tamanho das irregularidades da superfície em relação ao comprimento de onda da radiação considerada (LIU, 2006).

Seguem as fórmulas propostas:

Landsat 5 (ALLEN et al., 2002):

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi * L_{\lambda}}{\text{ESUN}_{\lambda} * \cos\theta_s * d_r} \quad (3.3)$$

Landsat 8 (CHANDER; MARKHAM, 2003):

$$\rho_{\lambda} = \frac{\text{Add}_{\text{ref } \lambda} + \text{Mult}_{\text{ref } \lambda} - \text{ND}_{\lambda}}{\cos\theta_s * d_r} \quad (3.4)$$

Onde:

- $\rho_{\lambda}$  é igual à reflectância espectral de cada banda no topo da atmosfera;



- $L_\lambda$  é igual à radiância espectral de cada banda;
- $Add_{ref\ \lambda}$  e " $Mult_{ref\ \lambda}$ " é igual aos termos aditivo e multiplicativo de cada banda, extraídos do metadado da imagem;
- $ND_\lambda$  é a intensidade do pixel (valores entre 0 e 65365);
- $\theta_s$  é igual ao ângulo zenital do sol, no qual:

$$\cos \theta_s = \text{sen} (90 - \theta_e) \quad (3.5)$$

- $\theta_e$  é igual ao ângulo de elevação do sol, extraído do metadado da imagem.
- $d_r$  é igual à correção da excentricidade da órbita terrestre, dado por Allen et al. (2002):

$$d_r = \left( \frac{1}{d_{ts}} \right)^2 \quad (3.6)$$

- *Day of Year* (DOY) são os dias sequenciais no ano da captura da imagem.
- $d_{ts}$  é igual à distância terra-sol, obtido do metadado da imagem.
- $ESUN_\lambda$  é igual à média da irradiância exoatmosférica solar no topo da atmosfera ( $W.m^{-2}.\mu m^{-1}$ ) dada por:

$ESUN_\lambda$	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 6	Banda 7
Landsat 5	1957	1826	1554	1036	215,0	-	80,67

Tabela 2 –  $ESUN_\lambda$  para o Landsat 5. Fonte: Chander e Markham (2003).

### 3.4.2 Reflectância na superfície

A reflectância na superfície é válida somente para o Landsat 8 e, para o seu cálculo, utilizou-se a técnica de correção atmosférica denominada *Dark Object Subtraction* (DOS). É importante salientar que esta técnica de correção atmosférica não tem relação com o *Disk Operational System* (DOS) desenvolvido pela Microsoft. O método DOS é um método de correção do espalhamento atmosférico no qual a interferência atmosférica é estimada diretamente a partir dos números digitais da imagem de satélite, sendo ignorada a absorção atmosférica. Para a aplicação desta técnica, não há necessidade de se obterem dados sobre as condições atmosféricas na data de obtenção das imagens (SANCHES et al., 2011).

Segue a fórmula proposta, através do método DOS (MORAN et al., 1992):

$$\rho = \frac{\pi * (L_{\lambda} - L_p) * d_{ts}^2}{T_V * [(ESUN_{\lambda} * \cos\theta_s * T_Z) + E_{down}]} \quad (3.7)$$

Onde:

- $L_{\lambda}$  é a radiância espectral de cada banda;
- $L_p$  é o caminho da radiância, que é dado pela seguinte fórmula (SOBRINO; JIMÉNEZ-MUÑOZ; PAOLINI, 2004):

$$L_p = \frac{L_{min} - 0.01 * ESUN_{\lambda} * \cos\theta_s}{\pi * d_{ts}^2} \quad (3.8)$$

- $L_{min}$  é a radiância que corresponde à intensidade do pixel onde a soma de todos os pixels com valores digitais menores ou iguais a este valor é igual a 0,01% de todos os pixels da imagem considerada (SOBRINO; JIMÉNEZ-MUÑOZ; PAOLINI, 2004). Ou seja,  $L_{min}$  é igual à  $L_{\lambda}$  obtida com a intensidade do pixel mínima. O  $L_{\lambda}$  considerado para os cálculos será igual a 1, sendo o valor mínimo.
- $ESUN_{\lambda}$  é igual à média da irradiância exoatmosférica solar no topo da atmosfera ( $W.m^{-2}.\mu m^{-1}$ ) dada por:
  - Landsat 5: Vide tabela 2.
  - Landsat 8 (TIZADO, 2019):

$$ESUN_{\lambda} = \pi * d_{ts}^2 * \frac{Max_{rad \lambda}}{Max_{ref \lambda}} \quad (3.9)$$

- $Max_{rad \lambda}$  e  $Max_{ref \lambda}$  são a radiância máxima e a reflectância máxima de cada banda, extraídos do metadado da imagem.
- $\theta_s$  é igual ao ângulo zenital.
- $\theta_e$  é igual ao ângulo de elevação do sol, extraído do metadado da imagem.
- $d_{ts}$  é igual à distância terra-sol, obtido do metadado da imagem.
- $T_V$  é igual à transmitância da atmosfera na direção de visão.
- $T_Z$  é igual à transmitância da atmosfera na direção da iluminação.
- $E_{down}$  é igual à irradiância difusa.

Ainda de acordo com Moran et al. (1992), há uma série de técnicas DOS (DOS1, DOS2, DOS3, DOS4), baseadas nas suposições para  $T_V$ ,  $T_Z$  e  $E_{down}$ . A técnica mais simples é o DOS1, onde as seguintes suposições foram feitas:

- $T_V = 1$ .
- $T_Z = 1$ .
- $E_{\text{down}} = 0$ .

## 3.5 Cálculo dos índices de vegetação para a classificação das imagens obtidas

O software de processamento de imagens ERDAS realizou os cálculos dos índices de vegetação entrando com os respectivos modelos dos IV no módulo "model maker" do ERDAS. A seguir, é apresentado como foram realizados os cálculos dos modelos de IV para se obter o resultado final da classificação das imagens para as análises do uso e ocupação do solo.

### 3.5.1 NDVI - Normalized Difference Vegetation Index

O NDVI proposto por Rouse et al. (1973) é um índice utilizado principalmente em pesquisas de cunho ambiental, pois permite fazer análises sobre a cobertura vegetal de determinada região em diversas escalas. Em se tratando de pesquisas utilizando imagens de satélite, o NDVI é um índice muito utilizado, pois reduz o efeito topográfico e apresenta uma escala de medida linear entre -1 e 1.

O cálculo do NDVI é realizado através da seguinte fórmula:

$$\text{NDVI} = \frac{\rho_{\text{NIR}} - \rho_r}{\rho_{\text{NIR}} + \rho_r} \quad (3.10)$$

onde:

- $\rho_r$  representa a medição da reflectância espectral adquirida na banda vermelha (visível);
- $\rho_{\text{NIR}}$  representa a medição da reflectância espectral adquirida na banda infravermelha próxima.

O NDVI é um indicador da proporção e da condição da vegetação verde. Geralmente, para superfícies com presença de alguma vegetação, o valor do NDVI é positivo; para superfícies sem vegetação, o valor é nulo; já para a água e nuvens, o valor geralmente é negativo. Quanto mais próximo do extremo positivo, maior a densidade da cobertura vegetal, ou seja, condiz com seu estágio denso e desenvolvido. Esse valor diminui gradativamente para cobertura vegetal menos densa, que apresenta valores positivos, porém não muito elevados.

Embora o NDVI seja bastante utilizado no sensoriamento remoto, o mesmo apresenta algumas limitações. Segundo Jensen (2009), o índice sofre influência de radiação de trajetória atmosférica, apresenta saturação em relação a altos valores de LAI e tem sensibilidade às mudanças do substrato da cobertura, como o solo. Elmore et al. (2000) afirma que outra desvantagem do índice NDVI está no fato de este ser altamente influenciado pelo brilho e efeito espectral do solo, fato que prejudica as avaliações sobre a vegetação.

### 3.5.2 SAVI - Soil-adjusted Vegetation Index

O SAVI desenvolvido por Huete (1988) foi proposto devido às limitações observadas no NDVI. Desenvolveu-se então um índice que pudesse melhorar os valores de NDVI sem necessidade de medições em campo, aponta Jensen (2009). Para tanto, foi proposto um índice melhorado a partir de uma constante, determinada "L", para o fator de ajuste com o substrato da cobertura. Criou-se, portanto, o SAVI que busca amenizar os efeitos do *background* do solo. A constante L pode apresentar valores variáveis de 0 a 1, variando segundo a própria cobertura vegetal. De acordo com Huete (1988) e Ponzoni e Shimabukuro (2010), os valores ótimos de L são:

- L = 1 (para baixas densidades de vegetação);
- L = 0,5 (para médias densidades de vegetação);
- L = 0,25 (para altas densidades de vegetação).

O cálculo do SAVI é representado pela fórmula a seguir (HUETE, 1988):

$$SAVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_r}{\rho_{NIR} + \rho_r + L} * (1 + L) \quad (3.11)$$

onde:

- $\rho_r$  representa a medição da reflectância espectral adquirida na banda vermelha (visível);
- $\rho_{NIR}$  representa a medição da reflectância espectral adquirida na banda infravermelha próxima.
- L representa o fator de ajuste com o substrato da cobertura.

Segundo Huete (1988) e Ponzoni e Shimabukuro (2010), em geral o fator L = 0,5 é mais utilizado, uma vez que agrupa maior variação de vegetação. Contudo, o SAVI limita-se em função dos diferentes biomas e situações de uso e ocupação, uma

vez que os valores da constante são generalizados, não considerando as características dos ambientes analisados, mas apenas a densidade de vegetação apontada.

Assim como o NDVI, o SAVI é um indicador da proporção e da condição da vegetação verde, porém faz parte de um grupo de índices considerados híbridos, pois utiliza um fator de ajuste para minimizar o efeito da presença de solo em meio à vegetação. Segundo Huete (1988), o SAVI mede ou aproxima a distância entre o pixel e a linha do solo retirando o efeito dos solos claros ou escuros, amenizando assim os efeitos do *background* do solo. Os valores obtidos da classificação SAVI também variam em amplitude negativo-positivo (-1,5 à 1,5), onde, em áreas com presença de alguma vegetação, o valor é positivo e áreas sem vegetação, corpos d'água e nuvens, o valor geralmente é negativo.

### 3.5.3 LAI - Leaf Area Index

O LAI é denominado como sendo a área foliar integrada do dossel por unidade de superfície projetada no solo ( $m^2/m^2$ ) (WATSON, 1947). Ainda segundo Sugawara et al. (2009), "O índice de área foliar (LAI) é um parâmetro biofísico que pode ser utilizado como medida de crescimento das plantas nos modelos agronômicos". O LAI está ligado à transpiração e à produtividade das plantas e está relacionado à computação da superfície de apenas uma das faces das folhas. A fórmula para calcular o LAI foi proposta por Allen et al. (2002):

$$LAI = \frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (3.12)$$

O valor máximo para o LAI é 6,0, o que corresponde a um valor máximo para o SAVI de 0,687. Para valores de SAVI maiores do que 0,687, este "satura" com o aumento do LAI e não muda significativamente (ALLEN et al., 2002). Com base nisto, para este trabalho assumiu-se um valor de SAVI de 0,687 quando o SAVI foi maior do que 0,687.

## 3.6 Emissividades da Superfície

A emissividade de uma superfície ( $\varepsilon$ ) é calculada através da razão entre a energia termal irradiada da superfície e a energia termal irradiada por um corpo negro na mesma temperatura. Duas emissividades são usadas no *Surface Energy Balance Algorithms for Land* (SEBAL) ( $\varepsilon_{NB}$  e  $\varepsilon_0$ ) e podem ser obtidas, para NDVI > 0 e LAI < 3, segundo Allen et al. (2002):

Emissividade no domínio da banda termal, que está entre 10,4 e 12,5 (Landsat 5) e 10,6 e 11,19 (Landsat 8)  $\mu\text{m}$ .

$$\varepsilon_{\text{NB}} = 0,97 + 0,0033 * \text{LAI} \quad (3.13)$$

Emissividade no domínio da banda larga o qual está entre 6 e 14  $\mu\text{m}$ .

$$\varepsilon_0 = 0,95 + 0,01 * \text{LAI} \quad (3.14)$$

para pixels com  $\text{LAI} \geq 3$ ,  $\varepsilon_{\text{NB}} = \varepsilon_0 = 0,98$  e para superfícies de água ( $\text{NDVI} < 0$ )  $\varepsilon_{\text{NB}} = 0,99$  e  $\varepsilon_0 = 0,985$ , seguindo as recomendações de Allen et al. (2002).

### 3.7 Temperatura de Superfície

A temperatura da superfície, que depende da radiância espectral da banda termal do Landsat 5 - TM / Landsat 8 - TIRS  $L_{\lambda_{term}}$  ( $\text{W}/\text{m}^2/\text{sr}/\mu\text{m}$ ) e de sua emissividade ( $\varepsilon_{\text{NB}}$ ), sendo obtida pela equação de Planck invertida (MARKHAM; BARKER, 1986):

$$T_s = \frac{K_2}{\ln \left( \frac{\varepsilon_{\text{NB}} * K_1}{L_{\lambda_{term}}} + 1 \right)} \quad (3.15)$$

Onde:

- $T_s(\text{K})$ : é a temperatura de superfície em Kelvin(K);
- $K_1$  e  $K_2$ : são constantes de calibração da banda termal, obtidas no metadado da imagem, que equivalem a 607,76 K e 1260,56 K respectivamente para o Landsat 5 e 774,89 e 1321,08 K respectivamente para o Landsat 8;
- $L_{\lambda_{term}}(\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1})$  = radiância espectral da banda 6 (para o Landsat 5) e 10 (para o Landsat 8) - Bandas termais;
- $\varepsilon_{\text{NB}}$ : emissividade no domínio da banda termal.

### 3.8 Albedo

O albedo é a refletividade difusa, ou poder de reflexão de uma superfície, e é um importante parâmetro para o cômputo do balanço de radiação e energia (LEIVAS et al., 2007).

### 3.8.1 Albedo no topo da atmosfera

O albedo no topo da atmosfera é dado por (TASUMI; ALLEN; TREZZA, 2008):

Landsat 5:

$$\alpha_{toa} = p_2 * r_2 + p_3 * r_3 + p_4 * r_4 + p_5 * r_5 + p_6 * r_6 + p_7 * r_7 \quad (3.16)$$

Landsat 8:

$$\alpha_{toa} = p_1 * r_1 + p_2 * r_2 + p_3 * r_3 + p_4 * r_4 + p_5 * r_5 + p_7 * r_7 \quad (3.17)$$

Onde:

- $p_\lambda$  é igual ao coeficiente de peso de cada banda multiespectral, calculado com a seguinte função para o Landsat 5 e Landsat 8:

$$p_\lambda = \frac{ESUN_\lambda}{\sum ESUN_\lambda} \quad (3.18)$$

- $ESUN_\lambda$  é igual à média da irradiância exoatmosférica solar no topo da atmosfera.
- $\theta_s$  é igual ao ângulo zenital do sol.
- $L_\lambda$  é igual à radiância espectral.
- $\rho_\lambda$  é igual à reflectância no topo da atmosfera.
- $d_r$  é igual à correção da excentricidade da órbita terrestre.

### 3.8.2 Transmissividade atmosférica

A transmissividade atmosférica foi calculada utilizando-se a seguinte equação (ALLEN; TASUMI; TREZZA, 2007):

Landsat 5:

$$\tau_{oc} = 0,75 + 2 * 10^{-5} * Z \quad (3.19)$$

Landsat 8:

$$\tau_{oc} = 0,35 + 0,627 \exp \left[ -\frac{0,00146 * P_o}{K_t * \cos \theta_s} - 0,075 * \left( \frac{W_{prec}}{\cos \theta_s} \right)^{0,4} \right] \quad (3.20)$$

Onde:

- $Z$  é igual à altitude média da região estudada em metros;
- $P_o$  é igual à pressão atmosférica local (kPa);

- $K_t$  é igual ao coeficiente de turbidez do ar ( $K_t = 1,0$  para ar limpo e  $K_t = 0,5$  para ar extremamente turbido ou poluído). Para este trabalho foi adotado um  $K_t = 1,0$ ;
- $\theta_s$  é igual ao ângulo zenital do sol;
- $W_{prec}$  é igual à água precipitável em milímetros, obtida através da função (GARRISON; ADLER, 1990):

$$W_{prec} = 0,14 * e_a * P_o + 2,1 \quad (3.21)$$

- $e_a$  é igual à pressão parcial do vapor d'água da atmosfera (KPa)

### 3.8.3 Albedo da superfície terrestre

O albedo da superfície terrestre é calculado utilizando-se a seguinte equação (ZHONG; LI, 1988; BASTIAANSEN et al., 1998):

$$\alpha = \frac{(\alpha_{toa} - \alpha_{atm})}{\tau_{oc}^2} \quad (3.22)$$

Onde:

- $\alpha_{toa}$  é igual ao albedo planetário de cada pixel ou albedo sem correção atmosférica;
- $\alpha_{atm}$  é igual ao albedo atmosférico;
- $\tau_{oc}$  é igual à transmissividade atmosférica no domínio da radiação solar.

O valor do albedo atmosférico pode ser obtido através do modelo de transferência radiativo e, em geral, está entre 0,025 e 0,040 (ALLEN et al., 2002). O valor de 0,03 foi adotado para o presente estudo.

## 3.9 Mapeamento dos dados obtidos

Ao classificar todas as imagens, o passo seguinte é o mapeamento das informações fornecidas. A representação escolhida é de mapeamento cartográfico. As fronteiras das regiões de Jaíba e Gortuba (shapes) foram extraídas do IBGE (2018). A elaboração de mapas facilitou a visualização do solo nos espaços geográficos de Jaíba e Gortuba para apontar peculiaridades informacionais ainda não visíveis nos dados existentes.

Através do ArcGIS 9.3, com os dados obtidos do ERDAS 2016, foram produzidos mapas para a representação de uma forma visualmente atrativa que possibilitasse



uma melhor interpretação por parte dos gerentes e gestores dos municípios e de órgãos como o *Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas* (SEBRAE), que realizam o apoio ao micro e pequeno empresário. O SEBRAE é um agente de capacitação e de promoção do desenvolvimento, criado para dar apoio aos pequenos negócios de todo o Brasil (SEBRAE, 2018). Cooperativas da região, como a *Associação de Produtores de Limão e outras frutas da Região do Jaíba* (ASLIM), também poderão estar como parte interessada. A ASLIM promove o desenvolvimento econômico e social da região ao receber todo o limão dos produtores e comercializá-lo de forma organizada e sustentável nos mercados interno e externo (ASLIM, 2018).

## 4 Análise dos Resultados

No capítulo que segue, descrever-se-á o processo de coleta das imagens dos satélites Landsat 5 e Landsat 8 junto ao USGS, os passos necessários para o processamento dos dados coletados das imagens através do software ERDAS e o mapeamento dos dados processados no ArcGIS.

### 4.1 Coleta das imagens dos satélites Landsat 5 e Landsat 8

Primeiramente fez-se o acesso ao portal EarthExplorer na internet, mantida pela USGS através do endereço <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Logo na página principal do portal, os critérios de busca são solicitados. Esta etapa é pedida para se saber quais as imagens que serão adquiridas. É exibido um mapa-múndi na tela e, além disso, são disponibilizados outros campos de entrada de dados como a localidade, coordenadas, órbita/ponto e o intervalo de data de coleta das imagens.

Para a definição da área de interesse do trabalho, foi utilizada a modalidade de órbita e ponto definido pelo WRS. A seção em que estão incluídas as regiões de Jaíba e Gorutuba está identificada pela órbita 218 e pelo ponto 71. A Figura 23 ilustra como é feita a entrada dos dados na plataforma da USGS.

A imagem mostra uma janela de diálogo de busca com quatro abas: 'Address/Place', 'Path/Row', 'Feature' e 'Circle'. A aba 'Path/Row' está selecionada. Dentro dela, há duas sub-abas: 'Point' (selecionada) e 'Polygon'. Abaixo, há um campo 'Type' com o valor 'WRS2' e uma seta para baixo, um campo 'Path' com o valor '218' e um campo 'Row' com o valor '71'. Na base da janela, há dois botões: 'Show' e 'Clear'.

Figura 23 – Definição da área de interesse no mapa.

Fonte: USGS (2018c).

O próximo passo foi definir o intervalo de datas de extração das imagens. Como o objetivo deste trabalho é estabelecer um paralelo entre os anos 2017/2018 e 2007/2008, definiu-se a data inicial em 01 de janeiro de 2007 e a data final em 31 de dezembro de 2018.

Com a área e o intervalo de datas estabelecidos, definiu-se, em seguida, o conjunto de dados para a busca. O conjunto de dados de interesse do trabalho diz respeito ao Landsat 5 e ao Landsat 8. Nos campos disponíveis foram escolhidos as opções (ilustrado Figura 24):

- Landsat 4-5 TM C1 Level-1; e
- Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level-1

Foram escolhidos os satélites Landsat 5 e Landsat 8, representados no seu 1º nível. Foi escolhido este nível pois os demais já possuem cálculos e correções embutidos neles, o que inviabilizaria a análise proposta neste trabalho.

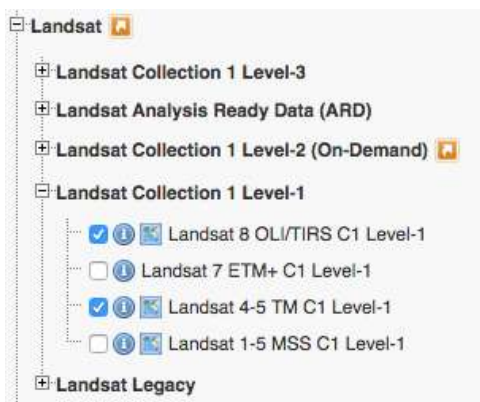


Figura 24 – Definição do conjunto de dados para a busca.  
Fonte: USGS (2018c).

A etapa seguinte foi a definição dos critérios adicionais para a busca das imagens. Para isto, definiu-se novamente a órbita 218 e o ponto 71 para o refinamento da busca. Feito isto, bastou executar a busca e ir para os resultados, onde as imagens encontradas com os critérios estabelecidos foram exibidas (Figura 25).



Figura 25 – Resultado da busca, conforme critérios estabelecidos.  
Fonte: USGS (2018c).

É nesta etapa que foram executadas as escolhas das melhores imagens para serem trabalhadas. Priorizaram-se as escolhas daquelas imagens que não possuíssem ruídos e/ou nuvens por cima da área de interesse. Para isto, abriu-se cada imagem que o resultado forneceu para avaliar se haveria a condição de realizar uma análise ou não sobre ela.

Como etapa final do processo de captura, foi realizado o download das imagens candidatas para o trabalho, a serem melhor analisadas para a escolha dos períodos definitivos.

No processo de seleção e coleta das melhores imagens no site do EarthExplorer, mantido pela USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>), baixou-se um total de 44 imagens no período de 2002 a 2012 do satélite Landsat 5 e de 25 imagens no período de 2013 a 2019 do satélite Landsat 8, perfazendo um total de 69 imagens.

## 4.2 Seleção e preparação das imagens dos satélites a serem utilizadas

Selecionaram-se, para apresentação, análise e discussão dos resultados desse trabalho, duas imagens do Landsat 8 de 04 de agosto de 2017 e de 12 de fevereiro de 2018, representando, respectivamente, os períodos seco e úmido, com base no balanço hídrico climatológico para as regiões de Jaíba (Mocambinho) e Janaúba (Gorutuba), conforme indicam as Figuras 19 e 20. Da mesma forma, para a realização de uma análise temporal dentro de um período de 10 anos atrás, escolheram-se também duas imagens do Landsat 5 de 25 de agosto de 2007 e de 17 de fevereiro de 2008, representando, respectivamente, os períodos seco e úmido. Os dados dessas quatro imagens de satélites e os modelos que definem radiância, reflectância, índices de vegetação, emissividade, temperatura da superfície e albedo foram processados no software ERDAS Imagine 2016. Os mapas temáticos finais de uso e ocupação do solo para as regiões de Jaíba e Gorutuba foram processados e gerados no ArcGIS 10.1.

Observa-se na Figura 26 como é a imagem colorida capturada do satélite Landsat 8. A captura do satélite Landsat 5 possui as mesmas características, porém com menor resolução. A captura desta cena foi uma das utilizadas neste trabalho, do dia 04 de agosto de 2017, durante o período seco. Nota-se a ausência de nuvens na imagem, o que facilita a análise desta. Já na Figura 27, há a localização da imagem capturada do satélite Landsat 8 (Figura 26) em relação à divisão política dos estados brasileiros na região norte de Minas Gerais. A referência do sistema global da imagem (WRS) está definido pela órbita 218 e pelo ponto 71.

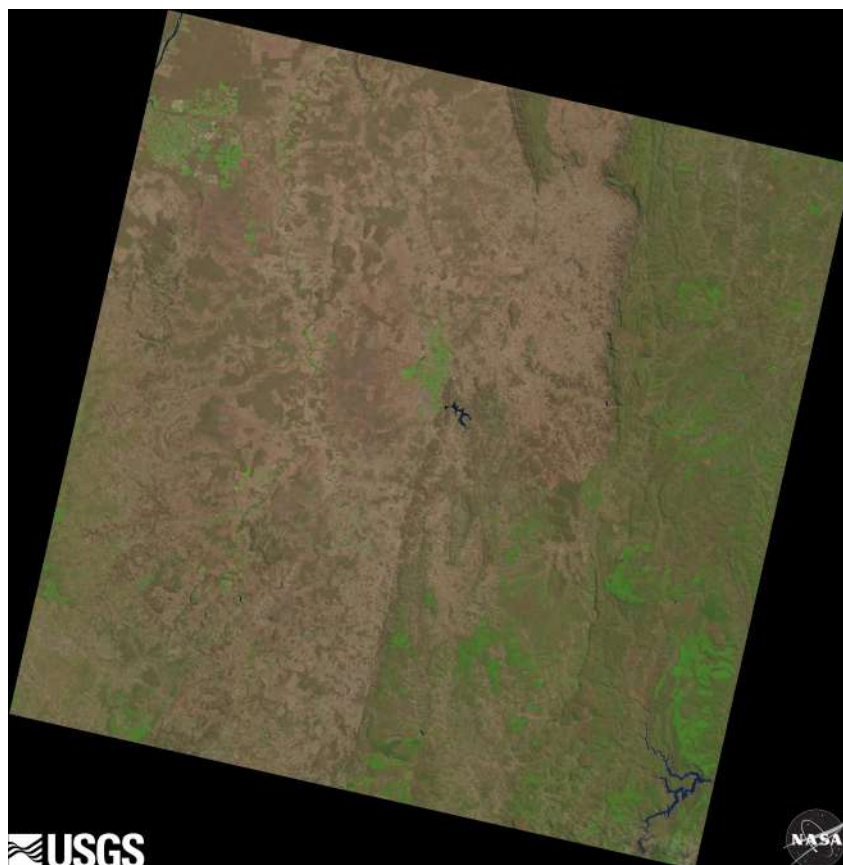


Figura 26 – Imagem colorida capturada pelo satélite Landsat 8 no dia 04/08/2017 - WRS 218/71.

Fonte: USGS (2018c); NASA (2019).

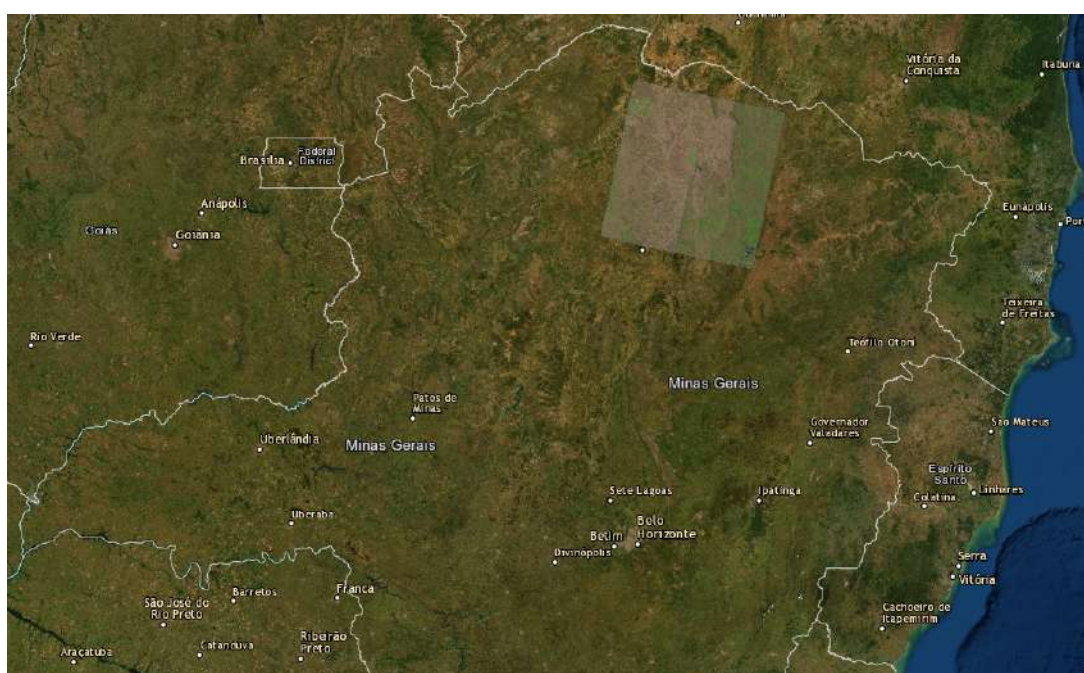


Figura 27 – Localização da imagem capturada do satélite Landsat 8 no dia 04/08/2017 - WRS 218/71.

Fonte: USGS (2018c); NASA (2019); ESRI (2019).

Das imagens obtidas e utilizadas neste trabalho, recortaram-se áreas na região de Jaíba e de Gorutuba de formas distintas para serem trabalhadas, pois a região capturada pelos satélites Landsat 5 e Landsat 8 abrange um território muito extenso. Uma escala menor favorece uma visualização mais apurada do objeto a ser estudado.

### 4.3 Elaboração dos modelos que foram utilizados

O editor de modelagem espacial (Spatial Model Editor) do ERDAS Imagine 2016 foi utilizado para inserir os modelos que definem radiância (equações 3.1 e 3.2), reflectância no topo da atmosfera (equações 3.3 e 3.4), reflectância da superfície (equações 3.7 e 3.8), índices de vegetação (NDVI, SAVI e LAI - equações 3.10, 3.11 e 3.12), emissividade da superfície (equações 3.13 e 3.14), temperatura da superfície (equação 3.15), albedo no topo da atmosfera (equações 3.16 e 3.17) e albedo da superfície (equação 3.22). Esse editor forneceu uma arquitetura de processamento robusta, que permitiu que ele suportasse um conjunto avançado de operadores de recursos e de nuvem de pontos, além das funções *raster* tradicionais de dados de imagens por meio de sua tela em branco e do conjunto de ferramentas para construir os respectivos modelos, arrastando e soltando os operadores do editor nessa tela e, em seguida, conectando suas entradas e saídas conforme mostrado nos APÊNDICES A e B, para o tratamento dos dados das imagens do Landsat 5 e 8 respectivamente.

### 4.4 Execução dos modelos

Os primeiros dados obtidos foram das imagens de cada uma das bandas de nível 1 ou "brutas" dos satélites Landsat 5 e 8, cujos valores se encontram em *Números Digitais* (ND), o que demandou um primeiro processamento no ERDAS Imagine 2016, com a execução dos modelos para converter esses valores em radiância e reflectância e realizar as devidas correções da interferência atmosférica (APÊNDICES A e B). As imagens de radiância espectral (em  $W.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$ ) foram processadas para cada banda, ou seja, bandas 1 a 7 (banda 6 a termal) do Landsat 5 e bandas 2 a 7 e 10 (Termal) do Landsat 8. O processamento das imagens de reflectância no topo da atmosfera e da superfície foi realizado com as mesmas bandas para os dois satélites, exceto a banda termal.

Para realizar uma análise de vegetação, as Figuras 28, 29, 30 e 31, mostram uma combinação de bandas de reflectância da superfície mais comum, usada para criar composições RGB (falsa cor), que diferem do Landsat 8 (bandas 6, 5, 4) e Landsat 5 (bandas 5, 4, 3), para os períodos seco (25/08/2007 e 04/08/2017) e úmido (17/02/2008 e 12/02/2018) dos projetos Jaíba e Gorutuba e da hidrografia da região.

