



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco
Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental

NIVALDO CORREIA DE ANDRADE NETO

**UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO NA EVOLUÇÃO
DO USO DO SOLO NO LITORAL SUL DE PERNAMBUCO**

RECIFE

2018

NIVALDO CORREIA DE ANDRADE NETO

**UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO NA EVOLUÇÃO
DO USO DO SOLO NO LITORAL SUL DE PERNAMBUCO**

Monografia apresentada como requisito final do Trabalho de Conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, para obtenção do título de Tecnólogo em Gestão Ambiental.

Orientador: Hernande Pereira da Silva

RECIFE

2018

Ficha Catalográfica

Ficha elaborada pela bibliotecária Emmely Cristiny Lopes Silva CRB4/1876

C837a

2018 Andrade Neto, Nivaldo Correia de.

Utilização de técnica de sensoriamento remoto na evolução do uso do solo no litoral sul de Pernambuco / Nivaldo Correia de Andrade Neto. --- Recife: O autor, 2018.

64f. il. Color.

TCC (Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental) – Instituto Federal de Pernambuco, Departamento Acadêmico de Ambiente, Saúde e Segurança - DASS, 2018.

Inclui Referências.

Orientadora: Professor Dr. Hernande Pereira da Silva.

1.Sensoriamento remoto. 2. Vegetação nativa. 3. Geoprocessamento. 4.Gestão ambiental. I. Silva, Hernande Pereira da. II. Título.

CDD 621.3678 (21ed.)

NIVALDO CORREIA DE ANDRADE NETO

**UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO NA EVOLUÇÃO
DO USO DO SOLO NO LITORAL SUL DE PERNAMBUCO**

Monografia aprovada como requisito final do Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do título de Tecnólogo em Gestão Ambiental ao término do Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof^o. Dr^o. Hernande Pereira da Silva

Prof^o. Dr^o. José Severino Bento

Prof^o. Dr^o. Ronaldo Faustino da Silva

Recife, 2018

“A grandeza vem não quando as coisas sempre vão bem para você, mas a grandeza vem quando você é realmente testado”

Richard Milhous Nixon

A todos que contribuíram para o meu crescimento tanto profissional quanto pessoal.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a DEUS Todo Poderoso pelo seu imenso amor e bondade, não só para mim, mas para todos que me rodeiam, pois sem Ele não teria chegado até onde estou; também por me conceder uma família abençoada, e amigos valorosos. Agradeço aos meus pais, MARCELO CORREIA DE ANDRADE e FLÁVIA SANTOS DE ANDRADE, por serem tão amorosos, zelosos e companheiros, por fazerem todo o possível para ajudar na minha jornada acadêmica e profissional, também sou grato ao meu irmão TÚLIO FLÁVIO SANTOS DE ANDRADE, por auxiliar sempre que precisei.

Aos primos e primas, que estão mais para irmãos e irmãs, por proporcionarem momentos de descontração e união familiar, aos meus tios e tias por também me acompanharem nessa jornada e em tantas outras.

Ao Professor HERNANDE PEREIRA DA SILVA, que me aceitou como orientador e me acompanhar nesta pesquisa, mostrando a direção para onde caminhar para a realização desta pesquisa.

A minha turma de Gestão Ambiental, onde encontrei bons amigos que ajudaram no decorrer do curso.

São muitos a quem desejo agradecer, tanto que não caberia nesta folha, e mesmo que não tenham sido mencionados aqui, quero que saibam que não foram esquecidos, muito pelo contrário, estarão sempre em minhas boas lembranças.

MUITO OBRIGADO A TODOS!

Resumo

Esta pesquisa objetivou avaliar o uso e ocupação do solo na região do Litoral Sul de Pernambuco entre os anos de 2006 a 2017, e estimar o Índice de Área Foliar como meio de corroborar os dados provenientes da manipulação das informações dos satélites LANDSAT 5 e LANDSAT 8. A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto (GEOSERE) localizado na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Utilizou-se imagens de satélites com menor índice de cobertura por nuvens possível. As cenas foram importadas para o Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING). Foi realizada a classificação supervisionada para cada cena, onde foram identificadas áreas correspondentes as classes temáticas a partir das cenas obtidas nas imagens de satélites. Em seguida foi determinado o Índice de Área Foliar (IAF). Como resultado, constatou-se que a maior faixa de ocupação no litoral sul pernambucano é voltado para os centros urbanos, tanto para a cena do LANDSAT 5 quanto do LANDSAT 8, onde foi perceptível a expansão dessa classe. As taxas de IAF foram baixas para ambas as datas das imagens utilizadas, embora a cena de 2017 tenha apresentado maior amplitude em comparação à 2006. Ao combinar os resultados da classificação supervisionada com o IAF, a Vegetação Nativa expressou maior média para o IAF em 2006, mas em 2017 sofreu redução, sendo superada pela classe agricultura. As médias de IAF, aliada à sua queda entre os anos de 2006 a 2017 demonstram que há baixa cobertura vegetal no litoral sul de Pernambuco.

Palavras chaves: LANDSAT, SPRING, Vegetação nativa, Geoprocessamento.

Abstract

The objective of this research was to evaluate the use and occupation of the soil in the southern coast of Pernambuco from 2006 to 2017 and to estimate the Foliar Area Index as a means of corroborating data from the manipulation of information from the LANDSAT 5 and LANDSAT 8 satellites. The research was developed in the Geoprocessing and Remote Sensing Laboratory (GEOSERE) located at the Federal Rural University of Pernambuco (UFRPE). It was used images of satellites with the lowest cloud coverage index possible. The scenes were imported into the Georeferenced Information Processing System (SPRING). The supervised classification was performed for each scene, where areas corresponding to the thematic classes were identified from the scenes obtained in the satellite images. Then, the leaf area index (LAI). As a result, it was found that the largest occupation belt on the south coast of Pernambuco is directed towards urban centers, both for the LANDSAT 5 scene and LANDSAT 8, where the expansion of this class was perceptible. IAF rates were low for both dates of the imagery used, although the 2017 scene was more extensive compared to 2006. Combining the results of the supervised classification with the IAF, Native Vegetation expressed the highest average for the IAF in 2006, but in 2017 suffered reduction, being surpassed by the agriculture class. IAF averages, together with their fall between the years 2006 and 2017, show that there is low vegetation cover on the southern coast of Pernambuco.

Keywords: LANDSAT, SPRING, Native vegetation, Geoprocessing.

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	Determinação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	41
Equação 2	Determinação da Fração de Cobertura Vegetal (FCV) em %	42
Equação 3	Determinação do Índice de Área Foliar (IAF) em m^2/m^2 .	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Satélite LANDSAT 7 imageando a superfície da Terra.	19
Figura 2	Plataforma de coleta de dados utilizado para obtenção de informações meteorológicas.	20
Figura 3	Espectro eletromagnético.	21
Figura 4	Satélite LANDSAT 5 e seus sensores Thematic Mapper (TM) e Multispectral Scanner System (MSS).	22
Figura 5	Vista da nave espacial LDCM implementada mostrando as portas de calibração dos instrumentos TIRS e OLI do satélite LANDSAT 8.	24
Figura 6	Comprimentos de onda do LANDSAT 8 (posição superior) em relação ao LANDSAT 7 (posição inferior).	24
Figura 7	Fases do desenvolvimento da cana-de-açúcar.	31
Figura 8	Curvas espectrais em função da energia refletida (%) e do comprimento de ondas (μm).	33
Figura 9	Mapas de altimetria (a); de declividade (b) e dos modos de colheita da cana por classe de declividade para o município de Guariba - SP (c) obtidos pelo uso de imagens do satélite LANDSAT 5.	35
Figura 10	Resposta espectral da cana colhida sem uso do fogo (1), com uso do fogo (2) e cana em pé (3) em imagem do satélite LANDSAT 5	36
Figura 11	Municípios integrantes do Litoral Sul (LSul) de Pernambuco, onde a região em verde corresponde a área de estudo delimitada pela PE 60.	39
Figura 12	Somatório das bandas 3 (vermelho), 4 (azul) e 5 (verde) resultando em uma composição colorida para a cena do Litoral Sul (LSul) de Pernambuco.	40

Figura 13	Composição colorida das bandas 3 (vermelho), 4 (azul) e 5 (verde) para a Zona da Mata Sul de Pernambuco para o dia 26 de agosto de 2006.	44
Figura 14	Composição colorida das bandas 3 (vermelho), 4 (azul) e 5 (verde) para a Zona da Mata Sul de Pernambuco para o dia 21 de março de 2017.	44
Figura 15	Classificação do Litoral Sul (LSul) de Pernambuco para o dia 26 de agosto de 2006, elaborada a partir da imagem do satélite LANDSAT 5.	45
Figura 16	Classificação do Litoral Sul (LSul) de Pernambuco para o dia 21 de março de 2017, elaborada a partir da imagem do satélite LANDSAT 8.	45
Figura 17	Índice de Área Foliar (IAF) do Litoral Sul (LSul) de Pernambuco para o dia 26 de agosto de 2006, elaborada a partir da imagem do satélite LANDSAT 5.	50
Figura 18	Índice de Área Foliar (IAF) do Litoral Sul (LSul) de Pernambuco para o dia 21 de março de 2017, elaborada a partir da imagem do satélite LANDSAT 8.	50
Figura 19	Índice de Área Foliar – IAF (m^2/m^2) para as médias dos pontos observados para as classes entre os anos de 2006 e 2017.	53
Figura 20	Correlação entre as médias do Índice de Área Foliar (IAF) em função das classes estudadas a partir das imagens do LANDSAT 5 (LS 5) e LANDSAT 8 (LS 8).	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Informações sobre a população dos municípios estudados de acordo com o censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2010.	16
Tabela 2	Características dos satélites LANDSAT 5.	23
Tabela 3	Informações sobre os sensores encontrados no satélite LANDSAT 5.	23
Tabela 4	Características dos satélites LANDSAT 8.	25
Tabela 5	Informações sobre os sensores encontrados no satélite LANDSAT 8.	25
Tabela 6	Comparativo de área, produtividade e produção da cana-de-açúcar na região Nordeste.	32

Tabela 7	Área ocupada em Km ² para as classes Corpos d' Água (CA); Área Urbana (AU); Agricultura (AT); Vegetação Nativa (VN); Nuvens (NV); Sombreamento (SB) no Litoral Sul (Lsul) de Pernambuco em função das imagens obtidas pelos satélites LANDSAT 5 e LANDSAT 8.	48
Tabela 8	Valores de IAF em m ² /m ² obtidos a partir de pontos delimitados pelas classes Corpos d'água (CA), Área urbana (AU), Agricultura (AT), e Vegetação nativa (VN).	52

LISTA DE ABREVIATURAS

AT: Agricultura.

AU: Área urbana.

CA: Corpos d' Água.

CPRH: Agência Estadual De Meio Ambiente.

DPI: Divisão de Processamento de Imagens.

FCV: Fração de Cobertura Vegetal.

GEO SERE: Laboratório de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto.

IAF: Índice de Área Foliar.

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

IFPE: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco.

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

IPCC: International Panel on Climate Change.

LAT: Latitude.

LON: Longitude.

LSul: Litoral Sul.

LS 5: LANDSAT 5.

LS 8: LANDSAT 8.

MaxVer: Algoritmo de classificação de Máxima Verossimilhança.

NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada.

NV: Nuvens.

PCD: Plataforma de Coleta de Dados.

PNGC: Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro.

UFRPE: Universidade Federal Rural de Pernambuco.

REM: Radiação Eletromagnética.

SB: Sombreamento.

SIG: Sistema de Informações Georreferenciadas.

SISNAMA: Sistema Nacional do Meio Ambiente.

SPRING: Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas.

VN: Vegetação Nativa.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
2 JUSTIFICATIVA	17
3 OBJETIVO GERAL.....	18
3.1 Objetivos Específicos	18
4 REVISÃO DE LITERATURA	18
4.1 Sensoriamento remoto	18
4.2 Faixas espectrais	21
4.3 Satélites e seus sensores	22
4.4 Uso dos dados termais	26
4.5 Uso e ocupação do solo	27
4.6 Litoral de Pernambuco.....	28
4.6.1 Histórico	28
4.6.2 Características.....	29
4.6.3 Clima e vegetação.....	29
4.7 A cultura da cana-de-açúcar	30
4.8 Sensoriamento remoto aplicado a cana-de-açúcar.....	32
4.9 Índice de Área Foliar	37
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	38
5.1 Elaboração da pesquisa.....	38
5.2 Classificação supervisionada das imagens	39
5.3 Índice de Área Foliar	41
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
6.1 Classificação supervisionada.....	43
6.1.1 Corpos d' Água.....	46
6.1.2 Área Urbana.....	46
6.1.3 Agricultura.....	47

6.1.4 Vegetação Nativa.....	47
6.2 Índice de Área Foliar	49
6.3 Classificação supervisionada x IAF	51
7 CONCLUSÕES	55
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

1 INTRODUÇÃO

A organização espacial é resultado do trabalho social do homem, que se materializa no espaço, podendo ser definida como conjunto de objetos criados pelo homem e dispostos sobre a superfície da Terra como um meio de vida para o presente e também uma condição para o futuro (CORRÊA, 2000).

A zona costeira, como um espaço de grande valor ambiental, é de grande relevância tanto para o setor social como também o econômico e também é uma área extremamente sensível e instável pelo seu caráter de interação entre a terra e o mar (MANSO et al., 2006).

O litoral pernambucano foi delimitado e setorizado com base na sua situação geográfica e política em 21 municípios, distribuídos numa faixa de 187 km que se estende desde o município de Goiana, ao norte, até o município de São José da Coroa Grande, ao sul (MANSO et al., 2006).

Segundo a Lei federal nº 7.661/1988, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC), a zona costeira é o espaço geográfico de interação do ar, do mar e da terra, incluindo seus recursos renováveis ou não, abrangendo uma faixa marítima e outra terrestre (MEDAUAR, 2015). A faixa litorânea, segundo Moraes (2007), não pode ser resumida a um espaço padrão naturalmente singularizado

A ocupação dos municípios litorâneos vem se intensificando nas últimas décadas devido a três elementos considerados prioritários de desenvolvimento: a urbanização, a industrialização e a exploração turística (MORAES, 2007).

A urbanização ocorre em função do crescimento populacional, ou seja, a expansão dos centros urbanos. Durante a expansão urbana, regiões agrícolas e concentrações de vegetação nativa a medida em que surge a necessidade por espaço pelas cidades.

Tomando o município de Ipojuca que de acordo com o censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), sua população que era de 80.637 habitantes, passou a ser de 94.533 habitantes, ou seja, apresentou o crescimento de 17,23 % entre os anos de 2010 à 2017 (Tabela 1). Tais números levam ao questionamento de como está ocorrendo não somente a ocupação, mas também a distribuição da população no litoral sul pernambucano.

Tabela 1. Informações sobre a população dos municípios estudados de acordo com o censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2010.

	Pop. Estimada	Pop. (2010)	Dens. demográfica	Crescimento
	(2017)	(2010)	(2010)	
	(Habitantes)	(Habitantes)	(hab/km ²)	(%)
Pernambuco	9.473.266	8.796.448	89,62	7,694
Cabo de Sto. Agostinho	204.653	185.025	412,33	10,61
Ipojuca	94.533	80.637	152,98	17,23
Sirinhaém	45.263	40.296	107,57	12,33
Rio Formoso	23.379	22.151	97,39	5,54
Barreiros	42.438	40.732	174,54	4,19
São José da Coroa Grande	20.963	18.180	262,19	15,31

Fonte. (IBGE, 2017)

Atrelado a esta temática é importante ressaltar que as florestas são as primeiras a perderem seu espaço para os centros urbanos.

O uso do solo nada mais é que a forma de como o solo está sendo utilizada pelo homem. Esse uso pode provocar alguns danos ao meio ambiente, como erosão intensa, inundações, assoreamento dos reservatórios e cursos d'água (VAEZAL et al. 2010).

