



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**IVO AUGUSTO LOPES MAGALHÃES**

**CARACTERIZAÇÃO DA DINÂMICA ESPECTRO TEMPORAL FLORESTAL E  
DA CANA-DE-AÇÚCAR NO MUNICÍPIO DE ITAPEMIRIM, ES**

**JERÔNIMO MONTEIRO - ES**

**FEVEREIRO – 2013**

**IVO AUGUSTO LOPES MAGALHÃES**

**CARACTERIZAÇÃO DA DINÂMICA ESPECTRO TEMPORAL FLORESTAL E  
DA CANA-DE-AÇÚCAR NO MUNICÍPIO DE ITAPEMIRIM, ES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de concentração Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos

Co-Orientador: Prof. Dr. Alexandre Cândido Xavier

**JERÔNIMO MONTEIRO - ES**

**FEVEREIRO – 2013**

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

M188c Magalhães, Ivo Augusto Lopes, 1985-  
Caracterização espectro temporal florestal e da cana-de-açúcar no município de Itapemirim, ES / Ivo Augusto Lopes Magalhães. – 2013.  
85 f.: il.

Orientador: Alexandre Rosa dos Santos.  
Coorientador: Alexandre Candido Xavier.  
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Florestas. 2. Vegetação. 3. Cana-de-açúcar. 4. Sensoriamento remoto.  
I. Santos, Alexandre Rosa dos. II. Xavier, Alexandre Candido. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. IV. Título.

CDU: 630

---

# CARACTERIZAÇÃO DA DINÂMICA ESPECTRO TEMPORAL FLORESTAL E DA CANA-DE-AÇÚCAR NO MUNICÍPIO DE ITAPEMIRIM, ES

**Ivo Augusto Lopes Magalhães**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de concentração Ciências Florestais.

Aprovada em 20 de Fevereiro de 2013.

---

Prof. Dr. Jéferson Luiz Ferrari  
Instituto Federal de Educação,  
Ciência e Tecnologia do Espírito  
Santo  
(Membro Externo)

---

Prof. Dr. Sidney Sára Zanetti  
Universidade Federal do Espírito  
Santo  
(Membro Interno)

---

Prof. Dr. Alexandre Cândido Xavier  
Universidade Federal do Espírito  
Santo  
(Co-Orientador)

---

Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos  
Universidade Federal do Espírito  
Santo  
(Orientador)

## **DEDICO**

A DEUS, por ter me proporcionado saúde, sabedoria e discernimento em todos os momentos desta longa caminhada.

Aos meus Pais, Denice do Socorro Lopes Brito e Lupércio Leite Magalhães Junior.

À minha querida irmã, Belisa Maria Lopes Magalhães.

À Thamy Carvalho Lacerda por ser uma namorada exemplar, carinhosa e muito dedicada. Se não fosse você e por você, eu não teria chegado onde estou e não teria realizado esse nosso sonho. Essa vitória também é sua. Obrigado por ser tão importante na minha vida.

Ao meu sogro, João Bráulio, e a minha sogra, Maria Aparecida, por terem me acolhido como filho, e pelo apoio incondicional nesses 2 anos de mestrado.

Aos meus familiares e todos os amigos conquistados.

## AGRADECIMENTOS

Ao amigo, conselheiro e Professor Alexandre Cândido Xavier pela atenção, paciência, dedicação prestada na elaboração deste trabalho e pelos ensinamentos direcionados em Sensoriamento Remoto e na carreira profissional.

Ao meu Orientador, Professor Alexandre Rosa dos Santos pelos ensinamentos em Sistemas de Informações Geográficas.

Ao Professor Coordenador do Curso de Pós-graduação em Ciências Florestais, Roberto Avelino Cecílio, por ser um amigo compreensível, atencioso e justo. Por ter confiado em meu empenho como mestrando e pelos ensinamentos nas disciplinas e nas horas atípicas em sua sala de coordenação.

Ao amigo e Diretor do Instituto Federal do Espírito Santo, Campus de Ibatiba, Flávio Eymard da Rocha Pena e família, pela amizade sincera, por ter proporcionado ótimos momentos e pela confiança em meu trabalho.

Ao Professor Sidney Sára Zanetti, pelos seus ensinamentos em modelagem, pela dedicação de diversas horas de explicação sobre Redes Neurais Artificiais.

Ao amigo e Professor Jéferson Luiz Ferrari, pela educação, carinho, compreensão e ensinamentos passados.

Ao amigo e Professor da Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Cesar Vinicius Mendes Nery, pela amizade, apoio e confiança nesses anos de trabalho e amizade.

Ao amigo e Professor da Universidade Estadual de Montes Claros, Marcos Esdras Leite, pela amizade e inspiração na carreira científica.

A Universidade Federal do Espírito Santo e ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais.

A todos os funcionários e professores que tive oportunidade de conhecer e realizar trabalhos.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo – FAPES pelo apoio incondicional, incentivo financeiro durante o curso de mestrado.

A todos os amigos conquistados no decorrer do mestrado, em especial ao Marcelo Dan, por ter me ajudado no trabalho de campo, ao Dayvid Couto, ao Benvindo, à Fabiana e ao Carlos.

Enfim, a todos que contribuíram de maneira direta e indireta para a realização deste trabalho.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Componentes de um sistema de informações geográficas.....	7
Figura 2.	Espectro eletromagnético.....	9
Figura 3.	Níveis de coleta de dados em sensoriamento remoto.....	10
Figura 4.	Interação da energia solar com a folha: radiação incidente (I), energia refletida (R), parte absorvida (A) e parte transmitida (T).	12
Figura 5.	Curva de reflectância hemisférica direcional típica de uma folha verde sadia.....	13
Figura 6.	Comportamento da energia sobre uma folha verde.....	14
Figura 7.	Localização geográfica do município de Itapemirim, ES representada em composição falsa-cor Landsat 5-TM (2B/3R/4G).....	24
Figura 8.	Mosaico entre as cenas 216-075 e 216-074 do sensor Landsat 5-TM.....	28
Figura 9.	Técnica utilizada na coleta do índice de Área Foliar por meio do espectrorradiômetro LAI-2000.....	34
Figura 10.	Fluxograma metodológico representativo das etapas realizadas para desenvolvimento do estudo.....	36
Figura 11.	Porção litorânea do município de Itapemirim, ES antes e após o registro por meio da imagem de referência <i>Geocoover</i> 2000.....	37
Figura 12.	Histogramas de frequência da imagem (10/11/2011) antes da correção atmosférica, bandas 1(a), 2(b) e 3(c), e depois da correção atmosférica, bandas 1(d), 2(e) e 3(f).....	39
Figura 13.	Histogramas de Frequência dos alvos: (A) Floresta Estacional Semidecidual e (B) Cana de açúcar variedade SP 83-3250 antes e após a correção pelo método DOS.....	41
Figura 14.	Reflectância espectral, paisagem e cobertura vegetal representativa de diferentes alvos no município de Itapemirim, ES: A) Floresta estacional semidecidual; B) Floresta estacional submontana; C) Solo.....	43
Figura 15.	Espectros de reflectância de três localizações diferentes na área urbana do município de Itapemirim, ES.....	48

Figura 16.	Reflectância espectral média, paisagem e cobertura vegetal representativa da cana-de-açúcar variedade SP 83-3250 e RB 86-7515 e corpo hídrico em Itapemirim, ES: A) Variedade SP 83-3250; B) Variedade RB 86-7515; C) Corpo hídrico.....	50
Figura 17.	Fotografia ilustrativa de um corpo hídrico com presença de sedimentos e macrófitas aquáticas.....	51
Figura 18.	(A) Imagem NDVI de 13/05/1992 referente ao menor valor e a imagem (B) 08/02/2012 referente ao menor valor para a vegetação.....	53
Figura 19.	Perfil temporal dos valores médios de NDVI analisados entre o período de 1984 a 2011 para a floresta estacional semidecidual e floresta submontana.....	55
Figura 20.	Fotografia ilustrativa de áreas inundadas que apresentaram valores negativos para o NDVI após período chuvoso no município de Itapemirim, ES.....	56
Figura 21.	Perfil temporal dos valores médios de NDVI analisados entre o período de 1984 a 2011 para a cana-de-açúcar variedade SP 83-3250 e RB 86-7515.....	58

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Principais índices de vegetação.....	17
Tabela 2.	Características espectrais e aplicações do sensor TM.....	22
Tabela 3.	Sequência cronológica das imagens Landsat 5-TM utilizados para análise multitemporal do NDVI.....	26
Tabela 4.	Valores utilizados para a conversão de DN em imagem radiância.....	31
Tabela 5.	Valores utilizados de $E_{Sol\lambda}$ para conversão de radiância para reflectância.....	32
Tabela 6.	Valores adimensionais de reflectância bidirecional para os alvos analisados.....	52

## SUMÁRIO

RESUMO .....	xi
ABSTRACT .....	xii
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1. OBJETIVO GERAL.....	4
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	5
2.1. BIOMA MATA ATLÂNTICA.....	5
2.2. GEOPROCESSAMENTO.....	6
2.3. SENSORIAMENTO REMOTO.....	8
2.4. PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS.....	11
2.5. COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO.....	12
<b>2.5.1. Índices de Vegetação</b> .....	15
<b>2.5.2. Índice de Vegetação da Diferença Normalizada – NDVI..</b>	17
<b>2.5.3. Análise Multitemporal da Vegetação</b> .....	19
2.6. PROGRAMA LANDSAT.....	21
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	23
3.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	23
<b>3.1.1. Características dos Solos</b> .....	24
<b>3.1.2. Metodologia</b> .....	25
<b>3.1.3. Seleção das Imagens</b> .....	25
3.2. PROCESSAMENTO DIGITAL DAS IMAGENS.....	27
<b>3.2.1. Mosaico das Imagens</b> .....	27
<b>3.2.2. Registro das Imagens Landsat</b> .....	28
<b>3.2.3. Correção Atmosférica</b> .....	29
<b>3.2.4. Conversão do Números Digitais em Radiância</b> .....	29
<b>3.2.5. Conversão de Radiância para Reflectância</b> .....	31
3.3. CARACTERIZAÇÃO ESPECTRAL DOS ALVOS.....	32
3.4. AVALIAÇÃO TEMPORAL DOS ALVOS POR MEIO DO NDVI.....	33
3.5. AQUISIÇÃO DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR.....	34
3.6. ESTATÍSTICA NÃO - PARAMÉTRICA DE WILCOXON.....	35
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	37
4.1. REGISTRO DAS IMAGENS.....	37
4.2. CORREÇÃO ATMOSFÉRICA .....	38
4.3. CARACTERIZAÇÃO ESPECTRAL DOS ALVOS.....	42
<b>4.3.1. Resposta Espectral da Vegetação</b> .....	42
<b>4.3.2. Resposta Espectral do Solo</b> .....	45
<b>4.3.3. Resposta Espectral da Área Urbana</b> .....	46
<b>4.3.4. Resposta Espectral da Cana-de-açúcar</b> .....	48
<b>4.3.5. Resposta Espectral do Corpo Hídrico</b> .....	50
4.4. ANÁLISE DA VEGETAÇÃO POR MEIO DO NDVI	52
MULTITEMPORAL.....	
4.5. ANÁLISE DA CANA-DE-AÇÚCAR POR MEIO DO NDVI	55
MULTITEMPORAL.....	
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	60
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	61
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	62
<b>APÊNDICE A</b> .....	73
<b>APÊNDICE B</b> .....	76

## RESUMO

MAGALHÃES, Ivo Augusto Lopes. **CARACTERIZAÇÃO DA DINÂMICA ESPECTRO TEMPORAL FLORESTAL E DA CANA-DE-AÇÚCAR NO MUNICÍPIO DE ITAPEMIRIM, ES.** Orientador: Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos. Co-orientador: Prof. Dr. Alexandre Cândido Xavier.

Utiliza-se a resposta espectral da vegetação com intuito de discriminar os parâmetros biofísicos, material constituinte, estrutura celular das folhas e atividade fotossinteticamente ativa. Neste contexto o propósito deste estudo foi caracterizar e comparar as respostas espectrais dos alvos: floresta estacional semidecidual, submontana, cana-de-açúcar, solo, urbanização e corpo hídrico localizados no município de Itapemirim, ES, por meio de dados do Sensor *Thematic Mapper* como também analisar a dinâmica da vegetação por meio do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada - NDVI para os anos de 1984 a 2011. A metodologia consistiu na obtenção das imagens por meio do catálogo eletrônico do INPE. As imagens passaram por um Processamento Digital de Imagem expresso na seguinte sequência metodológica: Mosaico, Registro, Correção atmosférica, transformação para reflectância bidirecional e finalmente em imagem NDVI's. Utilizou o teste não-paramétrico de Wilcoxon com P-value a 1% de probabilidade para distinguir se os valores médios de NDVI's se diferem estatisticamente em relação floresta semidecidual com submontana e dois talhões da mesma variedade de cana-de-açúcar RB 86-7515 e SP 83-3250. Como resultados obteve-se o registro da série temporal com RMS menor que 0,5 pixel. Pela correção atmosférica subtraiu-se pixels espúrios em todas as imagens multitemporais da região do visível ao Infravermelho Próximo. A floresta estacional semidecidual, submontana e a cana-de-açúcar apresentaram respostas espectrais típicas de vegetação, com baixo valor de reflectância na região do azul e vermelho, com alto valor na região do IVP. O corpo hídrico não apresentou uma curva espectral típica de uma água pura, apresentando uma elevada resposta espectral nas faixas do verde e vermelho, provenientes da presença de macrófitas e sólidos em suspensão. Na área urbana obteve-se uma alta reflectância na região do vermelho, sendo atribuída a expressiva presença de solo exposto, ruas não pavimentadas e residências com expressiva quantidade de telhas e tijolos de barro. Verificou-se por meio da análise multitemporal do NDVI foi possível analisar a dinâmica da vegetação, ganho, perda de biomassa verde, manejo e o ciclo fenológico das variedades de cana-de-açúcar.

**Palavras-chave:** Sensoriamento remoto; imagens multitemporais; perfil espectral; Índice de vegetação.

## ABSTRACT

MAGALHÃES, Ivo Augusto Lopes. **SPECTRUM CHARACTERIZATION-TEMPORAL DYNAMICS OF FOREST BIOME OF RIVERS AND CANE SUGAR IN THE CITY OF ITAPEMIRIM, ES THROUGH IMAGES LANDSAT-5TM.** Dissertation (Master's in Forestry Science) Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES. Advisor: Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos. Co-advisor: Prof. Dr. Alexandre Cândido Xavier.

We use the spectral response of vegetation with the intent to discriminate biophysical parameters, constituent material, the cell structure of the leaves and photosynthetic activity. In this context the purpose of this study was to characterize and compare the spectral signatures of the targets: seasonal forest, submontane, cane sugar, ground, urbanization and water body located in the municipality of Itapemirim, ES, using data from the Thematic Mapper sensor but also to analyze the dynamics of vegetation through Vegetation Index Normalized Difference - NDVI for the years 1984 to 2011. The methodology consisted in obtaining the images through the electronic catalog from INPE. The images went through a Digital Image Processing methodological expressed in the following sequence: Mosaic, registration, atmospheric correction, conversion to bidirectional reflectance and NDVI's finally image. We used the nonparametric Wilcoxon P-value with a 1% probability to distinguish the mean values of NDVI's differ statistically compared with submontane semideciduous forest and two plots of the same variety of cane sugar RB 86-7515 and SP 83-3250. As a result we obtained the registration of the series with RMS less than 0.5 pixel. For the atmospheric correction was subtracted pixel spurious multitemporal images in all of the visible region the Near Infrared. The seasonal forest, submontane and cane sugar showed typical spectral responses of vegetation, with low reflectance value in the region of blue and red, with a high value in the region of IVP. The body fluid did not show a spectral curve of a typical pure water having a high spectral response in the red and green bands, from the presence of macrophytes and suspended solids. In urban areas obtained a high reflectance in the red region, and attributed the significant presence of exposed soil, unpaved streets and homes with a significant amount of tiles and clay bricks. It was found by analyzing multitemporal NDVI was possible to analyze the vegetation dynamics, gain, loss of green biomass, and phenological cycle management of varieties of cane sugar.

**Keywords:** Remote sensing; multitemporal images; spectral profile; Vegetation Index.

## 1. INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica é extremamente importante em relação ao contexto ambiental e social. Essa importância se deve a enorme biodiversidade de espécies faunística e florística.

Atualmente, a paisagem da Mata Atlântica é composta principalmente por fragmentos florestais, e que se encontram quase sempre isolados e separados por pastagens em propriedades particulares (RODRIGUES, 2011). De acordo com Metzger (2003), os fragmentos florestais são caracterizados pelas rupturas das unidades da paisagem natural, que podem ser contínuos ou isolados, podendo apresentar diversas extensões.

No entanto por apresentar importância de cunho ambiental, as espécies vegetais presentes no bioma, são passivas de estudos e análise, dentre as diversas técnicas para análise ambiental, utilizam-se as geotecnologias. Dentre as geotecnologias, o sensoriamento remoto (SR) e os sistemas de informações geográficas (SIG) destacam-se por apresentar diversas metodologias com menor custo financeiro.

A aquisição de informações por meio do sensoriamento remoto pode ser adquirida por diversas maneiras, por espectrorradiômetro de campo, em laboratório, a nível de aeronave e orbital. Porém a utilização a nível orbital ocorre com maior frequência, incluindo também a geração e utilização de imagens de satélite na elaboração de mapas temáticos e avaliação espectral da cobertura vegetal de extensas áreas da superfície terrestre (PONZONI, 2002).

Neste contexto as propriedades espectrais da vegetação podem ser utilizadas para o monitoramento das condições de crescimento da vegetação, como também a estimativa da regeneração das espécies (FONSECA; ROSA; FONTANA, 2002).

De acordo com Meneses (2012) as imagens dos sensores na faixa óptica do espectro eletromagnético permitem analisar as intensidades da radiação refletida, como também, conhecer as propriedades e a composição de diversos alvos.

Aparicio (2007) afirma que o número de pesquisas sobre as respostas espectrais da vegetação está relativamente aumentando, essas pesquisas estão sendo realizadas com intuito de diferenciação de espécies vegetais por meio da curva espectral apresentada.

Conforme Jensen (2011) por meio da resposta espectral da vegetação pode-se obter importantes parâmetros biofísicos, seu material constituinte, estrutura celular das folhas, atividade fotossinteticamente ativa e diferenciação de presença interna de umidade e água na folha. Segundo este mesmo autor com dados espectrais também pode ser criado uma biblioteca espectral para vegetação.

Contudo, Carriello et al., (2003) adverte que a criação de uma biblioteca espectral para vegetação é um deslumbramento dos pesquisadores em sensoriamento remoto, no entanto, essas medidas espectrais são válidas somente no tempo e local em que o experimento está sendo conduzido, pois as características da vegetação podem sofrer contínuas mudanças no decorrer do tempo.

Com finalidade de estudar as respostas espectrais da vegetação, foram desenvolvidos diversos Índices de Vegetação (IV's). Esses IV's são formados por funções matemáticas compreendidas entre as bandas espectrais das imagens.

De acordo com Ponzoni e Shimabukuro (2010), os índices de vegetação podem ser explorados na região do visível e infravermelho próximo, podendo ser relacionados a propriedades espectrais da vegetação a partir da verificação do comportamento antagônico da reflectância nestas faixas.

Para tanto, o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada - NDVI é o mais utilizado e famoso, dentre os mais de 50 catalogados na literatura, (MOREIRA, 2011). O NDVI é relacionado a valores variáveis entre -1 e +1, todavia, os valores próximos a 1 representam a vegetação densa e os valores próximos a -1 compreendem aos corpos hídricos e não-vegetação (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010).

A análise da vegetação por meio de uma única imagem limita a extração de várias informações desta, pois a mesma representa a cena de uma única data da passagem do satélite. Contudo, a utilização de uma série

multitemporal, por apresentar dados em maior número de cenas, permite a obtenção de processos fenológicos, mensuração de biomassa verde, estrutura física das folhas e estimativa de áreas desmatadas ou regeneradas.

Estudo das respostas espectral da vegetação da Mata Atlântica na região em análise, como também, no Estado do Espírito Santo ainda não foi relatado no contexto científico, sendo assim, o estudo visou cessar a carência de informações espectrais e de cunho geográfico tanto da vegetação, como também de diversos alvos inseridos na superfície de Itapemirim, ES.

No município de Itapemirim (ES) localizam-se dois fragmentos florestais de médio a grande porte, e a cultura da cana-de-açúcar vem ocupando lugar de destaque devido a instalação de usinas e destilarias.

Além destas justificativas, a caracterização de alvos realizada por meio de espectrorradiômetro requer maior tempo e investimento financeiro em análise de extensas áreas, já a análise espectral realizada por imagens orbitais, não se limita a apenas um alvo por análise, podendo ser realizada em extensas áreas com menor tempo dispendido.

Outra vantagem também apresentada pelas imagens orbitais do sensor TM (*Thematic Mapper*) é a apresentação em comprimentos de ondas da faixa do visível ao infravermelho distante. Dessa maneira possibilitam a caracterização e obtenção de informações espectrais para os alvos analisados neste trabalho.

As hipóteses contidas nesta dissertação são:

- A série multitemporal de imagens Landsat – 5TM e NDVI's são eficazes para a discriminação espectral e o conhecimento da dinâmica da vegetação e da cana-de-açúcar para os anos de 1984 a 2011;
- Os valores de NDVI's multitemporais obtidos para a floresta estacional semidecidual e a floresta estacional submontana não se diferem estatisticamente por meio do teste de Wilcoxon.

## 1.1. OBJETIVO GERAL

- O propósito deste estudo foi analisar a dinâmica vegetal da floresta estacional submontana, floresta estacional semidecidual e cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) variedades RB 86-7515 e SP 83-3250 por meio do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada - NDVI para o período compreendido entre 1984 a 2011.

