

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS**  
**CENTRO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**CURSO DE ENGENHARIA DE AGRIMENSURA**

**FLÁVIO DANIEL DA SILVA FELIX**

**USO DO SENSORIAMENTO REMOTO NA ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DO  
USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO TRECHO I  
DO CANAL DO SERTÃO**

**RIO LARGO - ALAGOAS**

**2020**

FLÁVIO DANIEL DA SILVA FELIX

**USO DO SENSORIAMENTO REMOTO NA ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DO  
USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO TRECHO I  
DO CANAL DO SERTÃO.**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Agrimensura do Centro de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Agrimensura.

**Orientador: Professor Dr. Arthur Costa Falcão Tavares**

**RIO LARGO - ALAGOAS  
2020**

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias**  
Bibliotecária Responsável: Myrtes Vieira do Nascimento

F316u Felix, Flávio Daniel da Silva

Uso do sensoriamento remoto na análise temporal do uso e ocupação do solo trecho I do Canal do Sertão. / Flávio Daniel da Silva Felix – 2020.  
47 f.; il.

Monografia de Graduação em Engenharia de Agrimensura (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias. Rio Largo, 2020.

Orientação: Prof. Dr. Arthur Costa Falcão Tavares

Inclui bibliografia

1. Canal do Sertão. 2. Sensoriamento remoto. 3. Solo - uso. I. Título.

CDU: 528.8

FLÁVIO DANIEL DA SILVA FELIX

**USO DO SENSORIAMENTO REMOTO NA ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DO  
USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO TRECHO I  
DO CANAL DO SERTÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Agrimensura.

---

Prof. DSc. Arthur Costa Falcão Tavares  
(Orientador)

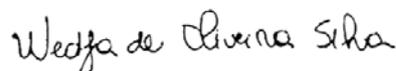
**Banca Examinadora:**



Henrique Ravi R. C. Almeida  
Prof. UFAL  
SIAPE: 2570329

---

Prof. DSc. Henrique Ravi R. de Carvalho Almeida



---

Profa. MSc. Wedja de Oliveira Silva

**RIO LARGO – ALAGOAS**

**2020**

Dedico esse trabalho à Deus, minha esposa, família e amigos.

## **AGRADECIMENTOS**

Chegar ao final de uma fase da vida tão longa e dura não é fácil, para se conquistar objetivos e grandes conquistas é necessário além de tudo boas companhias e grandes exemplos; com base nisso gostaria de prestar meu agradecimento e todo carinho a essas pessoas que me ajudaram a trilhar esse caminho. Primeiramente, agradecer a Deus por me conduzir nesse caminho e ter me dado essa oportunidade de chegar a esse curso, a toda minha família por todo o apoio, confiança e empenho para conclusão de mais uma etapa nos meus estudos, em especial a alguns deles: Maria José, Flávia Maria e Felipe Felix, que são o grande combustível para que feitos como esse sejam realizados. Agradecer a uma grande companheira da vida e de sala de aula, minha esposa Janaína Rocha Felix porque em todos os momentos tristes e alegres dessa jornada se fez presente e nunca deixou de acreditar que tudo terminaria com êxito, Janaína obrigado por ser minha dupla e companheira.

Além desse apoio familiar; um agradecimento especial a todos que dividiram esses anos comigo, foram dias de alegria e muitas noites sem dormir. A turma de agrimensura 2013.1 que me aceitou tão bem após minha reopção de curso, dentre eles: Fernando Amorim, Murilo Henrique, Rebeca, Cassius, Alexandre, Vitor e tantos outros que passaram pela turma e foram especiais de alguma forma; destacando o meu grande amigo NL que nunca mediu esforços para tirar dúvidas e me ajudar; muito obrigado pela força, meu amigo.

E por último, mas não menos importante, a todos os professores do curso de Engenharia de Agrimensura que contribuíram para minha formação, pois grande parte dessa formação não seria possível sem eles; com menção honrosa para os professores: Almair, Luciana, Rosilene e meu orientador Arthur; ressaltando o último destes como além de excelente professor, profissional, orientador e amigo; nunca mediu esforços e muitas vezes fora de horário sempre se mostrou disposto a agregar conhecimento, corrigir os erros e dar conselhos sobre o trabalho, além de mostrar sua paciência e entender que tinha que conciliar faculdade, trabalho e responsabilidades. Ao meu orientador o meu grande agradecimento.

## RESUMO

O canal adutor do sertão alagoano é um empreendimento que desde o início das obras gera esperança para a população do semiárido alagoano. O poder público em seu discurso sempre o apresenta como solução para os problemas da região principalmente no combate à seca. A utilização de imagens de satélite para estudos ambientais, como o uso do solo, viabiliza a obtenção de informações que abrangem grandes áreas territoriais; extraídos através de técnicas de análise, processamento e interpretação digital de imagens. Com esse embasamento, este trabalho toma forma, quando tem por finalidade observar o uso do solo, comparando principalmente o desenvolvimento da vegetação e a presença de urbanização ao longo do trecho I do canal do sertão que compreende o município de Delmiro Gouveia, Pariconha e Água Branca. Para isso foram utilizadas cenas (órbita/ponto: 216/66) referente aos anos de 2008 e 2016, provenientes dos satélites Landsat 5 e Landsat 8. Como produto foi perceptível que não ocorreu variação considerável na urbanização, água e agricultura; as classes que apresentaram grandes mudanças são: vegetação rasteira, vegetação densa e solo exposto, no qual tivemos como resultado o aumento do solo exposto que foi de 8,07% para 11,78% e uma diminuição da vegetação rasteira que apresentava 48,42% no ano de 2008 e diminuiu para 37,92% no ano de 2016.

**Palavras-chave:** Canal do sertão, sensoriamento remoto, classificação supervisionada, uso do solo.

## ABSTRACT

The adductor channel of the Alagoas backlands is a venture that since the beginning of the works has generated hope for the population of the Alagoas semiarid. The public power in his speech always presents him as a solution to the region's problems, especially in the fight against drought. The use of satellite images for environmental studies, such as land use, makes it possible to obtain information covering large territorial areas; extracted through techniques of analysis, processing and digital interpretation of images. With this background, this work takes shape when its purpose is to observe land use, comparing mainly the development of vegetation and the presence of urbanization along the stretch I of the backwoods channel that includes the municipality of Delmiro Gouveia, Pariconha and Água Branca. For this, scenes (orbit / point: 216/66) referring to the years 2008 and 2016 from Landsat 5 and Landsat 8 satellites were used. As a product it was noticed that there was no considerable variation in urbanization, water and agriculture; The classes that presented major changes are: undergrowth, dense vegetation and exposed soil, which resulted in an increase of exposed soil from 8.07% to 11.78% and a decrease in undergrowth that had 48.42 % in the year 2008 and decreased to 37.92% in the year 2016.

**Keywords:** Outback channel, remote sensing, supervised classification, land use.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 -	Definição do comprimento de onda, o número de ondas e a frequência da radiação eletromagnética.....	13
Figura 02 -	O espectro eletromagnético.....	14
Figura 03 -	Assinatura espectral dos alvos.....	16
Figura 04 -	Características do satélite Landsat 8.....	20
Figura 05 -	Características do sensor OLI.....	20
Figura 06 -	Canal do sertão.....	25
Figura 07 -	Mapa de localização (área de estudo).....	29
Figura 08 -	Fluxograma.....	30
Figura 09 -	Gráfico da área classificada, 2008.....	36
Figura 10 -	Gráfico da área classificada, 2016.....	36
Figura 11 -	Mapa da classificação do solo, Landsat 5 (2008).....	38
Figura 12 -	Mapa da classificação do solo, Landsat 8 (2016).....	39
Figura 13 -	NDVI, Landsat 5 (2008).....	40
Figura 14 -	NDVI, Landsat 8 (2016).....	41

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 -	Cenas utilizadas referente aos anos de 2008 e 2016.....	31
Tabela 02 -	Classificação das imagens 2008 e 2016.....	34
Tabela 03 -	NDVI com correção e sem correção.....	42

## LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Naturais
DN	Número Digital
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ERTS	<i>Resources Technology Satellite</i>
ETM+	<i>Enhanced Thematic Mapper Plus</i>
IFOV	<i>Field Of View</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IVPQ	Infravermelho de Pequena Onda
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MSS	Multispectral Scanner System
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NDVI	Índice de Vegetação da Diferença Normalizada
NIR	Infravermelho Refletido
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PEC	Padrão de Exatidão Cartográfica
RBV	<i>Return Beam Vidicon</i>
REM	Radiação Eletromagnética
SEMARH	Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Recursos hídricos de Alagoas
TCU	Tribunal de Contas da União
TM	<i>Thematic Mapper</i>
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
UTM	Universal Transversa de Mercator

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
	1.1 Objetivos gerais.....	11
	1.2 Objetivos específicos.....	11
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>12</b>
	2.1 Sensoriamento remoto.....	12
	2.2 Radiação eletromagnética.....	12
	2.3 Espectro eletromagnético.....	14
	2.4 Composição espectral.....	15
	2.5 Sistemas de sensores.....	16
	2.5.1 Resolução sensorial.....	17
	2.6 Programa landsat.....	18
	2.7 Classificação de imagens.....	21
	2.7.1 Classificação supervisionada.....	21
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>22</b>
	3.1 Transposição do são Francisco.....	22
	3.2 Canal do sertão alagoano .....	24
	3.3 Área de estudo.....	25
	3.3.1 Delmiro Gouveia.....	25
	3.3.2 Pariconha.....	26
	3.3.3 Água Branca.....	27
	3.4 Fluxograma.....	30
	3.5 Metodologia.....	30
	3.5.1 Aquisição dos dados.....	30
	3.5.2 Composição colorida.....	31
	3.5.3 Fusão da imagem.....	31
	3.5.4 Classificação.....	32
	3.5.5 Recorte.....	33
	3.5.6 Índice de vegetação.....	33
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>34</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>43</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>44</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com as políticas públicas de desenvolvimento rural voltadas para o campo Brasileiro é inserido dentro do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) o projeto do Canal adutor do Sertão. Este projeto é a maior e mais moderna obra hídrica realizada no estado alagoano, com objetivo de atender às demandas por água no espaço agrário da região semiárida. A obra do Canal do Sertão apresenta-se como objeto fixo da paisagem capaz de provocar impactos sociais, culturais e ambientais ao longo do seu percurso idealizado e concluído, assinalando para a necessidade de se refletir sobre esses impactos ou transformações, assim como a reconfiguração sócio espacial do seu entorno.

Em termos técnicos, o Canal do Sertão tem como finalidade construir um canal adutor capaz de transportar as águas do rio São Francisco em uma estrutura de 250 km de extensão, saindo de Delmiro Gouveia no Sertão alagoano, até Arapiraca, no agreste. O objetivo com Canal é diminuir os problemas que atingem a região devido às estiagens que acontecem no semiárido alagoano, de forma que aumente o desenvolvimento de uma agricultura irrigada, tendo como finalidade, ainda, o abastecimento humano e a dessedentação animal.

O imageamento terrestre a partir de satélites permite a aquisição de informações sobre objetos sem contato físico direto, utilizando-se de sensores para coletar a energia proveniente do objeto, convertê-la em sinal possível de ser registrado e apresentá-lo em forma adequada à extração de informações, proporcionando uma visão sinóptica do terreno e ao mesmo tempo, aproveitando o contexto espacial para medir os impactos naturais e antrópicos locais e permitindo ainda o monitoramento ou a comparação entre tempos distintos, de indicadores de qualidade ambiental como a vegetação, enriquecendo o conhecimento de cada local e de sua dinâmica (BARBOSA e DORIGON, 2014).