A forma e o tipo de ocupação do seu território tem levado os governos a se interessarem por estudos que abordem essa questão. Entende-se que pesquisas, análises e interpretações do uso e ocupação do solo e da dinâmica geoambiental colaboram, de maneira consistente, com o conhecimento aprofundado de uma região (VAEZAL et al. 2010).

Uma variável biofísica importante para estudo da vegetação é o Índice de Área Foliar (IAF), definida por Xavier et al. (2002) como a área foliar integrada do dossel por unidade de superfície projetada no solo (m²/m²).

A importância da área foliar de uma cultura é amplamente conhecida por ser um parâmetro indicativo de produtividade, pois o processo fotossintético depende da interceptação da energia luminosa e a sua conversão em energia química (FAVARIN et al., 2002).

Do ponto de vista de plantações, como o caso da cana-de-açúcar, é importante quantificar o IAF, assim como a sua variação ao longo de seu ciclo produtivo, pois a partir desta quantificação é possível sua utilização como variável de entrada em modelos hidrológicos e de crescimento (XAVIER et al., 2002).

2 JUSTIFICATIVA

Quanto ao uso e ocupação do solo no litoral sul de Pernambuco e visto que a tecnologia de sensoriamento remoto esteja disponível e seja amplamente utilizada em vários campos do conhecimento como é o caso da gestão da produção agrícola, previsão meteorológica, sistemas de alerta de fogo, e de desflorestamento, e mais recentemente pelo estudo dos recursos naturais como monitoramento da poluição atmosférica e hídrica. (NOVO, 2007).

Ainda cabe ressaltar neste tópico a importância da população em monitorar, bem como ter acesso a informações em relação ao ambiente que o cerca, como é dito no artigo 2º da Lei 10.650/2.003 que dispõe sobre o acesso público aos dados e informações existentes nos órgãos e entidades integrantes do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) (MEDAUAR, 2015):

Art. 2º. Os Órgãos e entidades da Administração Pública direta, indireta e fundacional integrantes do SISNAMA, ficam obrigados a permitir o acesso público aos documentos, expedientes e processos administrativos que tratem de matéria ambiental e a fornecer todas as informações ambientais que estejam sob sua guarda, em meio escrito, visual, sonoro ou eletrônico.

O levantamento do uso e cobertura da terra sendo utilizada como parte de um diagnóstico ambiental é a primeira etapa para o planejamento conservacionista como estratégia para a preservação da vegetação e também da manutenção das características do solo (VAEZAL et al., 2007). Já em relação a agricultura, o conhecimento da variação temporal de elementos como o IAF pode ser útil na avaliação de várias práticas culturais como poda, adubação, irrigação, espaçamento e aplicação de defensivos, entre outros.

Outra justificativa pode ser quanto a usar o sensoriamento remoto como ferramenta para prevenir a degradação do meio ambiente, criando unidades conservação, como é afirmada no ART. 9º da lei 7.661/1988 (MORAES, 2007).

Art. 9º. Para evitar a degradação ou uso indevido dos ecossistemas, do patrimônio e dos recursos naturais da zona costeira, o PNGC poderá prever a criação de unidades de conservação permanente, na forma da legislação em vigor.

3 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo identificar o uso e ocupação do solo na região do Litoral Sul de Pernambuco, e estimar o Índice de Área Foliar como meio de corroborar os dados provenientes dos satélites LANDSAT 5 e LANDSAT 8, bem como a espacialização e geração de mapas temáticos das condições de cobertura vegetativa.

3.1 Objetivos Específicos

- a) Realizar a classificação supervisionada no litoral sul de Pernambuco;
- b) Determinar o Índice de Área Foliar no litoral sul de Pernambuco;
- c) Correlacionar os resultados da classificação supervisionada e do IAF quanto ao uso e ocupação do solo do litoral sul pernambucano.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto é definido como uma técnica de aquisição e de aplicações das informações sobre um objeto sem nenhum contato físico com ele (LIU, 2006; MENESES & ALMEIDA, 2012).

A informação é adquirida pela detecção e medição das mudanças que o objeto impõe ao campo na sua redondeza, esse sinal pode incluir um campo eletromagnético emitido e/ou refletido, ondas acústicas refletidas e/ou perturbadas pelo objeto ou as perturbações do campo de gravidade ou potencial magnético com a presença do objeto (LIU, 2006).

Essa técnica consiste em realizar a captação e o registro da energia refletida ou emitida pela superfície terrestre, disponibiliza imagens e outros tipos de dados, cujo tratamento, processamento e interpretação podem ser utilizados para análise dos aspectos físicos de determinada região ou objeto de estudo (SOUZA et al., 2011).

A sua origem se dá na década de 1960, devido ao rápido desenvolvimento da área espacial nessa década, que ficou conhecida como a década da corrida espacial. Foi nesse período que se viu o mais rápido desenvolvimento de foguetes lançadores de satélites, que possibilitou colocar no espaço satélites artificiais com diferentes finalidades (MENESES & ALMEIDA, 2012).

A grande vantagem das imagens de satélite de sensoriamento remoto é que estas são obtidas continuamente, na medida em que o satélite gira em torno da Terra, de tal forma que a cada órbita o satélite obtém a imagem de uma nova faixa da superfície, até que todo o globo seja imageado (Figura 1) e comece um novo ciclo (RUDORF; SUGAWARA, 2007).

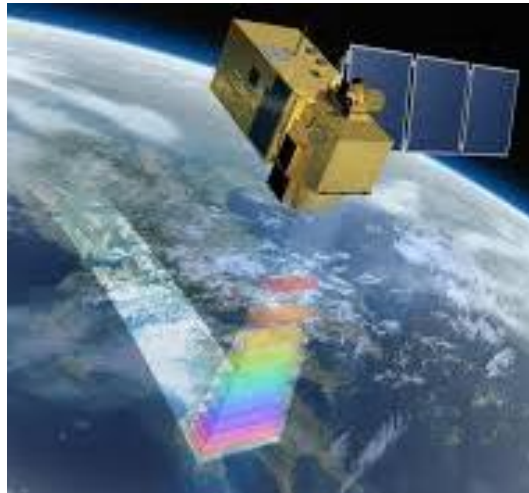


Figura 1. Satélite LANDSAT 7 imageando a superfície da Terra.
Fonte: MARÍN (2014).

A base fundamental do sensoriamento remoto, principalmente no tocante a captação do infravermelho termal, é que toda superfície emite radiação, e sua intensidade depende da temperatura da superfície estudada; assim quanto maior a temperatura, maior é a energia radiante (ROBINSON, 2004).

O satélite, principal ferramenta do sensoriamento remoto, é uma máquina que possui lentes em vários comprimentos de ondas eletromagnéticas e vigia cada pedaço do planeta Terra para informar rapidamente e minuciosamente o que está acontecendo nele em uma altitude aproximada de 800 quilômetros, em uma velocidade que demora em média 100 minutos para circular o globo terrestre (LIU, 2006).

O Brasil está entre os países pioneiros na utilização de imagens de satélites de sensoriamento remoto para o monitoramento de recursos naturais, onde também passou a ser produtor de imagens no início da série de satélites *China-Brazil Earth Resources Satellite* (CBERS) (RUDORF & SUGAWARA, 2007).

A aplicação das técnicas de sensoriamento remoto no estudo da vegetação teve início com os primeiros mapeamentos temáticos realizados na década de 40, a partir de fotografias aéreas, eram trabalhos pontuais e com objetivos bastante específicos (PONZONI et al., 2015).

O primeiro mapeamento publicado na década de 1990 foi realizado com a participação do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), teve o mérito de ser um trabalho inédito sobre a área original e a distribuição espacial dos remanescentes florestais da Mata Atlântica, sendo desenvolvido em escala 1:1.000.000, tornou-se uma referência para pesquisas científicas relacionadas ao tema e para o desenvolvimento das ações políticas de conservação do bioma (SOS MATA ATLÂNTICA, 2016).

Entre as metodologias utilizadas para identificar dados sobre temperatura, seja em ambientes urbanos ou rurais, destacam-se aquelas provenientes de medições *in situ* realizadas por termômetros fixos ou por termômetros montados em plataformas móveis denominadas como Plataforma de Coleta de Dados (PCD) (Figura 2) para observar a distribuição espacial, além das medições *in situ*, a utilização de observações remotas vem se destacando nas últimas quatro décadas, fornecendo uma alternativa viável para a quantificação da temperatura por meio de sensores termais dispostos em diferentes plataformas, combinando satélites, aeronaves e estações em superfícies fixas (GAMARRA et al., 2014).



Figura 2. Plataforma de coleta de dados utilizado para obtenção de informações meteorológicas.

Fonte. SINDA (2017).

Uma das limitações da abordagem empregada nas metodologias de medição *in situ* diz respeito à resolução espacial das análises, que não conseguem identificar as heterogeneidades observadas sobre os valores de temperatura em diferentes locais, decorrentes dos diferentes tipos de uso do solo (GAMARRA et al., 2014).

O conhecimento atualizado da distribuição e da área ocupada pela agricultura, vegetação natural, áreas urbanas e edificadas, entre outras, bem como informações sobre as proporções de suas mudanças, se tornam cada vez mais necessárias aos legisladores e planejadores, sendo assim há a necessidade de renovação constante dos registros de uso da terra, para que suas tendências possam ser analisadas (REZENDE; ROSENDO, 2009).

Novos avanços são esperados no que se refere ao potencial do uso de imagens obtidas por satélites orbitais em modelos agrônômicos para estimativa de produtividade de culturas agrícolas (PICOLI et al., 2009).

4.2 Faixas espectrais

Denomina-se espectro eletromagnético as regiões espectrais da Radiação Eletromagnética (REM) conhecidas pelo homem. O espectro eletromagnético se estende dos comprimentos de onda dos raios cósmicos aos comprimentos de corrente alternada emitidos pelas redes de alta tensão. A faixa de comprimento de onda da REM é praticamente ilimitada (Figura 3) (MENESES; ALMEIDA, 2012).

Um dos intervalos ou faixas de comprimentos de onda que é mais familiar é a luz visível da radiação solar, sendo aquela que o olho humano é capaz de detectar.

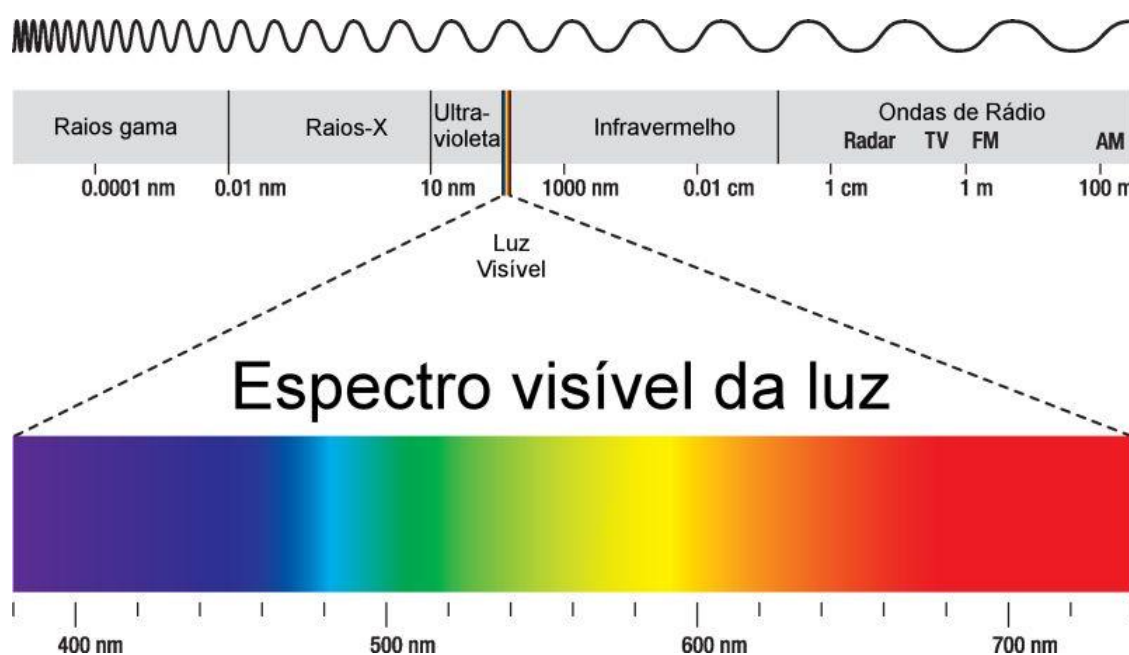


Figura 3. Espectro eletromagnético.

Fonte. STEFFEN (2017).

As imagens obtidas pelos sensores não são definidas num específico comprimento de onda, mas abrangendo pequenos intervalos, chamados de bandas espectrais (MENESES; ALMEIDA, 2012).

4.3 Satélites e seus sensores

As imagens do LANDSAT 5 (Figura 4) do sensor Thematic Mapper (TM) são compostas de sete bandas espectrais cujas características estão presentes na Tabela 2, na qual também estão incluídas a irradiância solar monocromática das bandas reflectivas (bandas 1 a 7), incidente sobre uma superfície normal à direção dos raios solares no topo da atmosfera terrestre, e a distância de uma Unidade Astronômica (UA) do Sol. (GIONGO et al., 2010).

O sensor TM (Tabela 3) mede a radiância espectral dos alvos e os armazena na forma de níveis de cinza ou intensidade do pixel ou, ainda, Número Digital (ND), cujos valores variam de 0 a 255 (8 bits) (GIONGO et al., 2010).

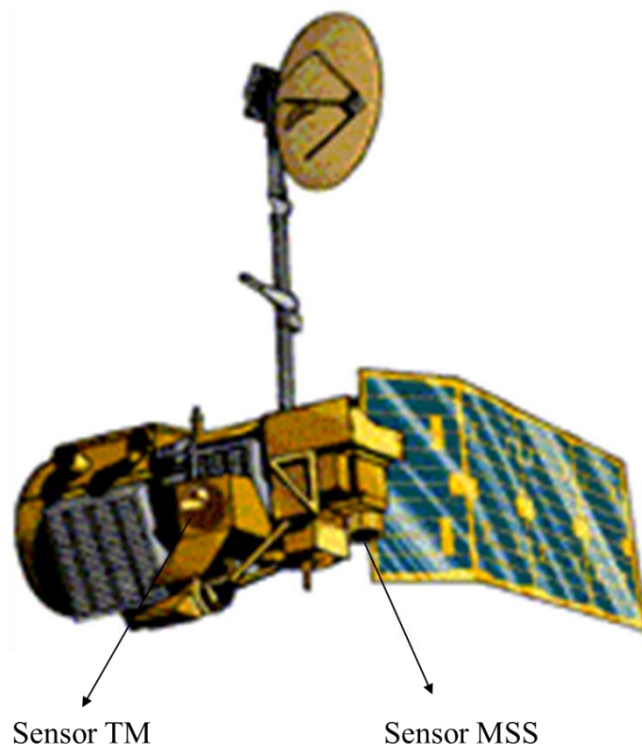


Figura 4. Satélite LANDSAT 5 e seus sensores Thematic Mapper (TM) e Multispectral Scanner System (MSS).

Fonte: NASA (2017).

Tabela 2. Características dos satélites LANDSAT 5.

Satélite	Banda espectral	Comprimento de onda (μm)	Resolução espacial (m)
LANDSAT 5	Banda 1 – Azul	0,45 – 0,52	30
	Banda 2 – Verde	0,52 – 0,60	
	Banda 3 – Vermelho	0,63 – 0,69	
	Banda 4 – Infravermelho próximo	0,76 – 0,90	
	Banda 5 – Infravermelho médio	1,55 – 1,75	
	Banda 7 – Infravermelho médio	2,08 – 2,35	
	Banda 6 – Infravermelho termal	10,40 – 12,50	80

Fonte. LIU (2006).

Tabela 3. Informações sobre os sensores encontrados no satélite LANDSAT 5.