## 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar o processamento digital das imagens provenientes do satélite Landsat – 5TM para obtenção das imagens NDVI's para o período de 1984 a 2011;
- Caracterizar as respostas espectrais dos alvos: floresta estacional semidecidual, floresta estacional submontana, duas variedades de cana-de-açúcar, solo, urbanização e corpo hídrico por meio das imagens Landsat-5TM para o ano de 2011;
- Realizar a coleta do Índice de Área Foliar da Mata Atlântica e de duas variedades de cana-de-açúcar com idade de 2 e 12 meses, por meio do espectrômetro LAI – 2000;
- Comparar estatisticamente os valores médios de NDVI da floresta estacional semidecidual e da floresta estacional submontana por meio do teste de Wilcoxon ao nível de (1%) de significância;
- Comparar estatisticamente os valores médios de NDVI para diferentes talhões de cana-de-açúcar das variedades SP 83-3250 e variedade RB 86-7515 por meio do teste de Wilcoxon ao nível de 1% de significância.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. BIOMA MATA ATLÂNTICA

A Mata Atlântica é um bioma do território brasileiro provido de riquezas, com enorme biodiversidade e diversas espécies endêmicas. Este bioma é um verdadeiro ciclo de vidas, que apresenta fauna e flora muito diversificada, espécies raras e inúmeros animais vertebrados não catalogados, por isso é motivo de todo tipo de preservação e protegido por lei Federal e denominado Patrimônio Nacional (VARJABEDIAN, 2010).

De acordo com Leal e Câmara (2005), a Mata Atlântica está entre os 25 *hotspots* mundiais, sendo o habitat de pelo menos 60% de todas as espécies terrestres. Por apresentar toda essa riqueza em biodiversidade, a Mata Atlântica é um dos maiores repositórios de biodiversidade do planeta sendo considerado um dos mais importantes e ameaçados biomas do mundo (BERGHER; LIMA, 2003).

Conforme os dados da Secretaria de Estado da Agricultura (SEAG), o desmatamento e a degradação da Mata Atlântica iniciaram com a supressão das florestas para formação de cultivos agrícolas, onde a intensidade desta degradação aumentou com a retirada de madeira de lei, seguida da implantação da cana-de-açúcar no Sul e farinha de mandioca no Norte do Estado do Espírito Santo (SEAG, 1988).

Leal e Câmara (2005) afirmam que este bioma é, provavelmente, o ecossistema que mais sofreu devastação e que apresenta a maior ameaça ecológica comparado aos outros biomas. É notório que a realidade deste bioma está seriamente comprometida pela rápida ação antrópica que, de maneira direta ou indireta, contribuiu para este estado de degradação.

Outro fator plausível para a degradação ambiental na Mata Atlântica, é que aproximadamente 61% da população brasileira estão inseridas dentro deste bioma, logo contribuem em algum tipo de impacto negativo que afeta o mesmo (VARJABEDIAN, 2010).

A necessidade de ações e medidas mitigadoras para minimizar os impactos ocorridos no bioma apresenta caráter de urgência, pois a extensão da

floresta Atlântica foi dizimada, restando pequenos fragmentos que foram segregados por pastagens e monoculturas que na maioria das propriedades são cultivadas em Áreas de Preservação Permanente (APP).

No Estado do Espírito Santo o bioma predominante é a Mata Atlântica, que no passado era coberto por 100% de Mata Atlântica. Atualmente, a presença do bioma é representada por fragmentos florestais e remanescentes. (INPE; SOS MATA ATLÂNTICA, 2011).

Ferreira e Laurence (1997), afirmam que a redução drástica da extensão florestal da Mata Atlântica afeta todo o ecossistema da floresta, acarretando em alterações ligadas à hidrologia, aumentando a probabilidade de ocorrer focos de incêndios e alterações microclimáticas que atingem de forma mais intensa as bordas dos fragmentos.

## 2.2. GEOPROCESSAMENTO

Conforme Magalhães et al., (2006), o geoprocessamento é um conjunto de técnicas computacionais com necessidade de utilização de dados espaciais georreferenciados. Esses mesmos autores entendem que pode ser um conjunto de técnicas de coleta, tratamento, manipulação e apresentação de dados espaciais.

Pelo aumento da utilização por usuários, o geoprocessamento é visto como uma tecnologia multidisciplinar, por conseguinte encontram-se inúmeros trabalhos científicos, dentre eles, na área de construção civil e de saúde.

Dentre as crescentes áreas interligadas com o geoprocessamento, Couto (2009) destaca as seguintes confluências interligadas como:

- Sistema de Posicionamento Global (GPS);
- Sensoriamento Remoto (SR);
- Processamento Digital de Imagens (PDI);
- Cartografia Digital;
- Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SGBD);
- Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Dentre esses componentes do geoprocessamento a tecnologia SIG é bastante difundida para criação de diversos mapas temáticos e voltados para automatização de processos, análise e criação de mapas que antigamente eram realizados manualmente por meio de técnicas da cartografia temática (FITZ, 2008).

De acordo com Liu (2007), o SIG é um modelo matemático dinâmico construído com um banco de dados digitais gerenciados para facilitar a atualização e a aplicação dos dados georreferenciados de infinitas camadas de informações no planejamento e na otimização de uma determinada tarefa.

Câmara et al., (2001), detalham e definem um SIG com os respectivos componentes fundamentais (Figura 1):

- Interface com usuário;
- Entrada e integração de dados;
- Funções de consulta e análise espacial;
- Visualização e plotagem;
- Armazenamento e recuperação de dados.

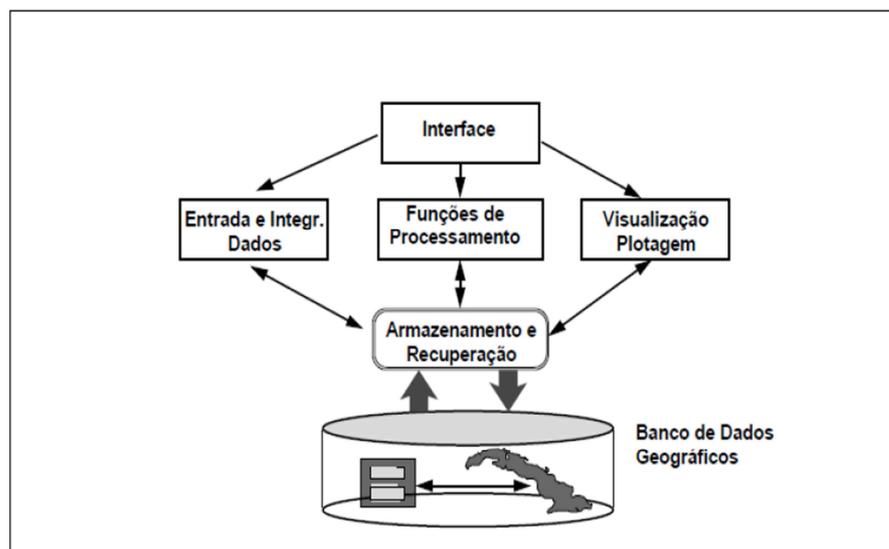


Figura 1. Componentes de um Sistema de Informações Geográficas.  
Fonte: Câmara et al., (1996).

### 2.3. SENSORIAMENTO REMOTO

O sensoriamento remoto teve início com a descoberta das primeiras câmaras fotográficas, sendo um dos primeiros instrumentos a serem utilizados, e mesmo com o passar dos anos, atualmente mantém-se como um instrumento de extrema importância para a aquisição de dados por meio de fotogrametria (FIGUEIREDO, 2005).

Segundo Liu (2007), as primeiras fotografias da superfície da Terra foram obtidas a bordo de um balão em 1859. Com essa nova descoberta, os militares passaram a utilizar aviões com o objetivo de fotografar e levantar informações sobre a localização geográfica do inimigo na superfície terrestre, elaborar mapas topográficos, azimutais e florestais.

Novo (2010) ressalta a divergência sobre as definições que diversos autores afirmam para o surgimento do sensoriamento remoto. Segundo esta mesma autora, as diversas atribuições sobre quando e como surgiu esta tecnologia são tidas como controversas.

Contudo, a mesma opinião descrita por diversos autores é que a utilização de fotografias aéreas e o avanço tecnológico incentivaram o surgimento do SR e o desenvolvimento de novas técnicas, tornando-o uma ferramenta muito utilizada pela comunidade científica.

A tecnologia denominada sensoriamento remoto tem como princípio básico a captura de informações e aquisição da energia solar pelos sensores provenientes do armazenamento da energia radiada pelos alvos terrestres.

No entanto, a energia eletromagnética apresenta comprimentos de ondas e frequências relacionadas à sua região no espectro eletromagnético. O espectro eletromagnético (Figura 2) apresenta diversos comprimentos de ondas situados dos raios cósmicos até as ondas de rádio. Todavia, a região do visível, infravermelho próximo, infravermelho médio, infravermelho termal e infravermelho distante são utilizados com maior frequência em sensoriamento remoto (JENSEN, 2011).

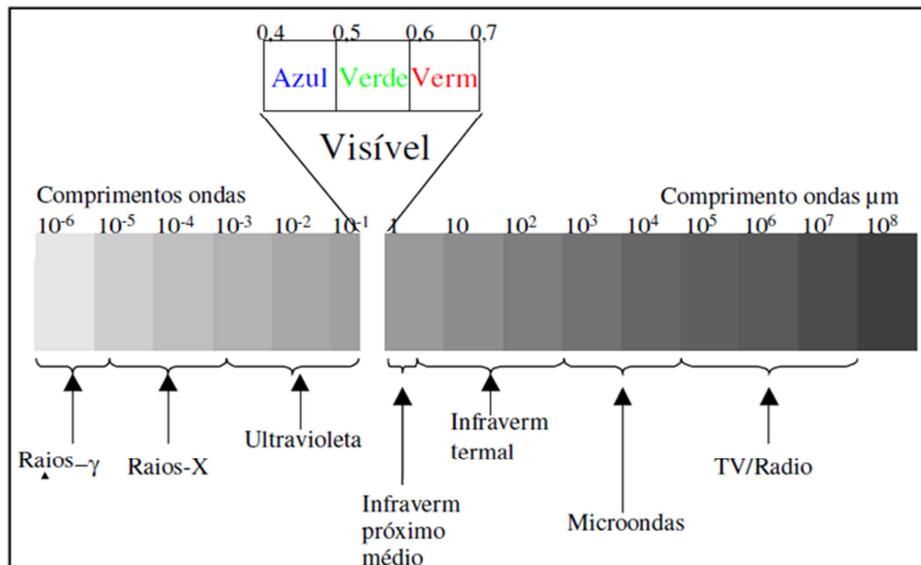


Figura 2. Espectro Eletromagnético. Fonte: Figueiredo, (2005).

Conforme Figueiredo (2005), a radiação eletromagnética é decomposta pelos sensores dos satélites. O sensor armazena essa energia, que é composta em diversas faixas espectrais com larguras variáveis, sendo essas faixas denominadas bandas espectrais. Cada satélite apresenta diversos números de bandas espectrais, resolução espacial, temporal e radiométrica baseado ao objetivo de sua construção.

Conforme Moreira (2011), essa energia é fundamental para aquisição dos dados por meio dos satélites que para armazenar essa energia utilizam de sistemas distintos, diferenciando-os conforme o tipo de aquisição em sensor passivo ou ativo.

De acordo com Fitz (2008), os sensores passivos apresentam como características a propriedade de obtenção e armazenamento da energia radiada pelos alvos da superfície terrestre provenientes da energia eletromagnética. Os sensores passivos são a maioria dos satélites orbitais, geoestacionários e sensores, que também são frutos das primeiras tecnologias de satélites desenvolvidos para o armazenamento e coleta dos dados geográficos.

Já os sensores ativos são tecnologias mais atuais e apresentam como característica possuir sua própria energia para captura da REM dos alvos superficiais (FITZ, 2008). O sensor ativo mais difundido é a tecnologia Radar

(*Radio Detection and Ranging*) sendo capaz de capturar imagens noturnas e com presença de nuvens acima dos alvos.

No Brasil esta tecnologia é bastante utilizada na região Amazônica por possuir bandas espectrais com alto comprimento de ondas, capaz de penetrar a vegetação densa e ultrapassar a nebulosidade atmosférica (MENESES; ALMEIDA, 2012).

Conforme Moreira (2011), a aquisição da energia por meio de sensores pode ser capturada por três níveis distintos, são eles: orbitais, suborbitais e terrestre (Figura 3). Contudo, Novo (2010) afirma que atualmente pode-se atribuir o quarto nível de coleta, sendo definido por meio de laboratório.

Esses autores em suas respectivas publicações convergem sobre os objetivos do pesquisador para a escolha dos níveis de coletas de dados, realçando a comodidade, a finalidade da pesquisa e o investimento financeiro para a obtenção de certo produto.

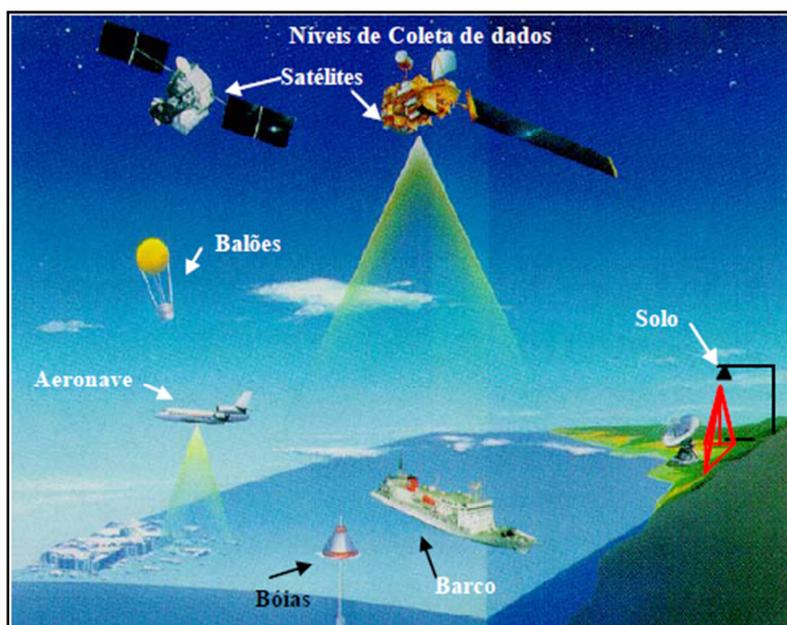


Figura 3. Níveis de coleta de dados em sensoriamento remoto. Fonte: Moreira, (2011).

Angelis (2000) relata que o sensoriamento remoto pode ser utilizado em diversas áreas, contudo, uma área muito nobre a utilizar o SR é no monitoramento do desmatamento de florestas, deste modo, contribuindo na análise de áreas desflorestadas ou em regeneração.

Neste contexto, em função desta eficaz tecnologia para monitoramento e estudo da vegetação, o sensoriamento remoto é tido como ferramenta fundamental para análise de biomas.

#### 2.4. PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

Uma imagem é composta pelas informações obtidas no ato da varredura de um determinado sensor sobre uma região. Após esta varredura, o registro das assinaturas espectrais dos objetos é processado por meio de computadores e convertidos em imagens.

Esse processamento realizado por computadores é definido por PDI, que segundo Crósta (2002), é o tratamento de uma imagem bruta, com a finalidade de extrair as informações possíveis de serem interpretadas.

Ao se realizar o processamento de uma imagem bruta, o resultado gerado é uma imagem menos opaca, com maior facilidade para obter informações e disponível para realização de diversas técnicas de SR (CRÓSTA, 2002). Entretanto, não é que uma imagem sem realização do processamento não seja passível de ser analisada, porém após a realização do processamento, a imagem apresenta maior aptidão a inúmeras análises temporais e menor possibilidade de apresentar informações espúrias.

Em meio às informações apresentadas particularmente em cada imagem, a visão humana não é capaz de distinguir algumas informações minuciosas, e até pode ser contraditória em algumas sem processamento. Sendo assim, o propósito do processamento de imagens é o ato de remover esses entraves, inerentes ao sistema visual humano, facilitando a extração de informações a partir de imagens (CRÓSTA, 2002).

Conforme Figueiredo (2005), o PDI é composto por diversas etapas, que basicamente são sintetizadas em pré-processamento, realce, correção atmosférica, registro, restauração e classificação.

## 2.5. COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO

Conforme Ponzoni e Shimabukuro (2010), a análise espectral da vegetação é feita por meio da reflexão das folhas isoladas ou pela análise dos dosséis de um conjunto de espécies vegetais. Segundo estes mesmos autores, a interação da radiação eletromagnética com as diferentes estruturas físicas de uma determinada vegetação é definida por três fenômenos: reflexão, transmissão e absorção, conforme demonstra a Figura 4.

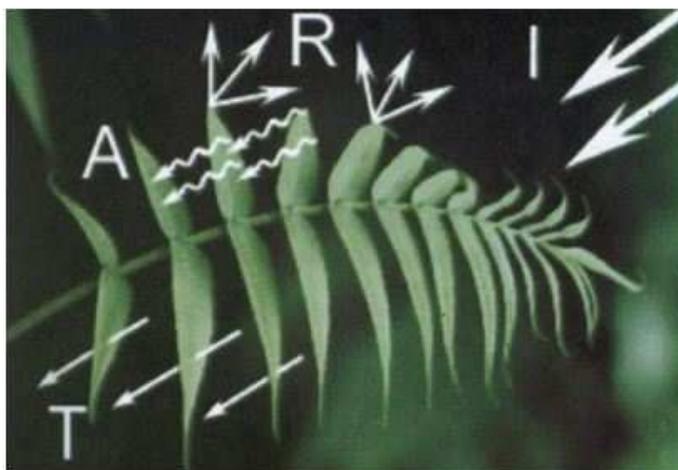


Figura 4. Interação da energia solar com a folha: radiação incidente (I), energia refletida (R), parte absorvida (A) e parte transmitida (T). Fonte: Moreira, (2011).

- A reflexão é proveniente do espalhamento intra e interfoliar e depende significativamente do número de folhas, da angulação e arranjo espacial do dossel.
- A transmissão da radiação eletromagnética é caracterizada pela passagem da energia incidente através dos constituintes vegetais.
- A absorção é a propriedade de captura da energia eletromagnética, e está relacionada com os pigmentos fotossintetizantes e a composição do vegetal, já na região do infravermelho a presença de água no interior da planta exerce a função de absorção da energia eletromagnética.

De acordo com Ponzoni (2002), a análise da vegetação por sensoriamento remoto baseia-se nestes fenômenos, no entanto, entre os quatro fenômenos, a reflexão é o fator mais estudado. A reflexão da radiação

proveniente de uma folha está correlacionada com as estruturas localizadas no seu interior, na cutícula, na camada epidérmica e na angulação da folha em relação à energia eletromagnética incidente.

Uma folha sadia ou até mesmo um dossel apresenta reflexão e absorção da radiação eletromagnética em diferentes regiões do espectro, sendo assim a assinatura espectral de um vegetal é influenciada pela senescência (HINZMAN; BAUER; DAUGTHRY, 1986); orientação e perdas de folhas (VALERIANO, 2003); material não-fotossinteticamente ativo (AFFONSO et al., 2005) e estresse hídrico (CRUSCO, 2007).

Novo (2010) esquematizou a absorção da REM de uma folha sadia, dividindo-os em três regiões espectrais diferentes com finalidade didática. (Figura 5). Observa-se que a vegetação sadia apresenta comportamento espectral distinto nas três regiões do espectro eletromagnético: região do visível, infravermelho próximo e infravermelho médio.

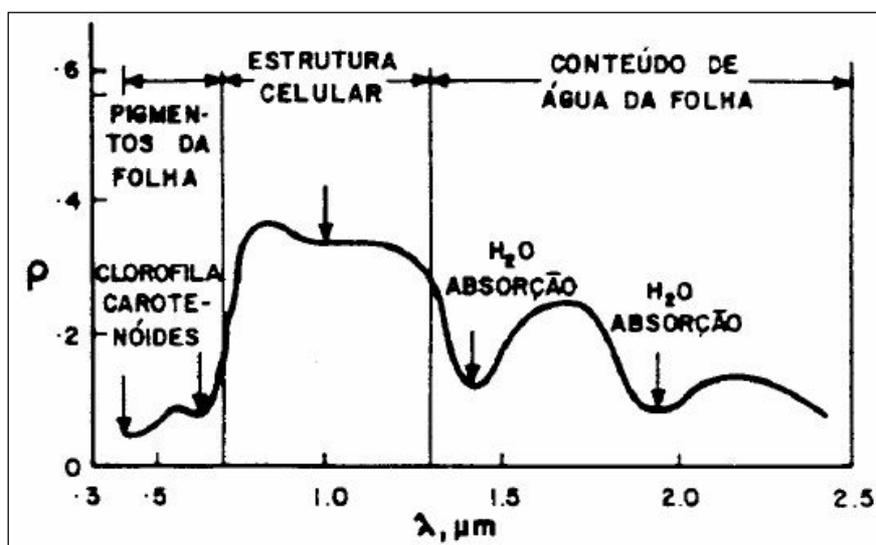


Figura 5. Curva de Reflectância Hemisférica Direcional típica de uma folha verde sadia. Fonte: Novo, (2010).

Conforme Jensen (2011) na região do visível, comprimento de ondas de (0,40 a 0,70  $\mu\text{m}$ ) ocorre grande absorção da energia eletromagnética pela folha, esta absorção é associada aos pigmentos fotossintéticos como as clorofilas a e b, xantofilas e carotenoides.

Nesta região a reflectância é relativamente baixa em função da forte absorção da radiação pelos pigmentos. Estes pigmentos, geralmente

encontrados nos cloroplastos são: clorofila (65%), carotenos (6%), e xantofilas (29%). Os valores percentuais destes pigmentos existentes nas folhas podem variar grandemente de espécie para espécie (VENTURIERI, 2007).

Segundo este mesmo autor, na faixa do visível, a energia radiante interage com a estrutura foliar por absorção e por espalhamento, causando uma absorção de forma seletiva pela clorofila. A absorção da REM relaciona-se aos pigmentos fotossintetizantes contidos nos vegetais, ocorrendo parcialmente nas faixas espectrais, com o comprimento de onda, aproximadamente de 0,45  $\mu\text{m}$  (azul) e 0,65  $\mu\text{m}$  (vermelho), em oposição a um pico de reflectância em torno de 0,55  $\mu\text{m}$  (verde).

Por absorver maior quantidade de energia na região do azul e vermelho e refletir mais energia na faixa do verde, a vegetação sadia é composta em tom esverdeado para a visão humana (Figura 6).