Dentro deste contexto, esta pesquisa tem por finalidade realizar uma análise espaço-temporal do uso solo ao longo do Canal do Sertão em Alagoas, na busca de entender como o mesmo foi idealizado e planejado na lógica dos recentes projetos hídricos do país na última década, quais foram os sujeitos presentes nesse processo e a quais sujeitos o canal vem servindo. Buscando ainda compreender as mudanças ocorridas no espaço e se elas ocorreram de fato, tentando entender se houve mudança no fluxo de urbanização desses municípios. Tendo isso exposto, fica evidenciado a importância de se realizar um mapeamento para quantificar as áreas beneficiadas, assim como a caracterização dos principais fatores que levam ao canal do sertão não atingir o objetivo principal do seu projeto

O recorte sócio espacial selecionado para responder às indagações a respeito dos múltiplos usos das águas do Canal foram os municípios do Alto Sertão Alagoano: Delmiro Gouveia, Pariconha, Água Branca; três municípios que compõem o trecho I que já está em funcionamento.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Geral**

Demonstrar através do tratamento e estudo das imagens de satélite como tem ocorrido ao longo do tempo o uso e a ocupação do solo no trecho I do canal do sertão (Delmiro Gouveia/ Pariconha/ Água Branca), utilizando a inauguração do canal do sertão como base para análise; identificando a partir das imagens dos satélites Landsat 5 e 8, nos anos de 2008 e 2016; se os problemas que anteriormente eram apresentados com a escassez de água vem tendo continuidade após a entrega da obra do canal, e se aconteceram mudanças significativas na agricultura, vegetação e urbanização do município.

### **1.1.2 Específicos**

- Quantificar a área de agricultura e vegetação usando o método da classificação supervisionada.
- Identificar e gerar o mapa do uso e ocupação do solo.
- Caracterizar os fatores que influenciam para o avanço dos objetivos propostos com o canal do sertão.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Sensoriamento Remoto**

Com o avanço da tecnologia e o decorrer dos anos os conceitos que fundamentam o sensoriamento remoto foram interpretados e definidos de diversas maneiras. Podemos tomar como definição que sensoriamento remoto é a ciência e a arte de obter informação sobre um objeto (alvo), área ou fenômeno através da análise de dados adquiridos por um dispositivo (sensor) que não está em contato direto com o objeto, área ou fenômeno sob investigação (LILLESAND; KIEFER, 1994).

A técnica de sensoriamento remoto está ligada diretamente a utilização dos sensores, processamento de dados; tendo como finalidade principal reproduzir as atividades que vem ocorrendo na superfície terrestre. Com base nisso, Curran (1985) conceitua essa técnica como uso de sensores de radiação eletromagnética (REM) para registrar imagens que podem ser interpretadas para fornecer informação útil sobre o ambiente.

A energia eletromagnética utilizada na captação dos dados do sensoriamento remoto é definida como radiação eletromagnética. Os dados quantitativos e qualitativos da energia eletromagnética refletida e emitida pelos objetos terrestres resultam das interações entre a energia eletromagnética e estes objetos observados. Sendo assim, a energia eletromagnética refletida e emitida pelos objetos terrestres é a base de dados para todo o processo de sua identificação. Ela permite quantificar a energia espectral refletida e/ou emitida por estes, e assim avaliar suas principais características. Logo, os sensores remotos são ferramentas indispensáveis para a realização de inventários, de mapeamento e de monitoramento de recursos naturais (E. C. MORAES, 2002).

### **2.2 Radiação Eletromagnética**

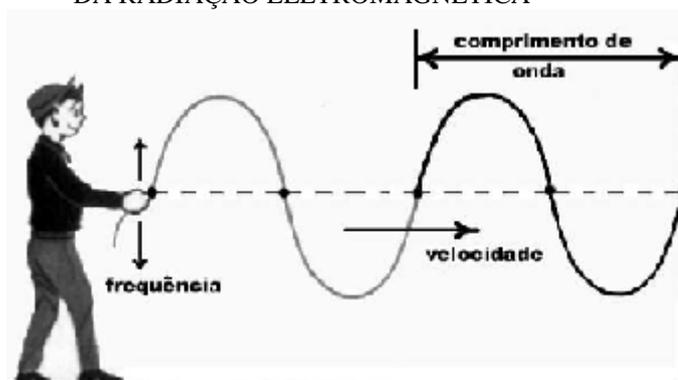
A energia eletromagnética é emitida por qualquer corpo que possua temperatura acima de zero grau absoluto (0 Kelvin). Com base nisso, podemos considerar que todo corpo negro com uma temperatura absoluta acima de zero será considerado fonte de radiação (ROSA, 2013).

O Sol e a Terra são as duas principais fontes naturais de energia eletromagnética utilizadas no sensoriamento remoto da superfície terrestre. A energia solar que alcança a atmosfera e superfície terrestre dirige quase todos os ciclos físicos e biológicos do sistema terra-atmosfera de nosso planeta. A energia eletromagnética não precisa de um meio material para

se propagar, sendo definida como uma energia que se move na forma de ondas eletromagnéticas à velocidade da luz ( $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$ ), onde “ $c$ ” é a velocidade da luz.) (E.C. MORAES, 2002).

A distância entre dois pontos semelhantes, como mostra a Figura 1, define o comprimento de onda, o número de ondas que passa por um ponto do espaço num determinado intervalo de tempo e a frequência da radiação eletromagnética (INPE, 2006).

FIGURA 1 - DEFINIÇÃO DO COMPRIMENTO DE ONDA, O NÚMERO DE ONDAS E A FREQUÊNCIA DA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA



Fonte: Rosa (2013).

Dado que a velocidade de propagação da onda eletromagnética é diretamente proporcional à sua frequência e comprimento de onda, esta pode ser expressa por:

$$c = f \cdot \lambda$$

Onde:

$c$  = velocidade da luz (m/s)

$f$  = frequência (ciclo/s ou Hz)

$\lambda$  = comprimento de onda (m)

A quantidade de energia ( $Q$ ) emitida, transferida ou recebida na forma de energia eletromagnética, está associada a cada comprimento de onda ou frequência e é definida por:

$$Q = h / \lambda$$

Onde “ $h$ ” é a constante de Planck ( $6,625 \cdot 10^{-34}$  Joule segundo (J.s)) e a unidade que quantifica esta energia é dada em Joule (J). Por meio desta equação verifica-se que quanto maior a quantidade de energia, maior será a frequência ou menor será o comprimento de onda a ela associada e vice-versa (E. C. MORAES, 2002).

Devido à ordem de grandeza destas variáveis é comum utilizar unidades submúltiplas do metro (micrômetro:  $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$ , nanômetro:  $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ) para comprimento de onda e múltiplas do Hertz (quilohertz:  $1 \text{ kHz} = 10^3 \text{ Hz}$ , megahertz:  $1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz}$ ) para frequência (BORGES, 2009).

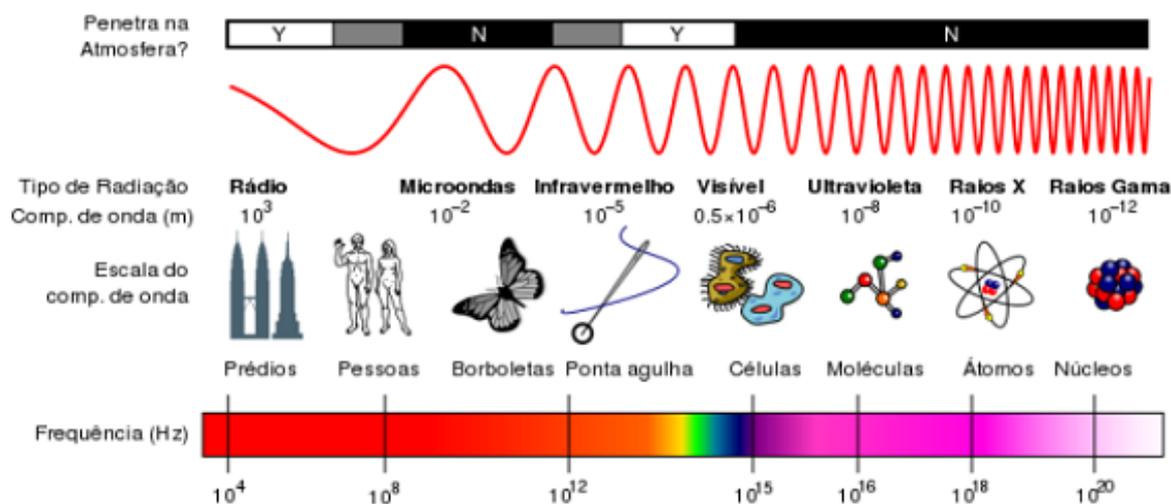
### 2.3 Espectro Eletromagnético

O conjunto de todas as radiações e a ordenação destas radiações em função do comprimento de onda e da frequência desde os raios cósmicos até as ondas de rádio e TV, formam o espectro eletromagnético (BORGES, 2009).

O espectro eletromagnético é dividido em dois grupos de acordo com o seu alcance: Espectro Ótico tendo uma variação de comprimento de onda de  $0,30$  a  $15 \mu\text{m}$ , que podem ser refletidos ou refratados com lentes e espelhos e o Espectro Reflexivo, que apresenta uma variação do comprimento de onda de  $0,38$  a  $3,0 \mu\text{m}$  que está contido na região que é utilizada para o sensoriamento remoto (CAMPBELL, 2011).

A figura abaixo mostra este espectro com todos os tipos de radiação eletromagnética que existem no nosso universo. O espectro eletromagnético é composto por todas as variedades de radiação existentes. Os raios gama têm a frequência mais alta, enquanto as ondas de rádio têm as mais baixas. A luz visível está, aproximadamente, no meio do espectro e abrange uma fração muito pequena do espectro todo (SOUTO, 2018).

FIGURA 2 - O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO.



Fonte: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Espectro Eletromagn%C3%A9tico.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Espectro_Eletromagn%C3%A9tico.png). (2019)

Como podemos observar, o espectro visível — ou seja, a luz que podemos enxergar com nossos olhos — compõe apenas uma pequena fração dos diferentes tipos de radiação que existem. À esquerda do espectro visível, encontramos os tipos de energia de frequência mais baixa (e, portanto, de maior comprimento de onda) que a luz visível. Esses tipos de energia incluem a radiação infravermelha, que são ondas de calor emitidas por corpos térmicos, as micro-ondas e as ondas de rádio. Esses tipos de radiação estão constantemente ao nosso redor e não são prejudiciais, pois suas frequências são muito baixas (Adaptado de PROCÓPIO, 2018).

Na região do infravermelho, apresentam-se duas categorias, sendo elas o infravermelho refletido e o infravermelho termal. O infravermelho refletido é composto pelo infravermelho próximo (NIR) e pelo infravermelho de pequena onda (IVPQ), que é relacionado a radiação solar refletida da Terra (LIEW, 2001), utilizamos o infravermelho próximo para estudar e assim conseguir discriminar os tipos de vegetação e o estado de estresse das plantas (SOUZA; MACHADO; AVACA, 2003, p 84).

A região do infravermelho termal é composta por ondas médias e longas, uma das vantagens do sensoriamento remoto termal, é de proporcionar em tempo sincronizado uma densa rede de dados de temperatura de áreas sobre a superfície terrestre, além de permitir o monitoramento e o estudo multitemporal das mesmas (Adaptado de PROCÓPIO, 2018).

## **2.4 Comportamento Espectral**

O fluxo de energia eletromagnética ao atingir a superfície terrestre (energia incidente), interage de modo diferente com cada tipo de alvo, podendo ser refletida, absorvida e/ou transmitida pelo objeto (E.C. MORAES, 2002)

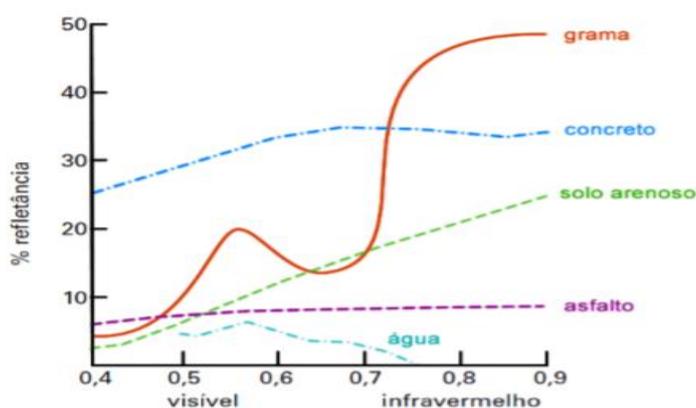
A absorção, reflexão e transmissão da energia incidente pode ser total ou parcial, sempre resguardando o princípio da conservação de energia (a energia não pode ser simplesmente dissipada, apenas transformada). A capacidade que um objeto possui de absorver, refletir e transmitir a energia eletromagnética recebem o nome de absorvância, refletância, e transmitância, respectivamente, e seus valores variam de 0 a 1 (FREITAS, BASSO & FERRI, 2015).

