



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-10732-TDI/944

**CARACTERIZAÇÃO DE FISIONOMIAS VEGETAIS NA AMAZÔNIA
ORIENTAL ATRAVÉS DE VIDEOGRAFIA AEROTRANSPORTADA E
IMAGENS LANDSAT 7 ETM+**

Adriana Gomes Affonso

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós Graduação em Sensoriamento Remoto,
orientada pelos Drs. Dalton de Morisson Valeriano e Getúlio Teixeira Batista, aprovada
em 29 de setembro de 2003.

528.711.7

AFFONSO, A. G.


Caracterização de fisionomias vegetais na Amazônia oriental através de videografia aerotransportada e imagens LANDSAT 7 ETM+ / A. G. Affonso. – São José dos Campos: INPE, 2003.

120p. – (INPE-10732-TDI/944).

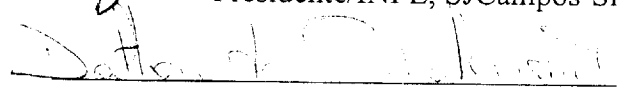
1.Sensoriamento Remoto. 2.Índice de vegetação. 3.Landsat 7. 4.Comportamento espectral. 5.Videografia. 6.Modelo Linear de mistura Espectral. 7.Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). I.Título.

Aprovada pela Banca Examinadora em cumprimento a requisito exigido para a obtenção do Título de **Mestre em Sensoriamento Remoto.**

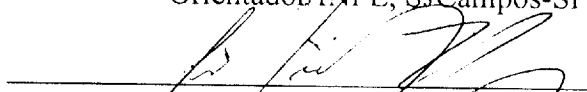
Dr. Yosio Edemir Shimabukuro


Presidente/INPE, SJCampos-SP

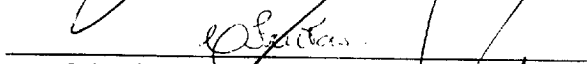
Dr. Dalton de Morisson Valeriano


Orientador/INPE, SJCampos-SP

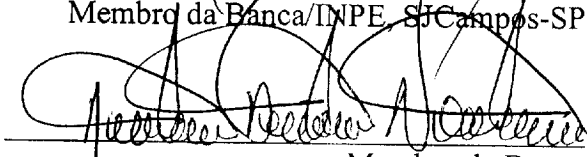
Dr. Getúlio Teixeira Batista


Orientador/INPE, SJCampos-SP

Dr^a Corina da Costa Freitas


Membro da Banca/INPE, SJCampos-SP

Dr. Antonio Donato Nobre


Membro da Banca
Convidado INPA, Manaus-AM

Candidata: Adriana Gomes Affonso

São José dos Campos, 29 de setembro de 2003.

*A minha filha, minha luz e minha vida
ISABELA,
Dedico com todo o meu amor.*

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Dalton de Morisson Valeriano, pela grande orientação, acompanhamento nas etapas mais importantes, contribuindo de forma essencial para a finalização deste trabalho.

Ao Dr. Getúlio Teixeira Batista, pela orientação, incentivo e sugestões necessárias para o desenvolvimento do trabalho.

Aos membros da banca, Dr. Yosio Edemir Shimabukuro, Dr. Antônio Donato Nobre e Dra. Corina da Costa Freitas, pelas valiosas sugestões .

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), pela oportunidade.

Aos amigos Flávio e Cláudia pelo intenso incentivo, amizade principalmente nos momentos mais difíceis.

À Fundação SOS Mata Atlântica, pela experiência no Atlas dos Remanescentes Florestais de Mata Atlântica.

Aos meus novos amigos, Brenner, Eddy, Cláudia, Paulo, Paula, Sílvio, Félix, e todos os outros alunos que compartilharam bons momentos durante o curso.

À Sílvia e Manuel, colegas de república e grandes amigos.

Ao Camilo pelas freqüentes dúvidas em estatística, obrigada.

Ao George pelo apoio.

A todos aqueles que de alguma forma passaram e ficaram.

A meus pais, muito obrigada.

RESUMO

A transformação dos dados multiespectrais contidos nas imagens de sensoriamento remoto é aplicada para reduzir a informação a um menor volume de dados e para inferir propriedades biofísicas da cobertura da terra. O Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) são transformações que estão relacionadas com a estrutura da vegetação. No entanto, estes métodos apresentam limitações quanto à sua sensibilidade. Existem poucas avaliações sobre o real significado dos produtos gerados através destas técnicas. A videografia aerotransportada permite uma melhor avaliação destas transformações, pois torna possível um melhor entendimento da estrutura da vegetação e como esta afeta o espalhamento da radiação detectada pelos sensores orbitais. O objetivo deste trabalho é avaliar o comportamento de diversas fisionomias vegetais no município de Marabá, Pará, em relação aos valores de reflectância nas bandas do Landsat 7 ETM+ e em suas transformações e comparar a proporção da componente sombra obtida pelo MLME com o percentual de sombra encontrado nos produtos videográficos. Foram identificados com base na videografia cinco tipos de fisionomias vegetais: Floresta de Terra Firme; Floresta inundada; Floresta Secundária; Floresta com Babaçu e Pasto. Foram feitas análises da distribuição dos níveis de cinza de cada fisionomia em cada banda e suas relações com o NDVI e com os componentes Solo, Vegetação e Sombra extraídos das bandas do Landsat pelo MLME. Também foi analisada a relação entre a componente Sombra e o percentual de sombra determinado pela análise dos dados videográficos. Os resultados mostraram que a assinatura espectral de cada fisionomia está associado à quantidade de cobertura vegetal, à arquitetura do dossel, ao substrato dominante e à distribuição angular das folhas. O NDVI diferenciou apenas Pasto, Floresta Secundária e as demais classes. O percentual de sombra nos dados videográficos permitiu a diferenciação apenas da Floresta com Babaçu das demais classes. A componente Sombra do modelo linear de mistura foi o produto mais eficiente na discriminação das fisionomias vegetais, permitindo a discriminação entre todas as classes exceto entre Pasto e Floresta Secundária. Este resultado reforça o potencial do MLME no estudo da cobertura vegetal natural em regiões de Floresta Tropical.

**CHARACTERIZATION OF VEGETATION PHYSIOGNOMIES IN EARSTERN
AMAZONON REGION THROUGH AIRBONE VIDEOGRAPHY AND
LANDSAT 7. ETM + IMAGES**

ABSTRACT

Transformation of multispectral remote sensing data is needed for compression of data volume and for the inference of biophysical properties of the land cover. Linear Spectral Mixing Models (LSMM) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) are transformations that result in indicators of vegetation structure. However these methods present limitations in relation of their sensitivity. There are few evaluations on the real meaning of the products derived with these techniques. Airborne videography allows a thorough evaluation of these transformations, for it allows a better understanding of the vegetation structure and of how it affects the scattering mechanism of the radiation detected by orbital sensors. The objective of this work is to evaluate the spectral response of several vegetation physiognomies in the municipality of Maraba, Para, in relation to the reflectance in Landsat –7 ETM+ and in their transformations and to compare the proportion of the Shadow component derived through the LSMM with the Shadow percent measured in the Videographic products. Based on the videography, five types of vegetation physiognomies were identified: Upland Forest, Floodplain Forest, Secondary forest, Babacu Forest and Grassland. Analysis of the digital number distribution of each physiognomy in each band was conducted and of their relations with NDVI and with the components Soil, Vegetation and Shadow extracted from the Landsat Bands through LSMM. It was also analyzed the relationship between the Shadow component and the percentage of shadow determined through the analysis of videographic data. The results demonstrated that the spectral signature of each physiognomy is associated to the amount of vegetation cover, canopy architecture, and dominant background and to the leaf angular distribution. The IDVN discriminated only Grassland, Secondary Forest and the remaining classes. The percentage of shadow in the videographic data allowed only the differentiation of Babacu Forest from the remaining classes. The Shadow component of the linear mixing model was the most efficient product for the discrimination of the vegetal physiognomies, allowing the discrimination among all the classes but between Grassland and Secondary forest. This result reassures the potential of LSMM to the study of natural vegetation cover in Tropical Forest Regions.

SUMÁRIO

Pág.

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	17
CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1- Resposta espectral da vegetação	21
2.2 -Transformações de dados de sensoriamento remoto para estudos da cobertura vegetal.....	24
2.2.1 -Índice de Vegetação por Diferença Normalizada- NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).....	27
2.2.2- Imagens de proporção de componentes dos pixels derivadas de um modelo linear de mistura espectral segundo Shimabukuro (1987).....	30
2.3 - Videografia Aerotransportada	34
CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS	39
3.1 - Localização da área de estudo	39
3.2 - Características da área de estudo.....	39
3.2.1- Aspectos Físicos.....	39
3.2.2 - Aspectos da Vegetação	40
3.3 - Fluxograma da metodologia adotada	41
3.4 - Material e Métodos	43
3.4.1- Imagem Orbital	43
3.4.2 - Processamento Digital da Imagem.....	43
3.4.2.1- Correção Atmosférica	43
3.4.2.2 - Registro das Imagens	44
3.4.2.3 - Geração Imagens de proporção de componentes dos pixels derivadas de um modelo linear de mistura espectral	44
3.5 - Cálculo do Índice de vegetação por Diferença Normalizada (NDVI- Normalized Difference Vegetation Index)	45
3.5.1 - Videografia Aerotransportada.....	46
3.5.2 - Processamento da Videografia Aerotransportada	47
3.5.2.1- Processamento dos dados auxiliares	48
3.5.2.2 - Identificação e captura das cenas de interesse	49
3.5.2.3 - Registro das Cenas de Videografia	51
3.5.3 - Identificação das sombras através do fatiamento das cenas de videografia.....	56
3.5.4 - Caracterização espectral da imagem Landsat 7 e das cenas de videografia em relação à resposta espectral de cada banda, ao índice de vegetação e a quantidade de sombra.....	58
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS	63
4.1 - Caracterização espectral da vegetação através das bandas do Landsat 7 ETM+ ...	63
4.2 - Caracterização da vegetação através do modelo linear de mistura espectral	68
4.3 - Caracterização da vegetação através do NDVI	82

4.4 - Caracterização da vegetação através da videografia aerotransportada	88
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	97
5.1 - Conclusões	97
5.2 - Recomendações	100
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
APÊNDICE A	113
APÊNDICE B.....	117
APÊNDICE C	119

LISTA DE FIGURAS

2.1 - Curva de reflectância típica de uma folha verde sadia na faixa óptica do espectro eletromagnético FONTE: Adaptada de Swain e Davis (1978), p. 232	21
2.2 - Comportamento do NDVI em função do IAF Fonte: Adaptada Asrar (1989), p.262	30
3.1 - Área de estudo no município de Marabá, Pará	39
3.2 - Fluxograma da metodologia adotada	42
3.3 - Componentes puros (sombra, vegetação e solo) do modelo linear de mistura espectral	45
3.4 - Sistema de aquisição da videografia digital utilizado no vôo. O sinal do GPS diferencial OmniSTAR recebido pela antena de GPS Trimble 132 montada externamente foi convertido para o formato SMPTE pelo gerador de timecode Horita GPS3 e codificado no sinal de áudio das fitas de vídeo. O dado do GPS também foi usado na contínua atualização da rota de vôo no computador de navegação. Duas câmeras digitais Canon XL-1 tanto no formato de visada larga quanto no zoom foram utilizadas simultaneamente e os filmes foram gravados em fitas DAT. Os dados do Sistema de Referência de Atitude (SRA-Watson Industries BA303 AHRS- attitude and heading reference system), do Laser Atlanta (laser rangefinder) e do GPS foram gravados pelo computador de aquisição dos dados do vôo para pós-processamento FONTE: Hess et al (2002)	47
3.5 - Cena de videografia identificada com seu timecode no alto da tela do monitor e seu respectivo segmento de dados auxiliares	49
3.6- Áreas demarcadas na imagem Landsat 7 correspondentes aos diferentes tipos de formações. No zoom podemos observar o pasto (a), a vegetação secundária (b) e o babaçual (c)	50
3.7 - Equipamento utilizado para a captura dos segmentos/cenas da videografia. a) equipamento completo; b)vídeo, horita e monitor; c) horita e monitor e d)imagem do vídeo no monitor com timecode acima.	51
3.8 - Exemplo de um segmento do dado auxiliar utilizado no cálculo da altura média da aeronave	52
3.9 - Esquema do cálculo do ângulo entre as cenas posterior e anterior.	53
3.10- Esquema da rotação sofrida pela cena após o cálculo do ângulo de rotação e as coordenadas	56
3.11- Programação em LEGAL para o fatiamento das imagens de videografia em nove limiares: sombra densa, sombra média, sombra fraca, sombra S4, sombra S5, sombra S6, sombra S7, sombra S8 e sem sombra.	58
3.12- Cena de videografia com polígono amostral no centro da imagem.	59
3.13 - Cena fatiada e original, as cores mais escuras representam menor numero digital e sombra mais densa (imagem original) e vermelho-amarelado na imagem fatiada.....	61
3.14- Valores de Relação entre a sombra da videografia e a componente sombra do modelo de mistura em cada limiar de todas as fisionomias.....	61

4.1- Comportamento espectral de todas as fisionomias nas bandas 1 a 5 e 7 do Landsat 7 ETM+ após a correção atmosférica, referente as imagens de reflectância de superfície.	63
4.2 - Distribuição dos números digitais em cada banda (1 a 5 e 7) em todas as fisionomias.	65
4.3- Imagens resultantes da aplicação do modelo linear de mistura espectral, a) imagem do componente solo; b) imagem do componente sombra e c) imagem do componente vegetação; d) composição colorida, solo (vermelho), sombra (azul) e vegetação (verde).	68
4.4 - Imagem Fração Solo.	69
4.5 - Imagem Fração Sombra.	70
4.6 - Imagem Fração Vegetação.	70
4.7- Relação entre os valores de reflectância nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 e a componente solo do modelo de mistura de todas as fisionomias, onde o vermelho corresponde a fisionomia de pasto, o rosa a floresta secundária, o verde claro ao babaçu, o verde escuro a floresta terra firme e o azul a floresta inundada.	74
4.8- Relação entre os valores de reflectância nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 e a componente sombra do modelo de mistura de todas as fisionomias, onde o vermelho corresponde a fisionomia de pasto, o rosa a floresta secundária, o verde claro ao babaçu, o verde escuro a floresta terra firme e o azul a floresta inundada.	77
4.9- Relação entre os valores de reflectância nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 e a componente vegetação do modelo de mistura de todas as fisionomias, onde o vermelho corresponde a fisionomia de pasto, o rosa a floresta secundária, o verde claro ao babaçu, o verde escuro a floresta terra firme e o azul a floresta inundada.	80
4.10-Proporção dos componentes de mistura (sombra, solo e vegetação) de todas as amostras das fisionomias.	82
4.11- Valores do NDVI de todas as fisionomias.	83
4.12 Relação entre as bandas 3 (a) e 4 (b) do Landsat 7 ETM+ e os valores de ND do NDVI, onde o vermelho corresponde a fisionomia de pasto, o rosa a floresta secundária, o verde claro ao babaçu, o verde escuro a floresta terra firme e o azul a floresta inundada.	85
4.13- Proporção dos componentes de mistura em relação ao índice de vegetação em todas as fisionomias.	87
4.14- Fisionomia de Floresta com Babaçu gravada no formato de visada larga.	89
4.15- Fisionomia de Floresta com Babaçu gravada no formato de zoom, com suas copas (coroas) marcadas em branco.	89
4.16- Fisionomia de Floresta de Terra Firme gravada no formato de visada larga.	90
4.17- Fisionomia de Floresta de Terra Firme gravada no formato de zoom.	90
4.18- Fisionomia de Floresta inundada gravada no formato de visada larga. .	91
4.19- Fisionomia de Pasto gravada no formato de visada larga.	92
4.20- Fisionomia de Floresta Secundária gravada no formato de visada larga.	92
4.21- Fisionomia de Floresta Secundária gravada no formato de zoom.	93

4.22- Valores de sombra resultante do fatiamento das cenas de videografia de todas as fisionomias.	94
4.23- Relação entre a sombra da videografia e a componente sombra do modelo de mistura	95

LISTA DE TABELAS

2.1 - Faixas espectrais de cada banda do sensor ETM+ do Landsat 7.	24
3.1 - Valores de número digital do pixel selecionado como componente puro nas seis bandas espectrais das imagens corrigidas (efeito atmosférico).	45
3.2 - Dados auxiliares registrados durante o vôo, e taxa de amostragem.	48
3.3 - Tipos de fisionomias e número de cenas utilizadas da aerovideografia. .	50
3.4 - Classes de sombra e seus respectivos limiares para o fatiamento das cenas de videografia.	57
3.5 - Tabela resultante da análise de estatística por polígono da Imagem componente sombra de todos os polígonos de floresta com babaçu.	59
3.6 - Número de pixels em cada classe, número de linhas e colunas da formação floresta de Terra firme e seu respectivo timecode.	60
4.1 - Proporção dos componentes de mistura (vegetação, sombra e solo) em cada fisionomia vegetal.	71
A.1 - Valores F e P do ANOVA na banda 1.	113
A.2 - Valores F e P do ANOVA na banda 2.	113
A.3 - Valores F e P do ANOVA na banda 3.	114
A.4 - Valores F e P do ANOVA na banda 4.	114
A.5 - Valores F e P do ANOVA na banda 5.	115
A.6 - Valores F e P do ANOVA na banda 7.	115
B.1 - Valores F e P do ANOVA na componente solo da imagem TM.	117
B.2 - Valores F e P do ANOVA na componente sombra da imagem TM.	117
B.3 - Valores F e P do ANOVA na componente vegetação da imagem TM. .	118
B.4 - Valores de F e P do ANOVA do NDVI.	118
C.1 - Valores F e P da ANOVA na Banda 1 da videografia.	119
C.2 - Valores F e P da ANOVA na Banda 2 da videografia.	119
C.3 - Valores F e P da ANOVA na Banda 3 da videografia.	120
C.2 - Valores F e P do ANOVA na sombra da videografia do limiar S4 (0 a 120).	120

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A caracterização e o mapeamento da vegetação do território brasileiro de forma integrada foi iniciada em 1974 com o Projeto RADAM e, posteriormente, denominado RADAMBRASIL, quando foi feito o levantamento dos recursos naturais (geologia, pedologia, geomorfologia, vegetação e potencial do uso da terra) dos Estados brasileiros. Através do uso de radares e levantamentos em campo, os pesquisadores mapearam o território brasileiro de norte a sul.

No entanto, a ocupação urbana, a expansão da fronteira agrícola, a exploração desenfreada dos recursos naturais mudaram a paisagem de forma significativa tanto na sua composição florística quanto na sua estrutura.

As mudanças no clima mundial, o aumento populacional (que hoje ultrapassa os 6 bilhões de pessoas), a preocupação mundial dos efeitos antrópicos sobre a água, o solo, a atmosfera, a biodiversidade e até na população humana, trouxe a necessidade de ampliação do conhecimento objetivo dos remanescentes de vegetação no território brasileiro para subsidiar ações que visem não apenas a conservação da biodiversidade, como também no processo do estabelecimento de práticas de desenvolvimento sustentável e na construção de políticas de conservação e uso sustentável da biodiversidade.

As técnicas de sensoriamento remoto juntamente com análises de informações espaciais em ambientes de sistemas de informações geográficas tornam possível a análise e monitoramento multi-temporal e espacial das mudanças ocorridas na superfície terrestre (Defries, 1999). A energia eletromagnética emitida ou refletida por um alvo está associada com suas características físicas e químicas de seus componentes constituintes. Desta forma, cada objeto terá um comportamento espectral diferente em função de sua composição.

O entendimento destas relações espectrais torna possível a identificação de padrões comportamentais da interação do objeto com a energia, sendo assim possível a caracterização espectral de cada componente da superfície terrestre.

Diversos métodos têm sido elaborados para transformar a informação contida nas imagens de sensoriamento remoto, relacionados à vegetação, em parâmetros que resultam em menor volume de dados e em maior simplicidade na análise. Essas técnicas de transformação permitem avaliar e monitorar quantitativa e qualitativamente a vegetação através de medidas espectrais captadas pelos sensores a bordo das plataformas aéreas ou orbitais, por reduzirem as medidas espectrais de diversas bandas para um único valor que pode ser relacionado com características da vegetação tais como espécies, área foliar, estresse, biomassa (Jordan, 1969; Rouse et al., 1973; Kauth e Thomas, 1976; Richardson e Wiegand, 1977; Shimabukuro, 1987; Kaufman e Tanré, 1992, ente outros).

Diversos trabalhos vêm sendo publicados no que concerne a caracterização (Pereira, 1996, Saatchi e Rignot, 1997; Ravan et al., 1995; Wilson e Franklin, 1992; Lonard et al., 1999; Paris e Kwong, 1988; Fournier et al., 1997; Martin et al., 1998), monitoramento (Shimabukuro et al., 2000; Salles et al., 1998; Araújo-Filho et al., 1998;), mapeamento da vegetação (Diverio et al., 2001; Rocha et al., 1998) e de mudanças na cobertura e uso da terra (Andrade et al., 1998; Ippoliti et al., 1998; Verona, 2002; Lorena, 2001; Walker e Homma, 1996) através de técnicas de transformação digital das imagens de sensoriamento remoto.

Uma das dificuldades encontrada pelos pesquisadores no mapeamento e monitoramento da vegetação é a validação e verificação geográfica dos dados em campo, consumindo muito tempo e dinheiro. Uma alternativa para otimizar o trabalho de campo é a videografia aerotransportada. É um método rápido, barato, provendo em tempo quase real imagens de diferentes ecossistemas que podem ser digitalizadas para análises estatísticas (Escobar et al., 1998). Além disso, estas imagens estão geralmente integradas com informações de posição geográfica possibilitando sua combinação com dados de satélites.

A videografia aerotransportada vem sendo utilizada, muitas vezes em conjunto com dados de satélites, no monitoramento da vegetação, culturas, pestes florestais e localidades que sofreram catástrofes (Nixon et al., 1985; Everitt et al., 1986; Everitt et al., 1989; Marsh et al., 1991; Hickman et al., 1991; Graham, 1993).

Nesse presente trabalho é proposto a caracterização da vegetação através de diversas técnicas de processamento digital de imagens (reflectância e proporção de componentes de mistura, índice de vegetação) como também a identificação das diferentes fisionomias através da videografia com a associação desta a padrões de comportamento espectral e a comparação destes métodos com o intuito de determinar qual (is) método (s) permitem diferenciar melhor estas fisionomias.

A presente dissertação tem como objetivo geral a caracterização da vegetação através de dados de videografia aerotransportada e imagens do Landsat 7 ETM+.

Os objetivos específicos são:

- Caracterizar a resposta espectral da vegetação em relação às bandas do Landsat 7 ETM+;
- Caracterizar a vegetação através das componentes (vegetação, sombra e solo) do modelo linear de mistura espectral;
- Caracterizar a vegetação em relação aos valores de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI);
- Verificar a relação existente entre os valores de reflectância da vegetação nas bandas do Landsat 7 ETM+ e as componentes do modelo linear de mistura espectral;
- Verificar a relação entre os valores de NDVI e as componentes do modelo de mistura;
- Verificar a relação entre os valores de NDVI e os valores de reflectância da vegetação nas bandas do Landsat 7 ETM+;
- Caracterizar a vegetação através da quantidade de sombra encontrada nas cenas de videografia aerotransportada;
- Analisar a relação existente entre a componente sombra do modelo linear de mistura espectral e a quantidade de sombra encontrada nas cenas de videografia aerotransportada.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Resposta Espectral da Vegetação

O sinal registrado pelo sensor é dependente das características espectrais da superfície observada. O comportamento espectral de um determinado objeto está relacionado com suas propriedades de reflectância da radiação eletromagnética.

As folhas são os elementos da vegetação que mais contribuem para o sinal detectado por sensores ópticos (Colwell, 1974), suas características morfológicas e bioquímicas determinam quais comprimentos de ondas serão absorvidos, refletidos ou transmitidos. (Gates et al., 1965; Jackson e Huete 1991).

A Figura 2.1 apresenta a curva de reflectância típica de uma folha verde sadia e os fatores determinantes de seu comportamento nas regiões do visível, do infravermelho próximo e do infravermelho médio do espectro eletromagnético.

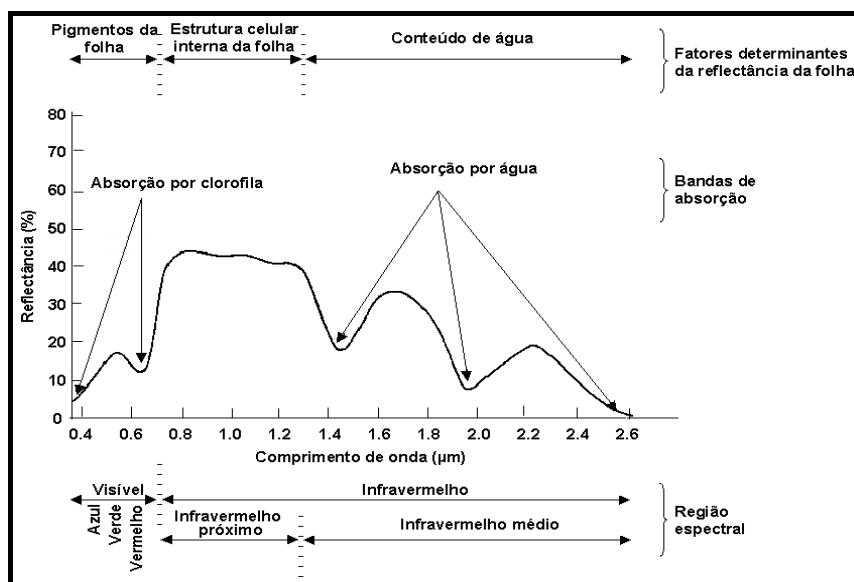


FIGURA. 2.1 - Curva de reflectância típica de uma folha verde sadia na faixa óptica do espectro eletromagnético.

FONTE: Adaptada de Swain e Davis (1978, p 232).

Os principais aspectos relacionados com o comportamento espectral de uma folha verde sadia nos comprimentos de onda do visível (0,4 – 0,7 μm), no infravermelho próximo (0,7 – 1,3 μm) e no infravermelho médio (1,3 – 3,0 μm) são apresentados a seguir.

Na região do visível, a maior parte da radiação incidente é absorvida pelos pigmentos presentes nas folhas. Estes pigmentos (clorofilas *a* e *b*, carotenos e xantofilas) encontrados nos cloroplastos, absorvem a energia solar radiante neste comprimento de onda, e convertem em calor, fluorescência ou em energia estocada através da fotossíntese (Gates et al., 1965; Ponzoni, 2001). A curva de reflectância da folha verde sadia apresenta duas bandas de absorção bem marcadas, centradas em 0,45 μm (região do azul) e 0,65 μm (região do vermelho) (Guyot et al., 1989), permitindo um pico de reflectância aproximadamente em 0,54 μm (região do verde) (Swain e Davis, 1978).

A região do infravermelho próximo é caracterizada pela alta reflectância e pela baixa absorção causadas pela ausência de substâncias que absorvem a radiação neste comprimento de onda e também decorrentes do espalhamento interno causado pela estrutura interna da folha, ou seja, pelo arranjo do mesófilo (Gates et al., 1965).

Na região do infravermelho médio o conteúdo de água nos tecidos é o principal condicionante no comportamento espectral, com forte absorção ocorrendo em 1,45 e 1,95 μm , causando picos de reflectância entre as regiões de absorção, aproximadamente em 1,65 e 2,2 μm (Knipling, 1970).

Goel (1988) descreveu os principais aspectos da interação da radiação eletromagnética solar com um dossel, sendo esta interação dependente do fluxo radiante solar e das propriedades espectrais dos elementos do dossel. O fluxo solar incidente sobre um dossel pode ser de forma direta (a radiação que não é absorvida nem espalhada pela atmosfera) ou difusa, que é espalhada pela atmosfera de acordo com o comprimento de onda (maior no visível do que no infravermelho próximo). A direção de cada fluxo é caracterizada pelos ângulos zenital e azimutal solares, no caso do fluxo direto e pela distribuição angular no difuso.

Quando esta radiação eletromagnética incide sobre um dossel, seja de forma direta ou difusa, está sujeita aos processos de espalhamento (transmissão e reflexão da energia) e a absorção da energia incidente. Esses dois processos estão associados com as características do fluxo incidente (comprimento de onda, ângulo de incidência) e com a estrutura do dossel, que está diretamente relacionada com o tipo, grau e desenvolvimento da vegetação (Kimes e Kichner, 1983).

Asrar (1989) descreve os principais fatores que afetam a resposta espectral de um dossel em relação a sua arquitetura, dentre eles: (1) a distribuição espacial da vegetação; (2) o índice de área foliar (IAF); (3) distribuição angular das folhas (DAF) e (4) distribuição dos elementos da vegetação.

Desta forma, o aumento do IAF implica em um maior espalhamento do fluxo, ocasionando a diminuição da reflectância no visível e no infravermelho médio e um aumento no infravermelho próximo (Asner, 1998). Além disso, uma maior variação da distribuição dos elementos da vegetação (dosséis com diversas camadas) acarreta uma diminuição de todas as reflectâncias, ocasionando assim um maior sombreamento. Da mesma forma, pequenas alterações na DAF podem resultar em grandes alterações tanto na composição espectral quanto na magnitude da reflectância espectral de um dossel (Knipling, 1970; Colwell, 1974; Wardley et al., 1987).

Num estudo sobre a resposta espectral de dosséis de trigo, Jackson e Pinter Jr (1986) constataram que em dosséis erectófilos, os elementos verticais captam a radiação refletida para dentro do dossel, reduzindo assim, a quantidade de radiação refletida verticalmente em direção a um radiômetro orientado para o nadir.