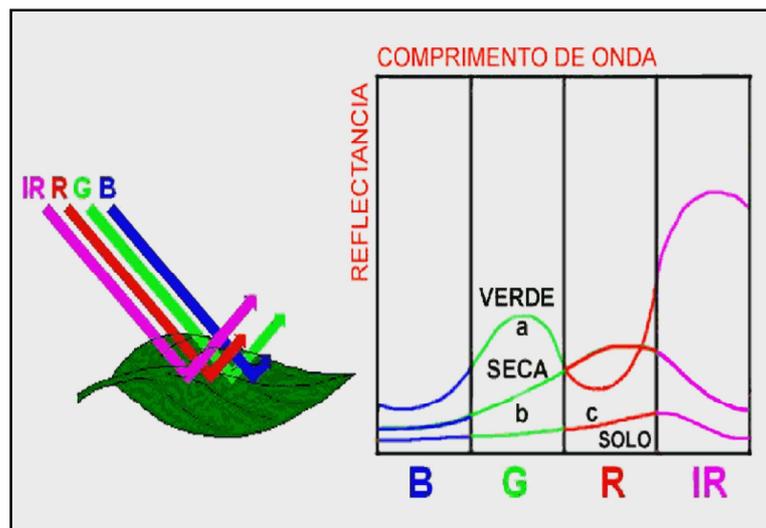


Figura 6. Comportamento da energia sobre uma folha verde. Fonte: Venturieri, (2007).

De acordo com Ponzoni e Shimabukuro (2010), na região espectral do infravermelho próximo (0,7 a 1,3  $\mu\text{m}$ ), a reflexão da energia eletromagnética aumenta assiduamente até atingir um pico máximo de reflectância. Após esse pico máximo, a curva espectral apresenta uma pequena queda, com tendência a estabilização, comprovando que nesta região acontece pouca absorção da radiação eletromagnética.

De acordo com Naue et al., (2011), quanto maior for o espaçamento interno da estrutura foliar, maior será o espalhamento interno da REM, assim aumentando também a reflectância.

Na região do infravermelho médio (1,3 a 2,6  $\mu\text{m}$ ) a absorção de energia eletromagnética ocorre em dois locais distintos. A primeira absorção ocorre próximo ao comprimento de onda de 1,4  $\mu\text{m}$  e posteriormente em 1,9  $\mu\text{m}$ , devido à presença de água no interior da folha. Porém a menor absorção ocorre aproximadamente no comprimento de onda de 1,6  $\mu\text{m}$  (NAUE et al., 2011).

### **2.5.1 Índices de Vegetação**

Por volta de 1960, pesquisadores da área de sensoriamento remoto aprofundaram os estudos sobre os parâmetros biofísicos da vegetação (JENSEN, 2011). Os esforços destes cientistas culminaram no desenvolvimento de técnicas voltadas a análise vegetal, sendo estas denominadas de índices de vegetação.

Os índices de vegetação são medidas radiométricas adimensionais, as quais expressam a biomassa verde da vegetação, Índice de Área Foliar (IAF), porcentagem da cobertura verde, teor de clorofila, biomassa verde e Radiação Fotossinteticamente Ativa Absorvida (RFAA) (JENSEN, 2011). A elaboração destes índices pode ser realizada por meio de soma, razão, diferença ou outra relação matemática entre as bandas espectrais do vermelho e infravermelho próximo.

No entanto, Running et al., (1994), advertem que o índice de vegetação ideal, deve apresentar as seguintes características:

- 1) Maximizar a sensibilidade dos parâmetros biofísicos da planta, preferencialmente com uma resposta linear, de maneira que esta sensibilidade seja fidedigna para diversas condições da vegetação, e para facilitar a validação e calibração do índice;
- 2) Normalizar os efeitos externos, tais como o ângulo solar, ângulo de visada, e as interferências atmosféricas;

- 3) Normalizar os efeitos internos, tais como variações no substrato abaixo do dossel, como também efeitos topográficos, solos e diferença quanto componentes não-fotossintéticos;
- 4) Permitir precisão e consistência espacial para comparações temporais da vegetação; e
- 5) Ser relacionável a alguns parâmetros biofísico mensurável, tais como a biomassa e IAF, para validação e controle de qualidade.

De acordo com Gonçalves (2008), os índices de vegetação podem ser calculados a partir de dados orbitais e de medições radiométricas de campo. No entanto, Rosendo (2005), afirma que os índices de vegetação podem ser realizados em imagens com três tipos de resolução espacial, baixa, média e alta provenientes do satélite *Satellite Pour Observation de la Terre* (SPOT), Landsat sensor (TM e ETM+), *China-Brazil Earth Resources Satellite* (CBERS), sensor *Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), e outros sensores com capacidade de captura nas faixas espectrais da região do vermelho e do infravermelho próximo.

Na análise da vegetação, os índices de vegetação apresentam como foco principal, diferenciar as áreas de vegetação de áreas com intervenção antrópica nos cenários de estudos analisados.

Por meio destes índices é possível monitorar o desmatamento, as modificações no uso e ocupação da terra e as queimadas. Essas análises são elaboradas a partir da identificação destas alterações detectadas por meio de imagens, resultando em alterações nos valores de radiância dos *pixels* (SILVA, 2004).

Conforme Ponzoni e Shimabukuro (2010), por meio dos índices de vegetação são obtidas as informações sobre os parâmetros biofísicos da vegetação.

Os primeiros índices de vegetação foram elaborados e expressos por funções matemáticas simples de divisão e soma entre as bandas espectrais. Posteriormente, foram desenvolvidos novos índices que consideram diversos fatores externos como o ajustamento de fator do solo, inclinação da linha do solo e o espalhamento atmosférico por aerossóis.

Na literatura são catalogados mais de 50 índices de vegetação (MOREIRA, 2011). Conforme este mesmo autor, os índices utilizados com maior frequência são: Razão Simples (RVI) e o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI). Os principais índices de vegetação são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Principais índices de vegetação

<b>Sigla</b>	<b>Denominação</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Autor</b>
RVI	Ratio Vegetation Index	$RVI = (IVP/V)$	Jordan (1969)
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	$NDVI = \left( \frac{IVP - V}{IVP + V} \right)$	Rouse et al. (1973)
SAVI	Soil Adjusted Vegetation Index	$SAVI = \left( \frac{IVP - V}{IVP + V} \right) * (1 + L)$	Huete (1988)
TSAVI	Transformed Soil Adjusted Vegetation Index	$TSAVI = a \left( \frac{IVP - aV - b}{V + aIVP - ab} \right)$	Baret et al. (1989)
SAVI <sub>2</sub>	Soil Adjusted Ratio Vegetation Index	$SAVI_2 = \frac{IVP}{(V + b/a)}$	Major et al. (1990)
PVI	Perpendicular Vegetation Index	$PVI = \left( \frac{IVP - aV - b}{SQRT} \right) * (1 + a^2)$	Richrdardson e Wiegard (1977)
DVI	Difference Vegetation Index	$DVI = IVP - V$	Tucker (1979)

FONTE: (ELVIDGE; CHEN, 1995).

### 2.5.2. Índice de Vegetação da Diferença Normalizada - NDVI

O NDVI proposto por Rouse et al., (1973) é o índice de vegetação mais conhecido e utilizado com maior frequência pelos usuários de sensoriamento remoto (MENESES; MADEIRA NETTO, 2001; DORIGO et al., 2007). O NDVI é

expresso pela subtração da banda espectral do infravermelho próximo com a banda do vermelho e, respectivamente, a divisão da soma entre as duas bandas espectrais.

De acordo com Eastman (1999), o NDVI apresenta como característica a minimização dos efeitos topográficos com sua escala de valores variando de -1 a 1, onde os valores próximos de -1 representam superfícies sem vegetação e próximos a 1 vegetação densa.

Liu (2007) atribui a eliminação parcial das interferências atmosféricas, das perturbações radiométricas e geométricas como vantagem do NDVI em relação aos outros índices de vegetação.

Guimarães et al., (2005) afirma que o NDVI reduz o ruído e a incerteza associada às características do instrumento e fontes externas como sombra e nuvem.

O intervalo representativo para o valor de NDVI é apresentado por valores negativos em baixa presença de biomassa verde. Contudo, a alta presença de biomassa verde, como em florestas, é obtida com valores positivos de NDVI (DEMARCHI; PIROLI; ZIMBACK, 2011).

Segundo Ferreira et al., (2006), o NDVI pode auxiliar no monitoramento efetivo sistemático de um determinado bioma, bem como possibilitar que a análise das paisagens natural e antrópica dos seus vários ecossistemas passe a ser realizada numa escala multitemporal, melhorando assim o entendimento deste bioma no que diz respeito a sua estrutura, funcionamento e função ecológica.

O NDVI é utilizado para classificar a distribuição global de vegetação em conexão com o clima (GURGEL et al., 2003), para inferir a variabilidade de parâmetros biofísicos da vegetação, como a produção de fitomassa (COSTA et al., 2002), Índice de Área Foliar (XAVIER; VETTORAZZI, 2004), análise do uso da terra (REIS et al., 2005), desenvolvimento do ciclo vegetativo (DE LA CASA; OVANDO, 2007; MERCANTE et al., 2009), como também a produtividade de culturas agrícolas (WANG et al., 2004; SIMÕES et al., 2009, GROHS et al., 2009; JUNGES; FONTANA, 2009).

Em meio a tantas qualidades, Elmore et al., (2000) advertem que a desvantagem do NDVI está no fato deste ser altamente influenciado pelo brilho

e pelo efeito espectral do solo, o que prejudica as avaliações sobre a vegetação.

### **2.5.3. Análise Multitemporal da Vegetação por NDVI**

Lyon et al., (1998) compararam sete índices de vegetação para analisar a mudança temporal da cobertura vegetal em Chiapas, no México. O estudo utilizou uma série temporal de 20 anos obtidos por imagens Landsat, na qual os autores concluíram o estudo afirmando que o NDVI foi o único índice que obteve distribuição normal do histograma. Obteve-se também a menor influência dos fatores relacionados e apresentou a melhor detecção da cobertura vegetal.

Ferrari, Santos e Garcia (2011) avaliaram as mudanças da cobertura vegetal na sub-bacia hidrográfica do córrego do Horizonte em Alegre, ES, entre os anos de 1987 a 2010 por meio da subtração de imagens NDVI's e evidenciaram a técnica por meio deste índice vegetação, que estimou o desmatamento em 2,19 km<sup>2</sup> na sub-bacia hidrográfica.

Santana et al., (2010) realizaram um estudo para modelar a distribuição do NDVI em áreas de plantio, floresta de galeria, cerrado, pastagem, área urbana e floresta estacional semidecidual com a finalidade de analisar as mudanças fisionômicas dos índices por meio dos modelos ondulatórios, no período de 2000 a 2008, na bacia do rio Paracatu. Os autores concluíram o estudo apontando que o NDVI obteve significância em seus parâmetros e erros toleráveis, sendo assim são aptos para identificação de fisionomias, simular séries temporais futuras, coberturas vegetais e tamanhos da área de cada fisionomia.

Carvalho Júnior, Hermuche e Guimarães, (2006) utilizaram o NDVI multitemporal do sensor MODIS com a finalidade de definir um método de identificação regional da Mata Seca na bacia hidrográfica do rio Paraná. Os autores encontraram como resultado, valores altos para o NDVI da mata Seca no período chuvoso e valores baixos no período de estiagem, distinguindo das outras formações vegetais da área de estudo. Contudo, os autores concluem o

estudo afirmando que o NDVI multitemporal foi eficaz para distinção da mata Seca para a região de estudo.

Gomes et al., (2011) analisaram os níveis de degradação da cobertura vegetal na área da bacia hidrográfica do rio Jaibaras, CE, no período de 24 anos por meio do NDVI. Os autores quantificaram e analisaram cada nível de degradação na bacia hidrográfica e obtiveram como resultado um acréscimo de 79,43 km<sup>2</sup> de áreas com vegetação degradada. Sendo assim, concluíram o estudo afirmando que ao longo dos 24 anos (1985 – 2009) houve um aumento de aproximadamente 167% de área com solo exposto na bacia hidrográfica do rio Jaibaras, constatando o aumento das pressões sobre os recursos naturais e, principalmente, sobre a vegetação.

Almeida (2010) analisou a desertificação na região semiárida do Cerrado Norte mineiro, no ano 2001 e 2010, por meio do NDVI. A autora obteve como resultado, o aumento em 280 km<sup>2</sup> das áreas em processo de desertificação, entretanto a região obteve um aumento de 4.350 km<sup>2</sup> de áreas com pastagem e um acréscimo de 580 km<sup>2</sup> de vegetação densa. Neste contexto, a autora conclui o estudo afirmando que a aplicação do NDVI possibilitou a caracterização da área vegetação em estudo, presença de solo exposto e áreas em desertificação.

Krishna (2009) utilizou o NDVI e técnicas de classificação de imagens para realização de mapas temáticos e detecção de mudanças do uso da terra na bacia hidrográfica de Galaudu situada no distrito de Dhading, no Nepal durante o período de 1976 a 2002. A cobertura vegetal da região apresenta assinatura espectral semelhante, entretanto o NDVI apresentou precisão na distinção dos alvos semelhantes, conseguindo discriminar áreas de savana de floresta densa, como também separar as áreas queimadas. Contudo, a autora concluiu o estudo recomendando a utilização do MDE sobreposto ao NDVI e classificadores de imagens para maior precisão de mapeamento temático em áreas declivosas.

## 2.6. PROGRAMA LANDSAT

A série de satélites para monitoramento de recursos naturais Landsat, foi desenvolvido em julho de 1972 pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), com intuito de observação dos recursos terrestres (FLORENZANO, 2002).

O primeiro satélite da série Landsat foi o Landsat 1 que apresentava como sensor o *Multispectral Scanner System* (MSS) e quatro canais, sendo duas bandas no visível e duas bandas no infravermelho, com mesma característica dos seus sucessores.

Segundo Florenzano (2002), o satélite Landsat 4 e 5 apresentavam uma tecnologia mais avançada que os primeiros satélites da série, com um sistema sensor *Thematic Mapper* (TM), com sete canais espectrais, sendo 3 bandas no visível e 4 bandas no infravermelho, sendo 1 na infravermelho termal.

De acordo com Cunha (2009), os sensores TM fornecem melhor resolução espacial (30 m), com exceção da banda 6 (banda termal) com 120 m, fidelidade geométrica aperfeiçoada, maior detalhe radiométrico e melhor definição das bandas espectrais que o sensor MSS. A órbita destes sensores é circular, quase polar, sincronizada com o Sol e com uma altitude de 705 km.

A série do satélite Landsat é um dos programas mais antigos de observação dos naturais (JENSEN, 2011). A cada lançamento de uma nova série do satélite Landsat estavam associados diversos progressos tecnológicos com o desenvolvimento de novos sensores, menor resolução temporal e acréscimo de uma banda pancromática com 15 m de resolução espacial.

O satélite Landsat 6 não obteve sucesso como os outros satélite da sua série, sofrendo alguns entraves no momento do seu lançamento, resultando em sua queda no oceano (FITZ, 2008).

Conforme EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE (2009), o funcionamento dos satélites em órbita é sintetizado pela NASA e o comércio das imagens é responsabilidade da *Unites States Geological Survey* (USGS). No Brasil o primeiro órgão a ter acesso às imagens gratuitamente foi o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) no ano de 1973 (CÂMARA, 2011). Na

base em Cuiabá, MT o INPE, por meio de equipamentos e antenas recebe de forma contínua as imagens de todo o território nacional, constituindo um enorme acervo de dados de um longo período sobre o Brasil e a América Latina (CUNHA, 2009).

Atualmente, o satélite Landsat não está em funcionamento, contudo, o seu ciclo de vida superou a expectativa que era de 5 anos, e os seus produtos podem ser adquiridos com a data mais recente para o ano de 2011.

O sucesso do programa Landsat superou expectativas, e o avanço científico proveniente das imagens deste satélite são claramente notáveis. O governo Americano, por meio da NASA, lançará futuramente em órbita o Landsat 8.

A Tabela 2 descreve as principais características espectrais e aplicações do sensor TM.

Tabela 2. Características espectrais e aplicações do sensor TM.

<b>Satélite Landsat - Sensor TM</b>		
<b>Banda</b>	<b>Faixa Espectral (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Principais Aplicações</b>
1	0,45 – 0,52	Diferenciação entre solo e vegetação
2	0,52 – 0,60	Reflectância de vegetação verde sadia
3	0,63 – 0,69	Absorção de clorofila Diferenciação de espécies vegetais
4	0,76 – 0,90	Levantamento de biomassa Delineamento de corpos hídricos
5	1,55 – 1,75	Medidas de umidade da vegetação Diferenciação entre nuvens e neve
6	10,4 – 12,5	Mapeamento de estresse térmico em plantas
7	2,08 – 2,35	Mapeamento hidrotermal

Fonte: INPE, (2012).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Itapemirim, ES (Figura 7) está situado no extremo Sul do estado do Espírito Santo, compreendido entre as coordenadas planas em UTM 280220.337S 7677357.933W e 317719.003S 7692928.968W. É composto por 4 distritos: Itapemirim (sede), Itapecoá, Rio Muqui e Itaipava, situando-se na região do baixo [rio Itapemirim](#). Encontra-se distante cerca de 120 km da cidade de Vitória, capital do Estado do Espírito Santo (IBGE, 2010).

O município se destaca por apresentar expressiva produção de produtos frutíferos, como, abacaxi, banana e cana-de-açúcar. A formação florestal predominante no município é a Floresta Estacional Semidecidual com elementos arbóreos caducifólios nas áreas que apresentam até 50 m de altitude ao nível do mar. Nas áreas com maiores altitudes, situa-se a Floresta estacional semidecidual submontana, todas de domínio do bioma Mata Atlântica (IBGE, 2010).

O tipo climático do município de Itapemirim, ES, segundo a classificação de Köppen, são Aw e CWA com temperatura média anual entre 21 a 23°C e precipitação média anual entre 1.000 a 1.500 mm.

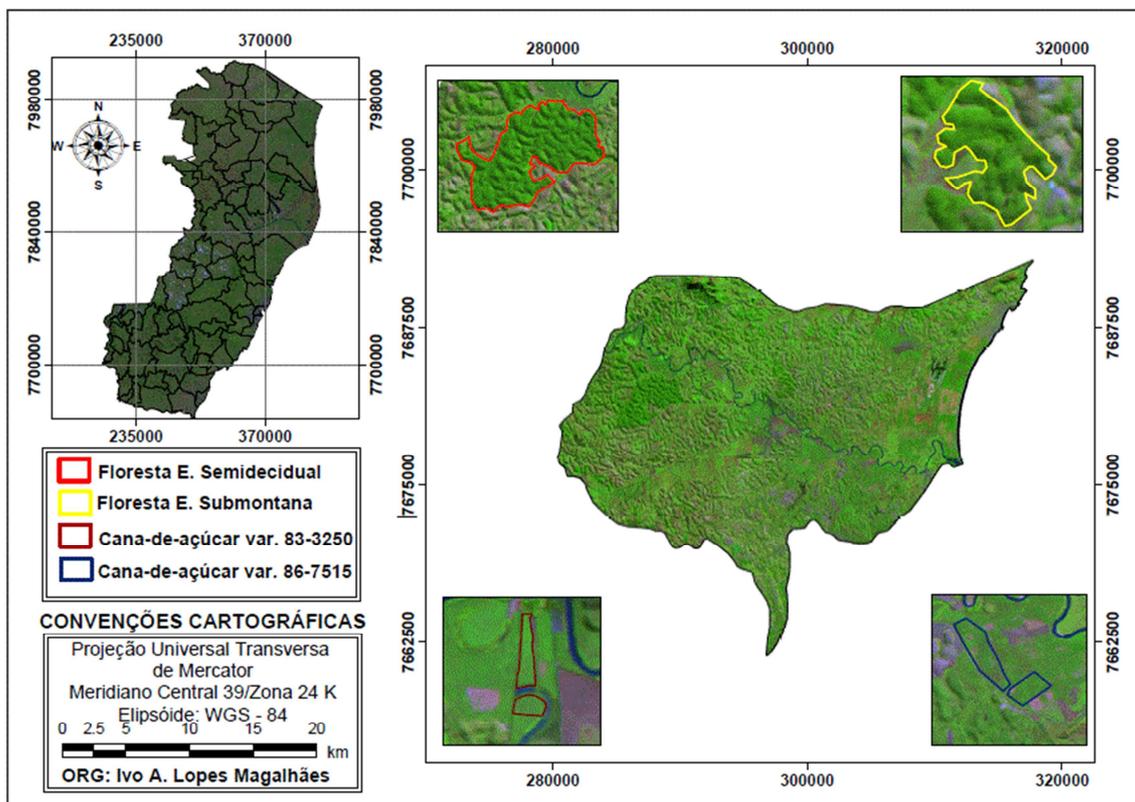


Figura 7. Localização geográfica do município de Itapemirim, ES, em composição falsa-cor LANDSAT 5-TM (2B/3R/4G).

A Figura 7 representa a área de estudo, composta pelo mosaico de imagens Landsat 5-TM em composição falsa-cor. Na direção Oeste do município situa-se o maior fragmento florestal, e na região Central, localizam-se tanto fragmento florestal, como os talhões de cana-de-açúcar analisados.

### 3.1.1. Características dos solos

As classes de solo são caracterizados pelo Latossolo Vermelho Álico (LVa), que ocorre na maior parte do município, associados com Podzólico Amarelo Álico e Distrófico (PAad) e o Podzol Hidromórfico (HP) que está inserido ao longo da margem litorânea do município de Itapemirim (SIQUEIRA et al., 2004).

### **3.1.2 Metodologia**

O estudo foi conduzido no laboratório de geoprocessamento do Núcleo de Estudos e de Difusão de Tecnologia em Floresta, Recursos Hídricos e Agricultura Sustentável – NEDTEC. As análises para o desenvolvimento deste estudo foram realizadas nos aplicativos computacionais SPRING 5.2 (INPE, 2012) e ArcGIS 10 (ESRI, 2011).

Realizou-se este estudo em duas etapas distintas. A primeira etapa consistiu no pré-processamento das imagens e análise temporal das respostas espectrais dos diferentes alvos por meio de imagens, reflectância e NDVI provenientes do sensor Landsat-5TM.

A segunda etapa consistiu na campanha de campo, onde realizou-se a leitura do IAF dos tipos da floresta e da cana de açúcar em diferentes estágios de crescimento por meio do LAI -2000. Utilizou-se o GPS de navegação *Garmin Etrex 30*, pelo método absoluto de busca, com a finalidade de localizar e delimitar geograficamente os talhões de cana-de-açúcar e os fragmentos florestais na área em estudo.

A execução metodológica desenvolvida neste trabalho é expressa na seguinte sequência metodológica:

### **3.1.3. Seleção das Imagens**

A seleção das imagens do sensor *Thematic Mapper (TM)* foi realizada por meio do catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), na data de interesse para o estudo.