Quando a energia eletromagnética incidente em um objeto é refletida pelo mesmo, diz-se que ocorreu reflexão. Essa reflexão pode ser difusa ou especular, como mostrado na figura 6 sendo que as características da reflexão difusa são importantes, pois tornam o estudo da mesma mais fácil, por permitir a simplificação de várias leis físicas. Isso ocorre, pois, independente dos ângulos de incidência e de observação a energia não irá variar. No caso onde

a radiação incidente em um objeto não é refletida, mas sim absorvida ou transformada pelo mesmo, diz-se que ocorreu absorção. No caso da transmissão, ela ocorre quando a energia que incide sobre um objeto é capaz de atravessar o mesmo, de forma total ou parcial (FREITAS, BASSO & FERRI, 2015).

As muitas feições da Terra apresentam interação com a radiação de diferentes formas, sendo que as características dessas interações são determinadas pelas diferentes composições físico-químicas e biológicas dos objetos e feições terrestres. Logo, o comportamento espectral de um objeto pode ser definido como sendo o conjunto dos valores sucessivos da reflectância do objeto ao longo do espectro eletromagnético, também conhecido como a assinatura espectral do objeto (SOUZA, 2010). Essa assinatura irá definir as feições e formas do alvo, conforme figura 3:

FIGURA 3 – ASSINATURA ESPECTRAL DOS ALVOS



Fonte: Souza, (2010).

## 2.5 Sistemas de Sensores

Podemos definir sensor remoto de algumas maneiras, segundo (Novo, 1989) sensor remoto é o equipamento capaz de transformar alguma forma de energia em um sinal passível de ser convertido em informação sobre o ambiente. No caso específico do remoto, a energia utilizada é a radiação eletromagnética. Sensor remoto é um dispositivo capaz de responder a REM de determinada faixa do espectro eletromagnético, registrá-la e gerar um produto numa forma adequada para a interpretação do usuário (STEFFEN *et.al.*, 1981).

Apesar de existirem diversas classificações quanto ao sistema de sensores iremos classifica-los apenas quanto à fonte da radiação, ao tipo de produto e ao tipo de energia coletada.

Os sistemas sensores que medem a energia naturalmente disponível são chamados de sensores passivos. Os sensores passivos dependem que ocorra a iluminação da superfície da terra pelo sol, porém é possível capturar durante a noite, a energia naturalmente emitida pela terra (infravermelho termal), desde que exista quantidade suficiente de energia para ser gravada (MACHADO & QUINTANILHA, 2008).

Os sensores ativos, por outro lado, possuem sua própria fonte para iluminação. O sensor emite radiação que é direcionada para o alvo que se deseja investigar. A radiação refletida do alvo é detectada e medida pelo sensor. As vantagens destes tipos de sensores incluem a capacidade de obter medida a qualquer momento, sem necessitar do sol. Os sensores ativos podem ser utilizados para examinar comprimentos de ondas que não são suficientemente fornecidos pelo sol, como as micro-ondas. Porém, os sensores ativos necessitam gerar uma grande quantidade de energia para iluminar adequadamente os alvos (MACHADO & QUINTANILHA, 2008).

Quanto ao tipo de produto: são os sistemas imageadores ou não imageadores. Os sistemas não imageadores medem a radiância do alvo e apresentam os resultados na forma de gráfico ou numéricos (ROSA, 2013).

Os sistemas imageadores são equipamentos cujos resultados finais são em forma de imagens de uma área do terreno (fotográficos e não fotográficos). Para os não fotográficos, alguns parâmetros são importantes (resoluções): espectral, espacial, temporal e radiométrica (ROSA, 2013).

### 2.5.1 Resolução sensorial

Caracterizamos os sensores a partir de suas resoluções: espacial, espectral, radiométrica e temporal. A qualidade do sensor está associada à sua capacidade de obter medidas detalhadas da energia eletromagnética (INPE, 2006).

A resolução espacial representa a capacidade de o sensor distinguir objetos. Ela indica o tamanho do menor elemento da superfície individualizado pelo sensor. A resolução espacial depende principalmente do detector, da altura do posicionamento do sensor em relação ao objeto. Para um dado nível de posicionamento do sensor, quanto menor for a resolução geométrica deste maior será o grau de distinção entre objetos próximos (ROSA, 2013).

A resolução espectral descreve a habilidade que um sensor possui de definir intervalos de comprimento de onda pequenos. Quanto mais estreitos forem estes intervalos, ou quanto

mais bandas espectrais forem captadas pelo sensor, maior será a sua resolução espectral (MENESES & ALMEIDA, 2012).

A necessidade de uma maior quantidade de bandas surge devido às diferenças relativas de reflectância entre os materiais da superfície terrestre, sendo que com uma maior quantidade de bandas, mas dados podem ser obtidos das áreas imageadas (FREITAS, BASSO & FERRI, 2015).

Refere-se à capacidade do sistema sensor em detectar as variações da radiância espectral recebida de cada pixel passa por uma codificação digital, obtendo um valor numérico, expresso em bits, denominado de Número Digital (DN). Este valor é facilmente traduzido para intervalo finito (0, K-1), onde K é o número de valores possíveis, denominados de níveis de quantização (SCHOWENGERDT, 1983).

O número de níveis de cinza está expresso em bits, ou seja, expresso em função do número de dígitos binários necessários para armazenar, em forma digital, o valor do nível máximo de cinza. O seu valor é sempre em potência de 2, por exemplo 8 bits significam  $2^8=256$  níveis de cinza. As diferenças são maiores nos níveis 2 e 4 do que nos níveis 256 e 2048, devido ao fato do olho humano não possuir sensibilidade às mudanças de intensidade acima de 30 níveis de cinza (CROSTA, 1993).

A resolução temporal refere-se ao tempo que o sensor leva para visitar um mesmo ponto na superfície da terra, em condições normais, com seu eixo óptico na posição vertical (nadir) (FREITAS, BASSO & FERRI, 2015).

## 2.6 Programa LANDSAT

O Sistema teve início na segunda metade da década de 60, inicialmente denominada de *Resources Technology Satellite* (ERTS), somente a partir de 1975 passou a se chamar Landsat, teve o projeto iniciado pela Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA), dedicado exclusivamente à observação dos recursos naturais, com o objetivo de permitir aquisição de dados espaciais, espectrais e temporais da superfície terrestre, de forma global, sinóptica e repetitiva (PELLEGRIN, 2001).

O Landsat-1, primeiro satélite da série, foi lançado em 1972 transportando as câmeras *Return Beam Vidicon* (RBV) e *Multispectral Scanner System* (MSS). Assim como o seu antecessor os satélites Landsat 2 e Landsat 3 dispunham dos mesmos equipamentos ressalvadas poucas alterações na última versão (RODRIGUES & ARAUJO, 2018).

No ano de 1982 entra em operação o Landsat 4, agora com mais um novo sensor denominado de *Thematic Mapper* (TM), operando simultaneamente em sete bandas espectrais, *Instantaneous Field Of View* (IFOV) ou resolução espacial de 30x30 metros, nas seis bandas do visível e do infravermelho refletido e de 120x120 metros na banda termal. O perímetro de imageamento por este sensor é de 185x185 Km (USGS, 2017).

Dois anos depois o Landsat 5 é lançado com os mesmos sensores do Landsat 4, e apresenta uma resolução temporal de mais ou menos 16 dias (CHUVIECO, 1990). Inicialmente projetado para uma sua vida útil de três anos, o Landsat 5 forneceu dados globais de alta qualidade da superfície da Terra por 28 anos e 10 meses, até entrar em inatividade no ano de 2011 (RODRIGUES & ARAUJO, 2018).

O Landsat 6 devido a falhas no lançamento não conseguiu orbitar a Terra, assim o seu sucessor Landsat 7 lançado em 1999, equipado com o *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+), equipado com bandas no visível, infravermelho próximo e infravermelho médio e de 30 metros de resolução, além contar com uma banda pancromática de 15 metros e outra no infravermelho termal de 60 metros. O Landsat 7 enviou dados completos para a Terra até 2003, quando passou a apresentar problemas de recepção na parte mecânica do espelho corretor de linha. Esse problema não prejudicou a coleta de dados, pois o Landsat 5 continuava operando normalmente (RODRIGUES & ARAUJO, 2018).

#### Satélite LANDSAT 8

O Landsat 8 também chamado de *Landsat Data Continuity Mission*(LDCM), entrou em funcionamento no ano de 2013, possui o sensor *Operational Land Imager*(OLI) com 9 bandas espectrais e o sensor *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) com 2 bandas espectrais no infravermelho termal, projetada para detectar de nuvens do tipo cirros e estudos de áreas costeiras, bandas 10 (10.6 – 11.19  $\mu\text{m}$ ) e (1111.5 – 12.51  $\mu\text{m}$ ) e resolução espacial de 100 metros (PIRES; FERREIRA JÚNIOR, 2015).

FIGURA 4 – CARACTERÍSTICAS DO SATÉLITE LANDSAT 8

Instrumento/Sensor	OLI e TIRS
Operadora/Instituição Responsável	NASA (National Aeronautics and Space Administration)
País	Estados Unidos
Situação Atual	Ativo
Lançamento	02/11/2013
Altitude	705 Km
Inclinação	98,2°
Órbita	Circular, Polar, Heliossíncrona
Faixa Imageada	185 Km
Tempo de Duração da Órbita	99 min.
Horário da Passagem	10h / 12h
Período de Revisita	16 dias
Resolução Espacial	Pancromático: 15 m   Multiespectral: 30 m   Termal: 100 m reamostrada para 30 m

Fonte: <http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat>.

#### Sensor OLI - (Operational Land Imager)

O sensor OLI possui bandas espectrais para coleta de dados na faixa do visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas, além de uma banda pancromática. Avanços tecnológicos demonstrados por outros sensores experimentais da NASA foram introduzidos no sensor OLI, que passou a ter quantização de 12 bits. A entrada em operação do sensor a bordo do Landsat 8, permite a continuidade dos trabalhos em sensoriamento remoto iniciados na década de 1970, com a missão Landsat (EMBRAPA, 2017).

FIGURA 5 – CARACTERÍSTICAS DO SENSOR OLI

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Res. Radiométrica
OLI (Operational Land Imager)	(B1) COSTAL	0.433 - 0.453 $\mu\text{m}$	30 m	16 dias	185 km	12 bits
	(B2) AZUL	0.450 - 0.515 $\mu\text{m}$				
	(B3) VERDE	0.525 - 0.600 $\mu\text{m}$				
	(B4) VERMELHO	0.630 - 0.680 $\mu\text{m}$				
	(B5) INFRAVERMELHO PRÓXIMO	0.845 - 0.885 $\mu\text{m}$				
	(B6) INFRAVERMELHO MÉDIO	1.560 - 1.660 $\mu\text{m}$				
	(B7) INFRAVERMELHO MÉDIO	2.100 - 2.300 $\mu\text{m}$	15 m			
	(B8) PANCROMÁTICO	0.500 - 0.680 $\mu\text{m}$	30 m			
	(B9) Cirrus	1.360 - 1.390 $\mu\text{m}$				

s.d. = sem dados/informações

Fonte: EMBRAPA, 2017.

## 2.7 Classificação de imagens

Classificar uma imagem espectral consiste em atribuir a cada pixel que compõe a imagem, um grupo ou uma classe. Cada superfície possui características específicas e apresenta um comportamento específico ao longo do espectro eletromagnético, o que permite sua identificação.

O procedimento metodológico de classificação baseia-se em dois processos distintos, mas que de certa forma se complementam. O primeiro método utilizado, de classificação não supervisionada, é muito dependente da automação computacional, uma vez que um algoritmo trata de aglomerar regiões dentro de uma mesma variação espectral. O segundo processo, classificação supervisionada, é controlada através da seleção de um conjunto de regiões que representasse determinada classe (OLIVEIRA, 1999).

O maior problema da classificação é que ela representa uma simplificação bastante grande em relação à enorme complexidade existente em uma cena de satélite. O que ocorre é que as classes pré-definidas são normalmente incompletas em relação à realidade, ou são uma mistura extremamente variável de uma série de superfícies reais. Pode-se chegar ao extremo de se definir classes que não existem ou que não podem ser diferenciadas com base nos dados multiespectrais disponíveis. Daí a necessidade de se verificar o resultado das classificações em relação à dados conhecidos (CRÓSTA, 1992).