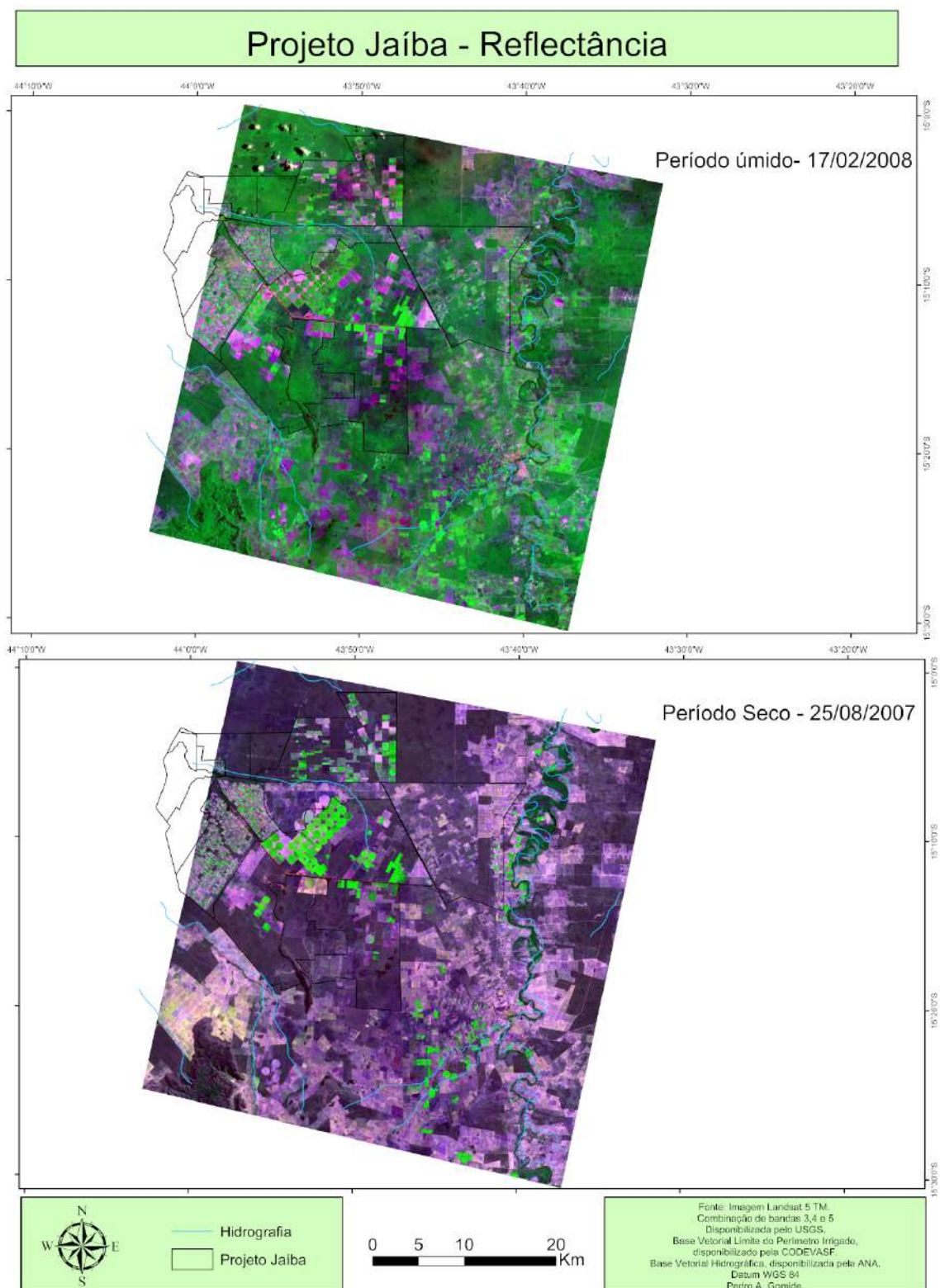


Figura 28 – Mapa de composição das bandas RGB (falsa cor, 5-4-3 do Landsat 5) de reflectância da superfície para o período seco (25/08/2007) e úmido (17/02/2008) do projeto Jaíba e da hidrografia da região.

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.



Figura 29 – Mapa de composição das bandas RGB (falsa cor, 6-5-4 do Landsat 8) de reflectância da superfície para o período seco (04/08/2017) e úmido (12/02/2018) do projeto Jaíba e da hidrografia da região.

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.



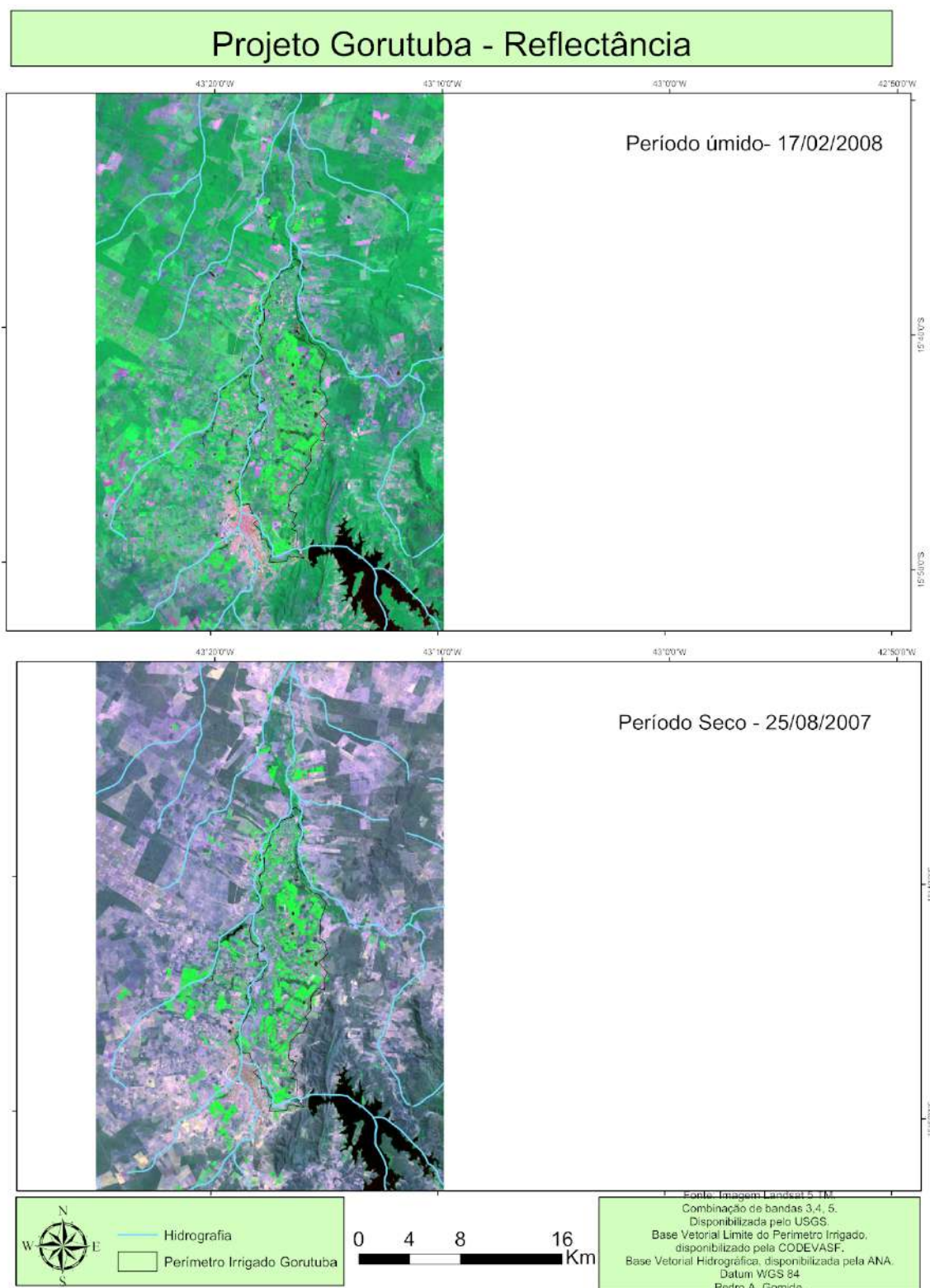


Figura 30 – Mapa de composição das bandas RGB (falsa cor, 5-4-3 do Landsat 5) de reflectância da superfície para o período seco (25/08/2007) e úmido (17/02/2008) do projeto Gorutuba e da hidrografia da região.  
 Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

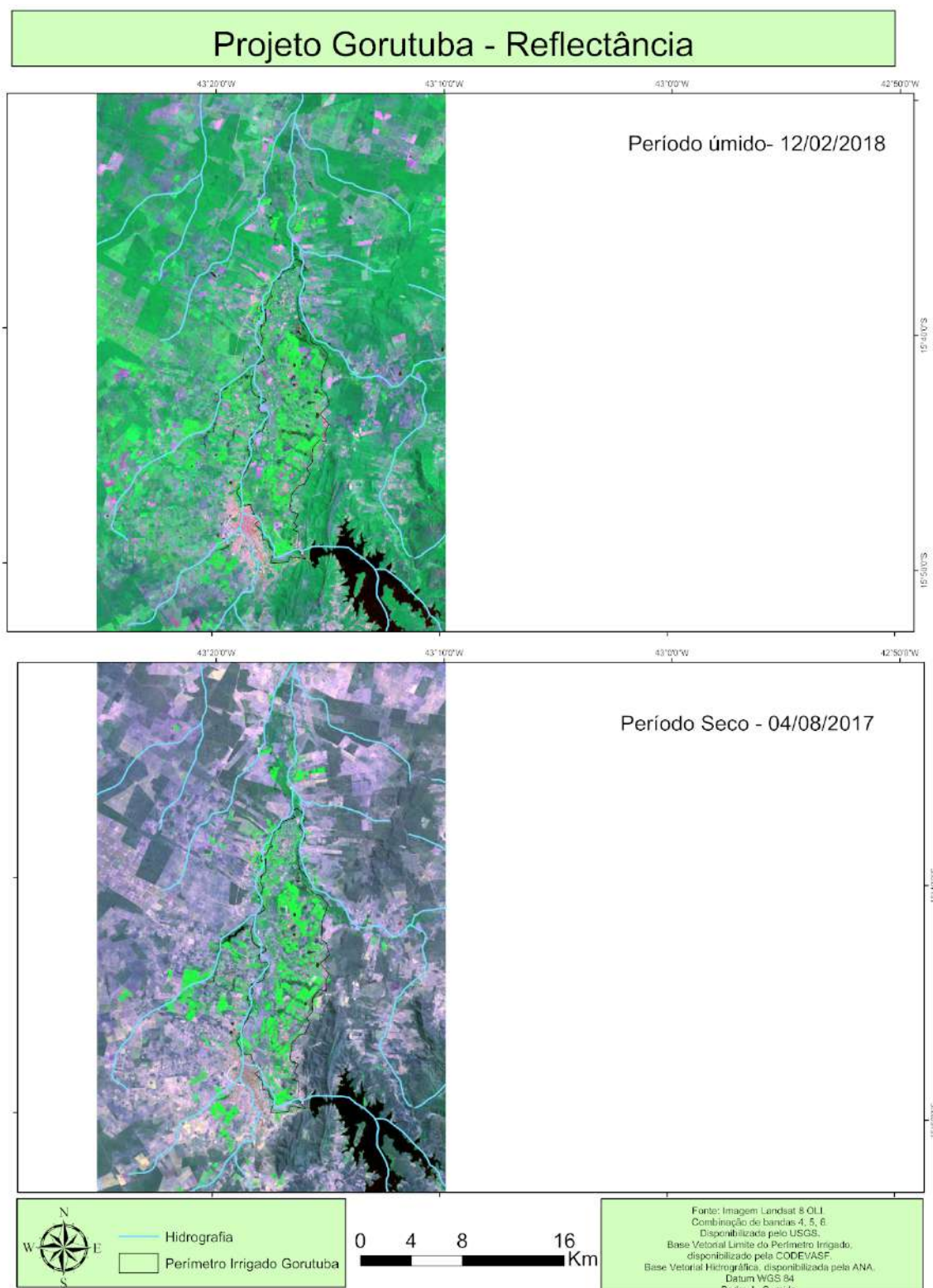


Figura 31 – Mapa de composição das bandas RGB (falsa cor, 6-5-4 do Landsat 8) de reflectância da superfície para o período seco (04/08/2017) e úmido (12/02/2018) do projeto Gorutuba e da hidrografia da região.

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

Estas composições de bandas permitem uma primeira análise e diferenciação de vegetação e de hidrografia devido ao contraste criado entre as colorações. A rede

hidrográfica e reservatórios de água das regiões dos projetos de Jaíba e Gorutuba estão bem expostas e definidas na cor azul e escura respectivamente. Essas duas regiões vêm sofrendo subsequentes períodos de déficit hídrico na sequência de dez anos analisada, principalmente entre os meses de maio e outubro, em que se concentra mais o período de seca (Figuras 19 e 20). Observa-se nas Figuras 30 e 31 que houve uma redução no espelho d'água da barragem Bico da Pedra (cor escura). Os projetos de irrigação de Jaíba e Gorutuba apresentam-se na cor verde fluorescente, sendo que estão mais evidenciados no período seco, como era de se esperar (Figuras 28, 29, 30 e 31). Também, nota-se um aumento da área irrigada por pivô central no projeto Jaíba de 2007/2008 para 2017/2018 (Figuras 28 e 29). Mesmo no período úmido, as cores roxa-claro e roxa-escuro indicam, respectivamente, que algumas glebas/áreas não foram plantadas (solos expostos) ou são de pastagens degradadas nos dois projetos, Jaíba e Gorutuba (Figuras 28, 29, 30 e 31). Já as demais áreas nas cores verde, escuro e claro representam, respectivamente, vegetação natural (arbórea ou arbustiva) e pastagens bem formadas.

A partir das imagens de reflectância da superfície, procedeu-se também no ERDAS Imagine 2016 o processamento das imagens de índices de vegetação (NDVI, SAVI e LAI), com a execução dos respectivos modelos dos APÊNDICES A-4 a A-6 e B-4 a B-6. Por último, utilizou-se esse mesmo software para executar os modelos espaciais de emissividade da superfície, temperatura da superfície, albedo no topo da atmosfera e albedo da superfície (APÊNDICES A-7 a A-10 e B-7 a B-10), obtendo-se as respectivas imagens processadas, as quais foram classificadas posteriormente.

## 4.5 Classificação das imagens

Antes da classificação das imagens processadas de índices de vegetação (NDVI, SAVI e LAI), temperatura da superfície e albedo da superfície, foi utilizado o subconjunto raster (mapa de bits) do ERDAS Imagine 2016 para criar arquivos de imagens recortadas, dividindo em duas partes os arquivos originais das imagens processadas, que são muito grandes, em arquivos também raster de imagens recortadas menores, com o objetivo de incluir apenas as áreas de interesse ou *Areas of Interest* (AOI) envolvendo as regiões dos projetos Jaíba e Gorutuba. Para isso foram usadas as ferramentas de retângulo e polígono de desenho raster e das coordenadas da caixa de consulta junto com o visualizador da imagem, orientado para o seu sistema de mapas. Com esse procedimento, criaram-se duas AOI, uma para o projeto Gorutuba e outra para o projeto Jaíba, as quais não apenas eliminaram os dados irrelevantes nos arquivos originais das imagens, mas também aceleraram o processamento das imagens recortadas, devido à menor quantidade de dados a serem processados. Vale ressaltar que a opção para ajustar as bordas de pixel das imagens de saída recortadas para

alinhar às imagens raster foi ativada.

O algoritmo ISODATA foi usado para realizar uma classificação não supervisionada das imagens recortadas com o ERDAS Imagine 2016. Esse algoritmo utiliza uma técnica de análise de dados iterativa e auto-organizadora. É iterativo na medida em que executa repetidamente uma classificação inteira, gerando uma camada de raster temática e recalculando as estatísticas. A auto-organização refere-se ao modo como localiza os agrupamentos inerentes aos dados, usando no agrupamento das classes uma fórmula mínima de distância espectral para formar agrupamentos; iniciando com médias de agrupamento arbitrárias ou os meios de um conjunto de assinaturas existente e, cada vez que o agrupamento se repete, os meios desses agrupamentos são deslocados. Os novos meios de agrupamento são usados para a próxima iteração. O método ISODATA repete o agrupamento da imagem até que um número máximo de iterações seja executado ou uma porcentagem máxima de pixels inalterados seja atingida entre duas iterações. A imagem de saída usa o esquema de cores da imagem de entrada se o agrupamento inicial for arbitrário.

As imagens processadas recortadas de índices de vegetação (NDVI, SAVI e LAI), temperatura da superfície e albedo da superfície das regiões dos projetos Jaíba e Gortuba foram agrupadas em seis classes para, posteriormente, serem elaborados no software ArcGIS 10.1 as imagens dos mapas temáticos finais de uso e ocupação do solo.

## 4.6 Geração dos mapas a partir das imagens classificadas

Os mapas temáticos finais de uso e ocupação do solo para as regiões das imagens recortadas de Jaíba e Gortuba foram processados e gerados no ArcGIS 10.1.

### 4.6.1 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

O NDVI foi usado neste trabalho para a análise do tratamento da informação espacial de mudanças sazonais e interanuais da atividade e do desenvolvimento da vegetação no estabelecimento e definição do uso e ocupação do solo, a partir de imagens de satélites recortadas na região dos projetos Jaíba e Gortuba em Minas Gerais.

Os valores de NDVI variam entre -1 e +1, onde os valores negativos estão associados a massas e cursos d'água, nuvens e neve, porque possuem reflectâncias maiores na banda do vermelho em relação ao infravermelho próximo, valores positivos muito próximos a 0 (zero) estão relacionados a solos expostos devido aos valores similares de refletância nas bandas do vermelho e do infravermelho próximo, e valo-

res positivos relacionam-se com a vegetação, onde quanto mais próximo de +1 mais vigorosa e densa é a vegetação (ROSENDO, 2005).

As Figuras 32, 33, 34 e 35 mostram os mapas temáticos de tratamento da distribuição espacial de imagens classificadas de NDVI com as mudanças sazonais e interanuais nos períodos seco (25/08/2007 e 04/08/2017) e úmido (17/02/2008 e 12/02/2018) dos projetos Jaíba e Gortuba, respectivamente, e também da hidrografia dessas regiões. Verifica-se que, nos dois períodos, seco e úmido, dos diferentes anos, ocorreram valores negativos de NDVI, menor do que zero, que podem ser observados nos mapas na cor azul, representando massas e cursos d'água e nuvens. A formação de nuvens ocorreu ao sul e norte da imagem de Jaíba no período seco em 25/08/2007 e os principais cursos d'água nas imagens são os rios São Francisco (visível apenas na imagem de Jaíba em 04/08/2017 e 12/02/2018) e Verde Grande em Jaíba e os rios Gortuba e Mosquito nas imagens de Gortuba. Nas Figuras 34 e 35, observa-se a barragem Bico da Pedra, onde é verificada uma redução no espelho d'água quando é comparada a variação interanuais 2007/2008 a 2017/2018, devido à sequência de seca que ocorreu na região do projeto Gortuba (Figuras 19 e 20).

Valores de  $NDVI \geq 0,35$  (sendo o máximo de 0,85) das classes nas cores verde-claro, verde e verde-escuro foram encontrados nos períodos úmidos (17/02/2008 e 12/02/2018) e representam a vegetação mais vigorosa e viçosa da agricultura irrigada, pastagem e vegetação nativa, que ocorrem predominantemente nos projetos de irrigação de Jaíba e Gortuba e ao longo dos cursos de água já mencionados, nas áreas irrigadas às margens de canais de irrigação, das barragens e açudes, aproveitando-se também da melhor distribuição de chuvas nas áreas fora dos perímetros irrigados, com uma maior oferta de água no solo (Figuras 32, 33, 34 e 35). Por isso é que ocorre uma predominância dessas três classes de cores nas imagens do período úmido. Em contrapartida, a predominância dessas mesmas três classes de cores nas imagens dos períodos secos (25/08/2007 e 04/08/2017) está mais nítida e restrita às áreas dentro dos perímetros irrigados de Jaíba e Gortuba e algumas áreas menores irrigadas esparsas às margens de barragens, açudes e rios. Nos períodos secos, ao longo dos 10 anos, observa-se que ocorreu uma redução da área irrigada em Gortuba (devido à restrição hídrica imposta pela seca na barragem Bico da Pedra) e uma ampliação da área irrigada em Jaíba (Figuras 32 e 33).

As classes de valores de NDVI próximos a zero (0) e abaixo de 0,20 na cor laranja estão relacionadas às áreas de solos expostos ou com pouca vegetação (bem menos densa ou rala). As áreas de vegetação seca ou pastagem degradada estão representadas pelas classes de valores de NDVI na faixa de 0,2 a 0,35 na cor amarela. Verifica-se uma predominância dessas duas classes nos mapas de imagens classificadas dos períodos secos para os dois projetos estudados (32, 33, 34 e 35).

Os resultados obtidos referentes aos valores de NDVI estão condizentes com valores de NDVI encontrados na literatura para áreas de Caatinga de regiões semiáridas do nordeste brasileiro conforme Bezerra et al. (2014), Silva, A., Silva, R. e Silva, B. (2014) e Silva e Galvíncio (2012). Além desses autores, Albuquerque et al. (2014) em suas análises sobre o comportamento do NDVI sob diferentes intensidades pluviométricas em Sousa–PB, constataram que o NDVI apresentou valores variando entre 0,01 a 0,29 em áreas de solo exposto e vegetação esparsa; enquanto os intervalos entre 0,3 e 0,5 representam vegetação menos densa; e os maiores que 0,5 indicam que a vegetação é verde e apresenta um bom estado fenológico, sendo a vegetação mais densa representada pelo NDVI superior a 0,7. Boratto (2012) também obteve valores negativos de NDVI para a região do projeto irrigado de Gorutuba, no Norte de Minas Gerais, onde também em dois períodos, seco e úmido, encontrou valores negativos de NDVI, representando corpos hídricos e cursos d'água. Predominantemente em imagens de período seco, Boratto (2012) obteve valores de NDVI muito próximos a zero, o que caracterizou uma vegetação, seca, rala ou mesmo um solo exposto. A mesma autora também encontrou valores maiores de NDVI, na faixa de 0,48 - 0,81, representando vegetação mais verde e vigorosa, com maior ocorrência dentro da área irrigada de Gorutuba e nas áreas úmidas fora do perímetro irrigado na ocasião de ocorrência de chuvas.

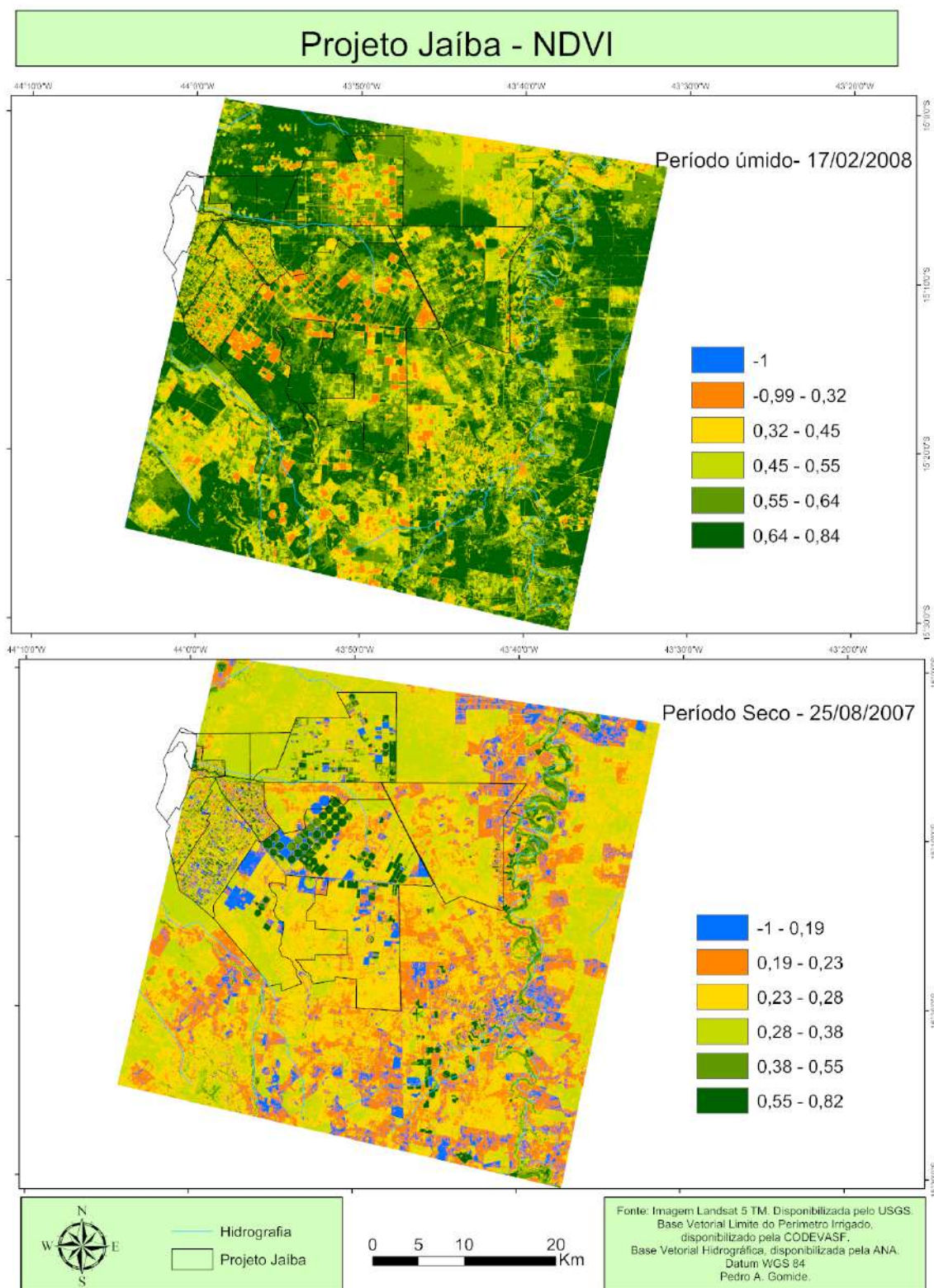


Figura 32 – Mapa temático de tratamento da distribuição espacial de imagens classificadas de índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) com as mudanças sazonais e interanuais nos períodos seco (25/08/2007) e úmido (17/02/2008) do projeto Jaíba e da hidrografia da região.

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

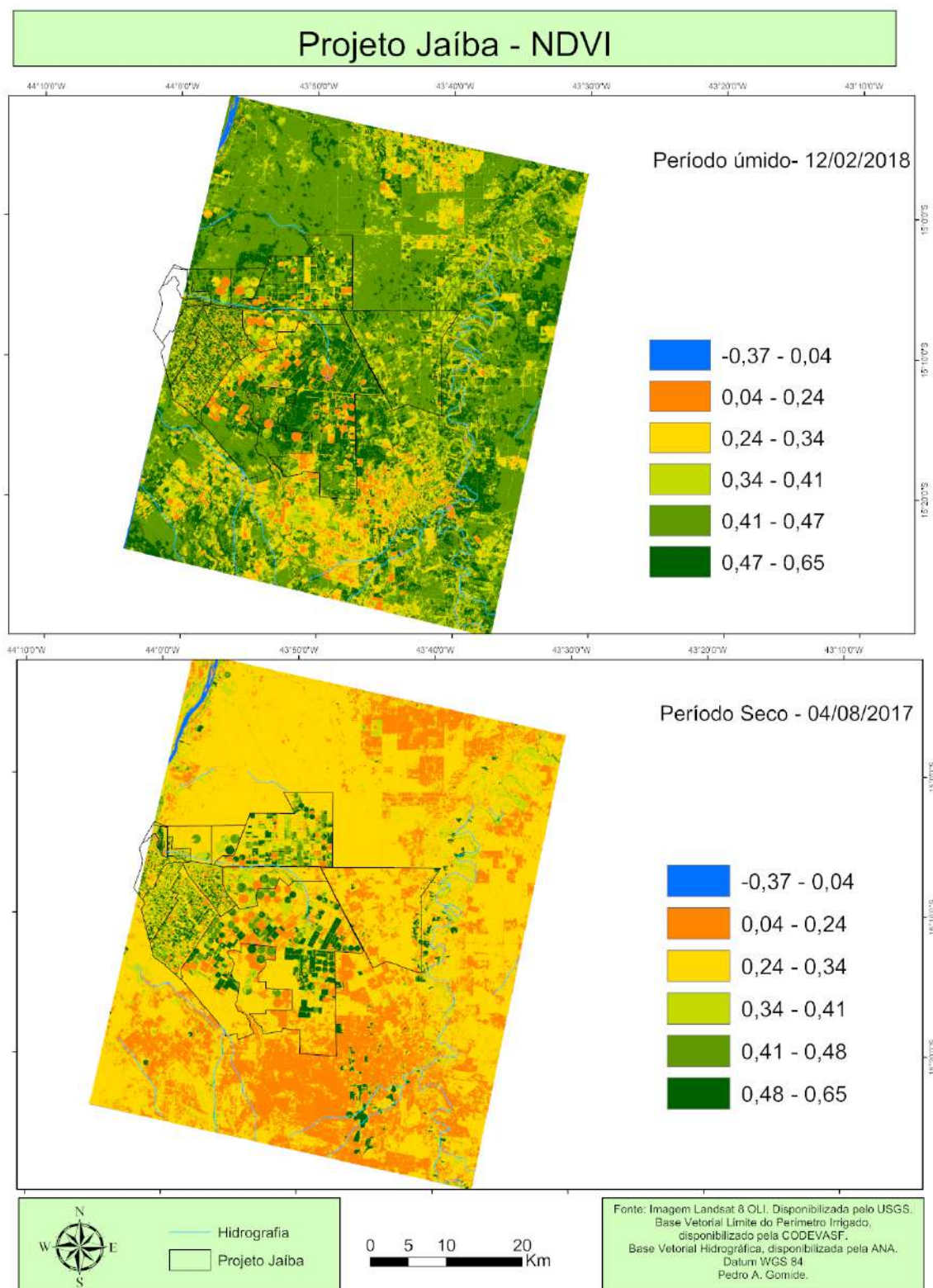


Figura 33 – Mapa temático de tratamento da distribuição espacial de imagens classificadas de índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) com as mudanças sazonais e interanuais nos períodos seco (04/08/2017) e úmido (12/02/2018) do projeto Jaíba e da hidrografia da região.

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.



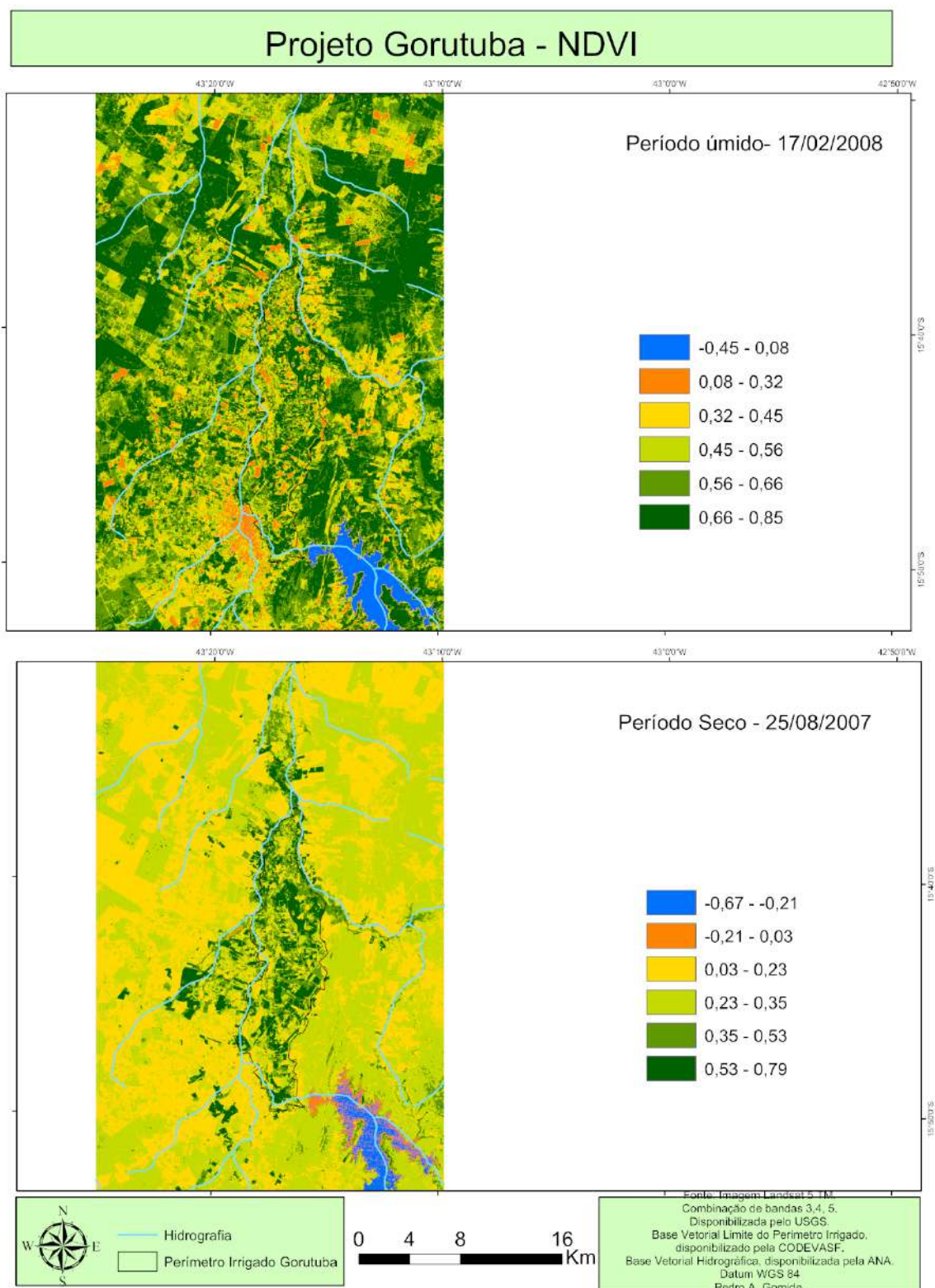


Figura 34 – Mapa temático de tratamento da distribuição espacial de imagens classificadas de índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) com as mudanças sazonais e interanuais nos períodos seco (25/08/2007) e úmido (17/02/2008) do projeto Gorutuba e da hidrografia da região.