As imagens foram obtidas em períodos distintos, chuvoso e estiagem, com presença de nuvem menor que 5% em cada cena. Utilizou-se uma série temporal composta por 60 cenas do sensor TM-5, (Tabela 3), sendo que as imagens foram obtidas por meio do endereço eletrônico: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>.

Tabela 3. Relação cronológica das imagens Landsat 5-TM utilizados para análise multitemporal do NDVI.

<b>Órbita/Ponto</b>	<b>Data da imagem</b>	<b>Azimute solar (°)</b>	<b>Elevação do Sol (°)</b>	<b>Período</b>
216/074-075	07/05/1984	46,8500	38,3118	Estiagem
216/074-075	12/09/1984	59,4889	46,8884	Chuvoso
216/074-075	23/03/1985	65,3593	46,7668	Estiagem
216/074-075	29/07/1985	46,6126	35,6188	Estiagem
216/074-075	30/06/1986	43,5804	31,9248	Estiagem
216/074-075	04/10/1986	70,7076	50,8237	Estiagem
216/074-075	03/07/1987	43,4780	32,2670	Chuvoso
216/074-075	27/01/1988	94,7726	52,0868	Chuvoso
216/074-075	07/09/1988	57,4239	45,6635	Estiagem
216/074-075	13/01/1989	99,1471	53,5560	Chuvoso
216/074-075	17/02/1990	85,5763	48,3779	Estiagem
216/074-075	27/07/1990	48,1122	33,5602	Estiagem
216/074-075	09/04/1991	58,7059	42,3495	Estiagem
216/074-075	31/08/1991	56,3224	42,0497	Estiagem
216/074-075	13/05/1992	46,2153	36,5570	Estiagem
216/074-075	17/08/1992	52,6637	38,3344	Chuvoso
216/074-075	09/02/1993	89,3366	49,1158	Estiagem
216/074-075	04/08/1993	49,3789	35,4313	Chuvoso
216/074-075	17/04/1994	55,3992	40,6358	Chuvoso
216/074-075	10/10/1994	74,4501	51,3126	Estiagem
216/074-075	20/04/1995	56,4274	38,0346	Chuvoso
216/074-075	25/07/1995	50,5017	53,5560	Estiagem
216/074-075	13/10/1995	78,1643	48,3821	Chuvoso
216/074-075	08/05/1996	50,0397	35,1067	Chuvoso
216/074-075	31/10/1996	85,4589	55,7505	Chuvoso
216/074-075	27/05/1997	42,7849	35,2594	Chuvoso
216/074-075	14/07/1997	43,8525	33,8090	Estiagem
216/074-075	17/07/1998	42,6791	35,3383	Estiagem
216/074-075	05/10/1998	67,5080	55,2614	Chuvoso
216/074-075	30/03/1999	60,0974	47,4859	Chuvoso
216/074-075	20/07/1999	43,2484	35,5651	Chuvoso
216/074-075	03/05/2000	46,2556	40,3439	Estiagem

216/074-075	10/10/2000	70,5999	56,4850	Chuvoso
216/074-075	15/02/2001	84,3838	52,8743	Estiagem
216/074-075	23/06/2001	39,6765	34,6385	Estiagem
216/074-075	11/09/2001	56,7100	48,6652	Chuvoso
216/074-075	06/03/2002	73,8029	50,6351	Estiagem
216/074-075	29/06/2003	40,9369	33,9435	Estiagem
216/074-075	19/10/2003	75,4787	58,1061	Chuvoso
216/074-075	01/07/2004	39,9566	34,8744	Chuvoso
216/074-075	06/11/2004	86,1558	62,0285	Chuvoso
216/074-075	09/01/2005	99,6773	57,6447	Chuvoso
216/074-075	17/05/2005	40,1579	39,7225	Chuvoso
216/074-075	08/10/2005	67,2869	58,0481	Estiagem
216/074-075	23/07/2006	40,6563	38,2910	Chuvoso
216/074-075	20/03/2007	62,2700	52,3299	Estiagem
216/074-075	27/08/2007	48,3455	46,5099	Chuvoso
216/074-075	18/01/2008	96,9574	58,1014	Chuvoso
216/074-075	22/03/2008	61,6365	50,9657	Estiagem
216/074-075	29/08/2008	51,0932	45,9159	Estiagem
216/074-075	10/04/2009	52,3500	47,0169	Chuvoso
216/074-075	01/09/2009	51,0332	47,4316	Estiagem
216/074-075	20/11/2009	93,7179	63,4716	Chuvoso
216/074-075	08/02/2010	87,0969	56,0632	Chuvoso
216/074-075	15/05/2010	39,7519	40,6433	Chuvoso
216/074-075	04/09/2010	51,7307	48,4160	Estiagem
216/074-075	26/01/2011	93,7117	57,0084	Chuvoso
216/074-075	02/05/2011	43,3293	43,0779	Chuvoso
216/074-075	23/09/2011	59,3763	53,8860	Chuvoso
216/074-075	10/11/2011	87,8918	62,8649	Chuvoso

Fonte: INPE, (2012).

## 3.2. PROCESSAMENTO DIGITAL DAS IMAGENS

### 3.2.1. Mosaico das Imagens

Para a realização deste estudo, realizou-se o mosaico de duas cenas Landsat 5-TM, correspondendo aos pontos 074 e 075 e órbita 216 no catálogo de imagens do INPE, conforme detalhado pela Figura 8.

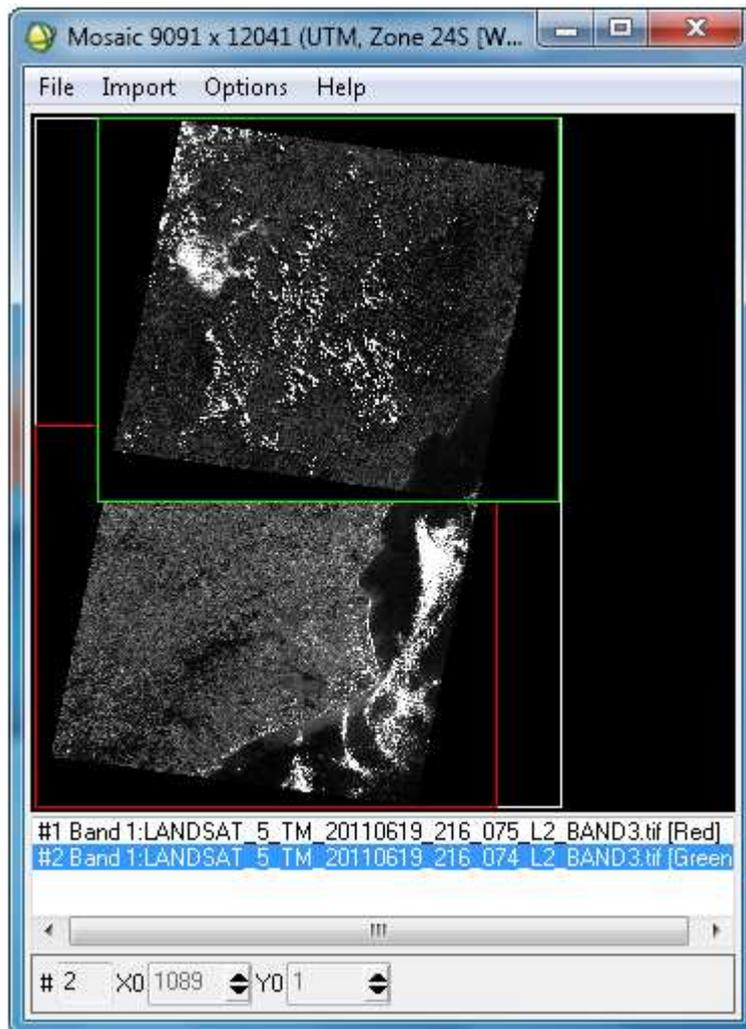


Figura 8. Mosaico entre as cenas 216-075 e 216-074 do sensor Landsat 5-TM.

### 3.2.2. Registro das imagens Landsat 5-TM

O registro das imagens Landsat 5-TM foi realizado tendo como base a imagem do mosaico ortorretificado *GeoCover* 2000, disponível no endereço eletrônico <http://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/> (NASA, 2012).

A primeira imagem da série histórica com data de passagem 07/05/1984 foi registrada por meio da aquisição de pontos 25 de controle nas regiões com maior detalhe visual como, cruzamento de pontes, nos rios e estradas por meio da técnica *map to map*. Posteriormente, realizou-se o mesmo procedimento para as 59 imagens, obtendo-se um erro médio quadrado (RMS), menor que 0,5 *pixels*, no qual equivale a 15 m de variação na

imagem Landsat com resolução espacial de 30m, apresentando precisão aceitável para o estudo de análise multitemporal de vegetação (DAI; KHORRAM, 1998).

A primeira etapa deste procedimento consistiu no registro das imagens utilizando a projeção Universal Transverso de Mercator (UTM) no datum *World Geodetic System 1984* (WGS 84). Já a segunda etapa de finalização do registro consistiu na reamostragem dos *pixels* por meio da técnica *Nearest Neighbor* utilizando a transformação polinomial de primeira ordem. O método *Nearest Neighbor* consiste na interpolação dos valores digitais dos *pixels* mais próximos, não alterando os valores digitais dos *pixels* na imagem registrada. (CRÓSTA, 2002).

### **3.2.3. Correção atmosférica**

Para anular os efeitos atmosféricos, resultando em imagens com valores de níveis digitais (ND) corrigidos, utilizou-se a técnica subtração dos *pixels* escuros ou *Dark Object Subtraction* (DOS) proposto por (CHAVEZ, 1988).

A subtração dos *pixels* espúrios foi utilizada em uma área significativamente maior que o limite municipal de Itapemirim, ES, partindo do pressuposto que em uma área de menor extensão como no limite municipal poderia não haver a presença de relevos sombreados ou de corpos hídricos sem sedimentos.

Esses alvos apresentam os valores digitais de referência para a aplicação do método (MENESES; ALMEIDA, 2012). A classificação quanto à atenuação atmosférica em cada banda espectral foi definido conforme proposto por Chaves (1988).

### **3.2.4. Conversão dos números digitais em radiância**

Os valores de DN contidos nas imagens Landsat 5-TM foram convertidos para radiância, e, posteriormente, transformados em valores de reflectância aparente.

Os valores utilizados na conversão das imagens foram adquiridos por meio da calibração absoluta dos sensores LANDSAT 5-TM após seu lançamento, e é expressa por meio das funções matemáticas.

$$L\lambda = \left( \frac{LMAX\lambda - LMIN\lambda}{Qcalmax - Qcalmin} \right) (Qcal - Qcalmin) + LMIN\lambda \quad (\text{eq. 1})$$

$$Grescale = \left( \frac{LMAX\lambda - LMIN\lambda}{Qcalmax - Qcalmin} \right) \quad (\text{eq. 2})$$

$$Brescale = LMIN\lambda - \left( \frac{LMAX\lambda - LMIN\lambda}{Qcalmax - Qcalmin} \right) Qcalmin \quad (\text{eq. 3})$$

Em que:

$L\lambda$  = radiância espectral em  $w.m^2 sr.\mu m$ ;

$Qcal$  = radiância calibrada e rescalonada para o intervalo 0 a 255, em unidades de número digital;

$Qcalmin$  = Valor mínimo do pixel calibrado correspondente a  $LMIN\lambda$  (DN);

$Qcalmax$  = Valor máximo do pixel quantizado calibrado correspondente a  $LMAX\lambda$  (DN);

$Lmin\lambda$  = radiância espectral correspondente ao  $Qcal=0$ ;

$Lmax\lambda$  = radiância espectral correspondente ao  $Qcal=255$ ;

$Grescale$  = Banda específica rescalonada com o valor de ganho em  $w.m^2 sr.\mu m$ ;

$Brescale$  = Banda específica rescalonada com valor de viés em  $w.m^2 sr.\mu m$ .

Para a conversão dos valores de DN para radiância, foram utilizados os valores de radiância mínima ( $Lmin\lambda$ ) e radiância máxima ( $Lmax\lambda$ ) propostos por Chander, Markham e Helder, (2009), conforme a Tabela 4.

Tabela 4. Valores utilizados para a conversão de DN em radiância.

<b>Satélite Landsat 5-TM (Qcalmin=1 e Qcalmax=255)</b>					
<b>Banda</b>	<b>Faixa Espectral</b>	<b>Lmin<math>\lambda</math></b>	<b>Lmax<math>\lambda</math></b>	<b>Grescala</b>	<b>Brescala</b>
	$\mu\text{m}$	$W/(m^2 \text{ sr } \mu\text{m})$		$W/(m^2 \text{ sr } \mu\text{m})/DN$	$W/(m^2 \text{ sr } \mu\text{m})$
1	0,452- 0,518	-1,52	169	0,671339	-2,19
2	0,528-0,609	-2,84	333	1,322205	-4,16
3	0,626-0,693	-1,17	264	1,043976	-2,21
4	0,776-0,904	-1,51	221	0,876024	-2,39
5	1,567-1,784	-0,37	30,2	0,120354	-0,49
6	10,45-12,42	1,2378	15,3032	0,055376	1,18
7	2,097-2,349	-0,15	16,5	0,065551	-0,22

FONTE: Chander; Markham; Helder, (2009).

### 3.2.5. Conversão de Radiância para Reflectância

Como este trabalho tem por finalidade avaliar a dinâmica de biomassa verde em função da série histórica dos valores de NDVI, as imagens com valores de radiância foram convertidas em imagens reflectância por meio da Equação 4.

$$\rho = (\pi * L\lambda * d^2)/(ESol\lambda * \cos\theta_0) \quad (\text{eq. 4})$$

Em que:

$\rho$  = reflectância medida ao nível do satélite, adimensional;

$\pi$  = constante "pi" (3,14159...);

$L\lambda$  = radiância espectral no detetor, em  $w.m^2 \text{ sr}.\mu\text{m}$ ;

$d$  = distância Terra-Sol, em unidades astronômicas;

$ESol\lambda$  = irradiância solar exoatmosférica média, em  $w.m^2 \text{ sr}.\mu\text{m}$ ;

$\theta_s$  = ângulo zenital solar, em graus.

Os valores utilizados para conversão das imagens radiância em imagens reflectância estão descritos conforme a Tabela 5.

Tabela 5. Valores utilizados de  $ESoI\lambda$  para conversão de radiância para reflectância.

<b>Banda TM</b>	<b><math>ESoI\lambda</math> em <math>W.m^2 sr.\mu m</math></b>
1	1983
2	1796
3	1536
4	1031
5	220
6	N/A*
7	83.44

N/A\* Não Aplicado.

FONTE: Chander; Markham; Helder, (2009).

### 3.3. CARACTERIZAÇÃO ESPECTRAL DOS ALVOS

De posse do receptor GPS *Garmin Etrex 30*, coletou-se as coordenadas em campo dos alvos de Floresta submontana, de cana-de-açúcar variedade SP 83-3250, RB 86-7515, de corpos hídricos e de solo exposto.

Posteriormente, as coordenadas geográficas destes alvos foram importadas para o aplicativo computacional ENVI 4.7 e realizou-se o ligamento das coordenadas, fechando os polígonos das regiões de interesse (ROI's), de cada alvo.

Os valores de reflectância para caracterização e discriminação dos alvos espectrais foram coletados por meio das imagens do sensor TM-5 na data de 10/11/11, por ter sido a imagem mais atual do sensor. Os locais das coletas compreenderam-se as áreas centrais com a finalidade de evitar viés e interferência de valores de reflectância de alvos indesejados.

A caracterização espectral da urbanização foi obtida por meio de três amostragens em locais aleatórios com construção no município de Itapemirim,

ES. Por apresentar diversos materiais na área urbana, provenientes de construção e pavimentação, o intuito das 3 amostragens foi discriminar a resposta espectral do perímetro urbano e analisar a semelhança entre a constituição dos alvos presente em locais diferentes na área urbana do município.

#### 3.4. AVALIAÇÃO TEMPORAL DOS ALVOS POR MEIO DO NDVI

Os valores de NDVI foram calculados pela diferença de reflectância entre a faixa de NIR (reflectância da faixa de infravermelho próximo) e a de VIS (reflectância da faixa do visível), em que essa diferença é normalizada pela divisão da soma das faixas de NIR e VIS (Equação 5).

$$\text{NDVI} = \frac{\text{IVP} - \text{VIS}}{\text{IVP} + \text{VIS}} \quad (\text{eq. 5})$$

Em que:

NDVI = índice de Vegetação da Diferença Normalizada;

IVP = reflectância da faixa do infravermelho próximo;

VIS = reflectância da faixa do visível.

A análise dos valores médios de NDVI dos alvos espectrais - floresta semidecidual, floresta submontana e da cana-de-açúcar variedade SP 83-3250, RB 86-7515 - foi realizada após a delimitação dos respectivos ROI's em cada alvo. Nas coletas espaciais dos NDVI's manteve-se distância das bordas das respectivas culturas, no intuito de não coletar valores de *pixels* de outra classe na imagem.

O NDVI apresentado por Rouse et al., (1973) é uma função matemática representada entre a banda espectral da região do infravermelho próximo e a banda da região do visível. Neste trabalho o NDVI foi utilizado como o indicador da dinâmica da cobertura vegetal e biomassa verde para alvos encontrados na

superfície terrestre do município de Itapemirim, referentes a uma série temporal de 1984 a 2011.

### 3.5. AQUISIÇÃO DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR – IAF

O Índice de Área Foliar (IAF) foi coletado pelo método indireto por meio do espectrorradiômetro não imageador LAI – 2000 (LI-COR, 1992). A calibração do aparelho e as coletas do IAF foram realizadas em 04/07/2012. A leitura do IAF foi obtida pela média dos 11 pontos coletados aleatoriamente em dia nublado, com radiação difusa, com o sensor oposto a direção do Sol e distante de 100 m das bordas da cultura e dos fragmentos florestais.

Foram medidos 11 pontos aleatórios nos seguintes alvos terrestres: Floresta Estacional semidecidual, Floresta Estacional semidecidual submontana, cana de açúcar com 2 e 12 meses.

A metodologia de aquisição dos pontos consistiu na coleta de 1 ponto acima do dossel da cana-de açúcar e dos fragmentos florestais e 10 pontos em locais diferentes, abaixo do dossel das mesmas. Entretanto, para a coleta do IAF da cana de açúcar foi realizado a leitura do AIF abaixo das folhas verdes e acima das palhas secas (Figura 9).

Utilizou-se a máscara de leitura de 45°, no intuito de minimização de erros por interferência de alvos contidos atrás do coletor (LI-COR, 1992).



Figura 9. Fotografia ilustrativa mostrando a técnica utilizada na coleta do índice de Área Foliar por meio do espectrorradiômetro LAI-2000.

### 3.6. ESTATÍSTICA NÃO-PARAMÉTRICA DE WILCOXON DOS DADOS DE NDVI

Realizou-se uma coleta aleatória da média dos valores de NDVI referente às 60 imagens temporais. As unidades amostrais foram: floresta estacional submontana, floresta estacional semidecidual e cana-de-açúcar variedades SP 83-3250 e RB 86-7515.

Tomou-se como critério a aquisição dos pontos distantes da borda das florestas em todas as imagens da série temporal compreendida entre 1984 a 2011. Por meio dos valores obtidos pela média do NDVI amostrado, gerou-se perfis espectrais do NDVI de cada vegetação ao longo da série temporal.

A comparação entre os valores médios de NDVI para a vegetação foi realizada pelo teste estatístico não-paramétrico pareado de Wilcoxon. Optou-se por esse teste por motivo da localização distinta entre os alvos, com altitudes diferentes e espécies situadas em lugares diferentes. Outro fator motivador foi que não houve o conhecimento dos nutrientes do solo, adubação, data do plantio e como foi realizado o plantio.

Realizou-se um ranqueamento das amostras para calcular a diferença entre os valores de NDVI para a vegetação, com P-valor a 1% para avaliar se existiram diferenças significativas entre as médias dos valores de NDVI.

Os procedimentos metodológicos realizados para análise espectral dos alvos estão sintetizados no fluxograma da Figura 10.

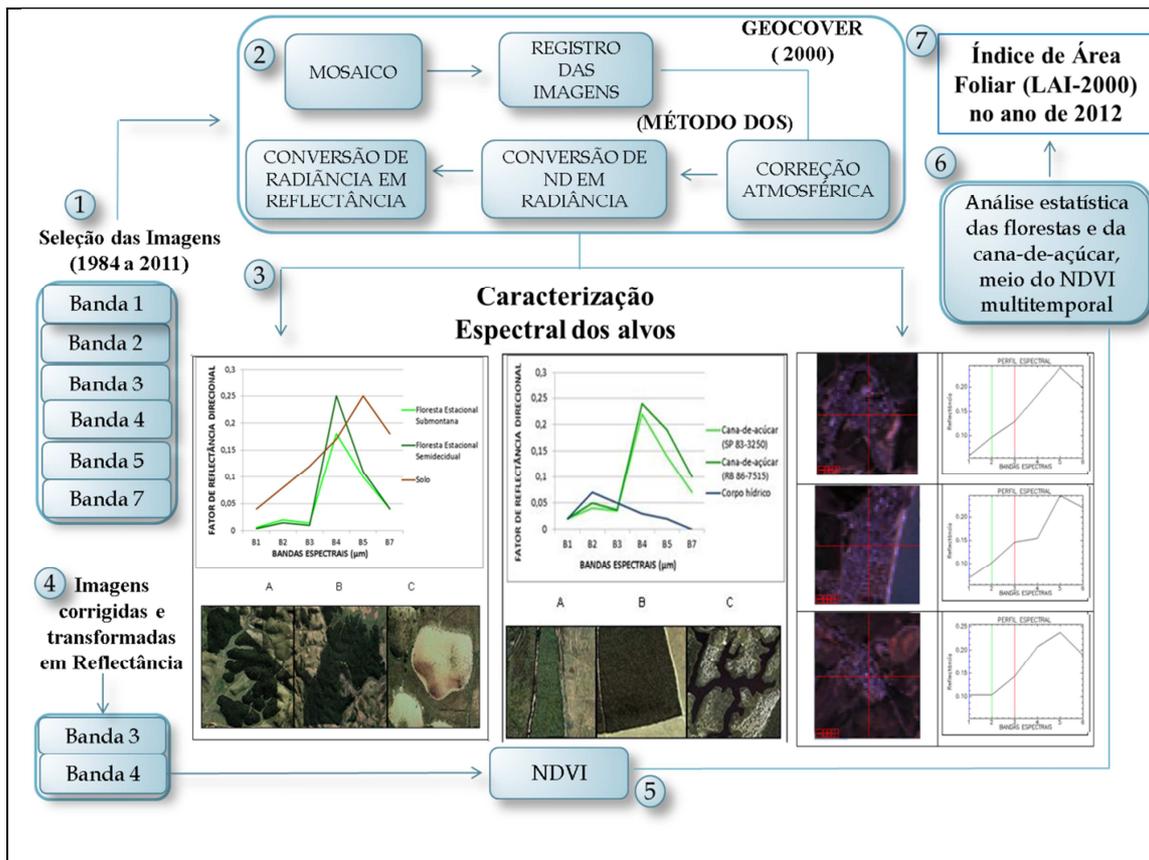


Figura 10. Fluxograma metodológico representativo das etapas realizadas para desenvolvimento do estudo.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. REGISTRO DAS IMAGENS

As 60 imagens do sensor TM apresentaram precisão superior ao limite de erro aceitável para analisar mudanças em uma vegetação. Em cada imagem registrada obteve-se um erro médio quadrático (RMS) menor que 0,5 *pixels* (15 m) de deslocamento. A Figura 11 representa a precisão no registro da banda espectral do infravermelho próximo da área de estudo, tendo como referência a imagem *GeoCover 2000*.