### 2.7.1 Classificação supervisionada

Neste tipo de classificação, o usuário "supervisiona" o processo de classificação, especificando as características dos vários tipos de cobertura do solo presentes na cena. Para a sua realização, amostras representativas de coberturas conhecidas, chamadas áreas de treinamento, são utilizadas para compilar uma chave de interpretação que descreva as características espectrais de cada classe. Cada pixel do conjunto de dados é então comparado com cada classe e classificada de acordo com a classe a que ele mais se assemelha (OLIVEIRA, 1999).

Todos os pixels dentro de uma área de treinamento para uma dada classe constituem o chamado conjunto de treinamento para aquela classe. À cada classe de uma imagem é atribuído o seu próprio conjunto de treinamento. Os DN's dos pixels do conjunto de treinamento em cada uma das bandas espectrais são então comparados com os DN's de cada pixel da imagem, para decidir à qual classe estes pertencem. Geralmente, a precisão da classificação aumenta com o

número de bandas usadas, mas, por outro lado, os cálculos necessários à classificação se tornam mais demorados e complexos. Existe uma variedade de métodos através dos quais os pixels desconhecidos podem ser comparados com os pixels do conjunto de treinamento (CRÓSTA,2002).

Assim, com as amostras efetuou-se a classificação supervisionada através da função Máxima Verossimilhança. Dentre os algoritmos classificadores existentes, o de Máxima Verossimilhança (MaxVer) é o classificador supervisionado mais aplicado para dados de satélite. É um método paramétrico, o qual supõe que cada classe é determinada por um modelo gaussiano multivariado e determina, a partir de dados de treinamento, o vetor médio ( $m$ ) e a matriz de covariância ( $S$ ) (MARTINS & OLIVEIRA, 2014).

### **3.0 MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 Transposição do São Francisco**

O Projeto de Integração do Rio São Francisco é tido como um grande empreendimento do governo federal, a obra vem sendo executada sob responsabilidade do Ministério do Desenvolvimento Regional. Segundo o mesmo, o projeto de integração é destinado a assegurar a oferta de água com um horizonte de projeto até 2025 a cerca de 12 milhões de habitantes de pequenas, médias e grandes cidades da região semiárida dos estados de Pernambuco, Paraíba, Ceará e Rio Grande do Norte. O Ministério do Desenvolvimento Regional apresenta como justificativa para a necessidade de realização do projeto em fatos motivadores principais. São eles:

I – A região Nordeste, que possui apenas 3% da disponibilidade hídrica e 28% da população brasileira, apresenta internamente uma grande irregularidade na distribuição dos seus recursos hídricos, uma vez que o rio São Francisco apresenta 70% de toda a sua oferta regional.

II – A discrepância nas densidades demográficas no semiárido nordestino faz com que, do ponto de vista da sua oferta hídrica, o semiárido brasileiro seja dividido em dois: o semiárido da bacia do São Francisco e o semiárido do nordeste setentrional, compreendendo parte do Estado de Pernambuco e os Estados da Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará, com pouco mais de 400 m<sup>3</sup>/hab/ano disponibilizados através de açudes construídos em rios intermitentes e em aquíferos com limitações quanto à quantidade ou qualidade das águas.

Isto posto, o projeto de transposição define a interligação da bacia hidrográfica do São Francisco, que apresenta relativa abundância de água (1850 m<sup>3</sup>/s na barragem de Sobradinho

na Bahia), com bacias localizadas no nordeste setentrional com quantidades de água que limitam o desenvolvimento socioeconômico da região.

Os objetivos básicos do projeto são:

- Aumentar a oferta de água, com garantia de atendimento ao semiárido;
- Fornecer água de forma complementar para açudes existentes na região, viabilizando melhor gestão da água;
- Reduzir as diferenças regionais causadas pela oferta desigual da água entre bacias e populações.

O projeto é dividido em dois eixos, são eles:

- Eixo Norte: inicia-se a partir da captação próximo a cidade de Cabrobó-PE. Percorre cerca de 400 km, conduzindo água aos rios Salgado e Jaguaribe, no Ceará; Apodi, no RN; e Piranhas-Açu na PB e RN. Terá uma capacidade máxima de 99 m<sup>3</sup>/s e operará uma vazão contínua de 16,4 m<sup>3</sup>/s, com destinação para o abastecimento humano. O eixo é composto por 4 estações de bombeamento, 22 aquedutos, 6 tuneis e 26 reservatórios de pequeno porte.

- Eixo Leste: Inicia-se a partir do lago da barragem de Itaparica-PE. Percorre cerca de 200 km até o Rio Paraíba – PB, levando água para o açude Epitácio Pessoa, também conhecido como açude Boqueirão. Com o objetivo de atender as demandas da região agreste de Pernambuco, o projeto prevê um ramal de 70km interligando o eixo leste à bacia do Rio Ipojuca. Ramificações foram construídas para transferir parte da vazão para as bacias do rio Pajeú, do rio Moxotó e para a região agreste de Pernambuco, através da construção de um ramal de 70 km que interligará o Eixo Leste à bacia do rio Ipojuca. A vazão máxima prevista é de 28 m<sup>3</sup>/s, mas a vazão média operacional será de 10 m<sup>3</sup>/s.

O canal do sertão alagoano, maior obra de infraestrutura hídrica de Alagoas, foi iniciada há 27 anos, foi incorporado ao PAC pelo Ministério do Desenvolvimento Regional, um projeto que visa canalizar por 250 km as águas do Lago Moxotó, formado pelo represamento do Rio São Francisco, em Delmiro Gouveia (AL), até Arapiraca (AL), no Agreste de Alagoas. O Canal encontrou um ponto, em Delmiro Gouveia, que eleva a água do São Francisco a apenas 40 metros e de lá leva a água até Arapiraca sem usar uma bomba, só pela gravidade.

### 3.2 Canal do sertão alagoano

O Canal do Sertão em Alagoas é a maior obra hídrica alcançada pelo Governo do Estado de Alagoas em conjunto com o Governo Federal, sendo a segunda do país, atrás apenas da transposição do São Francisco. O referido canal tem como objetivo acrescer a disponibilidade hídrica do Sertão e do Agreste alagoano, que são áreas atingidas pelas constantes secas ou por baixos índices pluviométricos, em consequência de sua localização geográfica, isto é, na região semiárida nordestina. Destacamos que esse projeto prevê a utilização das águas do Canal do Sertão para diversas finalidades por meio de estruturas de derivação por gravidade ou por bombeamento (SEMARH, 2014).

O Canal do Sertão, se inicia no município de Delmiro Gouveia, fazendo a captação de água no reservatório rio Moxotó, localizado na microrregião do Sertão do São Francisco e prevê alcançar o município de Arapiraca, localizado no agreste do estado, totalizando 250 quilômetros de extensão.

O objetivo do canal é a garantia do abastecimento de água proveniente da bacia do São Francisco para os municípios do semiárido alagoano, compreendidos no Sertão e no Agreste do estado. O projeto prevê além do abastecimento para consumo humano, a viabilização de água para irrigação de projetos de agricultura e pecuária (SEMARH,2014).

Segundo a Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do estado de Alagoas (SEMARH, 2014), a área que será contemplada pelo canal abrangerá, aproximadamente, 13.230,30 km<sup>2</sup>, representando 47,36% da área total do estado, beneficiando diretamente 42 municípios e uma população próxima de um milhão de habitantes. Ainda segundo a secretaria, a utilização da água do Canal é prevista para irrigação da agricultura familiar e empresarial, perímetros irrigados, abastecimento humano, dessedentação de animais, pisciculturas, indústrias e comércio, com abastecimento de pequenos açudes ou os barreiros, como são conhecidos no Sertão.

Segundo informa o relatório da SEMARH 2007-2014, às margens dos 65 km já inaugurados se verificou a colheita de hortaliças diferenciadas para a região tais como, rúcula, acelga, alface, pimentão, alho poró, tomate cereja e até mesmo morangos, frutos e verduras não comuns devido às condições climáticas da região.

As demandas de água ao longo da faixa diretamente beneficiável do canal do sertão alagoano foram estimadas considerando os três principais usuários detentores de uso consultivo: aproveitamento hidro agrícola; demanda rural difusa e abastecimento de água urbano e rural.

FIGURA 6 – CANAL DO SERTÃO ALAGOANO



Fonte: Odebrecht (2019)

### 3.3 Área de estudo

A área selecionada para o estudo compreende os três municípios do trecho I do canal adutor do sertão alagoano: Delmiro Gouveia, Pariconha e Água Branca. A área de estudo selecionada encontrasse no retângulo envolvente com coordenadas (x1: -38.13305797 e y1: -9.36944446; x2: -37.90259994 e y2: -9.18309327) no datum SIRGAS 2000.

#### 3.3.1 Delmiro Gouveia

O município de Delmiro Gouveia está localizado no extremo oeste do Estado de Alagoas, limitando-se a norte com os municípios de Pariconha e Água Branca, a sul com Paulo Afonso (BA) e Canindé do S. Francisco (SE), a leste com Olho D'Água do Casado e a oeste com Jatobá (PE), Paulo Afonso e Glória (BA). A área municipal ocupa 606,79 km<sup>2</sup> (2,18% de AL), inserida na mesorregião do Sertão Alagoano e na microrregião Alagoana do Sertão do São Francisco.

A sede do município tem uma altitude aproximada de 256 m. e coordenadas geográficas de 9°23'09,6'' de latitude sul e 37°59'45,6'' de longitude oeste.

O município de Delmiro Gouveia está inserido na unidade geoambiental da depressão sertaneja que representa a paisagem típica do semiárido nordestino, caracterizada por uma superfície de pediplanação bastante monótona, relevo predominantemente suave-ondulado, cortada por vales estreitos, com vertentes dissecadas. Elevações residuais, cristas e/ou outeiros pontuam a linha do horizonte. Esses relevos isolados testemunham os ciclos intensos de erosão que atingiram grande parte do sertão nordestino. A vegetação é basicamente composta por Caatinga Hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia (CPRM, 2005).

O quadro natural está caracterizado por clima muito quente e semiárido tipo estepe. Com precipitação média anual é de 329 mm, para anos secos, de 753 mm para anos chuvosos, e de 480 mm para os anos regulares. A temperatura média anual varia de 24 a 26°C (EMBRAPA, 2006). Além disso o município encontra-se inserido na bacia hidrográfica do Rio São Francisco, sendo banhado apenas por tributários secundários da sub-bacia do Rio do Maxixe, que atravessa a sede do município.

Aliado ao fator climático que apresenta pouca precipitação anual, característico do sertão alagoano; o solo da região não se apresenta muito propício para agricultura permanente, visto que o manejo de uma cultura permanente requer abundante uso de água. O município detém maior parte do solo classificado como planossolos e neossolos, solos são facilmente trabalháveis por apresentar textura leve (arenosa e média) na superfície, no entanto, a principal limitação ao uso agrícola é ocasionada pelo clima semiárido da região (EMBRAPA, 2007).

### **3.3.2 Pariconha**

É um município brasileiro do Estado de Alagoas, com população estimada em 2010 de 10.246 habitantes (IBGE, 2010). O Município está inserido na Mesorregião do Sertão Alagoano e na da Microrregião Serrana do Sertão Alagoano. Os municípios limítrofes são: a norte com Tacaratu (PE), a sul com Delmiro Gouveia (AL), a leste com Água Branca (AL) e a oeste com Jatobá (PE), estando situado a 550 metros acima do nível do mar (SEMARH, 2013).

A sede municipal tem uma altitude aproximada de 550 m e coordenadas geográficas de 9°25'28'' de latitude sul e 38°00'47'' de longitude oeste.

O clima é do tipo Tropical Semiárido, com chuvas de verão, com uma temperatura média em torno dos 27°C, máxima de 32° C e mínima de 22° C. O período chuvoso se inicia em novembro com término em abril. A precipitação média anual é de 431,8mm (CPRM, 2005).