Desta forma, a caracterização espectral da vegetação requer uma ferramenta capaz de registrar a reflectância da cobertura vegetal em todo o espectro óptico. O sensor Enhanced Thematic Mapper (ETM+), a bordo do satélite Landsat 7 possui 6 bandas ópticas (azul, verde, vermelho, infravermelho próximo e duas no infravermelho médio; 0,45-2,35 μm), de resolução espacial de 30 metros, uma outra banda no infravermelho termal 10,4-12,5 μm , com 60 metros de resolução (NASA, 2001), e uma terceira banda

pancromática (0,52-0,90 μm) com 15 metros de resolução (Tabela 2.1). A separabilidade do espectro eletromagnético em diversas bandas permite que o sensor registre a radiância do alvo de acordo com seu comprimento de onda, desenvolvendo assinaturas espectrais, e assim possibilitando uma melhor discriminação dos elementos da superfície terrestre.

TABELA 1: Faixas Espectrais de cada Banda do Sensor ETM+ do Landsat 7.

$\lambda(\mu\text{m})$	B 1 (azul)	B 2 (verde)	B 3 (vermelho)	B 4 (IFV próximo)	B 5 (IFV médio)	B 6 (termal)	B 7 (IFV médio)	B 8 (visível/IFV próximo)
Inicial	0,45	0,53	0,63	0,78	1,55	10,4	2,09	0,52
Final	0,52	0,61	0,69	0,90	1,75	12,5	2,35	0,90

2.2 Transformações de Dados de Sensoriamento Remoto para Estudos da Cobertura Vegetal

As técnicas de sensoriamento remoto vem há muito sendo empregadas no estudo e avaliação da cobertura terrestre. Através da análise de dados de sensores orbitais, fotografia aérea e videografia é possível verificar o comportamento da vegetação com relação às mudanças sazonais e também detectar as alterações provocadas pela ação do homem (desmatamento, queimadas, etc.). As informações obtidas pelos diversos sensores podem ser utilizadas para a caracterização, mapeamento, inventário e manejo de áreas florestais.

A enorme quantidade de informação disponibilizada pelos sensores orbitais levou a comunidade científica à elaboração de diversos métodos para transformar a informação contida nas imagens de sensoriamento remoto, e derivar parâmetros relacionados a vegetação que representassem um menor volume de dados e uma maior simplicidade na análise (menos complexos). O resultado deste esforço científico foi a produção de diversas técnicas para avaliar e monitorar quantitativa e qualitativamente o dossel da

vegetação através de medidas espectrais captadas pelos sensores a bordo das plataformas orbitais.

Diversas transformações e combinações de dados foram desenvolvidas para reduzir as medidas espectrais das bandas dos sensores para um único valor que fosse capaz de ser relacionado a características da vegetação como composição de espécies, índice de área foliar, estresse, biomassa, como por exemplo, operações aritméticas como os índices de vegetação, que utilizam a razão e diferenças entre bandas (Razão simples, NDVI), transformações lineares (“Tasseled Cap”, modelo de mistura, ACP - análise de componentes principais). Essas transformações têm como objetivo principal reduzir a dimensão dos dados e produzir métricas relacionadas com a característica ou processo em questão.

Perry e Lautenschlager (1984) descrevem a origem, derivação e a motivação para o desenvolvimento de muitos desses índices de vegetação, utilizados para reduzir as informações espectrais medidas pelo sensor MSS do Landsat.

As transformações lineares, geralmente baseadas na alteração na ortogonalidade dos eixos de dispersão dos dados, são conhecidos como *índices ortogonais* (Epiphanyo e Formaggio, 1990). Estes índices se fundamentam no contraste espectral entre a vegetação e as características do solo, esta última representada por uma linha de referência chamada de *linha de solo*. Podem ser citados como índices de vegetação ortogonais: o índice de vegetação verde (GVI - *green vegetation index*) e o índice de brilho do solo (SBI - *soil brightness index*) (Kauth e Thomas, 1976), que relacionaram quatro bandas do sensor *Multispectral Scanner* (MSS) do Landsat; o índice perpendicular (PVI - *perpendicular vegetation index*) (Richardson e Wiegand, 1977); e o índice da diferença ponderada (WDVI - *weighted difference vegetation index*) (Clevers, 1988).

O índice ortogonal desenvolvido por Kauth e Thomas (1976) e também conhecido como transformação “Tasseled Cap”, foi originalmente desenvolvido para compreender trajetória espectro-temporal dos pixels de uma agricultura em desenvolvimento. Esta técnica é uma transformação linear que rotaciona os dados a novos eixos que estão

correlacionados com características físicas da vegetação, produzindo desta forma quatro índices, ou componentes, “brightness” (índice de brilho do solo), “greenness” (índice de vegetação verde), “yellowness” e “non-such”. As três primeiras componentes incluíam a maior parte da informação sobre o desenvolvimento das culturas agrícolas sendo úteis tanto na diferenciação quanto a idade das culturas. Cohen et al. (1995) demonstrou que a transformação “Tasseled Cap” possui ainda o potencial de identificar atributos florestais como espécie, idade e estrutura.

As aplicações das transformações de “Tasseled Cap” se expandiram além do seu uso inicial para distinguir culturas agrícolas (Crist e Ciccone, 1984. Kauth e Thomas, 1976) sendo utilizadas também para mapear florestas (Bauer et al., 1994, Woodcock et al., 1994) e estimar mortalidade em florestas (Collins e Woodcock, 1996), indicar características estruturais e idade de coberturas florestais (Cohen et al., 1995).

Essas transformações reduzem a dimensão espectral do dado facilitando o seu armazenamento e análise. Mather (1999) descreve transformações que vão desde os índices de vegetação, até transformações mais complexas como vetor de médias e matriz de covariância, na análise de componentes principais.

A Análise de Componentes Principais (ACP) baseia-se no fato de que as bandas de imagens multiespectrais são geralmente altamente correlacionadas, sendo esta Relação devida a diversos fatores como: (1) a correlação espectral do alvo; (2) topografia e (3) sobreposição de bandas nos sensores (Schowengerdt, 1997). É considerada uma técnica de realce que reduz ou remove esta redundância espectral, a partir da rotação do sistema de referência no espaço de atributos, alinhando os eixos com os principais vetores de variabilidade do conjunto de dados, ou seja, o eixo original é rotacionado para coincidir com as direções de máxima e mínima variância do dado, mantendo sempre a ortogonalidade do sistema de referência (Mather, 1999). Desta forma, gera-se um novo conjunto de imagens cujas bandas individuais apresentam informações não-disponíveis em outras bandas.

Siljestrom e Moreno (1995) utilizaram a ACP para detectar mudanças de específicas feições geomorfológicas. A ACP é uma das técnicas que tem apresentado ótimos

desempenhos na detecção de mudanças de uso e cobertura da terra (Chavez e McKinnon, 1994), e na tarefa de avaliar o grau de modificação, provocado pela ação humana, na paisagem de domínio da caatinga como observou Maldonado (1999).

Todas essas técnicas têm como objetivo principal a extração da informação espectral derivada dos alvos na superfície terrestre contida nas imagens de sensoriamento remoto, e que por diversos motivos, acima explicados, ficaram mascaradas no sinal. Essa informação espectral é característica de cada componente, deste modo é possível analisar o uso e cobertura da terra (Pereira, 1996; Walker e Homma, 1996; Marsh et al., 1994), mapear (Lenney et al., 2001; Thales, 1999; Lucas et al., 2000; Graham, 1993), monitorar (Shimabukuro et al., 2000), detectar mudanças (Lonard et al., 1999); e caracterizar a vegetação (Ravan et al., 1995; Nixon et al., 1985).

2.2.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada- NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

Grande parte dos sensores orbitais opera na faixa de 0,38 – 15 μm do espectro eletromagnético, o qual representa as regiões do visível (azul, verde e vermelho) e do infravermelho próximo e termal. Os alvos na superfície terrestre possuem características espectrais particulares determinadas em função da composição físico química de cada elemento componente. Essas características espectrais estão relacionadas com os comprimentos de onda em cada região do espectro eletromagnético podendo um certo alvo absorver ou refletir mais em um determinado comprimento de onda. O dossel da vegetação verde, por exemplo, absorve fortemente a radiação incidente na região do visível, em função da presença de pigmentos fotossintéticos como a clorofila, carotenos e xantofilas, que convertem a energia absorvida em calor ou fluorescência. No entanto, este mesmo dossel possui uma alta reflectância na região do infravermelho próximo devido as características estruturais de suas folhas.

A necessidade de monitorar a vegetação de maneira eficiente e constante levou a comunidade científica à busca de métodos que pudessem relacionar os valores de radiometria da superfície terrestre com parâmetros biofísicos. Diversos índices foram desenvolvidos com o intuito de relacionar os valores de reflectância registrados pelos

sensores orbitais com o índice de área foliar, biomassa, produtividade, atividade fotossintética e percentagem de cobertura (Jordan, 1969; Huete, 1988; Baret et al., 1989; Baret e Guyot, 1991; Kaufman e Tanré, 1992; Qi et al., 1994; Liu e Huete, 1995; Roujean e Bréon, 1995). Estes índices, chamados de índices espectrais de vegetação, se baseiam na combinação entre bandas espectrais no comprimento de onda do vermelho e infravermelho próximo, que com o aumento quantitativo da vegetação, a reflectância do vermelho tende a diminuir, enquanto no infravermelho tende a aumentar (Jackson e Huete, 1991, Myneni et al., 1995). Desta forma, os contrastes nos valores de reflectância destas duas bandas registradas pelo sensor podem ser associadas a parâmetros biofísicos da vegetação (Rouse et al, 1973, Kauth e Thomas, 1976, Richardson e Wiegand, 1977, Huete, 1988).

Estes índices ressaltam as diferenças entre o solo e a vegetação, pelo simples fato de que a vegetação sadia absorve a radiação na banda vermelha, devido a presença da clorofila e outros pigmentos nas folhas, e espalha fortemente a radiação no infravermelho próximo devido as interfaces ar/água entre os espaços intracelulares e nas paredes celulares, que causam refração múltipla (Jensen, 1983).

Diversos índices de vegetação já foram criados e modificados para realçar, considerar um determinado fator de interesse ou até eliminar ou amenizar os efeitos da atmosfera e de solo que mascaram a resposta da vegetação. Entre os diversos índices existentes os mais utilizados são os seguintes: NDVI (“Normalized Difference Vegetation Index”) (Rouse et al., 1973), comentado logo abaixo e SAVI (“Soil-Adjusted Vegetation Index”) (Huete, 1988); que foi desenvolvido com o objetivo de reduzir as limitações impostas ao cálculo dos índices de vegetação, devido à influência do solo, sendo adicionada uma constante L ao denominador da equação do NDVI. No entanto, o sucesso do SAVI em derivar alguns parâmetros biofísicos tem variado de um estudo ao outro. Bernardes (1996) observou que o SAVI foi capaz de descrever a evolução da biomassa de florestas em regeneração, ao contrário do NDVI que apresentou saturação mesmo em situações de reduzida cobertura vegetal. Contudo, Gleriani (1994) observou que tanto o SAVI quanto o NDVI foram afetados pelo tipo de solo ou por outros fatores, mesmo com 100% de cobertura vegetal.

Um dos índices mais difundidos para derivar IAF e outros parâmetros biofísicos a partir de dados de sensoriamento remoto é o NDVI (Rouse et al., 1973; Sellers et al., 1994; Guyot e Gu 1994; Myneni e Asrar, 1994), que é expresso pela seguinte fórmula:

$$\text{NDVI} = \left[\frac{(\text{IVP} - \text{VM})}{(\text{IVP} + \text{VM})} \right] \quad (2.1)$$

Onde,

IVP: é o valor de reflectância da banda no infravermelho próximo, no caso do ETM+ a banda 4.

VM: é o valor de reflectância da banda no vermelho, no caso do ETM+, a banda 3.

O NDVI tem sido muito utilizado para o monitoramento da vegetação (Goward e Huemmrich, 1992; Huete et al., 1997) por ser correlacionado com diversos parâmetros biofísicos, como índice de área foliar (IAF) (Jordan, 1969; Asrar et al., 1985; Best e Harlan, 1985; Badhwar et al., 1986; Curran e Williamson, 1987; Huete, 1988; Wiegand et al., 1988; Shibayama e Akiyama, 1989; Spanner et al., 1990a, b; Chen et al., 1995), biomassa (Huete, 1988, Asrar, 1989) e atividade fotossintética (Myneni et al., 1997).

No entanto, o NDVI apresenta uma particularidade que o torna insensível ao aumento de biomassa a partir de um determinado estágio de desenvolvimento, ou seja, o índice apresenta uma saturação ficando estabilizado em um patamar mesmo com o aumento da densidade do dossel. Baret e Guyot (1991) comentaram a problemática das estimativas indiretas de IAF acima de 3 (Figura 2.1) resultando na saturação dos valores do índice. Esta saturação é representada pelo comportamento assintótico da curva para valores crescentes de IAF.

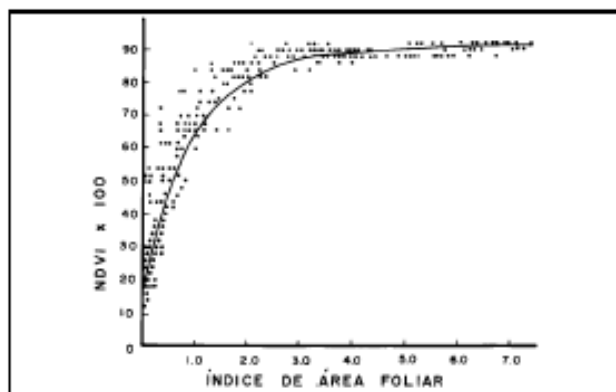


FIGURA 2.2: Comportamento do NDVI em função do IAF.
 FONTE: Adaptada Asrar (1989, p.262).

Sellers (1989) também comentou que a partir do IAF de 3 o NDVI apresenta características de saturação, apesar de indicar uma boa sensibilidade ao desenvolvimento inicial de dosséis. Bernardes (1996) observou que o NDVI só respondeu as variações de estádios sucessionais iniciais (vegetação secundária mais jovem- terrenos limpos com reduzida cobertura vegetal) saturando nos estádios mais avançados.

Huete (1997 a) observou a insensibilidade do NDVI nas áreas florestadas (com grande biomassa), resultando na rápida saturação de seus valores (a partir de valores de NDVI de 0.8). Estudos demonstraram que o NDVI exhibe pequenas variações em dosséis com baixa reflectância no vermelho (0,02 a 0,05) apesar de grandes variações da reflectância no infravermelho próximo (Huete, 1997b), sendo assim difícil detectar mudanças na cobertura vegetal, nos parâmetros biofísicos da vegetação e na produção primária de florestas como a floresta Amazônica.

2.2.2 Imagens de Proporção de Componentes dos Pixels Derivadas de um Modelo Linear de Mistura Espectral segundo Shimabukuro (1987)

Em geral, a resolução espacial de um sensor permite que um pixel inclua mais de um tipo de cobertura do terreno na cena. A radiância registrada pelo sensor será a soma das radiâncias de todos os materiais dentro do seu campo de visada instantânea (IFOV-

“Instantaneous Field of View”), resultando em um fenômeno chamado de mistura espectral (Horwitz et al., 1971; Shimabukuro e Smith, 1991; Foody et al., 1997). Desta forma, a radiância observada em um determinado ponto é dada pela mistura das respostas espectrais de cada um dos componentes da cena, como, por exemplo, solo + sombra + vegetação. Essa mistura de radiâncias pode afetar a análise de dados de sensoriamento remoto, pois as feições de interesse podem ser mascaradas e a comparação de assinaturas espectrais de classes de cobertura da superfície terrestre fica ainda mais difícil.

Este problema pode ser resolvido através de técnicas que tentam modelar a relação existente entre os tipos de componentes (conseqüentemente suas proporções), encontrados em uma cena, e as respectivas respostas espectrais registradas pelo sensor (Adams et al., 1989a; Adams et al., 1989b; Shimabukuro e Smith, 1991; Hall et al., 1995; Shimabukuro e Smith, 1995).

O Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) é uma destas técnicas que através da extração dessas informações visa o realce das feições de interesse da imagem. Este modelo sugere que a resposta espectral de cada *pixel* seja uma combinação linear das respostas espectrais de cada componente existente na mistura (solo, sombra, vegetação, água, rochas), a qual pode ser representada por uma relação linear. Desta forma, os valores de radiância dos objetos são calculados de acordo com a proporção em que aparecem dentro de cada pixel, possuindo então um valor digital, que contém a informação sobre esta proporção e a resposta espectral de cada componente (Shimabukuro e Smith, 1991; Adams et al., 1995; Roberts et al., 1998; Yi et al., 1998; Aguiar et al., 1999). Encontramos na literatura alguns modelos de mistura e métodos propostos para estimar as proporções de classes em um pixel através da resposta multiespectral captada pelo sensor (Mascarenhas e Correia, 1983; Shimabukuro, 1987; Adams et al., 1989; Abrahão et al., 1990; Pereira, 1996).

Diversos trabalhos indicam os componentes vegetação, solo e sombra como constituintes básicos de cenas florestadas (Shimabukuro et al., 1997, Aguiar, 1991), outros incluem ainda um quarto componente, como a madeira (Nascimento, 1997) ou

material vegetal não-fotossintético (Adams et al., 1990 e 1995; Roberts et al., 1998; Pereira et al., 1998).

Shimabukuro et al., (1987) indicam os componentes vegetação, solo e sombra como constituintes básicos de cenas florestadas, e descrevem o modelo de mistura espectral pela fórmula:

$$r_i = a * vege_i + b * solo_i + c * sombra_i + e_i \quad (2.2)$$

sendo que:

r_i = resposta do *pixel* na banda i ;

a , b e c = proporções de vegetação, solo e sombra (ou água), respectivamente;

$vege_i$, $solo_i$, $sombra_i$ = respostas espectrais dos componentes vegetação, solo e sombra, respectivamente;

e_i = erro na banda i ;

i = indica a banda do TM.

Os métodos implementados no software SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas) (Câmara Neto et al., 1996) para estimar as proporções dentro de um *pixel* baseiam-se no critério dos Mínimos Quadrados, cujo objetivo é estimar as proporções minimizando a soma dos quadrados dos erros. Os seguintes métodos estão disponíveis: **Mínimos Quadrados com Restrições** (MQR) (método mais simples e rápido, aplicável quando o número de componentes é igual a três), **Mínimos Quadrados Ponderado** (MQP) (método mais geral, que busca a solução iterativamente) e **Combinação entre Transformação de Principais Componentes e Mínimos Quadrados** (PCMQ) (este método visa diminuir o número de equações no sistema aplicando inicialmente uma transformação de principais componentes, seguida pelo método de estimação por Mínimos Quadrados).

Os resultados obtidos por estes métodos são similares, portanto a escolha do método mais adequado deve basear-se no número de componentes da mistura e na decisão sobre a aplicação da restrição.

O resultado da aplicação do modelo de mistura é um conjunto de imagens-fração que representam cada componente através de valores digitais que variam de 0 a 255, correspondente a proporção de cada componente no *pixel* da imagem original (Shimabukuro e Smith, 1991). Caso três componentes tenham sido selecionadas (por exemplo: solo, sombra e vegetação), teremos como resultado três imagens-fração, representando cada uma os valores de proporção do componente no *pixel* original, ao invés de 6 imagens correspondentes as bandas 1 a 5 e 7 do Landsat 7 ETM+.

Esta redução de dados para um número de bandas correspondente ao número de componentes da imagem, possibilita uma melhor interpretação das cenas sendo possível a caracterização das mesmas através da proporção de cada componente (Novo e Shimabukuro, 1994; Adams et al., 1995).

Shimabukuro e Smith (1989) demonstraram que a imagem componente sombra está relacionada com a estrutura de reflorestamentos, com a cobertura de copa, altura e espécies de árvores mostrando diferenças significativas em espécies de *Pinus* e diferenças em idades de *Eucalyptus*. No caso dos *Eucalyptus*, os plantios mais jovens (com idades de 8 meses a 2 anos) apresentaram menor quantidade de sombra do que o *Eucalyptus* antigo (maior que 2 anos). A imagem fração sombra também foi utilizada para analisar a taxa de desflorestamento em Rondônia, as áreas com uma baixa quantidade de sombra contrastavam com as áreas florestadas que possuíam média quantidade de sombra (Shimabukuro et al., 1997).

Yi et al. (1998), demonstraram a importância da imagem-fração sombra para distinguir áreas agrícolas das áreas de floresta e cerrado, assim como na diferenciação entre solo preparado (arado), o qual possui mais sombra, e a pastagem esparsa.

Ranson e Daughtry (1987) mostraram que a sombra tem um importante efeito na resposta espectral da cena, especialmente em áreas florestadas e uma vez decomposta,

pode ser usada como uma nova banda para classificação digital (Shimabukuro, 1987; Adams et al., 1995). Segundo Adams et al. (1989) a presença da sombra pode estar relacionada à vegetação ou à rugosidade do solo/rocha, topografia, elevação solar ou a outros fatores, misturando-se em todas as proporções e variando em todas as escalas, desde sombra ao nível multipixels, produzidas por feições topográficas, até subpixel, causadas por árvores, arbustos e outros objetos.

Cochrane e Souza Jr (1998) demonstraram o potencial do modelo linear de mistura espectral para detectar áreas impactadas pelo fogo na Amazônia, sendo possível identificar através da componente vegetação não fotossintética, áreas recentemente queimadas e antigas queimadas (período maior que 1 ano).

Souza Jr e Barreto (2000) utilizaram a fração solo para identificar e estimar áreas de corte seletivo em Paragominas, demonstrando uma valiosa metodologia para monitorar e analisar o corte seletivo na Amazônia.

Thales (1999) utilizou a fração sombra para mapear e caracterizar áreas com dominância de babaçu, sendo observado que com o aumento da densidade do babaçu, os valores de número digital e reflectância aparente diminuíam no infravermelho próximo e a proporção do componente sombra aumentava.

O modelo linear de mistura espectral vem sendo muito utilizado na discriminação de mudanças de uso e cobertura da terra (Adams et al., 1995; Perreira, 1996; Verona, 2002); na detecção de alterações no volume de madeira em plantações de *Pinus sp.* (Souza, 1997); no mapeamento e discriminação de classes de vegetação (Roberts et al., 1998); mapeamento das fisionomias de cerrado (Ferreira et al., 2003), agricultura para a identificação de safras (Moreira et al., 1998) e na detecção de pistas de pouso (Santos et al., 2001).

2.3 Videografia Aerotransportada

A videografia aerotransportada tem como objetivo básico o imageamento da superfície terrestre por uma câmera de vídeo montada em uma plataforma aérea, que envolve uma

contínua sobreposição de cenas de determinada região sendo estas armazenadas em fitas analógicas (magnéticas, etc.) ou no formato digital. É uma técnica de sensoriamento remoto que disponibiliza imediatamente as imagens possibilitando a análise instantânea da informação sendo utilizada extensivamente para o mapeamento e avaliação dos recursos naturais desde a década de 80 (Mausel et al., 1992). Um dos primeiros artigos publicado sobre o uso da aerovideografia no monitoramento dos recursos naturais foi o de Manzer e Cooper (1982) (citados por Linden, 2000) que usaram uma câmera de vídeo monocromática modificada com um filtro infravermelho próximo, para detectar doenças em batatas. Apesar da baixa resolução espacial em relação a fotografia aérea, a disponibilidade imediata do dado tornou o estudo viável e atraente.

King (1995) descreve a evolução do uso da videografia aerotransportada como uma ferramenta de monitoramento da superfície terrestre, enfatizando o seu rápido desenvolvimento tecnológico (atualmente todos os sistemas de videografia codificam o sinal do sistema GPS em suas cenas) e a diversidade de aplicações deste sistema (agricultura, florestal, geologia, e meio ambiente).

Everitt et al (1991) apresentam uma revisão do estado da arte e do desenvolvimento de sistemas de videografia aerotransportada, e suas aplicações no monitoramento dos recursos naturais, enfatizando o seu uso na agricultura. Diversos sistemas de vídeo foram desenvolvidos ao longo de cinco décadas na tentativa de aperfeiçoar tanto a resolução espectral quanto a espacial, tornando-os mais compatíveis aos sistemas digitais.

No início da década de 70, os sistemas de câmera de vídeo em tubo em preto e branco e com baixa resolução espectral foram utilizados por Edwards (1982) e por Escobar (1983) (citados por Everitt et al., 1991) para detectar os danos nas folhas de árvores cítricas causadas pelo congelamento das mesmas.

O desenvolvimento de um sistema de vídeo com quatro câmeras pelos pesquisadores do USDA (U.S Department of Agriculture- Welasco, Texas, USA) possibilitou o imageamento simultâneo com diferentes filtros (vídeo multiespectral) (Nixon et al., 1985), sendo utilizado na determinação de espécies de plantas, pastos fertilizados, e áreas queimadas (Everitt e Nixon, 1985).

Diversos estudos demonstraram a utilidade dos sistemas de vídeo aerotransportado em projetos de sensoriamento remoto aplicado ao mapeamento das condições do solo (Everitt et al, 1989), agricultura (Hickman et al., 1991; Everitt et al, 1991; Marsh et al., 1990; Wiegand et al., 1994), monitoramento de catástrofes (Marsh et al., 1991) e o mapeamento da cobertura terrestre (Hess et al., 2002).

As vantagens da videografia em relação às outras técnicas de sensoriamento remoto são: (1) disponibilidade imediata do dado; (2) possibilidade de observar as imagens enquanto estão sendo gravadas; (3) maneira eficiente em que o dado é gravado e estocado; (4) baixo custo em relação a fotografias aéreas; (5) imagens análogas podem ser interpretadas manualmente diretamente no monitor do vídeo ou convertida em valores digitais para futuros processamentos; (6) integração do sistema com GPS (Global Positioning System) e com Sistemas de Informações geográficas; (7) grande quantidade de imagens adquiridas; (8) possibilidade de identificação e correção de problemas na rota (Nixon et al., 1985; Everitt et al., 1991b; Marsh et al., 1994; Mausel et al., 1992; King, 1995).

Contudo, a videografia também apresenta algumas limitações. Mausel et al. (1992) descreve que a dificuldade de alinhamento de mais de uma câmera pode prejudicar a composição de imagens e o cálculo de índices, a necessidade de um gravador e um monitor para cada câmera utilizada no sistema, aumentando o custo operacional deste sistema, e ainda aparelhos fabricados em países diferentes podem acarretar possíveis problemas de codificação de imagens. King (1995) cita ainda que a captura de imagens do formato analógico para o digital pode resultar em perda de qualidade das imagens.

Law (1995) num estudo com vegetação arbustiva demonstrou que há uma correlação linear positiva entre a porcentagem de cobertura de folhas iluminadas, folhas sombreadas e solo sombreado da cena da videografia e a fração da radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelo dossel ($fAPAR$), e uma correlação logarítmica das mesmas coberturas e o IAF (Índice de Área Foliar), demonstrando a capacidade da videografia em estimar o IAF de vegetação arbustiva.

A videografia aerotransportada vem sendo muito utilizada em estudos de avaliação de danos naturais, como na avaliação do impacto de furacões no ecossistema de mangue na costa sudoeste do estado da Flórida (Doyle et al., 1994), na classificação de danos

causados por lagartas em plantas (Franklin et al., 1995), na rápida verificação do impacto de furacões nos recursos florestais, reduzindo a necessidade de verificação em campo da área afetada, principalmente nas áreas mais inacessíveis (Jacobs e Eggen-McIntosh, 1993) e no desenvolvimento de modelos estruturais e espectrais de danos a espécies de floresta boreais, causados pelos ácidos provenientes da mineração (Lévesque e King, 1999).

Em relação á inventários florestais a videografia mostrou-se como uma ferramenta importante para adquirir dados detalhados da superfície terrestre, sendo utilizada na delimitação e medição das copas e no cálculo da porcentagem de cobertura de copa (Biging et al., 1995).

A utilização do sistema de aerovideografia tem aumentado devido ao desenvolvimento de câmeras CCD (“Charge Coupled Device”) em substituição ao sistema de tubo, proporcionando maior resolução espacial e compatibilidade aos sistemas digitais (El-Hakim, 1986) e grande avanço nos sistemas de gravação e no processamento digital das imagens de videografia (Everitt et al., 1991a).

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Localização da Área de Estudo

O trabalho envolve uma área localizada entre os paralelos $5^{\circ} 30' 20''$ e $6^{\circ} 02' 59''$ latitude sul e os meridianos $48^{\circ} 54' 25''$ e $49^{\circ} 17' 46''$ longitude oeste, englobando parte dos municípios de Marabá, Eldorado dos Carajás e São Domingos do Araguaia e compreende a análise de várias amostras obtidas ao longo da linha de voo realizada nesses municípios, no estado do Pará, Brasil (Figura 3.1).

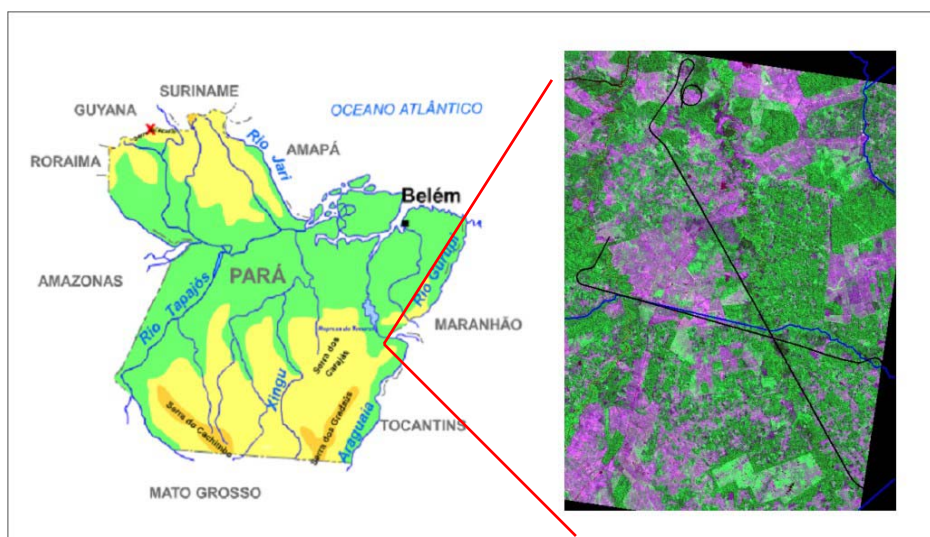


FIGURA 3.1: Área de estudo no município de Marabá, Pará.