LANDSAT 5	
Sensor	Características
Thematic Mapper (TM)	Possui 7 bandas, cada uma representando uma faixa do espectro eletromagnético. Projetado para dar suporte às pesquisas nas mais diversas áreas temáticas, especializado em recursos naturais.
Multispectral Scanner System (MSS)	Composto de um espelho oscilante, uma parte óptica e um sistema detector, que registra a radiação eletromagnética refletida pelos alvos da superfície terrestre, em quatro faixas ou bandas espectrais. Para cada faixa espectral há 6 detectores, permitindo, assim, imagear 6 linhas no terreno ao mesmo tempo.

Fonte. EMBRAPA (2013); INPE (2017b).

O satélite LANDSAT 8 (Figura 5) foi lançado pela NASA em 11 de fevereiro de 2013, operando a uma altitude de 705 km, numa órbita heliosíncrona com inclinação de 98,2°. O satélite possui o sensor Operational Land Imager (OLI) com nove bandas espectrais e o sensor Thermal Infrared Sensor (TIRS) (Tabela 4 e 5) (Figura 6), com duas bandas espectrais no

infravermelho termal, bandas 10 (10.6 - 11.19 μm e 11.5 - 12.51 μm), com resolução espacial de 100 m (PIRES & FERREIRA JR, 2015).

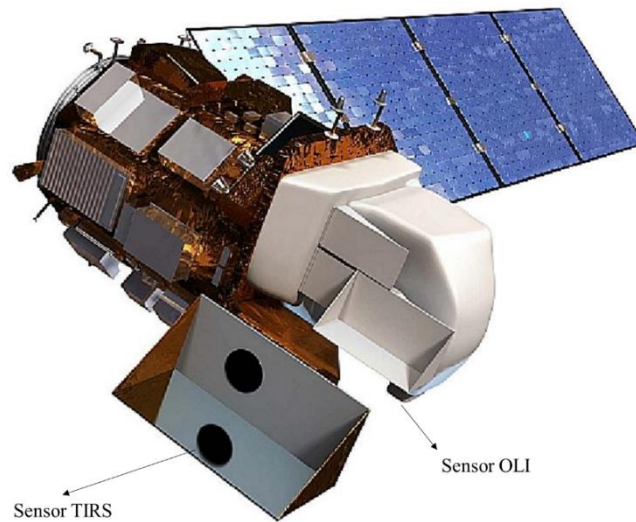


Figura 5. Vista da nave espacial LDCM implementada mostrando as portas de calibração dos instrumentos TIRS e OLI do satélite LANDSAT 8.

Fonte: NASA (2017).

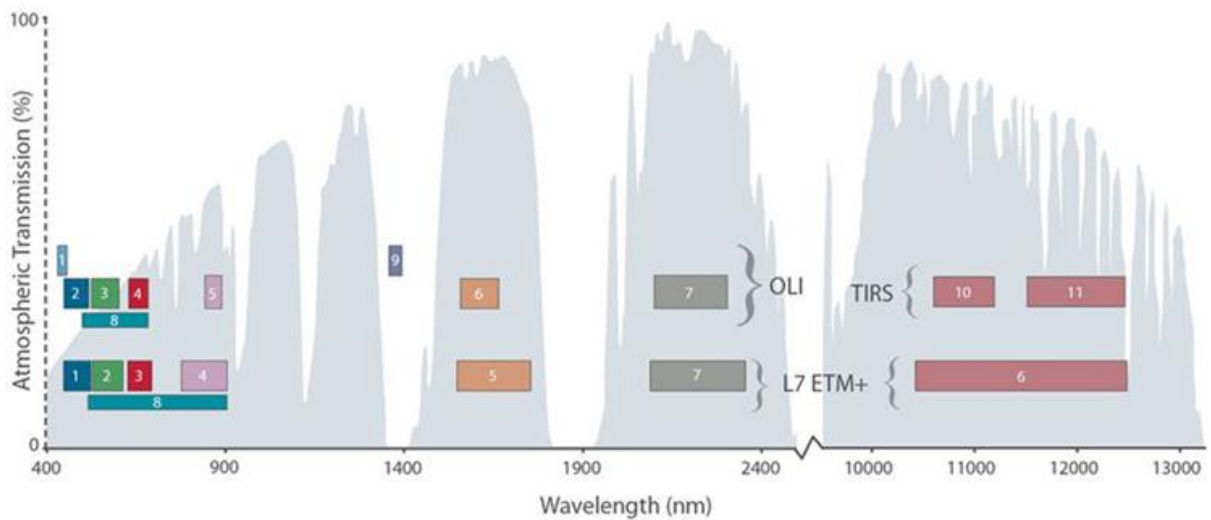


Figura 6. Comprimentos de onda do LANDSAT 8 (posição superior) em relação ao LANDSAT 7 (posição inferior).

Fonte. ENGESAT (2017).

Tabela 4. Características dos satélites LANDSAT 8.

Satélite	Banda espectral	Comprimento de onda (μm)	Resolução espacial (m)
LANDSAT 8	Banda 1 – Coastal aerossol	0,43 – 0,45	30
	Banda 2 –Azul	0,45 – 0,51	
	Banda 3 – Verde	0,53 – 0,59	
	Banda 4 – Vermelho	0,64 – 0,67	
	Banda 5 – Infravermelho próximo	0,85 – 0,88	
	Banda 6 – SWIR 1	1,57 – 1,65	15
	Banda 7 – SWIR 2	2,11 – 2,29	
	Banda 8 – Pancromatico	0,50 – 0,68	
	Banda 9 – Cirrus	1,36 – 1,38	30
	Banda 10 – Infravermelho termal 1	10,60 – 11,19	100
	Banda 11 – Infravermelho termal 2	11,50 – 12,51	

Fonte. MORAES (2014).

Tabela 5. Informações sobre os sensores encontrados no satélite LANDSAT 8.

LANDSAT 8	
Sensor	Características
Operacional Land Imager (OLI)	Possui nove bandas espectrais (Bandas 1 a 9) utilizadas para coleta de dados na faixa do visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas, além da banda pancromática.
Thermal InfraRed Sensor (TIRS)	Ele gera dados em duas bandas termais (bandas 10 e 11) que medem a temperatura da superfície terrestre a uma resolução de 100 metros, em comparação com uma única banda termal em satélites LANDSAT anteriores, é muito utilizado para monitorar o consumo de água, especialmente em regiões áridas.

Fonte. MORAES (2014).

4.4 Uso dos dados termais

Os sensores termais são câmeras que registram dados de uma banda espectral bem específica do Infravermelho, a banda espectral “Infravermelho Termal”. Essa banda consegue registrar radiações emitidas pela superfície dos objetos capturados (ou seja, calor emitido pelos objetos) (BELTRÃO, 2017).

As informações sobre a temperatura superficial podem ser obtidas por sensoriamento remoto, tendo em vista que o calor interno de um alvo é convertido em energia radiante e para a maioria dos alvos existe uma alta correlação positiva entre a temperatura cinética verdadeira do alvo e o fluxo radiante proveniente dos mesmos (PIRES & FERREIRA JR, 2015).

Em plantas estressadas, por exemplo, há um decréscimo na absorção pela clorofila, diminuindo também a reflectância no infravermelho devido a mudanças na estrutura celular da planta, o que resulta no aumento na reflectância no vermelho (AYALA-SILA & BEY, 2005).

As principais atividades dessa tecnologia segundo Beltrão (2017) para a Agricultura de precisão são descritas abaixo:

1. **Inspeção de controle sementes:** Com a aquisição de dados termais, pode-se analisar modificações sutis na temperatura das sementes, permitindo classificar e separar as sementes viáveis, ou seja, que germinam, das que não tem o mesmo resultado.
2. **Análises de irrigação da planta:** A irrigação é um processo muito importante em áreas com pouca quantidade de chuva ao ano ou com solo menos nutritivo.
3. **Detecção de salinidade do solo:** A alta taxa de sal no solo provoca degradação ambiental que impede o crescimento da colheita.
4. **Detecção de pragas e doenças nas plantas:** Durante a infestação de patógenos na planta, o estado fisiológico do tecido foliar é alterado, assim como ocorre alterações na fotossíntese, transpiração, acúmulo de Ácido Salicílico (AS), e em casos mais graves, causa a morte celular.
5. **Estimativa de rendimento da planta:** Um bom planejamento da colheita indica ao produtor sobre o potencial da sua plantação.

6. **Estimativa de maturidade da planta:** A capacidade das plantas de realizar fotossíntese aumenta até atingir seu estágio máximo de idade, chamado de estágio de maturidade.
7. **Detecção de danos nas plantas:** Os danos como manchas e arranhões ocorridos na superfície da planta, surgem em sua grande maioria, durante o transporte e manuseio da plantação.
8. **Contagem de mudas e animais:** Dados termais também são utilizados para o monitoramento da colheita, sendo possível realizar contagem das plantas por talhão, identificar animais invasores na colheita, ou até mesmo realizar a contagem de um bando para Pecuária.

A variabilidade e a mudança climática causadas por processos naturais e antropogênicos devem afetar o processo produtivo e o modo de vida da humanidade, no século 21. As estimativas recentes de aumento de temperatura estão entre 1,8 e 3,6 °C, enquanto a concentração de CO₂ estimada em 720 ppm no período entre 2090 a 2099, segundo o Painel intergovernamental de Mudanças Climáticas (International Panel on Climate Change – IPCC) (MARIN & NASSIF, 2013).

Uma das vantagens do sensoriamento remoto termal é 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 (PIRES & FERREIRA JR, 2015).

4.5 Uso e ocupação do solo

As ações antrópicas têm gerado grandes impactos nas paisagens através do intenso processo de substituição das áreas naturais por diversos tipos de uso do solo e da fragmentação das áreas com cobertura florestal (COELHO et al., 2014).

O desenvolvimento econômico agrícola do Brasil, segundo Vanzela et al. (2010), tem sido, nas últimas décadas, caracterizado pelo uso intensivo dos recursos naturais sem o devido planejamento, aliado às características de solo e clima promoveu grandes perdas de solo por

erosão. Podendo também influenciar a disponibilidade e a qualidade dos recursos naturais, além de afetar a biodiversidade em grandes áreas do planeta (COELHO et al., 2014).

As consequências do uso descontrolado do solo está o carreamento de grandes quantidades de solo, matéria orgânica e insumos agrícolas para o leito dos cursos d'água no período chuvoso, contribuindo significativamente com o aumento da concentração de sólidos e nutrientes na água dos mananciais (VANZELA et al., 2010).

Devido ao caráter extremamente dinâmico, a identificação e classificação do uso do solo são fundamentais no conhecimento do ambiente, assim como no desenvolvimento de técnicas voltadas para a obtenção e manutenção dessas informações (VAEZAL et al., 2010).

4.6 Litoral de Pernambuco

4.6.1 Histórico

O Litoral pernambucano tem sido desde o início do processo de colonização do país, objeto permanente de interesse, numa faixa de 187 km de extensão existe uma grande variedade de formas de ocupação ainda entrecortadas por ambientes naturais de rara beleza, tal zona costeira tem sido alvo de grande procura, especialmente nos últimos 30 anos, com expressiva valorização urbana, (FIDEM, 2000; MANSO et al., 2006). A zona costeira, como um espaço de grande valor ambiental, exerce um importante papel socioeconômico na forma de enorme fonte de recursos (MANSO et al., 2006).

Os núcleos urbanos do Litoral Sul (LSul) pernambucano surgiram, principalmente, nos séculos XVI e XVII, tendo como origem uma das três formas de ocupação do solo (CPRH, 2003):

- a) Portos fluviais localizados em fundo de estuário que desempenharam importante papel no escoamento do açúcar produzido. A partir desses portos surgiam os municípios de Ipojuca, Sirinhaém, Rio Formoso e Barreiros;
- b) Edificação religiosa (capela, convento), erigida em sede de engenho e seguida da criação de paróquia, onde posteriormente daria origem ao município de Cabo de Santo Antônio.
- c) Fazenda de coco, vila de pescadores e porto litorâneo, aos quais se deu início aos atuais núcleos urbanos de São José da Coroa Grande, Barra do Sirinhaém e Tamandaré, respectivamente.

O Litoral de Pernambuco constitui um território de oportunidades decisivas para o desenvolvimento do Estado, essa possibilidade está atrelada à definição de propostas capazes de adicionar valor às potencialidades de um lugar, através da provisão de infraestrutura, informação e representações que realcem sua história e suas características culturais e ambientais (FIDEM, 2000; JANSEN & MAFRA, 2017).

É nesta área que se encontram os principais centros urbanos de negócios e atividades de porte metropolitano, de maior dinamismo. Nas demais áreas urbanas, ao longo do litoral, há uma forte participação e, muitas vezes, predomínio de residências de veraneio (FIDEM, 2000), mas com a continuação do desenvolvimento urbano, grandes áreas residenciais, industriais, comerciais e de lazer, foram gradativamente substituindo as pequenas áreas de assentamento de pescadores (MANSO et al., 2006).

4.6.2 Características

O litoral pernambucano representa o ponto de ligação das Florestas Orientais Brasileiras que vêm do sul, com as Florestas Equatoriais Brasileiras, vindas da Amazônia, dividindo-se em três subzonas: mata úmida, mata seca e matas serranas (LIMA, 2007).

É uma região pertencente à zona da mata, onde a maior parte desta área era referida como "região canavieira" sendo uma das regiões de maior potencial econômico do Nordeste, devido aos seus recursos naturais disponíveis, também pelas vantagens locacionais, estando próximo a Região Metropolitana do Recife, com razoável infraestrutura econômica (estradas, portos marítimos, aeroportos) e abundante contingente de mão-de-obra (JANSEN & MAFRA, 2017).

4.6.3 Clima e vegetação

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é tropical chuvoso, de monção com verão seco e menos de 60 mm no mês mais seco, enquanto a precipitação anual total pode atingir 2.250 mm em média, o período mais chuvoso ocorre entre os meses de maio a julho (VIANA et al, 2009).

A vegetação original da microrregião era composta por florestas subperenifólias pertencentes ao bioma Mata Atlântica e áreas de mangue, entretanto, na Mata Sul há apenas

resíduos de mata secundária, em sua maioria, preservada como Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) (VIANA et al, 2009).

Inicialmente a floresta tropical da Mata Atlântica ocupava toda a faixa costeira do estado, atualmente existem poucos remanescentes que indicam essa vegetação primária, ocorrendo em geral matas secundárias de extensão e estágios sucessionais diversos, distribuídos de forma esparsa por toda área.

Esses remanescentes localizam-se, via de regra, nos topos e encostas dos morros do Cristalino e de algumas colinas das formações dos municípios do Cabo e Ipojuca (CPRH, 2003).

A Mata Atlântica possui uma formação densa, alta, entre 20 a 30 m, rica em espécies e que cada vez mais perde lugar a cultura da cana-de-açúcar na zona úmida costeira. Esta formação pode ser encontrada nas regiões de tabuleiro com solos areno-argilosos, já profundamente devastada pelo homem (MANSO et al., 2006).

4.7 A cultura da cana-de-açúcar

No Brasil, a cana-de-açúcar possui grande importância, visto que a espécie é cultivada em mais de cinco milhões de hectares para a produção especialmente de açúcar e álcool, sendo o país o maior produtor de açúcar e etanol da cultura no mundo. (CONAB, 2017).

Direta e indiretamente ligada à economia canavieira, a evolução dos núcleos urbanos do litoral sul pernambucano reflete a dinâmica dessa atividade, resultando sobre as povoações de fundo de estuário, como foi o caso dos municípios de Ipojuca, Sirinhaém, Rio Formoso e Barreiros, cujo dinamismo esteve anteriormente associado ao movimento dos portos fluviais (CPRH, 2003).