Os solos nos patamares compridos e baixas vertentes do relevo suave ondulado ocorrem os Planossolos, mal drenados, fertilidade natural média e problemas de sais; topos e altas

vertentes, os solos Brunos não Cálcicos, rasos e fertilidade natural alta; topos e altas vertentes do relevo ondulado ocorrem os Podzólicos, drenados e fertilidade natural média e as elevações residuais com os solos Litólicos, rasos, pedregosos e fertilidade natural média.

O município de Pariconha está inserido na bacia hidrográfica do Rio São Francisco. O padrão de drenagem predominante é o pinado, uma variação do dendrítico. Todo seu sistema fluvial deságua no Rio São Francisco (SEMARH, 2013).

### **3.3.2 Água Branca**

O município de Água Branca está localizado no extremo oeste do Estado de Alagoas, limitando-se a norte com Mata Grande e Tacaratu (PE), a sul com Delmiro Gouveia e Olho D'Água do Casado, a leste com Inhapi e Olho D'Água do Casado, e a oeste com Pariconha. A área municipal ocupa 454,72 km<sup>2</sup> (1,64% de AL), inserida na mesorregião do Sertão Alagoano e na microrregião Serrana do Sertão Alagoano. A sede do município tem uma altitude aproximada de 570 m e coordenadas geográficas de 9°15'43,2'' de latitude sul e 37°56'16,8'' de longitude oeste (CPRM, 2005).

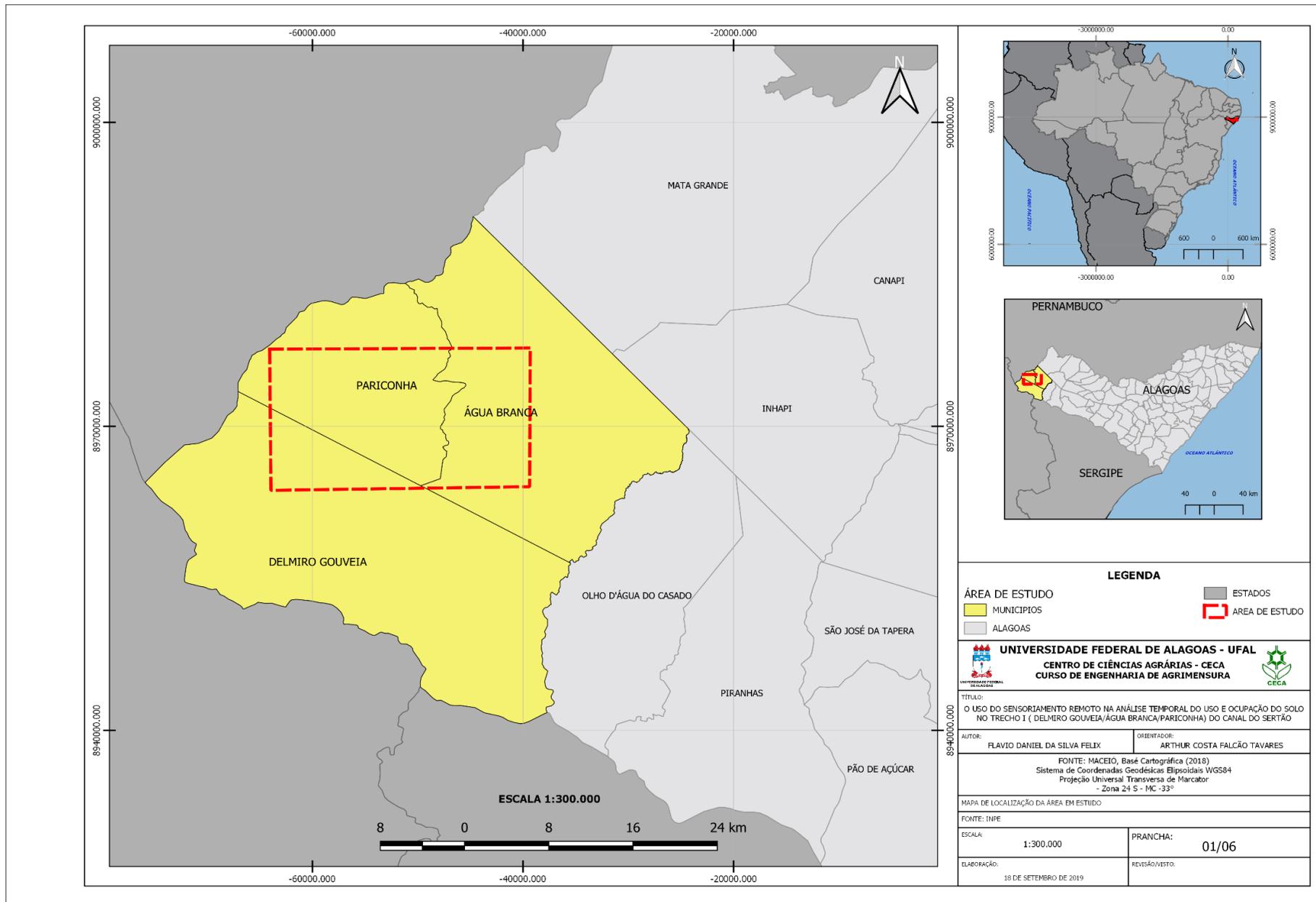
O município de Água Branca está inserido em parte de sua área, na unidade geoambiental da Depressão Sertaneja (cerca de 70 %), que representa a paisagem típica do semiárido nordestino, caracterizada por uma superfície de pediplanação bastante monótona, relevo predominantemente suave-ondulado, cortada por vales estreitos, com vertentes dissecadas. Elevações residuais, cristas e/ou outeiros pontuam a linha do horizonte. Esses relevos isolados testemunham os ciclos intensos de erosão que atingiram grande parte do sertão nordestino. O restante de sua área está inserida na unidade geoambiental do Planalto da Borborema (cerca de 30%), formada por maciços e outeiros altos, com altitude variando entre 650 a 1.000 metros, apresentando relevo geralmente bastante movimentado, com vales profundos e estreitos. A vegetação é basicamente composta por Caatinga Hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia.

O clima é do tipo Tropical Semiárido, com chuvas de verão. O período chuvoso se inicia em novembro com término em abril. A precipitação média anual é de 431,80 mm. Com respeito aos solos, nos patamares compridos e baixas vertentes do relevo suave ondulado ocorrem os Planossolos, mal drenados, fertilidade natural média e problemas de sais; topos e altas vertentes, os solos Brunos não Cálcicos, rasos e fertilidade natural alta; topos e altas vertentes do relevo ondulado ocorrem os Podzólicos, drenados e fertilidade natural média e as

elevações residuais com os solos Litólicos, rasos, pedregosos e fertilidade natural média (EMBRAPA, 2000).

O município de Água Branca encontra-se totalmente inserido na bacia hidrográfica do Rio São Francisco, sendo banhado pela sub-bacia do Rio Moxotó.

FIGURA 7 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.

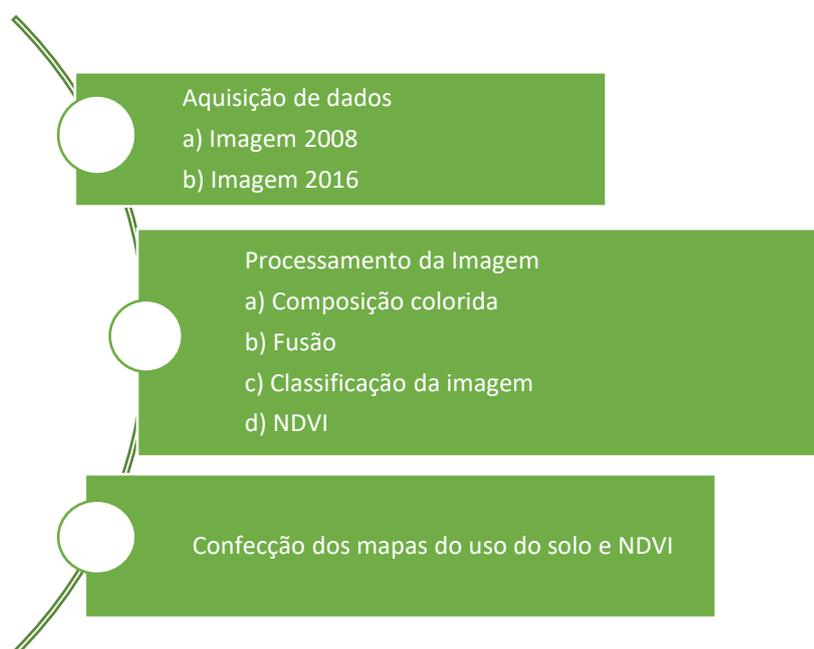


Fonte: Autor (2019).

### 3.4 Fluxograma

Para a obtenção dos resultados deste trabalho, foram desenvolvidos uma metodologia e um processo. A figura 8 retrata em forma de fluxograma as etapas desenvolvidas até a extração final dos resultados; servindo como base referencial para futuras pesquisas e trabalhos acerca do geoprocessamento.

FIGURA 8 - FLUXOGRAMA DO ESTUDO DO CANAL DO SERTÃO.



Fonte: Autor (2019).

### 3.5 Metodologia

#### 3.5.1 Aquisição de dados

Considerando que o presente trabalho está relacionado ao estudo de uma área que englobam três municípios, as imagens selecionadas dos satélites Landsat 5 e 8 precisam seguir alguns parâmetros pré-estabelecidos. É de extrema importância que as imagens que venham a sofrer o processamento e classificação não apresentem uma grande quantidade de nuvens, podendo essas nuvens influenciar no produto final.

A aquisição dos dados raster foram disponibilizadas e adquiridas através da plataforma do INPE e USGS. Foram selecionadas duas imagens dos anos de 2008 e 2016, na qual a imagem

do ano de 2008 foi capturada pelo Landsat 5 e a do ano de 2016 capturada pelo satélite Landsat 8.

Conforme as especificações, as imagens do satélite Landsat apresentam uma resolução espacial de 30 metros. Foram trabalhadas as imagens utilizando para o Landsat 5 resoluções de 30 metros e para o Landsat 8 uma resolução de 15 metros, graças a fusão com a sua banda pancromática.

TABELA 1 - CENAS UTILIZADAS REFERENTE AOS ANOS DE 2008 E 2016.

Data	Órbita	Cena	Bandas
Outubro 2008	216/66	LT52160662008	B1, B2, B3, B4, B5 e B7
Outubro 2016	216/66	LO82160662016	B4, B5, B6 e B8

Fonte: Autor (2019).

### 3.5.2 Composição Colorida

Para composição colorida da imagem foram utilizadas as bandas 6,5,4 nessa respectiva ordem para o satélite Landsat 8. Da mesma forma foram utilizadas as bandas 3,2,1 para composição colorida do satélite Landsat 5. Para composição de ambas as imagens, utilizamos a aba “raster” do software Qgis 2.18; onde nessa mesma aba foi selecionada a ferramenta mosaico afim de juntarmos as bandas selecionadas para composição, após a seleção é necessário definirmos os diretórios onde serão salvas as imagens provenientes desse processo.

### 3.5.3 Fusão da Imagem

Como já citado anteriormente nesse projeto, imagens do satélite Landsat 8 apresentam resolução espacial de 30 metros em suas bandas multiespectrais. Como o presente trabalho visa observar o canal do sertão e as características presentes em seu entorno, se buscou desde o princípio uma resolução espacial melhor, com esse intuito foi realizada a fusão das bandas multicores com a banda pancromática pois ela apresenta uma resolução espacial de 15 metros.

Para esse processo foi utilizado o software “*Orfeo Toolbox*” e alguns dos seus algoritmos. O primeiro passo para fusão é fazer o download do software mencionado anteriormente, após isso é preciso levar até a plataforma do software Qgis 2.18 os algoritmos que serão utilizados. Esse processo consiste em colorir a imagem e depois juntar com a banda pancromática afim de modificar a resolução da imagem, os algoritmos usados para isso são: *Superimpose Sensor e Pansharpening*.

O produto final dessa fusão é uma imagem de 32 bits, então é de grande importância que o armazenamento da imagem seja reduzido com o intuito de melhorar a manipulação da mesma.