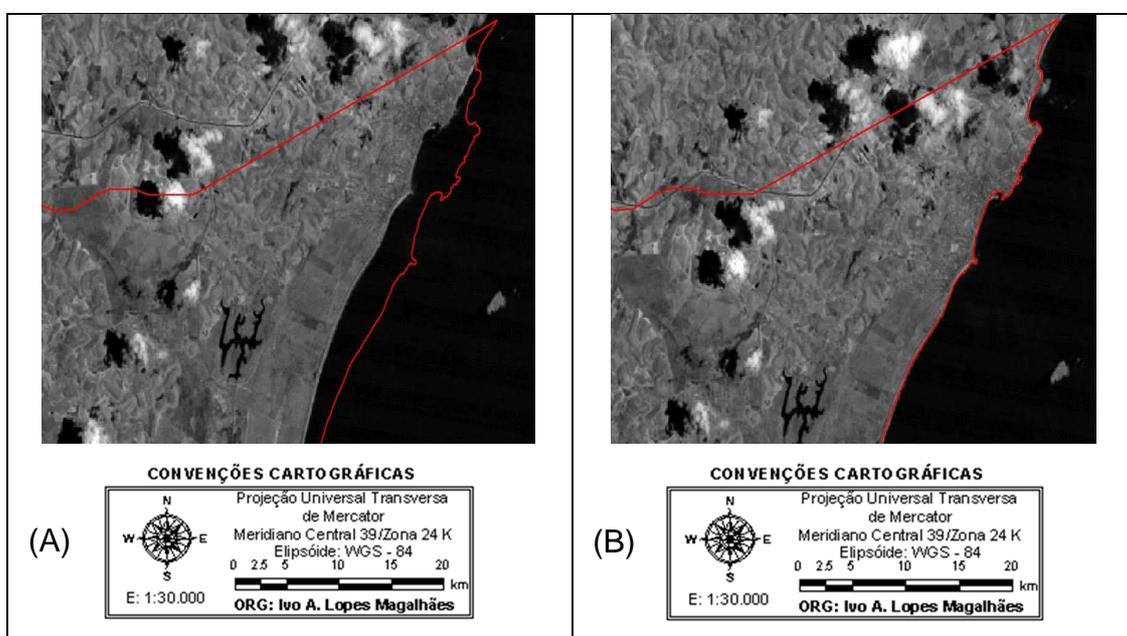


Figura 11. A) Área representativa do município de Itapemirim, ES antes do registro, e B) após o registro por meio da imagem de referência *GeoCover 2000*.

No registro das imagens multitemporais, obteve-se o menor RMS na imagem do período de 02/11/2009 com 0,21 *pixels* (6,3 m) de deslocamento.

O maior RMS ocorreu na imagem que apresentou a maior presença de nuvens e sombras, motivos estes que dificultaram a aquisição dos pontos de controle, consequentemente interferindo na visualização alvos específicos como rios, telhados e cruzamentos de estradas.

Contrastando ao menor RMS, obteve-se na imagem com data de 10/11/2011 o maior RMS da série multitemporal, com valor de 0,46 *pixels* (13,8 m) de deslocamento.

Dai e Khorram (1998) corroboram com este estudo ao retratar que o RMS menor que 0,5 *pixels* é aceitável para análise da vegetação em datas distintas. Segundo estes mesmos autores, no estudo de mudanças da vegetação um RMS menor de 0,5 possibilita uma precisão de 90% na detecção de mudanças por meio de séries de imagens multitemporais.

#### 4.2. CORREÇÃO ATMOSFÉRICA

Ocorreu diferença entre os valores digitais de radiância para cada banda espectral após a correção atmosférica pelo método DOS.

Observa-se pela Figura 12, que a presença de *pixels* espúrios em cada faixa espectral resultou na alteração dos seus valores digitais, sendo assim, contribui para modificação do início da localização do histograma na reta do eixo X, atribuindo valores digitais diferentes para cada alvo na imagem.

Após a subtração dos *pixels* espúrios, os valores digitais corrigidos foram reamostrados, gerando uma nova imagem corrigida com um novo histograma com valores iniciais partindo do valor digital real no eixo X.

A presença de *pixels* espúrios nas imagens, causado pelos efeitos atmosféricos como poeiras, aerossóis e partículas suspensas entre o sensor e a superfície de captura resultou no acréscimo extra do valor de radiância na imagem, aumentando visualmente a sua opacidade.

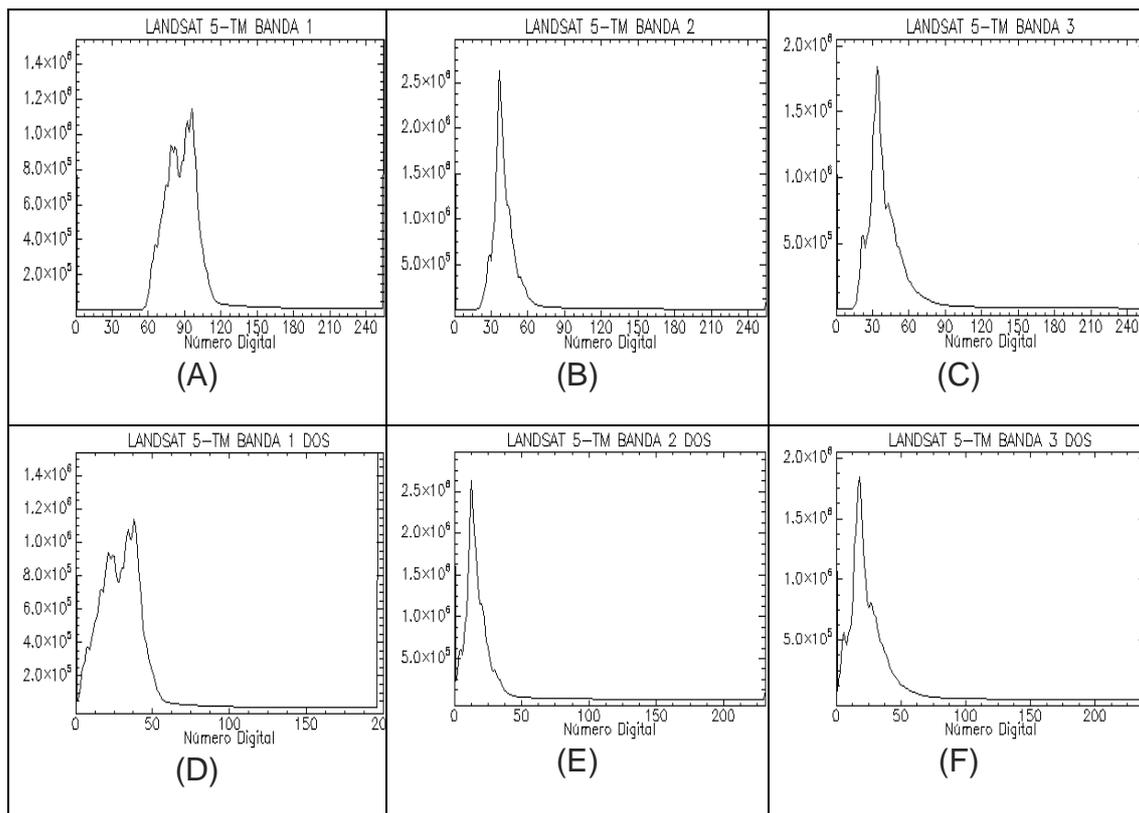


Figura 12. Histogramas de frequência da imagem (10/11/2011) antes da correção atmosférica, bandas 1(A), 2(B) e 3(C), e após a correção atmosférica, bandas 1(D), 2(E) e 3(F).

Nas cenas os efeitos atmosféricos contribuíram para aumento do ND, no entanto, não foi constatado efeito, contrário de diminuição dos números digitais nas bandas espectrais.

Contudo, ressalta-se que de maneira geral, os valores subtraídos pelo método DOS, referentes aos pixels espúrios foram decaindo em relação as faixas espectrais do azul (B) ao Infravermelho próximo (IVP), motivo este está diretamente relacionado ao aumento do comprimento das bandas espectrais.

Sanches et al., (2011) ao compararem 3 métodos de correção atmosférica relataram a diminuição dos valores subtraídos em cada banda espectral, proveniente ao aumento do comprimento de ondas.

Entretanto, diferente do trabalho de Sanches et al., (2011) neste estudo a correção dos efeitos atmosféricos foram realizados nas faixas espectrais do visível ao Infravermelho Próximo. Neste estudo, não foi constatado presença de pixels espúrios em faixas espectrais com comprimento de ondas superiores ao IVP.

Ao analisar os valores de radiância da floresta estacional semidecidual, observou-se que na região do azul, os valores situaram em torno de 58 a 69 ND, porém, após a correção a mesma floresta apresentou valores entre 8 e 12 ND.

Já para a cana-de-açúcar ocorreu valores também discrepantes antes de correção atmosférica, onde na região do azul os valores situaram-se em torno de 64 a 78 ND e após a correção, estes valores permaneceram entre 8 a 20 ND. Na região do visível foram mensurados valores discrepantes de ND do para os dois alvos em análise (Figura 13).

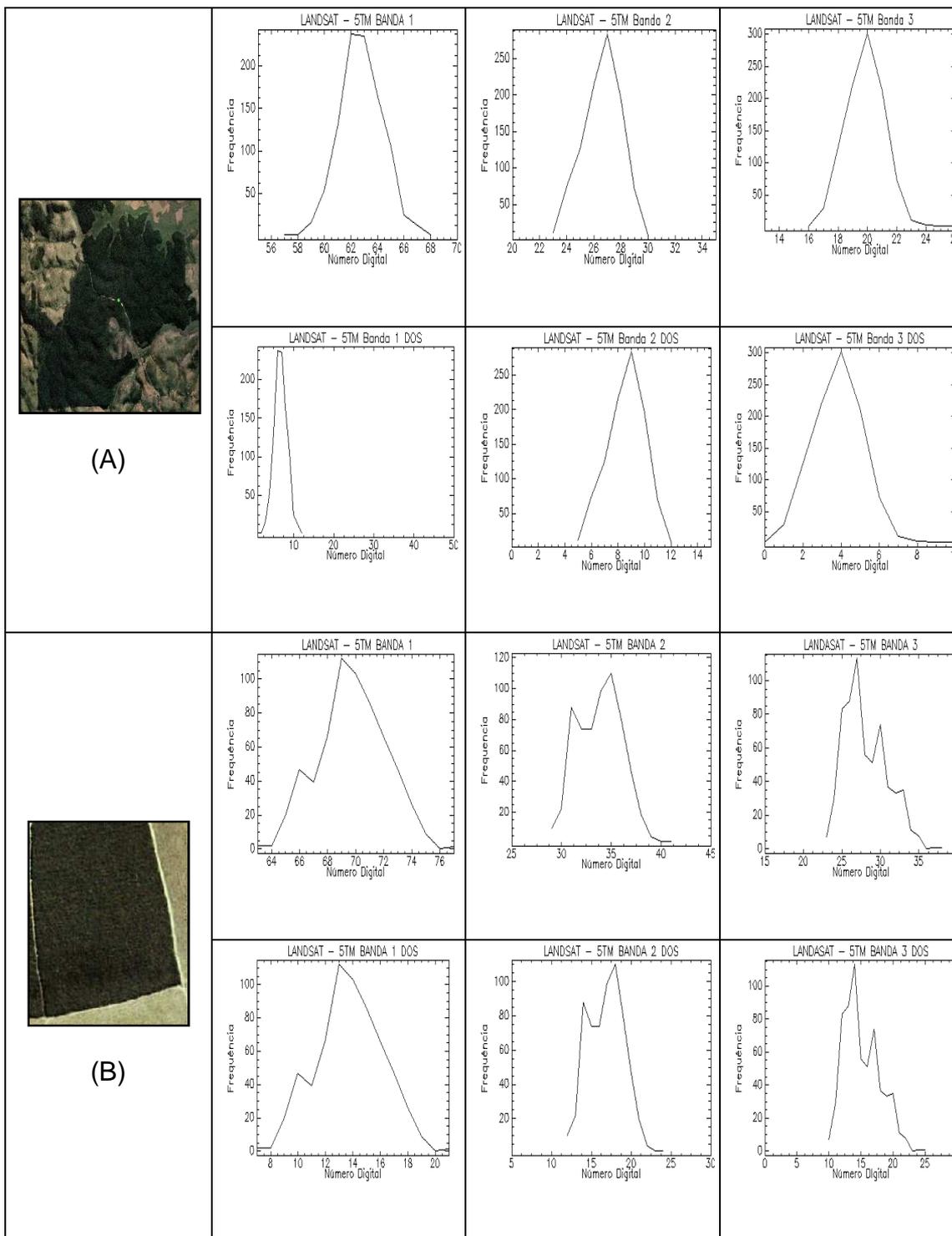


Figura 13. Histogramas de Frequência dos alvos: (A) Floresta Estacional Semidecidual e (B) Cana de açúcar variedade SP 83-3250 antes e após a correção pelo método DOS.

O maior valor de ND subtraído na série multitemporal ocorreu na imagem com data de 12/09/1984, em que, na faixa do azul foi subtraído 66 ND,

na faixa do verde 23 ND, na faixa do vermelho banda 13 ND e na faixa do Infravermelho Próximo 8 ND. Essa mesma imagem apresentou o maior ângulo zenital com 58,98°.

Assim como nessa imagem, os maiores valores de ND subtraídos ocorreram nas imagens com alto valor de angulação zenital, devido a maior distância a ser percorrida até as camadas retroespalhadoras na atmosfera.

Chavez (1988) relacionou os valores dos números digitais subtraídos em cada faixa espectral em relação as condições atmosféricas imageada. Dessa maneira, também obteve-se neste trabalho 7 imagens com características de atmosfera limpa, 53 imagens com condições muito limpas e nenhuma imagem com condições atmosféricas em estado moderado. Os valores subtraídos em cada banda espectral encontram-se disponíveis no Apêndice A.

Gurtler; Luiz; Epiphanyo, (2003), também utilizaram o método DOS para corrigir os efeitos atmosféricos em imagens Landsat multitemporais. Neste estudo, os autores subtraíram valores de números digitais nas Bandas 1, 2 e 3 semelhantes aos subtraídos para este estudo na região de Itapemirim, ES.

### 4.3. CARACTERIZAÇÃO ESPECTRAL DOS ALVOS

#### 4.3.1. Resposta Espectral da Vegetação

Obteve-se um perfil espectral para cada alvo analisado (Figura 14). Visualmente os perfis espectrais para a vegetação apresentaram valores semelhantes na região do visível, contudo, na região do infravermelho apresentaram maior diferença.

As duas florestas apresentaram comportamento espectral típico de uma vegetação sadia, com predomínio de baixos valores de reflectância na faixa espectral do azul e vermelho, média reflectância no canal do verde e uma alta reflectância no canal do infravermelho próximo.

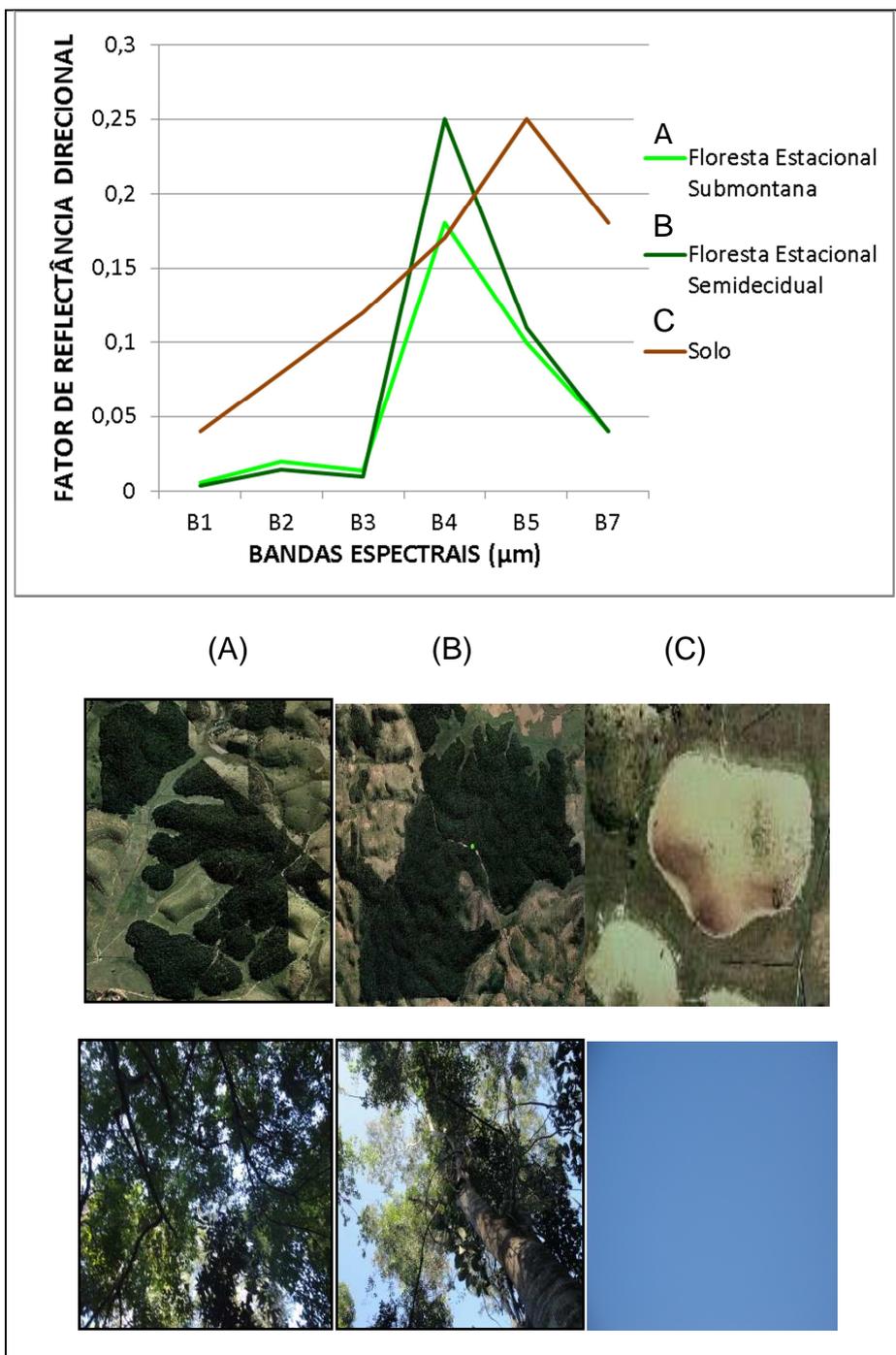


Figura 14. Reflectância espectral, paisagem e cobertura vegetal representativa de diferentes alvos no município de Itapemirim, ES: A) Floresta estacional semidecidual; B) Floresta estacional submontana; C) Solo.

Curvas espectrais semelhantes na região do visível, com acentuado valor na região do IVP também foi obtido por Breunig; Galvão; Formaggio (2011), ao caracterizar espectralmente a vegetação nativa do Parque Estadual do Turvo e da Terra Indígena do Guarita, RS com produto MODIS.

Ainda analisando a Figura 14 pode-se inferir que a floresta estacional semidecidual apresentou maior absorção na região do VIS em relação a floresta estacional submontana, com valores de 0,004 na região do azul (0,4 a 0,5  $\mu\text{m}$ ) e 0,01 na região do vermelho (0,6 a 0,7  $\mu\text{m}$ ).

Por esses valores pode-se afirmar que há uma maior presença de pigmentos fotossintetizantes e material fotossinteticamente ativo na floresta semidecidual do que na floresta submontana. Jensen, (2011) atribui que a clorofila-a da vegetação possui máxima reflectância em torno de 0,5 a 0,6  $\mu\text{m}$  (verde), forte absorção entre 0,4 e 0,5  $\mu\text{m}$  (azul) e 0,63 a 0,7  $\mu\text{m}$  (vermelho).

A floresta estacional semidecidual e a floresta submontana com a presença de espécies como: *Joannesia principes* (Boleira), *Lecythis pisonis* (Sapucaia), *Astronium graveolens* (Aderne), *Crataeva tapia* (Tapiá) e *Ficus* spp (Gameleira), após a aferição do índice de Área Foliar na data de 28/04/2012 apresentou IAF de 3,2  $\text{m} \cdot \text{m}^{-2}$  com desvio-padrão de 0,28  $\text{m} \cdot \text{m}^{-2}$  e 3,98  $\text{m} \cdot \text{m}^{-2}$  com desvio-padrão de 0,22  $\text{m} \cdot \text{m}^{-2}$ .

Os valores de IAF, comprovaram que os dosséis das duas florestas apresentaram-se bastante densos com pouca abertura entre as copas das árvores e alta reflectância no canal do verde, 0,5 a 6  $\mu\text{m}$ , sendo o maior valor de reflectância no VIS 0,02. Este valor retrata o aspecto visual da cor verde, como cor predominante na vegetação em estudo.