A cana-de-açúcar se desenvolve formando touceiras, onde a parte aérea é composta por colmos (caule típico das gramíneas, rico em reservas nutritivas, provido de nós e entrenós), folhas, inflorescência tipo panícula e frutos do tipo cariopse; a parte subterrânea, por sua vez, é formada por raízes e rizomas (Figura 7) (SILVA & SILVA, 2012).

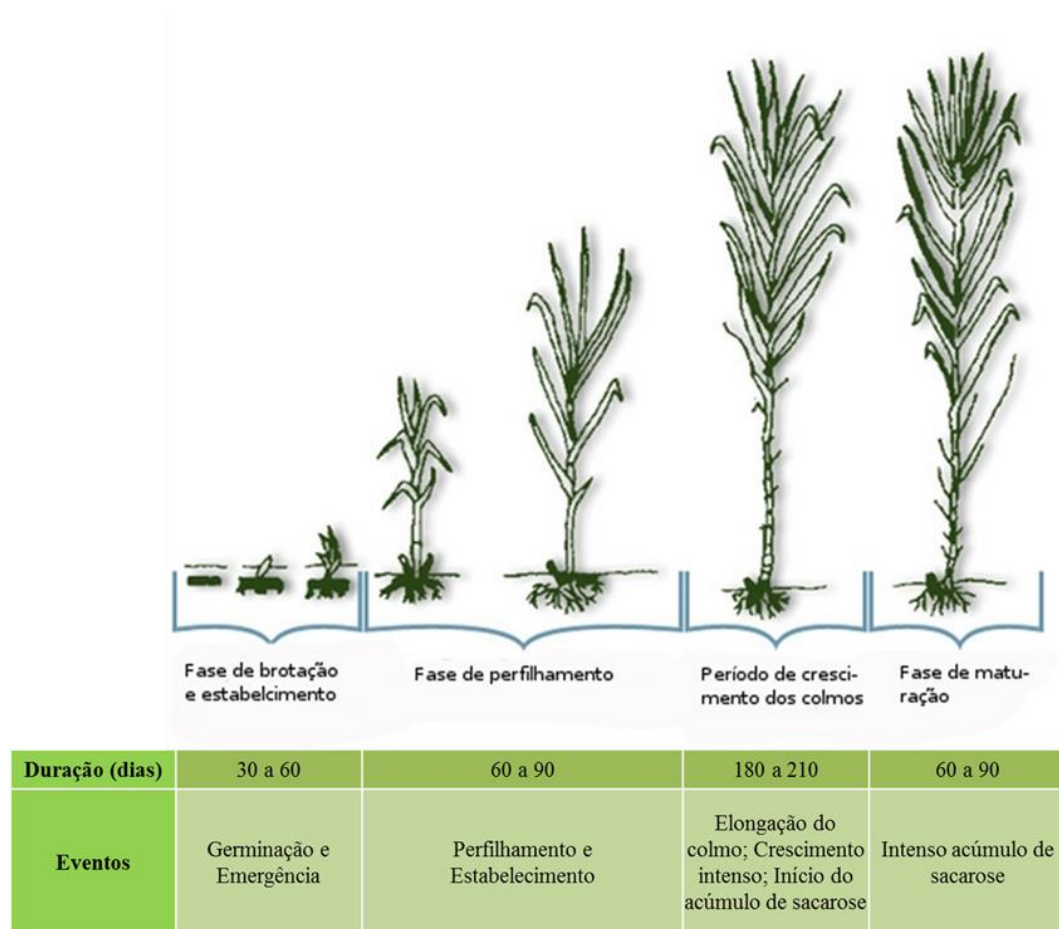


Figura 7. Fases do desenvolvimento da cana-de-açúcar.

Fonte. GASCHO; SHIH (1983).

As variações climáticas ocorrentes no Brasil possibilitam duas épocas de colheita anual, de modo que apesar da sua grande adaptação às condições climáticas, a cana-de-açúcar apresenta melhores condições quando ocorrem períodos quentes e úmidos, junto à elevada radiação solar durante a fase de crescimento (brotação e, seguido por um período seco, ensolarado e mais frio durante as fases de maturação e colheita (Tabela 6) (CORREIA et al., 2014).

Tabela 6. Comparativo de área, produtividade e produção da cana-de-açúcar na região Nordeste.

Região/ UF	Área (em mil ha)			Produtividade (Kg/ha)			Produção (mil ton)		
	Safra 2016/17	Safra 2017/18	VAR %	Safra 2016/17	Safra 2017/18	VAR %	Safra 2016/17	Safra 2017/18	VAR %
NE	866,5	881,5	1,7	47822,0	52,0	8,7	41437,7	45833,8	10,6
MA	39,4	38,9	1,2	46723,0	53866,0	15,3	1842,3	2097,5	13,9
PI	15,2	15,6	2,9	50099,0	62108,0	24,0	760,5	970,7	29,6
CE	1,4	0,8	41,6	54015,0	50000,0	7,4	74,0	40,0	45,9
RN	48,4	58,4	20,6	40804,0	48208,0	18,1	1974,9	2814,4	42,5
PB	110,3	124,4	12,8	44014,0	47221,0	7,3	4865,1	5874,7	21,0
PE	243,7	259,5	6,5	48530,0	52771,0	8,7	11825,8	13693,5	15,8
AL	322,2	301,7	6,4	49754,0	51500,0	3,5	16030,6	15538,0	3,1
SE	45,9	42,8	6,6	37203,0	39658,0	6,6	1706,5	1698,9	0,4
BA	40,0	39,3	1,8	59131,0	78993,0	33,6	2367,0	3106,0	31,2

Fonte. CONAB (2017).

O acompanhamento das culturas agrícolas, entre elas a cana-de-açúcar, ao longo de sua estação de crescimento, possibilita a estimativa da produtividade antes da colheita, podendo ser realizada com o uso de modelos agronômicos, onde os dados de sensoriamento remoto têm grande potencial para a obtenção de diversas variáveis de entrada (SUGAWARA et al., 2009).

4.8 Sensoriamento remoto aplicado a cana-de-açúcar

O levantamento da área plantada com cana-de-açúcar, por meio da sua identificação e mapeamento em imagens de satélite permite obter mapas temáticos com a distribuição espacial da cultura de forma rápida e confiável (Figura 8) (RUDORF & SUGAWARA, 2007).

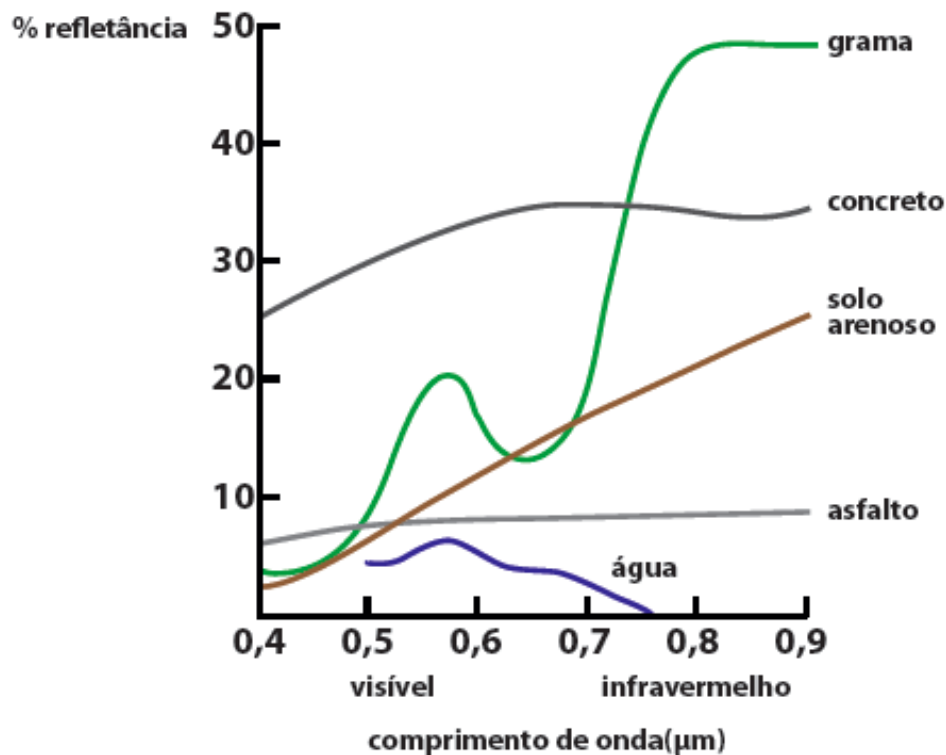


Figura 8. Curvas espectrais em função da energia refletida (%) e do comprimento de ondas (µm).

Fonte. UNIVERSIA ENEM (2018); MATHEUS (2013).

Alguns aspectos apontam que as imagens de sensoriamento remoto possuem características favoráveis para monitorar o tipo de colheita da cana-de-açúcar (com e sem o uso do fogo). O satélite LANDSAT 5, por exemplo, tem a bordo o sensor Thematic Mapper (TM) que obtém imagens que recobrem sistematicamente o território brasileiro a cada 16 dias, e vale salientar que áreas colhidas com e sem queima apresentam significativa diferença na resposta espectral nessas imagens (AGUIAR et al., 2009).

De acordo com Brito et al (2015) e Sugawara et al (2009) um excelente exemplo de aplicação do sensoriamento remoto na agricultura, é o sistema CANASAT que utiliza imagens obtidas pelos satélites LANDSAT, CBERS e Resourcesat-1, para auxiliar na detecção dos conflitos de uso da terra em áreas antes produtoras de grãos e pecuária, além de disponibilizar dados elaborados das áreas plantadas de cana-de-açúcar por municípios em toda região centro-sul do Brasil.

Segundo o trabalho apresentado por Aguiar et al. (2009), que objetivou avaliar a área de cana colhida com e sem queima em todo o Estado de São Paulo, utilizando as imagens disponíveis do sensor TM a bordo do satélite LANDSAT 5. Ele concluiu que o conhecimento do modo de colheita da cana é primordial para a fiscalização das diretivas técnicas do protocolo agroambiental (Figuras 9 e 10).

O período de crescimento vegetativo mais intenso ocorre entre os meses de outubro e março, quando a cultura tem alta demanda por água, radiação e temperatura, a partir de abril, o crescimento vegetativo passa a ser reduzido, quando deve ocorrer o acúmulo de sacarose nos colmos, é neste período que se inicia o período de colheita que geralmente vai até outubro (RUDORF & SUGAWARA, 2007).

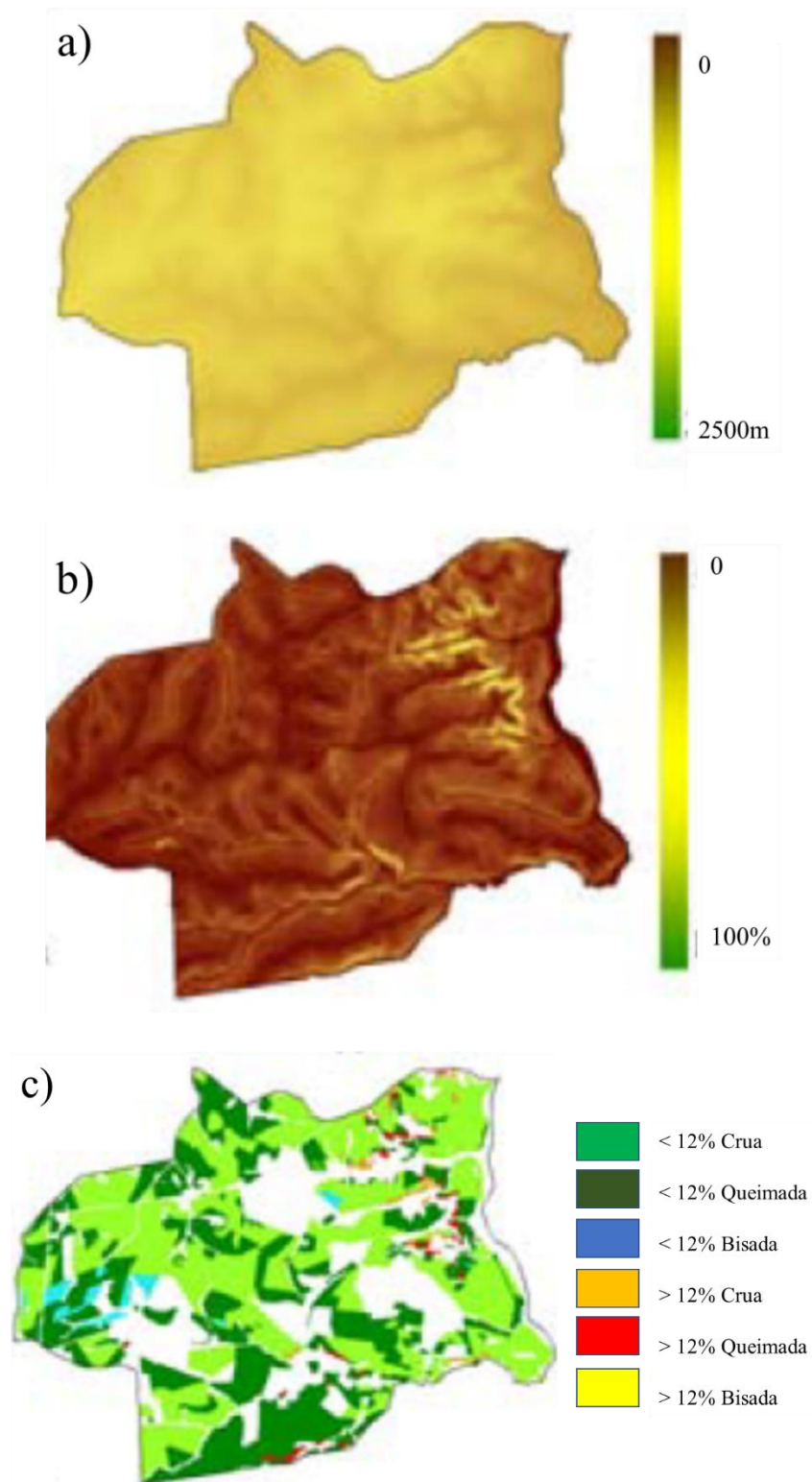


Figura 9. Mapas de altimetria (a); de declividade (b) e dos modos de colheita da cana por classe de declividade para o município de Guariba - SP (c) obtidos pelo uso de imagens do satélite LANDSAT 5.

Fonte. AGUIAR et al. (2009).

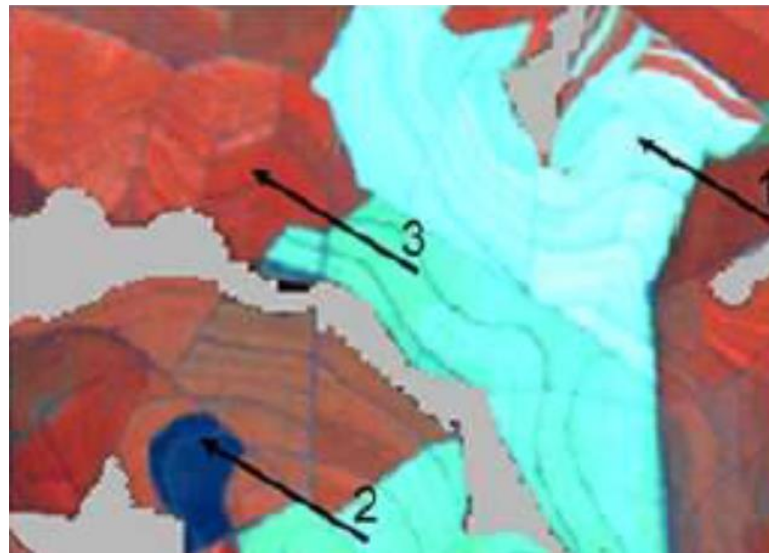
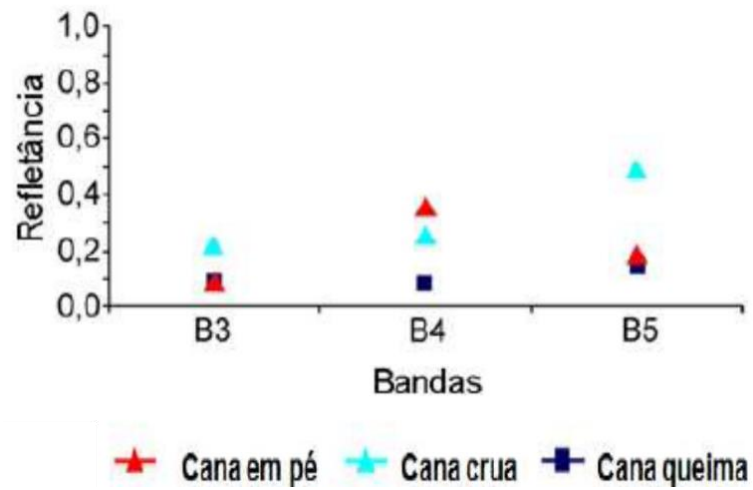


Figura 10. Resposta espectral da cana colhida sem uso do fogo (1), com uso do fogo (2) e cana em pé (3) em imagem do satélite LANDSAT 5, sensor TM do dia 01 de junho de 2006, órbita/ponto 220/74 na composição colorida 453 em RGB.