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

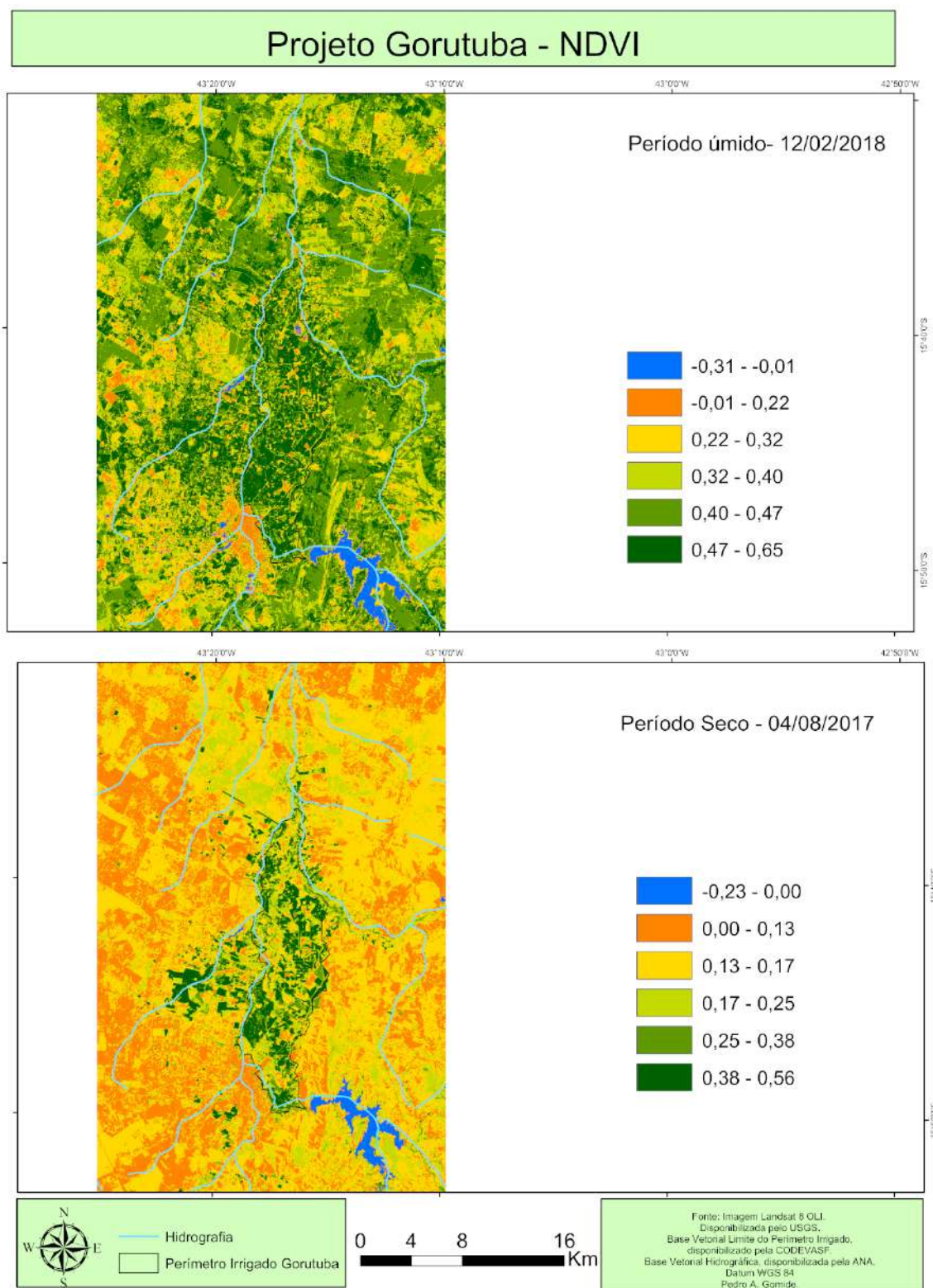


Figura 35 – Mapa temático de tratamento da distribuição espacial de imagens classificadas de índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) com as mudanças sazonais e interanuais nos períodos seco (04/08/2017) e úmido (12/02/2018) do projeto Gorutuba e da hidrografia da região.

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

Nas áreas dos projetos Jaíba e Gorutuba foram identificadas seis classes de

uso e ocupação do solo com base nos mapas temáticos de tratamento da distribuição espacial de imagens classificadas de NDVI com as mudanças sazonais (períodos seco e úmido) e interanuais (Figuras 32 a 35), a saber:

1. azul - recursos hídricos: água de reservatórios, barragens, cursos d'água, rios, canais de irrigação;
2. laranja - solos expostos ou com pouca vegetação (bem menos densa ou rala);
3. amarelo - mata seca ou pastagem degradada;
4. verde-claro - vegetação herbácea/arbustiva, menos densa;
5. verde - agricultura irrigada, vegetação representada por culturas anuais ou perenes; e
6. verde-escuro - vegetação bem mais densa arbórea.

A partir da classificação não supervisionada do ERDAS Imagine 2016, na guia *Table* foi adicionada uma coluna correspondente à área ocupada de cada classe nesta tabela de atributos de varredura de todas as classes, em Km<sup>2</sup>, e os respectivos percentuais de cada classe das cenas estudadas, com o propósito de se analisarem as transformações ocorridas, conforme mostra a Tabela 3. A área total das diferentes cenas do projeto Jaíba foram diferentes devido aos cortes realizados de forma diferenciada nas bordas das imagens a fim de eliminar os pixels extremos ruins, uma vez que a localização deste projeto caiu no extremo noroeste das referidas imagens. Para a elaboração das bases cartográficas, foram utilizados os limites vetoriais dos projetos Jaíba e Gortuba, disponibilizados pela CODEVASF, e da hidrografia, disponibilizados pela ANA, em formato de *shapefiles*. O processamento dos dados matriciais e vetoriais foram realizados no ArcGIS, no sistema de projeção UTM, Datum WGS84 e Zona 23 Sul.

A Tabela 3 e as Figuras 32 a 35 mostram a distribuição espacial do uso e ocupação dos solos nos projetos Jaíba e Gortuba para realização de uma análise das transformações sazonais e interanuais com base no NDVI. Observou-se que as classes correspondentes às áreas de solos expostos ou com pouca vegetação, bem menos densa ou rala (laranja), de mata seca ou pastagem degradada (amarelo) e de vegetação herbácea/arbustiva, menos densa (verde-claro) foram os principais usos e ocupações dos solos existentes no período seco, com maiores áreas e percentuais de ocupação. As classes representando os recursos hídricos (azul), a agricultura irrigada, com culturas anuais ou perenes (na cor verde), e a vegetação bem mais densa arbórea (na cor verde-escuro) tiveram os menores percentuais de ocupação, ou seja, com as

menores áreas nesse mesmo período. Percebeu-se ainda que no período seco houve uma maior concentração de áreas representando as duas classes nas cores verde e verde-escuro apenas nas áreas delimitadas pelos perímetros irrigados dos projetos Jaíba e Gorutuba.

A situação inverteu-se nas cenas dos períodos úmidos, onde se nota um aumento dos percentuais das áreas correspondentes às classes de cores verde e verde-escuro, indicando que houve substituição das áreas de solo exposto, mata seca e pastagem degradada, com pouca vegetação, pelas áreas caracterizadas das classes de vegetação mais verde, bem mais densa (Tabela 3 e Figuras 32 a 35).

Classes	Período Seco 25/08/2007		Período Úmido 17/02/2008		Período Seco 04/08/2017		Período Úmido 12/02/2018	
	Área		Área		Área		Área	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Jaíba								
1	170,37	8,10	202,75	8,50	192,94	6,70	206,01	7,40
2	445,38	21,20	321,40	13,50	767,08	26,80	364,36	13,10
3	491,86	23,40	361,56	15,20	1016,16	35,40	458,91	16,50
4	662,69	31,50	479,39	20,10	566,16	19,70	779,85	28,00
5	210,55	10,00	594,37	24,90	187,02	6,50	714,24	25,60
6	124,20	5,90	423,80	17,80	137,61	4,80	266,27	9,50
Total	2105,05	100,00	2383,27	100,00	2866,97	100,00	2789,64	100,00
Gorutuba								
1	32,54	2,60	60,28	4,80	11,89	1,00	23,14	1,90
2	269,72	21,70	212,93	17,10	366,25	29,40	177,92	14,30
3	380,98	30,60	221,21	17,80	439,44	35,30	257,62	20,70
4	364,57	29,30	226,55	18,20	285,19	22,90	330,03	26,50
5	120,43	9,7	272,78	21,90	81,12	6,50	325,53	26,20
6	76,09	6,10	250,58	20,10	60,44	4,90	130,09	10,50
Total	1244,33	100,00	1244,33	100,00	1244,33	100,00	1244,33	100,00

Tabela 3 – Áreas em Km<sup>2</sup> e % do uso e ocupação dos solos dos projetos Jaíba e Gorutuba para análise das transformações sazonais e interanuais ocorridas.  
Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

Ao longo de 10 anos, quando se comparam os períodos secos da Tabela 3 e das Figuras 32 a 35, verifica-se que houve um crescimento do adensamento das áreas de solos expostos ou com pouca vegetação, bem menos densa ou rala e de mata seca ou pastagem degradada da ordem de 4,7% e 7,7% e de 12,0% e 5,6% para Jaíba e Gortuba respectivamente. Esses resultados são o reflexo de uma aceleração das taxas do processo de seca na região do Norte de Minas. Com relação à classe de vegetação bem mais densa arbórea (verde-escuro), percebeu-se uma pequena redução das áreas de ocupação do período seco da ordem de 1,1% e 1,2% para Jaíba e Gortuba, respectivamente, sendo que essa redução foi mais marcante no período úmido, da ordem de 8,3% e 9,6% para Jaíba e Gortuba respectivamente.

#### 4.6.2 Soil-adjusted Vegetation Index (SAVI)

Os mapas temáticos de tratamento da distribuição espacial de imagens classificadas de SAVI com as mudanças sazonais e interanuais nos períodos seco (25/08/2007 e 04/08/2017) e úmido (17/02/2008 e 12/02/2018) dos projetos Jaíba e Gortuba e da hidrografia dessas regiões estão representados nas Figuras 36, 37, 38 e 39. Observa-se que os valores de SAVI exibiram resultados bem similares aos do NDVI, devido ao fato de se tratar de um índice adaptado do NDVI, ajustado para amenizar os efeitos de fundo de solos expostos (inserção da constante L na equação 3.11). As diferenças são mais identificadas e realçadas principalmente na identificação de áreas de solo exposto e vegetação esparsa nas cenas do tratamento da distribuição espacial de imagens classificadas dos períodos úmidos, onde ocorre a predominância de vegetação verde de maior vigor vegetativo.

Nas cenas das imagens dos períodos úmidos (17/02/2008 e 12/02/2018) foram obtidos valores de SAVI maiores (no geral  $\geq 0,27$  sendo o valor máximo de 0,65), conforme mostrado nas classes de cores verde-claro, verde e verde-escuro, que representam a vegetação mais verde e densa da agricultura irrigada, pastagem e vegetação nativa, que ocorrem nos projetos de irrigação tanto de Gortuba como de Jaíba e também ao longo dos cursos de água, nas áreas irrigadas às margens de canais de irrigação, das barragens e açudes, por último nas áreas de melhor distribuição de chuvas fora dos perímetros irrigados (Figuras 36, 37, 38 e 39). É nítido, nas imagens do período úmido, o domínio dessas três classes de cores. Por outro lado, verifica-se que o domínio dessas mesmas três classes de cores, nas imagens dos períodos secos (25/08/2007 e 04/08/2017), está mais concentrado nas áreas de dentro dos perímetros irrigados de Jaíba e Gortuba e algumas áreas menores irrigadas esparsas às margens de barragens, pequenos açudes e rios. Nos períodos secos dos mapas temáticos da distribuição espacial do SAVI, ao longo dos 10 anos, observa-se ainda mais que ocorreu uma redução da área irrigada em Gortuba (devido à restrição hídri-

cas imposta pela seca na barragem Bico da Pedra) e uma ampliação da área irrigada em Jaíba (Figuras 36, 37, 38 e 39).

As áreas de vegetação seca ou pastagem degradada nos mapas temáticos de SAVI das Figuras 36, 37, 38 e 39 estão representadas pelas classes de valores nas cores amarela na faixa de 0,15 a 0,27. Já as classes nas cores laranja de valores de SAVI próximo à zero (0) e abaixo de 0,15 estão relacionadas às áreas de solos expostos ou com muito pouca vegetação.

Verifica-se que ocorreram valores negativos de SAVI (menor do que zero) nos dois períodos, seco e úmido, dos diferentes anos, que podem ser observados nas cores azul dos mapas temáticos das Figuras 36, 37, 38 e 39, representando massas e cursos d'água e nuvens. A formação de nuvens ocorreu ao sul e norte da imagem de Jaíba, no período seco em 25/08/2007, e os principais cursos d'água nas imagens são os rios São Francisco (visível apenas na imagem de Jaíba em 04/08/2017 e 12/02/2018) e Verde Grande em Jaíba e os rios Gorutuba e Mosquito nas imagens de Gorutuba. Nas Figuras 38 e 39, observa-se a barragem Bico da Pedra, onde é verificada uma redução no espelho d'água quando é comparada à variação interanual 2007/2008 a 2017/2018, devido à sequência de seca que ocorreu na região do projeto Gorutuba (Figuras 19 e 20).

Os resultados encontrados nos mapas temáticos de tratamento da distribuição espacial de SAVI são compatíveis com os obtidos por Gomes et al. (2013), Ramos et al. (2011) e Rêgo et al. (2012), que também encontram valores aproximados de SAVI nas feições recursos hídricos, solo exposto e vegetação aqui discutidas. Na investigação sobre o uso dos solos, índices de vegetação e degradação na *Área de Proteção Ambiental (APA)* das Onças no estado da Paraíba, Monteiro (2013) apresenta as áreas de vegetação de Caatinga com valores de SAVI entre 0,33 a 0,52; Mata Serana com 0,52 a 0,61; e acima de 0,61 com vegetação de Brejo de Altitude, valores bem próximos para as áreas recobertas de Jaíba e Gorutuba. Silva e Galvêncio (2012) em análise comparativa da variação nos índices SAVI no município de Petrolina-PE, Silva e Galvêncio (2012) destacam a eficiência do SAVI, principalmente em áreas mais densamente vegetadas, comprovaram que o SAVI possui confiabilidade para os períodos secos do semiárido e em imagens de outubro de 2001 e 2005 obtiveram valores concentrando-se entre 0,40 e 0,58 com aporte de vegetação verde na maior parte das cenas.

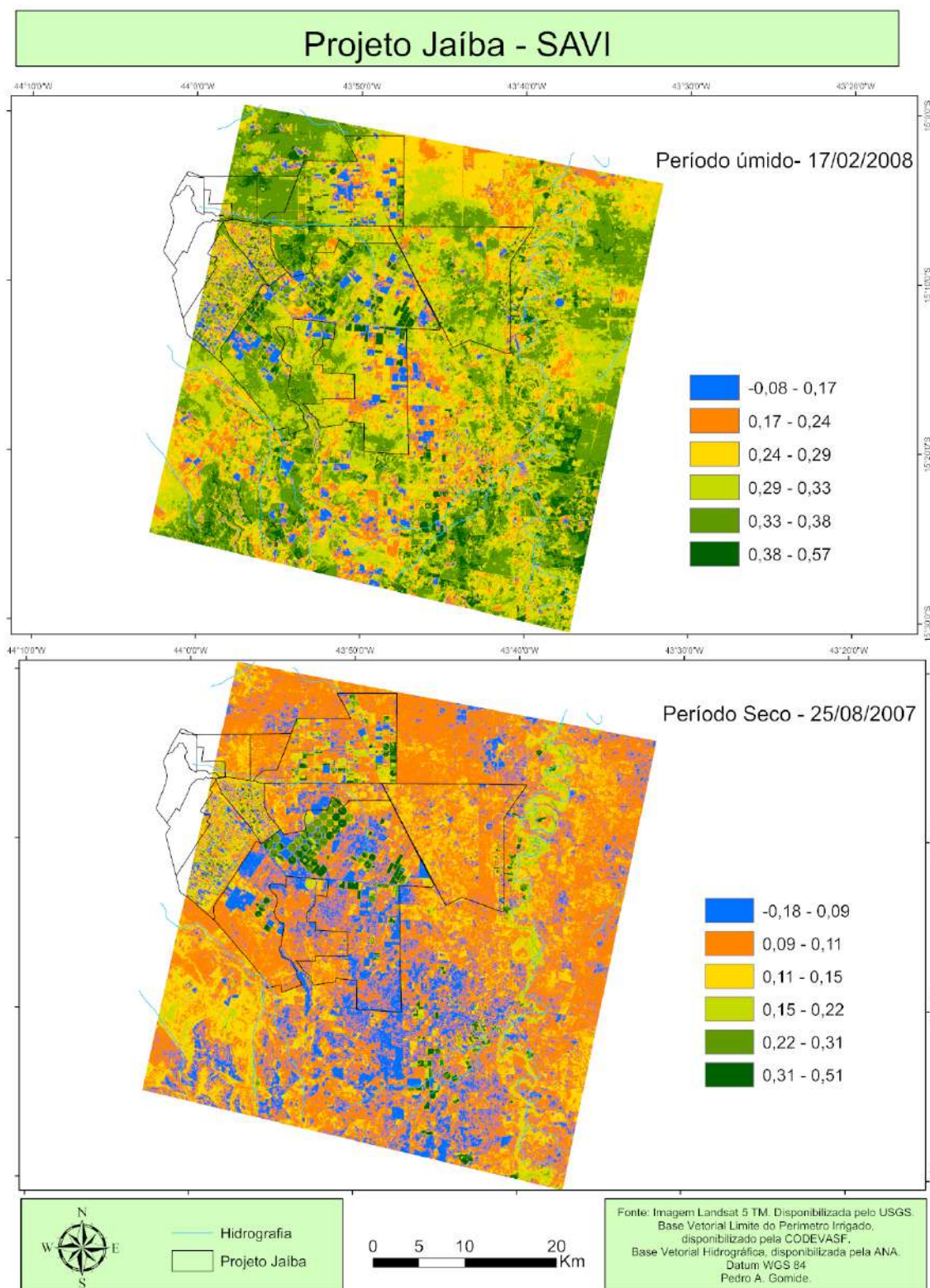


Figura 36 – Mapa temático de tratamento da distribuição espacial de imagens classificadas de índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI) com as mudanças sazonais e interanuais nos períodos seco (25/08/2007) e úmido (17/02/2008) do projeto Jaíba e da hidrografia da região.

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

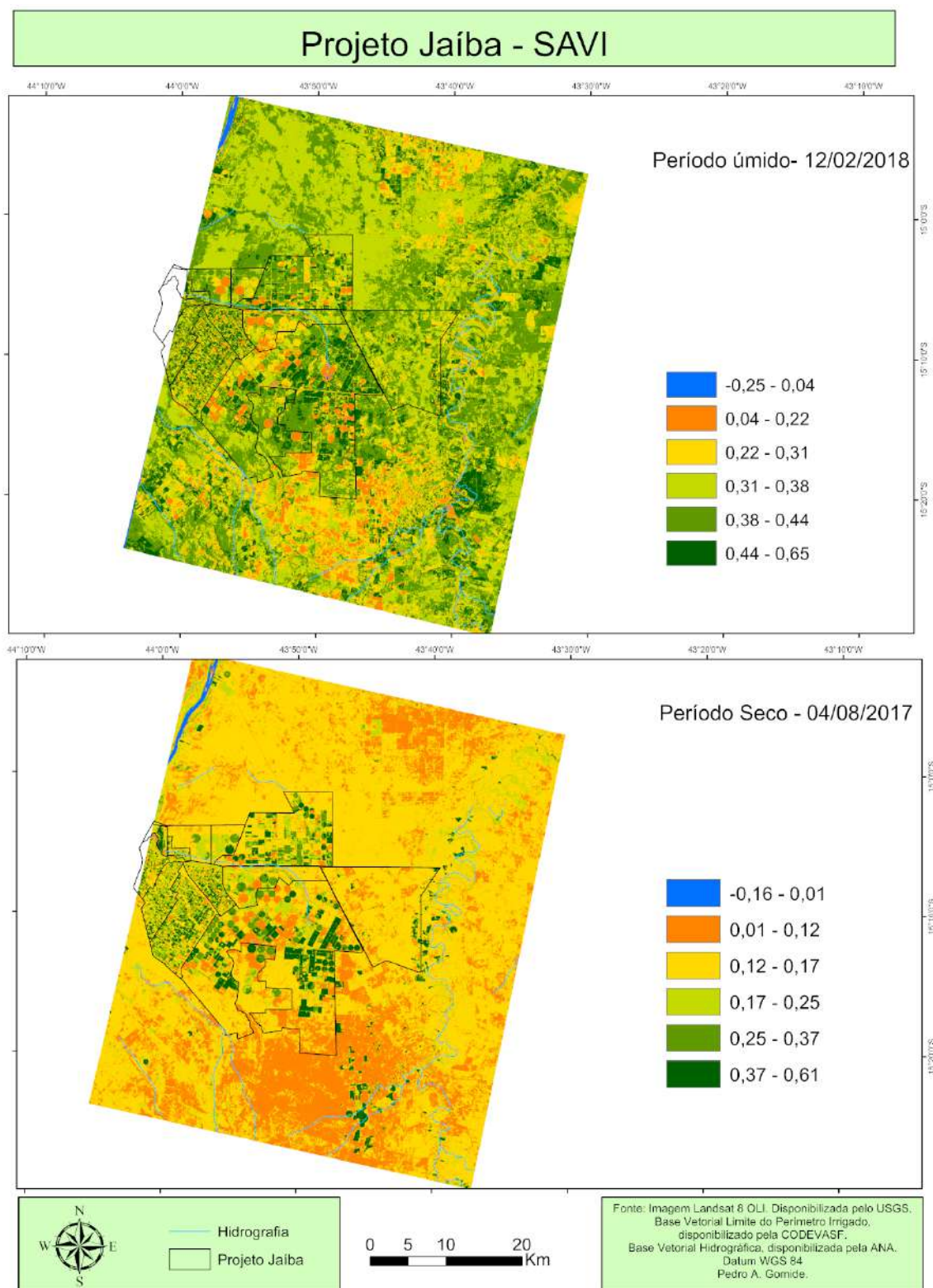


Figura 37 – Mapa temático de tratamento da distribuição espacial de imagens classificadas de índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI) com as mudanças sazonais e interanuais nos períodos seco (04/08/2017) e úmido (12/02/2018) do projeto Jaíba e da hidrografia da região.

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.



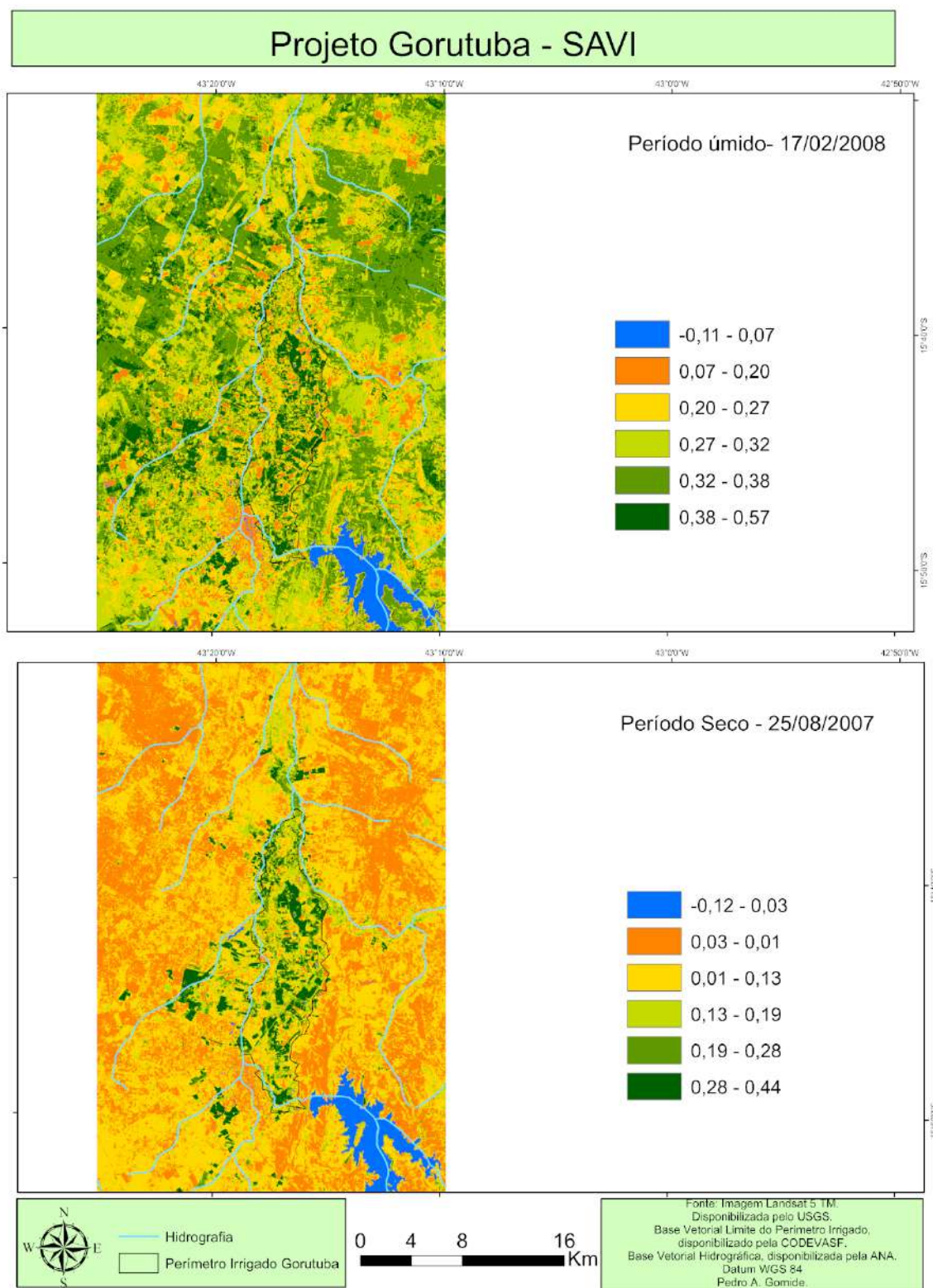


Figura 38 – Mapa temático de tratamento da distribuição espacial de imagens classificadas de índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI) com as mudanças sazonais e interanuais nos períodos seco (25/08/2007) e úmido (17/02/2008) do projeto Gortuba e da hidrografia da região.

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

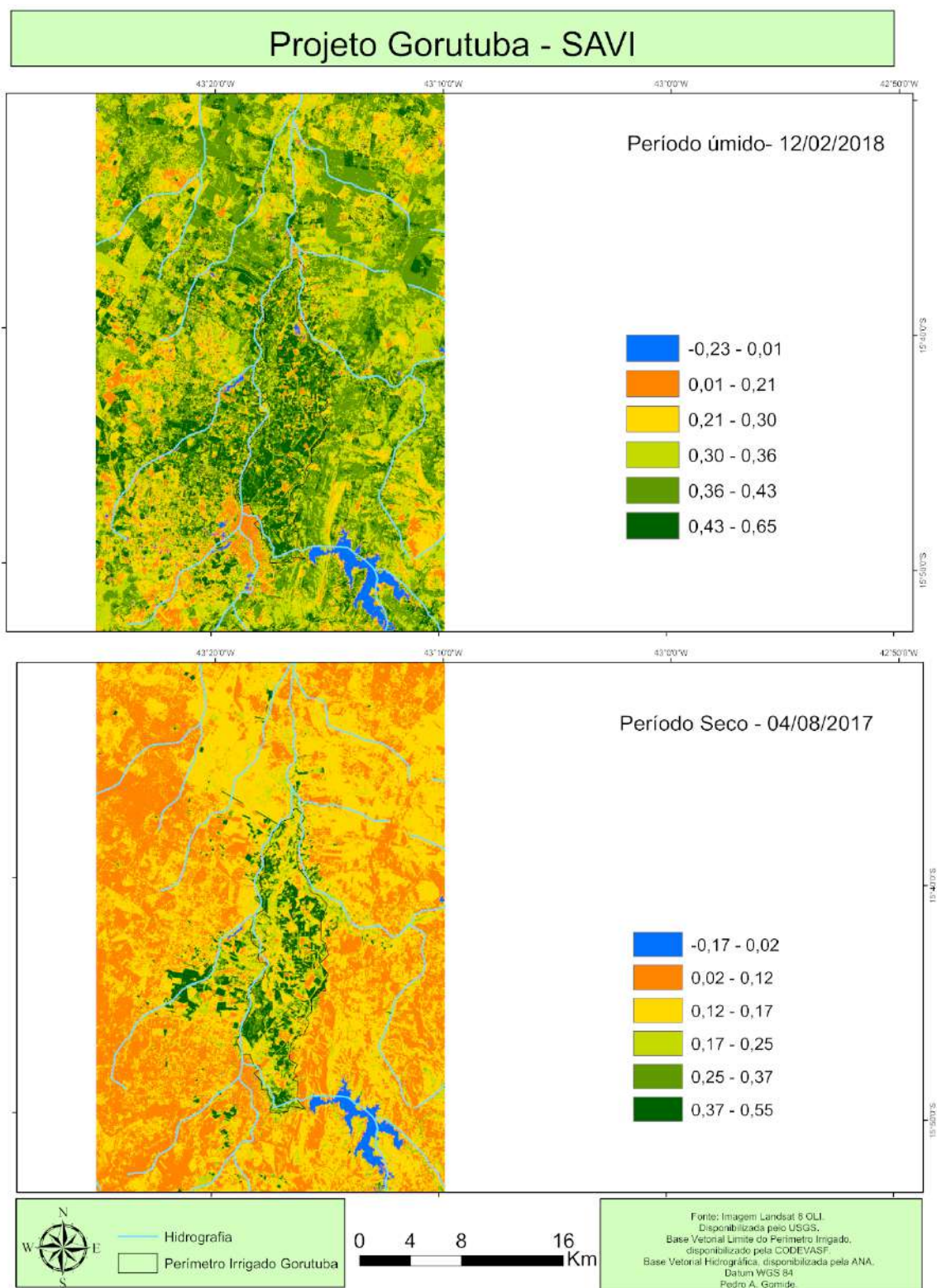


Figura 39 – Mapa temático de tratamento da distribuição espacial de imagens classificadas de índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI) com as mudanças sazonais e interanuais nos períodos seco (04/08/2017) e úmido (12/02/2018) do projeto Gorutuba e da hidrografia da região.

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

### 4.6.3 Leaf Area Index (LAI)

Nas Figuras 40, 41, 42 e 43 são representados os mapas temáticos de tratamento da distribuição espacial de imagens classificadas de LAI com as mudanças sazonais e interanuais nos períodos seco (25/08/2007 e 04/08/2017) e úmido (17/02/2008 e 12/02/2018) dos projetos Jaíba e Gortuba e da hidrografia da região. Os resultados obtidos com o LAI indicam que, na maioria das cenas, os valores foram inferiores a  $1,0 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$  (classes nas cores laranja, amarelo, verde-claro e verde), ou seja, correspondendo às áreas com pouca área foliar (vegetação não muito densa ou mesmo aberta ou rala para os valores de LAI menores); contudo, nas cenas dos períodos úmidos, predominaram os intervalos de LAI de 0,47 a  $1,0 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$  (classes com tonalidade de cores verde-claro e verde), sendo mais realçados dentro dos projetos de irrigação Jaíba e Gortuba e também próximo às margens de rios nos períodos secos.

Em todas as cenas, exceto a do período seco de 25/08/2007 de Gortuba, ocorreram valores de LAI acima de  $1,0 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$  (classes na tonalidade de cores verde-escuro), chegando a atingir valor máximo de  $3,07 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$  e que representam a vegetação densa e exuberante.

Nos períodos secos, predominaram nas regiões dos dois projetos, Jaíba e Gortuba, as cenas com os menores intervalos de LAI (0,0 a  $0,47 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ ), com alguns valores até mesmo negativos, representadas pelas classes nas tonalidades de cores laranja e amarelo.

Ribeiro et al. (2016) também encontraram na porção norte e nordeste da bacia hidrográfica do rio Pajeú, PE, áreas com densidade de vegetação mais elevada, apresentando LAI superiores a  $1,1 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ , representando áreas de vegetação nativa com biomassa mais consistente, obtendo valores de LAI superiores a  $2,6 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ . Ramos et al. (2011) encontraram baixos valores de LAI ao longo da parte central da mencionada bacia hidrográfica na ordem de  $0,10 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ , em que a maior parte dos pixels da bacia teve o LAI oscilando entre 0,0 e  $0,50 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ , representando as áreas com solo exposto e vegetação com pouca área foliar (vegetação aberta ou rala), devido à escassez de chuva na região. Para a vegetação com alta densidade que ocorre em altitudes acima de 600 m na mesma região, os mesmos autores encontraram LAI acima de  $0,60 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ . Em áreas de agricultura irrigada, o LAI variou de 0,63 a  $1,11 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ , ao passo que, em áreas de Caatinga florestada, o índice oscilou entre 0,84 a  $1,36 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ .

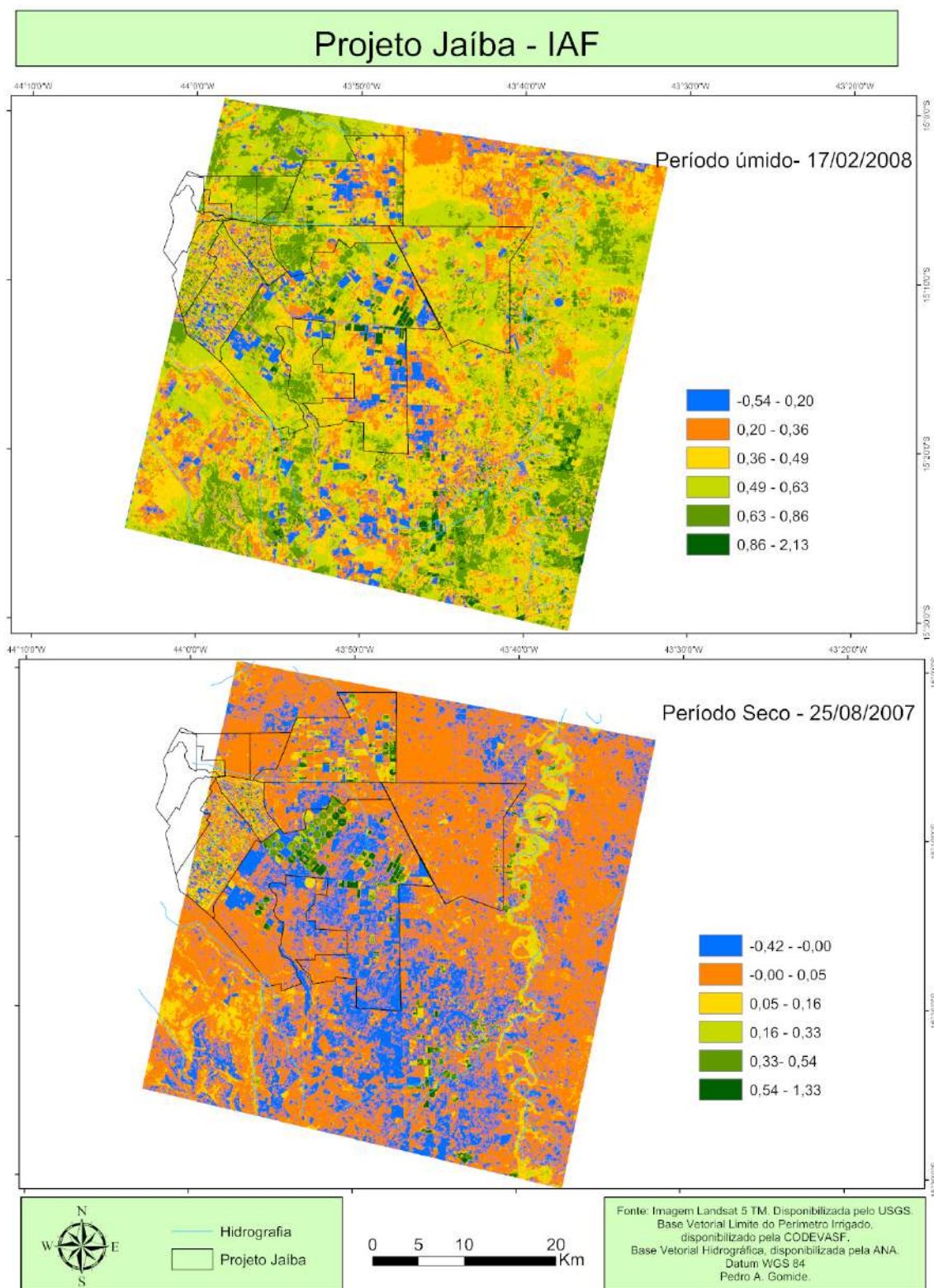


Figura 40 – Mapa temático de tratamento da distribuição espacial de imagens classificadas de índice de área foliar (LAI) com as mudanças sazonais e interanuais nos períodos seco (25/08/2007) e úmido (17/02/2008) do projeto Jaíba e da hidrografia da região.

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

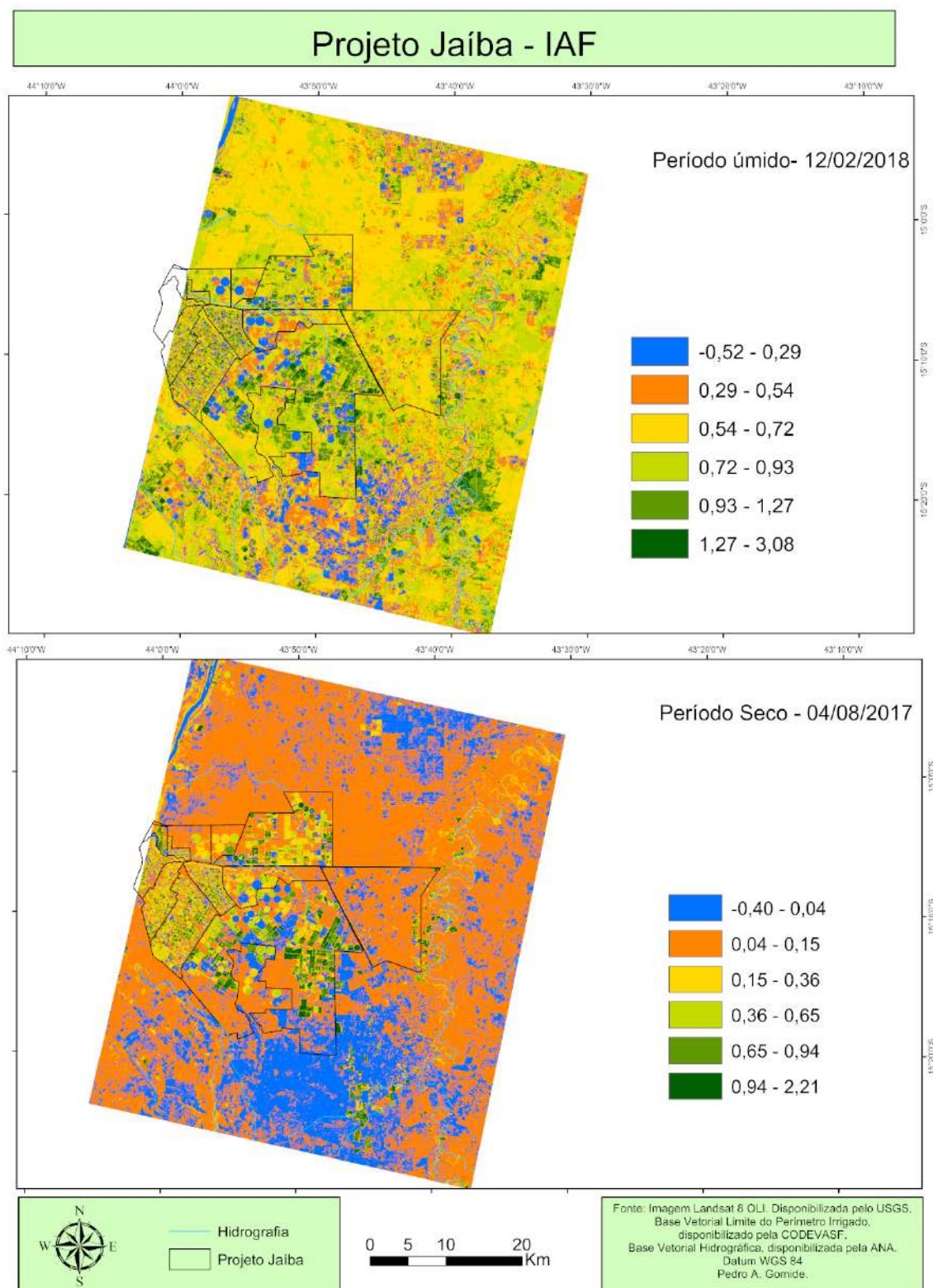


Figura 41 – Mapas temáticos de tratamento da distribuição espacial de imagens classificadas de índice de área foliar (LAI) com as mudanças sazonais e interanuais nos períodos seco (04/08/2017) e úmido (12/02/2018) do projeto Jaíba e da hidrografia da região.

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

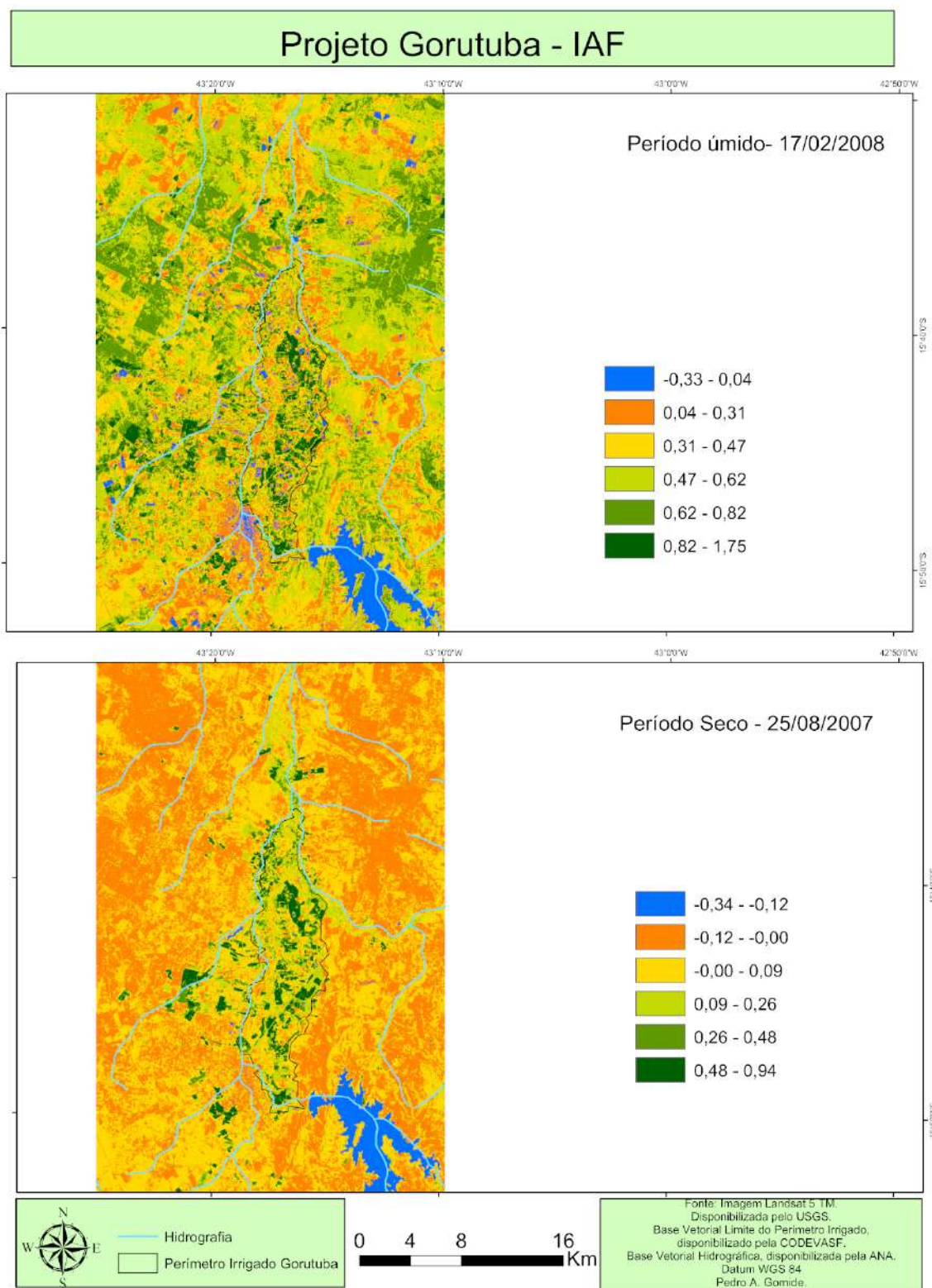


Figura 42 – Mapa temático de tratamento da distribuição espacial de imagens classificadas de índice de área foliar (LAI) com as mudanças sazonais e interanuais nos períodos seco (25/08/2007) e úmido (17/02/2008) do projeto Gorutuba e da hidrografia da região.

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

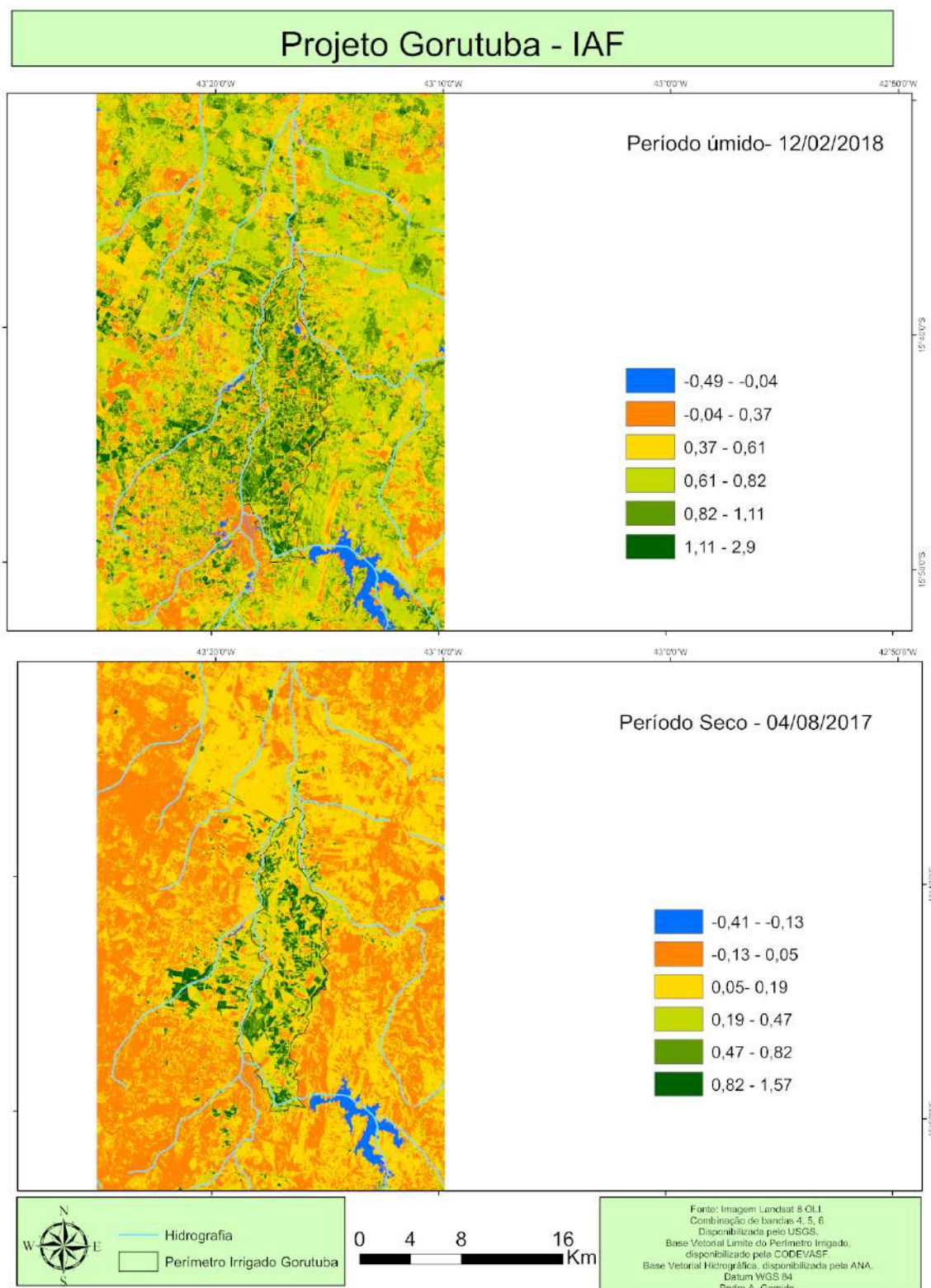


Figura 43 – Mapa temático de tratamento da distribuição espacial de imagens classificadas de índice de área foliar (LAI) com as mudanças sazonais e interanuais nos períodos seco (04/08/2017) e úmido (12/02/2018) do projeto Gorutuba e da hidrografia da região.

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

#### 4.6.4 Temperatura da superfície ( $T_s$ )

As Figuras 44, 45, 46 e 47 apresentam os mapas temáticos de tratamento da distribuição espacial de imagens classificadas de temperatura da superfície ( $T_s$ ) com as mudanças sazonais e interanuais nos períodos seco (25/08/2007 e 04/08/2017) e úmido (17/02/2008 e 12/02/2018) dos projetos Jaíba e Gorutuba e da hidrografia das regiões. Como esperado, em todas as cenas os menores valores de temperatura de superfície (em média na faixa de 21,7°C a 25,7°C) foram encontrados sobre massas (barragem) e cursos (rios) d'água, indicados nos mapas nas classes de cor azul, e também em áreas de vegetação verde, mais viçosa, arbórea e arbustiva, cujas classes correspondem às cores verde e verde-claro (em média na faixa de 23,9°C a 28,7°C), onde não ocorreu restrição hídrica no solo e onde se encontra a vegetação com maiores valores de NDVI, SAVI e LAI, ou seja, as áreas irrigadas dentro dos projetos de irrigação Jaíba e Gorutuba e próximas aos rios, reservatórios e canais de irrigação, e também aquelas áreas onde, no período úmido, houve uma boa distribuição de chuva, corroborando com os valores de temperatura de superfície apresentados por Corrêa e Corrêa (2012), Osco et al. (2015) e Silva, A., Silva, R. e Silva, B. (2015), que também identificaram valores mínimos de temperatura de superfície sobre vegetação verde (viçosa) e corpos d'água, os quais interferem e contribuem para amenizar o microclima e reduzir as temperaturas de dado local. A vegetação absorve energia em forma de calor e a utiliza no processo de fotossíntese, pois libera energia em forma de oxigênio e gás carbônico, além de aumentar a evaporação d'água, renovando o ar atmosférico e umidificando o ambiente em torno das folhas das plantas (BEZERRA; MORAES; SOARES, 2018; SOUZA, 2010).

As temperaturas de superfície mais baixas, aquelas entre os intervalos de 10°C a 19,0°C, foram observadas em Gorutuba, em 25/08/2007 (período seco) e Jaíba, em 17/02/2008 (período úmido) onde o uso e ocupação do solo é tomado por água (Figuras 44, 45, 46 e 47).

Os valores intermediários de temperaturas de superfície, em média na faixa de 28,9°C a 34,9°C, ocorreram nas classes de cores amarelo e laranja, representadas nas cenas por áreas de vegetação seca ou pastagem degradada, onde os valores de NDVI variaram na faixa de 0,2 a 0,35. Verifica-se uma maior predominância dessas duas classes nos mapas temáticos de imagens classificadas dos períodos secos, para os dois projetos estudados, Jaíba e Gorutuba. Por último, a classe na cor vermelha indica os maiores valores de temperaturas de superfície, que em média variaram na faixa de 35,9°C a 41,8°C, onde apresentaram valores de NDVI próximos a zero (0) e abaixo de 0,20, que estão relacionadas às áreas de solos expostos ou com pouca vegetação (bem menos densa ou rala) (Figuras 44, 45, 46 e 47). Esses valores intermediários e máximos de temperaturas de superfície obtidos estão em concordância



com os apresentados por Silva, A., Silva, R. e Silva, B. (2015) que encontraram temperaturas de superfícies intermediárias variando entre 27,8°C e 34,8°C e temperaturas mais elevadas acima de 38,9°C para solos ocupados com vegetação seca e pouca ou nenhuma vegetação respectivamente.

As cenas dos períodos secos (25/08/2007 e 04/08/2017) dos dois projetos, Jaíba e Gortuba, apresentaram valores médios de temperaturas de superfície maiores, quando comparado com as temperaturas de superfície dos períodos úmidos (17/02/2008 e 12/02/2018), devido à ocorrência de chuvas nesses últimos períodos. Observa-se também nestas mesmas cenas um aumento médio na faixa de 0,5°C a 1,4°C na temperatura de superfície das duas classes (nas cores laranja e vermelho) de solos ocupados com vegetação seca e pouca ou nenhuma vegetação, quando se compara as variações interanuais de 2007 a 2017 (10 anos).

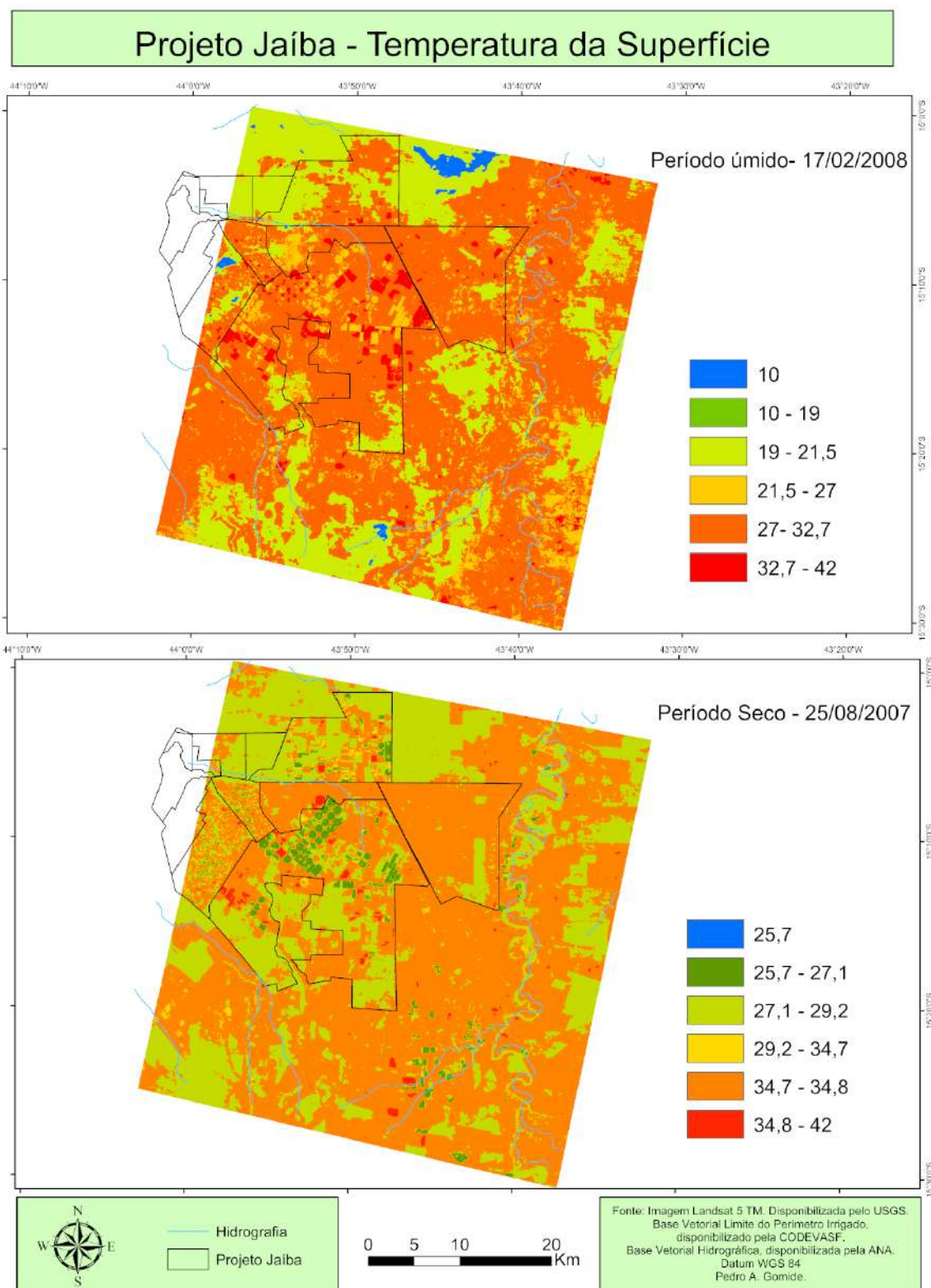


Figura 44 – Mapas temáticos de tratamento da distribuição espacial de imagens classificadas de temperatura de superfície ( $T_S$ ) com as mudanças sazonais e interanuais nos períodos seco (25/08/2007) e úmido (17/02/2008) do projeto Jaíba e da hidrografia da região.

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

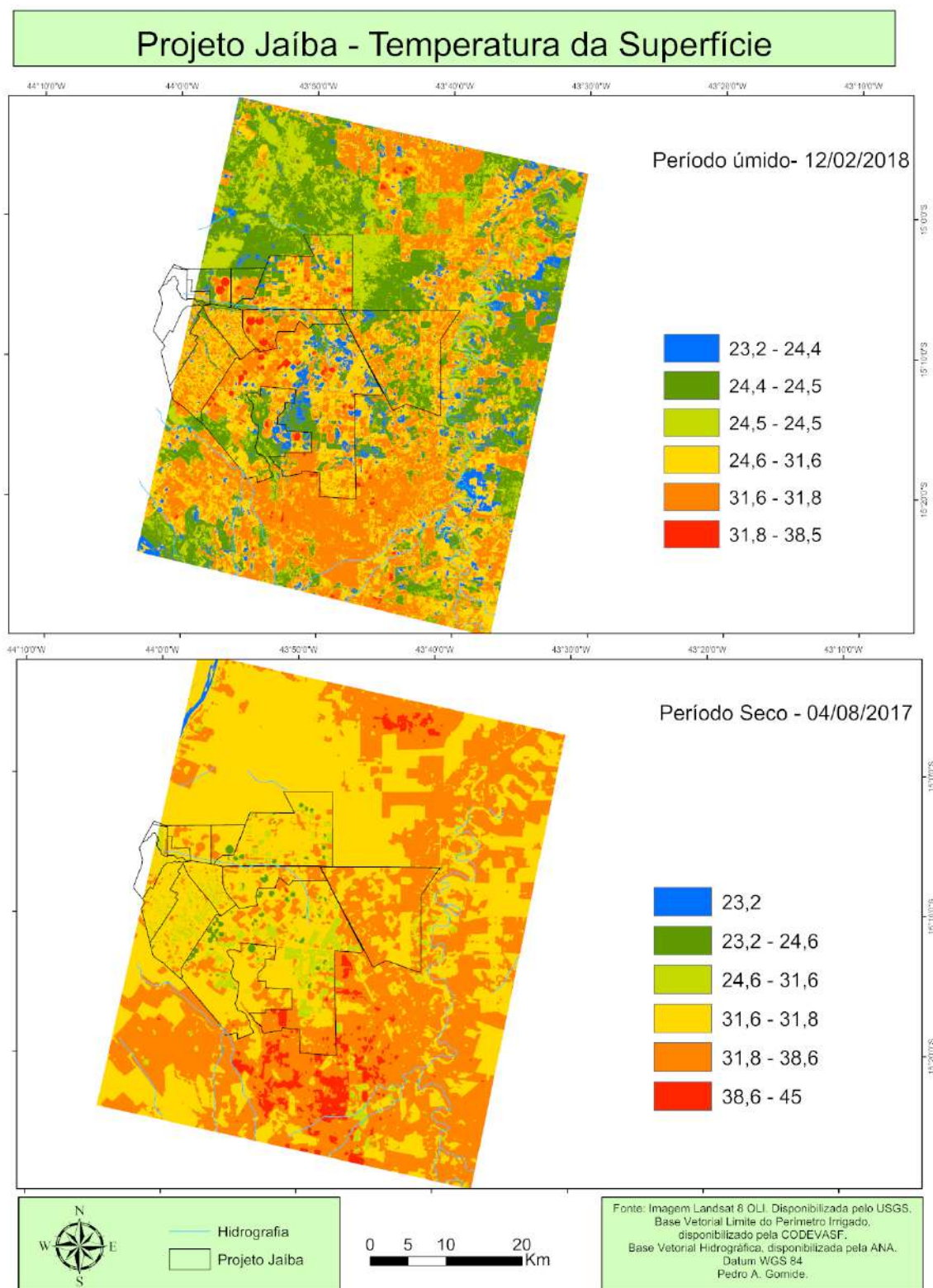


Figura 45 – Mapas temáticos de tratamento da distribuição espacial de imagens classificadas de temperatura de superfície ( $T_S$ ) com as mudanças sazonais e interanuais nos períodos seco (04/08/2017) e úmido (12/02/2018) do projeto Jaíba e da hidrografia da região.

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

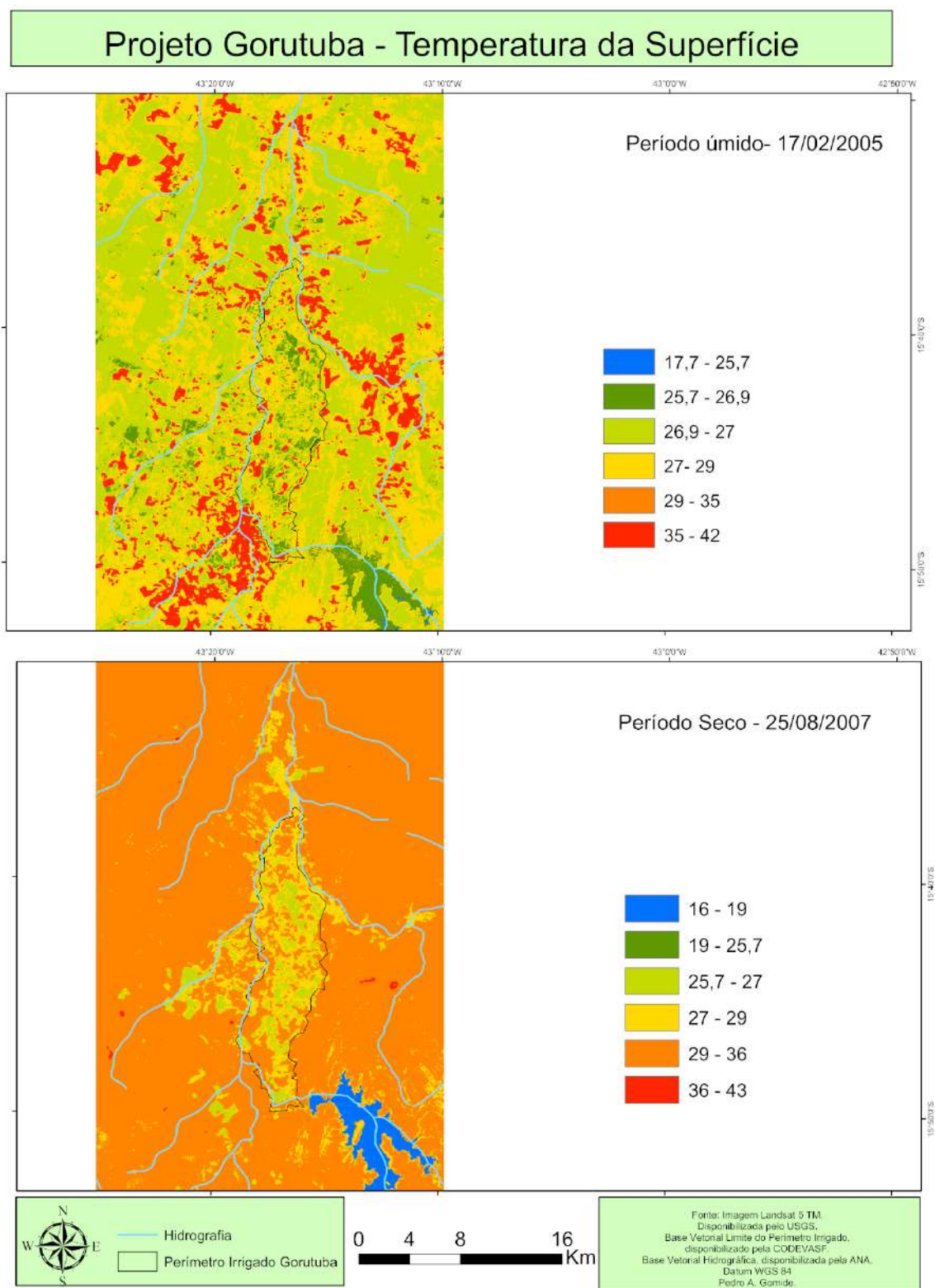


Figura 46 – Mapas temáticos de tratamento da distribuição espacial de imagens classificadas de temperatura de superfície ( $T_S$ ) com as mudanças sazonais e interanuais nos períodos seco (25/08/2007) e úmido (17/02/2008) do projeto Gortuba e da hidrografia da região.