3.2 Características da Área de Estudo

3.2.1 Aspectos Físicos

De acordo com o Projeto RADAMBRASIL (1974) esta área encontra-se sobre rochas muito antigas (Grupo Tocantins-Pré Cambriano Médio a Superior) com elevado grau de metamorfismo (filitos e xistos), apresentando superfícies pediplanadas, dissecadas em colinas e ravinas. O relevo é suave ondulado e ondulado, possuindo uma altitude média de 125 metros.

O solo nesta região é predominantemente Podzólico Vermelho –Amarelo (textura argilo-cascalhenta), que apresenta características como elevada acidez, baixa fertilidade e espessura que não excede 200 cm. Ocorrem ainda Cambissolos e solos Litólicos e com menor frequência Latossolos Amarelos e Areias Quartzosas (RADAMBRASIL, 1974).

As temperaturas são regulares e relativamente elevadas durante todo o ano, entre 24°-27°C, e as variações diárias não ultrapassam 8°-10°C. As precipitações são em torno de 2.100 mm anuais, atingindo 2.700 mm ou mais em algumas áreas, a umidade relativa do ar varia de 60 a 90% (INMET, 2003).

3.2.2 Aspectos da Vegetação

Conforme o Projeto RADAMBRASIL (1974) ocorrem nesta região:

I. Floresta Ombrófila Densa Sub Montana: cobre a maior parte da área, sendo caracterizada por suas grandes árvores (e.g. *Bertholletia excelsa* H & B., a Castanheira) freqüentemente com mais de 50 metros de altura, que sobressaem entre 25 e 35 metros de altura ao estrato arbóreo uniforme. Aparece intercalada com floresta aberta, em grupamentos mistos de babaçu (*Orbignya martinana*) nos vales estreitos ou de inajá (*Maximiliana regia*) nos vales abertos, e de cipoal nas largas depressões aplainadas ou nas encostas das baixas colinas.

II. Floresta Ombrófila Aberta Latifoliada (cipoal): vegetação encontrada em pequenas áreas que apresentam como característica um envolvimento total ou parcial das árvores, com altura entre 20 e 25 metros, por lianas. Recobre uma área sedimentar onde o cipoal e o babaçual se intercalam em configurações ditadas pelo relevo: o cipoal nas áreas aplainadas e o babaçual nos vales.

Nesta região ocorrem ainda extensas áreas de vegetação secundária formadas como consequência do impacto humano nas áreas de floresta primária. Em toda a área de estudo é possível observar diversas formações secundárias desde estágios iniciais de sucessão até os mais avançados, áreas com vegetação arbustiva, indivíduos de *Cecropia* sp., *Miconia* sp. e até extensos babaçuais.

A floresta de babaçu, uma comunidade dominada pela palmeira do babaçu, *Orbignya martinana*, pode ser considerada como uma formação secundária, que rapidamente se

desenvolve nos meses subseqüentes às queimadas, quando seus cocos germinam e crescem vigorosamente. O babaçu pode ocorrer isoladamente nas florestas ou em áreas abertas, sendo mais freqüentemente encontrado em áreas degradadas onde é considerado uma espécie pioneira e dominante. Podemos encontrar esta palmeira em toda a região amazônica, do Acre ao Tocantins, sendo muito comum no Maranhão onde forma os grandes babaçuais (Rizzini, 1979).

O babaçu é uma palmeira imponente, possuindo tronco simples e estipe de aproximadamente 3-15 metros de altura e 25-41 centímetros de diâmetro. Esta palmeira possui aproximadamente 7-22 folhas em ráquis de 5-12 metros de comprimento e folíolos arranjados regularmente e dispostos em um mesmo plano, quase verticais. Possui inflorescência interfoliar de 75-80 centímetros de comprimento, ramos florais volumosos com frutos ovais alongados com 7,5-11 centímetros de comprimento e 3,5-7 centímetros de diâmetro, apresentando ainda 3 a 6 amêndoas em cada fruto (Henderson, 1995)

3.3 Fluxograma da Metodologia Adotada

A metodologia proposta para o desenvolvimento deste projeto, está detalhada no fluxograma abaixo (Figura 3.2).

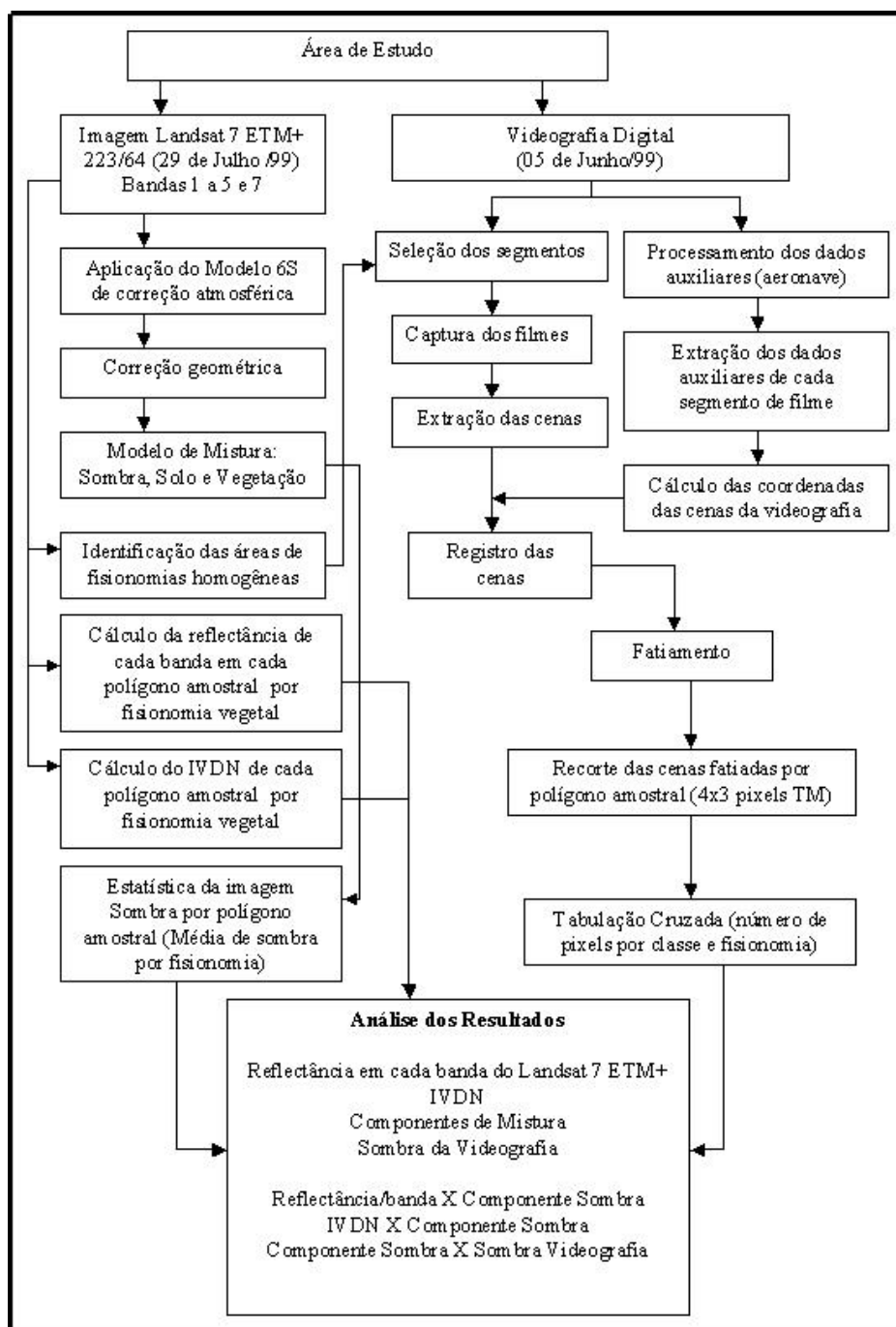


FIGURA 3.2: Fluxograma da metodologia adotada.

3.4 Material e Métodos

3.4.1 Imagem Orbital

A imagem orbital utilizada no trabalho foi proveniente do sensor Landsat 7 ETM +, órbita ponto 223/64 do dia 29/07/1999 e as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 em formato digital.

3.4.2 Processamento Digital da Imagem

Todos os processamentos digitais da imagem do Landsat 7 ETM+ foram realizados no programa SPRING – Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (Câmara Neto et al., 1996), exceto a correção atmosférica, que foi realizada pelo programa 6S (Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum) com interface em DOS (Vermote et al., 1997).

3.4.2.1 Correção Atmosférica

Para a atenuação dos efeitos atmosféricos na imagem Landsat 7 ETM + foi utilizado o modelo de correção atmosférica 6S, segundo Vermote et al. (1997). Foram utilizados os seguintes parâmetros para a correção da imagem:

- 1) Altitude média da região: 125m;
- 2) Coordenada central da imagem em graus decimais: latitude:- 49.06.46; longitude: - 05.46.34
- 3) Data da imagem: 29/07/1999
- 4) Número de pixels da imagem: banda 1 à 7: 3114195 (1995 linhas X 1561 colunas)
- 5) Modelo da atmosfera: tropical
- 6) Tipo de Aerossóis: continental
- 7) Condição óptica (visibilidade): 0
- 8) Espessura óptica: 0,108 (Koepke et al., 1997)

O programa gera duas imagens para cada banda, uma com reflectância de superfície (com a atmosfera corrigida), representando a reflectância da superfície terrestre caso não houvesse

a presença da atmosfera, e outra imagem de reflectância aparente, correspondente aos valores registrados pelo sensor e convertidos para reflectância.

3.4.2.2 Registro das Imagens

As imagens (bandas 1 a 7 com reflectância de superfície) resultantes da correção atmosférica foram registradas, tendo como base uma imagem de mesma órbita /ponto (223/64), do dia 19 de Agosto de 1999, previamente registrada, na mesma projeção (Projeção Universal Transversa de Mercator) e datum (SAD-69). Os pontos de controle foram selecionados em áreas identificáveis nas duas imagens (cruzamento de estradas e rios) e distribuídos por toda a imagem, num total de 6 pontos de controle, apresentando um erro dos pontos de controle de 0,20 pixel, correspondente a 6 m. Foi utilizado o polinômio de 1º grau para o ajuste das coordenadas, e o vizinho mais próximo na determinação dos novos valores de número digital.

3.4.2.3 Geração Imagens de Proporção de Componentes dos Pixels derivadas de um Modelo Linear de Mistura Espectral

A geração das imagens de proporção de componentes foi realizada conforme Shimabukuro (1987) e a aplicação do modelo de mistura envolveu três etapas: 1) identificação dos componentes puros na imagem para a geração do modelo; 2) aplicação do modelo linear de mistura espectral nas bandas de interesse, e geração das imagens proporção de cada componente e 3) análise dos erros gerados.

A localização dos pixels representativos de cada componente, vegetação, solo e sombra, foi feita com base nas imagens de videografia e análise do número digital de cada componente (Tabela 3.1) e de sua resposta espectral nas bandas analisadas (Figura 3.3).

TABELA 2: Valores de Número Digital do Pixel selecionado como Componente Puro nas Seis Bandas Espectrais das Imagens Corrigidas (Efeito Atmosférico).

Componentes Puros	Bandas Espectrais (Landsat ETM+)					
	ETM+-1	ETM+-2	ETM+-3	ETM+-4	ETM+-5	ETM+-7
Vegetação	4	12	7	163	44	17
Solo	10	19	20	105	70	41
Sombra	4	7	4	22	7	3

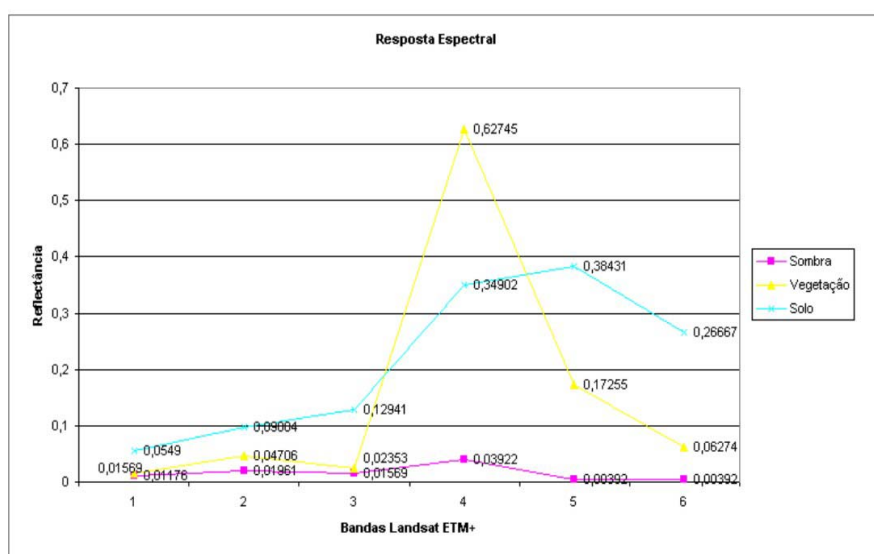


FIGURA 3.3: Componentes puros (sombra, vegetação e solo) do modelo linear de mistura espectral.

O método utilizado para a estimativa das proporções foi o dos Mínimos quadrados com Restrições. Este método estima as proporções minimizando a soma dos quadrados dos erros de modo que a combinação das assinaturas espectrais dos componentes seja a melhor aproximação do valor do pixel observado. O modelo linear de mistura espectral foi aplicado nas bandas 1 a 5 e 7 resultando em três bandas, componente sombra, solo e vegetação.

3.5 Cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI- Normalized Difference Vegetation Index)

O NDVI foi calculado através das bandas 3 e 4, correspondentes ao vermelho e infravermelho próximo, respectivamente, utilizando a Ferramenta “Operações Aritméticas”

no SPRING e a imagem gerada foi utilizada para calcular a média de NDVI por fisionomia vegetal.

3.5.1 Videografia Aerotransportada

O sobrevôo da aerovideografia foi realizado no dia cinco de junho de 1999 pelo INPE juntamente com a Universidade de Santa Bárbara, Califórnia (UCSB) e o Laboratório de Propulsão a Jato (JPL- California Institute of Technology). O vôo foi realizado com a aeronave Bandeirante do INPE e com um sistema de aquisição de vídeo desenvolvido pelo Departamento de Conservação dos Recursos Naturais e da Ciência de Computação da Universidade de Massachussets (Natural Resource Conservation and Computer Science of the University of Massachusetts-Umass, Amherst). O sistema de vídeo utilizado incluía duas câmeras digitais (Sony DVX-1000 e Sony CCD-TR500 Hi 8) orientadas verticalmente (uma no modo de visada larga e a outra no zoom) acoplado a um sistema de referência de atitude (AHRS-attitude and heading reference system), ao laser altímetro (laser rangefinder) (904nm) e ao GPS, que mediam as inclinações laterais e longitudinais da aeronave, a distância da aeronave ao solo ou dossel da vegetação e as coordenadas da aeronave, respectivamente (Hess et al, 2002) (Figura 3.4).



FIGURA 3.4: Sistema de aquisição da videografia digital utilizado no voo. O sinal do GPS diferencial OmniSTAR recebido pela antena de GPS Trimble 132 montada externamente foi convertido para o formato SMPTE pelo gerador de time-code Horita GPS3 e codificado no sinal de áudio das fitas de vídeo. O dado do GPS também foi usado na contínua atualização da rota de voo no computador de navegação. Duas câmeras digitais Canon XL-1 tanto no formato de visada larga quanto no zoom foram utilizadas simultaneamente e os filmes foram gravados em fitas DAT. Os dados do Sistema de Referência de Atitude (SRA-Watson Industries BA303 AHRS- attitude and heading reference system), do Laser Atlanta (laser rangefinder) e do GPS foram gravados pelo computador de aquisição dos dados do voo para pós-processamento.
 FONTE: Adaptada de Hess et al, 2002, p. 1534).

3.5.2 Processamento da Videografia Aerotransportada.

Os processamentos das cenas da aerovideografia foram adaptados de Thales (1999) sendo dividido em três módulos como seqüenciado abaixo:

Módulo Um: Processamento dos dados auxiliares da aeronave

Módulo Dois: Identificação e captura das cenas de interesse

Módulo Três: Registro das Cenas

3.5.2.1 Processamento dos Dados Auxiliares

Os dados auxiliares da aeronave consistem basicamente de três tipos de arquivo ASCII (Tabela 3.2), referentes aos dados do timecode gerado pelo Horita GPS3 (30 Hz, com uma taxa de aquisição de 30 cenas por segundo), aos dados de inclinação do Sistema de Referência de Atitude da aeronave (SRA- 11,8 Hz- Attitude and Heading Reference System-AHRS) e ao laser altímetro (amostrados a 238 Hz). Cada dado auxiliar foi gerado com uma taxa de amostragem diferente, portanto, foram armazenados separadamente, mas identificados para posterior agrupamento de dados. A reamostragem e sincronia dos mesmos são necessárias para a identificação de cada cena, com sua exata localização geográfica (pelas coordenadas registradas pelo GPS), a altura da aeronave naquele instante (dados gravados pelo laser altímetro) e as variações de inclinação sofridas pela aeronave (registrados pelo SRA). Desta forma, é possível selecionar os segmentos de videografia que sofreram menores variações de inclinação (entre $- 5$ e $+ 5$ graus), e georreferenciar as cenas a partir das coordenadas registradas pelo GPS.

TABELA 3: Dados Auxiliares Registrados Durante o Vôo, e Taxa de Amostragem.

Equipamento	Tipo de dado	Taxa de amostragem (Hz)
Horita GPS3	Timecode de cada frame	30
Watson BA03- AHRS (Attitude and Heading Reference System)	Dados de Atitude do avião	11,8
Laser Atlanta	Altura entre o avião e/ou solo dossel	238

A interpolação dos dados foi feita através do programa FlightData.exe, um programa desenvolvido pelo Computer Vision Research Laboratory da Universidade de Massachussets (UMASS), Amherst (Hess et al., 2002). Este programa, em interface Windows, interpola os dados auxiliares da aeronave, criando uma tabela onde cada timecode, que está relacionado a uma cena na videografia, está associado às coordenadas geográficas, ao grau de variação da inclinação sofrida pela aeronave naquele momento, e à altura medida pelo laser altímetro (Figura 3.5). Estes dados foram necessários para a escolha dos segmentos de videografia e para o registro das cenas.

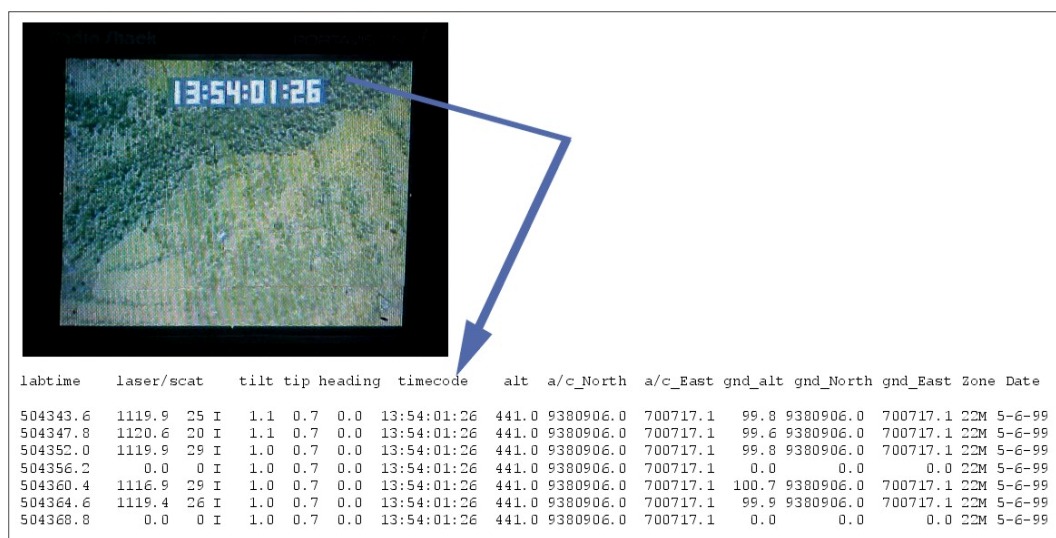


FIGURA 3.5: Cena de videografia identificada com seu timecode no alto da tela do monitor e seu respectivo segmento de dados auxiliares.

3.5.2.2 Identificação e Captura das Cenas de Interesse

A imagem Landsat 7 ETM+ foi utilizada como base para a identificação dos segmentos de interesse da videografia. Foram demarcadas áreas correspondentes aos diferentes tipos de fisionomias vegetais, entre eles: Floresta de Terra Firme; Floresta Secundária; Floresta inundada; Pasto; e Floresta com Babaçu (Figura 3.6). Destes segmentos, foram escolhidos segmentos de videografia que tivessem o menor grau de variação de inclinação da aeronave, entre -5 e $+5$ graus.

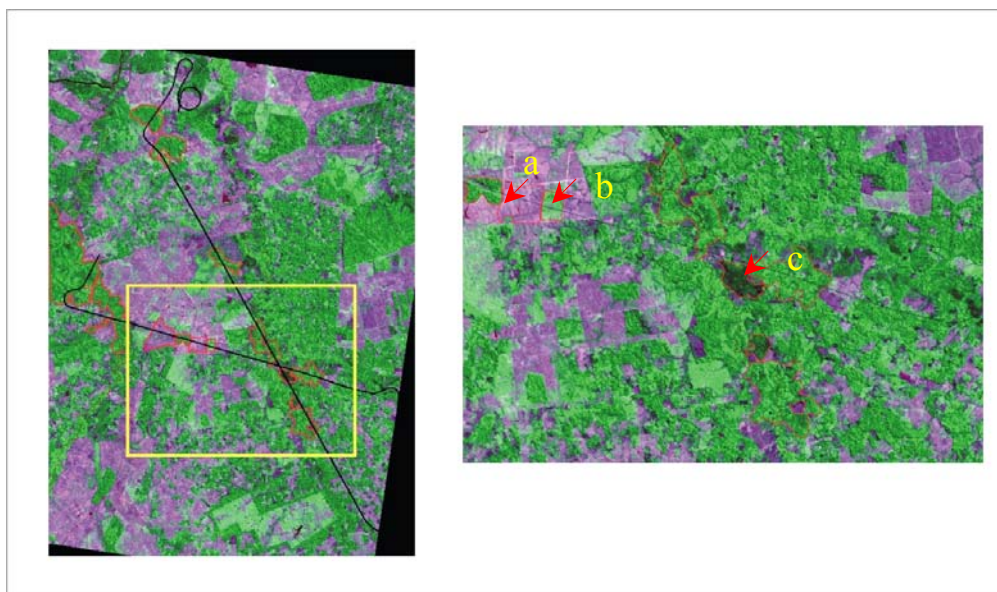


FIGURA 3.6: Áreas demarcadas na imagem Landsat 7 correspondentes aos diferentes tipos de formações. No zoom podemos observar o pasto (a), a vegetação secundária (b) e o babaçu (c).

Os segmentos demarcados foram capturados pelo programa Sony DV Application for DVBK-2000, 1.00. Foram capturados 35 segmentos de filme, dos quais foram extraídas 44 cenas de visada larga no formato bitmap (Tabela 3.3).

Foram utilizados os seguintes equipamentos (Figura 3.7) para a captura dos segmentos:

- Um gravador VCR Digital Sony (DHR-1000): utilizado para a leitura da fita digital;
- Uma placa de vídeo digital (DBVK 2000/2000-E) instalada em um computador;
- Um monitor Radio Shack portavision, acoplado ao Horita WG 50: permitindo a identificação dos segmentos de interesse e seus respectivos timecodes.

TABELA 4: Tipos de Fisionomias e Número de Cenas Utilizadas da Aerovideografia.

Tipo de Vegetação	Número de cenas
Pasto	7
Floresta Secundária	7
Floresta Inundada	9
Floresta de Terra Firme	13
Floresta com Babaçu	8

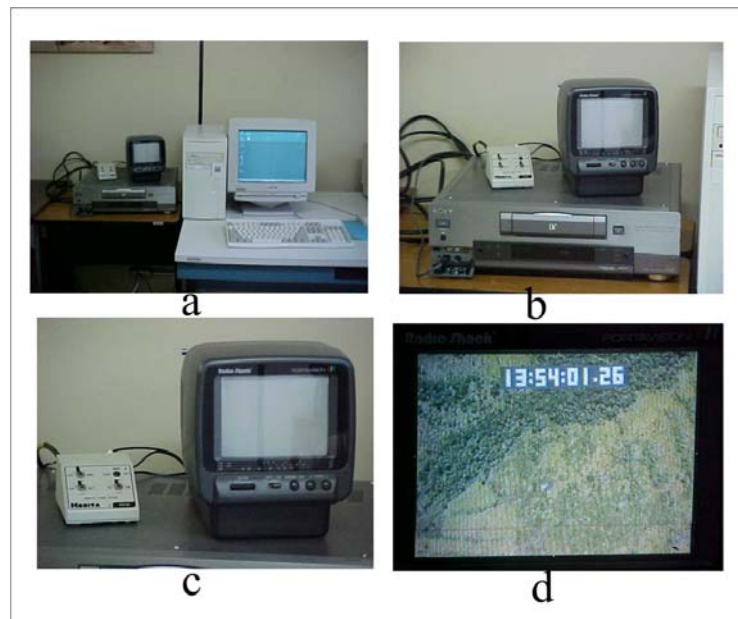


FIGURA 3.7: Equipamento utilizado para a captura dos segmentos/cenas da videografia. a) equipamento completo; b) vídeo, horita e monitor; c) horita e monitor e d) imagem do vídeo no monitor com timecode acima.

3.5.2.3 Registro das Cenas de Videografia

O registro das cenas foi baseado nas coordenadas da cena principal, da cena anterior e posterior e na altura média da aeronave da cena a ser registrada. Foram realizados diversos cálculos para determinar as coordenadas de georeferenciamento dos extremos superiores e inferiores da cena principal, levando em consideração alguns parâmetros listados a seguir:

- 1) Altura média da aeronave
- 2) Direção do Vôo
- 3) Ângulo entre as cenas
- 4) Ângulo de abertura da câmera

1) Cálculo da altura média da aeronave: a altura média da aeronave de cada cena principal (a ser registrada), foi calculada a partir dos dados do laser altímetro, encontrado nos dados auxiliares. Foi extraído um intervalo de um segundo (30 cenas, sendo que cada cena tem seu timecode repetido oito vezes, pois a taxa de amostragem

do laser é maior), no qual a cena principal se encontrava exatamente no meio do segmento, como no exemplo da figura 3.8. Primeiramente, todos os timecodes (registros) que apresentavam o valor zero de laser foram descartados. Após a limpeza dos dados, foi determinada a altura máxima a cada 20 registros, e foi considerada como a altura média da aeronave a altura máxima (maior distância entre a aeronave e o solo) correspondente ao intervalo onde a cena principal se encontrava.

labtime	laser/scat	tilt	tip	heading	timecode	alt	a/c_North	a/c_East	gnd_alt	gnd_North	gnd_East	Zone	Date		
187990.0	961.6	32	i	-0.5	2.2	196.1	13:48:45:15	418.2	9385310.6	700691.6	125.4	9385300.4	700686.1	22M	5-6-99
187994.0	961.6	32	i	-0.5	2.2	196.1	13:48:45:15	418.2	9385310.3	700691.5	125.4	9385300.2	700685.9	22M	5-6-99
187998.0	962.1	35	i	-0.5	2.2	196.1	13:48:45:15	418.2	9385310.0	700691.4	125.2	9385299.9	700685.8	22M	5-6-99
188002.2	0.0	0	i	-0.5	2.2	196.1	13:48:45:15	418.3	9385309.7	700691.3	0.0	0.0	0.0	22M	5-6-99
188006.4	962.1	34	i	-0.5	2.2	196.1	13:48:45:15	418.3	9385309.4	700691.2	125.2	9385299.3	700685.4	22M	5-6-99
188010.6	961.6	41	i	-0.6	2.2	196.1	13:48:45:15	418.3	9385309.0	700691.1	125.4	9385299.0	700685.3	22M	5-6-99
188014.8	959.6	38	i	-0.6	2.2	196.1	13:48:45:15	418.3	9385308.7	700691.0	126.0	9385298.8	700685.1	22M	5-6-99
188019.0	960.1	32	i	-0.6	2.2	196.1	13:48:45:15	418.3	9385308.4	700690.9	125.9	9385298.5	700685.0	22M	5-6-99
188023.4	960.8	30	i	-0.6	2.2	196.1	13:48:45:16	418.3	9385308.1	700690.9	125.7	9385298.2	700684.8	22M	5-6-99
188027.8	958.6	32	i	-0.6	2.2	196.1	13:48:45:16	418.3	9385307.8	700690.8	126.4	9385297.9	700684.6	22M	5-6-99
188032.2	960.8	30	i	-0.6	2.2	196.1	13:48:45:16	418.3	9385307.5	700690.7	125.7	9385297.6	700684.5	22M	5-6-99
188036.6	960.6	35	i	-0.6	2.2	196.1	13:48:45:16	418.3	9385307.1	700690.6	125.8	9385297.3	700684.3	22M	5-6-99
188041.0	960.1	32	i	-0.7	2.2	196.1	13:48:45:16	418.3	9385306.8	700690.5	125.9	9385297.0	700684.1	22M	5-6-99
188045.2	961.6	31	i	-0.7	2.2	196.1	13:48:45:16	418.3	9385306.5	700690.4	125.5	9385296.7	700683.9	22M	5-6-99

FIGURA 3.8: Exemplo de um segmento do dado auxiliar utilizado no cálculo da altura média da aeronave.