Pela análise dos perfis espectrais infere-se que a alta absorção na região do vermelho é reflexo de uma vegetação com espécies densas com pouco espaçamento entre as copas, comprovando que não há presença de solo exposto por desmatamento ou por perturbação florestal. Ponzoni; Galvão; Epiphanyo (2011) atribuíram o espaçamento e estratificação dos dosséis aos baixos valores de reflectância na região do IVP ao quantificar áreas florestadas no ambiente amazônico.

Na banda do Infravermelho Próximo (0,7 a 1,5  $\mu\text{m}$ ) foi mais distinguível a diferença entre as respostas espectrais, apresentando-se como melhor região para discriminação da vegetação em análise. Nesta região a floresta submontana apresentou menor reflectância, com 0,18, em relação à floresta estacional semidecidual com 0,25.

Pelos valores infere-se que a floresta semidecidual apresenta espécies com presença de folhas mais grossas, por conseguinte, diminuindo a transmitância e aumentando a reflectância da REM. A floresta estacional semidecidual possui espécies que apresentam folhas com maiores estruturas lacunares internas em relação à floresta submontana. Pois, de maneira geral, Ponzoni e Shimabukuro, (2010) advertem que quanto mais espaçoso for a composição interna da folha, maior será o espalhamento interno da radiação incidente, resultando em uma maior reflectância.

Infere-se que a diferença das curvas valores na região do IVP também pode ser atribuída à quantidade de camadas de folhas presente entre o dossel e o solo. Como a floresta estacional semidecidual apresentou maior reflectância no IVP, consequentemente pode ser caracterizado como uma floresta mais densa do que a floresta submontana. Entretanto, comprova-se que as duas florestas apresentaram a folhagem vistosa no ato do imageamento pelo sensor TM.

Silva et al., (2012) analisaram os valores de reflectância das folhas de espécies de *Eucalyptus grandis* no município de Santa Maria, RS. Os autores constataram que maior valor de reflectância na região do VIS está relacionado a clorofila. Outro resultado também obtido no estudo foi que ocorreu diferença significativa nos valores de reflectância para as folhas das árvores que se localizaram em diferentes posições geográficas no experimento.

Já Affonso; Valeriano; Batista (2005) ao caracterizarem espectralmente diferentes espécies florestais provindas da floresta Amazônica por meio de dados do Sensor ETM+, constataram que a maior distinção dos valores de reflectância entre os vegetais também ocorreram na região do IVP. Resultado semelhante ocorreu neste estudo onde as curvas espectrais apresentaram as maiores diferenças na região do IVP, sendo assim mais recomendadas para distinção da vegetação.

#### **4.3.2 Resposta Espectral do solo**

As amostras de solo exposto, analisadas por meio da imagem orbital, apresentaram baixo valor de reflectância na região espectral do azul e verde,

contudo, foi mensurado na região do vermelho um alto albedo de 0,19. A baixa reflectância na região do VIS é característica de solo argiloso com grandes partículas constituintes e maior espaçamento entre seus poros. De acordo com Nanni (2001), os solos mais argilosos apresentam menor reflectância ao comparar com solos mais arenosos, dessa maneira, pelo perfil espectral obtido do solo da área em estudo pode-se atribuir a essa classe.

Segundo Meneses e Madeira Netto (2001), a assinatura espectral do solo deriva dos seus elementos constituintes, matéria orgânica, elementos químicos e granulometria. No entanto, o solo em análise neste estudo apresentou alta reflectância na região do vermelho, caracterizando-o pela sua coloração avermelhado.

Pode-se inferir que os valores médios de píxels de alvos, como, vegetação, presentes na camada superficial do solo podem ter contribuído para os médios valores mensurados na área em estudo. Demattê; Toledo; Simões, (2004) sustentam a importância de considerar outras fontes de variação para análise espectral do solo, tais como: a fonte de iluminação, a heterogeneidade dos alvos, e a unidade de geometria angular de visada e a iluminação.

Batista (2002) corrobora com este estudo ao obter curvas espectrais do solo. Na ocasião em estudo, o autor analisou a reflectância do Latossolo Vermelho Áplico na região de São José dos Campos, SP, utilizando dados do satélite Landsat 7 e análise de comportamento espectral em laboratório.

Genú (2006), ao analisar amostragens de solo Latossolo Vermelho Distrófico por meio do sensor orbital TM, também obteve um perfil espectral bem semelhante ao mensurado na região do visível.

#### **4.3.3 Resposta Espectral da Área Urbana**

A área urbana do município de Itapemirim, ES apresentou as respostas espectrais dos alvos: concreto, telha de barro, asfalto, cobertura de alumínio, tijolos e vegetação.

Moreira; Galvão; Castro, (2007) atribuíram as diferentes respostas espectrais na área urbana, aos seus constituintes que são agregados com o

tempo como: proliferação de fungos, vegetação, água das chuvas, e o desgaste da superfície.

A presença de concreto e telhas de barro contribuíram para o alto valor de reflectância na região do VIS, aumentando a sua reflectância em função do comprimento de onda. Embora as três curvas espectrais referentes a regiões urbanas distintas não sejam idênticas, comprovou-se que toda a área urbana no município apresentou altos valores de reflectância na região do visível (Figura 15).

Justifica-se a alta reflectância na região do vermelho, pela expressiva presença de residências construídas de tijolo com telhado de barro que apresentam uma pigmentação avermelhada. No entanto, outro fator que pode ter contribuído para o alto valor da reflectância na banda do vermelho, foi influência do solo exposto, ruas e calçadas não pavimentadas que se encontram em diversas partes da área urbana.

Na região do infravermelho próximo a alta reflectância pode estar relacionada com a composição estrutural do material do material utilizado na construção.

Souza e Kux (2005) realizaram um estudo da resposta espectral de diversos objetos presentes na urbanização da cidade de São José dos Campos, SP por meio de imagens CBERS. Os autores encontraram altos valores espectrais para região do vermelho, contudo os valores encontrados nas outras regiões do VIS foram diferentes aos encontrados neste trabalho.

Lombardo e Machado (1996) afirmam que as áreas urbanas não podem ser caracterizadas por um comportamento espectral padrão, pois apresentam enorme heterogeneidade de alvos com distintas características físico-químicas.

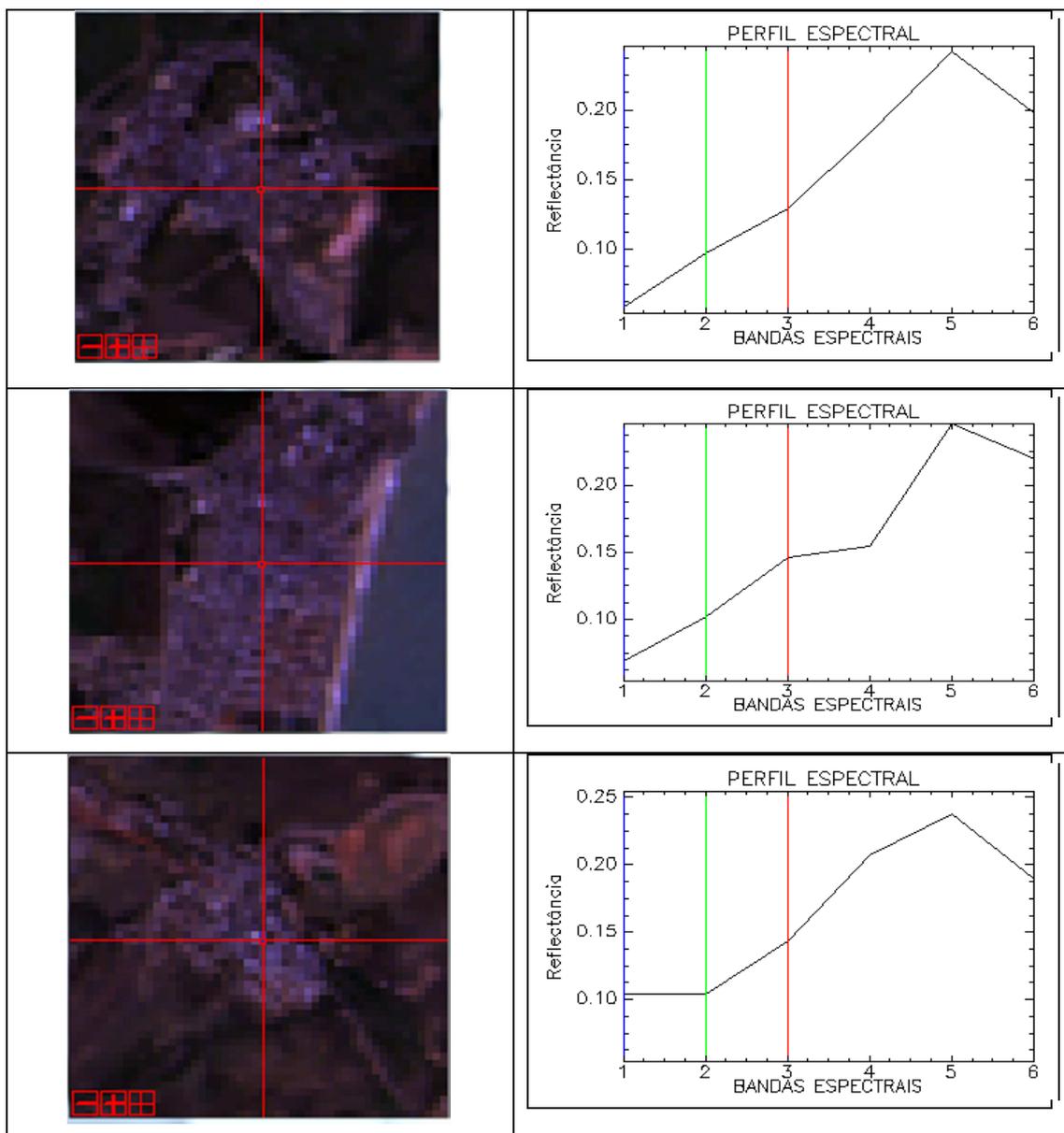


Figura 15. Espectros de reflectância de três localizações diferentes na área urbana do município de Itapemirim, ES.

#### 4.3.4. Resposta Espectral da Cana-de-Açúcar

Nas aferições do IAF para cana de açúcar com 12 meses, foi mensurado em  $2,40 \text{ m.m}^{-2}$  com desvio-padrão de  $0,20 \text{ m.m}^{-2}$ . Já para a cana-de-açúcar com 2 meses de plantio foi apresentado um IAF de  $0,7 \text{ m.m}^{-2}$  com desvio-padrão de  $0,22 \text{ m.m}^{-2}$ .

A assinatura espectral da cana-de-açúcar, variedade SP 83-3250 apresentou o maior valor de reflectância, 0,045 (Figura 16) na região do visível,

esse valor encontra-se na região do verde, caracterizando uma cultura sadia, livre de praga e doenças.

A alta absorção na região do vermelho é explicada pela presença de elementos fotossintetizantes, ocorrendo nas duas variedades. Na região do verde (0,5 a 0,6  $\mu\text{m}$ ) a variedade SP 83-3250 apresentou menor reflectância do que na variedade RB 86-7515, caracterizando uma maior quantidade de palha seca da variedade, pois a palha pode interferir na reflectância nesta região.

Valores espectrais semelhantes para a cana-de-açúcar foi encontrado no estudo de Fortes (2003). O autor utilizou dados do sensor ETM+ para discriminar 5 variedades diferentes de cana-de-açúcar, no entanto, foi encontrado pouca diferença da resposta espectral na região do visível. Entre os comprimentos de onda obtidos nessa região, evidenciou-se maior reflectância na região do verde.

As variedades de cana-de-açúcar RB 86-7515 e SP 83-3250 apresentaram respostas espectrais semelhantes, com 0,05 na região do vermelho e 0,24 na região do IVP. A melhor distinção ocorreu na região do IVP.

A maior reflectância na região do IVP foi obtida pela variedade RB 86-7515. Como as duas curvas espectrais para as variedades foram distintas nesta região, a razão para a menor absorção no IVP pode estar relacionado ao espaçamento do plantio, menor presença de folhas verdes e camadas de folhas.

Embasando-se nas curvas espectrais infere-se que as baixas respostas espectrais na região do azul, vermelho, e alta no IVP caracterizam que as duas variedades de cana-de-açúcar apresentavam-se em estágio de crescimento, com grande quantidade de pigmentos fotossintetizantes ativos nas folhas.

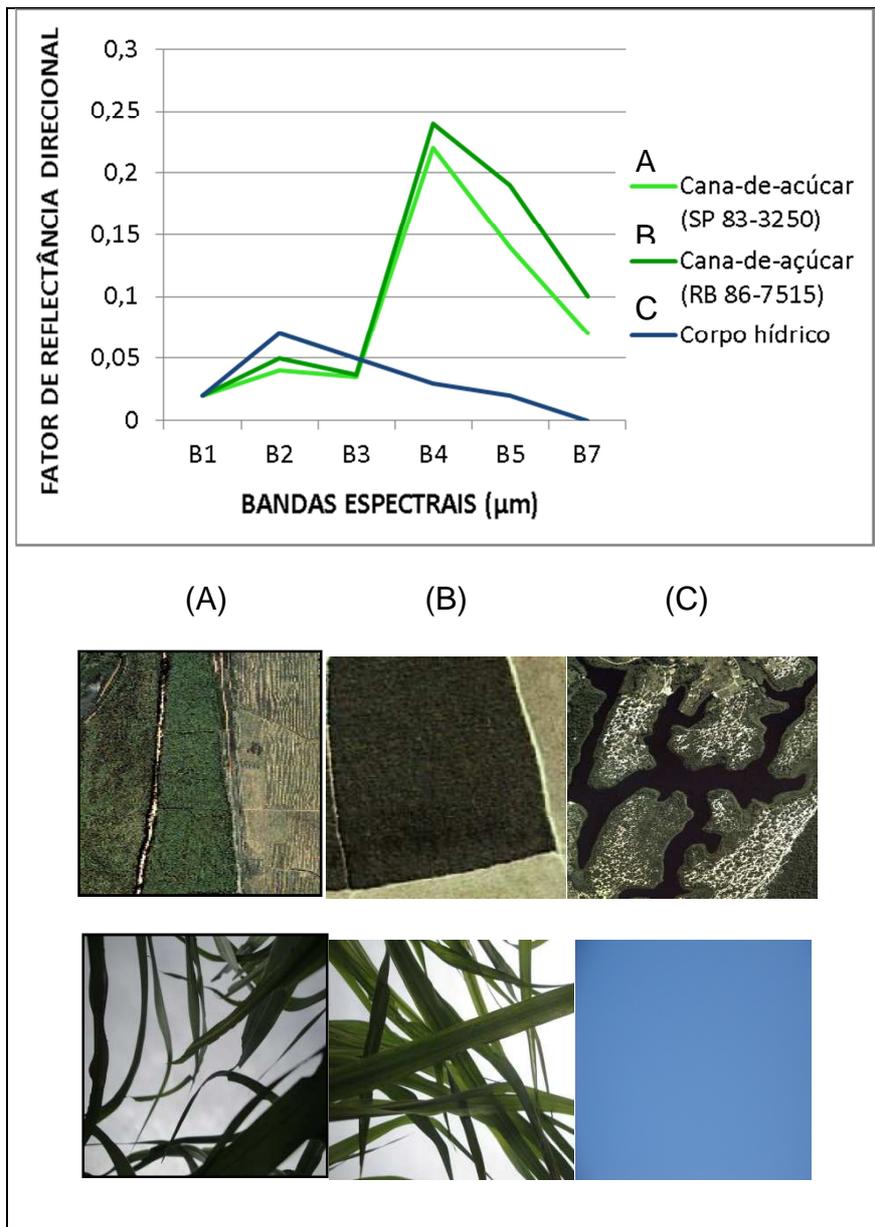


Figura 16. Reflectância espectral média, paisagem e cobertura vegetal representativa da cana-de-açúcar variedade SP 83-3250 e RB 86-7515 e corpo hídrico em Itapemirim, ES: (A) Variedade SP 83-3250; (B) Variedade RB 86-7515 e (C) Corpo hídrico.

#### 4.3.5 Resposta Espectral do Corpo Hídrico

Para o corpo hídrico analisado encontrou-se uma alta absorção de energia na região do azul. A curva espectral obtida pode ter ocorrido em função da presença de fitoplânctons e algas que apresentam clorofila-a, responsáveis

pela absorção da energia eletromagnética na faixa do azul, contribuindo para baixa reflectância.

O perfil espectral obtido para o corpo hídrico não apresentou uma curva típica de uma água pura, apresentando uma elevada resposta espectral nas faixas do verde e vermelho. Para que este corpo hídrico apresentasse uma curva espectral típica de uma água pura, os valores de reflectância na região do azul apresentariam um valor baixo, com tendência a diminuição da reflectância em função do aumento do comprimento de onda.

Encontrou-se um elevado pico de reflectância na região do verde 0,07. Esse valor pode ser explicado pela presença de elementos fotossintetizantes, algas com pigmentos e vegetação acima da água e típicas de corpos hídricos em eutrofização (Figura 17). O menor valor de reflectância foi encontrado na região do vermelho 0,05 devido à presença de sólidos em suspensão provenientes de carreamento de partícula de solo.

Como a imagem foi obtida no verão, em período chuvoso, a presença de sólidos em suspensão carregados pela água de chuva pode ter proporcionado o aumento da turbidez e conseqüentemente resultado em médios valores de albedo na faixa do vermelho.

Na região do IVP o valor de reflectância apresentou uma diminuição no valor, sendo mensurado em 0,03. Esse baixo valor de reflectância pode estar relacionado à presença de matéria orgânica dissolvida na água.



Figura 17. Fotografia ilustrativa de um corpo hídrico com presença de sedimentos e macrófitas aquáticas.

Ferreira e Filho (2009) avaliaram a resposta espectral da água *in loco* em três sub-bacias no município de Santa Maria, RS por meio de espectrorradiometria de campo. Nessa pesquisa os resultados atípicos das curvas espectrais obtidos na região do verde foram atribuídos à presença de sólidos em suspensão e pigmentos fotossintetizantes.

Watanabe et al., (2010) analisaram a resposta espectral da água em diversos trechos em um reservatório de água em Presidente Epitácio, SP. Os autores coletaram 8 amostras em campo com espectrorradiômetro com comprimentos de ondas similares aos obtido por imagens orbitais. A alta reflectância na faixa do verde foi atribuída à presença de macrófitas submersas na água.

As respostas espectrais dos alvos analisados em Itapemirim, ES estão demonstradas conforme a Tabela 6.

Tabela 6. Valores de reflectância bidirecional para os alvos analisados.

Data da Coleta	Bandas Espectrais	Floresta Estacional Submontana	Floresta Estacional Semidecidual	Área Urbana	Solo	Água	Cana RB 86-7515	Cana Sp 83-3250
10/11/2011	TM 1	0,006	0,004	0,063	0,04	0,02	0,02	0,02
10/11/2011	TM 2	0,02	0,015	0,09	0,08	0,07	0,05	0,04
10/11/2011	TM 3	0,014	0,01	0,13	0,12	0,05	0,037	0,035
10/11/2011	IVP	0,18	0,25	0,16	0,17	0,03	0,24	0,22
10/11/2011	IVM	0,1	0,11	0,25	0,25	0,02	0,19	0,14
10/11/2011	IVD	0,04	0,04	0,21	0,18	0	0,1	0,17

#### 4.4. ANÁLISE DA VEGETAÇÃO POR MEIO DO NDVI MULTITEMPORAL

A Figura 18 representa as datas onde foi encontrado o maior e o menor valor de NDVI para as florestas. O maior valor de NDVI foi 0,92, sendo mensurado na floresta estacional submontana na imagem com data de 08/02/2010. A razão para este alto valor é justificada pela presença de árvores de grande porte com dossel bastante denso. Outro fator determinante foi o

período da análise do NDVI, pois a vegetação não situava no período semidecíduo.

A floresta estacional semidecidual apresentou o menor NDVI com valor de 0,43 na imagem com data de 13/05/1992. Embora constatou-se um valor atípico de NDVI para vegetação densa, não foi encontrado sinal de desmatamento do bioma. Entretanto, os baixos valores de NDVI podem ser explicados pela presença intensa do fenômeno El Niño, pois este fenômeno proporcionou um período brusco de estiagem para os anos de 1991/1992 no Estado do Espírito Santo (CEPTEC, 2012).

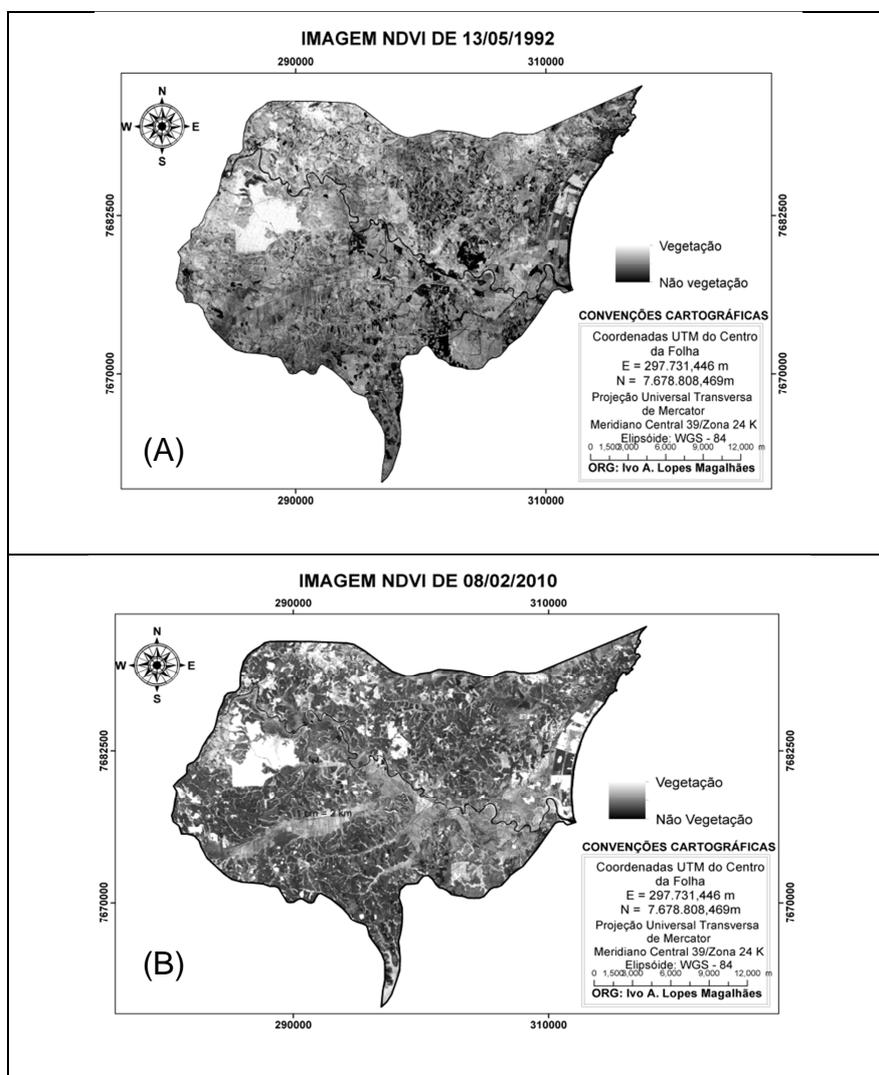


Figura 18. (A) Imagem NDVI de 13/05/1992 referente ao menor valor e a imagem (B) 08/02/2012 referente ao menor valor para a vegetação.