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

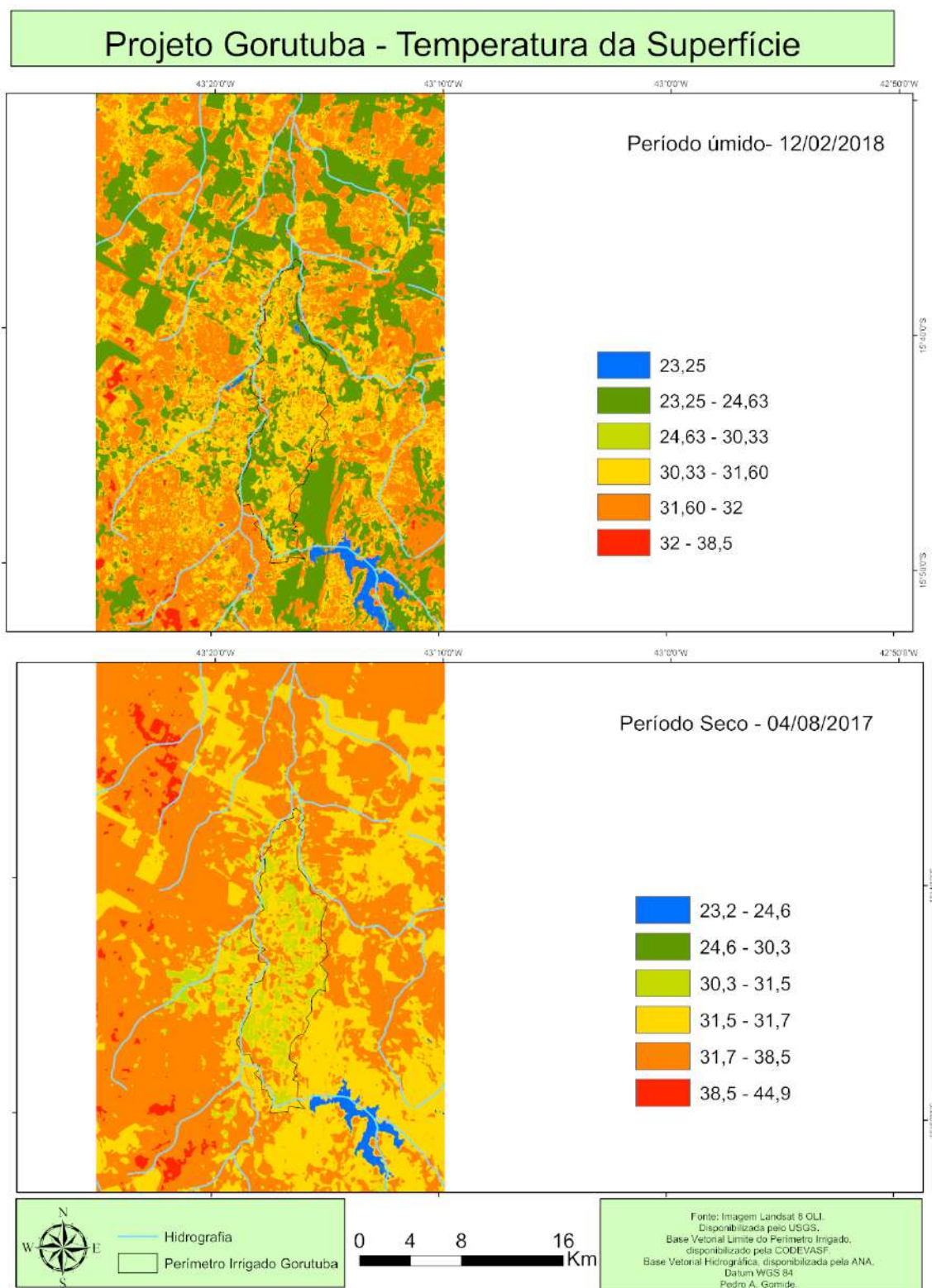


Figura 47 – Mapas temáticos de tratamento da distribuição espacial de imagens classificadas de temperatura de superfície ( $T_S$ ) com as mudanças sazonais e interanuais nos períodos seco (04/08/2017) e úmido (12/02/2018) do projeto Gortuba e da hidrografia da região.

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

#### 4.6.5 Albedo da Superfície ( $\alpha$ )

A heterogeneidade na cobertura vegetal da superfície é a principal razão da variação de albedo dentro dos projetos de irrigação de Jaíba e Gortuba, além de considerável variação da disponibilidade hídrica no solo durante os períodos seco e úmido estudados, principalmente fora dos perímetros irrigados. Querino et al. (2006) e Rodrigues et al. (2009) constataram haver grande variação nos valores de albedo entre os períodos seco e o chuvoso, principalmente fora dos perímetros irrigados, onde se verificam maiores mudanças de vigor dos vegetais, que são mais verdes no período chuvoso devido à presença da umidade no solo, que são fatores condicionantes das mudanças sazonais no albedo da superfície.

Os mapas temáticos de tratamento da distribuição espacial de imagens classificadas de albedo de superfície ( $\alpha$ ) com as mudanças sazonais e interanuais nos períodos seco (25/08/2007 e 04/08/2017) e úmido (17/02/2008 e 12/02/2018) dos projetos Jaíba e Gortuba e da hidrografia das regiões encontram-se nas Figuras 48, 49, 50 e 51. Os valores menores de albedo foram encontrados nos espaços ocupados por massas (barragem) e cursos (rios) d'água, indicados nos mapas temáticos nas classes de cor azul, que ficaram na faixa de 1% a 11%, que está em concordância com os valores obtidos por Giongo et al. (2010), que obtiveram 1,7% a 10,4%, também Silva, Lopes e Azevedo (2005) e Silva et al. (2016) com valores entre 7% e 9% e Bastiaanssen (2000) obteve valores entre 3% a 10%, todos em superfícies de água.

As áreas de vegetação verde, mais viçosa, de agricultura, arbórea e arbustiva, cujas classes correspondem às cores laranja, amarelo e verde-claro, onde não ocorreu restrição hídrica no solo e onde se encontra a vegetação com maiores valores de NDVI, SAVI e LAI, ou seja, as áreas irrigadas dentro dos projetos de irrigação Jaíba e Gortuba e próximas aos rios, reservatórios e canais de irrigação, e também aquelas áreas onde, no período úmido, houve uma boa distribuição de chuva, apresentaram respostas de albedo acima de 12%, com variações entre 12% a 25% (Figuras 48, 49, 50 e 51). Silva, Lopes e Azevedo (2005) em estudo com o Landsat 5 e o algoritmo SEBAL registraram valores de albedo semelhante. Silva et al. (2016) em parcelas irrigadas no distrito de irrigação de São Gonçalo, Vale do Rio Piranhas, Souza, PB obteve valores de albedo de superfície de 16% a 18%, corroborando com os resultados obtidos. Boegh, Soegaard e Thomsen (2002) na Dinamarca obtiveram, também com imagens TM-Landsat 5 em áreas de vegetação densa, valor de 18% de albedo.

Os maiores valores de albedo de superfície foram identificados em áreas de solos expostos ou com pouca vegetação (bem menos densa ou rala) e aquelas áreas de vegetação seca ou pastagem degradada, em torno de 21% até 38%, representadas nos mapas temáticos pelas classes nas cores verde e verde-escuro, onde os valores de NDVI foram baixos e na faixa de 20% a 35% ou mesmo próximos a zero (Figuras

48, 49, 50 e 51). Esses valores encontrados para albedo de superfície corroboram com os obtidos por Iziomons e Mayer (2002) que, avaliando o comportamento do albedo de superfície em áreas de pastagens no sudoeste da Alemanha, entre 1991 e 1996, constataram acentuada variação no período estudado com valores entre 22,2% a 36%. A alta variação de albedo em áreas de pastagem é comum e é de se esperar, consequência da distribuição irregular das chuvas.

Para as cenas das imagens mais recentes de 2017/2018 dos dois projetos, nos pixels correspondentes às nuvens, o albedo é geralmente superior a 60% e, também ocorre que, nas áreas sombreadas pelas nuvens, os valores podem ser menores que os da água, o que se deve ao método de cálculo da radiação solar incidente em cada pixel (SILVA et al., 2016).

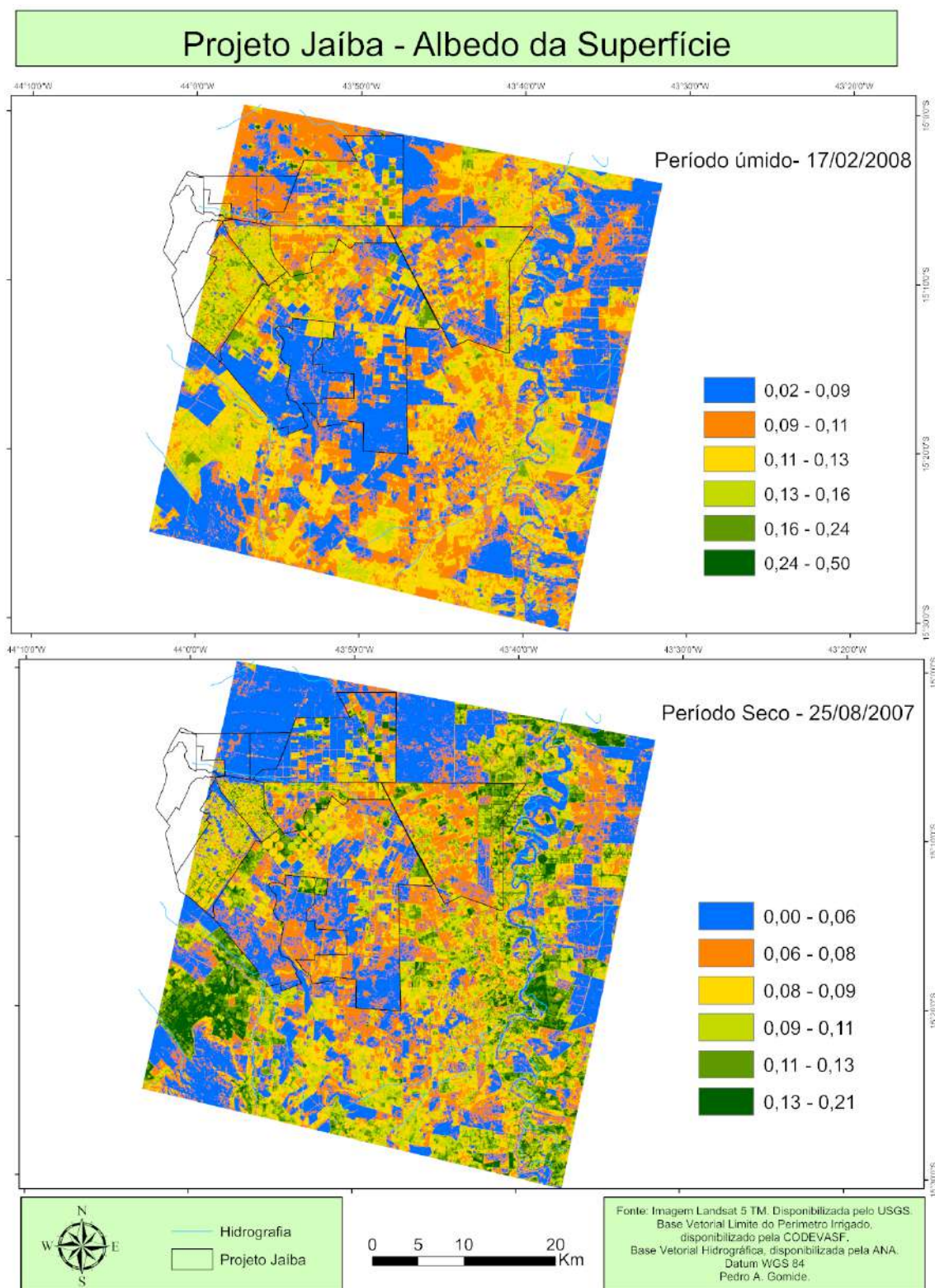


Figura 48 – Mapas temáticos de tratamento da distribuição espacial de imagens classificadas de albedo de superfície ( $\alpha$ ) com as mudanças sazonais e interanuais nos períodos seco (25/08/2007) e úmido (17/02/2008) do projeto Jaíba e da hidrografia da região.

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.



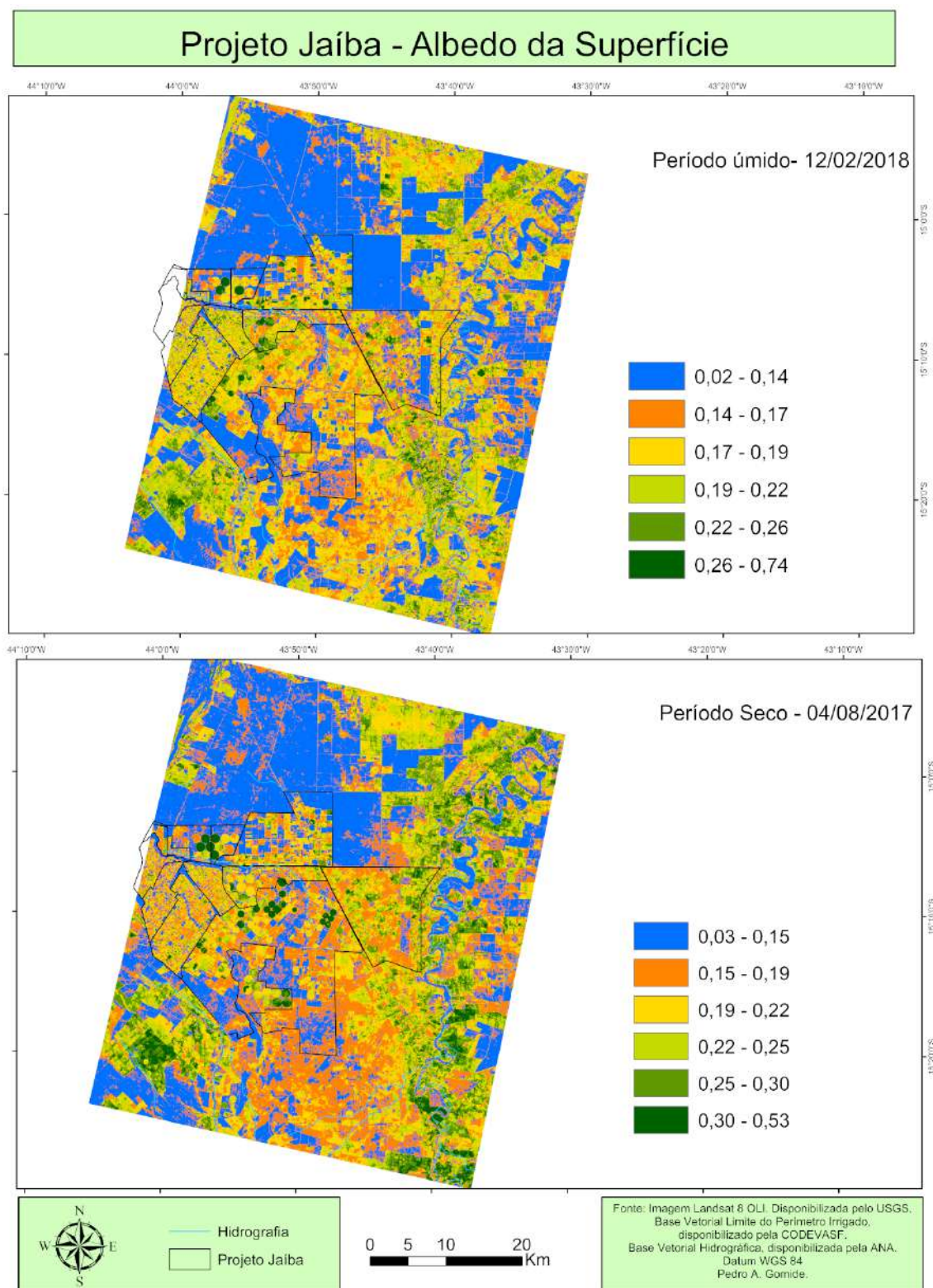


Figura 49 – Mapas temáticos de tratamento da distribuição espacial de imagens classificadas de albedo de superfície ( $\alpha$ ) com as mudanças sazonais e interanuais nos períodos seco (04/08/2017) e úmido (12/02/2018) do projeto Jaíba e da hidrografia da região.

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

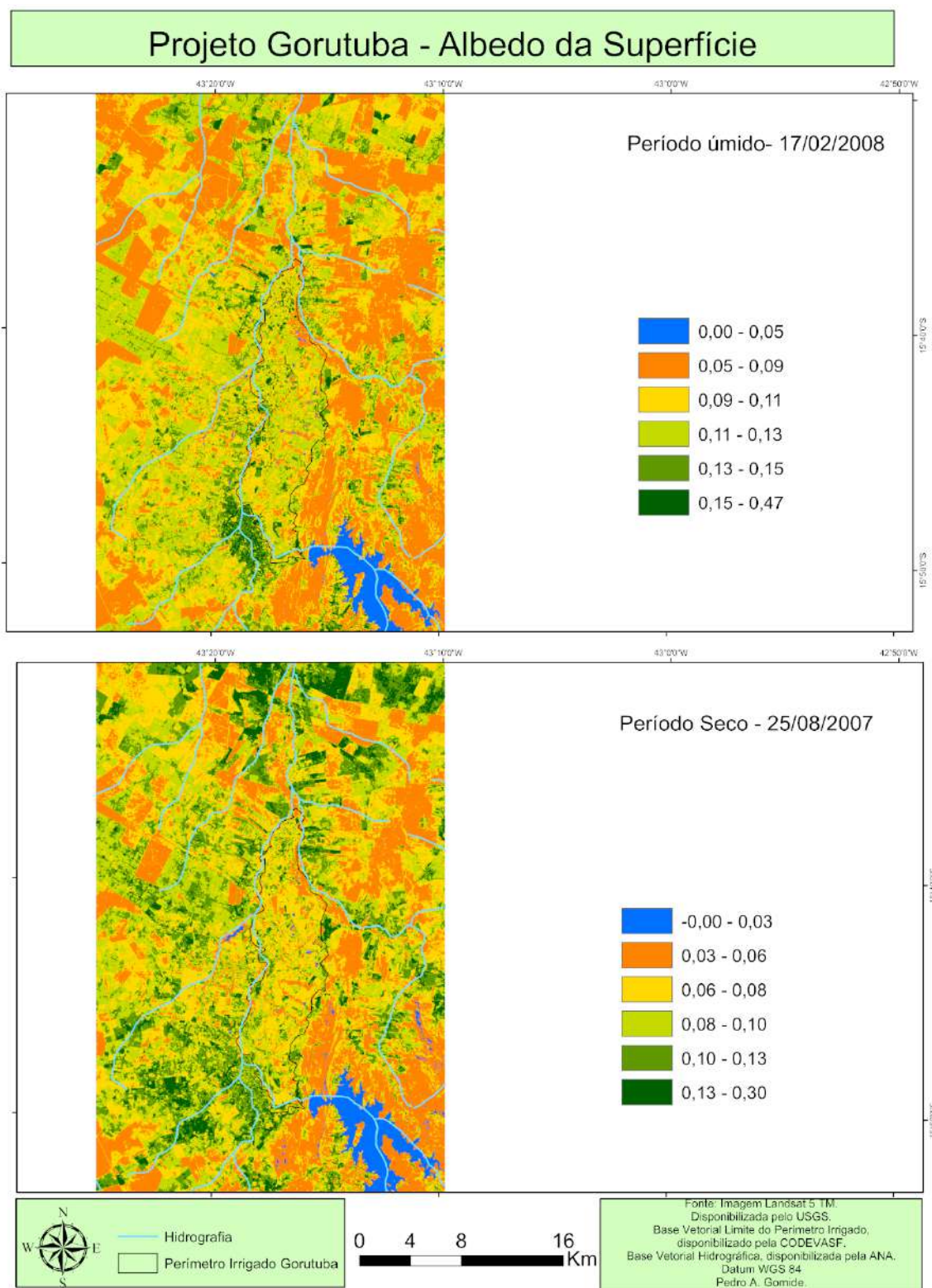


Figura 50 – Mapas temáticos de tratamento da distribuição espacial de imagens classificadas de albedo de superfície ( $\alpha$ ) com as mudanças sazonais e interanuais nos períodos seco (25/08/2007) e úmido (17/02/2008) do projeto Gorutuba e da hidrografia da região.

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

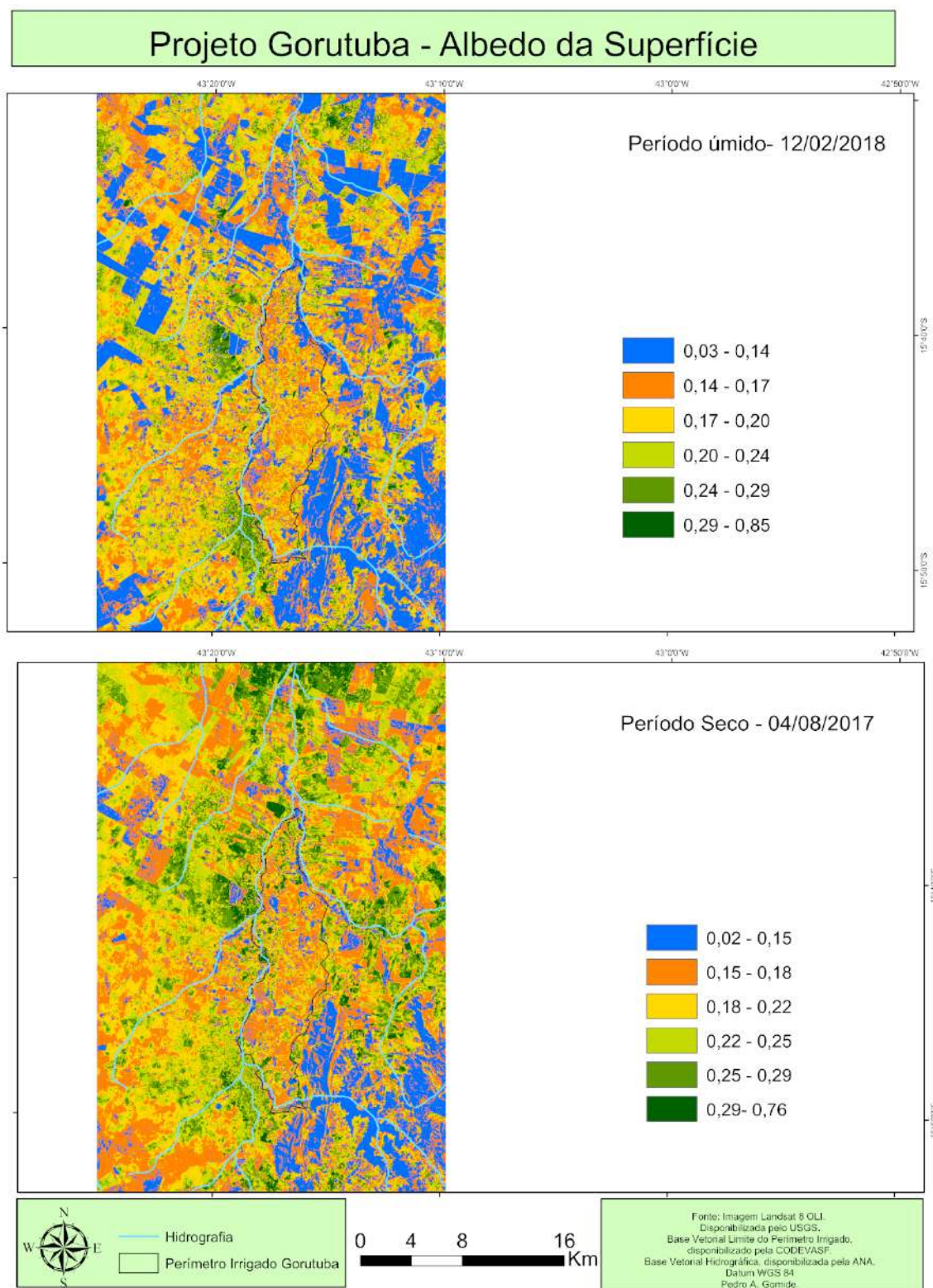


Figura 51 – Mapas temáticos de tratamento da distribuição espacial de imagens classificadas de albedo de superfície ( $\alpha$ ) com as mudanças sazonais e interanuais nos períodos seco (04/08/2017) e úmido (12/02/2018) do projeto Gorutuba e da hidrografia da região.

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

## 5 Considerações Finais

Os projetos de irrigação de Jaíba e Gortuba são fundamentais para a economia da população dos municípios da mesorregião do Norte de Minas, destacando-se os municípios de Janaúba, Jaíba e Nova Porteirinha, uma vez que tornaram possível a prática da agricultura irrigada para atender a esses municípios. Também a melhoria do acesso às áreas desses projetos, a partir da construção de rodovias pavimentadas, fez com que melhorasse bastante a infraestrutura da região, notadamente para atender às atividades de uso da terra como a prática da agricultura.

O índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) foi usado neste trabalho para a análise do tratamento da informação espacial de mudanças sazonais e interanuais da atividade e do desenvolvimento da vegetação no estabelecimento e na definição de diferentes classes de uso e ocupação do solo, a partir de imagens de satélites Landsat 5 (sensor TM) e 8 (sensor OLI) que foram recortadas nas regiões dos projetos Jaíba e Gortuba em Minas Gerais.

Os resultados permitiram estabelecer e definir seis classes nas alterações do uso e ocupação dos solos, identificadas pelo NDVI, onde se diagnosticou que as áreas que mostraram os menores valores de NDVI (também de SAVI e LAI), com exceção dos corpos hídricos como barragens e rios, que apresentaram as temperaturas e albedo de superfície mais elevados, caracterizando as áreas de solos expostos, com mata seca, maior ausência vegetal, ou mesmo com pastagens degradadas, ocasionando um desconforto térmico local, mostrando a importância da vegetação na amenização da temperatura ambiente. Tais dados caracterizam-se como preciosos conhecimentos para a tomada de decisão na gestão dos recursos hídricos da região semiárida do Norte de Minas.

Os maiores valores de NDVI (também de SAVI e LAI) e os menores valores de temperaturas e albedo de superfície caracterizaram e definiram as classes de uso e ocupação da vegetação mais vigorosa, densa e viçosa, encontrada nos projetos de irrigação de Jaíba e Gortuba (agricultura), ao longo das áreas irrigadas às margens dos cursos de água e nas áreas de melhor distribuição de chuvas (fora dos perímetros irrigados, nos períodos úmidos), sendo indicativo de uma maior disponibilidade de água no solo. As áreas dessas classes nas cenas das imagens dos períodos secos ficaram mais nítidas e restritas às áreas dentro dos perímetros irrigados de Jaíba e Gortuba e algumas áreas menores irrigadas esparsas às margens de rios.

Observa-se, de forma mais evidente, nos períodos secos, uma redução da área irrigada em Gortuba, devido à restrição hídrica imposta pela seca na barragem Bico

da Pedra, e uma ampliação da área irrigada em Jaíba ao longo dos 10 anos.

Os índices NDVI, SAVI e LAI expuseram a capacidade de resiliência da vegetação natural da região (mata seca) com o alto potencial de recuperação e desenvolvimento de biomassa em condições favoráveis de distribuição de precipitação.

Os índices de vegetação (NDVI, SAVI e LAI) se mostraram eficazes e eficientes na compreensão e classificação da dinâmica dos padrões espaciais, temporais e espectrais de ambientes semiáridos dos cenários estudados do Norte de Minas.

A principal razão da variação sazonal e interanual de temperatura e albedo de superfície se deve à heterogeneidade na cobertura vegetal da superfície dentro e fora das áreas dos projetos de irrigação Jaíba e Gorutuba, devido a limitações da disponibilidade hídrica no solo, refletidas nas glebas não irrigadas dentro dos perímetros de irrigação e nas irregularidades e má distribuição regional de chuvas dos períodos úmidos.

Os valores de superfície de temperatura e albedo obtidos apresentaram índices dentro das faixas citadas na literatura, sendo os menores valores registrados sobre corpos d'água e áreas de vegetação mais vigorosa, densa, estando diretamente relacionados à boa disponibilidade de água nos solos.

Os dados apresentados do balanço hídrico climatológico com a variação hídrica (excedente e deficiência), precipitação, evapotranspiração potencial e real e armazenamento de água no solo para a região de Janaúba (Gorutuba) e Jaíba (Mocambinho), são coerentes e vão ao encontro da conclusão de que alterações significativas nos padrões de índices de vegetação (NDVI, SAVI e LAI), temperatura e albedo de superfície foram provocadas por mudanças no uso da terra.

As alterações do uso e ocupação do solo, a partir de dados de clima da superfície e de pixels de imagens de satélite na região de Jaíba e Gorutuba, podem ser utilizadas para uma análise do tratamento da informação espacial de mudanças sazonais e interanuais com modelos de índices de vegetação (NDVI, SAVI e LAI), temperatura e albedo de superfície, uma vez que a vegetação é um excelente indicador que responde e interage diretamente com as condições climáticas da superfície e disponibilidade de água do solo, sendo que o seu conteúdo de água está diretamente relacionado ao albedo e à temperatura da superfície. Quando a vegetação está sem limitação hídrica, mantém a temperatura da superfície mais amena (baixa), devido ao esfriamento do ar próximo as suas folhas por meio do processo de transpiração. Nessa condição, o albedo é menor. Esse comportamento é típico dos períodos úmidos e das áreas irrigadas, onde a vegetação não sofre estresse hídrico.

Numa condição de períodos secos, ocorreu uma redução dos valores de índices de vegetação (NDVI, SAVI e LAI), bem como o aumento dos valores de tempera-

tura e do albedo da superfície, devido à ocorrência de estresse hídrico, o que configura um uso e ocupação de áreas de solos expostos com mata seca, maior ausência vegetal, ou mesmo com pastagens degradadas e vegetação rala.

As áreas de uso e ocupação de solo com vegetação mais vigorosa e densa foram definidas com os maiores valores de NDVI, SAVI e LAI e os menores valores de temperaturas e albedo de superfície, encontradas nos projetos de irrigação de Jaíba e Gortuba, ao longo das áreas irrigadas às margens dos cursos de água e nas áreas de melhor distribuição de chuvas, fora dos perímetros irrigados, sendo indicativo de uma maior disponibilidade de água no solo.

As áreas de uso e ocupação de solo com vegetação mais vigorosa e densa ficaram mais nítidas e destacadas nas cenas das imagens dos períodos secos, restritas apenas aos perímetros irrigados e a algumas áreas irrigadas esparsas e menores às margens dos rios.

O tratamento da distribuição espacial das imagens classificadas de NDVI da região de Gortuba e Jaíba identificou seis classes de uso e ocupação dos solos, com as mudanças sazonais e interanuais, sendo que nos períodos secos as classes correspondentes às áreas de solos expostos ou com pouca vegetação, de mata seca ou pastagem degradada e de vegetação herbácea/arbustiva, menos densas foram as que apresentaram maiores áreas e percentuais de ocupação, contrapondo as classes representando áreas dos recursos hídricos, da agricultura irrigada (com culturas anuais ou perenes) e da vegetação bem mais densa arbórea, que tiveram os menores percentuais de uso e ocupação dos solos, com as menores áreas, concentradas e distribuídas dentro dos perímetros irrigados de Jaíba e Gortuba.

Nas cenas dos períodos úmidos, a situação inverteu-se com um aumento dos percentuais das áreas correspondentes às classes de vegetação mais verde, bem mais densa, indicando que houve substituição e ocupação de áreas antes de solo exposto, mata seca e pastagem degradada, com pouca vegetação.

Comparando os períodos secos ao longo de 10 anos estudados, houve um crescimento do adensamento das áreas de solos expostos ou com pouca vegetação e de mata seca ou pastagem degradada da ordem de 4,7% para 7,7% no perímetro da Jaíba e de 5,6% para 12,0% no perímetro de Gortuba, indicando uma aceleração das taxas do processo de seca na região do Norte de Minas. Com relação à classe de vegetação bem mais densa arbórea, percebeu-se uma pequena redução das áreas de ocupação do período seco da ordem de 1,1% para Jaíba e 1,2% para Gortuba, sendo que essa redução foi mais marcante no período úmido, da ordem de 8,3% para Jaíba e 9,6% para Gortuba.

O tratamento da informação espacial de mudanças do uso e ocupação do solo

a partir de dados de clima da superfície e de píxeis de imagens de satélite representa ferramenta útil para a tomada de decisão na gestão dos recursos hídricos e naturais da região semiárida do Norte de Minas. Os resultados indicam que os gestores dos perímetros irrigados devem realizar irrigações suplementares nas áreas irrigadas, mesmo nos períodos úmidos, uma vez que é possível ocorrerem veranicos. Já nos períodos secos, há necessidade de irrigações plenas tendo em vista a deficiência hídrica das áreas e a não ocorrência de chuvas.

Os resultados obtidos com os dados do balanço hídrico climatológico para a região de Jaíba e Gortuba (Apêndices E e F) são importantes para os gerentes dos perímetros irrigados, pois evidenciam a variação de excedente hídrico, da deficiência hídrica, da precipitação, da evapotranspiração (potencial e real) e da alteração do armazenamento de água no solo, apontando para a necessidade de irrigação plena nos meses de fevereiro a outubro e, também, salientando o curto período favorável ao crescimento das plantas sem irrigação, de novembro a janeiro; com a possibilidade de ocorrência de veranicos, como indicado na queda de excedente hídrico no último decêndio de janeiro e nos três decêndios subsequentes de fevereiro, comprovando que a irrigação é uma prática indispensável para viabilizar a produção agrícola na região, mesmo a irrigação suplementar na época das chuvas, de forma que a vegetação possa melhor aproveitar o potencial dos solos e as demais condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento de grande parte das culturas na região.