2) Cálculo da direção do voo, do ângulo entre as cenas e do ângulo de abertura da câmera: Esta fase foi elaborada em uma planilha eletrônica na qual os dados de entrada constituíam-se das coordenadas centrais da cena principal (a ser registrada), de sua cena anterior e posterior, de sua altura média durante o voo, e da distância ao longo do terreno:

A direção do voo foi determinada pela comparação entre as coordenadas das cenas anterior e posterior, ou seja:

- se as coordenadas de latitude da cena anterior fossem menores que as da posterior, então a direção do voo era norte, senão era sul;
- se as coordenadas de longitude da cena anterior fosse menor que a posterior então o voo estava indo para leste, senão para oeste.

O ângulo entre as cenas anterior e posterior foi calculado através da seguinte fórmula, e esquematizado na figura 3.9:

$$\varphi = \arctan\left(\frac{\Delta lat}{\Delta long}\right) \quad (3.1)$$

φ : ângulo entre as cenas;

Δlat : diferença entre a latitude da cena anterior e posterior;

$\Delta long$: diferença entre a longitude da cena anterior e posterior.

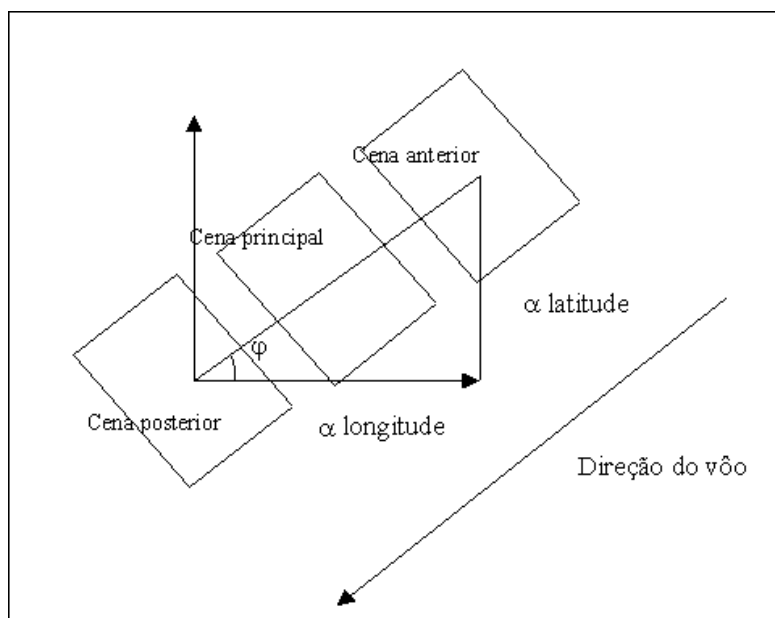


FIGURA 3.9: Esquema do cálculo do ângulo entre as cenas posterior e anterior.

A direção do vôo e o ângulo entre as cenas foram utilizados para calcular o ângulo de rotação da cena principal (θ). Este ângulo irá depender da direção do vôo, ou seja, do quadrante em que a cena se encontra, esquematizado abaixo:

se a cena estiver no quadrante nordeste, o ângulo de rotação será a diferença entre φ (ângulo entre as cenas) e 90 graus, sendo o valor final negativo;

- se sudeste, este ângulo será a soma do φ e -90 graus;
- sendo sudoeste, este ângulo será a soma do φ e 90 graus;
- se noroeste, este ângulo será a soma do φ e 90 graus.

O ângulo de rotação da cena (θ) foi utilizado para calcular as coordenadas finais para o georreferenciamento, juntamente com as distâncias transversais e longitudinais da cena principal que foi calculada através do ângulo de abertura da câmera e a altura da aeronave.

O ângulo de abertura da câmera foi calculado através da seguinte fórmula:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{d}{h}\right) \quad (3.2)$$

sendo,

α : ângulo de abertura da câmera,

d: distância ao longo do terreno,

h: altura da aeronave,

A altura da aeronave (h) e a distância ao longo do terreno (d) foram obtidos de Hess e outros (2002).

Este ângulo, juntamente com a altura média da aeronave na cena principal, foi utilizado para calcular a distância longitudinal e transversal real (no terreno) de cada cena, através das seguintes fórmulas:

$$Dt = h * (\tan \alpha) \quad (3.3)$$

sendo;

Dt: distância transversal;

h: altura média da aeronave;

α : ângulo de abertura da câmera em radianos.

$$Dl = \alpha * lf \quad (3.4)$$

Sendo;

Dl: distância longitudinal;

α : ângulo de abertura da câmera;

lf: distância longitudinal na cena.

Estas distâncias foram utilizadas para o cálculo final das coordenadas planas juntamente com o ângulo de rotação (θ), esquematizado na figura 3.10 e através da fórmula de rotação abaixo:

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

onde;

X': coordenada plana final de X ;

Y': coordenada plana final de Y;

cos θ : coseno do ângulo de rotação;

sen θ : seno do ângulo de rotação;

X: coordenada plana da cena caso ângulo de rotação e centro zero (dt e dl);

Y: coordenada plana da cena caso ângulo de rotação e centro zero (dt e dl);

Desta forma as coordenadas finais foram calculadas da seguinte forma:

$$\begin{aligned} X' &= X \cos \theta - Y \sin \theta \\ Y' &= X \sin \theta + Y \cos \theta \end{aligned} \quad (3.6)$$

onde X e Y se referem as:

Coordenadas canto superior esquerdo: (X, Y): -dt, dl

Coordenadas canto superior direito: (X, Y): dt, dl

Coordenadas canto inferior esquerdo: (X, Y): -dt, -dl

Coordenadas canto inferior direito: (X, Y): dt, -dl

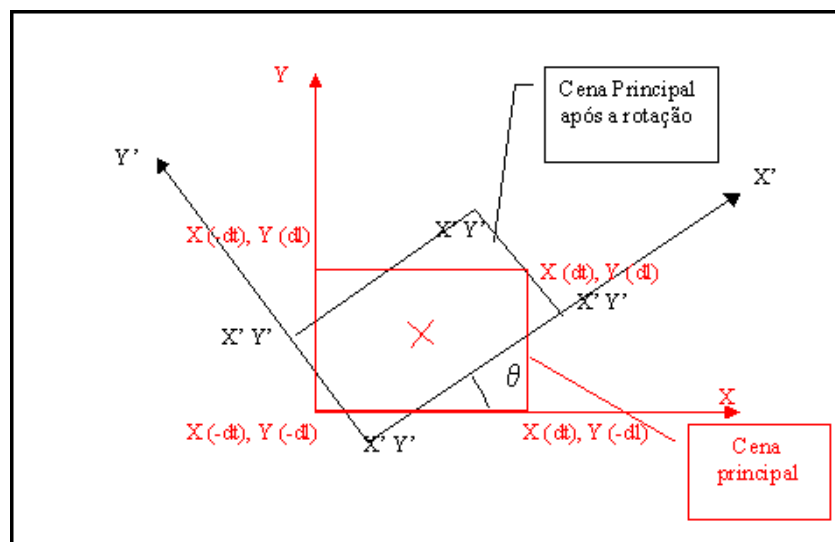


FIGURA 3.10: Esquema da rotação sofrida pela cena após o cálculo do ângulo de rotação e as coordenadas

3.5.3 Identificação das Sombras Através do Fatiamento das Cenas de Videografia

A imagem de videografia possui 3 bandas correspondentes aos filtros utilizados na filmadora. Estes filtros, azul, verde e vermelho, correspondem às 3 bandas do visível do satélite Landsat 7. Sendo a resolução espacial da imagem de videografia aproximadamente de 0,80 m, é possível identificar visualmente o que é sombra e o que é o dossel da vegetação. Portanto, a banda 2 (verde) foi selecionada para o fatiamento dos números digitais das cenas da videografia.

Os limiares foram selecionados após extensas verificações dos números digitais correspondentes à sombra nas cenas de videografia. Foram determinados limiares que representassem as sombras nas mais diversas condições: sombra densa, os menores números digitais (0-30), as sombras mais escuras (os buracos de sombra) e em menor quantidade; sombra média, com o intervalo de 30 a 60, representando as sombras do dossel; sombra fraca, áreas de sombra mais “iluminadas” (60-90); e sombra _S4 (90-120), sombras de folhas e algumas áreas menos iluminadas (Tabela 3.4), após estes intervalos, os outros limiares (120-150; 150-180; 180-210. 210-240; 240-255) foram fatiados apenas para certificar que não havia mais sombras com números digitais mais elevados. Foi desenvolvida uma programação em LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) no SPRING (Figura 3.11) para realizar o fatiamento.

TABELA 5 : Classes de Sombra e seus Respectivos Limiares para o Fatiamento das Cenas de Videografia.

Classe	Limiar (ND)
Sombra Densa	0-30
Sombra Média	30-60
Sombra Fraca	60-90
Sombra S4	90-120
Sombra S5	120-150
Sombra S6	150-180
Sombra S7	180-210
Sombra S8	210-240
Sem sombra	240-255

```

Programação em LEGAL para o fatiamento das cenas de videografia

{
Image Im1 ("Varzea");
Tematico Tem1, Tem2 ("Fatiamento_Varzea");
Tabela fátia1 (Fatiamento);
fátia1=Novo(CategoriaFim="Fatiamento_Varzea",
            [0,30]: "sombradensa",
            [30,60]: "sombra_media",
            [60,90]: "sombra_fraca",
            [90,120]: "sombra_S4",
                [120,150]: "sombra_S5",
                [150,180]: "sombra_S6",
                [180,210]: "sombra_S7",
                [210,240]: "sombra_S8",
            [240,255]: "sem_sombra");

Im1=Recupere(Nome="140301_b2");
Tem1=Novo(Nome="140301_tetse", ResX=0.33, ResY=0.33, Escala=660);

Tem1=Fatie(Numerico(Im1), fátia1);
}

```

FIGURA 3.11: Programação em LEGAL para o fatiamento das imagens de videografia em nove limiares: sombra densa, sombra média, sombra fraca, sombra S4, sombra S5, sombra S6, sombra S7, sombra S8 e sem sombra.

3.5.4 Caracterização Espectral da Imagem Landsat 7 e das Cenas de Videografia em Relação à Resposta Espectral de cada Banda, ao Índice de Vegetação e a Quantidade de Sombra.

Foram criados polígonos de 4 x 3 pixels do ETM+ (uma média de 9 pixels por polígono) para cada cena de videografia de cada fisionomia vegetal (floresta de terra firme, floresta secundária, inundada, babaçu e pasto) no total de 44 polígonos. Estes polígonos foram utilizados como área amostral para a caracterização da resposta espectral de cada banda, do cálculo do índice de vegetação (NDVI), da média de sombra nas cenas de videografia e da imagem componente sombra, solo e vegetação do Landsat 7 ETM+. Os polígonos foram delimitados no centro de cada cena de videografia evitando-se áreas com muita iluminação (hot spots) (Figura 3.12).

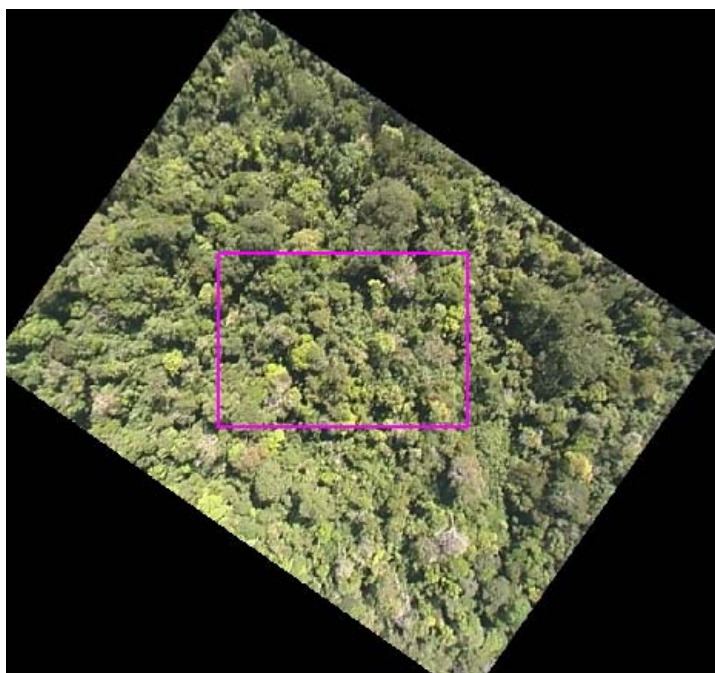


FIGURA 3.12: Cena de videografia com polígono amostral no centro da imagem.

As imagens de reflectância de superfície, da componente sombra, solo e vegetação, e a resultante da aplicação do índice de vegetação, tiveram suas médias, de reflectância, de sombra e de vegetação, respectivamente, calculadas para cada fisionomia vegetal (floresta, secundária, inundada, babaçu e pasto) através de uma ferramenta chamada, Análise de Estatística de Imagem por Polígono do SPRING, como no exemplo da tabela 3.5.

TABELA 6: Tabela Resultante da Análise de Estatística por Polígono da Imagem Componente Sombra de todos os Polígonos de Floresta com Babaçu.

Fisionomia: Floresta com Babaçu							
Imagem analisada: Imagem Componente Sombra							
Polígono	Timecode	Mínimo	Máximo	Média	Variância	Desvio Padrão	Coefficiente Variação
1	14:04:18	77,00	107,00	90,58	87,90	9,38	10,35
2	14:04:25	83,00	105,00	93,42	41,17	6,42	6,87
3	14:04:40	88,00	115,00	101,25	62,39	7,90	7,80
4	14:04:34	89,00	102,00	96,50	14,64	3,83	3,96
5	14:04:24	90,00	118,00	100,67	75,52	8,69	8,63
6	14:04:36	94,00	105,00	100,08	16,63	4,08	4,07

Cada imagem temática (44 cenas de videografia) classificada (fatiada em 9 classes/limiares) de cada tipo de fisionomia vegetal (Floresta de Terra firme; Floresta Inundada, Floresta com Babaçu; Pasto e Floresta Secundária) foi recortada no tamanho do polígono amostral. Esta nova imagem, resultante do recorte, foi utilizada para o cálculo do número de pixels em cada limiar de sombra. Este cálculo foi feito através de uma tabulação cruzada da imagem recorte com ela mesma, resultando o número de pixels em cada classe e o número de linhas e colunas do polígono, como no exemplo da Tabela 3.6.

TABELA 7: Número de Pixels em cada Classe, Número de Linhas e Colunas da Formação Floresta de Terra Firme e seu Respetivo Timecode.

Formação: Floresta de Terra Firme		
Timecode: 13:56:16		
Linhas: 251		
Colunas: 359		
<i>LIMIAR</i>	<i>CLASSES</i>	<i>NÚMERO DE PIXELS</i>
	Background	61
0-30	Sombra densa	201
30-60	Sombra media	7956
60-90	Sombra fraca	10482
90-120	Sombra S4	12445
120-150	Sombra S5	19237
150-180	Sombra S6	22459
180-210	Sombra S7	13624
210-240	Sombra S8	3197
240-255	Sem sombra	447
	Total	90109

Para determinar a quantidade de sombra para cada fisionomia, das cenas de videografia, foram calculadas as médias de sombra para a classe sombra _S4 com o limiar de numero digital de 0 a 120 (sendo uma média agrupada de todos os limiares anteriores). Este limiar foi escolhido, pois melhor representou a sombra nas cenas (Figura 3.13) e teve a maior Relação com a componente sombra do modelo de mistura em todas as fisionomias (Figura 3.14).

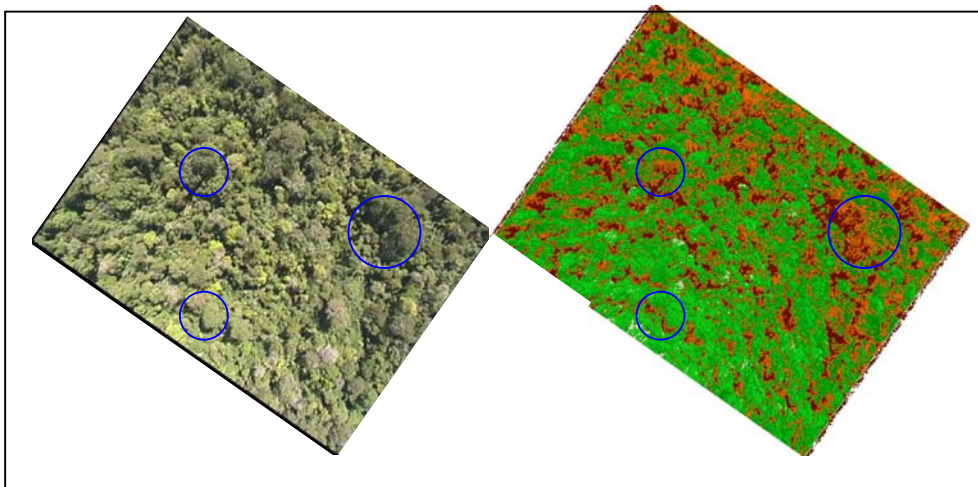


FIGURA 3.13: Cena fatiada e original, as cores mais escuras representam menor numero digital e sombra mais densa (imagem original) e vermelho-amarelado na imagem fatiada.

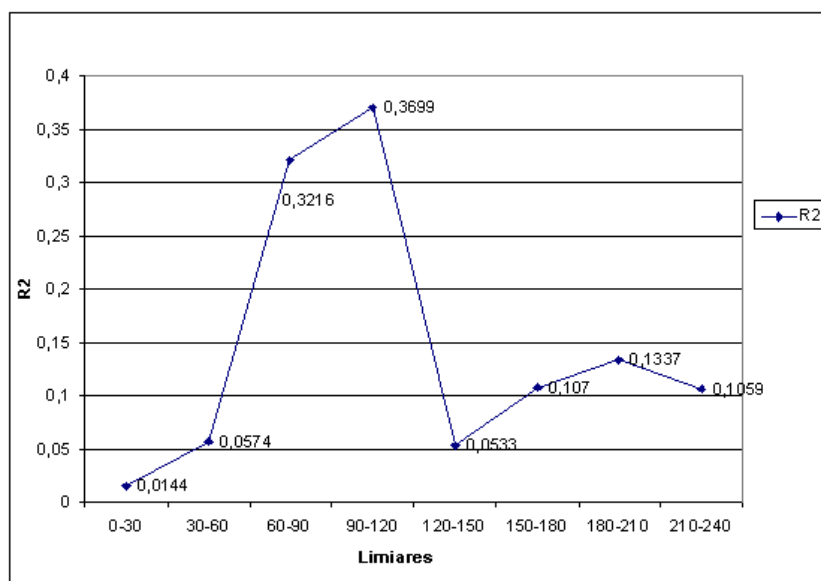


FIGURA 3.14: Valores de Relação entre a sombra da videografia e a componente sombra do modelo de mistura em cada limiar de todas as fisionomias.

Foram feitas análise de correlação de Pearson nos grupos de variáveis (reflectância espectral nas bandas do Landsat 7 ETM+, NDVI, componentes solo, sombra e vegetação do

modelo linear de mistura espectral e nos valores de sombra da videografia), e ANOVA entre classes (fisionomias) em todos os grupos de variáveis.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

4.1 Caracterização espectral da vegetação através das bandas do Landsat 7 ETM+

A resposta espectral das fisionomias de Floresta de Terra Firme, Floresta Inundada, Floresta Secundária, Floresta com Babaçu e Pasto para as imagens de reflectância de superfície, geradas após a aplicação do modelo 6S de correção atmosférica nas imagens originais (bandas 1 a 5 e 7) do Landsat 7 ETM+ é apresentada na figura 4.1.

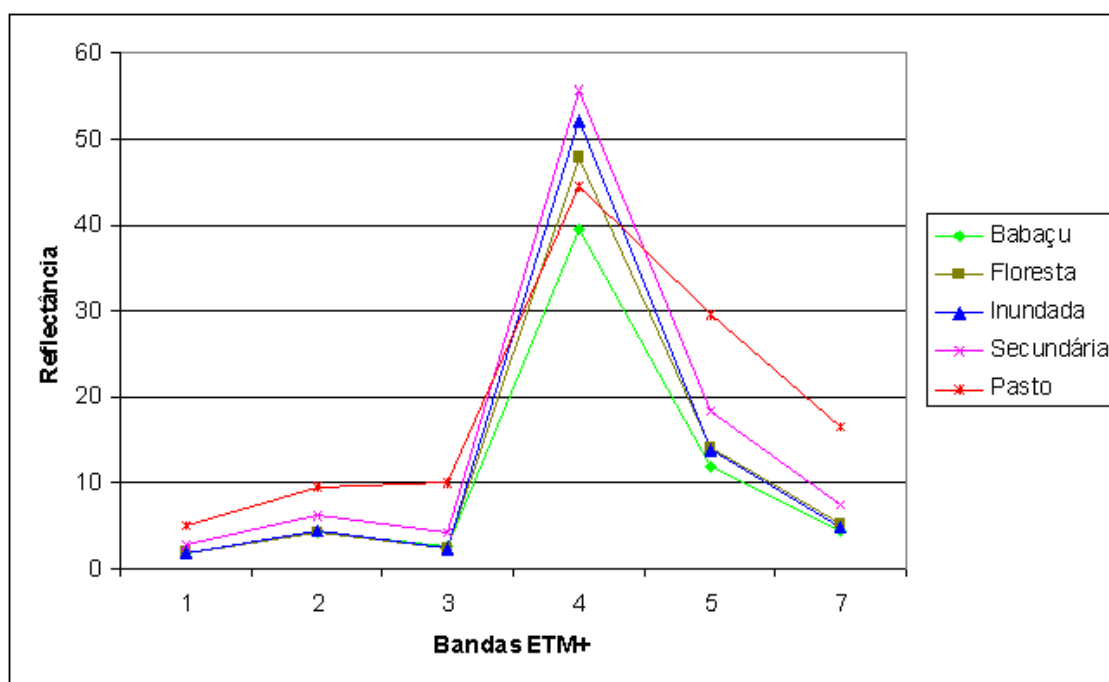


FIGURA 4.1: Comportamento espectral de todas as fisionomias nas bandas 1 a 5 e 7 do Landsat 7 ETM+ após a correção atmosférica, referente as imagens de reflectância de superfície.

De uma forma geral, observa-se para todas as fisionomias um comportamento típico de coberturas vegetais, com respostas baixas no visível (bandas 1, 2 e 3) e altos no infravermelho próximo (banda 4), diminuindo novamente nas bandas do infravermelho

médio (bandas 5 e 7). É claro que cada fisionomia apresenta particularidades em relação a sua resposta em cada banda, como, por exemplo, o pasto que sendo uma fisionomia com uma menor densidade de vegetação, apresenta valores maiores nas bandas 1, 2, 3, 5 e 7, do que as fisionomias de floresta, que por sua vez, possuem valores mais baixos nestas bandas e maiores na banda 4. As diferenças identificadas no comportamento espectral de cada fisionomia nas bandas do Landsat 7 ETM+ é apresentada de uma forma mais clara e representativa na figura 4.2, onde observamos a distribuição dos números digitais de todas as bandas (1 a 5 e 7) do Landsat 7 ETM+ de cada fisionomia (Floresta de Terra Firme, Floresta Inundada, Floresta Secundária, Floresta com Babaçu e Pasto).

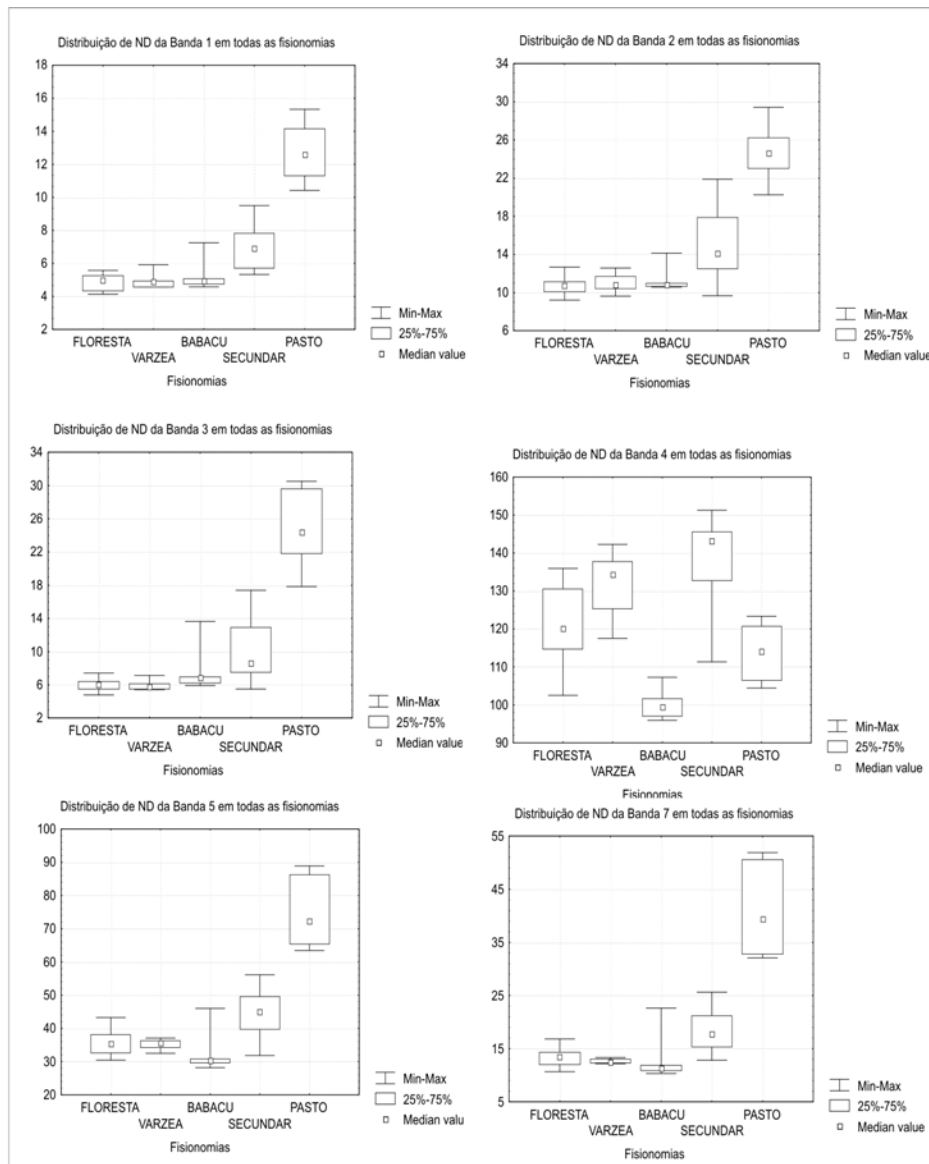


FIGURA 4.2: Distribuição dos números digitais em cada banda (1 a 5 e 7) em todas as fisionomias.

Nas bandas 1, 2 e 3, correspondentes ao comprimento de onda no visível (0,4 a 0,7 μm) a fisionomia de pasto apresenta uma maior reflectância e conseqüentemente maiores números digitais. O Pasto possui uma abundância de material não fotossinteticamente ativo e uma menor cobertura do solo que justifica esta resposta elevada nessa faixa espectral. A análise de variância dos valores de ND das fisionomias demonstrou que a classe Pasto se diferenciou de todas as outras fisionomias (Tabela A1, A2 e A3 do Apêndice A).

As fisionomias de floresta (terra firme, inundada, secundária e babaçu) por possuir maior quantidade de vegetação, apresentam menores reflectâncias neste comprimento de onda. Este fato está relacionado com a cobertura do solo, que é mais efetiva do que a fisionomia de Pasto. Embora os valores de ND destas fisionomias serem muito baixo e próximos nestas bandas, a análise de variância mostrou que a Floresta Secundária (a segunda maior resposta nessas bandas) também se diferenciou das outras fisionomias (Tabela A1, A2 e A3 do Apêndice A). A floresta secundária representa uma área em recuperação onde a vegetação em sucessão apresenta um dossel mais homogêneo (menor sombreamento) espécies pioneiras e extremamente dependentes da alta luminosidade (o que aumenta sua resposta na banda 4), e dependendo da idade do estágio de sucessão, a influência do solo na resposta espectral (em relação as bandas 1, 2 e 3) será maior (estágios mais novos) ou menor (mais velhos). Este padrão de comportamento espectral das Florestas Secundárias e do Pasto também foi observado por Pereira (1996).

A banda 4 correspondente ao infravermelho próximo apresentou-se como a melhor banda para separação das classes de vegetação, conforme demonstrado no teste ANOVA apresentado na Tabela A4 do Apêndice A. A Floresta Secundária apresentou a maior resposta neste comprimento de onda, seguida das fisionomias Floresta Inundada, Floresta de Terra Firme, do Pasto e da Floresta com Babaçu. A resposta mais elevada da Floresta Secundária nesta banda está relacionada a grande quantidade de vegetação fotossinteticamente ativa e a arquitetura do dossel, mais homogêneo o que causa um menor sombreamento. As fisionomias de Floresta Inundada e Floresta de Terra Firme, por apresentarem um dossel mais heterogêneo, possuem um maior sombreamento do que a floresta secundária, desta forma sua resposta nesta banda será um pouco menor do que Floresta secundária, o que também foi observado em Brondízio et al., (1993); Moran et al., (1993) e Pereira (1996). No caso do babaçu, sua resposta é menor devido principalmente à arquitetura do seu dossel (folhas verticais) causando um maior sombreamento e em consequência uma menor reflectância neste comprimento de onda. Jackson e Pinter Jr (1986) em estudo sobre a resposta espectral de dosséis de trigo verificaram que os elementos verticais de um dossel erectófilo captam a radiação

refletida para dentro do dossel, reduzindo a quantidade de radiação refletida verticalmente em direção a um radiômetro orientado para o nadir. As folhas do babaçu são orientadas mais verticalmente, sendo seu dossel caracterizado como erectófilo, podendo então alterar o comportamento espectral desta vegetação que irá refletir menos do que as outras fisionomias de floresta.