Fonte. AGUIAR et al. (2010).

4.9 Índice de Área Foliar

A preocupação com o meio ambiente vem tomando uma nova importância desde meados do século XX, quando o homem passou a lançar um novo olhar sobre sua relação com o ambiente (ROSEIRO & TAKAYANAGUI, 2004).

Quanto ao desrespeito ao meio ambiente, segundo é apresentado pelo REPORTER BRASIL (2008), há impactos consideráveis por intermédio da redução da vegetação nativa do Cerrado, da Caatinga e da Mata Atlântica, e o problema está chegando também às áreas de mangue.

O Índice de Área Foliar – IAF (m^2/m^2) é a relação funcional existente entre a área foliar e a área do terreno ocupada pela cultura (FAVARIN et al., 2002). Sendo um indicador da biomassa de cada pixel da imagem (BORATTO E GOMIDE, 2013).

O IAF é um subproduto do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) variável essa que serve de indicador sensível da quantidade e condição da vegetação, cujos valores variam no intervalo de -1 a 1. Nas superfícies que contêm água ou nuvens, esta variação é sempre menor do que 0 (BORATTO E GOMIDE, 2013).

A superfície foliar de uma planta é a base do rendimento potencial da cultura, onde o conhecimento da área foliar da planta também permite a estimativa da perda de água, uma vez que as folhas são os principais órgãos que participam no processo transpiratório, responsável pela troca gasosa com o ambiente (FAVARIN et al., 2002).

A eficiência fotossintética depende da taxa fotossintética por unidade de área foliar e da interceptação da radiação solar, as quais, entre outros aspectos, são influenciadas pelas características da arquitetura da copa e da dimensão do sistema fotoassimilador (FAVARIN et al., 2002).

O IAF também está diretamente relacionado com a produtividade e a evapotranspiração de ecossistemas florestais. Para estimar tais variáveis, pesquisadores têm desenvolvido modelos de interface floresta-solo-atmosfera nos quais o IAF é a principal variável descritora do dossel vegetal (XAVIER et al., 2002).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Elaboração da pesquisa

O estudo foi elaborado no Laboratório de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto (GEOSERE) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), onde foram selecionadas duas imagens dos satélites LANDSAT 5 (LS 5) e LANDSAT 8 (LS 8) tendo como área de estudo o Litoral Sul (LSul) pernambucano. Buscou-se identificar cenas com menores coberturas por nuvens, aos quais foram as imagens dos dias 26 de agosto de 2006 no LS 5 e 21 de março de 2017 pelo LS 8.

As cenas foram importadas para o Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING), que é um software utilizado na elaboração de Sistema de Informações Geográficas (SIG) no estado da arte com funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a bancos de dados espaciais (INPE, 2017a), disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) por meio da sua Divisão de Processamento de Imagens (DPI).

Após a importação as imagens sofreram um recorte da área de pesquisa, para facilitar o manuseio dos dados, pois as cenas apresentavam alta cobertura de nuvens, fator este que dificulta a identificação de áreas específicas dentro das cenas em questão, dificultando o estudo de toda a extensão dos municípios.

A localidade do estudo abrangeu a região costeira dos municípios de Cabo de Santo Agostinho; Ipojuca; Sirinhaém; Rio Formoso; Tamandaré; Barreiros e São José da Coroa Grande, essa área foi delimitada até a passagem da PE-60 que corta as cidades em estudo (Figura 11).

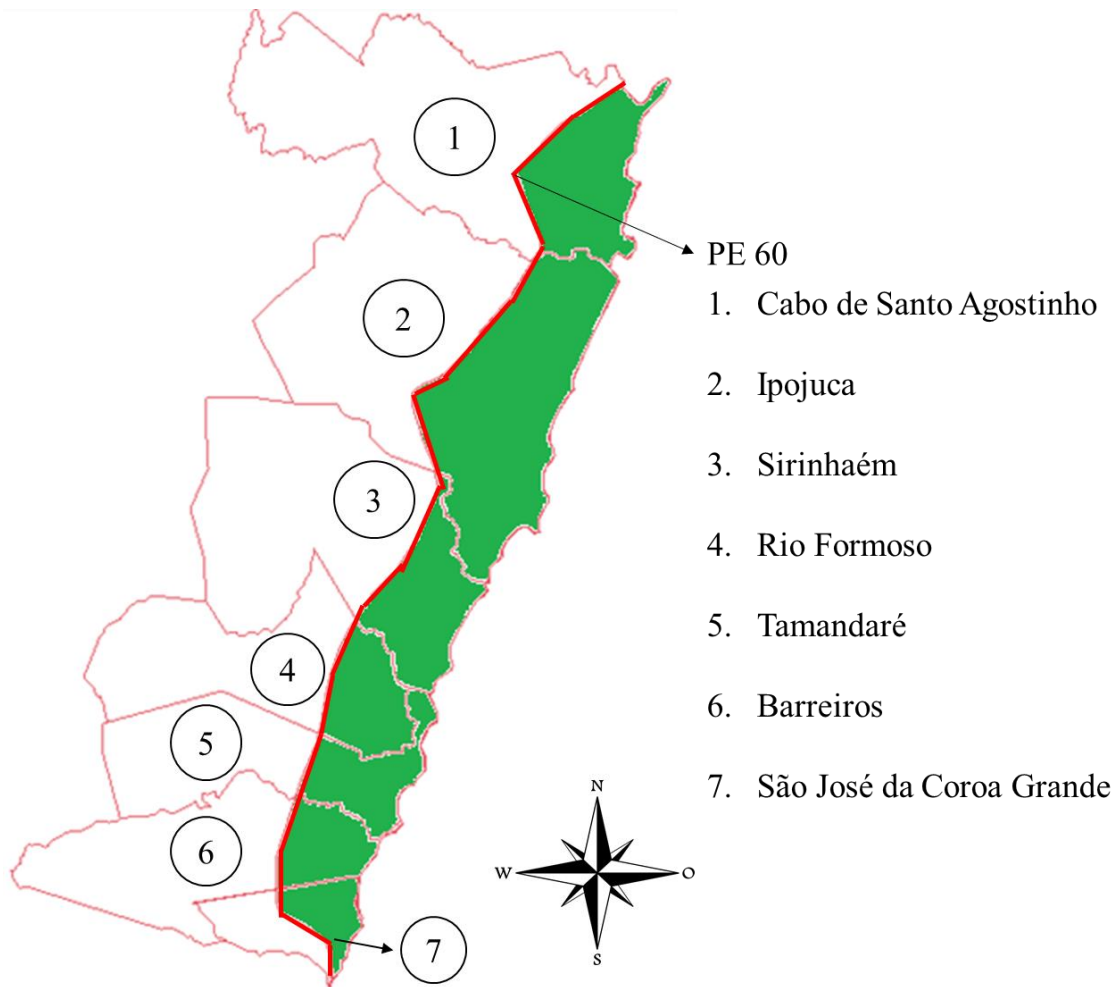


Figura 11. Municípios integrantes do Litoral Sul (LSul) de Pernambuco, onde a região em verde corresponde a área de estudo delimitada pela PE-60.

5.2 Classificação supervisionada das imagens

Após a delimitação da área de estudo, realizou-se a classificação supervisionada tanto para o LS 5 quanto o LS 8, onde foram demarcadas no SPRING as áreas correspondentes aos grupos, tomando como base a composição colorida das bandas 3, 4 e 5 assumindo as cores vermelha, azul e verde, respectivamente (Figura 12). Segundo Vaezal et al. (2010), o desenvolvimento de um sistema para classificar dados sobre o uso da terra, obtidos a partir da utilização de técnicas de sensoriamento remoto, tem sido muito discutido. O tipo e a quantidade de informações sobre o uso da terra dependem da resolução espacial, radiométrica, espectral e temporal dos diferentes sistemas sensores utilizados.

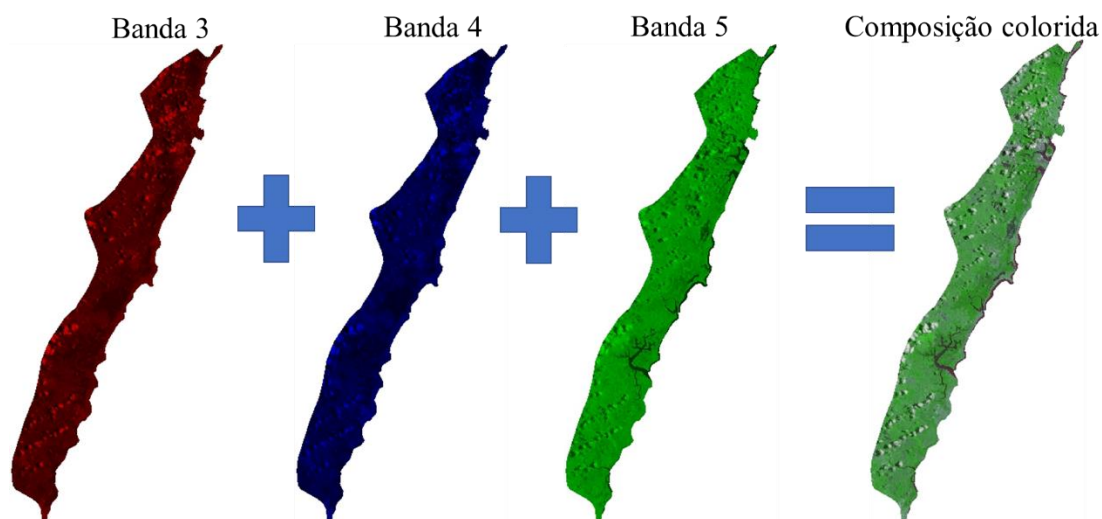


Figura 12. Somatório das bandas 3 (vermelho), 4 (azul) e 5 (verde) resultando em uma composição colorida para a cena do Litoral Sul (LSul) de Pernambuco.

As classes atribuídas para as imagens foram:

- 1) Corpos d' Água (CA);
- 2) Área urbana (AU);
- 3) Agricultura (AT);
- 4) Vegetação Nativa (VN);
- 5) Nuvens (NV);
- 6) Sombreamento (SB).

A distinção das classes Agricultura (AT) e Vegetação Nativa (VN) foi perceptível pelas texturas distintas que ambas apresentavam, pois diferentes tipos de vegetação esboçam resposta espectral únicas.

A classe Sombreamento (SB) foi criada devido a ocorrência da mistura de pixels resultante da classificação, onde ocorria equívoco quanto a determinação do território abrangente da Área urbana (AU).

O processo de classificação se deu segundo o algoritmo de Máxima Verossimilhança (MaxVer), também encontrado como *Maximum-Likelihood* (SCHOWENGERDT, 1983), tem se mostrado eficiente em vários casos de classificação de imagens por método de padrão de reconhecimento espectral.

A classificação MaxVer, segundo Liu (2006), é como um procedimento que envolve estimativas de valores médios de cada classe e da matriz de covariância de acordo com o padrão das amostras de treinamento para classificar a imagem.

O software determinou o valor do pixel, atribuindo suas características para determinar a qual classe pertence. Após este procedimento inicial, o algoritmo de máxima verossimilhança vai analisar o contexto espacial em que este pixel está inserido, ou seja, seus vizinhos.

A fim de melhorar o produto dessa classificação, o SPRING possibilita a realização da pós classificação onde substitui classes incoerentes nas imagens, por exemplo, onde deveria ser uma área de Vegetação Nativa (VN), encontra-se a de Área Urbana (AU), então a pós classificação realiza essa correção elaborando uma nova imagem no SPRING.

Ainda nessa etapa, foi possível realizar a determinação da área ocupada por cada classe em ambas as imagens de 2006 e de 2017, onde pode-se avaliar com maior clareza o uso e ocupação do solo do LSul de Pernambuco.

5.3 Índice de Área Foliar

Como movimento inicial para a determinação do IAF, calculou-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para as cenas. Esse NDVI é um parâmetro utilizado principalmente em pesquisas de cunho ambiental, pois permite análises sobre a cobertura vegetal de determinada região em diversas escalas, também reduz o efeito topográfico e apresenta uma escala de medida linear entre -1 e 1 (MORAES, 2014). A determinação da imagem em NDVI se deu pela equação sugerida por Rouse (1973) e Moraes (2014):

$$NDVI = \frac{(NRI - R)}{(NRI + R)} \quad \text{Equação 1}$$

Equação 1. Determinação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), onde: NRI: é a banda do Infravermelho próximo (banda 4 para o LANDSAT 5 e banda 5 para o LANDSAT 8).

R: é a banda do espectro vermelho (banda 3 para o LANDSAT 5 e banda 4 para o LANDSAT 8).

Em continuidade a pesquisa, procedeu-se a determinação da Fração de Cobertura Vegetal (FCV) das imagens por meio da metodologia de Rizzi; Rudorff (2007), utilizando-se da equação 2. Trata-se de um importante parâmetro de vegetação tradicionalmente estimado através de dados de sensoriamento remoto usando relações empíricas com índices de vegetação, entre eles, o NDVI (CHAVES et al., 2013).

$$FCV = 1 - \left(\frac{NDVI_{max} - NDVI}{NDVI_{Dif}} \right)^{0,6} \quad \text{Equação 2}$$

Na Equação 2. Determinação da Fração de Cobertura Vegetal (FCV) em %, onde:

FCV: Fração de Cobertura Vegetal.

NDVI_{max}: Maior valor obtido da imagem em NDVI.

NDVI_{dif}: Amplitude entre o maior e o menor valor de NDVI, obtida anteriormente pelos satélites LANDSAT 5 e LANDSAT 8.

A partir do FCV foi então possível determinar o Índice de Área Foliar (IAF), como é apresentada na equação 3, sugerida por Sugawara et al. (2009). O IAF pode ser definido como sendo a razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área do terreno utilizada por essa vegetação, ou seja, é o número de camadas de folha que ocupam um metro quadrado de área de terreno.

A avaliação do IAF é de suma importância para descrever algumas características estruturais do dossel das plantas, esse índice, como por exemplo, no setor agropastoril viabiliza algumas tomadas de decisão em relação ao manejo adequado da pastagem (PEREIRA & PEDREIRA, 2016).

$$IAF = -2 \times \log(1 - FCV) \quad \text{Equação 3}$$

Equação 3. Determinação do Índice de Área Foliar (IAF) em m²/m², onde:

IAF: Índice de Área Foliar.

FCV: é a Fração de Cobertura Vegetal obtida anteriormente pelas imagens em NDVI dos satélites LANDSAT 5 e LANDSAT 8.

Vale ressaltar que o conhecimento da variação do IAF ao longo do ciclo de uma cultura agrícola permite avaliar a capacidade ou a velocidade com que a parte aérea do vegetal (área foliar) ocupa a área do solo disponível àquele vegetal (SUGAWARA et al., 2009).