Gurgel; Ferreira; Luiz (2003) corroboram com este estudo, ao encontrar valores baixos de NDVI para o bioma Mata Atlântica na mesma região deste estudo para os anos de 1991 e 1992 por meio de Imagens MODIS.

Nessa mesma pesquisa, estes autores analisaram a variabilidade do NDVI no Brasil. Eles constataram que na região do Estado do Espírito Santo os anos de ocorrência do fenômeno El Niño (1983, 1987, 1991 e 1992) apresentaram um período seco muito rigoroso, principalmente no ano de 1992, onde os valores de NDVI para a vegetação apresentaram valores bem abaixo da média registrada. Entretanto, os autores também encontraram como resultado a ocorrência de baixos valores de NDVI no ano de 1988, diferente deste trabalho em que foram encontradas imagens NDVI com médios valores de 0,70, no ano de 1988.

A diferença dos valores de NDVI obtidos entre os dois trabalhos no ano de 1988 pode estar relacionada ao fator de escala adotada e a resolução espacial do satélite MODIS. Visto que na pesquisa de Gurgel; Ferreira; Luiz (2003) o objetivo era analisar extensas áreas, com baixa resolução espacial, neste trabalho utilizou-se um sensor de média resolução que apresenta uma maior possibilidade de analisar áreas com maior detalhe espacial.

Os valores médios de NDVI da série multitemporal, correspondentes aos anos de 1984 a 2011 encontram-se no Apêndice B do trabalho.

A Figura 19 representa o gráfico do comportamento multitemporal do NDVI para os dois fragmentos florestais analisados. Os perfis do NDVI para as duas florestas apresentaram comportamento praticamente semelhante, com valores mais discrepantes nas imagens com data de 13/05/1992 e 06/03/2002. Por meio do resultado do teste de Wilcoxon, a 1%, constatou-se que não houve contrastes entre os valores médios de NDVI. Dessa maneira, aceita-se a hipótese de que as curvas espectrais dos NDVI's para as duas florestas apresentam igualdade.

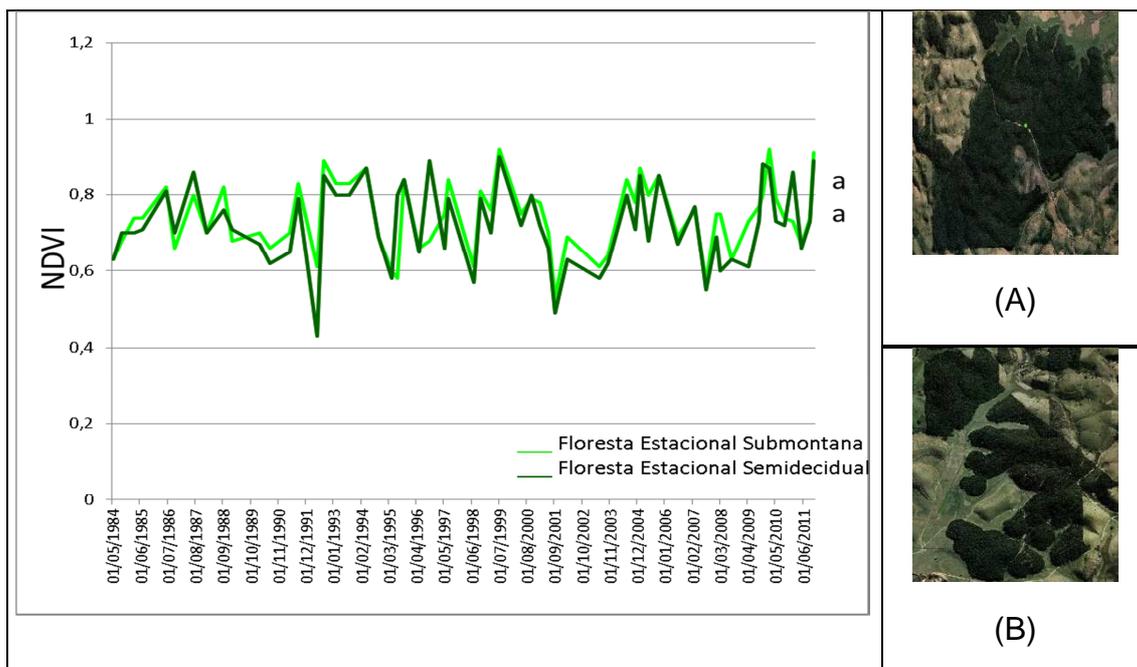


Figura 19. Perfil temporal dos valores médios de NDVI analisados entre o período de 1984 a 2011 para a floresta estacional semidecidual (A) e floresta submontana (B).

\* Valores médios de NDVI seguidos por letras iguais, não se diferem estatisticamente entre si pelo teste de Wilcoxon ( $p > 0,01$ ).

#### 4.5. ANÁLISE DA CANA-DE-AÇÚCAR POR MEIO DO NDVI MULTITEMPORAL

Na imagem com data de 14/07/1997 foi mensurado o maior valor de NDVI, 0,83, para a cana-de-açúcar da variedade SP 83-3250. Já para a variedade RB 86-7515 o maior valor foi de 0,75, na imagem com data de 20/07/1999. Por meio desses dois altos valores, infere-se que nessas respectivas datas as duas variedades de cana-de-açúcar estavam no pico máximo de crescimento vegetativo da cultura, no seu estágio ideal para colheita.

Para a variedade SP 83-3250 o menor valor mensurado de NDVI foi de -0,27. Na variedade RB 86-7515 foi bastante semelhante à outra variedade, com valor de -0,14. No entanto, esses valores podem ser atribuídos ao período de início do crescimento e rebrota da cana-de-açúcar.

Nos talhões de cana-de-açúcar obtiveram-se valores negativos, contudo, esses valores podem ser atribuídos à inundação nos talhões e não

tipicamente correspondentes à resposta espectral da cana-de-açúcar. A razão para explicação dos valores negativos de NDVI pode ser explicada pela aquisição da imagem após a irrigação da cultura, presença de solo exposto com alto teor de umidade ou por razão de área inundada após o período chuvoso. A Figura 20 representa uma área úmida no município de Itapemirim, ES após o período chuvoso.



Figura 20. Fotografia ilustrativa de áreas inundadas que apresentaram valores negativos para o NDVI após período chuvoso no município de Itapemirim, ES.

Camilo et al., (2010) realizaram um estudo sobre a resposta espectral da cana-de-açúcar irrigada no município de Quixeré, CE, por meio do índice NDVI advindos de imagens do sensor TM. Os autores obtiveram como resultados valores médios de NDVI aproximados aos obtidos neste trabalho, entretanto, também encontraram valores negativos em área com cana-de-açúcar e atribuíram estes valores às áreas irrigadas por pivô central e sistema por aspersão.

Lira et al., (2008) corroboram com este estudo, ao avaliar o comportamento espectral de uma área no semi-árido Nordeste de cana-de-açúcar irrigada por meio de imagens Landsat - 5TM. Os autores atribuíram os valores negativos de NDVI em solos úmidos, ou nas áreas com cana já colhida e com solo irrigado em preparação para o cultivo.

A Figura 21 representa o comportamento temporal do NDVI da cana-de-açúcar Variedades SP 83-3250 safra de 1984/2011 e RB86-7515 safra de 1986/2011. Conforme observado pelo gráfico na imagem de 30/06/1986 a Variedade RB86-7515 já apresentou um NDVI alto de 0,55, comprovando que a cultura foi plantada no ano anterior a aquisição da primeira imagem da série temporal. No entanto, o menor valor de NDVI foi -0,12 nos talhões, já o maior valor foi de 0,75 no talhão 1, e 0,7 no talhão 2, da mesma variedade.

Os perfis multitemporais de NDVI para os dois talhões da Variedade RB 86-7515 praticamente se sobrepuseram, evidenciando-se que os talhões foram manejados de maneira semelhante, iniciando o plantio e a colheita nos dois talhões no mesmo período, entre 12 a 18 meses.

Nos dois talhões não foram constatados períodos de descanso anuais para o solo, pois o NDVI da cana não apresentou valores baixos por período prolongado, assim não caracterizando o manejo da cultura nos talhões e o preparo do solo.

Em geral as curvas espectrais dos dois talhões da variedade RB86-7515 assemelharam-se durante a série temporal, constatando que não houve diferença significativa entres os valores médios de NDVI, pelo teste de Wilcoxon a 1% de significância estatística.

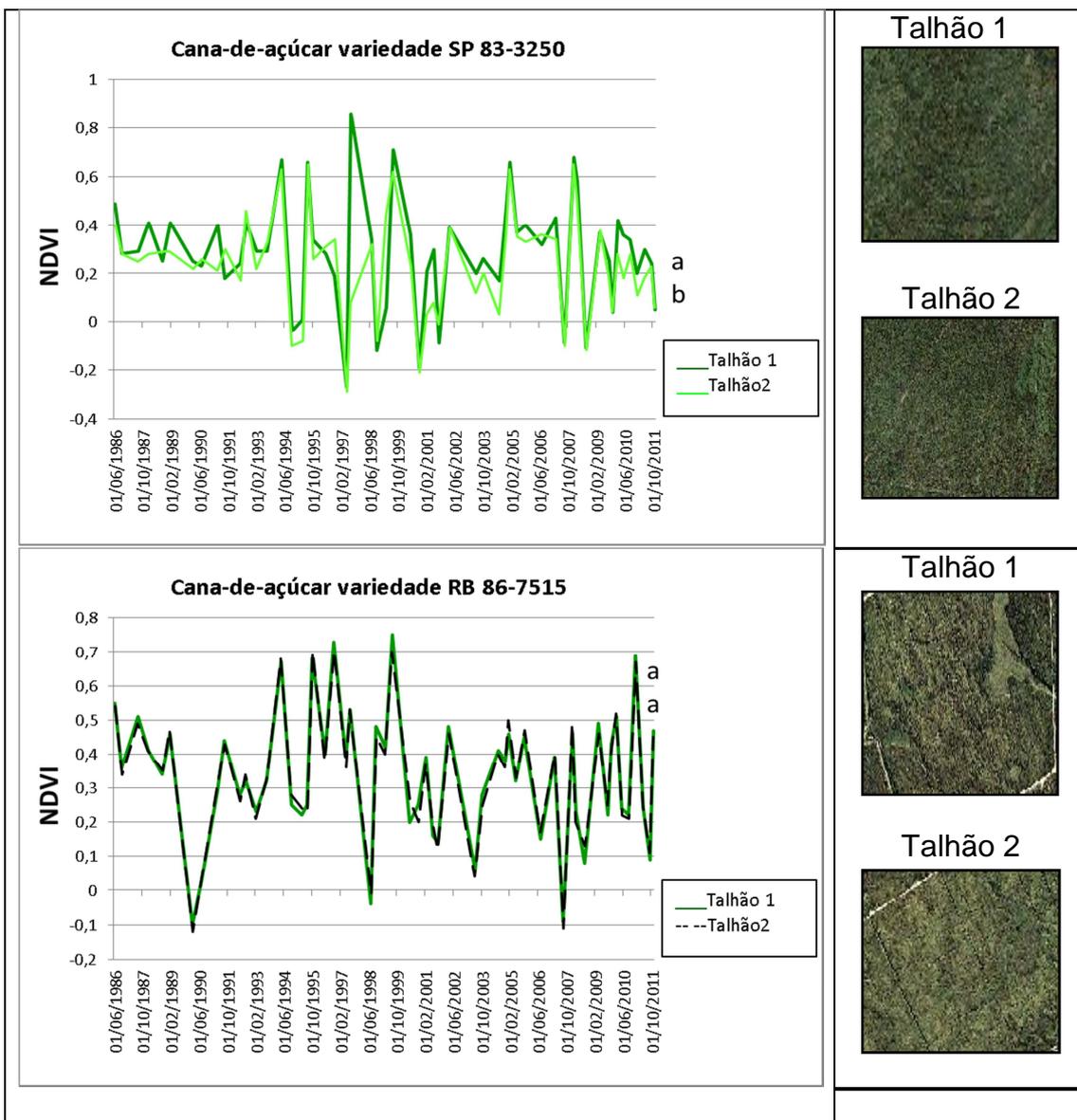


Figura 21: Perfil temporal dos valores médios de NDVI analisados entre o período de 1984 a 2011 para a cana-de-açúcar variedade SP 83-3250 e RB 86-7515.

\* Valores médios de NDVI seguidos por letras iguais, não se diferem estatisticamente entre si pelo teste de Wilcoxon ( $p > 0,01$ ).

Nos dois talhões da Variedade de cana-de-açúcar SP83-3250 os valores de NDVI foram semelhantes, com 0,41 no talhão 1 e 0,37 no talhão 2. Essa semelhança pode estar relacionada ao plantio dos 2 talhões na mesma data e com manejos iguais. Posteriormente à primeira imagem, constatou-se que o baixo valor de NDVI no talhão 2 pode estar relacionado a colheita da cana-de-açúcar. Posteriormente nos dois talhões os valores de NDVI

permaneceram baixos, em torno de 0,2, contudo, diferente do talhão 1, no talhão 2 o NDVI continuou com baixo valor espectral e se manteve inalterado por um período de aproximadamente 5 anos (04/10/1986 a 09/04/1991). A razão para este valor atípico pode ser atribuída a um período de rotatividade da cultura, onde o solo é remanejado com adubação e correção, não havendo plantio da cultura, para posteriormente a esse repouso o produtor retorna plantar a cana.

Pelos valores de NDVI mensurados para os dois talhões da Variedade SP83-3250 constatou-se que os mesmos foram manejados diferentes, no entanto foram encontrados valores de NDVI próximos para os dois talhões em algumas imagens no mesmo período em análise.

Por apresentar valores médios de NDVI's discrepantes em diversos períodos da série multitemporal, os valores de NDVI's apresentaram diferença significativa para os dois talhões da Variedade SP83-3250, pelo teste de Wilcoxon a 1% de significância estatística.

## 5. CONCLUSÃO

Nas condições em que os estudos foram realizados, a análise dos resultados permitiu apresentar as seguintes conclusões:

6.1. Os dados do Sensor TM permitiram a extração de informações espectrais dos alvos analisados, como também a caracterização e discriminação das diferentes florestas e variedades de cana-de-açúcar.

6.2. O perfil espectral da área urbana apresentou alta reflectância na região do visível e infravermelho Próximo.

6.3. A floresta estacional semidecidual, submontana e a cana-de-açúcar variedade SP83-3250 e RB86-7515 apresentaram respostas espectrais semelhantes na região do VIS. Entretanto, na região do IVP, a constituição da vegetação contribui para maior discriminação dos mesmos.

6.4. A análise multitemporal por meio do NDVI possibilitou analisar a dinâmica dos fragmentos da floresta Atlântica, ganho, perda de biomassa verde, manejo e o ciclo fenológico das variedades de cana-de-açúcar.

6.5. Os valores médios do NDVI multitemporal serviram para discriminação do ciclo fenológico, como também o manejo da cana-de-açúcar nos talhões analisados.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No Processamento Digital de Imagens, mais especificamente na correção atmosférica, utilizou-se a técnica *Dark Object Subtration* (DOS). Diversos pesquisadores relatam que o DOS é o método mais utilizado e apropriado para correção de imagens Landsat. Contudo, sugere-se a aplicação por outros métodos como: 6S (*Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum*), SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*) e TC4, com a finalidade de comparar se os resultados entre os métodos se diferem em relação ao DOS.

Para obter maior acurácia no perfil espectral de alvos que apresentaram maior quantidade de mistura espectral, por exemplo, o solo e a urbanização, sugere-se a utilização de imagens com maior resolução espacial, ou análise por espectrorradiômetro não imageador, com a finalidade de discriminar um perfil espectral mais específico.

Por fim, as técnicas de sensoriamento remoto utilizadas neste trabalho, mais especificamente no Processamento Digital de Imagens, correção atmosférica e caracterização espectral de alvos podem ser úteis na comparação entre trabalhos futuros, como também ser tomados como referência para análise de alvos semelhantes.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFFONSO, A. G.; VALERIANO, D. M.; BATISTA, G. T. Caracterização da vegetação no município de Marabá, no estado do Pará, através de dados e transformações espectrais (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) do sensor ETM+ / Landsat 7. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, **Anais...**, Goiânia: INPE, 2005. p. 1407 - 1414.

ALMEIDA, J. B. **Uso do sensoriamento remoto no estudo da desertificação na região Semiárida do Norte de Minas**. Monografia (Bacharel em Engenharia Ambiental) - Faculdades de Ciência Exatas e Tecnológicas Santo Agostinho, Montes Claros, 2010.

ANGELIS, C. F. **Análise do comportamento temporal do retroespalhamento na banda L da cobertura da terra na Floresta do Tapajós, Pará, utilizando imagens JERS-1**. 2000. 154p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Ministério da Ciência e Tecnologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2000.

APARICIO, C. **Análise da Resposta Espectral de Espécies de Macrófitas**. 2007. 163p. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Ecologia de Ecossistemas Terrestres e Aquáticos) – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2007.

BARET, F. G.; GUYOT.; Major, D. J. TSAVI: a vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI and APAR estimation. In: **Proceedings of the 12th Canadian Symposium on Remote Sensing and IGARSS'89**, Vancouver - CA. n. 3, p. 1355-1358. 1989.

BATISTA, J. A. N. Relatório da aplicação de sensoriamento remoto para a identificação de corpos aquáticos sobre a região do município de São José dos Campos. Disponível em: <[http://](http://www.lcad.icmc.usp.br/~rosane/Sensoriamento.pdf)>  
<<http://www.lcad.icmc.usp.br/~rosane/Sensoriamento.pdf>>. Acesso em: 02 Ago. 2012.

BERGHER, I. S.; LIMA, R. N. Mapeamento e caracterização ecológica dos fragmentos de mata atlântica do município de Governador Lindenberg, ES. In: Congresso de Ecologia do Brasil, 6, 2003, Fortaleza. **Anais de trabalhos completos**. Disponível em:  
<[http://www.culturaapicola.com.ar/apuntes/libros/20\\_diversidad\\_cerrado\\_caatinga/2/00\\_indice\\_volume\\_ii.pdf](http://www.culturaapicola.com.ar/apuntes/libros/20_diversidad_cerrado_caatinga/2/00_indice_volume_ii.pdf)>. Acesso em: 30 set. 2011.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Contagem Populacional. Disponível em:  
<<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=320280>>. Acesso em: 10 Dez. 2013.

BRASIL. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária e Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999. 412p.

BREUNIG, F. M.; GALVÃO, L. S.; FORMAGGIO, A. R. Caracterização espectral e temporal da vegetação nativa do Parque Estadual do Turvo e da Terra Indígena do Guarita – RS com produtos MODIS. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15, 2011, **Anais...**, Curitiba: INPE, 2011. p.1765 - 1771.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M.; D'ALGE, J. C. Introdução à Ciência da Geoinformação. São José dos Campos, INPE, 2001 (on-line, 2a. edição, revista e ampliada).

CÂMARA, G. A pesquisa espacial no Brasil: 50 anos de Inpe (1961-2011). **Revista USP**, n.89, p. 234-243, 2011.

CAMILLO, A. A.; COSTA FILHO, J. F.; FILGUEIRA de SÁ, T. F.; BRAGA JUNIOR, J. M. Resposta espectral da cana-de-açúcar irrigada no município de Quixeré no Ceará. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 2010, **Anais...**, Recife, 2010. p. 001 -009.

CARVALHO JUNIOR, O. A.; HERMUCHE, P. M.; GUIMARÃES, R. F. Identificação regional da floresta estacional decidual na bacia do rio Paranã a partir da análise multitemporal de imagens MODIS. **Revista Brasileira de Geofísica**. v. 24, n. 3, p. 319-332, 2006.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; HELDER, D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment** v.113 n.5 p. 893-903, 2009.

CHAVEZ, J. P. S.; An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**. v.24, p. 459-479, 1988.

CARREIRE, M. et al.. Estimativa do índice de área foliar e da biomassa aérea numa floresta tropical primária e secundária da região de Alta Floresta, Amazônia Matogrossense. 2005 In: **5º Congresso Florestal Nacional**. Disponível em: <<http://www.esac.pt/cernas/cfn5/docs/T2-28.pdf>> Acesso em: 20 out. 2011.

CARRIELLO, F.; MIRANDA, F. G.; PONZONI, F. J.; CARDOSO, P. A.; MARTINS, S. P. USO DA TRANSMITÂNCIA NA CARACTERIZAÇÃO ESPECTRAL DE FOLHAS VERDES. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, **Anais...**, Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 2451 - 2457.

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Conseqüências do fenômeno El Niño sobre o território brasileiro e perspectivas para 1998. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/products/elinho>> Acesso em 13 Nov. 2012.

COSTA, T. C. C.; ACCIOLY, L. J. O.; OLIVEIRA, M. A. J.; BURGOS, N.; SILVA, F. H. B. B. Phytomass mapping of the “Seridó Caatinga” vegetation by the plant area and the normalized difference vegetation indeces. **Scientia Agricola**, v.59, n.4, p.707-715, 2002.

COUTO, L. C. O. **Geoprocessamento**: conceito e prática. Centro Universitário de Belo Horizonte. Belo Horizonte: 2009. Disponível em <[http://www.crea-mg.org.br/03\\_Gab\\_GCM\\_publicaes/Geoprocessamento.pdf](http://www.crea-mg.org.br/03_Gab_GCM_publicaes/Geoprocessamento.pdf)> Acesso em 25 de mai 2009.

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

CRUSCO, N. A. **Sensoriamento Remoto para análise multitemporal da dinâmica de áreas agrícolas**. 2007. 108p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento remoto) - Ministério da Ciência e Tecnologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2007.