Esse sombreamento também foi verificado por Nelson e Batista (1997) em observações de campo na Amazônia oriental, onde as florestas de babaçu quando comparadas com florestas primárias possuíam um sombreamento maior devido provavelmente aos seguintes fatores: (a) orientação vertical dos folíolos e (b) ao arranjo agrupado das folhas. Os folíolos do babaçu por estarem dispostos ao longo do eixo da ráquis, que está fixada no ápice de uma estipe, fazem as folhas formarem uma coroa projetada radialmente em toda as direções. No caso da visada em nadir do sensor orbital Landsat 7, a radiação refletida de dosséis de babaçu na região do infravermelho próximo apresenta valores mais baixos do que em florestas primárias.

Para as bandas 5 e 7, correspondentes ao comprimento de onda no infravermelho médio, a resposta espectral das classes de vegetação estudadas, e a distribuição dos números digitais são similares aos encontrados para as bandas 1, 2 e 3. A interação da energia incidente com a vegetação neste comprimento de onda é controlada pela quantidade de água presente no alvo, ou seja, ao reduzir o conteúdo de umidade na folha a reflectância se eleva proporcionalmente. Novamente, o pasto apresentou maiores ND nesta região do espectro eletromagnético, devido ao fato de possuir menor quantidade de vegetação, e conseqüentemente menor quantidade de água, apresentando maior reflectância neste comprimento de onda, podendo ser diferenciado das outras fisionomias (Tabelas A5 e A6 do Apêndice A). A Floresta Secundária, de maneira semelhante ao ocorrido nas bandas 1, 2 e 3, apresentou o segundo maior valor de ND, sendo novamente significativamente diferente de todas as outras fisionomias (Tabelas A5 e A6 do Apêndice A). As Florestas Inundada, de Terra Firme e com Babaçu obtiveram respostas baixas e similares, devido ao fato de que a radiação solar incidente no infravermelho médio é absorvida pela água presente nos tecidos celulares das folhas, não sendo possível diferenciá-las (Tabelas A5 e A6 do Apêndice A).

4.2 Caracterização da vegetação através do modelo linear de mistura espectral

As imagens fração sombra, vegetação e solo resultante da aplicação do modelo linear de mistura espectral na imagem (bandas 1 a 5 e 7) do Landsat 7 ETM+ sem a interferência da atmosfera são apresentadas na figura 4.3.

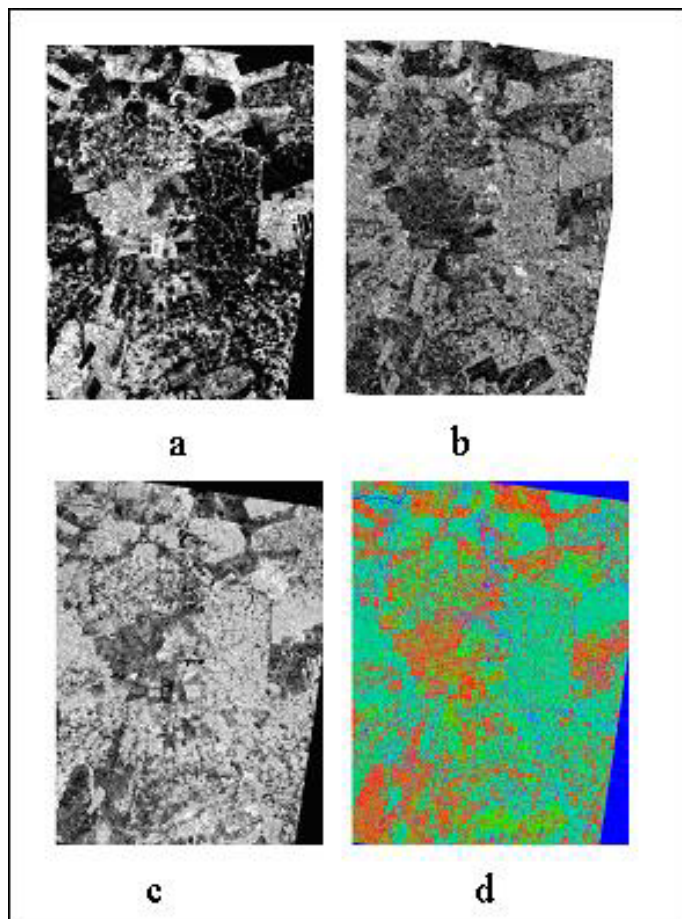


FIGURA 4.3: Imagens resultantes da aplicação do modelo linear de mistura espectral, a) imagem do componente solo; b) imagem do componente sombra e c) imagem do componente vegetação; d) composição colorida, solo (vermelho), sombra (azul) e vegetação (verde).

A proporção dos componentes nas imagens resultantes da aplicação do modelo linear de mistura espectral é representada pela variação em seus níveis de cinza (NC), ou seja, variam de cinza escuro (preto), que representa pequena quantidade do componente, até o cinza claro (branco), grande quantidade do componente. Podemos observar na figura 4.3 as diferenças existentes entre as diversas fisionomias nas imagens fração solo, sombra e vegetação e sua composição colorida (RGB), onde vermelho (R) representa o

solo, verde (G) a vegetação e azul (B) a sombra. Estas variações podem ser mais claramente observadas nas figuras 4.4, 4.5 e 4.6 que representam pequenas regiões das imagens fração solo, sombra e vegetação que englobam as cinco fisionomias. Os valores médios de proporção de cada componente nas diversas fisionomias (floresta terra firme, inundada, secundária, babaçu e pasto) são apresentados na Tabela 4.1.

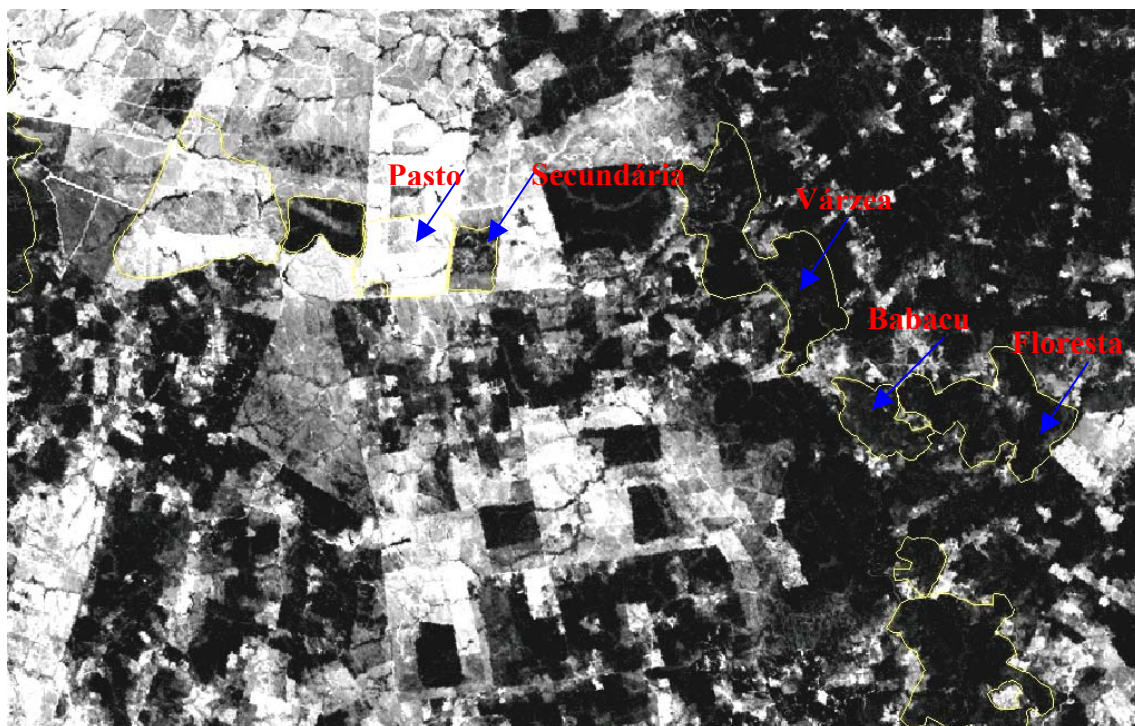


FIGURA 4.4: Imagem fração solo.

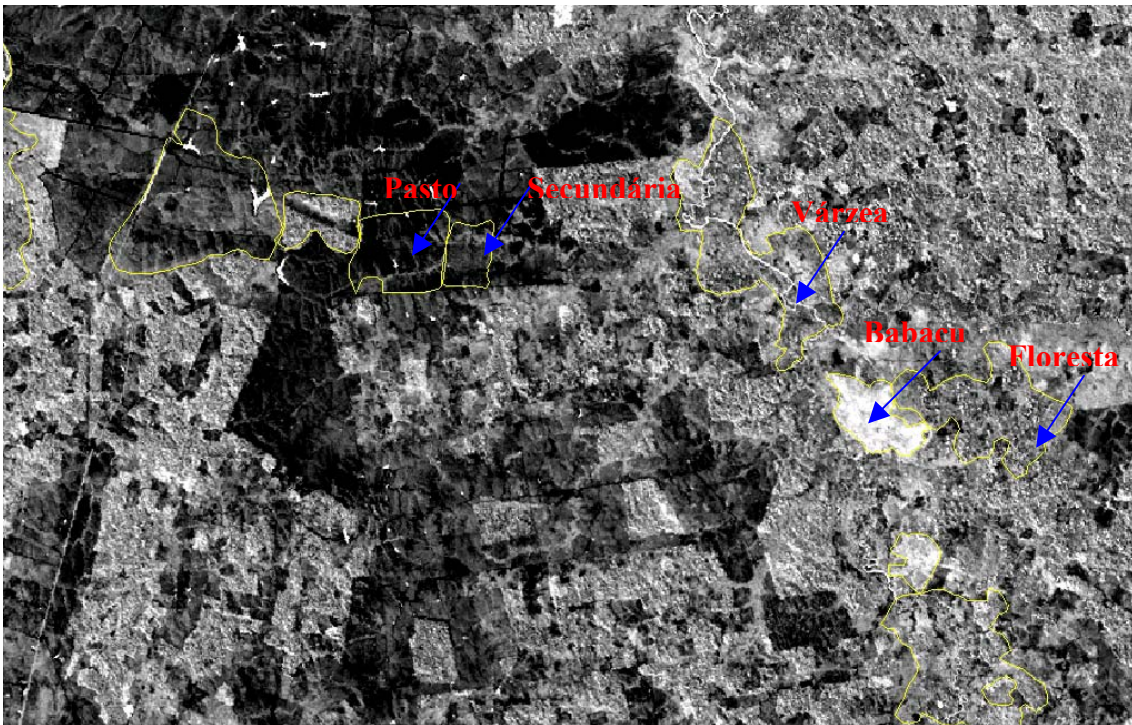


FIGURA 4.5: Imagem Fração Sombra.

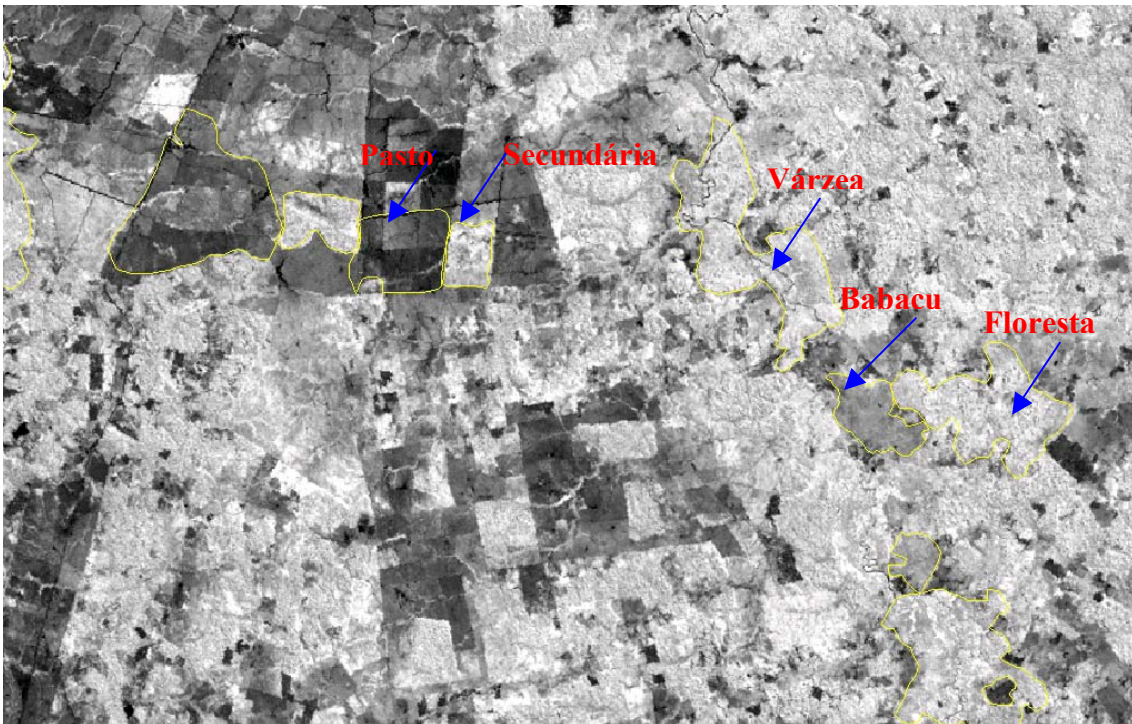


FIGURA 4.6: Imagem fração vegetação.

TABELA 8: Proporção dos Componentes de Mistura (Vegetação, Sombra e Solo) em cada Fisionomia Vegetal.

Proporção dos componentes de mistura (%)			
Fisionomia	Vegetação	Sombra	Solo
Floresta Inundada	81	18	1
Floresta Terra firme	73	23	4
Floresta Secundária	81	8	11
Floresta de Babaçu	58	38	4
Pasto	37	6	58

A Floresta Inundada e a Floresta Secundária obtiveram a maior proporção do componente vegetação (81 %), seguido da Floresta de Terra Firme (73%). O Pasto possui as menores proporções dos componentes vegetação (37 %) e sombra (6 %), mas a maior proporção do componente solo (58 %). A Floresta com Babaçu apresentou a maior proporção do componente sombra (38 %), fato este observado também por Pereira (1996) e Thalês (1999).

Estes valores de proporção dos componentes podem ser visualizados nas imagens fração solo, sombra e vegetação (Figuras 4.4, 4.5 e 4.6) pela variação dos seus níveis de cinza. Na imagem fração solo (Figura 4.4), as áreas mais claras representam regiões com maior quantidade do componente solo. Visualmente, é possível observar a grande diferença entre a fisionomia de pasto, com maior quantidade do componente solo (com áreas mais claras) e as de floresta, com valores de proporção muito pequenos (as áreas são muito escuras). Esse resultado era esperado visto que o pasto geralmente apresenta uma baixa cobertura do solo. No entanto, após a análise de variância (ANOVA) foi observado que além do Pasto (com 58% de componente solo) ser significativamente diferente de todas as outras fisionomias (Tabela B1 no Apêndice B), a Floresta

Inundada (apenas 1% de componente solo) também se diferenciou de todas as outras fisionomias, apresentando o menor valor desta componente, justamente pelo fato de que seu fundo ser constituído principalmente de água e não de solo.

A Figura 4.7 apresenta as relações entre as bandas do ETM+/Landsat 7 e o componente solo do modelo de mistura, com a discriminação das fisionomias que estão sendo investigadas. Podemos perceber que as bandas 1, 2, 3, 5 e 7 possuem altos valores de relação positiva (maiores que 0,94) com o componente solo, indicando que estas bandas estão relacionadas com a proporção desta componente em todas as fisionomias. Desta forma, uma grande proporção do componente solo indica um alto valor de reflectância nestas bandas. A fisionomia de Pasto, como dito anteriormente, apresentou a maior proporção da componente solo e maiores valores de reflectância nessas bandas. No entanto para as fisionomias de florestas a relação foi o inverso, menor reflectância e menor valor de proporção da componente solo. O comportamento espectral da vegetação nas bandas 1, 2 e 3 correspondentes a faixa espectral do visível, é controlada pelos pigmentos existentes nos cloroplastos das folhas (clorofila, carotenos e xantofilas) e pelo grau de cobertura do solo. A energia radiante incidente nas folhas é absorvida seletivamente pelos pigmentos, conseqüentemente, quanto maior a quantidade de vegetação fotossinteticamente ativa menor será a reflectância da radiação, e menor será a proporção do componente solo. Esta relação pode ser observada na figura 4.5, onde as fisionomias de floresta, com grande quantidade de vegetação possuem menor reflectância nas bandas 1, 2 e 3 e menor proporção da componente solo.

No entanto, a banda 4 apresenta um relação baixa e negativa ($r = -0,22$), com a componente solo, sendo que a fisionomia de Pasto, que obteve a maior proporção da componente solo, ficou fora desta relação. Podemos perceber que altos valores de reflectância na banda 4 indicam maior cobertura do solo e conseqüentemente maior quantidade de vegetação. Desta forma, as fisionomias de floresta terão valores elevados de reflectância e baixos da componente solo, e esta relação irá variar de acordo com o grau de cobertura do solo, ou seja, quanto mais coberto for o solo (uma floresta bem densa) menor será a proporção da componente solo, e da mesma forma, quanto menor a cobertura do solo (capoeira, por exemplo) maior será a proporção do componente solo.

Portanto, a floresta secundária obteve uma maior proporção de solo que as outras fisionomias de floresta (também obteve o maior valor de reflectância na banda 4).

No caso das bandas 5 e 7, correspondentes à faixa espectral do infravermelho médio, o comportamento espectral da vegetação é controlado pela cobertura do solo (maior quantidade de vegetação) e pela quantidade de água presente nas folhas. Portanto, quanto maior a quantidade de vegetação, maior será a absorção da radiação e menor será a reflectância de um determinado alvo. Desta forma, o pasto que apresentou maior reflectância nesta região do espectro eletromagnético, devido ao fato de possuir menor quantidade de vegetação (menor cobertura do solo) e conseqüentemente menor quantidade de água, obteve a maior proporção do componente solo.

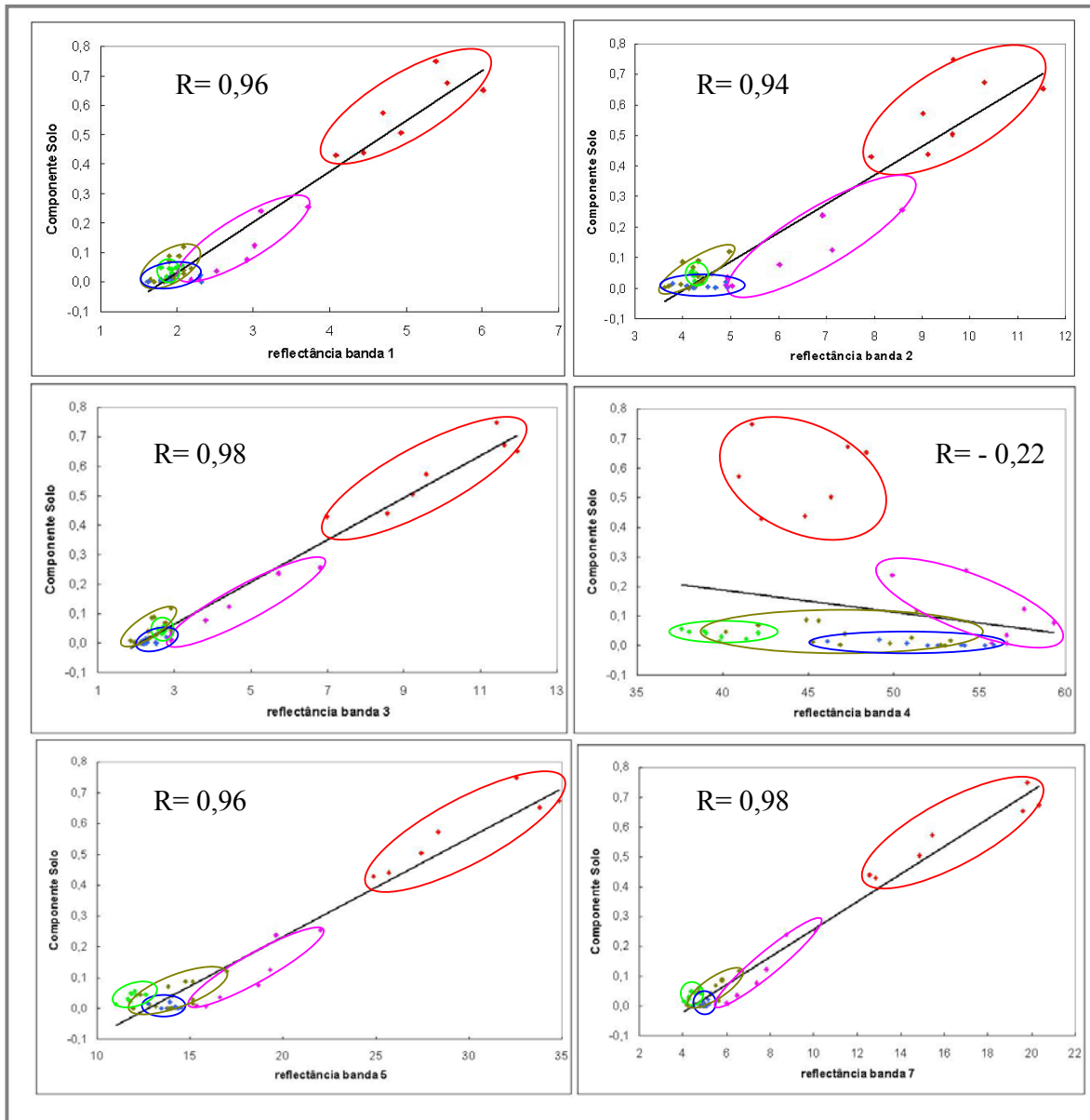


FIGURA 4. 7: Relação entre os valores de reflectância nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 e a componente solo do modelo de mistura de todas as fisionomias, onde o vermelho corresponde a fisionomia de pasto, o rosa a floresta secundária, o verde claro ao babaçu, o verde escuro a floresta terra firme e o azul a floresta inundada.

Na Figura 4.6 podemos observar a imagem fração sombra com as áreas mais claras representando maior quantidade do componente sombra. Neste caso, a Floresta com Babaçu foi a fisionomia que apresentou o maior valor de proporção desta componente (38%) seguido das fisionomias de Floresta com 23 % (Terra Firme), 18% (Várzea) e 8% (Secundária) (Tabela 4.1). A componente sombra foi a que melhor representou todas as fisionomias sendo capaz de diferenciar quase todos os tipos de vegetação (exceto a Floresta Secundária de Pasto) (Tabela B2 do Apêndice B) identificando e separando nitidamente as áreas de vegetação (com mais sombra) das áreas desflorestadas (sem vegetação), áreas de floresta primária (terra firme) de áreas de vegetação secundária (em regeneração), como relatado por diversos autores (Shimabukuro e Smith, 1989; Shimabukuro e Smith, 1995; Shimabukuro et al., 1997; Yi et al., 1998). A componente sombra é uma importante ferramenta na caracterização e no monitoramento de áreas de floresta visto que ela está associada a arquitetura do dossel (Adams et al., 1995) e conseqüentemente com a estrutura da vegetação, ou seja, vegetação em idades diferentes apresentarão estruturas e quantidades de sombras diferentes assim como espécies diferentes também terão valores de proporção de sombra distintos.

A Figura 4.8 apresenta as relações entre as bandas do Landsat 7 ETM+ e a componente sombra do modelo de mistura. As fisionomias que apresentam menores valores de ND nas bandas 1, 2, 3, 5 e 7 apresentam maior quantidade de sombra (florestas de terra firme, inundada, babaçu). A banda 4 é um caso a parte, visto que a Floresta com Babaçu possui maior proporção de sombra e sua reflectância no comprimento de onda do infravermelho próximo é a menor de todas as fisionomias. As fisionomias de florestas possuem média proporção de sombra (sendo maior quanto mais heterogêneo for o dossel) e alta reflectância no infravermelho próximo. A sombra é considerada uma importante característica de áreas florestadas, sendo muito utilizada na identificação de desflorestamentos (Shimabukuro et al., 2000). As áreas de florestas possuem grande proporção de sombra em relação às áreas desmatadas, e de áreas em regeneração, como visto no item 4.1. Para o babaçu, apesar de ser uma fisionomia de floresta, sua reflectância neste comprimento de onda não é tão elevado, provavelmente em função da arquitetura de seu dossel e ainda pela distribuição angular de suas folhas, no entanto, a proporção de sombra desta fisionomia é a maior de todas, sendo ainda dependente de sua densidade

(Thales, 1999). O Pasto apesar de possuir uma reflectância maior que a Floresta com Babaçu neste comprimento de onda, praticamente não possui sombra (apenas 6%), ficando excluído desta Relação.

No caso das bandas 1, 2 e 3 (correspondentes ao comprimento de onda no visível) uma menor reflectância neste comprimento de onda indica uma maior quantidade de vegetação, pois a radiação no visível é fortemente absorvida pela vegetação para a realização da fotossíntese. Desta forma, as fisionomias com baixa reflectância neste comprimento de onda terão maior proporção do componente sombra.

Em relação às banda 5 e 7, um menor valor de reflectância nesta banda resulta na maior proporção do componente sombra. Como dito no item 4.1, o comportamento espectral da vegetação nesta faixa é controlado pela cobertura do solo pela vegetação e pela quantidade de água presente nas folhas. Desta forma, a Floresta com Babaçu que apresentou a menor reflectância nesta faixa do espectro eletromagnético, teve a maior proporção desta componente. A fisionomia de Floresta Inundada, também apresentou uma alta proporção desta componente, pois além de possuir uma grande cobertura do solo, o fundo (background) é composto praticamente de água (que absorve grande parte da radiação).

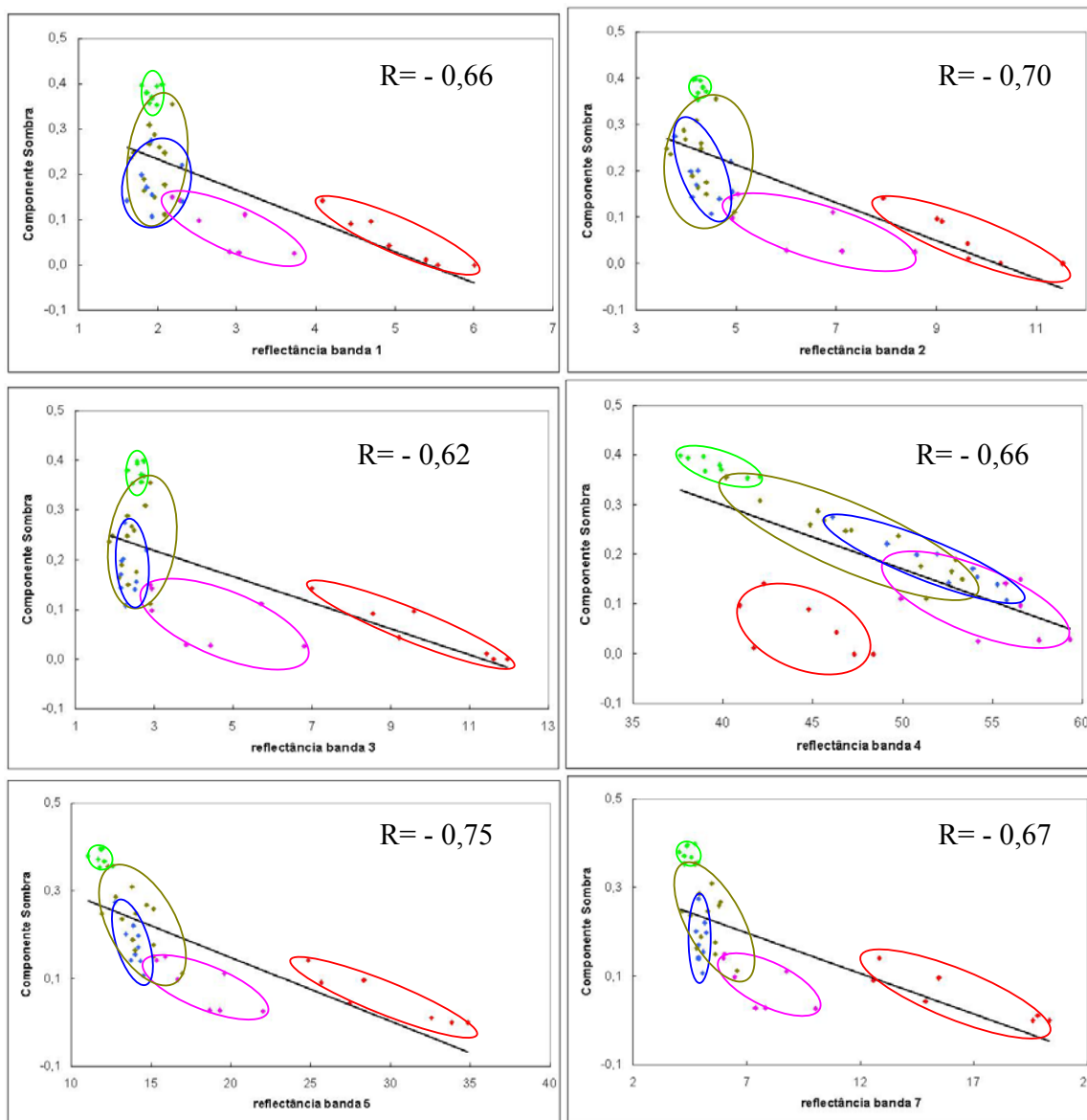


FIGURA4.8: Relação entre os valores de reflectância nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 e a componente sombra do modelo de mistura de todas as fisionomias, onde o vermelho corresponde a fisionomia de pasto, o rosa a floresta secundária, o verde claro ao babaçu, o verde escuro a floresta terra firme e o azul a floresta inundada.