Os modelos espaciais de radiância, reflectância, índices de vegetação (NDVI, SAVI e LAI), emissividade da superfície, temperatura da superfície e albedo da superfície (Apêndices A e B) podem ser ferramenta útil para a tomada de decisão dos atores envolvidos na gestão dos recursos hídricos e naturais e nos processos de outorga de água de projetos de irrigação da região semiárida do Norte de Minas, quando utilizados para o tratamento dos dados obtidos de imagens de satélites (Landsat 5 e Landsat 8), pois fornecem uma boa informação espacial de mudanças do uso e ocupação do solo por vegetação e água de rios, canais de irrigação e barragens, juntamente com os dados de clima da superfície, podendo ser utilizados em análises do tratamento da informação espacial de mudanças sazonais e interanuais, conforme comprovado nos resultados dos mapas temáticos de tratamento da distribuição espacial de imagens classificadas (Figuras 32 a 51). Os resultados obtidos pelos modelos espaciais mencionados estão em concordância com resultados obtidos por outros autores de trabalhos realizados em outras regiões semiáridas do Brasil.

O fato de o trabalho ser conduzido somente com base em dados coletados de imagens de satélites, de estações meteorológicas e sem ser realizado um levantamento presencial em campo pode ser considerado um ponto a ser melhorado, pois a checagem do ambiente da pesquisa corroboraria com os dados obtidos neste traba-

lho, enriquecendo ainda mais os resultados obtidos.

Soluções podem ser adotadas para a melhoria da seca na região de Jaíba e Gorutuba. A CODEVASF recentemente instalou um sistema para garantir o abastecimento de água para fins de irrigação e também para o consumo humano no Jaíba. Trata-se de um sistema de bombeamento auxiliar por flutuantes que pode ser utilizado em momentos de crise hídrica. Para isso foram instaladas 24 bombas que vão captar água do rio São Francisco (BRANDÃO, 2019). A instalação de barraginhas também poderia ser outra alternativa para a crise hídrica. As barraginhas são minibarragens em formato de meia-lua de 16 metros de diâmetro que captam água das enxurradas, possibilitando que a água se infiltre lentamente no solo. Como consequência, a umidade do terreno aumenta, trazendo água para os animais e também abastecendo os lençóis freáticos, potencializando o ecossistema ao redor. Uma vantagem da implantação das barraginhas é o seu baixo custo. Esta tecnologia foi desenvolvida pela Embrapa Milho e Sorgo (MARONI, 2019).

Seria interessante fazer um estudo posterior considerando a necessidade de adequação e ajuste dos modelos de índices de vegetação utilizados neste trabalho, dadas as transformações obtidas pela informação espacial, espectral e temporal em dois períodos distintos, um seco e outro úmido, a realidade encontrada nos ecossistemas de Jaíba e Gorutuba, conforme proposto nos objetivos específicos, principalmente no que concerne à consideração de valores maiores para a constante de ajuste  $L$  usada no cálculo de SAVI, pois se comprovou que a região tem uma cobertura vegetal pouco densa, principalmente nos períodos secos, sendo, portanto, indicadas avaliações e amostragens *in loco*.

Poderia se lançar mão também da utilização de outras imagens de satélites ou mesmo imagens suborbitais (drones), com melhor resolução espectral, espacial e temporal, para gerar mapas temáticos mais precisos de tratamento da distribuição espacial de imagens classificadas de índices de vegetação, temperatura de superfície e albedo de superfície com as mudanças sazonais e interanuais da região estudada, visando a investigações de uso e ocupação dos solos.



## Referências

- ABREU, J. o Francisco de; BARROSO, L. C. ao. **Alguns aspectos da "geometria táxi" na geografia**. Revista Geografia e Ensino, v. 1, n. 1, p. 31–46, mar 1982.
- AB'SÁBER, A. N. **Dossiê Nordeste seco: Sertões e Sertanejos. uma geografia humana sofrida**. 1999. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v13n36/v13n36a02.pdf>>. Acesso em: 3 out. 2018.
- ACHARYA, T.; RAY, A. K. **Image Processing- Principles and Applications**. [S.l.]: John Wiley & Sons, Inc., 2005.
- ALBUQUERQUE, E. M.; ANDRADE, S. C. de P.; MORAIS, H. F. de; DINIZ, J. M. T.; SANTOS, C. A. C. dos. **Análise do comportamento do NDVI e NDWI sob diferentes intensidades pluviométricas no município de Sousa-PB**. Revista Estudos Geoambientais, Rio Tinto, v. 01, n. 01, jan-abr 2014.
- ALLEN, R.; BASTIAANSEN, W. G. M.; WATERS, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. **Surface energy balance algorithms for land**. Idaho implementation – Advanced training and users manual, Idaho, v. 1, p. 97, 2002.
- ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. **Satellite-Based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC)—Model**. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v. 133, n. 4, p. 380–394, 2007.
- ANTONINI, C. **Seca e falta de investimentos ameaçam o Projeto Gorutuba**. O Norte de Minas, 2019. Disponível em: <<http://cms.hojeemdia.com.br/preview/www/2.917/2.922/1.691101>>. Acesso em: 07 out. 2019.
- ARAUJO, T. B. de; GUIMARÃES, F. P.; LANDI, C. **Políticas para região da ADENE**. SUDENE, Recife, 2004.
- ARONOFF, S. **Geographical Information Systems: a management perspective**. Ottawa: WDL Publications, 1989.
- ARROBAS, D. L. P.; ENEI, J. V. L. **Análise do arcabouço para a implementação de parcerias público–privadas em perímetros públicos de irrigação**. Banco Mundial, p. 119, mar. 2009. Setor de Desenvolvimento Ambiental e Social Sustentáveis - Região da América Latina e do Caribe - Contrato de Assistência Técnica Banco Mundial/CODEVASF.
- ASLIM. **ASLIM - Associação de Produtores de Limão e outras frutas da Região do Jaíba**. 2018. Disponível em: <<http://www.aslim.com.br>>. Acesso em: 29 set. 2018.
- AUDY, J. L. N.; ANDRADE, G. K.; CIDRAL, A. **Fundamentos de Sistemas de Informação**. Porto Alegre: Bookman, 2005. 208 p.
- AVERY, T. E.; BERLIN, G. L. **Fundamentals of Remote Sensing and Airphoto Interpolation**. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1992. 472 p.

BARROS, A. J. S.; LEHFELD, N. A. S. **Fundamentos de Metodologia Científica**. São Paulo: Pearson, 2007.

BASTIAANSSEN, W. G. M. **SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey**. *Journal of Hydrology*, v. 229, p. 87–100, 2000.

BASTIAANSSEN, W. G. M.; MENENTI, M.; FEDDES, R.; HOLTSLAG, B. **A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation**. *Journal of Hydrology*, v. 212, p. 198–212, 12 1998.

BATISTA, E. O. **Sistema de Informação: O uso Consciente da Tecnologia para o Gerenciamento**. São Paulo: Saraiva, 2004.

BEZERRA, J. M.; MOURA, G. B. de A.; SILVA, B. B. da; LOPES, P. M. O.; SILVA, E. F. de F. e. **Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, Brasil**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, n. 1, p. 73–84, 2014.

BEZERRA, P. E. S.; MORAES, E. T. de; SOARES, I. R. da C. **Análise da Temperatura de Superfície e do Índice de Vegetação no Município de Belém na Identificação das Ilhas de Calor**. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 70, n. 3, p. 803–818, jul-set 2018.

BIO, S. R. **Sistemas de informação: um enfoque gerencial**. São Paulo: Atlas, 2007. Disponível em: <[http://www.projetoderedes.com.br/artigos/artigo\\_porque\\_estudar\\_sistemas\\_de\\_informacao.php](http://www.projetoderedes.com.br/artigos/artigo_porque_estudar_sistemas_de_informacao.php)>. Acesso em: 27 set. 2018.

BOEGH, E.; SOEGAARD, H.; THOMSEN, A. **Evaluating evapotranspiration rates and surface conditions using Landsat TM to estimate atmospheric resistance and surface resistance**. *Remote Sensing of Environmental*, v. 79, p. 329–343, 2002.

BORATTO, I. M. **Espacialização dos componentes do balanço de energia e de evapotranspiração, na região norte de minas gerais, utilizando o modelo SEBAL e imagens orbitais Land-Sat 5 TM**. PUC Minas, p. 129, 2012. Dissertação de mestrado apresentada, ao Programa de Pós-Graduação em Geografia - Tratamento da Informação Espacial.

BRANDÃO, T. de S. **Codevasf inaugura sistema para garantir abastecimento de água para irrigação e consumo humano no Jaíba, no Norte de Minas**. Montes Claros: CODEVASF, 2019. Disponível em: <[https://www.codevasf.gov.br/noticias/2019/codevasf\\_inaugura\\_sistema\\_para\\_garantir\\_abastecimento\\_de\\_agua\\_para\\_irrigacao\\_e\\_consumo\\_humano\\_no\\_jaiba\\_no\\_norte\\_de\\_minas](https://www.codevasf.gov.br/noticias/2019/codevasf_inaugura_sistema_para_garantir_abastecimento_de_agua_para_irrigacao_e_consumo_humano_no_jaiba_no_norte_de_minas)>. Acesso em: 07 out. 2019.

BRIASSOULIS, H. **Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches**. West Virginia University, 2000. Disponível em: <<http://www.rri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/contents.htm>>. Acesso em: 24 set. 2018.

BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resource assessment**. Londres: Oxford University Press, 1986. ISBN 0198545924.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. A.; ANTÔNIO, M.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. 09 2018.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M.; DRUCK, S.; CARVALHO, M. S. **Análise Espacial e Geoprocessamento**. Brasília: Embrapa, 2004. ISBN 8573832606.

CAMARGO, A. P.; PEREIRA, A. R. **Prescrição de rega por modelo climatológico**. Fundação Cargill, Campinas, p. 27, 1990.

CAMARGO, A. P.; PINTO, H. S.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; BRUNINI, O.; ALFONSI, R. R.; ORTOLANDI, A. A. **Aptidão climática de culturas agrícolas**. CATI, São Paulo, p. 109–149, 1974. In: SECRETARIA DE AGRICULTURA DE SÃO PAULO. Zoneamento agrícola do Estado de São Paulo.

CAMARGO, M. B. P.; CAMARGO, A. P. **Representação gráfica informatizada do extrato do balanço hídrico de Thornthwaite & Mather**. Campinas, v. 52, p. 169–172, 1993.

CANONGIA, C.; SANTOS, D.; SANTOS, M. M.; ZACKIEWICZ, M. **Foresight, inteligência competitiva e gestão do conhecimento: instrumentos para a gestão da inovação**. Gestão & Produção, São Carlos, v. 11, n. 2, p. 231–238, 2004.

CAVALCANTI, I. F. de A.; FERREIRA, N. J.; DIAS, M. A. F.; SILVA, M. G. A. J. da; DIAS, M. A. F. da S. **Tempo e clima no Brasil**. Oficina de Textos, São Paulo, p. 464, 2009.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. **Revised Landsat 5 - TM radiometric calibration procedures and post calibration dynamic ranges**. IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing, v. 41, p. 2674–2677, 2003.

CHOO, C. **A organização do conhecimento: como as organizações usam a informação para criar significado, construir conhecimento e tomar decisões**. São Paulo: Senac, 2003.

CODEVASF. **Levantamento de aptidão para irrigação e mapeamento pedológico**. CODEVASF, Brasília, DF, 1978.

\_\_\_\_\_. **Cadastro frutícola 1999 do Vale do São Francisco**. CODEVASF, Brasília, 1999. 1 CD-ROM.

\_\_\_\_\_. **Polos de Desenvolvimento**. CODEVASF, 2019. Disponível em: <<https://www.codevasf.gov.br/linhas-de-negocio/irrigacao/perimetros-irrigados/polos-de-desenvolvimento-1>>. Acesso em: 18 mai. 2019.

\_\_\_\_\_. **Projeto Gorutuba**. 2019. Disponível em: <<http://www.codevasf.gov.br/principal/perimetros-irrigados/elenco-de-projetos/gorutuba>>. Acesso em: 17 abr. 2019.

\_\_\_\_\_. **Projeto Jaíba**. 2019. Disponível em: <<http://www.codevasf.gov.br/principal/perimetros-irrigados/elenco-de-projetos/jaiba-ii-iii-iv>>. Acesso em: 17 abr. 2019.

CORRÊA, P. B.; CORRÊA, J. A. de J. **Análise da Temperatura de Superfície da Área Urbana de Santarém Através de Imagens Termais do Landsat 5**. Revista Geonorte, v. 2, n. 4, p. 714–722, 2012.

CRISTOFOLETTI, A.; MARETTI, E.; TEIXEIRA, A. L. A. **Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica**. Rio Claro: Edição do Autor, 1992. Acesso em: 3 out. 2018.

- D'ANGELIS FILHO, J. **Políticas locais para o “desenvolvimento” no norte de Minas: uma análise das articulações local & supralocal**. Universidade Católica de Temuco, Temuco, Chile, 2005. Dissertação de mestrado. CDS – Centro de Desarrollo Sustentable.
- DAVENPORT, T.; PRUSAK, L. **Working Knowledge: How Organizations Manage What They Know**. Cambridge, EUA: Harvard Business School Press, 1998. v. 1.
- DIG. **Distrito de Irrigação do Perímetro Gorutuba**. 2019. Disponível em: <<http://www.dig.org.br>>. Acesso em: 23 abr. 2019.
- DIJ. **Distrito de Irrigação de Jaíba**. 2019. Disponível em: <<http://www.projetojaiba.com.br/>>. Acesso em: 22 abr. 2019.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. UFPB, Campina Grande, p. 306, 1994. Estudos FAO, Irrigação e Drenagem 33. Tradução Gheyi, H.R. e outros.
- DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília: Embrapa, 2004. ISBN 857383260-6.
- ECOPLAN. **Plano da bacia do verde grande**. 2011. Relatório do Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do Rio Verde Grande. Disponível em: <[http://www.verdegrande.cbh.gov.br/planobacia/20091103\\_Relatorio\\_de\\_Diagnostico.pdf](http://www.verdegrande.cbh.gov.br/planobacia/20091103_Relatorio_de_Diagnostico.pdf)>. Acesso em: 07 mai. 2019.
- ELMIRO, M. A. T. **Elementos de Cartografia**. Belo Horizonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2001. Disponível em: <[http://www.csr.ufmg.br/cart01/elementoscartografia\\_timbo.pdf](http://www.csr.ufmg.br/cart01/elementoscartografia_timbo.pdf)>. Acesso em: 3 out. 2018.
- ELMORE, A. J.; MUSTARD, J. F.; MANNING, S. J.; LOBELL, D. B. **Quantifying vegetation change in semiarid environments: precision and accuracy of spectral mixture analysis and the normalized difference vegetation index**. Remote Sens. Environ., p. 73:87–102, 2000.
- ESRI. **ESRI ArcGIS**. 2018. Disponível em: <<https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/overview>>. Acesso em: 20 set. 2018.
- \_\_\_\_\_. **ESRI World Imagery**. ESRI, 2019. Disponível em: <<https://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World/Imagery/MapServer>>. Acesso em: 06 set. 2019.
- FERREIRA, M. C. **Considerações teórico-metodológicas sobre as origens e inserção do Sistema de Informação na Geografia**. In: VITTE, A. C. **Contribuições à história e à epistemologia da Geografia**. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, p. 101–125, 2007.
- FERREIRA, M. da S.; BARROSO, L. C. ao; ABREU, J. o Francisco de. **Sistema de Informações Geográficas, Análise Espacial E Geografia**. Décima Cuarta Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática - CИСCI 2014, p. 6, 2015.
- FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002.

FONSECA, V. L.; FONSECA, G. S. **A Paisagem de agonia do Rio Vieira em Montes Claros**. UNIMONTES – Universidade Estadual de Montes Claros, Montes Claros – MG, 2012.

FORSYTH, D.; PONCE, J. **Computer Vision: A modern approach**. [S.l.]: Prentice Hall, 2001.

FRANÇA, I. S.; SOARES, B. R. **O Sertão norte-mineiro e suas transformações recentes. II ENCONTRO DE GRUPOS DE PESQUISA**, UFU, jun. 2006.

GARRISON, J. D.; ADLER, G. P. **Estimation of precipitable water over the United States for application to the division of solar radiation into its direct and diffuse components**. *Solar Energy*, v. 44, n. 4, p. 225–241, 1990.

GIL, A. L. **Sistemas de Informações Contábil/Financeiros**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1999. ISBN 9788565837651.

GIONGO, P. R.; MOURA, G. B. A.; SILVA, B. B. da; ROCHA, H. R.; MEDEIROS, S. R. R.; NAZARENO, A. C. **Albedo à superfície a partir de imagens Landsat 5 em áreas de cana-de-açúcar e cerrado**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, p. 279–287, 2010.

GOMES, H. B.; SILVA, Y. U.; SANTOS, M. N.; JÚNIOR, A. M.; OCRÉCIO, T. C. M. **Análise comparativa dos índices de vegetação NDVI e SAVI na microrregião do vale do Pajeú-PE**. I Workshop Internacional Sobre Água no Semiárido Brasileiro, Campina Grande - PB, p. 1–5, 2013.

GONZALES, R.; WOODS, P. **Digital Image Processing**. 4. ed. Londres: Pearson, 2014. ISBN 9780133356724.

HEXAGON GEOSPATIAL. **ERDAS Imagine**. 2018. Disponível em: <<https://www.hexagongeospatial.com/products/power-portfolio/erdas-imagine>>. Acesso em: 20 set. 2018.

HUETE, A. R. **A Soil-adjusted vegetation index (SAVI)**. *Remote Sensing of Environment*, p. 25:295–309, 1988.

IBGE. **Noções Básicas de Cartografia**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1998. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/356835040/nocoas-basicas-cartografia-pdf>>. Acesso em: 3 out. 2018.

\_\_\_\_\_. **Malhas Digitais: Municípios - 2010**. 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/download/geociencias.shtm>>. Acesso em: 30 abr. 2019.

\_\_\_\_\_. **Produção Agropecuária Municipal, Produto Interno Bruto Municipal e Sistema Nacional de Informação de Gênero - Uma análise dos resultados do Censo Demográfico (2000 e 2010) - Municípios de Jaíba e Janaúba (anos de 2005 a 2015)**. IBGE, 2017. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/panorama>>. Acesso em: 16 mai. 2019.

\_\_\_\_\_. **IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. 2018. Disponível em: <<http://downloads.ibge.gov.br>>. Acesso em: 30 ago. 2018.

IGLESIAS, M.; UHLEIN, A. **Estratigrafia do Grupo Bambuí e coberturas fanerozóicas no vale do Rio São Francisco, norte de Minas Gerais**. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 39, n. 2, p. 256–266, 2009.

INMET. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) - Dados climáticos históricos diários**. 2019. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 14 mai. 2019.

INPE. **INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. 2018. Disponível em: <<http://www.inpe.br>>. Acesso em: 20 set. 2018.

IZIOMONS, M. G.; MAYER, H. **On the variability and modeling of surface albedo and long-wave radiation components**. Agricultural and Forest Meteorology, v. 111, p. 141–152, 2002.

JÄHNE, B. **Digital Image Processing**. 3. ed. [S.l.]: Springer-Verlag, 2002. 402 p. ISBN 3540592989.

JENSEN, J. R. **Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective**. 2. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1996.

\_\_\_\_\_. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 1. ed. São José dos Campos: Diário do Comércio, 2009. 244 p. Traduzido por José Carlos Neves Epiphânio. ISBN 97885605070601.

JENSEN, N. E. **Water consumption by agriculture plants**. Academic Press, New York, v. 2, p. 1–22, 1968. In: KOZLOWSKI, T.T. (ed) Water deficits and plant growth.

JIANG, C. Y. H. **Digital Elevation Model and Satellite Imagery Based Bushfire Simulation**. American Journal of Geographic Information System 2, n. 4, p. 108–120, 2013.

KÖPPEN, W. **Climatologia: com un estudio de los climas de la tierra**. Buenos Aires, 1931.

LAUDON, K.; LAUDON, J. **Sistemas de Informação**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1999.

LEIVAS, J.; FONTANA, D.; BERLATO, M.; CARDOSO, L. **Variação diária do albedo sobre uma superfície vegetada e sobre um lago na estação experimental da UFRGS-RS. XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, jul. 2007.

LEONARDI, F. **Abordagens cognitivas e mineração de dados aplicadas a dados ópticos orbitais e de laser para a classificação de cobertura do solo urbano**. Mestrado diss., Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Paulo, 2010.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 3. ed. Hoboken: John Wiley and Sons, 1994. 750 p.

LIU, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Uniderp, Campo Grande, p. 908, 2006.

LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. **Sistemas e ciência da informação geográfica**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 540 p. Traduzido por André Schneider ... et al. ; revisão técnica: Heinrich Hasenack, Eliseu José Weber. ISBN 9788565837651.

- LUMBRERAS, J. F.; NAIME, U. J.; OLIVEIRA, A. P. de; NETO, L. de F. da S.; FILHO, A. de C.; MOTTA, P. E. F. da; CALDERANO, S. B.; SIMÕES, M. L. R.; AGLIO, M. L. D.; VIEIRA, E. M.; MACHADO, M. L.; SANTOS, A. J. R. dos; SILVA, D. C. da; SOUZA, J. S. de; FERREIRA, A. R. **Levantamento Semidetalhado dos Solos do Projeto Jaíba (Etapa III), Estado de Minas Gerais**. 2014. 148 p. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 248. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/solos/publicacoes>>. Acesso em: 30 abr. 2019.
- MAIO, A. C. D. **Conceitos de Geoprocessamento**. Niterói: UFF, 2008. Disponível em: <<https://www3.ufpe.br/latecgeo/images/PDF/g2.pdf>>. Acesso em: 3 out. 2018.
- MARKHAM, B. L.; BARKER, J. L. **Landsat MSS and TM Post-Calibration Dynamic Rangers, Exoatmospheric Reflectance and At-Satellite Temperatures**. **EO-SAT Landsat Tech**, p. 3–8, 1986.
- MARONI, J. R. **Ele "plantou" chuva no sertão e melhorou a vida de milhares de pessoas**. Curitiba: Gazeta do Povo, 2019. Disponível em: <[https://www.gazetadopovo.com.br/agronegocio/ele\\_plantou\\_chuva\\_no\\_sertao\\_e\\_melhorou\\_a\\_vida\\_milhares\\_de\\_pessoas/](https://www.gazetadopovo.com.br/agronegocio/ele_plantou_chuva_no_sertao_e_melhorou_a_vida_milhares_de_pessoas/)>. Acesso em: 08 out. 2019.
- MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informação Geográfica**. 4. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 399 p.
- MONTEIRO, T. R. R. **Uso dos solos, índices de vegetação e degradação na APA das Onças-PB–João Pessoa**. Universidade Federal da Paraíba, p. 106, 2013. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia - Território, Trabalho e Ambiente.
- MORAN, M. S.; JACKSON, R. D.; SLATER, P. N.; TEILLET, P. M. **Evaluation of simplified procedures for retrieval of land surface reflectance factors from satellite sensor output**. *Remote Sensing of Environment*, v. 41, p. 169–184, 1992.
- MORESI, E. A. D. **Delineating the value of the information system of an organization**. Brasília: Revista Ciência da Informação, 2000. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-19652000000100002](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-19652000000100002)>. Acesso em: 27 set. 2018.
- MOURA, A. C. M.; FREIRE, G. J.; OLIVEIRA, R. H. de; SANTANA, S. A. de; PEREIRA, M. F.; SOARES, A. M. E.; VOLL, V. L. **Geoprocessamento no apoio a políticas do programa Vila Viva em Belo Horizonte-MG: Intervenções em assentamentos urbanos precários**. 01 2010.
- MURALI, M. **Applications of remote sensing and Geographic Information System (GIS) in Archaeology**. jan. 2015.
- MUYLDER, C. F.; SILVA, R.; SOARES, F. C.; PARREIRAS, F.; PARDINI, D.; ZIVIANI, F. **Práticas de Gestão do Conhecimento e Indicadores de Geração da Inovação**. *Int. J. Knowl. Eng. Manage.*, Florianópolis, v. 3, n. 7, p. 153–170, nov 2014. ISSN 2316-6517.
- NAIME, U. J.; SILVA, D. C. da; VIEIRA, E. M.; GOMES, I.; SIMÃO, L. M. R. **Atualização do mapa de solos do Projeto Jaíba de acordo com o Sistema Brasileiro**

**de Classificação de Solos.** EPAMIG, Belo Horizonte, p. 56, 2011. EPAMIG. Série Documentos, 51.

NASA. **The Worldwide Reference System.** 2019. Disponível em: <<https://landsat.gsfc.nasa.gov/the-worldwide-reference-system/>>. Acesso em: 7 fev. 2019.

NOGUEIRA, A. H.; CARVALHO FILHO, J. H.; MENDES, R. C. **Perfil Industrial das Regiões Norte de Minas, Jequitinhonha/Mucuri e Rio Doce.** Belo Horizonte - MG: INDI - Instituto de Desenvolvimento Integrado de Minas Gerais, 2008. 16 p.

NONAKA, I.; TAKEUCHI, H. **The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation.** New York: Oxford University Press, 1995.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações.** Blucher, São Paulo, 2010.

OLIVEIRA, D. A.; MOREIRA, P. A.; JÚNIOR, A. F. M.; PIMENTA, M. A. S. **Potencial da biodiversidade vegetal da Região Norte do Estado de Minas Gerais.** Unimontes Científica, v. 8, jan./jun. 2008.

OLIVEIRA, D. P. R. **Sistemas de Informação Gerenciais: Estratégias, Táticas Operacionais.** 8. ed. São Paulo: Atlas, 1992.

OLIVEIRA, I. M. de; SILVA, A. S. da; PEREIRA, L. A. G. **SIG aplicado ao estudo da produção e comercialização de frutas nos municípios de Janaúba e Jaíba – MG.** Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Geofronter, Campo Grande, v. 1, n. 4, p. 7–28, 2018.

OSCO, L. P.; BOIN, M. N.; RAMOS, A. P. N.; FELICIO, M. J. **Avaliação da temperatura de superfície a partir do uso de Geotecnologias – um estudo de caso no alto curso da bacia hidrográfica do rio Pirapozinho/SP.** I Simpósio de Águas, Solo e Geotecnologias- SASGEO, Uberaba - MG, 2015.

PEDRO JÚNIOR, M. J.; MELLO, M. H. A.; PEZZOPANE, J. E. M. **Caracterização agroclimática da microbacia: Alto Curso do Ribeirão São Domingos (Pindorama).** Instituto Agrônômico, Campinas, p. 27, 1994. Boletim Técnico, 150.

PEDROSA-SOARES, A. C.; NOCE, C. M.; WIEDEMANN, C. M.; PINTO, C. P. **The Araçuaí–West Congo orogen in Brazil: An overview of a confined orogen formed during Gondwanland assembly.** Precambrian Research, 110, p. 307–232, 2001.

PEDROSA-SOARES, A. C.; WIEDEMANN, C. M. **Evolution of the Araçuaí Belt and its connection to the Ribeira Belt, Eastern Brazil.** Sociedade Brasileira de Geologia, São Paulo, p. 265–285, 2000. In: CORDANI, U. G., MILANI, E. J., THOMAZ-FILHO, A., CAMPOS, D.A. (eds), Tectonic Evolution of South America.

PEREIRA, A. R.; NOVA, N. A. V.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração.** FEALQ, Piracicaba, p. 183, 1997.

PINTO, S. A. F. **Sensoriamento Remoto e Integração de Dados Aplicados no Estudo da Erosão dos Solos: Contribuição Metodológica.** INPE, São José dos Campos, p. 134, 1991.



- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais –INPE, São José dos Campos/SP, 2010.
- QUERINO, C. A. S.; MOURA, M. A. L.; LYRA, R. F. F.; MARIANO, G. L. **Avaliação e comparação de Radiação solar Global e albedo com ângulo zenital na região amazônica**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 21, p. 42–49, 2006.
- RAMOS, R. R. D.; LOPES, H. L.; FREIRE, M. S.; SOBRAL, M. C.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ACCIOLY, L. J. O. **Determinação de variáveis biofísicas na bacia do rio Pajeú – Pernambuco, Brasil**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Curitiba, PR, 2011.
- RANGEL, J. E. de Q.; GOMES, H. M. **Introdução ao Processamento Digital de Imagens**. Revista RITA, VIII, n. 1, p. 1–31, 01 2001.
- RÊGO, S. C. A.; LIMA, P. P. S. de; LIMA, M. N. S.; MONTEIRO, T. R. R. **Análise comparativa dos índices de vegetação NDVI e SAVI no município de São Domingos do Cariri–PB**. Revista Geonorte, Edição Especial, v. 2, n. 4, p. 1217–1229, 2012.
- RENCZ, A. N.; RYERSON, R. A. **Manual of Remote Sensing, Remote Sensing for the Earth Sciences**. 3. ed. [S.l.]: John Wiley & Sons, Inc., 1999.
- RIBEIRO, E. P.; NOBREGA, R. s.; MOTA FILHO, F. de O.; MOREIRA, E. B. M. **Estimativa dos índices de vegetação na detecção de mudanças ambientais na bacia hidrográfica do rio Pajeú**. Revista Geosul, Florianópolis, v. 31, n. 62, p. 59–92, jul-ago 2016.
- RIBEIRO, L. **Seca altera a rotina nas lavouras do Jaíba**. Belo Horizonte: Estado de Minas, 2017. Disponível em: <[https://www.em.com.br/app/noticia/agropecuario/2017/10/09/interna\\_agropecuario,907062/seca\\_altera\\_a\\_rotina\\_nas\\_lavouras\\_do\\_jaiba.shtml](https://www.em.com.br/app/noticia/agropecuario/2017/10/09/interna_agropecuario,907062/seca_altera_a_rotina_nas_lavouras_do_jaiba.shtml)>. Acesso em: 08 out. 2019.
- ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar**. Juiz de Fora, p. 219, 2000.
- RODRIGUES, J. O.; ANDRADE, E. M.; TEIXEIRA, A. S.; SILVA, B. B. da. **Sazonalidade de variáveis biofísicas em regiões semiáridas pelo emprego do sensoriamento remoto**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 452–465, jul-set 2009.
- RODRIGUES, L. **Potencial da Agricultura Irrigada como Indutora do Desenvolvimento Regional: o caso do projeto Jaíba no Norte de Minas Gerais**. Revista Econômica do Nordeste, Fortaleza, v. 32, 2001.
- ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. **Planilhas no ambiente EXCEL para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 6, p. 133–137, 1998.
- ROSENDO, J. dos S. **Índices de Vegetação e Monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na Bacia do rio Araguari-MG, utilizando dados do sensor Modis**. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, p. 130, 2005. Dissertação (Mestrado em Geografia e Gestão do Território) - Programa de Pós-Graduação em Geografia.

ROUSE, J.; HAAS, R.; SCHELL, J.; DEERING, D. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS Symposium**, NASA SP-351, Washington D.C. NASA, v. 1, p. 309–317, 1973.

RUFINO, I. A. A. **Componentes de um SIG**. 2018. Disponível em: <<https://slideplayer.com.br/slide/1270256/>>. Acesso em: 22 set. 2018.

RUSS, J. C. **The image processing handbook**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press LLC, 2000.

SABOYA, R. T. **Uma introdução aos Sistemas de Informações Geográficas no planejamento urbano**. *Arquitextos*, v. 5, abr. 2005.

SANCHES, I. D. A.; ANDRADE, R. G.; QUARTAROLI, C. F.; RODRIGUES, C. A. G. **Análise comparativa de três métodos de correção atmosférica de imagens Landsat5–TM para obtenção de reflectância de superfície e NDVI**. Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto: INPE, p. 7564–7571, 2011.

SANTOS, G. D. dos; FRANCISCO, C. N.; ALMEIDA, C. M. de. **Mineração de dados aplicada à discriminação da cobertura da terra em imagem Landsat 8 OLI**. *Bol. Ciênc. Geodésica*, Curitiba, v. 21, n. 4, p. 706–720, 2015.

SANTOS, G. R. dos; SILVA, R. dos S. **Os irrigantes do projeto Jaíba: da produção de subsistência à agricultura moderna**. *Cadernos do Desenvolvimento*, v. 5, p. 349–372, out. 2010.

SANTOS, M. **A urbanização brasileira**. São Paulo: Edusp, 1993.

SEBRAE. **SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas**. 2018. Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br>>. Acesso em: 29 set. 2018.

SETZER, V. W. **Os Meios Eletrônicos e a Educação: Uma Visão alternativa**. Editora Escrituras, *Coleção Ensaios Transversais*, São Paulo, v. 10, 2001.

SILVA, A.; SILVA, R.; SILVA, B. **Estimativa de parâmetros biofísicos em diferentes tipos de uso e ocupação do solo no semiárido paraibano**. XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia, V Congresso Brasileiro de Geoprocessamento, XXV Expositiva, Gramado, RS, 2014.