CUNHA, K. L. **Uso de imagens Landsat e CBERS no mapeamento da suscetibilidade à erosão na região de Primavera do Leste – MT**. 2009. 147p. Dissertação ( Mestrado em Física Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Cuiabá, 2009.

DAI, X.; KHORRAM, S. The Effects of Image Misregistration on the Accuracy of Remotely Sensed Change Detection. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. v. 36, n. 5, p. 1566-1577, 1998.

DE LA CASA, A.; OVANDO, G. Integracion del Indice de Vegetacion de la Diferencia Normalizada (NDVI) y del Ciclo Fenologico de Mayz para Estimar el Rendimiento a Escala Departamental en Cordoba, Argentina. **Agricultura Técnica**, v.67, n.4, p. 362-371, 2007.

DEMARCHI, J. C.; PIROLI, E. L.; ZIMBACK, C. R. L.; Análise temporal do uso do solo e comparação entre os Índices de Vegetação NDVI e SAVI no município de Santa Cruz do rio Pardo – SP usando imagens Landsat-5. **RAEGA**, V. 21, p. 234-271, 2011.

DEMATTE, J. A. M.; TOLEDO, A. M. A.; SIMÕES, M. S. Metodologia para reconhecimento de três solos por sensores: laboratorial e orbital. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 28, p. 877-889, 2004.

DORIGO, W. A.; ZURITA-MILLA, R.; WIT, A. J. W.; BRAZILE, J.; SINGH, R.; SCHAEPMAN, M. E. A review on reflective remote sensing and data assimilation techniques for enhanced agroecosystem modeling. **International**

**Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. V. 9, p. 165 - 193, 2007.

EASTMAN, J. R. **Guide to GIS and Image Processing- IDRISI 32**. Clark University: Worcester, v. 1, p. 193, 1999.

ESPÍRITO SANTO - Instituto Estadual de Meio Ambiente – IEMA. **Sistema Integrado de Bases Georreferenciadas do Estado do Espírito Santo (GEOBASES)** - Ortofotomosaico 2007/2008. Disponível em: <<http://200.140.47.75/geobasesonline/mapa.html>>. Acesso em: 28 Out. 2011.

EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE. **Sistemas Orbitais de Monitoramento e Gestão Territorial: LANDSAT** - Land Remote Sensing Satellite. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2009. Disponível em: < <http://www.sat.cnpem.br/conteudo/landsat.htm>>. Acesso em: 02 Dez. 2012.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE - ESRI. **ArcGIS 10: Getting started with ArcGIS**. Redlands: ESRI, 2011.

ELMORE, A. J.; MUSTARD, J. F.; MANNING, S. J.; LOBELL, D. B. Quantifying Vegetation Change in Semiarid Environments: Precision and Accuracy of Spectral Mixture Analysis and the Normalized Difference Vegetation Index. . **Remote Sensing Of Environment**. V. 73, p. 87–102, 2000.

ELVIDGE, C. D.; CHEN, Z. Comparison of broad-band and narrow-band red and near-infrared vegetation indices. **Remote Sensing Of Environment**, v. 54, n.1, p. 38-48, 1995.

ESQUERDO, J. C. D. M.; ANTUNES, J. F. G.; ANDRADE, J. C. **Embrapa Informática Agropecuária**. Campinas: EMPRAPA, 2010.

FERRARI, J. L.; SANTOS, A. R.; GARCIA, R. F. Análise da vegetação por meio da subtração de imagem NDVI na sub-bacia hidrográfica do córrego do Horizonte, Alegre, ES. **Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal**. v. 8, n. 3, p. 003-018, 2011.

FERREIRA, L. V.; LAURANCE, W. F. Effects of forest fragmentation on mortality and damage of selected tree in central Amazonia. **Conservation Biology**, v. 20, n. 3, p. 243-246, 1997.

FERREIRA, A. B.; PEREIRA FILHO, W. Avaliação da reflectância espectral de corpos d'água em Santa Maria-RS por meio de espectrorradiometria de campo. **Geoambiente On-line**, n. 13, p. 194-207, 2009.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficinas de texto, 2008.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto**. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, 2005. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos\\_sm.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm.pdf)>. Acesso em: 30 set. 2011.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélites para estudos ambientais**. São Paulo: Oficinas de texto, 2002.

FONSECA, E. L.; ROSA, L. M. G.; FONTANA, D. C. Caracterização espectral de *Paspalum notatum* em diferentes níveis de adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 3, p. 365-371, 2002.

FORTES, C. **Discriminação varietal e estimativa de produtividade agroindustrial de cana-de-açúcar pelo sensor orbital ETM+/LANDSAT 7**. 2003. 131p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica, período 2008-2010 - Dados Parciais dos Estados avaliados até maio de 2010**. São Paulo: INPE, 2010. Disponível em: <[http://www.frenteambientalista.org/downloads/atlas\\_relatorio2008\\_2010parcial.pdf](http://www.frenteambientalista.org/downloads/atlas_relatorio2008_2010parcial.pdf)>. Acesso em: 1 out. 2011.

LEAL, G. C.; CÂMARA, I. G. *Status do hotspot Mata Atlântica: uma síntese*. In: **Mata Atlântica: biodiversidade, ameaças e perspectivas**. Belo Horizonte: Fundação SOS Mata Atlântica, 2005, cap. 1, p. 3-11.

GENÚ, A. M. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento na caracterização e avaliação pontual e espacial de solos e seus atributos**. 2006. 121p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

GOMES, D. D. M.; MENDES, L. M. S.; MEDEIROS, C. N.; VERISSIMO, C. U. V. Análise multitemporal do processo de degradação da vegetação da bacia hidrográfica do Rio Jaibas no Estado do Ceará. **Geografia Ensino e Pesquisa**, v. 15, n. 2 p. 41-62, 2011.

GONÇALVES, R. R. V. **Relação entre a resposta espectral da cana-de-açúcar, registrada nas imagens dos satélites AVHRR/NOAA, em São Paulo, e dados agroclimáticos, no período de 2001 a 2008**. 2008. 185p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2008.

GROHS, D. S.; BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M.; POLETTO, N. Modelo para estimativa do potencial produtivo em trigo e cevada por meio do sensor GreenSeeker. **Engenharia Agrícola**, v.29, n.1, p. 101-112, 2009.

GUIMARÃES, R. J. P. S.; FREITAS, C. C.; DUTRA, L. V. D.; SHIMABUKURO, Y. E.; CARVALHO, O. S.; MOURA, A. C. M.; AMARAL, R. S.; DRUMMOND, S. C.; SCHOLTE, R. G. C.; FREITAS, C. R.; MELO, G. R. Comparação do modelo de mistura com os índices de vegetação NDVI e EVI oriundos das imagens MODIS para o Estado de Minas Gerais. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, **Anais...**, Goiânia: INPE, 2005. p. 2665 -2672.

GÜRTLER, S.; LUIZ, A. J. B.; EPIPHANIO, J. C. N. Uniformização de imagens Landsat para previsão de safras agrícolas. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, **Anais...**, Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 109 -116.

HINZMAN, L. D.; BAUER, M. E.; DAUGHTRY, C. S. T. Effects of Nitrogen Fertilization on Growth and Reflectance Characteristics of Winter Wheat. **Remote Sensing Of Environment**, v. 19, p. 47-61, 1986.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI), **Remote Sensing of Environment**, v. 25, p. 53-70, 1988.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2012  
[http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao\\_sen.html](http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_sen.html).

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Fundação SOS Mata Atlântica. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica, período 2008-2010. Dados Parciais dos Estados avaliados até maio de 2010.** Disponível em: <<http://www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/atlasrelatoriofinal.pdf>>. Acesso em: 18 set. 2012.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 3ed. São José dos Campos: Parêntese, 2011, 604 p.

JORDAN, C. F. Derivation of leaf area index from quality measurements of light on the forest floor. **Ecology**, vol. 50, p. 663-666, 1969.

JUNGES, A. H.; FONTANA, D. C. Desenvolvimento das culturas de cereais de inverno no Rio Grande do Sul por meio de perfis temporais do índice de vegetação por diferença normalizada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 5, p.1349-1355, 2009.

KAGEYAMA, P.; GANDARA, F. B. Restauração e conservação de ecossistemas tropicais. In: CULLEN, L. JR.; RUDRAN, R.; PADUA, C. V. **Métodos de estudo em biologia da conservação e manejo da vida silvestre**. 2. ed. Curitiba: UFPR, 2006. p. 383-394.

KRISHNA, B. K. C. Improving Landsat and IRS Image Classification: Evaluation of Unsupervised and Supervised Classification through Band Ratios and DEM in a Mountainous Landscape in Nepal. **Remote Sensing**. v. 1, p. 1257-1272, 2009.

LI-COR. **LAI-2000 plant canopy analyser**: Instruction manual. Li-Cor Inc. Lincoln, Nebraska, 1992. 182 p.

LIRA, V. M.; SILVA, B. B.; NETO, J. D.; FARIAS, M. S. S.; BEZERRA, M. V. C.; FRANCO, E. S.; ANDRADE, A. R. S. Análise espectral de índice de vegetação em área irrigada com cana-de-açúcar. **Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia**, v. 1, n. 1 p. 69-73, 2008.

LYON, J. G.; YUAN, D.; ROSS, S.; CHRIS, L.; ELVIDGE, D. A Change Detection Experiment Using Vegetation Indices. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. v. 64, n. 2, p.143-150, 1998.

LOMBARDO, M. A.; MACHADO, R. P. P. Aplicação das técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações geográficas nos estudos Urbanos. **Revista do Departamento de Geografia**. v. 10, p. 1-11, 1996.

MAJOR, D. J.; BARET, F. GUYOT, G. A ratio vegetation index adjusted for soil brightness. **International Journal of Remote Sensing**, v. 11, p. 727-740. 1990.

MERCANTE, E.; LAMPARELLI, R. A. C.; URIBE-OPAZO, M. A.; ROCHA, J. V. Características espectrais da soja ao longo do ciclo vegetativo com imagens landsat 5/TM em área agrícola no oeste do Paraná. **Engenharia Agrícola**, v.29, n.2, p. 328-338, 2009.

METZGER, J. P. Estrutura da paisagem: o uso adequado de métricas. In: JUNIOR, L. C.; PÁDUA, C. V.; RUDRAN, R. Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre. Curitiba, PR. Ed. da UFPR. Fundação O Boticário de Proteção à Natureza, 2003. 667p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Florestas do Brasil em Resumo: Dados de 2005 – 2009**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1994.

LIU, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande- MS: Uniderp. 2 ed. 2007. 908p.

MAGALHÃES, M. A. F. M.; SANTOS, S. M.; GRACIE, R.; BARCELLOS, C. Sistemas de Informações Geográficas em Saúde. In: SANTOS, S. M.; BARCELLOS, C. Abordagens Espaciais na Saúde Pública. Brasília, DF. Ed. Fundação Oswaldo Cruz, 2006. 135p.

MENESES, P. R.,; MADEIRA NETTO, J. S. **Sensoriamento Remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília: UNB, 2001.

MENESES, P. R. Sensores Imageadores Multiespectrais na Faixa Óptica (0,45 – 2,5  $\mu\text{m}$ ). In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. Introdução ao Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto. Brasília, DF. Ed. UNB, 2012. 276p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. Viçosa, MG. 4 Ed. UFV, 2011. 320p.

MOREIRA, M. A.; GALVÃO, L. S.; CASTRO, R. M.; Caracterização da reflectância espectral de materiais urbanos com imagens do sensor HSS. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, **Anais...**, Florianópolis: INPE, 2007. p. 6489 -6496.

NANNI, M. R. **Dados radiométricos obtidos em laboratório e no nível orbital na caracterização e mapeamento do solos**. 2000. 366p. Tese (Doutorado em Solos e nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

NASA: Disponível em:<<https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/mrsid.pl>>. Acesso em: 20 maio. 2012.

NAUE, C. R.; GALVÍNIO, J. D.; MOURA, M. S. B.; COSTA, V. S. O. Resposta Espectral de Espécies da Caatinga. In: SIMPOSIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, 3, 2011, **Anais...**, Juazeiro: 2011. p. 1 - 6.

NOVO, E. M. de M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 1 ed. São Paulo. Edgard Blucher, 1989.

NOVO, E. M. de M. **Sensoriamento Remoto; Princípios e Aplicações**. 4 ed. São Paulo. Edgar Blucher, 2010.

PICOLI, M. C. A. **Estimativa da produtividade agrícola da cana-deaçuca utilizando agregados de redes neurais artificiais: Estudo de caso usina Catanduva**. 2006. 93p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Ministério da Ciência e Tecnologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006.

PONZONI, F. J.; GALVÃO, L. S.; EPIPHANIO, J. C. N. Influência da resolução espacial sobre a quantificação de áreas não florestadas em ambiente Amazônico. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10, 2001, **Anais...**, Foz do Iguaçu: INPE, 2001. p. 1713 -1720.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2010.

PONZONI, F. J. **Sensoriamento Remoto no estudo da Vegetação: Diagnosticando a Mata Atlântica**. Instituto Espacial de Pesquisas Espaciais. 2002. 28 p.

REIS, T. E. S.; BARROS, O. N. F.; REIS, L. C. Determinação do uso do solo do município de Bandeirantes, Estado do Paraná, através de imagem do Landsat 7 ETM+ e técnicas de geoprocessamento. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 1, p. 41-48, 2005.

RICHARDSON, A. J.; WIEGAND, C. L. Distinguishing vegetation from soil background information. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 43, p. 1541-1552. 1977.

RODRIGUES, R. R. et al. Forest Ecology and Management. Large-scale ecological restoration of high-diversity tropical forests in SE Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 261, n. 1, p. 1605-1613, 2011.

ROSENDO, J. S. R. **Índices de vegetação e monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na bacia do Rio Araguari – MG – utilizando dados do sensor MODIS**. 2005. 130p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: 3rd ERTS Symposium, NASA SP-351 I, p. 309–317, 1973.

RUNNING, S. W.; JUSTICE, C. O.; KAUFMANN, Y. J.; SOLOMONSON, V.; STRAHLER, A. H.; HUETE, A. R.; MULLER, J. P.; VANDERBILT, V.; WAN, Z. M.; TEILLET, P.; CARNEGGIE, D. Terrestrial remote sensing science and algorithms planned for EOS/MODIS. **International Journal Remote Sensing**, v. 15, n. 17, p. 3587-3620, 1994.

SANCHES, I. D.; ANDRADE, R. G.; QUARTAROLI, C. F.; RODRIGUES, C. A. G. Análise comparativa de três métodos de correção atmosférica de imagens Landsat 5 – TM para obtenção de reflectância de superfície e NDVI. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15, 2011, **Anais...**, Curitiba: INPE, 2011. p. 7564 - 7570.

SANTANA, O. A.; CARVALHO JUNIOR, O. A. PIMENTEL, C. M. M.; GOMES, R. A. T.; OLIVEIRA, S. N. Modelagem de espectros temporais NDVI-MODIS, no período de 2000 a 2008, na bacia do rio Paracatu, Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 28, n.1, p. 47-60, 2010.

SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA. BANCO DO DESENVOLVIMENTO DO ESPÍRITO SANTO. SETOR FOLRESTAL DO ESPÍRITO SANTO. **Diagnóstico - estratégias de ação**. Vitória: Del Rey Serviços de Engenharia Ltda, 1988.

SILVA, E. T. J. B. **Utilização dos índices de vegetação do sensor MODIS para detecção de desmatamentos no cerrado: investigação de parâmetros e estratégias**. 2004. 146 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

SIMOES, M. dos S.; ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. C. Variáveis espectrais orbitais, indicadoras de desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, v. 66, n. 4, p. 451-461, 2009.

SIQUEIRA, J. D. P.; LISBOA, R. S.; FERREIRA, A. M.; SOUZA, M. R. F.; ARAÚJO, E.; LISBÃO KUNIOR, L.; SIQUEIRA, M. M. Estudo ambiental para os programas de fomento florestal da Aracruz Celulose S. A. e extensão florestal do governo do Estado do Espírito Santo. **Revista Floresta**. V. 34, n. 2 p. 3-67, 2004.

SILVA, E. A.; MARANGON, G. P.; DESSBESELL, L.; MORAIS, W. W.; LIPPERT, D. B.; PEREIRA, R. S. Caracterização espectral na reflectância de *Eucalyptus grandis*. **FLORESTA**, v. 42, n. 2, p. 285 - 292, 2012.

SOUZA, R. C. A.; KUX, H. J. H.; Comportamento Espectral e Alvos Urbanos: simulação com as bandas espectrais do satélite CBERS. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, **Anais...**, Goiânia: INPE, 2005. p. 1099 -1106.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**. N, 8. p. 127-150. 1979.

VALERIANO, M. M.; Reflectância Espectral de culturas agrícolas anuais (I): Espectrorradiometria. **Espaço e Geografia**, v. 6, n. 1, p. 1-22, 2003.

VARJABEDIAN, R. Lei da Mata Atlântica: retrocesso ambiental. **Estudos avançados**, vol.24, n.68, p. 147-160, 2010.

VENTURIERI, A. Curso de introdução às técnicas de sensoriamento remoto. Lavras: UFLA, 2007. Disponível em: <  
<http://www.ufpa.br/epdir/images/docs/paper64.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2013.

[XAVIER, A. C.](#); [VETTORAZZI, C. A.](#) Monitoramento do índice de área foliar em nível de bacia hidrográfica por meio do NDVI derivado de imagens Landsat-7/ETM+. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n.3, p. 243-252, 2004.

WANG, J.; RICH, P. M.; PRICE, K. P.; KETTLE, W. D. Relations between NDVI and tree productivity in the central Great Plains. **Internation Journal Remote Sensing**, v. 20, n. 16, p. 3127-3138, 2004.

WATANABE, F. S. Y.; IMAI, N. N.; BARBOSA, C. C. F.; ARAUJO, A. P. Avaliação do comportamento espectral da água: estudo de caso do alto curso do rio Paraná (Presidente Epitácio – SP). In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE

CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 2010,  
**Anais...**, Recife, 2010. p. 1 -8.

## APÊNDICE A

Valores de ND subtraídos das bandas espectrais do sensor TM pelo método DOS.

Data da Imagem	Valores dos Pixels subtraídos das bandas TM					
	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 7
07/05/1984	41	12	6	2	–	–
12/09/1984	66	23	13	8	–	–
23/03/1985	53	17	9	4	–	–
29/07/1985	40	12	5	1	–	–
30/06/1986	40	12	7	4	–	–
04/10/1986	54	17	10	5	–	–
03/07/1987	39	11	6	2	–	–
27/01/1988	55	17	8	2	–	–
07/09/1988	54	17	9	2	–	–
13/01/1989	63	22	12	6	–	–
17/02/1990	51	19	10	3	–	–
27/07/1990	38	12	6	4	–	–
09/04/1991	41	15	7	2	–	–
31/08/1991	62	21	13	5	–	–
13/05/1992	41	15	9	2	–	–
17/08/1992	50	18	12	3	–	–
09/02/1993	51	19	10	6	–	–
04/08/1993	39	15	8	2	–	–

17/04/1994	43	14	7	1	–	–
10/10/1994	47	17	9	1	–	–
20/04/1995	41	13	8	3	–	–
25/07/1995	34	11	6	1	–	–
13/10/1995	54	18	10	2	–	–
08/05/1996	35	10	6	2	–	–
31/10/1996	50	19	10	14	–	–
27/05/1997	33	11	6	3	–	–
14/07/1997	41	12	9	2	–	–
17/07/1998	36	12	6	2	–	–
05/10/1998	55	19	12	7	–	–
30/03/1999	51	17	11	6	–	–
20/07/1999	41	13	7	1	–	–
03/05/2000	38	14	7	2	–	–
10/10/2000	54	19	10	3	–	–
15/02/2001	47	17	9	2	–	–
23/06/2001	36	12	7	4	–	–
11/09/2001	58	20	17	9	–	–
06/03/2002	45	16	8	2	–	–
29/06/2003	36	12	7	1	–	–
19/10/2003	55	21	15	4	–	–
01/07/2004	36	11	6	3	–	–
06/11/2004	59	22	17	13	–	–
09/01/2005	54	19	10	1	–	–
17/05/2005	38	13	7	1	–	–
08/10/2005	52	19	11	3	–	–

23/07/2006	36	12	6	1	-	-
20/03/2007	46	18	8	7	-	-
27/08/2007	45	18	12	3	-	-
18/01/2008	54	19	9	2	-	-
22/03/2008	45	16	8	2	-	-
29/08/2008	48	17	10	2	-	-
10/04/2009	48	18	8	2	-	-
01/09/2009	43	14	8	3	-	-
02/11/2009	57	23	6	2	-	-
08/02/2010	42	20	10	2	-	-
15/05/2010	40	15	8	3	-	-
04/09/2010	43	16	9	2	-	-
26/01/2011	53	17	3	1	-	-
02/05/2011	30	13	7	2	-	-
23/09/2011	51	19	12	1	-	-
10/11/2011	58	22	9	3	-	-

Fonte: Próprio autor.

## APÊNDICE B

Valores médios de NDVI's obtidos na série multitemporal de 1984 a 2011.

NDVI da Floresta Submontana	NDVI da Floresta Estacional Semidecidual
0,63	0,63
0,68	0,7
0,74	0,7
0,74	0,71
0,82	0,81
0,66	0,7
0,78	0,86
0,7	0,7
0,82	0,67
0,68	0,71
0,7	0,67
0,66	0,57
0,7	0,65
0,83	0,79
0,61	0,43
0,89	0,85
0,83	0,8
0,83	0,8
0,87	0,87
0,69	0,69
0,6	0,58
0,58	0,8
0,84	0,84
0,66	0,65
0,68	0,89
0,75	0,66
0,84	0,79
0,61	0,57
0,81	0,79
0,76	0,7
0,92	0,9
0,75	0,72
0,79	0,8
0,78	0,72
0,7	0,66
0,53	0,49

0,69	0,6
0,61	0,58
0,64	0,62
0,84	0,8
0,78	0,71
0,87	0,85
0,8	0,68
0,85	0,85
0,69	0,67
0,76	0,77
0,57	0,55
0,9	0,69
0,75	0,6
0,63	0,63
0,73	0,61
0,77	0,73
0,8	0,88
0,92	0,87
0,79	0,73
0,74	0,72
0,73	0,86
0,67	0,66
0,74	0,73
0,91	0,89