E que o tamanho da área mínima capaz de ser descrita como pertencente a uma determinada classe de uso da terra depende da escala e resolução dos dados originais, além da escala de compilação e da escala final de apresentação (VAEZAL et al., 2010).

Tomando como base os resultados obtidos pelas classificações das imagens do LS 5 e LS 8, foram selecionados pontos amostrais para as classes Corpos d'água (CA), Área urbana (AU), Agricultura (AT) e Vegetação nativa (VN) a fim de obter valores referentes ao IAF, servindo também como base para avaliação do uso e ocupação do solo.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Classificação supervisionada

O produto dos recortes das áreas estudadas nos SPRING tanto para a imagem de 2006 (Figura 13) quanto para 2017 (Figura 14) também podem ser indicadas como um produto resultante da pesquisa, através dessas novas cenas deu-se início a obtenção dos resultados específicos da pesquisa, iniciando-se pela classificação supervisionada.

Baseando-se apenas na visualização das cenas classificadas, é possível observar maior presença da Área Urbana e da Agricultura (AT) em 2006 (Figura 15), enquanto que em 2017 (Figura 16), é perceptível a expansão dos centros urbanos, principalmente na região mais ao norte da imagem. Tal comportamento das cenas era esperado, visto que o censo realizado pelo IBGE apresenta o crescimento populacional das áreas de estudo no período de 2010 e sua estimativa em 2017, cujo aumento médio foi de 10,41 % (IBGE, 2017), ou seja, o crescimento urbano percebido nas cenas condiz com os resultados do censo 2010.

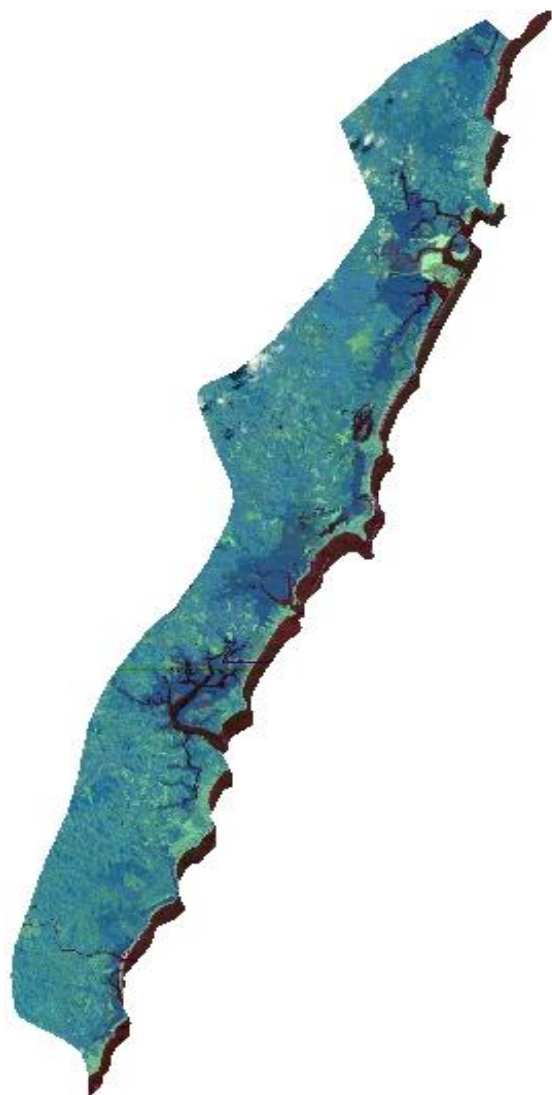


Figura 13. Composição colorida das bandas 3 (vermelho), 4 (azul) e 5 (verde) para a Zona da Mata Sul de Pernambuco para o dia 26 de agosto de 2006.



Figura 14. Composição colorida das bandas 3 (vermelho), 4 (azul) e 5 (verde) para a Zona da Mata Sul de Pernambuco para o dia 21 de março de 2017.

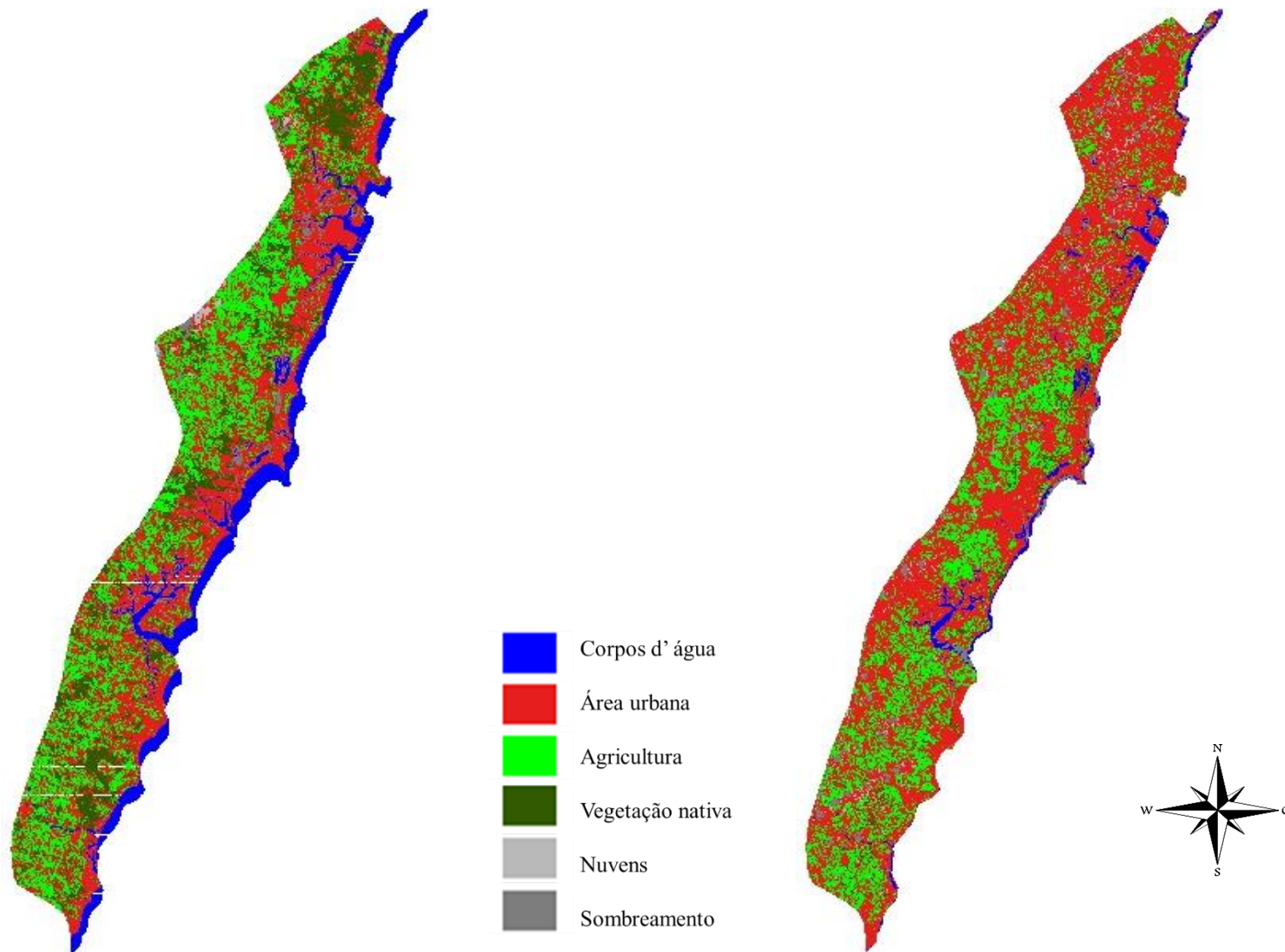


Figura 15. Classificação supervisionada do Litoral Sul (LSul) de Pernambuco para o dia 26 de agosto de 2006, elaborada a partir da imagem do satélite LANDSAT 5.

Figura 16. Classificação supervisionada do Litoral Sul (LSul) de Pernambuco para o dia 21 de março de 2017, elaborada a partir da imagem do satélite LANDSAT 8.

6.1.1 Corpos d' Água

A ocupação do solo referente a classe Corpos d' Água (CA) expressou uma diminuição de **73,93 %**, devido a ação antrópica, provocando a redução dos recursos naturais, como é afirmado por Moraes (2014), aliado ao crescimento da população, como foi constatado nas informações do censo do IBGE em 2010 (IBGE, 2017) e conseqüentemente às altas taxas de consumo de água (LOPES et al., 2014).

Vale constar que o impacto decorrente da alteração do uso do solo, segundo Vaezal et al. (2010), reflete-se em todos os componentes do ciclo hidrológico, como no escoamento superficial, na recarga dos aquíferos e na qualidade da água.

Com relação a esse resultado para CA também se deve as datas das cenas, onde a do LS 5 foi a data de 26 de agosto 2006, período de chuvas na região, enquanto na do LS 8 do dia 21 de março de 2017 encontra-se na estação do verão, com menores índices pluviométricos.

Outro elemento que pode provocar alterações quanto a reflectância da água seria devido a concentração e das características em função da presença de determinados constituintes, principalmente sedimentos suspensos e dissolvidos, fitoplanctons e matéria orgânica (HELLWEGGER, 2004).

6.1.2 Área Urbana

Para a Área urbana (AU) houve a expansão desta classe em 51,64 %, quanto a área ocupada no LSul de Pernambuco (Tabela 7), sendo a única classe de interesse a esboçar crescimento entre o período estudado. Entre os fatores que influenciam nesse resultado deve-se ao crescimento populacional ocorrido não somente nos municípios estudados, mas como em todo o estado de Pernambuco (IBGE, 2017).

Outro elemento a ser considerado é o sombreamento em decorrência da presença de nuvens, provocando a mistura ocorrente entre esta classe e a de Sombreamento (SB). O SPRING, como já foi mencionado anteriormente, determinou o valor do pixel e avaliou suas características para então apontar a sua classe, com base na distribuição da mesma.

Segundo Liu (2006), a classificação MaxVer é procedimento que engloba estimativas de valores médios de cada classe e da matriz de covariância de acordo com o padrão das

amostras de treinamento para classificar a imagem, o que para este caso, os valores médios para AU e SB foram muito semelhantes, o que ocasionou essa mistura de informações nas imagens.

6.1.3 Agricultura

A Agricultura (AT) sofreu redução em relação ao uso do solo, sendo esta baixa de 5,89 % (Tabela 7). De acordo com BORGES et al. (2014), a perda de áreas agrícolas tem como principal consequência o aumento da impermeabilização do solo e a diminuição da produção de alimentos. Outro motivo deve-se às mudanças climáticas decorrentes do aquecimento global, gerando aumento das temperaturas, assim como mudanças no regime de chuvas (CANAL RURAL, 2014). Tais áreas tornam-se posteriormente regiões de concentração urbana proveniente do crescimento populacional.

6.1.4 Vegetação Nativa

A Vegetação Nativa (VN), assim como a Agricultura também apresentou redução em sua ocupação no LSul pernambucano, na cena do LS 5, sua extensão era de 105.646 Km², enquanto no LS 8 foi de 14.097 Km² (Tabela 7), ou seja, uma redução de 86,66 % das áreas verdes naturais.

A fisiologia da vegetação presente no Litoral Sul (LSul), de acordo com Liu (2006) apresenta fatores que afetam a sua refletância espectral, entre elas tem-se:

- a) Maturidade da folha;
- b) Presença de pigmentos;
- c) Folhas danificadas;
- d) Folhas a pleno sol ou na sombra;
- e) Folhas pilosas;
- f) Conteúdo de água;
- g) Salinidade;
- h) Nutrientes.

Tais características exercem influência nestes resultados, dependendo de como a vegetação está organizada e seu estado fitossanitário apresentarão uma resposta diferente

quanto a captura de informações pelo sensor do satélite. Essas características também podem ser atribuídas à Agricultura (AT), onde há maior enfoque na cultura da cana-de-açúcar.

Vale ressaltar que a redução das classes CA, AT e VN em sua ocupação na área de estudo e o aumento da AU entre 2006 e 2017 corrobora com os dados apresentados pelo censo 2010 do IBGE (IBGE, 2017).

Outra questão importante referente a diminuição do espaço significa que os centros urbanos estão ocupando áreas que antes pertenciam as demais classes estudadas, principalmente a Vegetação Nativa (VN), pois como foi visto anteriormente, sofreu maior redução de área. Além do fato de que há o fator de mistura entre a Área Urbana (AU) e o Sombreamento (SB).

Tabela 7. Área ocupada em Km² para as classes Corpos d' Água (CA); Área Urbana (AU); Agricultura (AT); Vegetação Nativa (VN); Nuvens (NV); Sombreamento (SB) no Litoral Sul (Lsul) de Pernambuco em função das imagens obtidas pelos satélites LANDSAT 5 e LANDSAT 8.

Classes	Área (km ²)		Diferença (%)
	2006 (LS 5)	2017 (LS 8)	
Corpos d'Água	81.851	21.337	73,93
Área Urbana	277.539	420.874	-51,64*
Agricultura	180.999	170.342	5,89
Vegetação Nativa	105.646	14.097	86,66
Nuvens	3.256	15.716	
Sombreamento	20.320	29.440	
Área total das classes	669.611	671.806	
Área total não classificada	2.007.950	2.005.755	
Área total do Plano de Informação	2.677.561	2.677.561	

*Números negativos indicam crescimento da classe entre o período estudado.

6.2 Índice de Área Foliar

Os valores dessa variável foram consideravelmente baixos, como pode ser observado na figura 17, referente a imagem do LS 5, cujo maior índice foi de 5,88 m^2/m^2 , enquanto a obtida pelo LS 8 foi de 9,04 m^2/m^2 (Figura 18). A variação do IAF calculado por meio de relações matemáticas é dependente dos diversos fatores que influenciam a resposta espectral, inclusive para a cultura de cana-de-açúcar, tais como o estado fitossanitário, tratamentos culturais e condições meteorológicas (SUGAWARA et al., 2009).

A imagem do LS 8 possui maior amplitude (9,04 m^2/m^2) em comparação a do LS 5 (5,88 m^2/m^2). Entretanto, as médias de IAF em 2017 foram menores em relação aos 2006. Também pode-se constatar que há maior frequência de valores na faixa de 2,52 a 4,20 m^2/m^2 na primeira cena, enquanto na segunda vai de 0 a 3,87 m^2/m^2 .

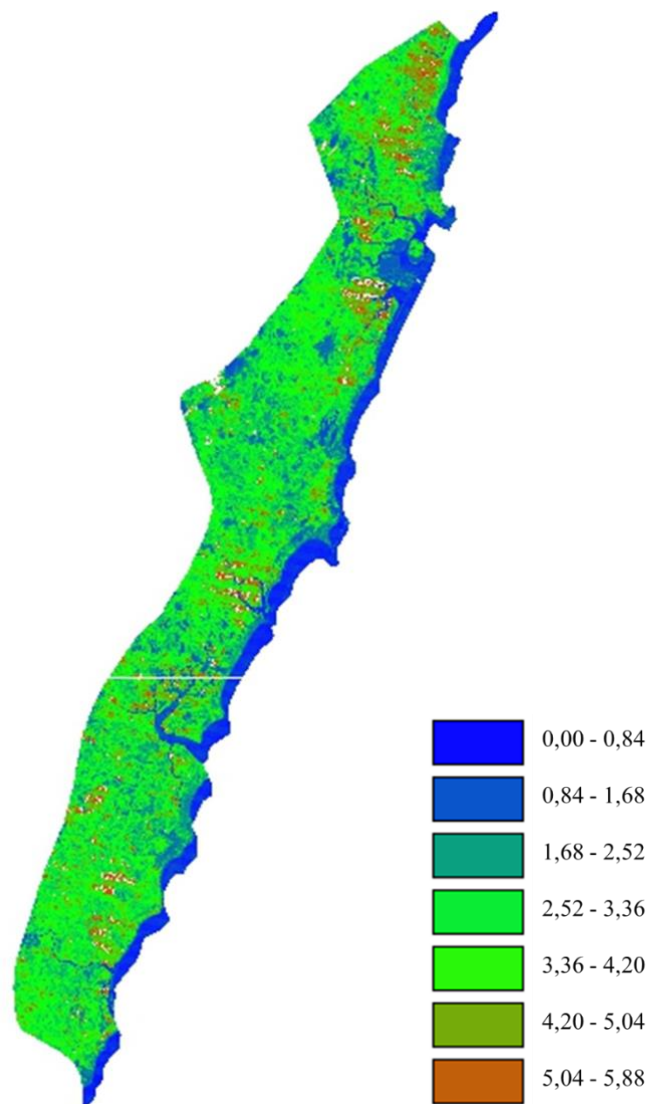


Figura 17. Índice de Área Foliar (IAF) do Litoral Sul (LSul) de Pernambuco para o dia 26 de agosto de 2006, elaborada a partir da imagem do satélite LANDSAT 5.