\_\_\_\_\_. **Determinação de temperatura da superfície e estimativa do saldo de radiação e evapotranspiração usando imagens Landsat e dados observados**. *Revista Brasileira de Cartografia*, Rio de Janeiro, n. 67/6, p. 1203–1216, set-out 2015.

SILVA, B. B. da; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C.; OLIVEIRA, L. M. M. de; MONTENEGRO, S. M. G.; BARBOSA JÚNIOR, B. **Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: Application to the Brazilian semi-arid**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 20, n. 1, p. 3–8, 2016.

SILVA, B. B. da; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. de. **Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens Landsat 5 TM**. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 13, p. 201–211, 2005.

- SILVA, D. O.; MACHADO, M. L.; GOMES, I.; VIEIRA, E. M.; SIMÃO, M. L. R.; NAIME, U. J. **Levantamento e mapeamento de fatores edafoclimáticos visando o zoneamento agroecológico de culturas oleaginosas para a região Norte do estado de Minas Gerais**. EPAMIG, 2008.
- SILVA, F. B. da; OLIVEIRA, C. W.; NESS, R. L. L.; ARAÚJO, R. S.; ARAÚJO, G. P. de; SILVA, V. **Determinação do índice de área foliar (IAF) e do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) na chapada do Araripe através de imagens de satélite (LandSAT 5 TM), diferentes anos, na estação seca**. VI Encontro Nacional da Anapas, Belém - PA, set. 2012.
- SILVA, J. da; HAMULAK, T. M.; RIBEIRO, S. R. A. **Índice de vegetação (NDVI) para identificação de áreas de reflorestamento**. Anais Semana de Geografia, UEPG, Ponta Grossa - PR, v. 1, n. 1, 2012. ISSN 23179759.
- SILVA, L. G.; GALVÍNCIO, J. D. **Análise comparativa da variação nos índices NDVI e SAVI no Sítio PELD – 22, em Petrolina – PE, na primeira década do século XXI**. Revista Brasileira de Geografia Física, n. 6, p. 1446–1456, 2012.
- SOARES FILHO, B. S. **Modelagem da dinâmica de paisagem de uma região de fronteira de colonização amazônica**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), São Paulo, p. 299, 1998. Tese (Doutorado em Engenharia Civil).
- SOBRINO, J. A.; JIMÉNEZ-MUÑOZ, J. C.; PAOLINI, L. **Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5**. Remote Sensing of Environment, p. 434–440, 2004.
- SOUZA, F. X. S. **Alterações do Macroclima Urbano de Paranaguá Devido à Ação Antrópica – PR**. Revista de Divulgação Científica e Cultural do Isulpar, v. 1, n. 1, p. 52–68, 2010.
- STAIR, R. M. **Princípios de sistemas de informação**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- STAIR, R. M.; REYNOLDS, G. W. **Princípios de sistemas de informação: uma abordagem gerencial**. 4. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2002.
- SUGAWARA, L. M.; ADAMI, M.; RUDORFF, B. F. T.; FARIA, V. G. C. de. **Avaliação de três métodos de estimativas de índice de área foliar aplicados à cana-de-açúcar**. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - INPE, Natal, Brasil, p. 25–30, 2009.
- TASUMI, M.; ALLEN, R. G.; TREZZA, R. **At-surface reflectance and albedo from satellite for operational calculation of land surface energy balance**. Journal of Hydrologic Engineering, v. 13, n. 2, p. 51–63, 2008.
- TERRA, J. C. C. **Gestão do conhecimento: o grande desafio empresarial**. São Paulo: Negócio Editora, 2001. 313 p.
- TERRA, J. C. C.; AO, M. R.; LEONARDI, S.; FREDERICK, B. **10 dimensões da gestão da inovação: uma abordagem para a transformação organizacional**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. 344 p.
- THORNTHWAITE, C. W. **An approach toward a rational classification of climate**. Geogr. Rev, p. 55–94, 1948.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Drexel Institute of Technology, Centerton, NJ, v. 8, n. 1, p. 104, 1955. Publications in climatology.

TIZADO, E. J. **i.landsat.toar - Calculates top-of-atmosphere radiance or reflectance and temperature for Landsat MSS/TM/ETM+/OLI**. 2019. Disponível em: <<https://grass.osgeo.org/grass74/manuals/i.landsat.toar.html>>. Acesso em: 16 mar. 2019.

TURBAN, E.; JR., R.; PORTER, R. K. .; RICHARD, E. **Introdução a Sistemas de informação**. Rio de Janeiro: Elseier, 2007. Tradução: Daniel Vieira.

UC DAVIS. **Espectro Eletromagnético**. 2018. Disponível em: <[https://chem.libretexts.org/Textbook\\_Maps/Physical\\_and\\_Theoretical\\_Chemistry\\_Textbook\\_Maps/Supplemental\\_Modules\\_\(Physical\\_and\\_Theoretical\\_Chemistry\)/Spectroscopy/Fundamentals\\_of\\_Spectroscopy/Electromagnetic\\_Radiation](https://chem.libretexts.org/Textbook_Maps/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Supplemental_Modules_(Physical_and_Theoretical_Chemistry)/Spectroscopy/Fundamentals_of_Spectroscopy/Electromagnetic_Radiation)>. Acesso em: 20 set. 2018.

USGS. **Landsat 8 - United States Geological Survey**. 2018. Disponível em: <<https://landsat.usgs.gov/landsat-8>>. Acesso em: 20 set. 2018.

\_\_\_\_\_. **United States Geological Survey - Copyrights and Credits**. 2018. Disponível em: <<https://www.usgs.gov/information-policies-and-instructions/copyrights-and-credits>>. Acesso em: 20 set. 2018.

\_\_\_\_\_. **United States Geological Survey - Earth Explorer**. 2018. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 20 set. 2018.

\_\_\_\_\_. **Landsat - United States Geological Survey**. 2019. Disponível em: <<https://landsat.usgs.gov/>>. Acesso em: 6 fev. 2019.

\_\_\_\_\_. **Landsat 5 - United States Geological Survey**. 2019. Disponível em: <<https://landsat.usgs.gov/landsat-5>>. Acesso em: 6 fev. 2019.

\_\_\_\_\_. **Landsat 8 (L8) data users handbook**. U.S. Geological Survey, abril 2019.

VALVERDE, M. **Produção de limão no Jaíba em alta**. Diário do Comércio, nov. 2015.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. UFV, Viçosa, p. 449, 1991.

WANG, J.; RICH, P. M.; PRICE, K. P. **Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the Central Great Plains**. *International Journal of Remote Sensing*, UEPG, v. 24, n. 11, p. 2345–2364, 2003.

WATSON, D. J. **Comparative physiological studies on growth of field crops: I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years**. *Annals of Botany*. *Annals of Botany*, v. 11, n. 1, p. 41–76, 1947.

ZHONG, Q.; LI, Y. H. **Satellite observation of surface albedo over the Qinghai-Xizang plateau region**. *Advances in Atmospheric Science*. v. 5, p. 57–65, 1988.

# APÊNDICE A – Modelos espaciais utilizados para o tratamento dos dados - Landsat 5

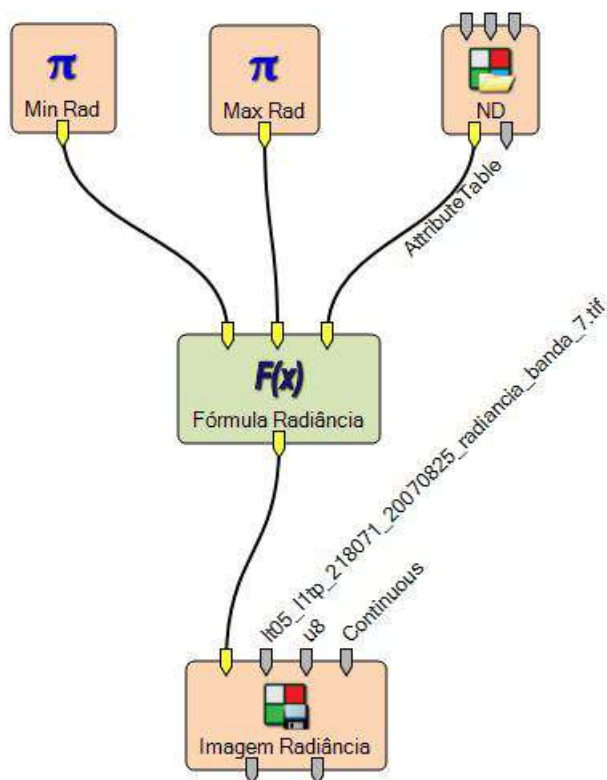


Figura A-1 - Radiância

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

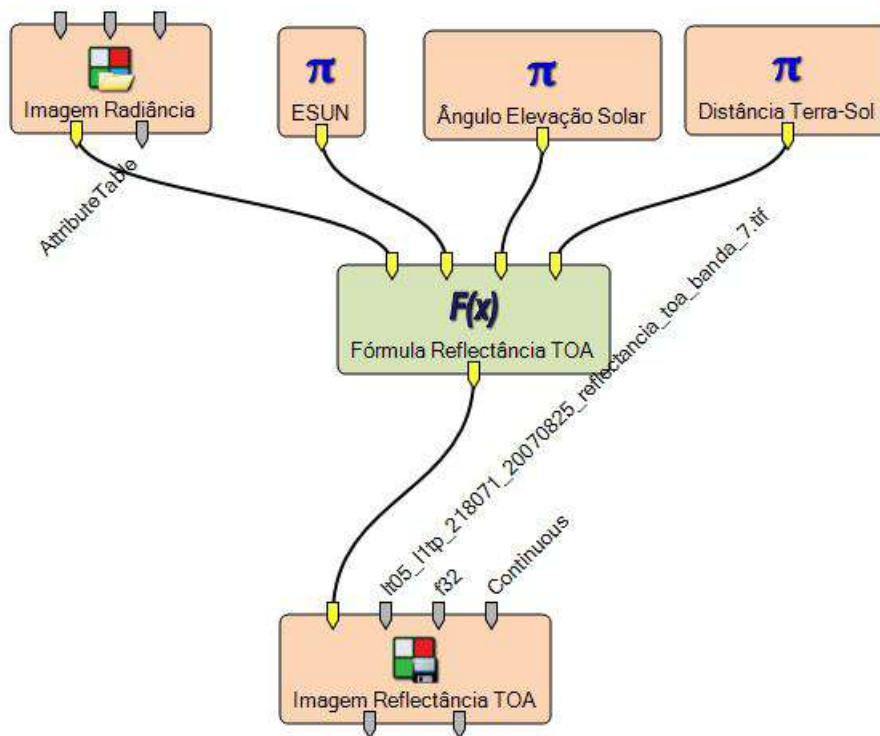


Figura A-2 - Reflectância no topo da atmosfera  
 Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

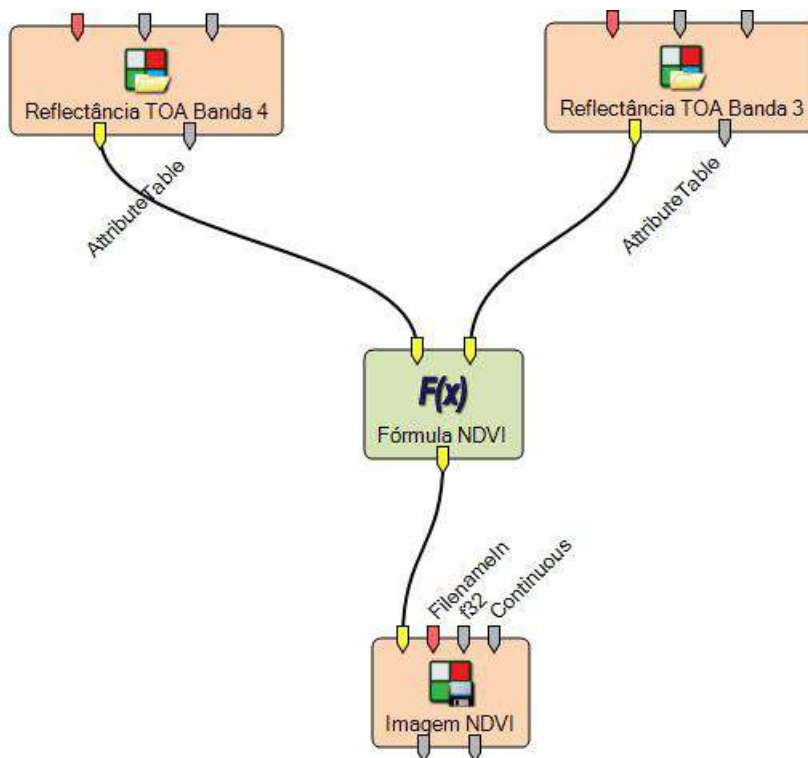


Figura A-3 - NDVI  
 Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

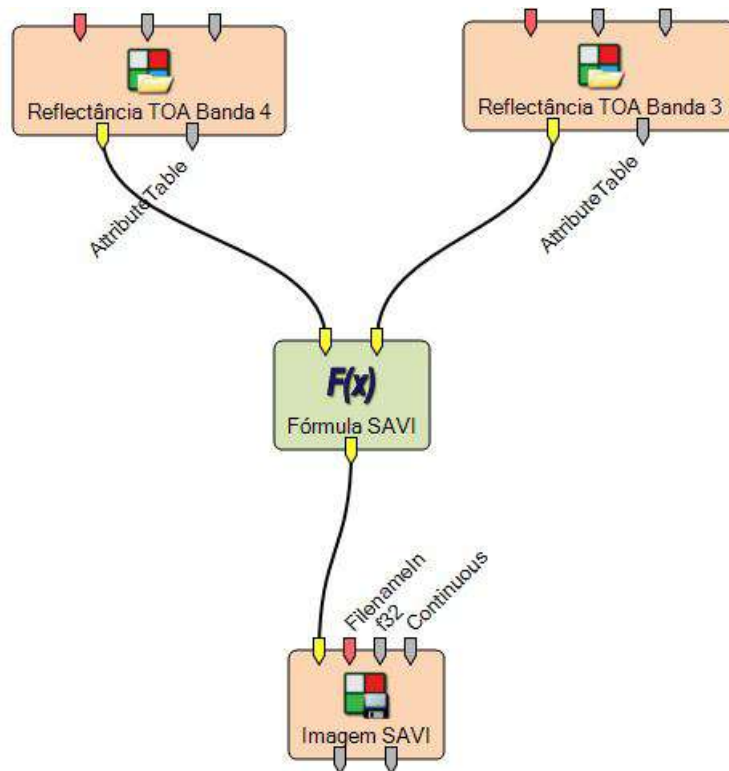


Figura A-4 - SAVI

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

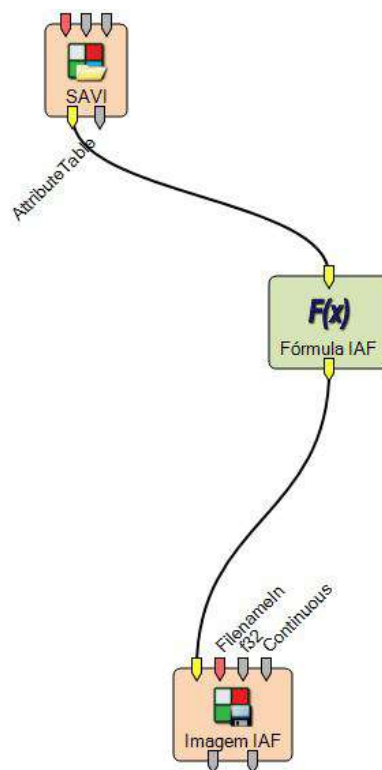


Figura A-5 - IAF

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

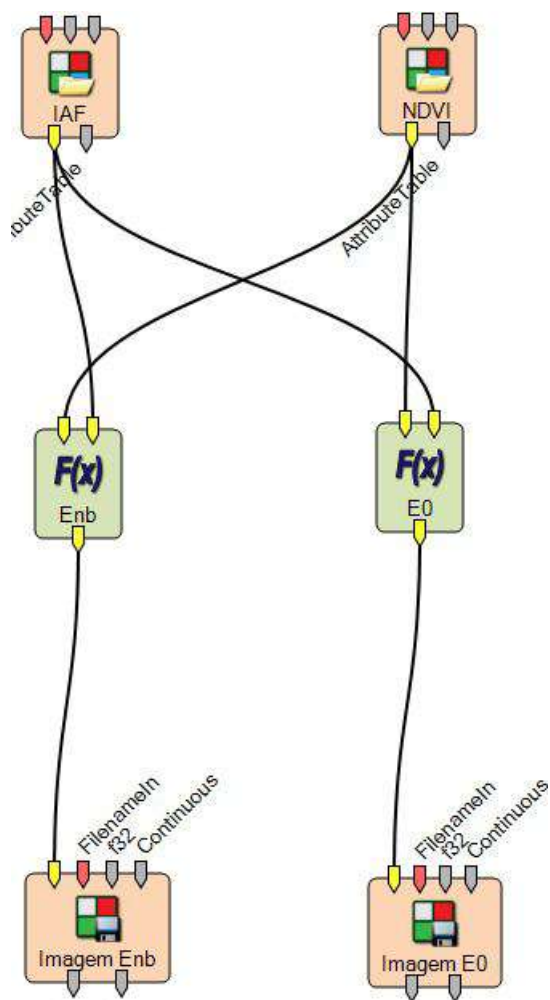


Figura A-6 - Emissividade da Superfície

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.



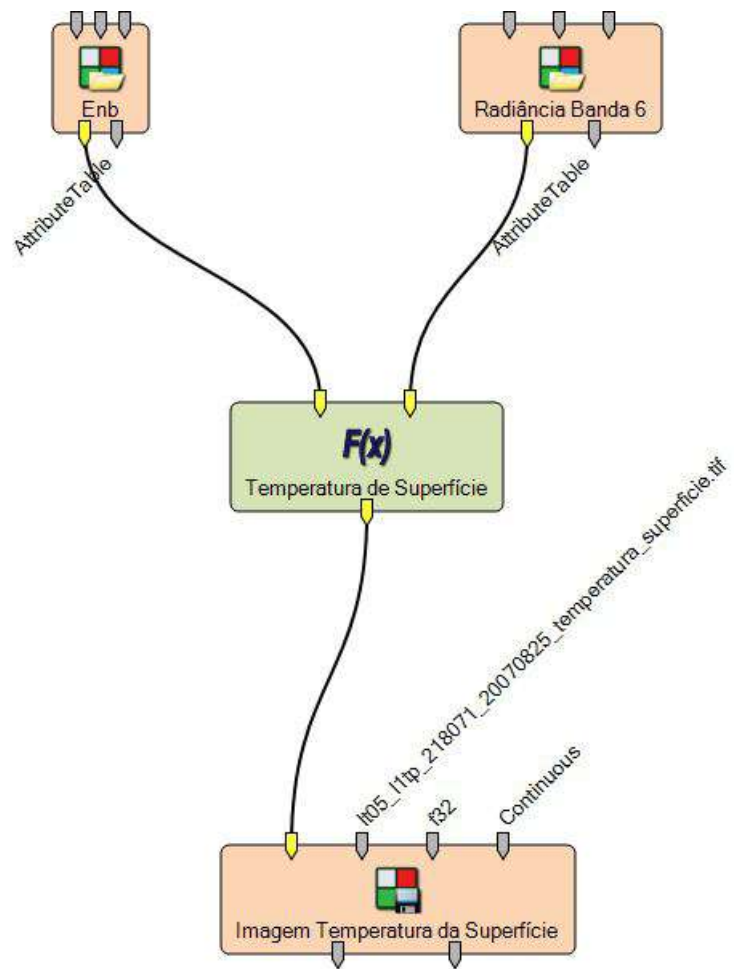


Figura A-7 - Temperatura da Superfície

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

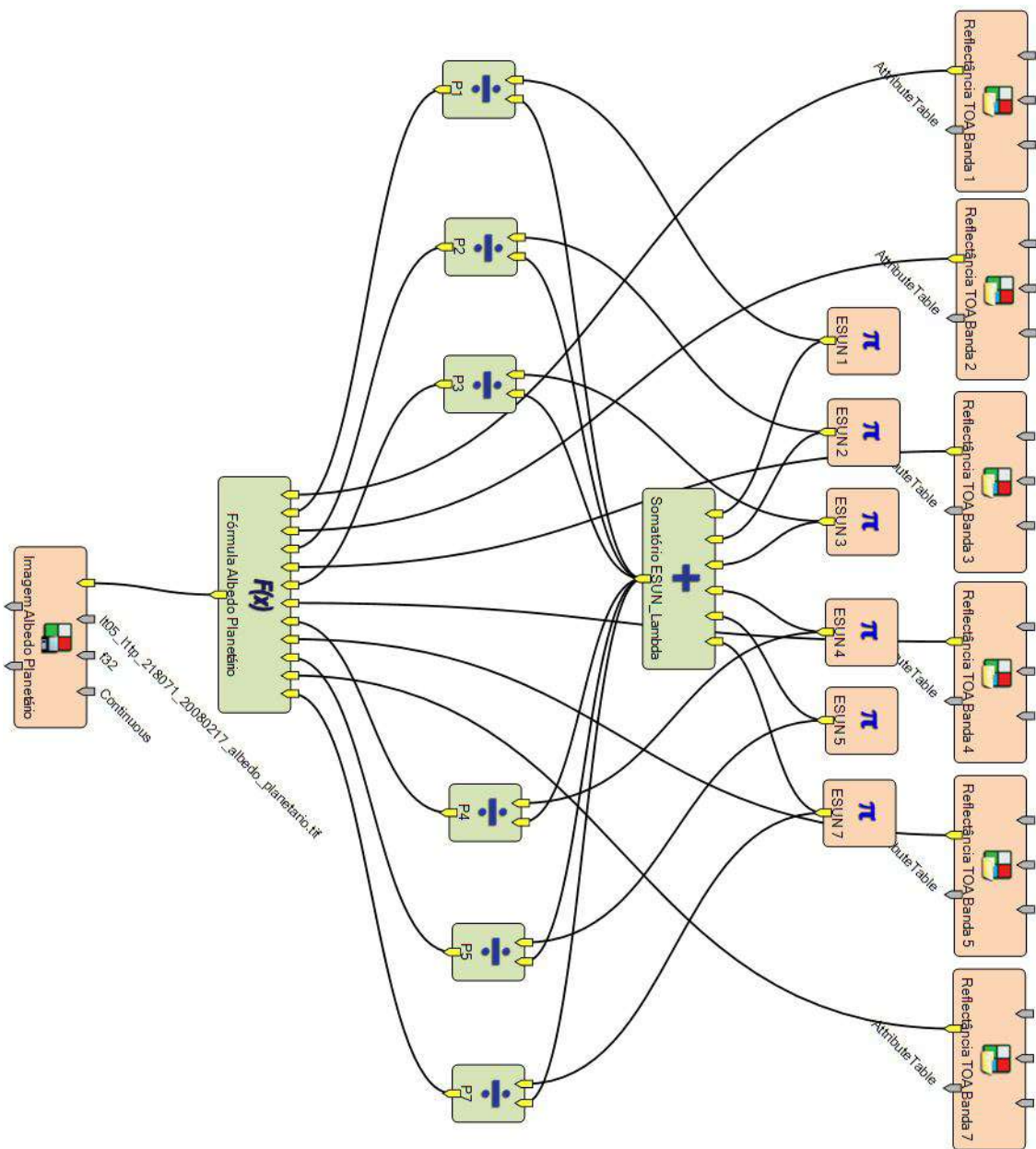


Figura A-8 - Albedo no topo da atmosfera

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

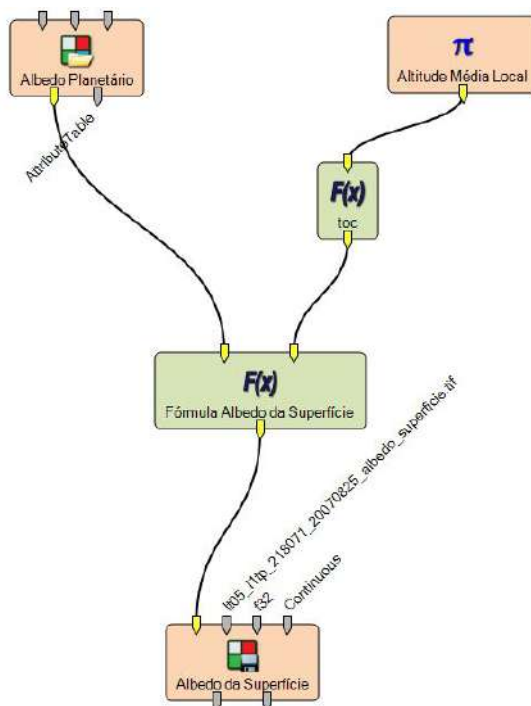


Figura A-9 - Albedo da Superfície

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

## APÊNDICE B – Modelos espaciais utilizados para o tratamento dos dados - Landsat 8

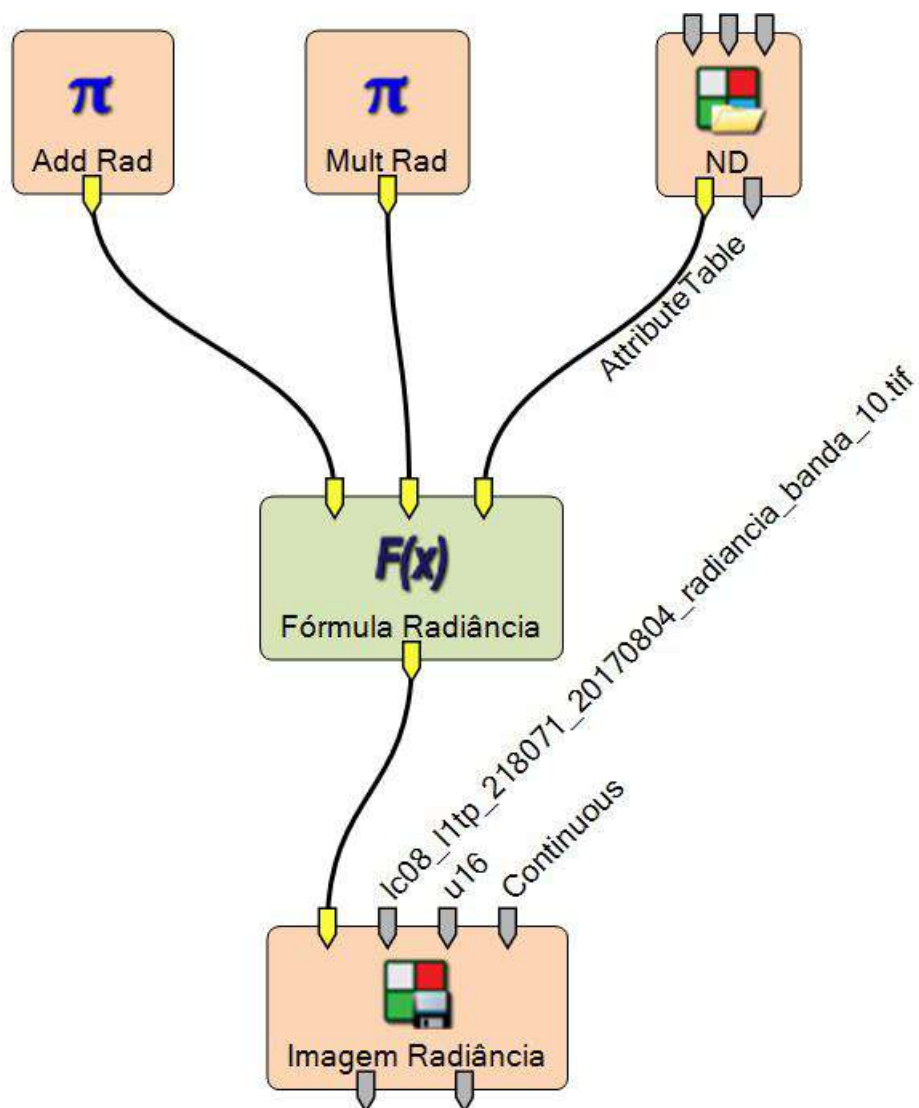


Figura B-1 - Radiância

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

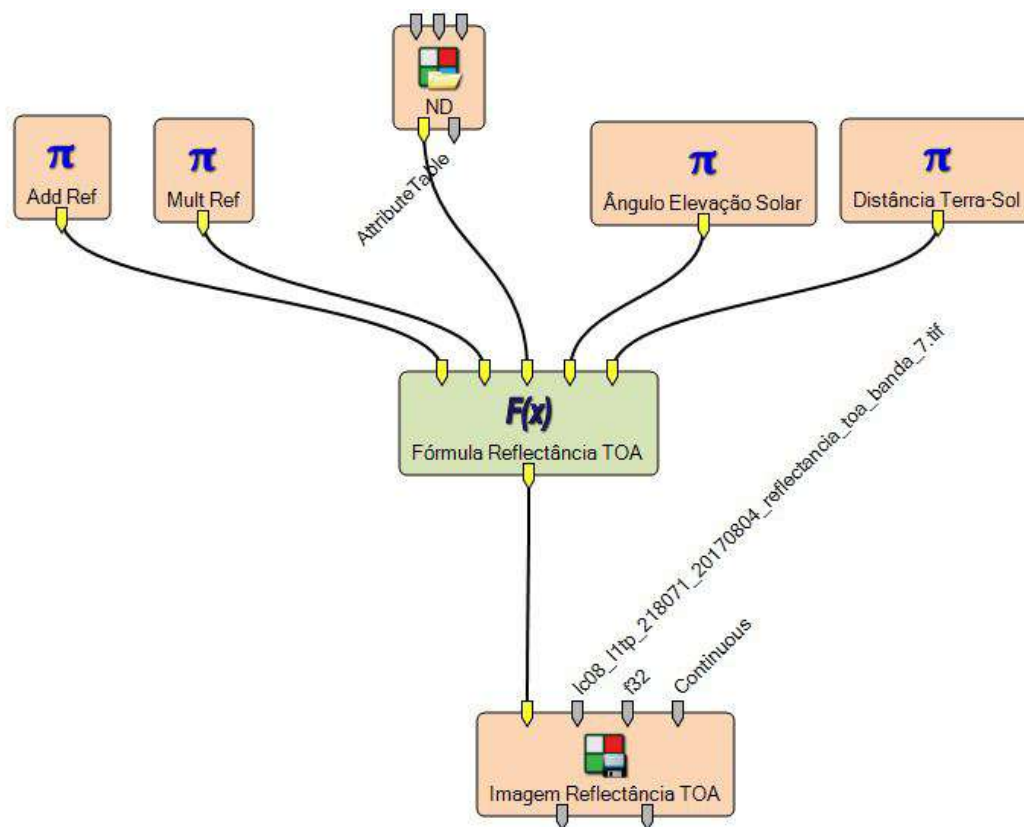


Figura B-2 - Reflectância no topo da atmosfera  
 Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