Em relação à imagem fração vegetação é possível perceber que todas as fisionomias, com exceção do Pasto possuem NC bem altos, indicando uma grande proporção do componente. Todas as fisionomias de floresta apresentaram proporções elevadas da componente vegetação (acima de 70 %) com exceção da Floresta com Babaçu que teve apenas 58% de componente vegetação, devido à elevada quantidade de sombra.

As fisionomias de floresta (terra firme, inundada e secundária) diferenciam-se bem das áreas de pasto, pelo alto valor da componente vegetação. No entanto, a floresta primária (terra firme, inundada) não pôde ser diferenciada da Floresta Secundária pela componente vegetação (Tabela 4.4), mas é diferenciada da Floresta com Babaçu, tanto pela proporção da componente vegetação quanto pela componente sombra.

A Figura 4.9 apresenta as relações entre as bandas do Landsat 7 ETM+ e a componente vegetação do modelo de mistura. As bandas 3 e 4 obtiveram a maior relação com a componente vegetação. As bandas 1, 2 e 3, que representam o comprimento de onda no visível, apresentaram uma relação negativa com a componente vegetação. As fisionomias que possuem menor reflectância neste comprimento de onda apresentam maior quantidade de vegetação, já que a radiação eletromagnética no visível é absorvida principalmente pelos pigmentos existente nas folhas para a realização da fotossíntese. Na banda 4, correspondente ao infravermelho próximo, a relação é positiva, quanto maior a reflectância maior a quantidade de vegetação, já que a maior parte da radiação incidente é refletida, como resultado do espalhamento pelo mesófilo das folhas. Da mesma forma que na componente sombra, o pasto também se distingue das demais classes devido a grande influência do solo na resposta espectral e pela baixa quantidade de vegetação.

As bandas 5 e 7 que correspondem à faixa espectral do infravermelho médio, o comportamento espectral da vegetação é controlado pela cobertura do solo e pela quantidade de água presente nas folhas. Um menor valor de reflectância nestas bandas está associada a uma maior cobertura do solo e logo a uma maior quantidade de vegetação e conseqüentemente a uma maior proporção do componente vegetação. Desta forma, as fisionomias de Floresta Inundada, Floresta de Terra Firme, Floresta com

Babaçu, e Floresta Secundária que apresentaram menores valores de reflectância nestas bandas, obtiveram maiores valores de proporção da componente vegetação.

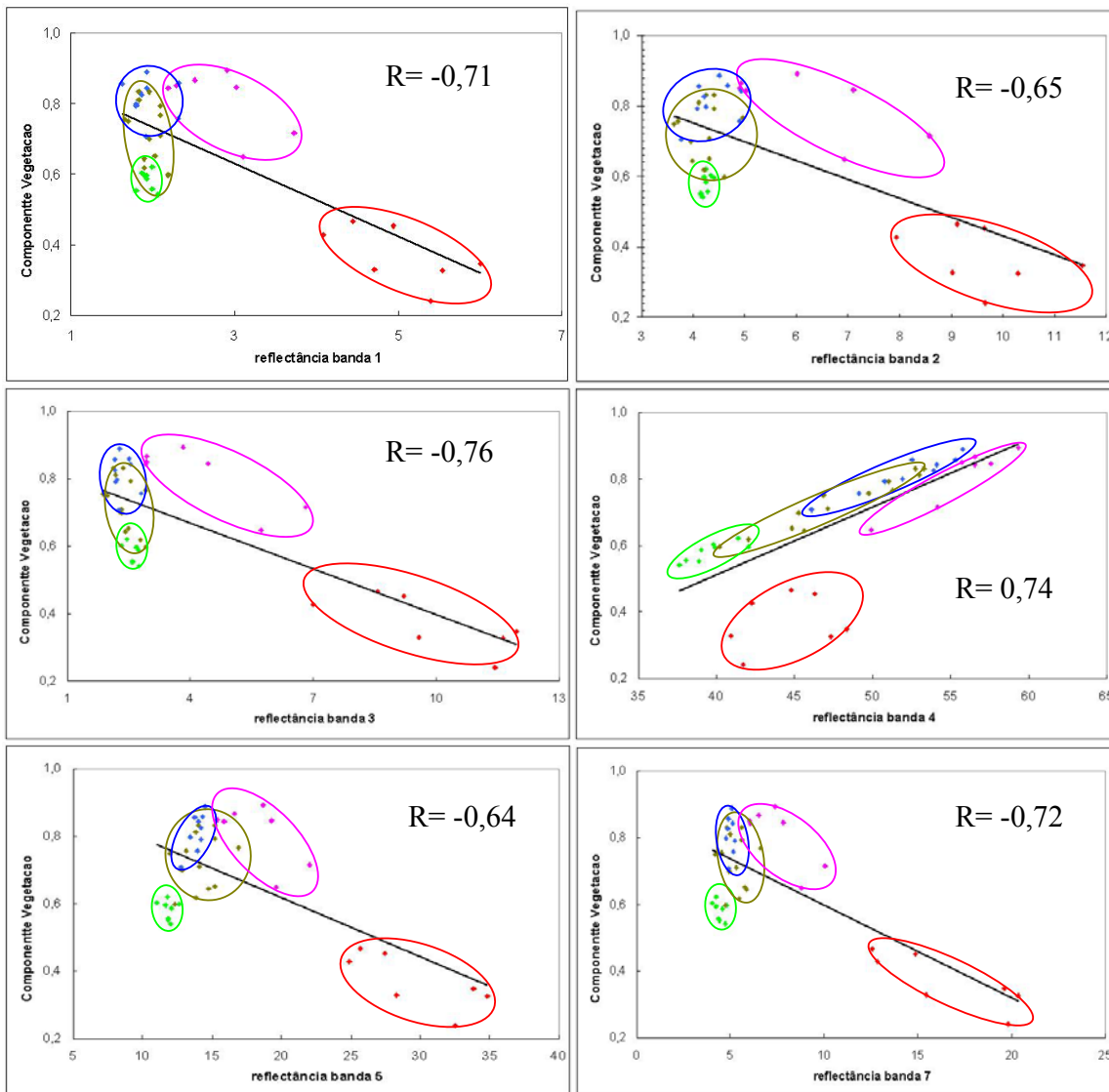


FIGURA 4.9: Relação entre os valores de reflectância nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 e a componente vegetação do modelo de mistura de todas as fisionomias, onde o vermelho corresponde a fisionomia de pasto, o rosa a floresta secundária, o verde claro ao babaçu, o verde escuro a floresta terra firme e o azul a floresta inundada.

A Figura 4.10 apresenta um panorama comparativo das proporções dos componentes de mistura (solo, sombra e vegetação) em cada fisionomia vegetal. Em todas as amostras de cada fisionomia analisada podemos observar a uniformidade das amostras das fisionomias de Floresta de Terra Firme, Floresta Inundada e Floresta com Babaçu nas quais a vegetação representa a maior proporção (maior que 70 %, com exceção do babaçu) seguida da sombra e por último o solo. A Floresta com Babaçu possui uma marcante característica, a grande proporção da componente sombra que aumenta ainda mais com o aumento da densidade do babaçu, como abordado por Thales (1999). A fisionomia de Floresta Inundada também apresenta uma peculiaridade, a componente solo representa apenas 1% da proporção, sendo esta fisionomia representada praticamente pelas outras duas componentes, sendo a sombra (água) responsável pela resposta de fundo desta fisionomia.

As fisionomias de Floresta Secundária e Pasto são mais heterogêneas em relação às amostras. No caso da Floresta Secundária é possível observar uma variação nas proporções de sombra e solo que se intercalam com a variação da proporção da componente vegetação. Algumas áreas de Floresta Secundária apresentaram mais solo do que sombra e outras regiões o inverso. Este fato pode estar associado à diversidade de formações secundárias de diferentes idades, nas quais o solo pode estar mais exposto, nas capoeiras mais jovens, ou então, no caso de capoeiras mais antigas, o dossel pode estar mais denso, ocasionando um maior sombreamento e conseqüentemente menor influência do solo na resposta espectral da capoeira. Em relação ao pasto as componentes solo e vegetação são inversamente correlacionados, quando o solo aumenta, a vegetação diminui, e quando a proporção da componente vegetação aumenta, a sombra também cresce, no entanto, a componente solo sempre está em maior proporção. Esta relação “inversa” entre o solo e a vegetação pode estar associada à presença de vegetação arbustiva no pasto, ou seja, um pasto “sujo”, onde verificamos a presença de vegetação arbustiva, a proporção da componente vegetação pode ser maior do que o solo, mas em pastos “limpos” esta relação pode ser ao contrário.

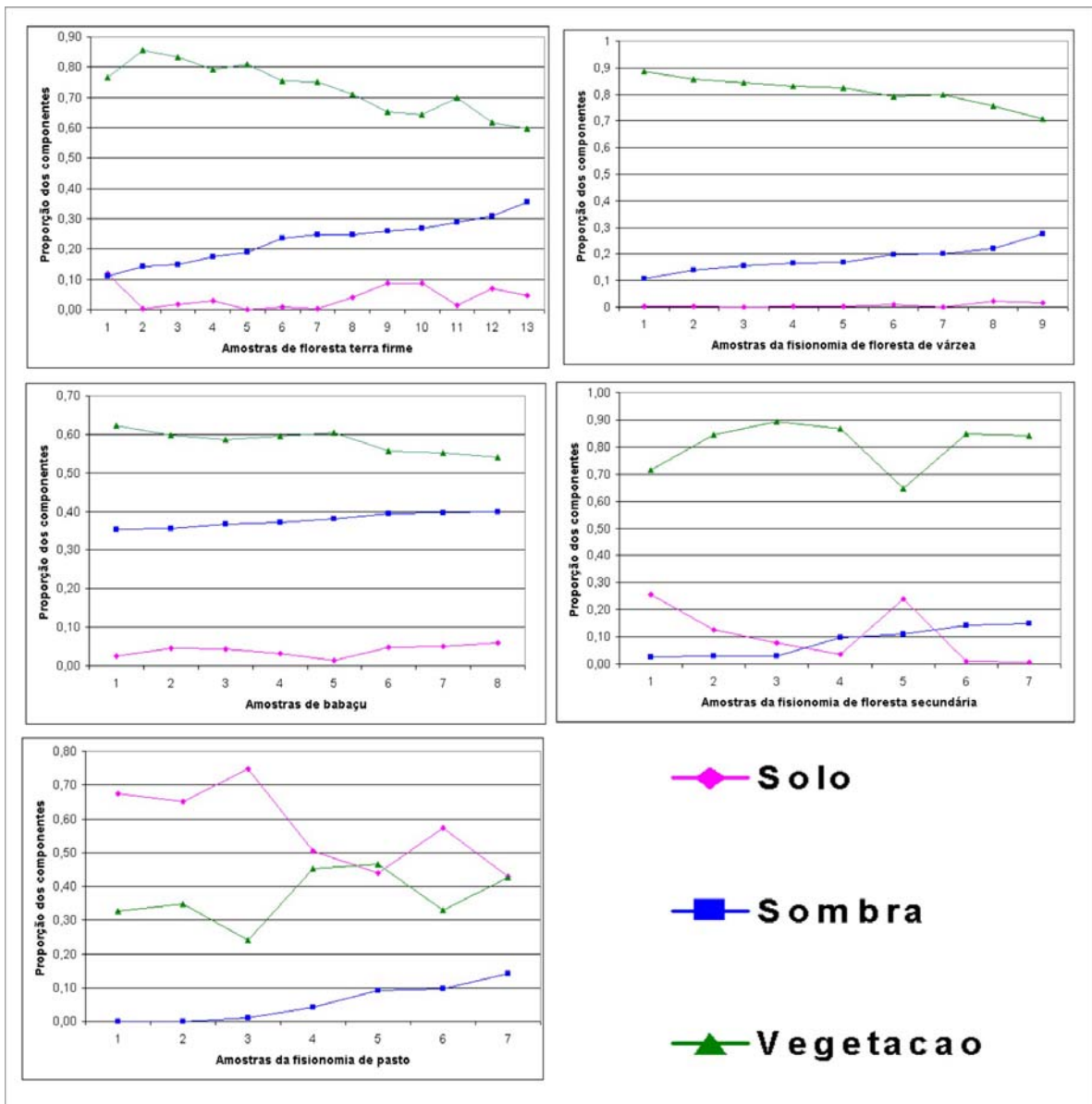


FIGURA 4.10: Proporção dos componentes de mistura (sombra, solo e vegetação) de todas as amostras das fisionomias.

4.3 Caracterização da vegetação através do NDVI

Os valores de NDVI para todas as fisionomias (Floresta de Terra Firme, Floresta inundada, Floresta com Babaçu, Floresta Secundária e Pasto) são apresentados na figura 4.11. As fisionomias de Floresta inundada e Floresta de Terra Firme apresentaram os

maiores valores do índice de vegetação, seguidos pelas fisionomias de Floresta com Babaçu e Floresta Secundária e por fim o Pasto que obteve o menor valor. O NDVI é calculado em função das reflectâncias nas bandas do vermelho e infravermelho médio, tendo como objetivo realçar a resposta espectral da vegetação em relação ao solo.

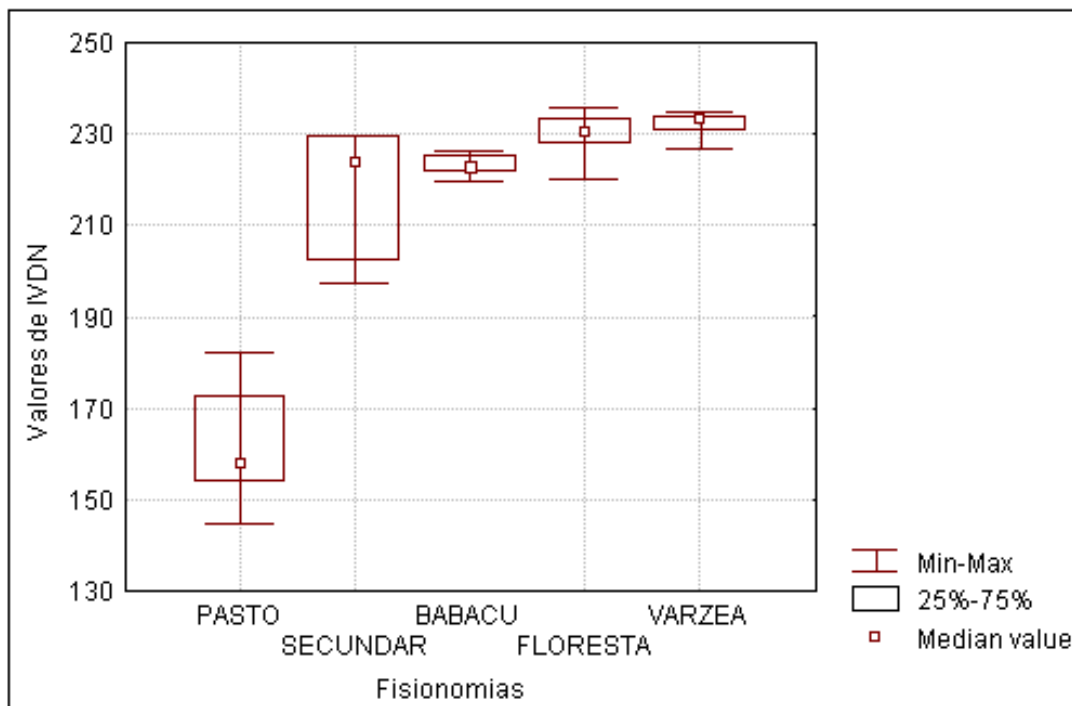


FIGURA 4.11: Valores do NDVI de todas as fisionomias.

A radiação na banda 3, correspondente ao comprimento de onda no vermelho, é fortemente absorvida pela vegetação em função da realização da fotossíntese. No entanto, áreas com baixa densidade de vegetação (como pasto) esta absorção será bem menor e a resposta do solo é predominante, sendo também altamente correlacionada com a componente solo ($r = 0,98$, Figura 4.5) do modelo de mistura. Esta relação pôde ser observada no item 4.1, em que o pasto foi significativamente diferente de todas as outras fisionomias em relação aos valores de ND apresentados nesta banda.

Em relação a banda 4 (infravermelho próximo) a relação é inversa, a reflectância neste comprimento de onda está associada a uma maior densidade e homogeneidade da vegetação, sendo altamente relacionada com a componente vegetação do modelo de mistura ($r = 0,74$). Desta forma, a Floresta Secundária, como apresentado no item 4.1,

teve a maior resposta nesta faixa espectral, seguido das fisionomias de Floresta inundada, Floresta de Terra Firme, o Pasto e por último a Floresta com Babaçu.

A relação entre o NDVI e as bandas 3 e 4 é apresentada na Figura 4.12, na qual pode-se observar a grande relação do índice com a banda 3 ($r = -0,98$) e a baixa relação com a banda 4 ($r = 0,28$). A alta relação com a banda 3 é influenciada pela presença do solo, ou seja, as fisionomias com maiores valores de reflectância na banda 3 terá menores valores do NDVI, e com menores valores de reflectância, maiores valores do índice. No caso da banda 4, a baixa relação provavelmente está associada aos altos valores de reflectância encontrados na banda 4, que está relacionada com a idade de desenvolvimento das fisionomias e conseqüentemente o IAF e a arquitetura do dossel. Desta forma, como citado por Sellers (1989), o índice tende a saturar (geralmente para IAF a partir de 3) (Baret e Guyot, 1991), ficando insensível à variações de aumento de biomassa vegetal a partir de um determinado estágio de desenvolvimento, como observado por Bernardes (1996) em que o NDVI só respondeu as variações de estádios sucessionais iniciais (terrenos limpos com reduzida cobertura vegetal).

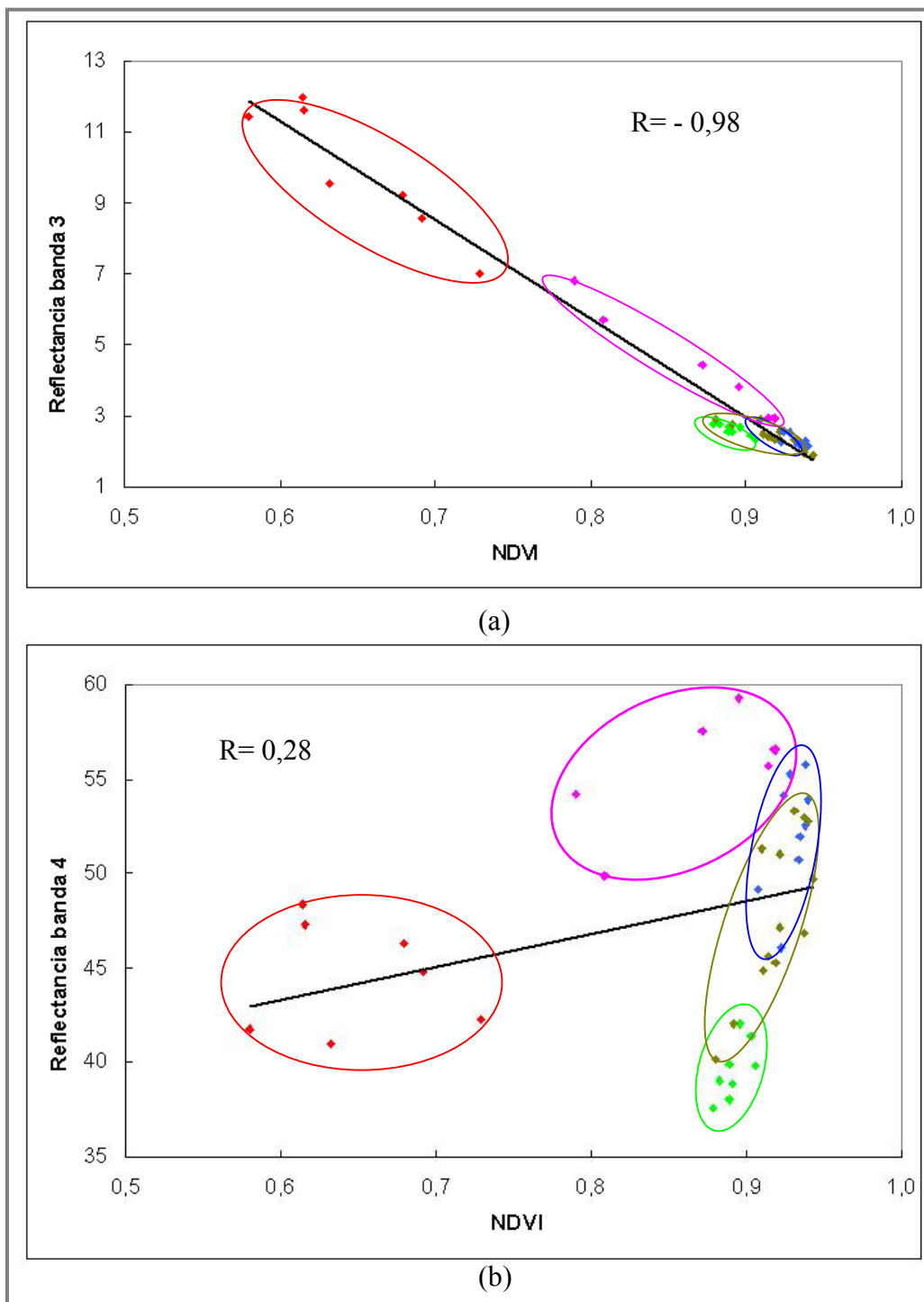


FIGURA 4.12: Relação entre as bandas 3 (a) e 4 (b) do Landsat 7 ETM+ e os valores de ND do NDVI, onde o vermelho corresponde a fisionomia de pasto, o rosa a floresta secundária, o verde claro ao babaçu, o verde escuro a floresta terra firme e o azul a floresta inundada.

Apesar de não ter sido medido o IAF neste trabalho, é possível observar na figura 4.11 a natureza assintótica da curva do NDVI (que satura para valores crescentes de IAF- Figura 2.3 no cap 2) que com o aumento da cobertura vegetal (variando do pasto até a floresta inundada) o índice chega a seu limite de crescimento exponencial.

No entanto, nas Figuras 4.11 e 4.12b (banda 4) podemos observar pelo NDVI três grupos em relação ao estágio de desenvolvimento: (1) as florestas primárias, terra firme inundada; com os valores mais altos do índice (acima de 0,9), maior proporção da componente vegetação (Figura 4.13), dossel denso, heterogêneo (sombreamento), menor influência do solo e alta reflectância no infravermelho; (2) as florestas em regeneração: secundária e babaçu, (valores entre 0,8 e 0,9) a secundária com grande reflectância no infravermelho, dossel mais homogêneo, menor sombreamento e maior influência do solo, o babaçu com a menor reflectância no infravermelho e menor influência do solo, e com o maior sombreamento (Figura 4.13) e (3) o pasto, com o menor valor de NDVI (0,64), representada por áreas de terreno limpo com reduzida cobertura vegetal (menor sombreamento, apenas 5% da proporção da componente sombra), apresentando grande influência do solo (maior proporção da componente solo do modelo de mistura) (Figura 4.13) com a maior reflectância no vermelho.

A análise de variância confirmou a diferenciação entre estes três grupos, florestas primárias (terra firme inundada) com os maiores valores do índice (inseparáveis entre si, mas diferentes de todas as outras fisionomias), as florestas secundárias ou em regeneração (secundárias e babaçu) também com altos valores (e com o mesmo comportamento) e a fisionomia de pasto (áreas desflorestadas) com o menor valor e diferentes de todas as outras fisionomias (Tabela B4 do Apêndice B).

No entanto, os índices de vegetação são afetados por diversos fatores como as propriedades do solo, da atmosfera (Huete, 1988; Baret e Guyot, 1991; Jackson e Huete, 1991; Curran *et al.*, 1992), da arquitetura do dossel, dos ângulos solar e de visada (Figueiredo, 1990; Curran *et al.*, 1992) e assim como pelas características dos sensores (Jackson e Huete, 1991). Desta forma, fisionomias de estágios sucessionais similares (como as Floresta Secundária e Floresta com Babaçu), mas com diferenças em relação a

arquitetura do dossel (maior sombreamento no babaçu) irão apresentar valores de NDVI parecidos.

Apesar do NDVI ter discriminado as áreas de floresta primária de áreas de florestas secundárias e de regiões desflorestadas, e separando ainda as áreas de floresta secundária de áreas desflorestadas, podemos observar o alto grau de saturação deste índice no estudo em questão. A alta relação deste índice com a banda 3 nos mostra um panorama em que quanto menor a cobertura do solo, menor o índice de vegetação, mas quanto maior a cobertura do solo, mais rápido o índice tende a saturar, ou seja, a resposta da vegetação e o valor do índice estão mais relacionados com a absorção da radiação do comprimento de onda no vermelho pelos pigmentos da planta do que pela reflectância da radiação no infra vermelho próximo, assim como observado por Myneni e outros (1995).

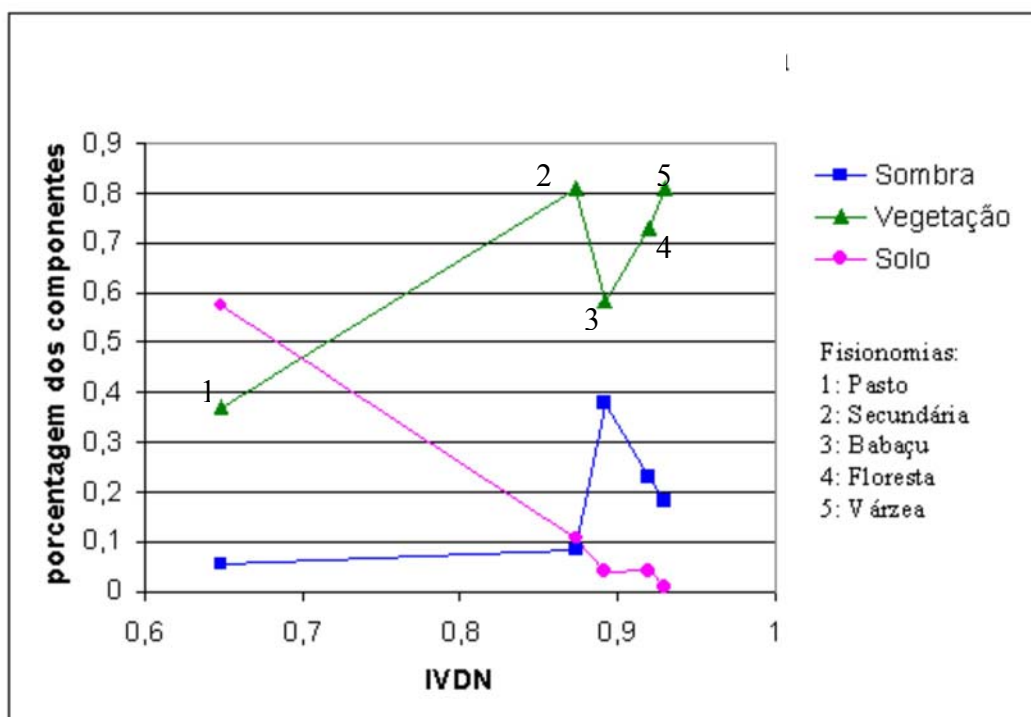


FIGURA 4.13: Proporção dos componentes de mistura em relação ao índice de vegetação em todas as fisionomias.

4.4 Caracterização da vegetação através da videografia aerotransportada

A videografia aerotransportada forneceu dados (imagens) importantes para a identificação e caracterização das fisionomias selecionadas observadas na imagem do Landsat 7 ETM+, sendo possível diferenciar as fisionomias em relação a estrutura do dossel, tamanho de copas, tipos de fisionomias. As figuras 4. 14 a 4.20 ilustram cada tipo de fisionomia sobrevoado pela videografia, tanto no modo de visada larga quanto no zoom.

De uma forma geral, o sobrevôo realizado sobre a região de Marabá proporcionou uma visão mais detalhada da superfície terrestre, onde observamos extensas regiões desmatadas, convertidas em pasto, áreas em regeneração, e claro, ilhas de floresta primária dentro desse mar de destruição.

Foi possível identificar 5 tipos de fisionomias de vegetação predominante na região: Floresta de Terra Firme e Floresta inundada (floresta primária); Floresta Secundária e Floresta com Babaçu (floresta em regeneração) e o Pasto (desflorestamentos).

A fisionomia de Floresta com Babaçu é representada na videografia de visada larga (Figura 4.14), em que se nota a reflectância especular das folhas das palmeiras na imagem. A homogeneidade do dossel é explicada pela pouca ou nenhuma presença de indivíduos emergentes, no entanto, esta homogeneidade é quebrada pela distribuição angular das folhas das palmeiras, que formam coroas que são sobrepostas umas as outras.



FIGURA 4.14: Fisionomia de Floresta com Babaçu gravada no formato de visada larga.



FIGURA 4.15: Fisionomia de Floresta com Babaçu gravada no formato de zoom, com suas copas (coroas) marcadas em branco.

A fisionomia de Floresta de Terra Firme (Figuras 4.16 e 4.17) é caracterizada pela heterogeneidade de seu dossel, apresentando um grande número de indivíduos emergentes, árvores de grande porte, com grandes copas, típico de floresta primária. Geralmente estão localizadas em terrenos elevados, distantes dos rios e nunca sujeitos a inundação. A principal característica desta formação é sua abóboda florestal formada pelas árvores que alcançam 30-40 metros de altura, com algumas emergentes atingindo cerca de 50-60 metros (Fernandes, 1998).