#### 3.5.4 Classificação supervisionada

Em seguida, após as imagens abrangerem as características selecionadas para a classificação do uso do solo, três etapas foram realizadas:

1. Reconhecimento visual da área de estudo: Para esta etapa, a visualização das imagens em coloração real e falsa-cor foram de suma importância para a escolha das classes e posteriormente o treinamento do algoritmo de classificação; a interpretação visual prévia é inerente aos processos de classificação pois elas facilitam e ajudam na acurácia dos seguintes processos. O critério de identificação de imagens foram: cor, textura, forma, tonalidade, localidade e padrão.

2. Seleção de classes: Após o reconhecimento visual da área a partir da composição 3, 2, 1; foram efetivadas as escolhas das classes que, de fato, seriam importantes para o objetivo deste trabalho, sendo elas: a) Água: Cor escura com pouco brilho, textura lisa e formato irregular; b) Vegetação densa: Região de cor escura com baixo brilho, textura rugosa e forma irregular; c) Agricultura: Coloração diversificado, com tonalidade de alto brilho, textura entre lisa e rugosa e formato regular; d) Vegetação rasteira: Cor verde com baixo brilho, textura rugosa, forma irregular; e) Solo exposto: Cor clara com alto brilho, textura lisa e rugosa, formato irregular; f) Canal do sertão: Cor clara com alto brilho, textura lisa, formato regular; g) Urbanização: Cor clara com baixo brilho, textura rugosa, formato regular.

3. Treinamento do algoritmo: Com as classes definidas e o reconhecimento de feições desempenhados, a seguinte etapa consistiu, por meio do uso do software Qgis versão 2.18 através do plugin *SCP classification* a instruir o algoritmo a entender que pixels semelhantes aos que foram selecionados consistiam na mesma feição. Para que fossem direcionados os pixels à determinada feição, amostras foram coletadas manualmente de acordo com os critérios especificados anteriormente para interpretação da imagem, reunindo grupos de pixels que obtinham as características de determinada feição. Durante a classificação, alguns parâmetros foram definidos, como o algoritmo de classificação como o MaxVer e o limiar de aceitação, que para o determinado estudo, foi escolhido como 100%, para garantir a máxima interpolação dos números digitais, evitando a falta de classificação dos mesmos. Após essas etapas, foram iniciadas as extrações dos dados, e elaboração de mapas.

### 3.5.5 Recorte

Essa etapa do projeto foi desenvolvida com o intuito de extrair apenas a área selecionada para o estudo. Para isso, foi utilizado o arquivo do formato *shapefile* da área de estudo, sendo utilizado como máscara para o recorte da área desejada e para classificação e extração do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) apenas do local de interesse.

### 3.5.6 Índice de vegetação – NDVI

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é amplamente usado nos estudos sobre vegetação, pois indica, a partir do uso de imagens de satélite, o vigor e a caracterização da vegetação de uma determinada região. Para realizar o cálculo de NDVI, é necessário ter realizado o download das bandas do infravermelho próximo e vermelho visível da imagem de satélite; converter essa imagem para reflectância e aplicar a correção atmosférica são passos primordiais para esse cálculo.

O cálculo do NDVI é feito a partir da diferença entre as reflectâncias da banda do infravermelho próximo e a do vermelho visível dividido pela soma das reflectâncias dessas duas bandas. A numeração dessas bandas varia de acordo com o satélite que será usado no trabalho, no caso dos satélites Landsat 5 e 8, as bandas utilizadas são as bandas 5 e 4. Para o cálculo do NDVI foi utilizado a calculadora raster, após isso foi digitada a expressão para o cálculo do NDVI. Neste caso, como pode-se ver abaixo, a expressão usada foi:

$$("B5" - "B4") / ("B5" + "B4")$$

Com o resultado desse cálculo será gerada a imagem fruto da diferença de reflectância em tons de cinza; para configuração da imagem, selecionamos a aba estilo e selecionamos banda multicolorida falsa cor e definimos o intervalo que será usado no projeto.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico serão apresentados os resultados obtidos com os processamentos efetuados, assim como as discussões sobre essas análises.

Conforme a tabela 2, podemos notar que mesmo com o advento do canal do sertão alagoano o cenário continua sem acentuadas modificações. Urbanização, água e agricultura são exemplos de classes que se apresentaram constantes e com leves variações. Mesmo com tantas adversidades esses municípios estão inseridos em programas tanto de iniciativa pública como privada, esses programas tendem a ajudar cada vez mais essas comunidades.

TABELA 2: CLASSIFICAÇÃO LANDSAT 5 E 8 – 2008 E 2016.

CATEGORIA	2008		2016	
	Área (km <sup>2</sup> )	Área %	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
Não classificado	24.2982	4,63	8.3848	1,59
Água	0.5643	0,10	0.7081	0,13
Solo exposto	42.3576	8,07	61.7621	11,78
Vegetação rasteira	254.0259	48,42	198.7893	37,92
Vegetação densa	50.9598	9,71	95.5910	18,24
Agricultura	112.5972	21,47	123.6990	23,60
Urbanização	39.8016	7,59	35.3604	6,74
TOTAL	524.6046	100	524.2946	100

Fonte: Autor (2019).

O Governo de Alagoas, por meio da Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH), já iniciou uma campanha de regularização dos usuários de água, afim de que essa situação seja resolvida nos municípios margeados pelo Canal do Sertão. A ação teve início no mês de setembro de 2019, com o intuito de instruir os usuários para o uso consciente dos recursos hídricos do Canal.

A ação é necessária para que a água vinda do Canal possa ser usada de forma ordenada e não possa causar uma salinização no solo, deixando-o infértil, prejudicando a produção de alimentos dos agricultores. Por isso, além do cadastramento, os produtores rurais serão capacitados sobre o manejo de água e solo e terão assistência técnica disponível, depois da entrega das outorgas. A campanha visa regularizar cerca de 300 agricultores nessa primeira etapa, que vem sendo feita com o apoio dos municípios.

Além do cadastramento, a SEMARH está trabalhando em conjunto com o Centro de Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) para ministrar os treinamentos de capacitações aos

agricultores. E os serviços de assistência técnica serão feitos pela Secretaria de Estado da Agricultura do Estado de Alagoa (SEAGRI).

Justamente por causa dessa outorga para o uso da água notamos que, apesar da inauguração do mesmo, ainda é comum nas propriedades a utilização de açudes para poder armazenar água por um período maior de tempo; outro fator de grande importância é notar que a agricultura vem se desenvolvendo muito na base da agricultura familiar, onde uma parte dessa produção é para o próprio consumo e o excedente é destinado a comercialização nas feiras livres, outro programa incentivado pelos municípios.

Se tratando da urbanização, a porcentagem classificada como urbana apresenta praticamente os mesmos números, visto que essa região compreende grandes latifúndios, o que dificulta a expansão territorial, mesmo assim programas governamentais está deslocando algumas comunidades para junto do canal, visando o abastecimento dos imóveis e o desenvolvimento econômico.

O desenvolvimento rural dos perímetros irrigados do Canal do Sertão mesmo em passos lentos está sendo alcançado. O Governo de Alagoas, em parceria com a Universidade Federal de Alagoas e Projeto Dom Hélder (PE), Fundação Instituto do Desenvolvimento Agrícola (FIDA), está executando um plano de desenvolvimento rural, com ênfase na transformação social, produtiva e de acesso a mercados com famílias de pequenos agricultores, no perímetro do Canal do Sertão.

Na elaboração participativa do plano, feita pelos técnicos especializados das instituições envolvidas, constam no seu conteúdo a construção de 140 módulos de produção e aprendizagem, assessoria técnica permanente, diagnóstico, adução e distribuição de águas para residências, constam ainda dentro do plano de ação, a capacitação assessoria técnica em organização social, cooperativismo, metodologia participativas de geração de conhecimento, produção irrigada ecológica e organização para a comercialização locais e institucionais.

Nos 140 módulos previstos para o Canal do Sertão, o projeto prevê o atendimento para 451 famílias, onde será contemplado com sistema de irrigação por gotejamento, exercício de gestão e comercialização da produção, cultivos agroecológicos, infraestrutura de adução e distribuição para o consumo familiar e comercialização.

Serão 23 comunidades, povoados e assentamentos rurais do Sertão e Alto Sertão de Alagoas, que residem às margens do Canal do Sertão que passarão a ser contemplados com o Plano de Desenvolvimento elaborado pelo Governo de Alagoas, por meio da SEAGRI, UFAL e Projeto Dom Hélder Câmara e Fundação Instituto do Desenvolvimento Agrícola (FIDA).

Os gráficos 9 e 10, fazem um comparativo das porcentagens do uso do solo na região, onde observamos o desenvolvimento dos municípios após a inauguração e funcionamento do canal do sertão alagoano.

FIGURA 9 - GRÁFICO DA ÁREA CLASSIFICADA, 2008.

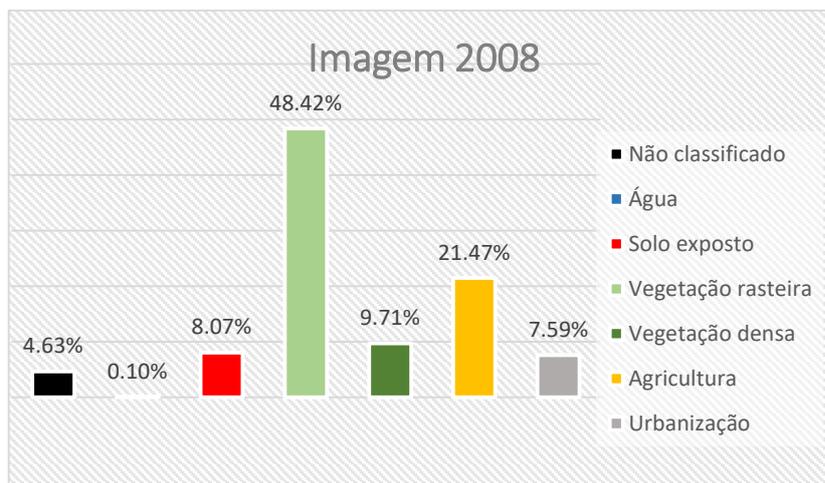
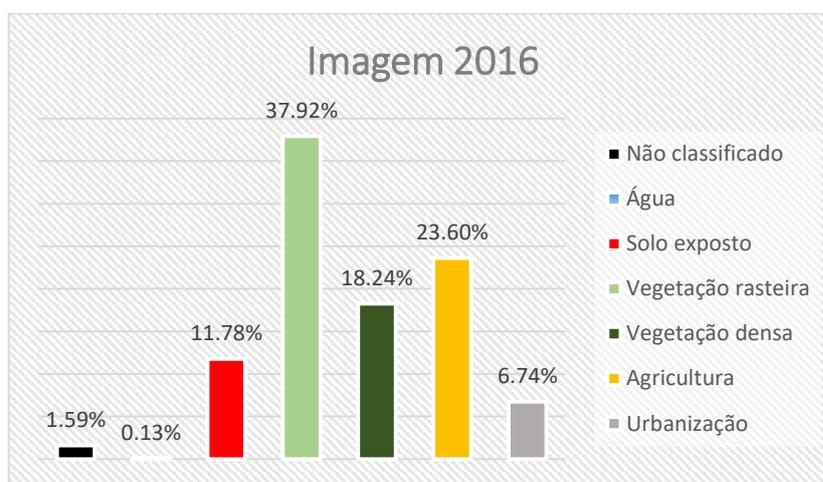


FIGURA 10 - GRÁFICO DA ÁREA CLASSIFICADA, 2016.