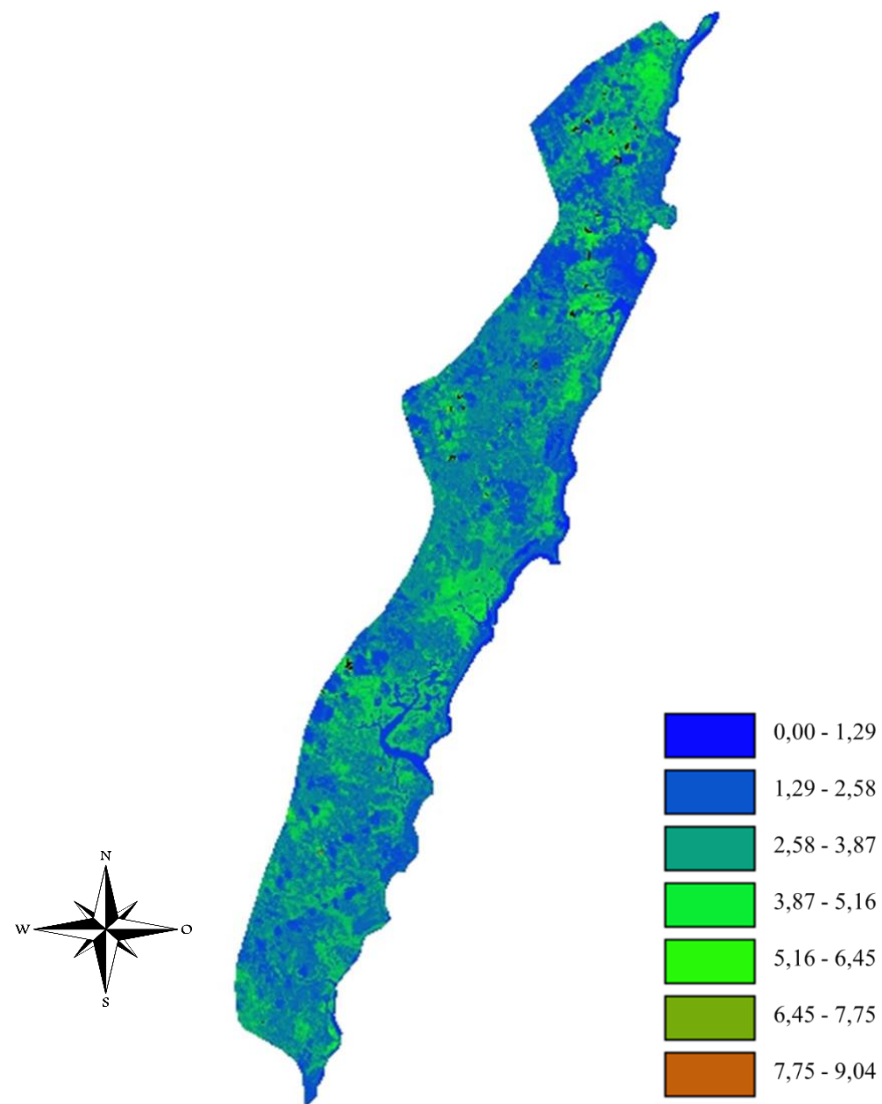


Figura 18. Índice de Área Foliar (IAF) do Litoral Sul (LSul) de Pernambuco para o dia 21 de março de 2017, elaborada a partir da imagem do satélite LANDSAT 8.

6.3 Classificação supervisionada x IAF

A partir do momento em que se obtiveram as cenas com os dados referentes ao IAF, em adição as da classificação supervisionada, construiu-se uma tabela com pontos amostrais referentes a cada classe de interesse de modo a identificar o comportamento da cobertura vegetal.

Na imagem de 2006, a classe que apresentou maior média de IAF foi a Vegetação Nativa (VN), com $3,39 \text{ m}^2/\text{m}^2$ (Tabela 8). Entretanto, teve maior queda ao observar a média em 2017 ($1,62 \text{ m}^2/\text{m}^2$). Na cena do LS 8 a Agricultura expressou maior média ($2,09 \text{ m}^2/\text{m}^2$).

Esse comportamento já era esperado visto que o IAF é um parâmetro biofísico que pode ser utilizado como medida de crescimento das plantas, principalmente nos modelos agrônômicos (SUGAWARA et al., 2009).

Vale ressaltar que o IAF varia com os estágios de desenvolvimento da cultura, dessa forma, a imagem não representa todo o ciclo do desenvolvimento vegetativo, mas uma data específica.

Outra consideração que deve ser esclarecida se deve a classe Corpos d' Água apresentar dados de IAF. Apesar de não comportar vegetação como as classes AT e VN, a CA apresenta plantas aquáticas, além do fato do cálculo do IAF não é recomendado para tal classe, mas ainda assim o SPRING realiza o cálculo para toda a região da imagem, tanto para 2006 quanto para 2017.

O que é efetivamente medido por um sensor remotamente situado, oriundo de determinada vegetação, não pode ser explicado tão somente pelas características intrínsecas dessa vegetação, inclui-se a interferência de vários outros parâmetros e fatores tais como: a fonte de radiação, o espalhamento atmosférico, as características tanto das folhas quanto do dossel, os teores de umidade do solo, a interferência da reflectância do solo, e sombreamento (BORATTO E GOMIDE, 2013).

A partir dos resultados da Tabela 8, foi possível construir o gráfico comparativo das médias de IAF para as duas datas estudadas (Figura 19), de modo que ao cruzar as informações obtidas pela classificação e os pontos amostrais de IAF, pode-se constatar a redução desse índice para todas as classes.

Tabela 8. Valores de IAF em m^2/m^2 obtidos a partir de pontos delimitados pelas classes Corpos d'água (CA), Área urbana (AU), Agricultura (AT), e Vegetação nativa (VN).

Classe	Ponto	IAF			
		Valor da grade		Coordenadas	
		2006 (LS 5)	2017 (LS 8)	LON	LAT
Corpos d'Água	CA 1	1,02	0,83	-35°06'44,23"	-8°40'29,34"
	CA 2	0,93	0,83	-35°06'29,44"	-8°39'25,24"
	CA 3	0,83	0,83	-35°06'48,78"	-8°40'28,92"
	CA 4	0,61	0,61	-34°57'29,50"	-8°22'19,39"
	CA 5	0,96	0,78	-34°58'2,66"	-8°22'42,49"
	CA 6	1,14	0,62	-34°57'44,68"	-8°22'0,88"
	CA 7	0,61	0,57	-34°57'36,70"	-8°22'21,50"
	Média	0,93	0,78	---	---
Área Urbana	AU 1	0,92	0,98	-34°58'25,26"	-8°22'8,13"
	AU 2	0,46	1,31	-34°58'19,99"	-8°23'56,22"
	AU 3	1,66	0,99	-35°06'29,83"	-8°44'58,79"
	AU 4	1,78	1,28	-35°07'12,66"	-8°41'12,01"
	AU 5	1,65	1,59	-34°57'16,57"	-8°17'54,43"
	AU 6	1,92	1,70	-34°57'34,62"	-8°18'42,46"
	AU 7	1,93	1,59	-35°06'51,45"	-8°41'0,41"
	Média	1,66	1,31	---	---
Agricultura	AT 1	2,84	2,15	-35°10'51,39"	-8°46'39,37"
	AT 2	2,90	2,09	-35°10'14,17"	-8°47'20,41"
	AT 3	2,51	1,99	-35°10'7,83"	-8°51'52,54"
	AT 4	2,71	1,91	-35°03'35,14"	-8°28'27,42"
	AT 5	2,51	2,13	-35°03'40,50"	-8°28'43,82"
	AT 6	2,56	2,27	-35°10'51,01"	-8°51'26,59"
	AT 7	3,65	1,74	-35°10'3,01"	-8°51'42,97"
	Média	2,71	2,09	---	---
Vegetação Nativa	VN 1	2,98	1,62	-35°08'58,28"	-8°48'34,23"
	VN 2	4,27	1,50	-35°08'48,92"	-8°48'57,51"
	VN 3	4,27	1,50	-35°09'1,49"	-8°48'48,70"
	VN 4	3,17	2,92	-35°03'20,65"	-8°34'1,80"
	VN 5	3,39	3,19	-35°03'45,59"	-8°34'31,38"
	VN 6	4,01	1,61	-35°07'56,98"	-8°48'26,24"
	VN 7	3,39	1,69	-35°08'38,44"	-8°48'3,90"
	Média	3,39	1,62	---	---

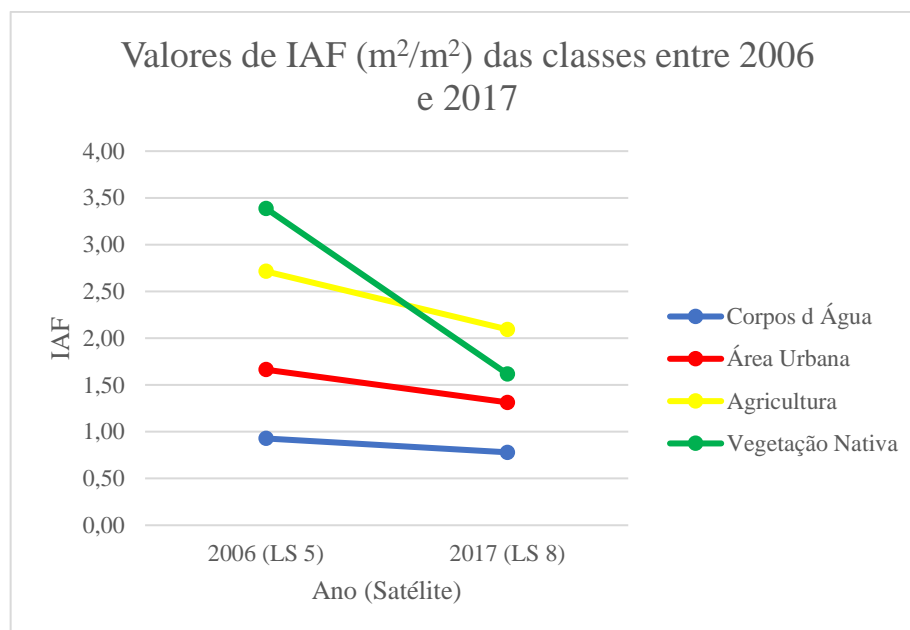


Figura 19. Índice de Área Foliar – IAF (m²/m²) para as médias dos pontos observados para as classes entre os anos de 2006 e 2017.

É importante destacar que o comportamento das classes estudadas na figura 19 representa as médias obtidas pelo cálculo de IAF em relação à cada uma delas, ou seja, os valores encontrados de IAF na classe CA, AU, AT e VN. Dessa forma não interpretar como uso e ocupação do solo.

Tal comportamento do gráfico em relação a VN corrobora com as informações apresentadas pela CPTNE (2017) onde é dito que Pernambuco é o oitavo Estado no ranking nacional de destruição da mata atlântica, entre as 17 unidades da Federação que possuem o bioma. Entre 2008 e 2010, perdeu 253 hectares, o que corresponde a 12,68% da área remanescente, em relação ao período de 2005 e 2008.

Entre os anos de 2015 e 2016, Segundo Costa (2017), o estado perdeu 16 hectares de cobertura florestal nesse período, ou seja, uma área equivalente a 16 campos de futebol. E ressalta-se que a região onde estão inseridos os municípios tem suas atividades econômicas baseadas na agricultura e na pecuária, onde plantio de monoculturas e o desmatamento para a implantação de pastos propiciam a abertura de clareiras em meio às florestas, contribuindo para o processo de desertificação.

Logo, é compreensível que as médias de IAF sofram decaimento ao longo do período de estudo, principalmente no tocante a classe VN, que sofreu maior queda em comparação às demais classes.

As médias de IAF para as imagens do LS 5 e LS 8 apresentaram uma correlação de 65 % (Figura 20). Esse resultado pode ser devido a aparência da cobertura vegetal em determinado produto de sensoriamento remoto, ou seja, utilizando sensores diferentes provenientes dos satélites LS 5 e LS8, é fruto de um processo complexo que envolve muitos parâmetros e fatores ambientais, entre eles o mais presente é a interferência provocada pelas nuvens encontradas nas cenas de estudo, principalmente na imagem do LS 8.

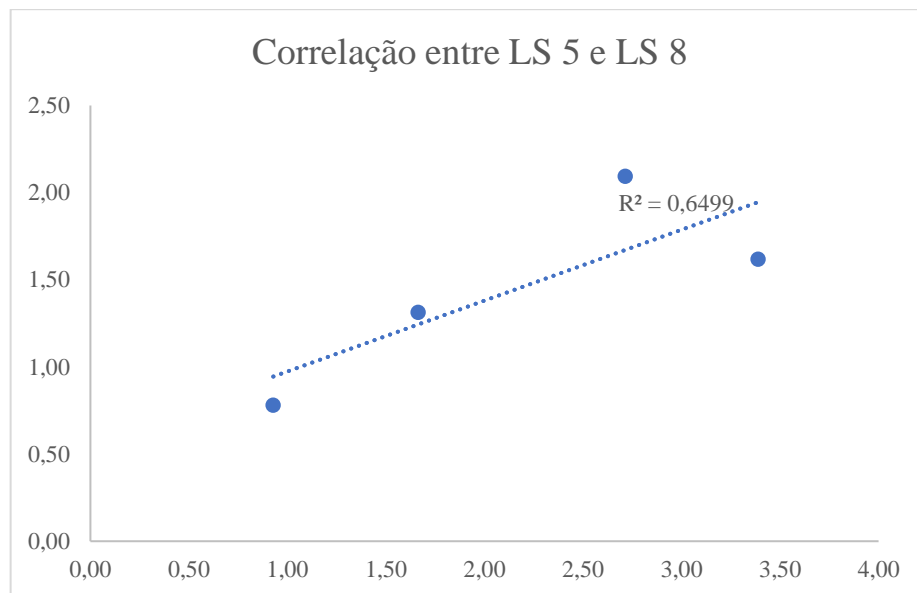


Figura 20. Correlação entre as médias do Índice de Área Foliar (IAF) em função das classes estudadas a partir das imagens do LANDSAT 5 (LS 5) e LANDSAT 8 (LS 8).

7 CONCLUSÕES

A maior faixa de ocupação no litoral sul pernambucano é voltado para os centros urbanos, isso se aplica tanto para 2006 quanto 2017, região está que teve elevado crescimento. As demais classes apresentaram redução de suas áreas.

A cena do LS 8 expressou maior amplitude para o IAF, mas as médias foram mais elevadas na imagem do LS 5, de modo que todas as classes de interesse (CA, AU, AT e VN) apresentaram redução desse índice de 2006 a 2017.