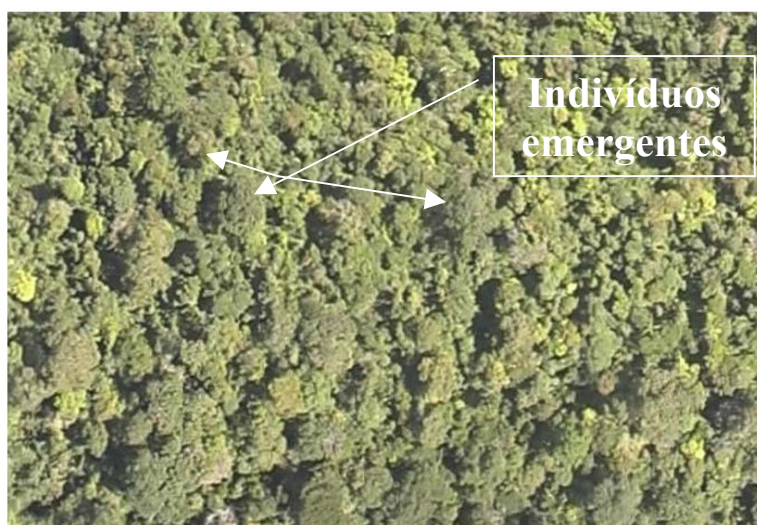


FIGURA 4.16: Fisionomia de Floresta de Terra Firme gravada no formato de visada larga.



FIGURA 4.17: Fisionomia de Floresta de Terra Firme gravada no formato de zoom.

A Floresta inundada, como podemos observar na figura 4.18 é localizada principalmente em terrenos que são temporariamente inundados, sofrendo a influência dos rios de água branca (barrenta) nos períodos de cheia e vazante, possuindo um dossel heterogêneo com poucas emergentes (menos que as de terra firme).



FIGURA 4.18: Fisionomia de Floresta inundada gravada no formato de visada larga.

Em relação ao pasto é possível perceber na Figura 4.19 alguns aspectos característicos deste tipo de fisionomia: áreas de terreno limpo com reduzida cobertura vegetal (menor sombreamento) presença de gramíneas, ausência total ou parcial de pequenos arbustos.



FIGURA 4.19: Fisionomia de Pasto gravada no formato de visada larga.

A fisionomia de Floresta secundária pode ser observada nas Figuras 4.20 e 4.21, onde podemos perceber uma maior homogeneidade do dossel, mais árvores com copas menores e um menor sombreamento.



FIGURA 4.20: Fisionomia de Floresta Secundária gravada no formato de visada larga.

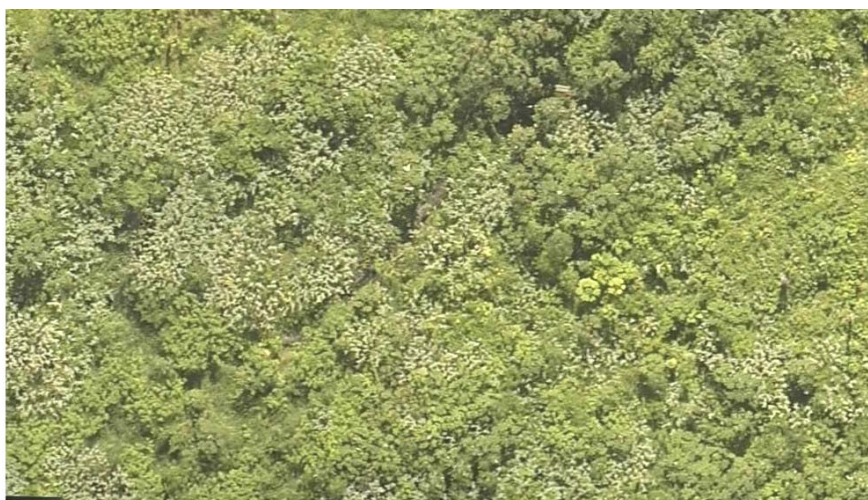


FIGURA 4.21: Fisionomia de Floresta Secundária gravada no formato de zoom.

A utilização de três filtros no visível no sistema de videografia possibilitou a avaliação desse sistema em diferenciar tipos de fisionomia vegetal e em detectar sombra no dossel de cada fisionomia, desta forma avaliar o potencial da videografia em diversas fisionomias com diferentes tipos de arquitetura de dossel.

A banda 1 (filtro azul) permitiu diferenciar o Pasto de todas as outras fisionomias (Tabela C1 no Apêndice C). O Pasto apresentou os maiores valores de ND nesta banda seguido da floresta e as outras fisionomias com valores similares (secundária, babaçu e inundada).

A banda 2 (verde) permitiu diferenciar a Floresta com Babaçu (com o menor valor nesta banda) das fisionomias de Pasto, Floresta Secundária e Floresta de Terra Firme (apresentaram os maiores valores). Apenas não foi capaz de separar a Floresta com Babaçu da Floresta inundada (Tabela C2 no Apêndice C).

A banda 3 (vermelho) permitiu diferenciar a Floresta de Terra Firme (que apresentou o maior valor de ND) do Pasto e da Floresta com Babaçu (com os menores valores) (Tabela C3 no Apêndice C).

Os valores de ND de sombra resultantes do fatiamento das cenas de videografia no intervalo de 0 a 120 (ND) para cada fisionomia (floresta terra firme, inundada, secundária, babaçu e pasto) é apresentada na figura 4.22.

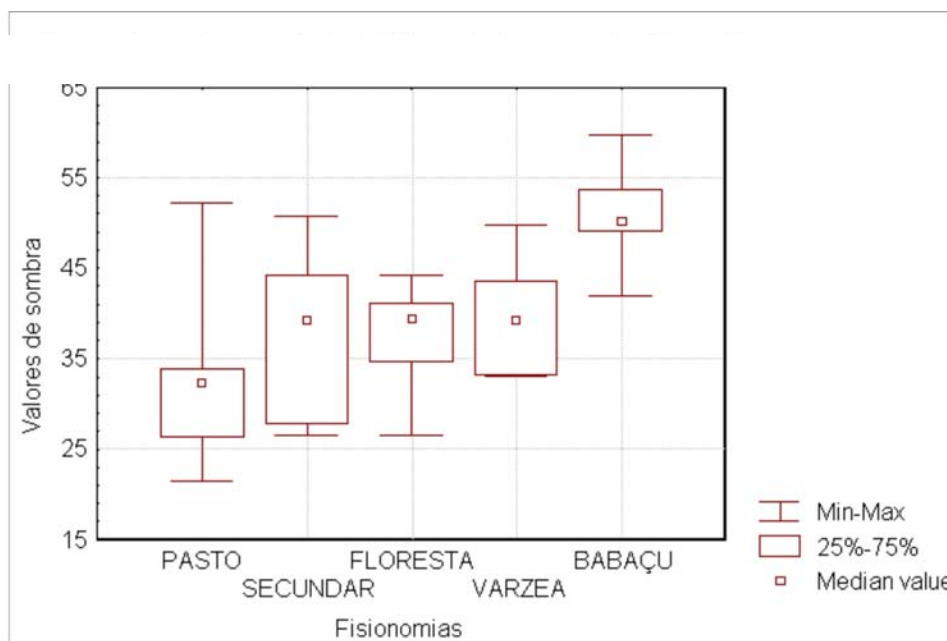


FIGURA 4.22: Valores de sombra resultante do fatiamento das cenas de videografia de todas as fisionomias.

A Floresta com Babaçu apresentou o maior valor de sombra assim como encontrado na proporção da componente sombra do modelo de mistura. As fisionomias de Floresta de Terra Firme, Floresta Inundada e Floresta Secundária apresentaram valores medianos de sombra e o Pasto o menor valor. Este fato está associado, novamente, à arquitetura do dossel e também ao arranjo das folhas. Este resultado também é similar ao encontrado nos valores de proporção da componente sombra para cada fisionomia. No entanto, a análise de variância (Tabela C4 no Apêndice C) mostra que apenas a Floresta com Babaçu é significativamente diferente das outras fisionomias, ao contrário do apresentado pela componente sombra, em que todas as fisionomias podiam ser diferenciadas pela sua proporção de sombra.

A relação entre a componente sombra do modelo de mistura e a sombra encontrada nas análises das cenas de videografia é apresentada na Figura 4.23. Podemos notar que à medida que a sombra aumenta na videografia também aumenta na componente sombra, em

diferentes proporções, com o pasto com menores valores de sombra seguido da vegetação secundária e depois as fisionomias de floresta (várzea e terra firme) e por último com mais sombra o babaçu. Em relação ao eixo da componente sombra podemos perceber três grandes grupos, o pasto e a floresta secundária, com menores valores de sombra, as fisionomias de floresta inundada e terra firme, com valores intermediários, e o babaçu, com altos valores de sombra. Em outras palavras, pouca ou nenhuma vegetação arbórea, dosséis homogêneos, heterogêneos e densos com diversos emergentes, heterogêneos com poucos emergentes e substrato inundado, e heterogêneos com copas coroadas com folhas verticais.

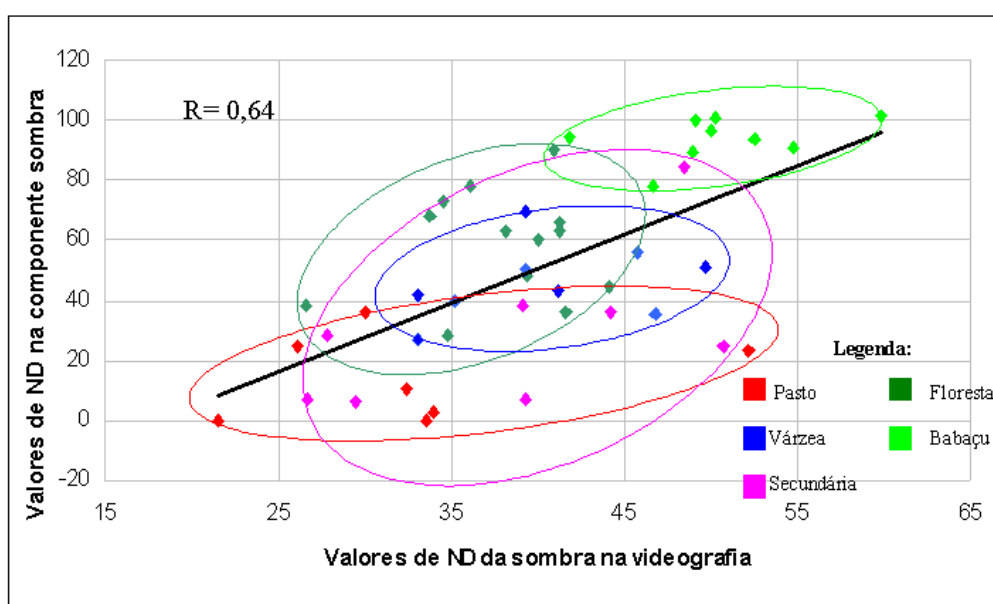


FIGURA 4.23: Relação entre a sombra da videografia e a componente sombra do modelo de mistura.

Após a análise das cenas de videografia é possível perceber a grande diferença entre as copas das árvores de floresta terra firme e inundada da floresta de babaçu. A distribuição angular de suas folhas, a reflexão especular da radiação incidente, pode ser a principal responsável pela diferença na proporção de sombra entre as fisionomias.

A utilização desta ferramenta em conjunto com sensores orbitais torna possível um melhor entendimento da estrutura da vegetação em termos de arquitetura do dossel e distribuição angular das folhas, que afetam o espalhamento da radiação solar incidente e conseqüentemente influenciam a resposta espectral da vegetação que é detectada pelos sensores orbitais.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 Conclusões

De acordo com os resultados apresentados podemos concluir que:

- De uma forma geral, todas as fisionomias apresentaram um comportamento típico de coberturas vegetais, com respostas baixas no visível (bandas 1, 2 e 3) aumentando no infravermelho próximo (banda 4) e diminuindo novamente nas bandas do infravermelho médio (bandas 5 e 7). Todas as fisionomias (com exceção do pasto), apresentaram altos valores de proporção do componente vegetação, altos valores de NDVI e média quantidade de sombra determinada pelas cenas de videografia.
- O comportamento de cada fisionomia está diretamente associado à quantidade de vegetação, arquitetura do dossel, substrato dominante e distribuição angular das folhas. Desta forma, a resposta espectral em cada banda do ETM+, a proporção dos componentes de mistura, os valores de NDVI e a quantidade de sombra na videografia foram diferentes e característicos para cada fisionomia.
- A fisionomia de pasto apresentou maiores valores de reflectância nas bandas 1, 2, 3, 5 e 7 do Landsat 7 ETM+, maior proporção do componente solo (57%, em relação a todas as outras fisionomias) e menores valores do NDVI e de sombra na videografia.
- A floresta secundária apresentou o maior valor de reflectância no infravermelho próximo, valores médios nas bandas, 1, 2, 3, 5 e 7 (maior que todas as outras fisionomias de floresta e menor que a de pasto), grande proporção do componente vegetação (80%), com 10% do componente solo, alto valor do NDVI (mas o menor entre as fisionomias de florestas) e com valores médios de sombra na videografia.

- O babaçu, apresentou o menor valor de reflectância em todas as bandas (1 a 5 e 7), especialmente no infravermelho próximo, maior proporção da componente sombra em relação a todas as outras fisionomias (37), alto valor de NDVI e o maior valor de sombra na videografia.
- A floresta de terra firme e a inundada apresentaram comportamentos similares em todas as bandas, exceto na banda 4, na qual a floresta inundada apresentou uma resposta mais elevada de valores de reflectância. A floresta inundada também obteve a maior proporção de componente vegetação em relação a todas as outras fisionomias (81%) e a menor proporção do componente solo (1%). A floresta terra firme, em relação à proporção dos componentes apresentou 22 % de sombra e 71 % de vegetação. As duas fisionomias também apresentaram valores altos de NDVI (sendo que a floresta inundada apresentou o maior valor dentre todas as fisionomias) e média quantidade de sombra na videografia.

Em relação aos métodos de análise:

- As bandas, 1, 2, 3, 5 e 7 permitiram diferenciar as fisionomias de pasto e floresta secundária de todas as outras fisionomias. A banda 4 permitiu diferenciar o babaçu de todas as fisionomias analisadas. O babaçu apresentou o menor valor de reflectância nesta banda, entretanto, esta banda não permitiu diferenciar a floresta de terra firme de pasto e a floresta secundária inundada, que apresentaram valores de reflectância similares nesta banda.
- A componente solo permitiu diferenciar as fisionomias de pasto e inundada de todas as outras fisionomias, sendo o pasto a fisionomia com o maior valor de proporção de solo e inundada o menor.
- A componente sombra não permitiu a separação da fisionomia de pasto da floresta secundária, e a floresta inundada da floresta de terra firme, mas separou todas as outras fisionomias por esta componente.

- A componente vegetação só não permitiu a separação da fisionomia de floresta secundária de floresta terra firme e da floresta inundada, pois as três apresentaram valores similares dessa componente, assim como, apresentaram valores similares de reflectância no infravermelho próximo.
- O NDVI só não permitiu diferenciar a fisionomia de babaçu da floresta secundária e a floresta de terra firme da floresta inundada, mas permitiu diferenciar diferentes estádios de sucessão, pasto (áreas desflorestadas), vegetação secundária (babaçu e floresta secundária) e florestas primárias (terra firme e inundada).
- A banda 1 da videografia, correspondente ao comprimento de onda no azul, foi a que melhor destacou a fisionomia de pasto de todas as outras componentes.
- A banda 2 (filtro verde) permitiu diferenciar o babaçu de todas as fisionomias, com exceção da floresta inundada.
- A banda 3 (vermelho) só permitiu diferenciar a floresta de terra firme, que apresentou os valores de reflectância mais altos, da fisionomia de pasto e do babaçu, que apresentaram os menores valores de reflectância.
- De mesma forma, com o fatiamento da banda 2 foi possível diferenciar o babaçu de todas as fisionomias, inclusive da floresta inundada, a qual não foi possível ser diferenciada apenas com os valores de ND da banda, mas sim através da quantidade de sombra derivada dessa banda.

A videografia aerotransportada mostrou-se como ferramenta potencial para o monitoramento dos recursos naturais, possibilitando um melhor conhecimento da estrutura da vegetação em relação à arquitetura do dossel e distribuição angular das folhas de diversas fisionomias. O uso destes sistemas em conjunto com imagens de satélite multiespectrais possibilita a associação de assinaturas espectrais com específicas estruturas de vegetação.

5.2 Recomendações

Estudos com diferentes tipos de vegetação para determinar padrões de comportamento espectral a fim de auxiliar grandes projetos de monitoramento, com a associação de uma determinada fisionomia a uma curva espectral e proporção de componentes.

Novos sobrevôos com sistemas de videografia com filtros no infravermelho próximo e no visível, para o cálculo de índices de vegetação.

Aperfeiçoamento das técnicas de processamento das cenas de videografia, utilizando programas de execução automática de mosaicos georeferenciados, a partir das coordenadas adquiridas pelo GPS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abrahão, A. M., E.; Godoy Jr., M. Geração de Imagens de proporções através de um modelo linear de mistura. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 6, 24-29 jul. 1990, Manaus, BR. **Anais**: São José dos Campos: INPE, v. 1, p. 188-198.

Adams, J. B. Kapos, V.; Smith, M. O.; Almeida Filho, R.; Gillespie, A. R.; Roberts, D. A. A new Landsat view of land use in Amazonia. In: International Symposium on Primary Data Acquisition, 24-29 jun. 1990, Manaus. **Anais**: Manaus: ISPRS, 1990, v. 28, p. 177-185.

Adams, J. B. Sabol, D. E.; Kapos, V.; Almeida-Filho, R.; Roberts, D. A.; Smith, M. O.; Gillespie, A. R. Classification of Multispectral images based on fractions of endmembers: applications to land-cover change in the brazilian amazon. **Remote Sensing of Environment**, v. 52, n. 2, p. 137-154, 1995.

Adams, J. B. Smith, M. O.; Gillespie, A. R. **A mixing-model strategy for analyzing and interpreting hyperspectral images**. Seattle: University of Washington, 1989. 35 p.

Adams, J. B. Smith, M. O.; Gillespie, A. R. Simple models for complex natural surfaces: a strategy for the hyperspectral era of remote sensing. In: International Geoscience and Remote Sensing Symposium- Canadian Symposium on Remote Sensing, 12, 1989, Vancouver **Anais**. Vancouver: IEEE/CRSS/URSI, 1989. v. 1, p. 16-21.

Aguiar, A. P. D. **Utilização de atributos derivados de proporções de classes dentro de um elemento de resolução de imagem ("pixel") na classificação multiespectral de imagens de sensoriamento remoto**. 202p. (5306-TDI/456). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) INPE, São José dos Campos, 1991.

Aguiar, A. P. D. Shimabukuro, Y. E.; Mascarenhas, N. D. A. Use of synthetic bands from mixing models in the multispectral classification of remote sensing images. **International Journal of Remote Sensing**, v. 20, n. 4, p. 647-657, 1999.

Andrade, N. S. O. Araújo, L. S.; Numata, I.; Valerio-Filho, M. Estudo da dinâmica da cobertura vegetal e uso da terra na região de Ji Paraná/RO.. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9., 11-18 set. 1998, Santos, BR. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1998. Sessões Poster. 1 CD-ROM. Publicado como: INPE-6924-PRE/2888.

Araújo-Filho, G. L. D. Pereira, J. A. R.; Silva, T. M. V.; Mafra, H.; Brass, J. A.; Lockwood, R. N.; Higgins, R. G.; Riggan, P. J. Utilização do sensor AIRDAS (Airbone Infrared Disaster Assessment System) no monitoramento do desflorestamento no norte do estado de Minas Gerais, Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9., 11-18 set. 1998, Santos, BR. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1998. Sessões Poster. 1 CD-ROM.

Asner, G. P. Biophysical and Biochemical sources of variability in canopy reflectance. **Remote Sensing of Environment**, v. 64, n. 3, p. 234-253, 1998.

Asrar, G. **Theory and applications of optical remote sensing**. New York: John Wiley, abr. 1989. 734 p.

Asrar, G. Kanemasu, E. T.; Yoshida, M. Estimates of leaf area index from spectral reflectance of wheat under different cultural practices and solar angle. **Remote Sensing of Environment**, v. 17, n. 1, p. 1-11, 1985.

Badhwar, G. D. MacDonald, R. B.; Metha, N. C. Satellite derived leaf area index and vegetation maps as input to global carbon cycle models- a hierachical approach. **International Journal of Remote Sensing**, v. 7, p. 265-281, 1986.

Baret, F. Guyot, G. Potencials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. **Remote Sensing of Environment**, v. 35, n. 2 e 3, p. 161-173, 1991.

Baret, F. Guyot, G.; Major, D. TSAVI: A vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI or APAR estimation. In: International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 12, 1989, Vancouver. **Anais...** Vancouver: IEEE/CRSS/URSI, 1989. v. 1, p. 1355-1358.

Bauer, M.E. Burk, T. E.; Ek, A. R.; Coppin, P R.; Lime, S. D.; Walsh, T. A.; Walters, D. K.; Befort, W.; Heinzen, D. F. Satellite inventory of Minnesota forest resources. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 60, p. 287-298, 1994.

Bernardes, S. **Índices de vegetação e valores de proporção na caracterização de floresta tropical primária e estádios sucessionais na área de influência da floresta nacional do Tapajós- Estado do Pará..** 97p. (INPE-6890-TDI/651).Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - INPE, São José dos Campos, 1996.

Best, R. G. Harlan, J. C. Spectral estimation of green leaf area index of oats. **Remote Sensing of Environment**, v. 17, n. 1, p. 27-36, 1985.

Biging, G. S. Dobbertin, M.; Murphy, E. C. A test of airborne multispectral videography for assessing the accuracy of wildlife habitat maps. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 21, n. 3, p. 357-366, 1995.

Brondízio, E. S. Moran, E. F.; Mausel, P.; Wu, Y. Dinâmica na vegetação do baixo amazonas: análise temporal do uso da terra integrando imagens Ladsat-TM, levantamentos florísticos e etnográficos.. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7., 10-14 maio. 1993, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1993. v. 2, p. 38-46.

Câmara Neto, G. Souza, R. C. M.; Freitas, U. M.; Garrido, J. SPRING: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computer Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.

Chavez, P. S. MacKinnon, D. J. Automatic detection of vegetation changes in southwest United States using remotely sensed images. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 60, n. 5, p. 571-583, May 1994.

Chen, S. C. Godoy Jr, M.; Herz, R. Correção atmosférica de dados Landsat através do método de subtração na região amazônica.. In: Simpósio Latinoamericano de Percepção Remota, 7, nov, 1995, Puerto Vallarta, MX. **Anais...**[S.l]: SELPER, 1995. p. 81-87.

- Clevers, J. G. P. W. The derivation of a simplified reflectance model for the estimation of leaf area index. **Remote Sensing of Environment**, v. 35, n. 1, p. 53-69, 1988.
- Cochrane, M. A. Souza Jr, C. M. Linear mixture model classification of burned forests in the Eastern Amazon. **International Journal of Remote Sensing**, v. 19, n. 17, p. 3433-3440, 1998.
- Cohen, W. B. Spies, T. A.; Fiorella, M. Estimating the age and structure of forest in a multi-ownership landscape of western Oregon, U.S.A. **International Journal of Remote Sensing**, v. 16, p. 721-746, 1995.
- Collins, J. B. Woodcock, C. E. An assessment of several linear change detection techniques for mapping forest mortality using multi temporal Landsat TM data. **Remote Sensing of Environment**, v. 56, n. 1, p. 66-77, 1996.
- Colwell, J. E. Vegetation canopy reflectance. **Remote Sensing of Environment**, v. 3, n. 3, p. 175- 183, 1974.
- Crist, E. P. Cicone, R. C. Application of the Tasseled Cap concept to simulated Thematic Mapper data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 50, n. 3, p. 343-352, Mar. 1984.
- Curran, P. J. Dungan, J. L.; Gholz, H. L. Seasonal LAI in Slash Pine estimated with Landsat TM. **Remote Sensing of Environment**, v. 39, n. 1, p. 3-13, Jan. 1992.
- Curran, P. J. Williamson, H. D. Airbone MSS data to estimate GLAI. **International Journal of Remote Sensing**, v. 8, p. 57-74, 1987.
- Defries, R. S. Townshend, J. R. G. Global land cover characterization from satellite data: from research to operational implementation?. **Global Ecology and Biogeography**, v. 8, n. 5, p. 367-379, 1999.
- Diverio, V. T. Dutra, T. L.; Stranz, A. Uso de imagens Landsat no mapeamento de Araucaria angustifolia no estado do Rio Grande do Sul. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10, 21-26 abr. 2001, Foz do Iguaçu **Anais...** São José dos Campos: INPE 2001, CD-ROM .
- Doyle, T. W. Wells, C. J.; Roberts, M. R.; Krauss, K. The use of Videography to assess the spatial impact of hurricanes on forest ecosystems. In: Proceedings of GIS/LIS 94 Annula Conference, 27-30 out. 1994. Phoenix, Arizona, EUA. **Anais...** Bethesda, Maryland, EUA: American Congress on Surveying and Mapping, 1994. v. 1, p. 222-227.
- El-Hakim, S. F. Real time image metrology UIT CCD cameras.. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 52, n. 11, p. 1757-1766, 1986.
- Epiphanyo, J. C. N. Formaggio, A. R. Relação entre PVI e diferença normalizada e índice de área foliar, cobertura do solo e densidade de clorofila de trigo e feijão. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 6, 24-29 jul. 1990, Manaus **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1990. v. 3, p. 797-805.
- Escobar, D. E. Everitt, J. H.; Noriega, J. R.; Cavazos, I.; Davis, M. R. A twelve-band airborne digital video imaging system (ADVIS). **Remote Sensing of Environment**, v. 66, n. 2, p. 122-128, 1998.

- Everitt, J. H. Escobar, D. E.; Alaniz, M. A.; Davis, M. R. Using multispectral video imagery for detecting soil surface conditions. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 55, p. 467-471, 1989.
- Everitt, J. H. Escobar, D. E.; Noriega, J. R. High resolution multispectral video system. **Geocarto International**, v. 6, n. 4, p. 45-51, 1991b.
- Everitt, J. H. Escobar, D. E.; Villarreal, R.; Noriega, J. R.; Davis, M. R. Airbone video systems for agricultural assessment. **Remote Sensing of Environment**, v. 35, n. 2 e 3, p. 231-242, 1991a.
- Everitt, J. H. Hussey, M. A.; Escobar, D. E.; Nixon, P. R.; Pinkerton, B. Assessment of grassland phytomass with airborne video imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 20, n. 3, p. 299-306, 1986.
- Everitt, J. H. Lulla, K.; Escobar, D. E.; Richardson, A. J. Aerospace video imaging systems for rangeland management. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 56, n. 3, p. 343-349, 1990.
- Everitt, J. H. Nixon, P. R. Video imagery: a new remote sensing tool for range management. **Journal of Range management**, v. 38, p. 421-424, 1985.
- Fernandes, A. **Fitogeografia Brasileira**. Fortaleza: Multigraf, 1998. 340 p.
- Ferreira, M. E. Ferreira, L. G.; Sano, E. E.; Shimabukuro, Y. E. Uso do modelo de mistura espectral para o mapeamento sistemático e operacional do bioma cerrado: possibilidades, implicações e procedimentos metodológicos.. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 11, 05-10 abr. 2003, Belo Horizonte, BR **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 657-664.
- Figueiredo, D. C. **Sistema de obtenção de índice de vegetação para a América do Sul por processamento digital de imagens NOAA/AVHRR**. 1989. 107p. (INPE-5068-TDL/407). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), INPE, São José dos Campos, 1990.
- Flink, P. Lindell, T.; Ostlund, C. Statistical analysis of jiperspectral data from two Swedish lakes. **The Science of the Total Environment**, v. 268, n. 1-3, p. 155-169, Mar. 2001.
- Foody, G. M. Lucas, R. M.; Curran, P. J. Non linear mixture modelling without end-members using an artificial neural network. **International Journal of Remote Sensing**, v. 18, n. 4, p. 937-953, Mar. 1997.
- Fournier, R. A. Rich, P. M.; Landry, R. Hierarchical characterization of canopy architecture for boreal forest. **Journal of Geophysical Research**, v. 102, n. D24, p. 29444-29454, 1997.
- Franklin, S. E. Waring, R. W.; McCreight, r. W.; Cohen, W. B.; Fiorella, M. Aerial and satellite sensor detection and classification of western spruce budworm defoliation in a subalpine forest.. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 21, n. 3, p. 299-308, 1995.
- Gates, D. M. Keegan, H. J.; Schleter, J. C.; Weidner, V. R. Spectral properties of plants.. **Applied Optics**, v. 4, n. 1, p. 11-20, Jan. 1965.

Gleriani, J. M. **Influência do solo de fundo e da geometria da radiação na resposta espectral da cultura do feijão**. 87p. (INPE-5632-TDI/556).Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - INPE, São José dos Campos, 1994.

Goel, N. S. Models of vegetation canopy reflectance and their use in estimation of biophysical parameters from reflectance data.. **Remote Sensing Reviews**, v. 4, p. 1-212, 1988.

Goward, S. N. Huemmrich, K. F. Vegetation canopy PAR absorptance and the normalized difference vegetation index: an assessment using SAIL. **Remote Sensing of Environment**, v. 39, n. 2, p. 119-140, 1992.

Graham, L. A. Airbone video for near real time vegetation mapping.. **Journal of Forestry**, v. 91, n. 8, p. 28-32, 1993.

Guyot, G. Gu, X. F. Effect of radiometric corrections on NDVI-determined from SPOT-HRV and Landsat- TM data. **Remote Sensing of Environment**, v. 49, n. 3, p. 169-180, Set. 1994.

Guyot, L. A. Guyon, D.; Riom, J. Factors affecting the spectral response of forest canopies: a review.. **Geocarto International**, v. 4, n. 3, p. 3-18, Set. 1989.