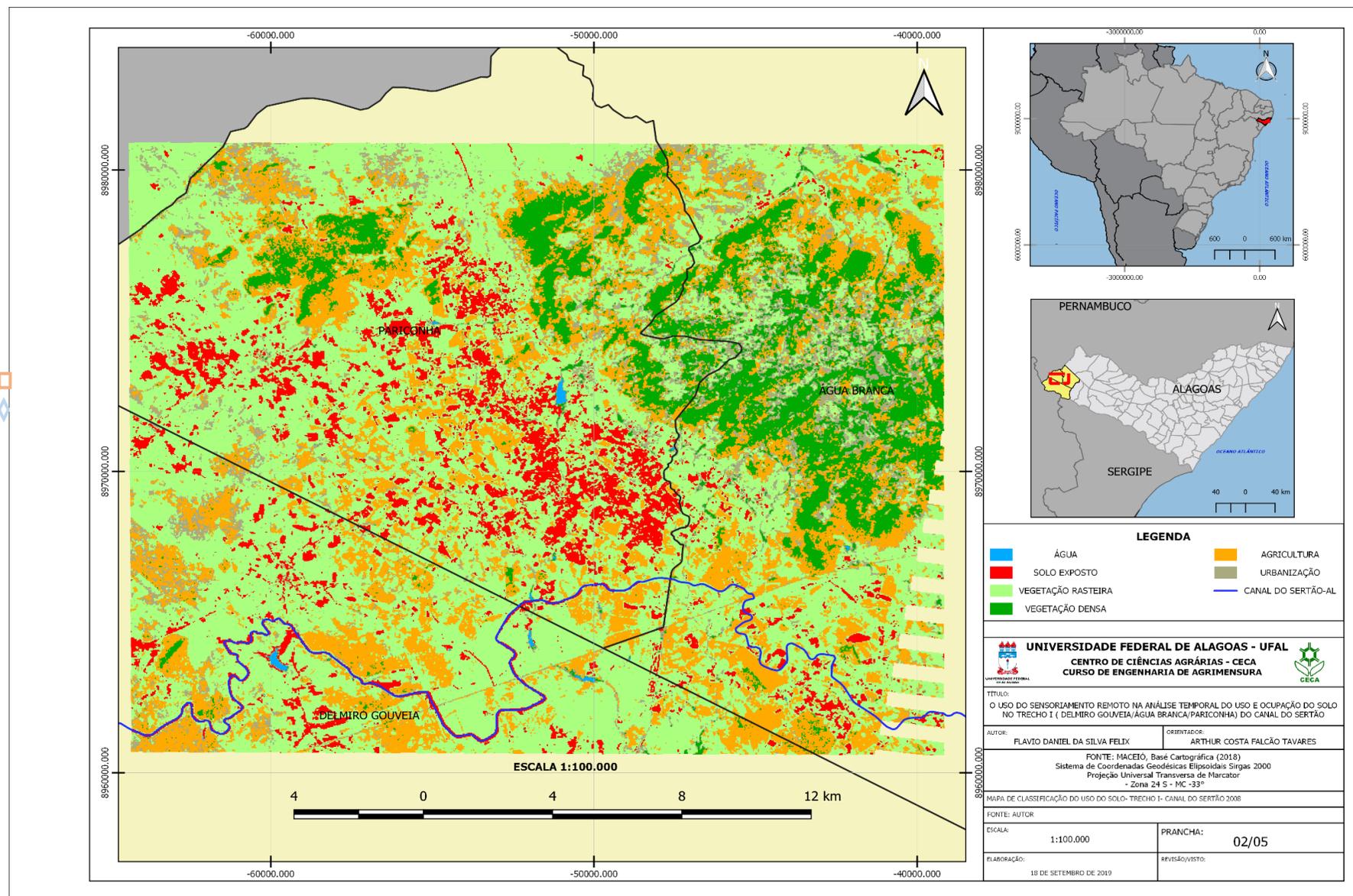


Conforme os gráficos acima, notamos que a vegetação encontrasse em constante mudança, no período de 8 anos observasse o aumento da área de solo exposto, que vem combinada com a diminuição da vegetação rasteira; o que pode ser explicado pelo aumento do uso do solo na agricultura familiar e o investimento em monoculturas, que visam não só o abastecimento local como a exportação dos produtos. Outra classe de números expressivos é a classe de vegetação densa, onde não foi observado em nenhuma outra classe um aumento tão expressivo, esse resultado coincide com o período de tempo onde foram estabelecidas cerca de 61 áreas de preservação permanente nesses três municípios.

O resultado do processamento das imagens dos anos de 2008 e 2016 e suas respectivas classificações do uso do solo, foram representados em dois mapas, apresentados nas figuras 11 e 12.

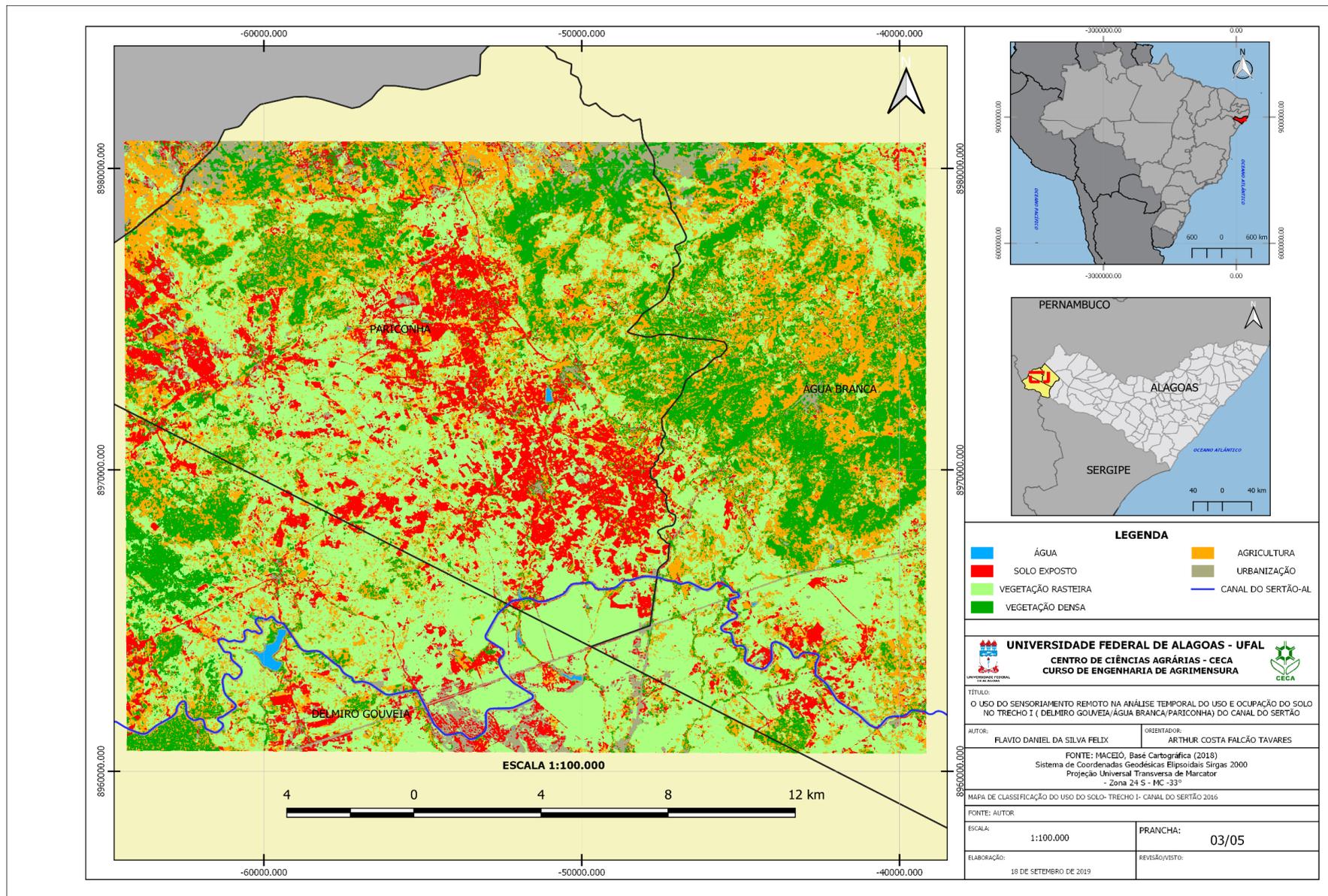
Para essa classificação foi utilizado o algoritmo de máxima verossimilhança, com o intuito de que as amostras de imagem com mesma característica obtivessem a mesma classificação.

FIGURA 11 - MAPA DA CLASSIFICAÇÃO DO SOLO, LANDSAT 5 (2008).



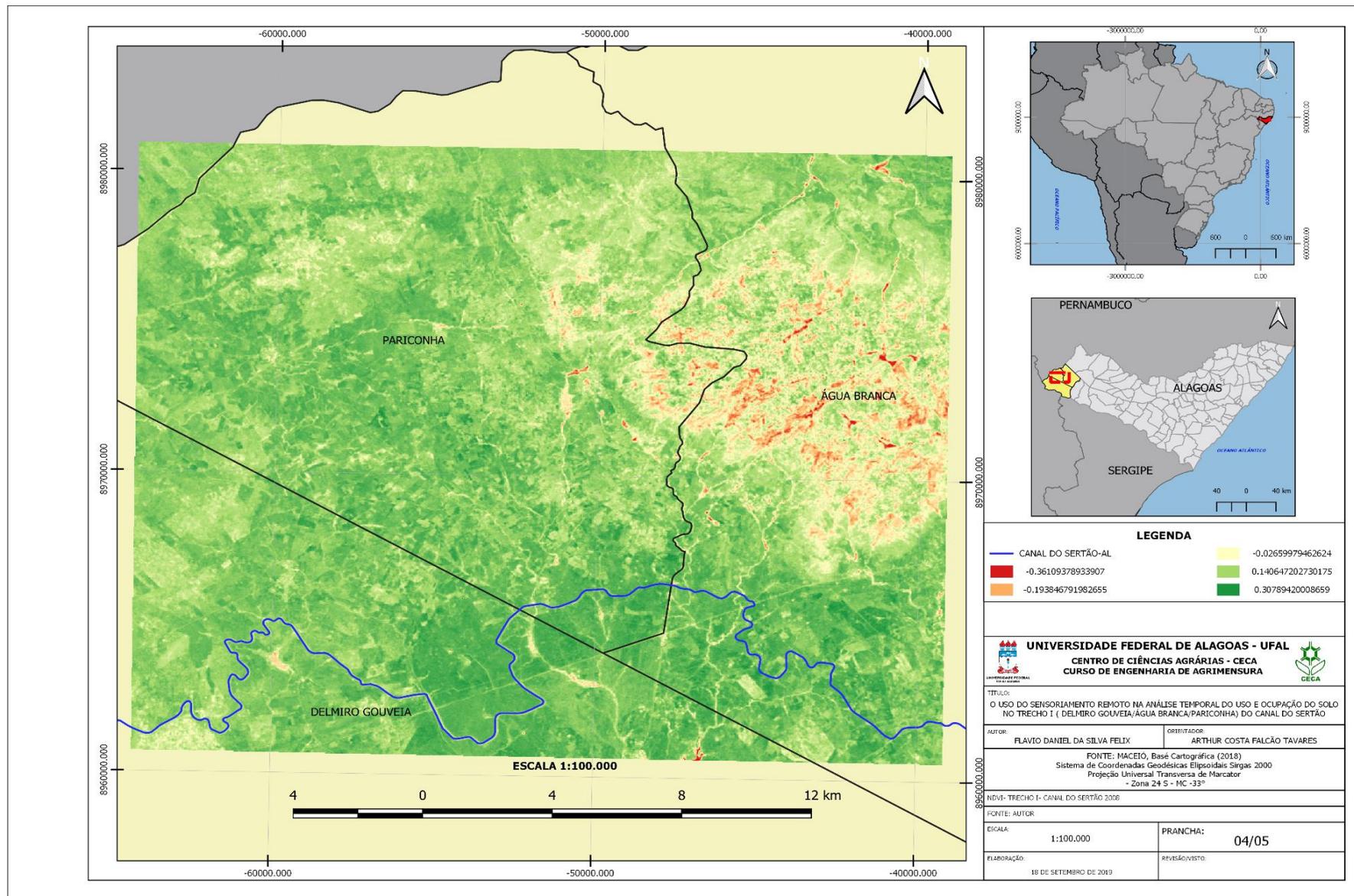
Fonte: Autor (2019)

FIGURA 12 - MAPA DA CLASSIFICAÇÃO DO SOLO, LANDSAT 8 (2016).