A classe Vegetação Nativa possui maiores médias de IAF para 2006, já em 2017 a Agricultura assume essa posição. Os valores de IAF, aliada à sua diminuição entre os anos de 2006 a 2017 comprovam que há baixa cobertura vegetal no litoral sul de Pernambuco.

Mesmo com a elevada cobertura de nuvens nas duas datas de aquisição consideradas, foi possível obter resultados satisfatórios de NDVI, FCV e IAF para a delimitada.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, A.D.; RUDORFF, B.F.T.; ADAMI, M.; SHIMABUKURO, Y.E. Imagens de sensoriamento remoto no monitoramento da colheita da cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, vol.29, no.3, p.440-451. 2009.

AGUIAR, D.A.; RUDORFF, B.F.T.; SILVA, W.F. Monitoramento do modo de colheita da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo - Brasil por meio de imagens de sensores orbitais em dois anos-safra. **Revista SELPER**, v.30, p.34-43. 2010.

AYALA-SILVA, T.; BEY, C.A. Changes in spectral reflectance of wheath leaves in response to specific macronutrient deficiency. **Advances in Space Research**, Elmsford, v.35, p.305-317. 2005.

BELTRÃO, S.R.B. **Sensores Termiais: Quais são as possíveis aplicações para a Agricultura de Precisão?** 2017 Disponível em: <https://www.xd4solutions.com.br/single-post/2017/04/10/Sensores-Termiais-Quais-s%C3%A3o-as-poss%C3%ADveis-aplica%C3%A7%C3%B5es-para-%C3%A0-Agricultura-de-Precis%C3%A3o> Acesso em: 30.04.2017.

BORATTO, I.M.P.; GOMIDE, R.L. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais. **XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Foz do Iguaçu, PR, 2013.

BORGES, A.L.; LONGO, R.M.; ANEFALOS, L.C. Avaliação da diminuição de áreas agrícolas no município de Paulínia/SP – Bairro Betel. **5º Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, Belo Horizonte, MG. 2014. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2014/VI-052.pdf> Acesso em: 08.07.2017.

BRITO, G.H.M.; PEREIRA, R.M.; REIS, E.F.; MACEDO, M.A. Determinação da área cultivada com cana-de-açúcar na microrregião de Ceres (GO) através de imagens LANDSAT TM. **Revista científica**, v.2, n.1. 2015.

CANAL RURAL. **Estudos indicam redução de área de cultivo agrícola no país devido a mudanças climáticas.** 2014. Disponível em: <http://www.canalrural.com.br/noticias/agricultura/estudos-indicam-reducao-area-cultivo-agricola-pais-devido-mudancas-climaticas-27031> Acesso em 08.07.2017.

CHAVES, M.E.D.; LÁZARO, A.S.; NASSAUR, O.A.C; CONCEIÇÃO, F.G. Estimativa da Fração de Cobertura Vegetal para o ano de 2010 em Minas Gerais a partir do NDVI gerado pelos sensores MODIS e VEGETATION-2. **XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto** - SBSR, Foz do Iguaçu, PR. 2013. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p1658.pdf> Acesso em: 07.07.2017.

COELHO, V.H.R.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; ALMEIDA, C.N.; LIMA, E.R.V.; NETO, A.R.; MOURA, G.S.S. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.18, n.1, p.64-72. 2014. Disponível em: <http://www.agriambi.com.br/revista/v18n01/v18n01a09.pdf> Acesso em: 18.07.2017.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira – Cana-de-açúcar.** Brasília, DF: CONAB, v.4, n.1, 2017. 62p.

CORREIA, C.B.G.; AZEVEDO, H.M.; NETO, J.D.; CARVALHO, C.M.; SILVA, L.L.; FEITOSA, S.O. Cana-de-açúcar: parâmetros tecnológicos em função de diferentes lâminas de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, CE, v. 8, n. 1, p. 26-37. 2014.

CORRÊA, R. L. **Região e organização espacial.** Editora Ática, São Paulo, 2000. 51p.

COSTA, P. **Atlas aponta desmatamentos na Mata Atlântica em Pernambuco.** Folha PE, 2017. Disponível em <https://www.folhape.com.br/noticias/noticias/cotidiano/2017/12/18/NWS,52504,70,449,NOTICIAS,2190-ATLAS-APONTA-DESMATAMENTOS-MATA-ATLANTICA-PERNAMBUCO.aspx> Acesso em 05.04.2018.

CPRH – AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. **Diagnóstico Socioambiental do Litoral Sul de Pernambuco**. Recife, CPRH, 2003. 87p.

CPTNE – Comissão Pastoral da Terra Nordeste II. **Pernambuco é um dos estados que mais desmata a Mata Atlântica**. 2011. Disponível em: <<https://cptne2.org.br/index.php/publicacoes/noticias/noticias/55-pe/2868-pernambuco-e-um-dos-estados-que-mais-desmata-a-mata-atlantica.html>> Acesso em 05.04.2018.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **LANDSAT - Land Remote Sensing Satellite**. EMBRAPA, 2013. Disponível em: <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_LANDSAT.html> Acesso em 10.04.2017.

ENGESAT. **LANSAT 8**. Disponível em: <http://www.engesat.com.br/imagem-de-satelite/landsat-8/> Acesso em: 02.05.2017.

FAVARIN, J.L.; NETO, D.D.; GARCIA, A.G.; NOVA, N.A.V.; FAVARIN, M.G.G.V. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.6, p.769-773, 2002.

FIDEM - FUNDAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO MUNICIPAL. **Litoral de Pernambuco: Um estudo propositivo**. Recife, FIDEM, 2000, 76p.

GAMARRA, N.L.R.; CORRÊA, M.P.; TARGINO, A.C.L. Utilização de sensoriamento remoto em análises de albedo e temperatura de superfície em londrina – PR: contribuições para estudos de ilha de calor urbana. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.29, n.4, p.537-550. 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v29n4/07.pdf>> Acesso em: 07.07.2017.

GASCHO, G. J.; SHIH, S. F. Sugarcane. In: TEARE, I. D.; PEET, M. M. (Ed.). **Crop-water relations**. New York: Wiley-Interscience, 1983. p. 445-479.

GIONGO, P.R.; MOURA, G.B.A.; SILVA, B.B.; 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**, Campina Grande, PB, v.14, n.3, p.279–287, 2010.

HELLWEGER, F.L. et al. Use of satellite imagery for water quality studies in New York Harbor. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v.61, p437-448, 2004.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA e ESTATÍSTICA. **Cidades Pernambuco**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=&coduf=26&search=pernambuco> Acesso em 07.11.2017.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **O que é o SPRING**. 2017a. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/index.html> Acesso em: 07.07.2017.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Características dos satélites LANDSAT 1,2 e 3**. 2017b. Disponível em: http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/Cameras-LANDSAT123_PT.php Acesso em: 14.07.2017.

JANSEN, W & Rivaldo MAFRA, R. **A zona da mata de Pernambuco**. Âncora. 2017. Disponível em: http://www.ancora.org.br/textos/011_jansen-mafra.html Acesso em: 13.04.2017.

LIMA, D.A. Estudos fitogeográficos de Pernambuco. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**. v.4, p.243-274. 2007. Disponível em <http://www.ead.codai.ufrpe.br/index.php/apca/article/view/47/44> Acesso em 13.04.2017.

LIU, W.T.H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Oficina de Textos, Campo Grande, MS, 2006. 908p. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=YNEtCQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false> Acesso em 16.07.2017.

LOPES, F.B.; BARBOSA, C.C.F.; NOVO, E.M.L.; ANDRADE, E.M.; CHAVES, L.C.G. Modelagem da qualidade das águas a partir de sensoriamento remoto hiperespectral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.18, p.13-19, 2014.

MANSO, V.A.; COUTINHO, P.N.; GUERRA, N.C.; JUNIOR, C.F.A.S. **Erosão e progradação do litoral brasileiro – Pernambuco**. UFPE, 2006. 196p. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_sigercom/_arquivos/pe_erosao.pdf Acesso em: 21.07.2017.

MATHEUS, R.B. **Como funciona e para que serve o sensoriamento remoto?** Parque da ciência, 2013. Disponível em: <http://parquedaciencia.blogspot.com.br/2013/07/como-funciona-e-para-que-serve-o.html>> Acesso em: 08.04.2017.

MARÍN, D. **Calendário espacial 2014**. 2014. Disponível em: <http://danielmarin.naukas.com/2014/01/02/calendario-espacial-2014/> Acesso em 08.04.2017.

MARIN, F.; NASSIF, D.S.P. Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: Fisiologia, conjuntura e cenário futuro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.2, p.232–239. 2013.

MATSUOKA, S.; GARCIA, A. A. F.; ARIZONO, H. Melhoramento da cana-de-açúcar. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2005 p. 205-251.

MEDAUAR, O. **Coletânea de Legislação Ambiental – Constituição Federal**. Revista dos Tribunais, São Paulo, SP, 2015. 1199p.

MENESES, P.R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. UnB, Brasília, 2012. 276p. Disponível em: <http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8> Acesso em: 14.07.2017.

MORAES, A.S.A.M.F. **Utilização de imagens LANDSAT – 8 para caracterização da cobertura vegetal. 2014.** Disponível em: <http://mundogeo.com/blog/2014/06/10/processamento-digital-de-imagens-landsat-8-para-obtencao-dos-indices-de-vegetacao-ndvi-e-savi-visando-a-caracterizacao-da-cobertura-vegetal-no-municipio-de-nova-lima-mg/> Acesso em: 07.07.2017.

MORAES, A.C.R. **Contribuições para a gestão da zona costeira do Brasil: elementos para uma geografia do litoral brasileiro.** Annablume, São Paulo, 2007. 232p.

NASA – NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **LANDSAT-8 / LDCM (LANDSAT Data Continuity Mission).** Disponível em: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/1/LANDSAT-8-ldcm> Acesso em: 12.04.2017.

NOVO, E.M.L.M. Monitoramento de quantidade e qualidade da água e sensoriamento remoto. **XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2007.

PEREIRA, D.H.; PEDREIRA, B.C. Recuperação de pastagens. **2º Simpósio de Pecuária Integrada**, Cuiabá, MT. 2016.

PICOLI, M.C.A.; RUDORFF, B.F.T.; RIZZI, R.; GIAROLLA, A. Índice de vegetação do sensor MODIS na estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.3, p.789-795. 2009.

PIRES, E.G.; FERREIRA JR, L.G. Mapeamento da temperatura de superfície a partir de imagens termais dos satélites LANDSAT 7 e LANDSAT 8. **XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa-PB, 25 a 29 de abril de 2015.

PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E.; KUPLICH, T.M. **Sensoriamento remoto da vegetação.** 2ª Edição. Oficina de Textos, São Paulo, 2015. 176p. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=pEHGCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT4&dq=sensoriamento+remoto+temperatura&ots=PubsU_eFj-

[&sig=lAc5bDm2 lsUtoX9fetiahAK0lg#v=onepage&q=sensoriamento%20remoto%20temperatura&f=false](#) > Acesso em: 07.07.2017.

REPORTER BRASIL. **O Brasil dos Agrocombustíveis – Cana 2008: Impactos das lavouras sobre a terra, o meio e a sociedade.**v.3. Centro de monitoramento de agrocombustíveis, 2008. 58p.

REZENDE, M.; ROSENDO, J.S. Análise da evolução da ocupação do uso da terra no município de Ituiutaba-mg utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. **Horizonte Científico**, v.3, n.1. 2009. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/horizontecientifico/article/view/4361/3209> Acesso em: 08.04.2017.

RIZZI, R.; RUDORFF, B.F.T. Imagens do sensor MODIS associadas a um modelo para estimar a produtividade de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.73-80. 2007.

ROBINSON, I.S. **Measuring the oceans from space: the principles and methods of satellite oceanography**. Springer. 2004. 670p.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. **Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS**. In Earth Resources Technology Satellite- 1 Symposium,3, 1973. Proceedings. Washington, 1973, v.1, Sec. A, p.309-317.

ROSEIRO, M.N.V.; TAKAYANAGUI, A.M.M. Meio ambiente e poluição atmosférica: o caso da cana-de-açúcar. **Revista Saúde**, v.30, p. 76-83, 2004

RUDORFF, B.F.T.; SUGAWARA, L.M. Mapeamento da cana-de-açúcar na região Centro-Sul via imagens de satélite. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.28, n.241, p.79-86, 2007. Disponível em http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/artigos/Informe_agropecuário.pdf Acesso em: 08.04.2017.

SCHOWENGERDT, Robert A. **Techniques for image processing and classification in remote sensing**. New York: Academic Press, 1983. 180p.

SILVA, J.P.N.; SILVA, M.R.N. **Noções da cultura da cana-de-açúcar**. Inhumas, GO: IFGO, 2012, 105p.

SINDA – SISTEMA INTEGRADO DE DADOS. **O que é uma PCD?** Ambientais. Disponível em: <<http://sinda.crn2.inpe.br/PCD/SITE/novo/site/index.php> Acesso em: 08.04.2017.

SOS MATA ATLÂNTICA. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica período 2014-2015**. Fundação SOS Mata Atlântica/ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. 2016, 70p. Disponível em: http://mapas.sosma.org.br/site_media/download/atlas_2014-2015_relatorio_tecnico_2016.pdf Acesso em: 11.04.2017.

SOUZA, L.M.M.; SOUZA, A.L.F.; AMARAL, G.M.; PIFFER, T.R.O. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao mapeamento das lavouras de cana de açúcar das províncias de Tucumán Salta e Jujuy na Argentina. **XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, p.354-361. 2011. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0756.pdf> Acesso em: 11.04.2017.

STEFFEN, C.A. **Introdução ao sensoriamento remoto**. INPE. Disponível em: <http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm> Acesso em 08.04.2017.

SUGAWARA L.M.; ADAMI, M.; RUDORFF, B.F.T.; FARIA, V.G.C. Avaliação de três métodos de estimativa de índice de área foliar aplicados à cana-de-açúcar. **XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, RN, p.409-506. 2009.

UNIVERSIA ENEM. Disponível em: <http://www.universiaenem.com.br/sistema/faces/pagina/publica/conteudo/atividade.xhtml?redirect=8793002104784979996985372818&e=7> Acesso em 06.08.18.

VAEZAL, R.F.; FILHO, O.P.C.; MAIA, A.D.G.; DISPERATI, A.A. Uso e ocupação do solo em bacia hidrográfica urbana a partir de imagens orbitais de alta resolução. **Revista Floresta e Ambiente**, v.17, n.1, p.23-29. 2010. Disponível em: http://www.sifloresta.ufv.br/bitstream/handle/123456789/17637/Revista_Floresta_e_Ambiente_v17_n1_p23-29_2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y Acesso em 18.07.2017.

VANZELA, L.S.; HERNANDEZ, F.B.T.; FRANCO, R.A.M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.1, p.55–64, 2010. Disponível em:

https://www.researchgate.net/profile/Fernando_Hernandez12/publication/262541818_Influence_of_land_use_and_occupation_on_water_resources_of_the_Tres_Barras_stream_Marinopolis_SP_Brazil/links/0c960532d77b767bbc000000/Influence-of-land-use-and-occupation-on-water-resources-of-the-Tres-Barras-stream-Marinopolis-SP-Brazil.pdf Acesso em 18.2017.

VIANA, D.C.F.; LIRBÓRIO, L.F.; SANTOS, E.M.S.; FERNANDES, A.C.A. Oportunidade e subdesenvolvimento na mata sul de Pernambuco: contrastes gerados a partir do cultivo da cana-de-açúcar. **XIX Encontro Nacional de Geografia Agrária**, São Paulo, 2009. Disponível em: http://www.geografia.ffe.usp.br/inferior/laboratorios/agraria/Anais%20XIXENGA/artigos/Viana_DCF.pdf Acesso em: 10.04.2017.

XAVIER, A.C.; SOARES, J.V.; ALMEIDA, A.C. Variação do índice de área foliar em clones de eucalipto ao longo de seu ciclo de crescimento. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.26, n.4, p.421-427, 2002.