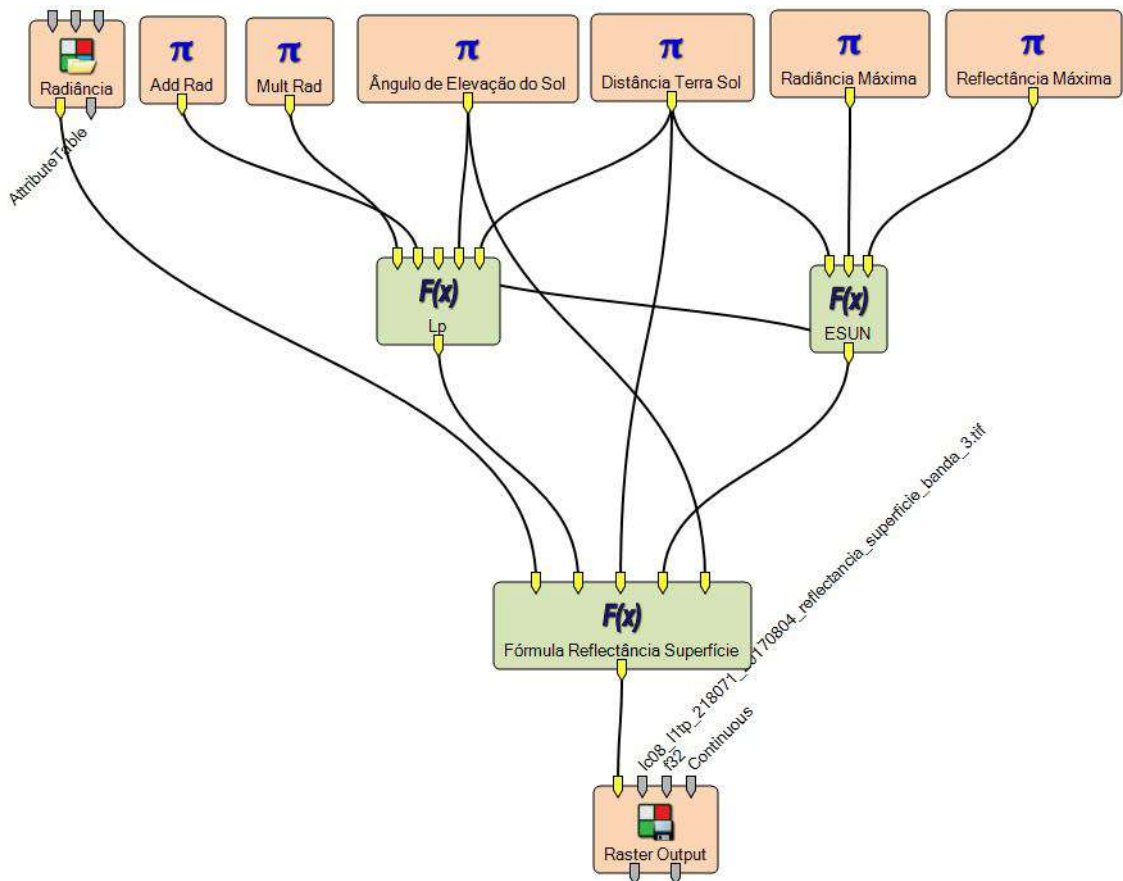


Figura B-3 - Reflectância da superfície

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

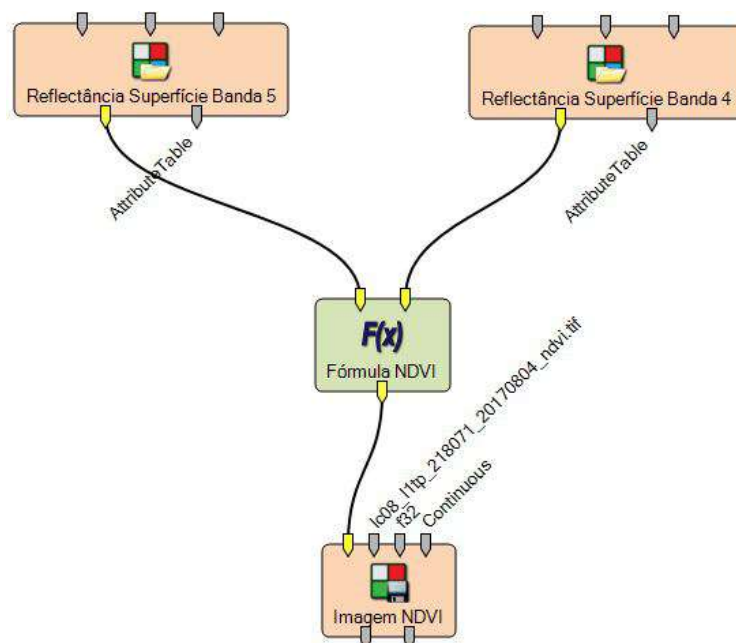


Figura B-4 - NDVI

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

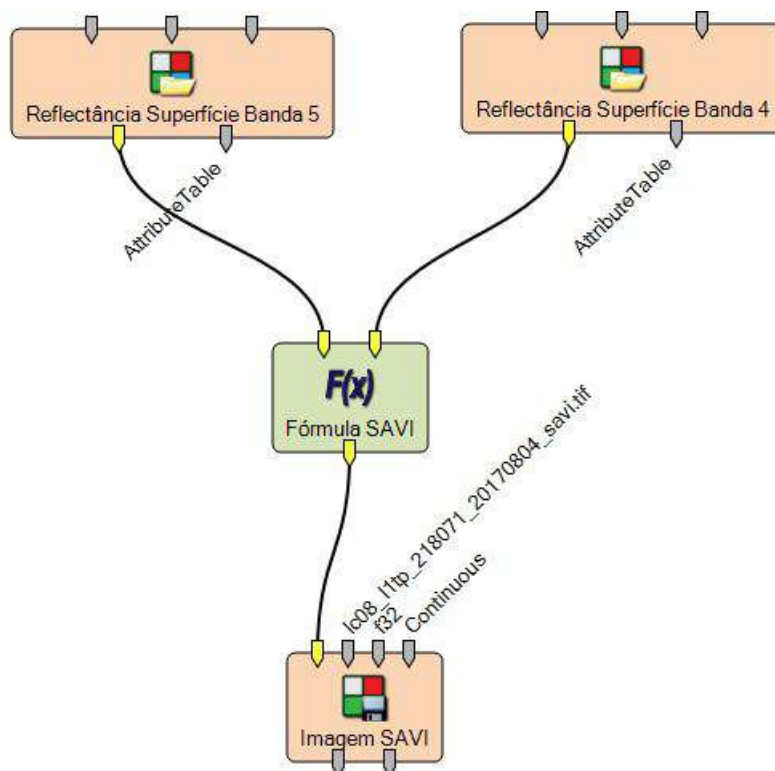


Figura B-5 - SAVI

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

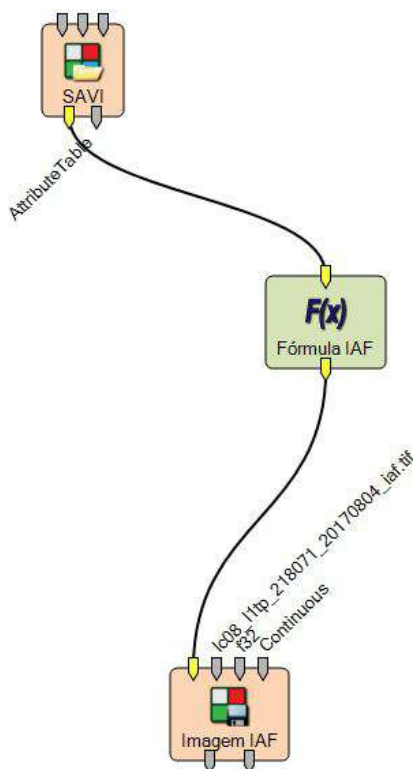


Figura B-6 - IAF

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

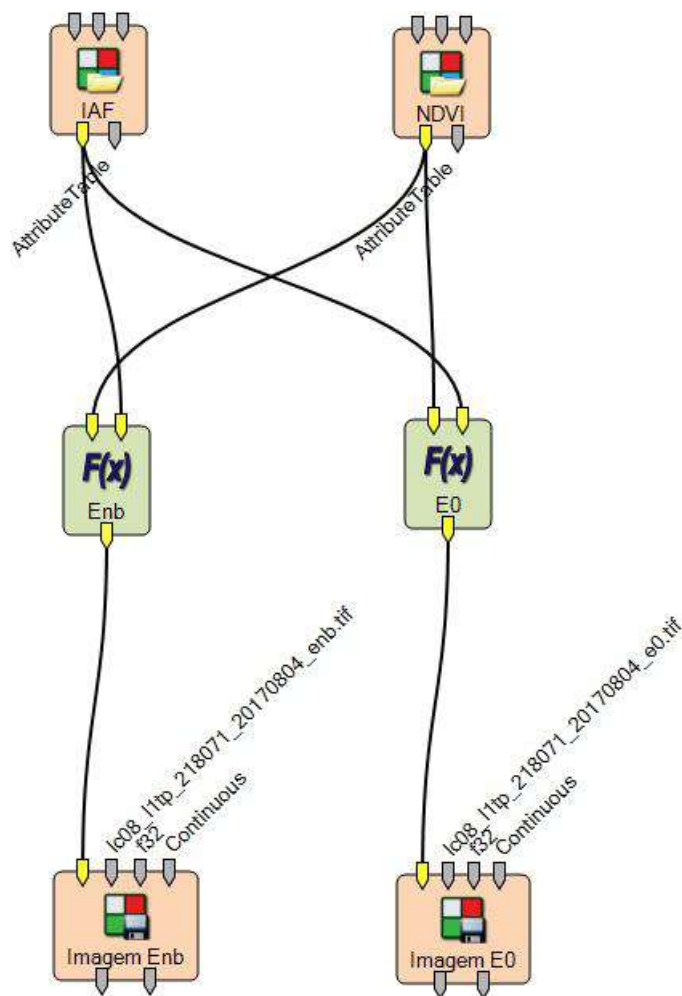


Figura B-7 - Emissividade da Superfície

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.



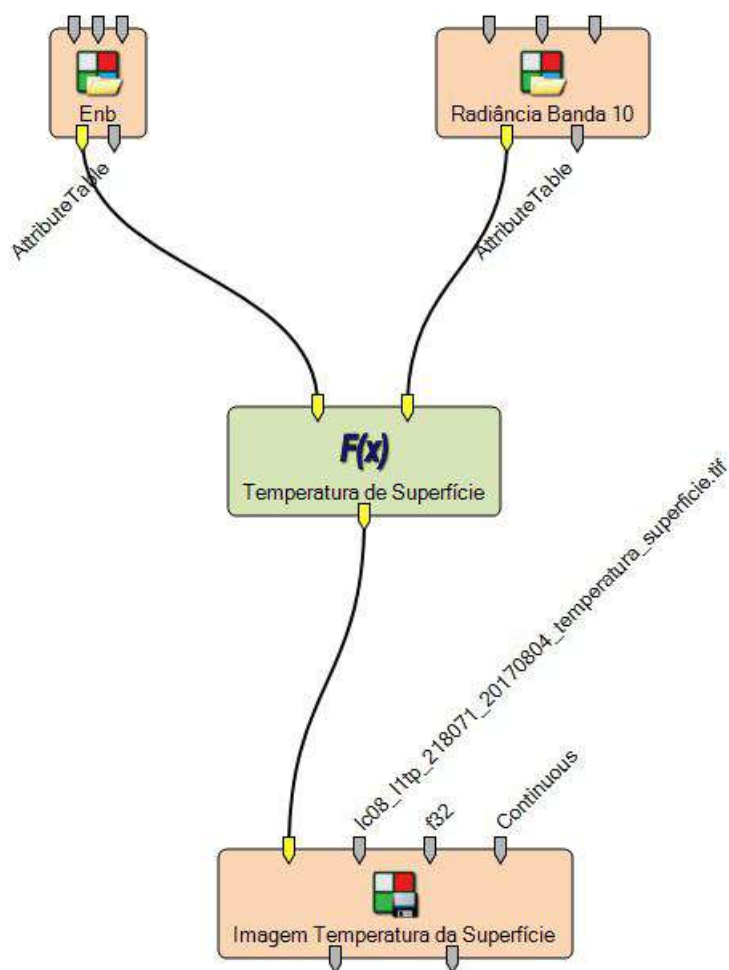


Figura B-8 - Temperatura da Superfície

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

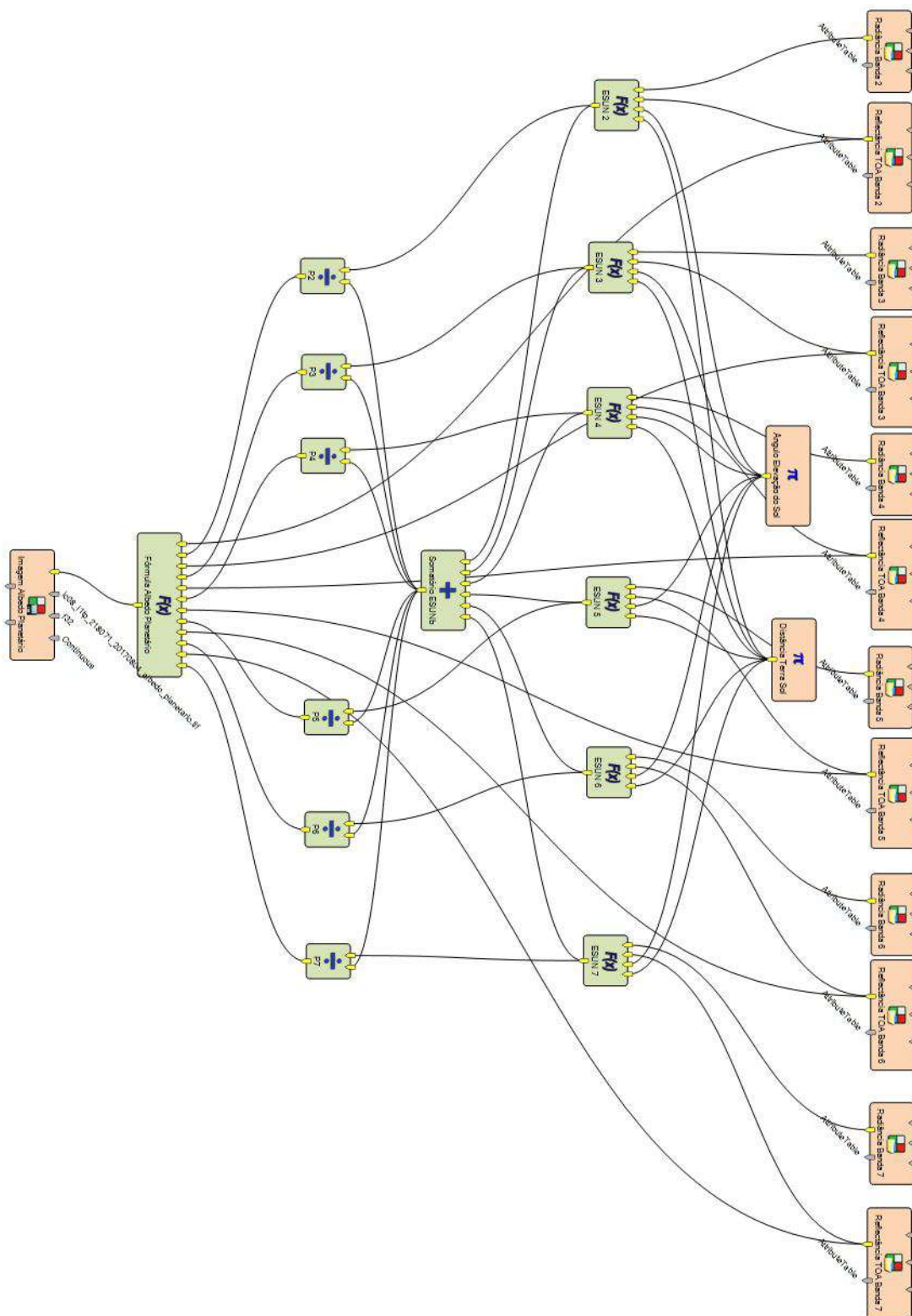


Figura B-9 - Albedo no topo da atmosfera  
 Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

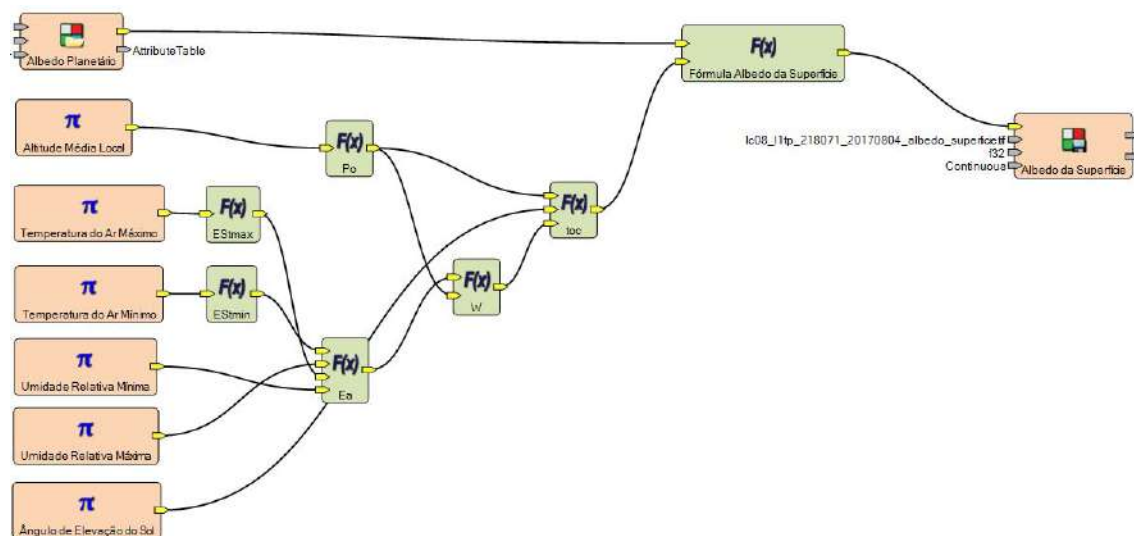


Figura B-10 - Albedo da Superfície

Fonte: Elaborada pelo autor; dados da pesquisa.

## APÊNDICE C – Médias por decêndios de dados climáticos mensais de Janaúba (Gorutuba)

*Médias por decêndios (Med Dec) de dados climáticos mensais do período de 01/01/1999 a 31/08/2016 de Janaúba (Gorutuba), Minas Gerais, relativos à Temperatura do ar máxima (Tmax), Temperatura do ar mínima (Tmin) e Temperatura do ar média (Tmed), Umidade relativa do ar média (UR), Precipitação média (Pmed), Velocidade do vento média (Vmed) e Insolação (Ins).*

Med Dec	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Tmed (°C)	Ins (horas)	UR (%)	Vel Vmed (m.s <sup>-1</sup> )	Pmed (mm)
01-10 Jan	32,3	20,5	25,8	7,5	65,7	0,9	57,7
11-20 Jan	32,3	20,5	25,7	7,5	66,7	0,9	93,7
21-31 Jan	33,0	20,7	26,2	7,8	63,9	1,0	56,1
01-10 Fev	33,0	20,3	26,1	8,2	61,2	1,2	45,7
11-20 Fev	33,4	20,6	26,4	8,5	60,3	1,1	44,1
21-28 Fev	33,6	20,6	26,4	8,1	62,5	1,2	28,2
01-10 Mar	32,6	20,6	26,0	7,5	65,7	1,0	64,4
11-20 Mar	32,6	20,6	25,9	7,2	66,2	0,9	52,1
21-31 Mar	32,6	20,6	26,1	8,2	63,9	1,1	24,5
01-10 Abr	32,7	20,6	26,0	8,1	62,1	1,3	25,9
11-20 Abr	32,2	20,4	25,7	8,3	61,0	1,7	11,8
21-30 Abr	32,0	19,7	25,3	8,3	58,7	1,7	18,8
01-10 Mai	31,8	19,0	24,8	8,3	58,2	1,8	2,1
11-20 Mai	30,8	18,4	23,9	8,5	58,2	2,0	6,1
21-31 Mai	31,3	17,7	23,8	8,6	57,6	1,6	3,3

01-10 Jun	30,1	18,1	23,5	8,7	57,2	2,2	0,0
11-20 Jun	30,4	16,8	23,1	8,9	54,6	1,7	0,4
21-30 Jun	30,1	16,9	23,0	8,9	53,8	1,9	0,0
01-10 Jul	29,6	16,3	22,5	8,6	53,2	2,0	0,0
11-20 Jul	29,9	16,5	22,6	8,7	53,7	1,8	0,2
21-31 Jul	30,4	16,2	23,1	9,4	49,7	1,8	0,3
01-10 Ago	30,7	16,3	23,3	9,4	47,0	1,9	0,0
11-20 Ago	30,2	16,7	23,2	8,9	47,7	2,4	0,0
21-31 Ago	32,1	17,6	24,7	9,1	45,6	2,0	0,8
01-10 Set	32,5	17,7	25,0	9,3	43,5	2,0	0,4
11-20 Set	33,2	18,4	25,6	9,3	43,8	2,0	0,4
21-30 Set	33,4	18,9	25,8	8,4	48,5	1,8	7,1
01-10 Out	33,9	20,0	26,7	8,5	46,2	1,9	13,7
11-20 Out	33,9	19,9	26,8	8,1	46,7	1,5	18,3
21-31 Out	34,0	20,4	27,0	7,5	51,2	1,3	38,0
01-10 Nov	32,5	20,7	26,0	6,5	60,8	1,1	99,6
11-20 Nov	32,0	20,6	25,8	6,3	63,0	1,2	54,0
21-30 Nov	31,2	20,6	25,3	5,4	68,1	0,7	120,5
01-10 Dez	31,7	20,7	25,6	6,6	68,9	0,8	89,3
11-20 Dez	31,2	20,8	25,4	5,8	71,5	0,7	92,5
21-31 Dez	31,9	20,4	25,5	6,9	68,3	0,7	96,5

Tabela C-1 – Médias por decêndios de dados climáticos mensais de Janaúba (Gorutuba).

Fonte: INMET (2019).

## APÊNDICE D – Médias por decêndios de dados climáticos mensais de Jaíba (Mocambinho)

Médias por decêndios (Med Dec) de dados climáticos mensais do período de 01/01/1999 a 31/07/2012 de Jaíba (Mocambinho), Minas Gerais, relativos à temperatura do ar (máxima-Tmax, mínima-Tmin e média-Tmed), umidade relativa do ar média (UR), precipitação média (Tmax), velocidade do vento média (Vel Vmed) e insolação (Ins).

Med Dec	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Tmed (°C)	Ins (horas)	UR (%)	Vel Vmed (m.s <sup>-1</sup> )	Pmed (mm)
01-10 Jan	31,3	20,9	26,1	6,9	76,3	1,3	69,5
11-20 Jan	31,8	20,8	26,3	8,0	73,7	1,3	87,5
21-31 Jan	32,6	21,0	26,8	8,5	72,6	1,3	48,1
01-10 Fev	32,6	20,6	26,6	8,0	71,0	1,3	54,8
11-20 Fev	32,6	20,8	26,7	8,0	71,1	1,3	52,1
21-28 Fev	32,9	21,0	27,0	8,3	70,7	1,3	36,2
01-10 Mar	31,8	20,8	26,3	7,1	74,3	1,3	89,6
11-20 Mar	32,0	20,7	26,4	7,4	75,1	1,3	60,0
21-31 Mar	32,3	20,5	26,4	8,2	72,9	1,3	22,6
01-10 Abr	32,5	20,0	26,3	8,6	70,2	1,3	42,2
11-20 Abr	32,4	19,8	26,1	8,7	69,5	1,3	14,1
21-30 Abr	32,6	19,2	25,9	9,1	65,9	1,4	11,5
01-10 Mai	32,1	18,3	25,2	8,8	64,8	1,4	4,2
11-20 Mai	31,3	17,2	24,3	8,5	64,6	1,5	4,0
21-31 Mai	31,4	16,7	24,0	8,7	63,5	1,4	3,9

01-10 Jun	30,8	16,3	23,6	8,9	60,3	1,5	1,1
11-20 Jun	30,9	15,0	22,9	9,2	59,1	1,3	0,3
21-30 Jun	30,7	15,1	22,9	9,1	57,0	1,5	0,4
01-10 Jul	30,3	14,5	22,4	8,9	58,4	1,5	0,0
11-20 Jul	30,7	14,8	22,8	8,9	57,6	1,4	0,1
21-31 Jul	31,1	14,3	22,7	9,6	53,6	1,5	0,0
01-10 Ago	31,7	14,5	23,1	9,7	51,9	1,5	0,0
11-20 Ago	31,2	14,6	22,9	9,6	49,1	1,7	0,6
21-31 Ago	33,0	16,2	24,6	9,6	47,9	1,6	0,2
01-10 Set	33,2	16,5	24,8	9,7	45,3	1,6	2,9
11-20 Set	33,9	17,3	25,6	9,7	42,8	1,7	2,3
21-30 Set	33,8	18,5	26,2	8,1	50,4	1,7	4,5
01-10 Out	35,0	19,9	27,5	8,9	47,2	1,7	10,4
11-20 Out	34,3	19,8	27,0	8,1	50,3	1,7	24,1
21-31 Out	33,8	20,7	27,2	7,4	56,6	1,8	45,4
01-10 Nov	32,2	20,8	26,5	5,7	67,5	1,4	63,6
11-20 Nov	32,5	20,9	26,8	6,7	66,9	1,4	64,0
21-30 Nov	31,1	20,8	26,1	5,9	73,8	1,4	117,4
01-10 Dez	31,7	21,0	26,4	6,4	74,4	1,3	81,2
11-20 Dez	31,3	21,0	26,2	5,7	75,1	1,4	62,6
21-31 Dez	31,6	21,0	26,3	6,7	73,6	1,3	64,1

Tabela D-1 – Médias por decêndios de dados climáticos mensais de Jaíba (Mocambinho).

Fonte: INMET (2019).

## APÊNDICE E – Médias dos dados do balanço hídrico climatológico para a região de Janaúba (Gorutuba)

Médias dos dados do balanço hídrico climatológico com a variação de excedente hídrico (EXC), deficiência hídrica (DEF), precipitação média (Pmed), evapotranspiração potencial (ETP), evapotranspiração real (ETR), *Alteração* (ALT) e armazenamento de água no solo (ARM), para a região de Janaúba (Gorutuba), a partir de uma capacidade de água disponível no solo de 100 mm.

Decêndios	Número de dias	Pmed (mm)	ETP* (mm)	P-ETP (mm)	NEG-AC**	ARM (mm)	ALT (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
J1	10	57,7	44,7	13,1	0,0	100,00	0,00	44,7	0,0	13,1
J2	10	93,7	43,9	49,8	0,0	100,00	0,00	43,9	0,0	49,8
J3	11	56,1	51,3	4,8	0,0	100,00	0,00	51,3	0,0	4,8
F1	10	45,7	45,8	-0,2	-0,2	99,82	-0,18	45,8	0,0	0,0
F2	10	44,1	47,1	-3,0	-3,2	96,84	-2,98	47,1	0,1	0,0
F3	8	28,2	37,1	-8,9	-12,1	88,57	-8,28	36,5	0,7	0,0
M1	10	64,4	43,6	20,9	0,0	100,00	11,43	43,6	0,0	9,4
M2	10	52,1	42,8	9,2	0,0	100,00	0,00	42,8	0,0	9,2
M3	11	24,5	47,4	-23,0	-23,0	79,48	-20,52	45,0	2,4	0,0
A1	10	25,9	41,9	-16,0	-39,0	67,70	-11,78	37,6	4,3	0,0
A2	10	11,8	40,0	-28,2	-67,2	51,06	-16,64	28,4	11,6	0,0
A3	10	18,8	37,5	-18,7	-85,9	42,35	-8,71	27,5	10,0	0,0
M1	10	2,1	34,5	-32,4	-118,4	30,61	-11,73	13,8	20,7	0,0
M2	10	6,1	30,4	-24,3	-142,7	24,01	-6,60	12,7	17,7	0,0
M3	11	3,3	32,7	-29,4	-172,1	17,89	-6,12	9,4	23,3	0,0
J1	10	0,0	28,3	-28,2	-200,3	13,49	-4,40	4,4	23,8	0,0
J2	10	0,4	26,9	-26,5	-226,8	10,35	-3,14	3,5	23,4	0,0
J3	10	0,0	26,1	-26,1	-252,9	7,97	-2,38	2,4	23,7	0,0
J1	10	0,0	24,5	-24,5	-277,4	6,24	-1,73	1,7	22,7	0,0
J2	10	0,2	25,0	-24,9	-302,3	4,87	-1,37	1,5	23,5	0,0
J3	11	0,3	29,6	-29,3	-331,6	3,63	-1,24	1,5	28,1	0,0



A1	10	0,0	27,9	-27,9	-359,6	2,74	-0,88	0,9	27,1	0,0
A2	10	0,0	27,8	-27,8	-387,3	2,08	-0,67	0,7	27,1	0,0
A3	11	0,8	38,1	-37,3	-424,6	1,43	-0,65	1,4	36,6	0,0
S1	10	0,4	36,3	-36,0	-460,6	1,00	-0,43	0,8	35,5	0,0
S2	10	0,4	40,2	-39,8	-500,4	0,67	-0,33	0,7	39,5	0,0
S3	10	7,1	41,7	-34,6	-535,0	0,47	-0,20	7,3	34,4	0,0
O1	10	13,7	47,0	-33,3	-568,3	0,34	-0,13	13,8	33,2	0,0
O2	10	18,3	48,2	-29,9	-598,2	0,25	-0,09	18,4	29,8	0,0
O3	11	38,0	54,8	-16,8	-615,0	0,21	-0,04	38,0	16,8	0,0
N1	10	99,6	44,8	54,7	-59,9	54,93	54,72	44,8	0,0	0,0
N2	10	54,0	43,9	10,1	-43,0	65,08	10,15	43,9	0,0	0,0
N3	10	120,5	41,8	78,7	0,0	100,00	34,92	41,8	0,0	43,8
D1	10	89,3	43,2	46,1	0,0	100,00	0,00	43,2	0,0	46,1
D2	10	92,5	42,3	50,3	0,0	100,00	0,00	42,3	0,0	50,3
D3	11	96,5	47,4	49,1	0,0	100,00	0,00	47,4	0,0	49,1
<b>TOTAIS</b>		1166,2	1406,6	-240,4		1674	0,00	890,7	515,9	275,6
<b>MÉDIAS</b>		32,4	39,1	-6,7		46,50		24,7	14,3	7,7

\*ETP calculada pelo método de Thornthwaite.

\*\*NEG-AC - Negativo-Acumulado

Tabela E-1 – Médias dos dados do balanço hídrico climatológico para a região de Janaúba (Gorutuba).

Fonte: INMET (2019).

## APÊNDICE F – Médias dos dados do balanço hídrico climatológico para a região de Jaíba (Mocambinho)

Médias dos dados do balanço hídrico climatológico com a variação de excedente hídrico (EXC), deficiência hídrica (DEF), precipitação média (Pmed), evapotranspiração potencial (ETP), evapotranspiração real (ETR), alteração (ALT) e armazenamento de água no solo (ARM), para a região de Jaíba (Mocambinho), a partir de uma capacidade de água disponível no solo de 100 mm.

Decêndios	Número de dias	Pmed (mm)	ETP* (mm)	P-ETP (mm)	NEG-AC**	ARM (mm)	ALT (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
J1	10	69,5	46,2	23,3	0,0	100,00	0,00	46,2	0,0	23,3
J2	10	87,5	47,2	40,2	0,0	100,00	0,00	47,2	0,0	40,2
J3	11	48,1	54,8	-6,7	-6,7	93,56	-6,44	54,5	0,2	0,0
F1	10	54,8	48,4	6,4	0,0	100,00	6,44	48,4	0,0	0,0
F2	10	52,1	48,7	3,4	0,0	100,00	0,00	48,7	0,0	3,4
F3	8	36,2	39,7	-3,6	-3,6	96,49	-3,51	39,7	0,1	0,0
M1	10	89,6	45,3	44,3	0,0	100,00	3,51	45,3	0,0	40,8
M2	10	60,0	45,2	14,9	0,0	100,00	0,00	45,2	0,0	14,9
M3	11	22,6	49,1	-26,5	-26,5	76,72	-23,28	45,9	3,2	0,0
A1	10	42,2	43,4	-1,2	-27,7	75,80	-0,92	43,1	0,3	0,0
A2	10	14,1	41,9	-27,8	-55,5	57,38	-18,42	32,5	9,4	0,0
A3	10	11,5	40,2	-28,7	-84,2	43,08	-14,30	25,8	14,4	0,0
M1	10	4,2	36,3	-32,1	-116,3	31,25	-11,82	16,0	20,3	0,0
M2	10	4,0	31,8	-27,8	-144,1	23,66	-7,59	11,6	20,2	0,0
M3	11	3,9	33,4	-29,5	-173,6	17,62	-6,04	10,0	23,5	0,0
J1	10	1,1	28,6	-27,5	-201,1	13,39	-4,23	5,3	23,2	0,0
J2	10	0,3	25,7	-25,4	-226,5	10,38	-3,01	3,3	22,4	0,0
J3	10	0,4	25,6	-25,2	-251,7	8,07	-2,31	2,7	22,9	0,0
J1	10	0,0	23,7	-23,7	-275,4	6,37	-1,70	1,7	22,0	0,0
J2	10	0,1	25,2	-25,1	-300,5	4,95	-1,41	1,5	23,7	0,0
J3	11	0,0	27,6	-27,6	-328,1	3,76	-1,19	1,2	26,4	0,0

A1	10	0,0	26,9	-26,9	-355,0	2,87	-0,89	0,9	26,0	0,0
A2	10	0,6	26,4	-25,8	-380,8	2,22	-0,65	1,3	25,1	0,0
A3	11	0,2	37,4	-37,2	-418,0	1,53	-0,69	0,9	36,5	0,0
S1	10	2,9	35,5	-32,6	-450,7	1,10	-0,43	3,4	32,2	0,0
S2	10	2,3	39,9	-37,6	-488,3	0,76	-0,35	2,7	37,3	0,0
S3	10	4,5	43,3	-38,9	-527,1	0,51	-0,24	4,7	38,6	0,0
O1	10	10,4	51,7	-41,3	-568,4	0,34	-0,17	10,5	41,1	0,0
O2	10	24,1	49,7	-25,6	-594,0	0,26	-0,08	24,2	25,5	0,0
O3	11	45,4	56,7	-11,2	-605,2	0,24	-0,03	45,5	11,2	0,0
N1	10	63,6	47,7	15,9	-182,2	16,17	15,93	47,7	0,0	0,0
N2	10	64,0	49,8	14,2	-119,1	30,38	14,22	49,8	0,0	0,0
N3	10	117,4	45,6	71,8	0,0	100,00	69,62	45,6	0,0	2,2
D1	10	81,2	47,7	33,5	0,0	100,00	0,00	47,7	0,0	33,5
D2	10	62,6	46,6	16,0	0,0	100,00	0,00	46,6	0,0	16,0
D3	11	64,1	52,0	12,1	0,0	100,00	0,00	52,0	0,0	12,1
<b>TOTAIS</b>		1145,5	1464,8	-319,3		1619	0,00	959,1	505,7	186,4
<b>MÉDIAS</b>		31,8	40,7	-8,9		44,97		26,6	14,0	5,2

\*ETP calculada pelo método de Thornthwaite.

\*\*NEG-AC - Negativo-Acumulado

Tabela F-1 – Médias dos dados do balanço hídrico climatológico para a região de Jaíba (Mocambinho).

Fonte: INMET (2019).