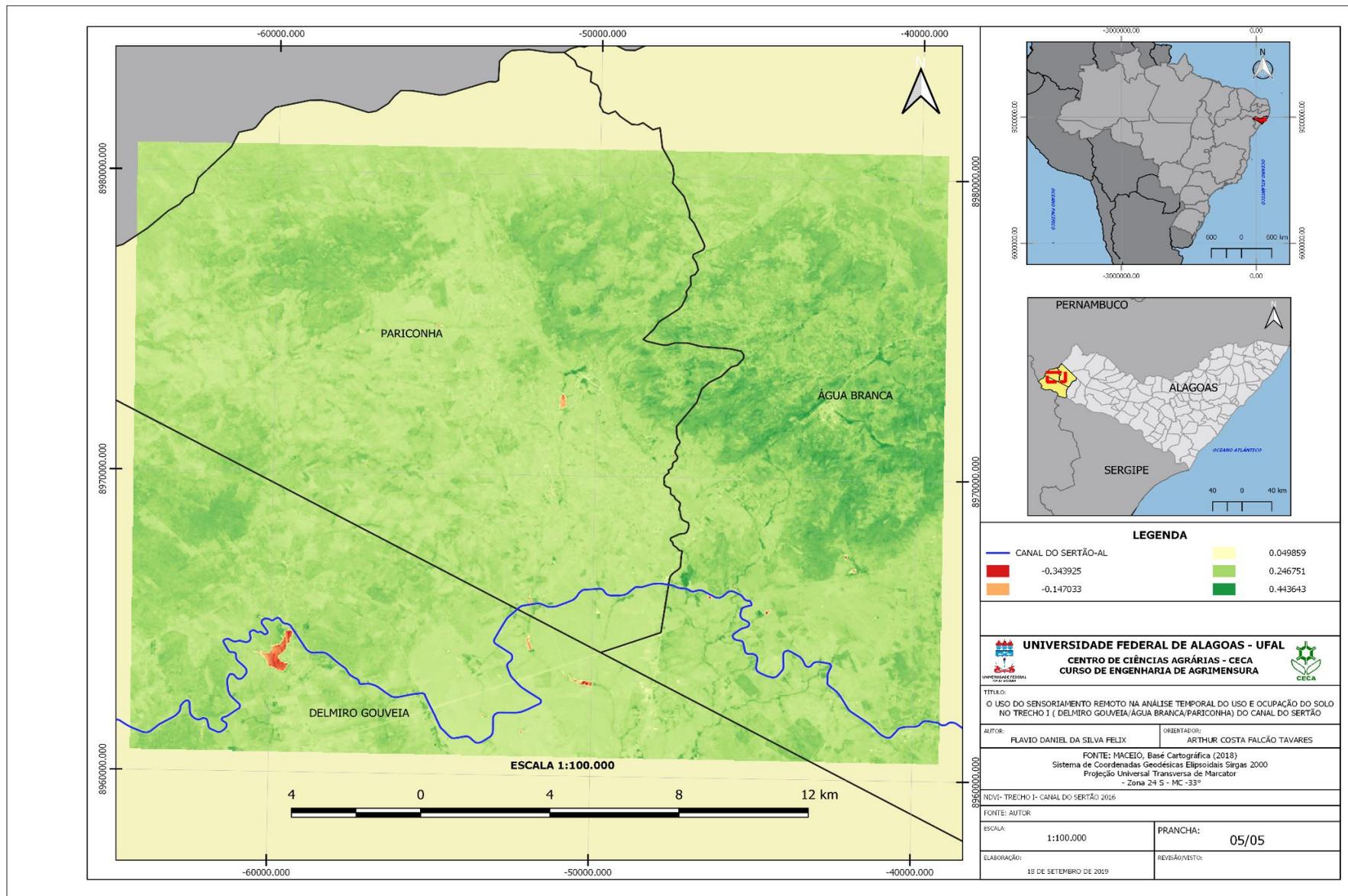
Fonte: Autor (2019)

FIGURA 13 - NDVI, LANDSAT 5 (2008).



Fonte: Autor (2019)

FIGURA 14 - NDVI, LANDSAT 8 (2016).



Fonte: Autor (2019)

As figuras acima, 13 e 14, representam o comportamento da vegetação na área de estudo nos anos de 2008 e 2016. Os valores do NDVI variam em um intervalo de -1 e 1, o que resultou em um valor máximo 0,3078 e valor mínimo de -0,3610 para o ano de 2008.

Levando em consideração essa classificação da vegetação e com base no estudo do NDVI, verifica-se uma qualidade melhor nas folhas da imagem do ano de 2016, como mostra a figura 14. Conforme a legenda da figura 14, os valores do NDVI do ano de 2016 variam entre 0,15 e 0,34; resultado que demonstra que a vegetação está dividida entre uma vegetação com algum tipo de deficiência e uma vegetação moderadamente sadia.

É de suma importância salientar que, esses estudos necessitam de acompanhamento profissional. A tabela 4 mostra como esses resultados podem variar se as correções e transformações de dados não forem manipulados da maneira ideal. Segundo a mesma tabela, o cálculo do NDVI sem correções retornaria num resultado em que a vegetação estaria classificada como sem atividade/alvos não vegetais e vegetação com deficiência.

TABELA 3 – NDVI, LANDSAT 8 COM E SEM CORREÇÃO.

Landsat 8		Mínimo	Máximo
Imagem 2016	NDVI corrigido	0,15	0,34
	NDVI sem correção	-0,04	0,25

Fonte: Autor (2019)

## 5 CONCLUSÃO

Com base no estudo e desenvolvimento do trabalho, podemos concluir e observar que o processamento das imagens e sua classificação se mostram como uma ferramenta muito eficaz quando utilizada para observar o desenvolvimento da urbanização, o comportamento da vegetação ao longo do tempo e em que pontos a agricultura tem se desenvolvido.

O estudo mostra que a urbanização tem se expandido, principalmente nos arredores do município de Delmiro Gouveia e Água Branca; Pariconha a urbanização permanece sem alteração significativa. Além disso, um ponto para salientarmos é a diminuição de solo exposto e aumento de vegetação rasteira na cobertura do solo. Na agricultura notou-se a aproximação das lavouras junto ao canal do sertão, já que algumas comunidades desses locais foram realocadas e com a busca de locais mais acessíveis a água, mesmo assim a expansão vem sendo prejudicada pelos latifúndios que margeiam o canal do sertão. Com o pleno funcionamento do canal é normal que grandes empresas e fazendeiros dificultem ainda mais esse processo.

A burocracia tem dificultado bastante para o acesso das famílias a água, segundo o Tribunal de Contas de Alagoas (2017), apenas um pedido de utilização da água do canal havia sido deferido, problema esse que aparenta estar sendo solucionado com o advento de programas governamentais.

Conclui-se com o estudo que o canal do sertão não vem atingindo ao longo do tempo o seu objetivo com a velocidade esperada, o uso desenfreado e sem fiscalização do uso da água podem se tornar uma preocupação futura; além disso a população tem encontrado algumas barreiras para acesso ao canal do sertão. É de extrema importância que órgãos públicos continuem tentando desenvolver junto as grandes propriedades maneiras de facilitar o acesso ao canal, invista na capacitação das pessoas afim de alavancar a exploração da terra e com isso consiga desenvolver uma terra tão carente de bens e produtos básicos para os seres humanos.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, L.; DORIGON, L. **Análise temporal da cobertura vegetal no município de Teresina/PI a partir da aplicação de NDVI**. Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente. São Paulo. 2014.

BORGES, Patrícia Duro. **Apostila de Física**. Santa Maria, 2009.

CAMPBELL, J. B.; WYNNE, R. H. **Introduction to remote sensing**. 5. ed. Guilford Publications Inc., 2011.

CHUVIECO, E. **Fundamentos de tele detección espacial**. Madrid: Ediciones Rialp, 1990. 453 p.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea: Diagnóstico do município de Água Branca, estado de Alagoas**. Organizado [por] João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea: Diagnóstico do município de Delmiro Gouveia, estado de Alagoas**. Organizado [por] João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea: Diagnóstico do município de Pariconha, estado de Alagoas**. Organizado [por] João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

CRÓSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. 4. ed. Campinas: IG/UNICAMP, 2002.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Instituto de Geociências. UNICAMP. 1992.

CRÓSTA, Álvaro Penteadado - **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Ed. Rev. - Campinas, SP: IG/UNICAMP, 1993.

CURRAN, P. J. **Principles of remote sensing**. London: Longman, 1985. 282 p.

E.C.MORAES. **Fundamentos do sensoriamento remoto**. São José dos Campos, 2002.

EMBRAPA. **Zoneamento Agroecológico do Nordeste do Brasil: diagnóstico e prognóstico**. Petrolina: Semi-Árido, 2000.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 1997.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Solos do Município de Delmiro Gouveia** - Estado de Alagoas, 2006.

EMBRAPA. **LANDSAT - Land Remote Sensing Satellite, 2017**. Disponível em: Acesso em: 02 de dezembro de 2019.

FREITAS, V. A. L. de; BASSO, L. O.; FERRI R. **Curso de capacitação para implantação de cadastro territorial multifinalitário nos municípios do sudoeste do paraná módulo 3- sensoriamento remoto e geoprocessamento**. Pato branco, 2015.

IBGE (2015). **Mudanças na Cobertura e Uso da Terra: 2000 – 2010 – 2012**. Rio de Janeiro, IBGE.

INPE – Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat>, acesso em 19 de novembro de 2019.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. **Introdução ao sensoriamento remoto**, 2006.

LIEW, S. C. **Eletromagnetic Radiation. CRISP –Center for Remote Images, Sensing and Processing**. Singapura, 2001. Disponível em: Acesso em: 15 de novembro de 2019.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. New York. 1994.

MACHADO, Cláudia A. Soares e QUINTANILHA, José Alberto. **Módulo de treinamento: sistemas de informações geográficas (SIG) e geoposicionamento: uma aplicação urbana**. São Paulo, 2008.

MARTINS, Vitor Souza & OLIVEIRA, Guilherme de Castro. **Classificação supervisionada como ferramenta para avaliação da dinâmica do uso e cobertura do solo**. Viçosa, 2014.

MENESES, P. R. & ALMEIDA, T. DE. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília, 2012.

OLIVEIRA, H. N. BARROS DE. **Segmentação e classificação de imagens LANDSAT TM**. Paraná, 1999.

PELLEGRIN, L. A. **Técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicadas ao mapeamento de uso do solo: a bacia do Rio Pará com um Exemplo**. Dissertação (Mestrado em Tratamento da informação espacial) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, 2001.

PIRES, E. G.; FERREIRA JÚNIOR, L. G. **Mapeamento da temperatura de superfície a partir de imagens termais dos satélites Landsat 7 e Landsat 8**. Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, 17 - SBSR, João Pessoa, abril 2015.

PROCÓPIO, M. A. B. **Dinâmica do desmatamento no bioma cerrado utilizando índices de vegetação: estudo de caso Sapezal-MT**. Universidade Federal de Alagoas, 2018.

RODRIGUES, Renato de Bozzano & ARAUJO, Sérgio Murilo Santos de. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento no contexto brasileiro e internacional: ferramentas para a análise da vegetação**. Campina Grande, 2018.

ROSA, R. **Introdução ao Geoprocessamento**. Uberlândia. Universidade Federal de Uberlândia, 2013.

SCHOWENGERDT, R. A. **Techniques for image processing and classification in remote sensing**. University of Arizona. 1983, 249p.

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO, GESTÃO E PATRIMÔNIO – AL. **Estudo sobre o Canal do Sertão**. Maceió, 2017.

SEMARH. **Programa água doce. Fase I – Diagnóstico socioambiental e técnico**. Alagoas, 2013.

SEMARH. **Relatório de gestão**. Maceió, 2014.

SOUTO, Ana Lucia. **O espectro eletromagnético**, 2018.

SOUZA, J.; MACHADO, S.; AVACA, L. **Voltametria de onda quadrada. Primeira parte: aspectos teóricos.** Química nova. v. 26. n. 1. USP. 2003.

SOUZA, R. B. **Sensoriamento Remoto: Conceitos fundamentais e plataformas.** Centro Regional de Pesquisas Espaciais – CRS, INPE. Santa Maria, 2010.

STEFFEN, Carlos Alberto; LORRENZZETTI, João Antônio; STECH, José Luiz. **Sensoriamento Remoto: princípios físicos, sensores e produtos e sistema LANDSAT.** São José dos Campos: INPE, 1981. 81p. (INPE – 2226 – MD/013).

TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO – TCU. **Relatório de Fiscalização,** 2013.

USGS. Science for a changing world. Landsatmissions. **Disponível em: <https://landsat.usgs.gov/what-are-band-designations-landsat-satellites>.** Acesso em: 20 de novembro de 2019.