Hall, F. G. Shimabukuro, Y. E.; Huemmrich, K. F. Remote sensing of forest biophysical structure using mixture decomposition and geometric reflectance models. **Ecological Applications**, v. 5, n. 4, p. 993-1013, 1995.

Henderson, A. **The palms of the Amazon**. New York: Oxford University Press, 1995. 362 p.

Hess, L. L. Novo, E. M. L. M.; Slaymaker, D. M.; Holt, J.; Steffen, C.; Valeriano, D. M.; Mertes, L. A. K.; Krug, T.; Mellack, J. M.; Gstail, M.; Holmes, C.; Hayward, C. Geocoded digital videography for validation of land cover mapping in the Amazon basin.. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 7, p. 1527-1556, 2002.

Hickman, M. V. Everitt, J. H.; Escobar, D. E.; Richardosn, A. J. Aerial photography and videography for detecting and mapping dicamba injury patterns.. **Weed Technology**, v. 5, n. 4, p. 700-706, 1991.

Horwitz, H. M. Nalepka, R. F.; Hyde, P. D.; Morgenstern, J. P. Estimating the proportions of objects within a single resolution element of a multispectral scanner. In: International Symposium on Remote Sensing of the Environment 7. 1971, Ann Arbor , Michigan, EUA. **Anais**. Ann Arbor, Michigan EUA: NOAA, 1971. p. 1307-1320.

Huete, A. R. A Soil- Adjusted Vegetation Index (SAVI).. **Remote Sensing of Environment**, v. 25, n. 3, p. 295-309, Ago. 1988.

Huete, A. R. Liu, H. Q.;Batchily, K.; van Leeuwen, W. J. D. Acomparision of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, n. 3, p. 440-451, Mar. 1997.

Huete, A. R. Liu, H.Q.; van Leeuwen, W. J. D. The use of vegetation indices in forested regions: Issues of linearity and saturation. In: International Geoscience and remote Sensig Seminar, 1997, Noordwijk: Netherlands. **Anais**. Noordwijk: Netherlands: ESA Publications, 1997. v. 4, p. 1966-1968.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Sept. 2003. **Mapa de temperatura média anual dos estados brasileiros**. Disponível em:
<http://www.inmet.gov.br/climatologia/combo_climatologia_C.html>

Acesso em: 30 de Julho 2003.

Ippoliti, G. Mortara, M. O.; Rezende, A. C.; Simões, M. S.; Valerio-Filho, M. Sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas no estudo da adequação do uso da terra nos municípios de Hortolândia e Sumaré (SP). In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9, 11-18 set.1998, Santos, BR **Anais...** São José dos Campos: INPE. 1998. 1 CD-ROM.

Jackson, R. D. Huete, A. R. Interpreting vegetation indices.. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 11, n. 3-4, p. 185-200, 1991.

Jackson, R. D. Pinter Jr, P. J. Spectral response of architecturally different wheat canopies. **Remote Sensing of Environment**, v. 20, n. 1, p. 43-56, Ago. 1986.

Jacobs, D. M. Eggen-McIntosh, S. Airbone videography and GPS for assessment of forest damage in southern Louisiana from hurricane Andrew.. In: Proceedings of the ILJFRO conference on inventory and management techniques in the context of catastrophic events. 21-24 jun. 1993, University Park, PA **Anais eletronicos**: University Park, PA: 1993. Disponível em: <http://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/ja_jacobs001.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2002.

Jordan, C. F. Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. **Ecology**, v. 50, n. 4, p. 663-666, 1969.

Kaufman, Y. J. Tanré, D. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 30, n. 2, p. 261-270, 1992.

Kauth, R. J. Thomas, G. S. The Tasseled Cap: a graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen in Landsat.. In: Proceedings on the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data, 29 jun-01 jul. 1976, West Lafayette, Indiana, EUA. **Anais**. West Lafayette, Indiana: Purdue University, 1976. p. 41-51.

Kimes, D. S. Kichner, J. A. Diurnal variations of vegetation canopy structure. **International Journal of remote Sensing**, v. 4, n. 2, p. 257-271, Abr. 1983.

King, D. J. Airbone multispectral digital camera and video sensors: a critical review of systems designs and applications. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 21, n. 3, p. 245-273, 1995.

Koepke, P. Hess, M.; Schultz, I.; Shettle, E. P. **Global Aerosol Data Set**. Hamburg: Max-Planck-Institut fur Meteorologie, 1997. 937-1060 p. (Report No. 243)

Law, B. E. Estimation of leaf area index and light intercepted by shrubs from digital videography. **Remote Sensing of Environment**, v. 51, n. 2, p. 276-280, 1995.

Lenney, M. P. Woodcock, C. E.; Macomber, S. A.; Gopal, S.; Song, C. Forest mapping with a generalized classifier and Landsat TM data.. **Remote Sensing of Environment**, v. 77, n. 3, p. 214-250, 2001.

- Lévesque, J. King, D. J. Airbone digital camera image semivariance for evaluation of forest structural damage at an acid mine site.. **Remote Sensing of Environment**, v. 68, n. 2, p. 112-124, 1999.
- Linden, D. S. Videography for foresters. **Journal of Forestry**, v. 98, n. 6, p. 25-28, 2000.
- Liu, H. Q. Huete, A. R. A feedback based modifitacion of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 33, n. 2, p. 457-465, 1995.
- Lonard, R. I. Judd, F. W.; Everitt, J. H.; Escobar, D. E.; Alaniz, M. A.; Cavazos, I.; Davis, M. R. Vegetative change on south Padre Island, Texas, over twenty years and evaluation of multispectral videography in determining vegetative cover and species identity.. **The Southwestern Naturalist**, v. 44, n. 3, p. 261-271, 1999.
- Lorena, R. B. **Evolução do uso da terra em porção da Amazônia ocidental (Acre), com técnicas de detecção de mudanças.** 2001 116p. (INPE-9650-TDI/846).Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - INPE, São José dos Campos, 2003.
- Lucas, R. M. Honzak, M.; Curran, P. J.; Foody, G. M.; Milnes, R.; Brwn, T.; Amaral, S. Mapping the regional extent of tropical forest regeneration stages in the brazilian legal amazon using NOAA AVHRR.. **International Journal of Remote Sensing**, v. 21, n. 15, p. 2855-2881, 2000.
- Maldonado, F. D. **Análise por Componentes principais (ACP) na caracterização da dinâmica do uso da terra em área do semi-árido brasileiro: Quixaba-PE.** São José dos Campos. 1999. 134p. (INPE-7180-TDI/680).Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - INPE, Maio 1999.
- Marsh, S. E. Walsh, J. L.; Hutchinson, C. F. Development of an agricultural land use GIS for Senegal derived from multispectral video and photographic data.. **Photogrammetric Enginnering and Remote Sensing**, v. 56, n. 3, p. 351-357, 1990.
- Marsh, S. E. Walsh, J. L.; Lee, C. T.; Grahan, L. A. Multispectral analysis of hazardous waste sites trough the use of a new bi spectral video remote sensing system and standard color IR photography.. **Photogrammetric Enginnering and Remote Sensing**, v. 57, n. 9, p. 1221-1226, 1991.
- Marsh, S. E. Walsh, J. L.; Sobrevila, C. Evaluation of airborne video data for land cover classification accuracy assessment in an isolated brazilian forest. **Remote Sensing of Environment**, v. 48, n. 1, p. 61-69, 1994.
- Martin, M. E. Newman, S. D.; Aber, J. D.; Congaltn, R. G. Determining forest species composition using high spectral resolution remote sensing data. **Remote Sensing of Environment**, v. 65, n. 3, p. 249-254, 1998.
- Mascarenhas, N. D. D. Correia, V. R. M. **Medidas de qualidade de estimadores de proporções de classe dentro de um pixel de imagem de satélite.** São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1983. (INPE-2791-PRE/354)
- Mather, P. M. **Computer Processing of Remotely-sensed images: an introduction.** Baffins, Chichester, England: John Wiley & Sons Ltd, 1999. 292 p.

- Mausel, P. W. Everitt, J. H.; Escobar, D. E.; King, D. J. Airbone videography: current status and future perspectives.. **Photogrammetric Enginnering and Remote Sensing**, v. 58, n. 8, p. 1189-1195, 1992.
- Moran, E. F. Brondízio, E. S.; Mausel, P.; Li, Y. H. Assinaturas espectrais diferenciando etapas de sucessão secundária no leste amazônico.. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7, 10-14 maio 1993, Curitiba, BR **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1993. v. 2, p. 202-209.
- Moreira, M. A. Aulicino, L. C. M.; Shimabukuro, Y. E.; Duarte, V.; Rudorff, B. T. T.; Rodriguez, Y.; Souza, J. L. Modelo de mistura espectral para identificar e mapear áreas de soja e milho em quatro municípios do estado de Minas Gerais.. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9, 11-18 set. 1998, Santos, BR **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1998. CD-ROM.
- Myneni, R. B Nemani, R. R.; Running, S. W. Estimation of global leaf area index and absorbed PAR using radiative transfer models. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 35, p. 1380-1393, 1997.
- Myneni, R. B. Asrar, G. Atmospheric effects and spectral vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 47, n. 3, p. 390-402, Mar. 1994.
- Myneni, R. B. Hall, F. G.; Sellers, P. J.; Marshak, A. L. The interpretation of spectral vegetation indexes. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 33, n. 2, p. 481-486, Mar. 1995.
- Nascimento, P. S. R. **Avaliação de técnicas de segmentação e classificação por regiões em imagens Landsat TM visando o mapeamento de unidades de paisagem na Amazônia.** 1997. 102p. (INPE-6391-TDI/607).Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - INPE, São José dos Campos, 1997.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). **LANDSAT 7.** Disponível em: <<http://geo.arc.nasa.gov/esdstaff/landsat/l7.html>> Acesso em: 2001
- Nelson, B. W. Batista, G. T. **Observações em campo.** (Amazônia, jul. 1987). São José dos Campos: INPE. Comunicação Pessoal.
- Nixon, P. R. Escobar, D. E.; Menges, R. M. A multiband video system for quick assessment of vegetation condition and discrimination of plant species. **Remote Sensing of Environment**, v. 17, n. 2, p. 203-208, 1985.
- Novo, E. M. Shimabukuro, Y. E. Spectral mixture analysis of inland tropical waters. **International Journal of Remote Sensing**, v. 15, n. 6, p. 1351-1356, 1994.
- Paris, J. F. Kwong, H. H. Characterization of vegetation with combined thematic mapper (TM) and shuttle imaging radar (SIR-B) image data. **Photogrammetric Enginnering and Remote Sensing**, v. 54, n. 8, p. 1187-1193, 1988.
- Pereira, J. L. G. **Estudos de áreas de floresta em regeneração através de imagens Landsat.** 1996. 104p. (INPE-5987-TDI/578).Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1996.
- Perry, C. R. Lautenschlager, L. F. Functional equivalence of spectral vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 14, n. 1-3, p. 169-182, Jan. 1984.

- Ponzoni, F. J. Comportamento espectral da vegetação. In: **Sensoriamento remoto: reflectância de alvos naturais**. Brasília: Editora UNB, 2001, Cap. 5, p. 157-199.
- Projeto RADAMBRASIL. **Folha SB 22 Araguaia e parte da Folha SC. 22 Tocantins**; Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação. Rio de Janeiro, 1974 (Levantamento de Recursos Naturais, 4).
- Qi, J. Chehbouni, A.; Huete, A. R.; Kerr, Y. H.; Sorooshian, S. A modified soil adjusted vegetation index. **Remote Sensing of Environment**, v. 48, n. 2, p. 119-126, 1994.
- Ravan, S. A. Roy, P. S.; Sharma, C. M. Space remote sensing for spatial vegetation characterization.. **Journal of Bioscience**, v. 20, n. 30, p. 427-438, 1995.
- Richardson, A. J. Wiegand, C. L. Distinguishing vegetation from soil background information. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 43, n. 12, p. 1541-1552, 1977.
- Rizzini, C. T. **Tratado de Fitogeografia do Brasil**. São Paulo: Hucitec, 1979. 374 p.
- Roberts, D. A. Church, G. R.; Ustin, S.; Scheer, G.; Green, R. O. Mapping chaparral in the Sanat Monica mountains using multiple endmember spectral mixture models. **Remote Sensing of Environment**, v. 65, n. 3, p. 267-279, 1998.
- Rocha, V. M. S. Carvalho, R. A.; Schwarz, C. O.; Ferreira, A. P. M. Mapeamento da cobertura vegetal e uso da terra visando a caracterização da situação legal da vegetação no projeto de assentamento de um imóvel rural no município de Presidente Olegário, MG. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9, 11-18 set. 1998, Santos, BR. **Anais**: São José dos Campos: INPE, CD-ROM.
- Roujean, J. L. Bréon, F. M. Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements. **Remote Sensing of Environment**, v. 51, n. 3, p. 375-384, 1995.
- Rouse, J. W. Haas, R. H.; Schell, J. A.; Deering, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Earth Resources Technology Satellite -1 Symposium, 3, 1973, Washington. **Anais**. Washington, D.C.: NASA, Goddard Space Flight Center, 1973. v. 1, p. 309-317.
- Saatchi, S. S. Rignot, E. Classification of boreal forest cover types using SAR images. **Remote Sensing of Environment**, v. 60, n. 3, p. 270-281, 1997.
- Salles, A. T. Valerio- Filho, M.; Florenzano, T. G. Monitoramento da cobertura vegetal nas reservas indígenas Guarani/Kaiowá através de sensoriamento remoto e geoprocessamento. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9, 11-18 set. 1998, Santos, BR. **Anais**: São José dos Campos: INPE, 1998. CDROM.
- Santos, C. V. Brito, J. L. N. S.; Langenwalter, J. Modelo de mistura na detecção de pistas de pouso. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 10, 21-26 abr. 2001, Foz do Iguaçu, BR **Anais**: São José dos Campos: INPE, 2001. p. 1346-1351.
- Schowengerdt, R. A. **Remote Sensing: models and methods for image processing**. San Diego, CA: Academic Press, 1997. 522 p.

Sellers, P. J. Vegetation canopy spectral reflectance and biophysical processes. In: **Theory and applications of optical remote sensing**. New York: John Wiley, 1989. Cap. 8, p. 297-335.

Shibayama, M. Akiyama, T. Seasonal visible, near infrared and mid infrared spectra of rice canopies in relation to LAI and above ground dry phytomass. **Remote Sensing of Environment**, v. 27, p. 119-128, 1989.

Shimabukuro, Y. E. **Shade images derived from linear mixing models of multispectral measurements of forested areas**. Fort Collins, CO. p. ().Tese (Doctor of Philosophy) - Colorado State University, 1987.

Shimabukuro, Y. E. Duarte, V.; Santos, J. R.; Batista, G. T. Mapping and monitoring deforestation areas in Amazon region using semi-automatic classification of Landsat Thematic Mappers Images. In: International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 24-28 jul. 2000, Honolulu, Hawaii, EUA. **Anais... IGARSS 2000**. 1 CDROM.

Shimabukuro, Y. E. Mello, E. M. K.; Moreira, J. C.; Duarte, V. **Segmentação e classificação da imagem sombra do modelo linear de mistura para mapear desflorestamento na Amazônia**. São José dos Campos: INPE, Jan. 1997. 16 p. (INPE-6147-PUD/029)

Shimabukuro, Y. E. Smith, J. A. Fraction images derived from Landsat TM and MSS data for monitoring reforested areas. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 21, n. 1, p. 67-74, Mar. 1995.

Shimabukuro, Y. E. Smith, J. A. **Imagens sombra para áreas reflorestadas de Eucalyptus e Pinus obtidas de medidas multiespectrais do Landsat**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1989. 6 p. (INPE-4825-PRE/1426)

Shimabukuro, Y. E. Smith, J. A. The least squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data.. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 29, n. 1, p. 16-20, Jan. 1991.

Siljestrom, P.A. Moreno, A. Monitoring burnt areas by principal components analysis of multi-temporal TM data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 16, p. 1577-1587, 1995.

Souza Jr, C. Barreto, P. An alternative approach for detecting and monitoring selectively logged forests in the Amazon. **International Journal of Remote Sensing**, v. 21, n. 1, p. 173-179, 2000.

Souza, C. L. **Uso de imagens índice e imagens proporção para avaliar a quantidade de madeira em povoamentos de pinnus spp**. São José dos Campos. 111p. (INPE-6398-TDI/614).Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1997.

Spanner, M. A. Pierce, L. L.; Peterson, D. L.; Running, S. W. Remote Sensing temperate coniferous forest leaf area index. The influence of canopy closure, understory and background reflectance. **International Journal of Remote Sensing**, v. 11, n. 1, p. 95-111, 1990a.

Spanner, M. A. Pierce, L. L.; Running, S. W.; Peterson, D. L. The seasonal trends of AVHRR data of temperate coniferous forests: relationship with leaf area index. **Remote Sensing of Environment**, v. 33, n. 2, p. 97-112, 1990b.

Swain P. H. Davis, S. M. **Remote Sensing: the quantitative approach..** New York: McGraw-Hill, 1978. 396 p.

Thales, M. C. **Imagem fração sombra na caracterização e mapeamento de babaçu (*Attalea speciosa* Mart ex Spreng.) em áreas de floresta.** São José dos Campos. 140p. (8382-TDI/720).Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - INPE, Maio 1999.

Vermote E. F. Tanré, D.; Deuzé, J. L.; Herman, M.; Morcrette, J. J. Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: an overview. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 35, n. 3, p. 675-686, 1997.

Verona, J. D. **Classificação e monitoramento fenológico foliar da cobertura vegetal na região da floresta Nacional do Tapajós-Pará, utilizando dados multitemporais do sensor "thematic mapper" (TM) do Landsat..** 159p. (INPE-9556-TDI/832).Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - INPE, São José dos Campos, 2002.

Walker, R. Homma, A. K. O. Land use and land cover dynamics in the brazilian amazon: an overview. **Ecological Economics**, v. 18, n. 1 , p. 67-80, 1996.

Wardley, N. W. Milton, E. J.; Hill, C. T. Remote sensing of structurally complex semi-natural vegetation: an example from heath land. **International Journal of Remote Sensing**, v. 8, p. 31-42, 1987.

Wiegand, C. L. Rhoades, J. D.; Escobar, D. E.; Everitt, J. H. Photographic and videographic observations for determining and mapping the response of cotton to salinity..**Remote Sensing of Environment**, v. 49, n. 3, p. 212-223, 1994.

Wiegand, C. L. Richardson, A. J.; Kanemasu, E. T. Leaf area index estimates for wheat from Landsat and their implications for evapotranspiration and crop modelling. **Agronomy Journal**, v. 71, p. 336-342, 1988.

Wilson, B. A. Franklin, S. E. Characterization of alpine vegetation cover using satellite remote sensing in Front Ranges, St. Elias mountains, Yukon Territory. **Global Ecology and Biogeography Letters**, v. 2 , n. 3, p. 90-95, 1992.

Woodcock, C. E. Collins, J. B.; Gopal, S.; Jakabhazy, V. D.; Li, X.; Macomber, S.; Ryherd, S.; Harward, V. J.; Levitan, J.; Wu, Y; Warbington, R. Mapping forest vegetation using Landsat TM imagery and a canopy reflectance model. **Remote Sensing of Environment**, v. 50, n. 3, p. 240-254, 1994.

Yi, J. L. R. Aulicino, L. C. M.; Shimabukuro, Y. E.; Rudorff, B. F.; Duarte, V.; Moreira, M. A.; Martini, P. R.; Sousa, I. M. Segmentação de imagens fração derivadas do sensor TM-Landsat para o mapeamento do uso do solo no município de Sapezal (MT). In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9, 11-18 set. 1998, Santos, BR. **Anais...** São Jpsé dos Campos: INPE, 1998. 1 CD ROM .

APÊNDICE A

TABELA A.1: Valores F e P do ANOVA na BANDA 1.

Fisionomias	F	valor P	Resumo dos resultados
Floresta X Babaçu	1,09	0,30	iguais
Floresta X Secundária	23,72	0,0001	Diferentes *
Floresta X Pasto	253,01	0,00	Diferentes *
Floresta X Inundada	0,25	0,61	iguais
Babaçu X Secundária	10,37	0,005	Diferentes *
Babaçu X Pasto	140,53	0,00	Diferentes *
Babaçu X Inundada	0,29	0,59	iguais
Pasto X Secundária	51,73	0,000	Diferentes *
Pasto X Inundada	168,90	0,00	Diferentes *
Secundária X Inundada	14,72	0,001	Diferentes *

* significativamente diferentes a 5% de probabilidade

TABELA A.2: Valores F e P do ANOVA na BANDA 2.

Fisionomias	F	valor P	Resumo dos resultados
Floresta X Babaçu	1,26	0,27	iguais
Floresta X Secundária	14,77	0,0010	Diferentes *
Floresta X Pasto	260,34	0,00	Diferentes *
Floresta X Inundada	1,36	0,25	iguais
Babaçu X Secundária	7,87	0,010	Diferentes *
Babaçu X Pasto	164,23	0,00	Diferentes *
Babaçu X Inundada	0,0003	0,98	iguais
Pasto X Secundária	27,05	0,0001	Diferentes *
Pasto X Inundada	170,42	0,00	Diferentes *
Secundária X Inundada	8,05	0,010	Diferentes *

• significativamente diferentes a 5% de probabilidade

TABELA A.3: Valores F e P do ANOVA na BANDA 3.

Fisionomias	F	valor P	Resumo dos resultados
Floresta X Babaçu	3,27	0,08	iguais
Floresta X Secundária	12,00	0,002	Diferentes *
Floresta X Pasto	213,32	0,00	Diferentes *
Floresta X Inundada	0,20	0,65	iguais
Babaçu X Secundária	2,90	0,100	iguais
Babaçu X Pasto	99,38	0,00	Diferentes *
Babaçu X Inundada	3,08	0,09	iguais
Pasto X Secundária	44,76	0,00	Diferentes *
Pasto X Inundada	151,90	0,00	Diferentes *
Secundária X Inundada	9,12	0,008	Diferentes *

* significativamente diferentes a 5% de probabilidade

TABELA A.4: Valores F e P do ANOVA na BANDA 4.

Fisionomias	F	valor P	Resumo dos resultados
Floresta X Babaçu	32,21	0,00	Diferentes *
Floresta X Secundária	9,26	0,006	Diferentes *
Floresta X Pasto	3,50	0,07	iguais
Floresta X Inundada	6,55	0,01	Diferentes *
Babaçu X Secundária	69,34	0,000	Diferentes *
Babaçu X Pasto	20,33	0,0004	Diferentes *
Babaçu X Inundada	121,36	0,00	Diferentes *
Pasto X Secundária	19,49	0,0006	Diferentes *
Pasto X Inundada	24,91	0,0001	Diferentes *
Secundária X Inundada	0,97	0,34	iguais

• significativamente diferentes a 5% de probabilidade

TABELA A.5: Valores F e P do ANOVA na BANDA 5.

Fisionomias	F	valor P	Resumo dos resultados
Floresta X Babaçu	4,24	0,052	iguais
Floresta X Secundária	12,95	0,001	Diferentes *
Floresta X Pasto	164,80	0,00	Diferentes *
Floresta X Inundada	0,08	0,77	iguais
Babaçu X Secundária	15,86	0,001	Diferentes *
Babaçu X Pasto	120,96	0,00	Diferentes *
Babaçu X Inundada	3,62	0,07	iguais
Pasto X Secundária	44,67	0,00	Diferentes *
Pasto X Inundada	135,76	0,00	Diferentes *
Secundária X Inundada	12,44	0,003	Diferentes *

* significativamente diferentes a 5% de probabilidade

TABELA A.6: Valores F e P do ANOVA na BANDA 7.

Fisionomias	F	valor P	Resumo dos resultados
Floresta X Babaçu	0,54	0,46	iguais
Floresta X Secundária	14,65	0,001	Diferentes *
Floresta X Pasto	141,78	0,00	Diferentes *
Floresta X Inundada	1,83	0,19	iguais
Babaçu X Secundária	8,89	0,009	Diferentes *
Babaçu X Pasto	86,00	0,00	Diferentes *
Babaçu X Inundada	0,01	0,93	iguais
Pasto X Secundária	48,35	0,00	Diferentes *
Pasto X Inundada	107,65	0,00	Diferentes *
Secundária X Inundada	16,50	0,001	Diferentes *

• significativamente diferentes a 5% de probabilidade

APÊNDICE B

TABELA B1: Valores F e P do ANOVA na Componente Solo da Imagem TM.

Fisionomias	F	valor P	Resumo dos resultados
Floresta X Babaçu	0,74	0,39	iguais
Floresta X Secundária	3,35	0,08	iguais
Floresta X Pasto	214,72	0,00	Diferentes*
Floresta X Inundada	6,26	0,02	Diferentes*
Babaçu X Secundária	0,96	0,34	iguais
Babaçu X Pasto	125,45	0,00	Diferentes*
Babaçu X Inundada	6,96	0,01	Diferentes*
Pasto X Secundária	68,67	0,00	Diferentes*
Pasto X Inundada	195,98	0,00	Diferentes*
Secundária X Inundada	7,20	0,01	Diferentes*

* significativamente diferentes a 5% de probabilidade

TABELA B2 - Valores F e P do ANOVA na Componente Sombra da Imagem TM.

Fisionomias	F	Valor P	Resumo dos resultados
Floresta x Babaçu	32,88	0,00	Diferentes*
Floresta: Secundária	22,18	0,0001	Diferentes*
Floresta x Pasto	31,57	0,00	Diferentes*
Floresta X Inundada	3,35	0,076	iguais
Babaçu x Secundária	207,04	0,00	Diferentes*
Babaçu x Pasto	235,53	0,00	Diferentes*
Babaçu X Inundada	109,34	0,00	Diferentes*
Pasto x Secundária	0,98	0,34	iguais
Pasto X Inundada	20,98	0,0004	Diferentes*
Secundária X Inundada	12,56	0,003	Diferentes*

* significativamente diferentes a 5% de probabilidade

TABELA B3 - Valores F e P do ANOVA na Componente Vegetação da Imagem TM.

Fisionomias	F	valor P	Resumo dos resultados
Floresta X Babaçu	27,29	0,00	Diferentes *
Floresta X Secundária	2,00	0,17	iguais
Floresta X Pasto	85,89	0,00	Diferentes *
Floresta X Inundada	6,57	0,01	Diferentes *
Babaçu X Secundária	33,89	0,00	Diferentes *
Babaçu X Pasto	40,83	0,00	Diferentes *
Babaçu X Inundada	109,10	0,00	Diferentes *
Pasto X Secundária	74,05	0,00	Diferentes *
Pasto X Inundada	166,25	0,00	Diferentes *
Secundária X Inundada	0,36	0,55	iguais

* significativamente diferentes a 5% de probabilidade

TABELA B4 - Valores de F e P do ANOVA do NDVI.

Fisionomias	F	Valor P	Resumo dos Resultados
Floresta X Inundada	2,15	0,158	iguais
Floresta X Babaçu	15,05	0,001	Diferentes *
Floresta X Secundária	8,02	0,011	Diferentes *
Floresta X Pasto	291,19	0,00	Diferentes *
Babaçu X Secundária	0,90	0,359	iguais
Babaçu X Inundada	60,38	0,00	Diferentes *
Babaçu X Pasto	168,01	0,00	Diferentes *
Secundária X Pasto	48,63	0,00	Diferentes *
Secundária X Inundada	9,47	0,008	Diferentes *
Pasto X Inundada	250,45	0,00	Diferentes *

* significativamente diferentes a 5% de probabilidade

APÊNDICE C

TABELA C1 - Valores F e P da ANOVA na BANDA 1 da Videografia .

Fisionomias	Valor de F	Valor de P	Resumo dos Resultados
Babaçu X Floresta	2,5	0,12	iguais
Babaçu X Inundada	0,005	0,94	iguais
Babaçu X Secundária	0,002	0,96	iguais
Babaçu X pasto	13,01	0,0032	Diferentes *
Floresta X Inundada	3,28	0,08	iguais
Floresta X Secundária	2,47	0,13	iguais
Floresta X Pasto	10,77	0,004	Diferentes *
Várzea X Secundária	0,0006	0,98	iguais
Várzea X Pasto	15,95	0,001	Diferentes *
Secundária X Pasto	12,284	0,004	Diferentes *

* significativamente diferentes a 5% de probabilidade

TABELA C2: : Valores F e P da ANOVA na BANDA 2 da Videografia.

Fisionomias	Valor de F	Valor de P	Resumo dos Resultados
Babaçu X Floresta	15,75	0,000	Diferentes *
Babaçu X Inundada	3,02	0,10	iguais
Babaçu X Secundária	4,79	0,04	Diferentes *
Babaçu X pasto	9,56	0,008	Diferentes *
Floresta X Inundada	3,53	0,07	iguais
Floresta X Secundária	0,75	0,39	iguais
Floresta X Pasto	0,63	0,43	iguais
Várzea X Secundária	0,43	0,52	iguais
Várzea X Pasto	1,14	0,30	iguais
Secundária X Pasto	0,04	0,83	iguais

* significativamente diferentes a 5% de probabilidade

TABELA C3: Valores F e P da ANOVA na BANDA 3 da Videografia.

Fisionomias	Valor de F	Valor de P	Resumo dos Resultados
Babaçu X Floresta	5,05	0,03	Diferentes *
Babaçu X Inundada	0,88	0,36	iguais
Babaçu X Secundária	0,02	0,86	iguais
Babaçu X pasto	0,17	0,68	iguais
Floresta X Inundada	1,60	0,21	iguais
Floresta X Secundária	3,73	0,06	iguais
Floresta X Pasto	4,61	0,04	Diferentes *
Várzea X Secundária	0,66	0,42	iguais
Várzea X Pasto	1,05	0,32	iguais
Secundária X Pasto	0,03	0,86	iguais

* significativamente diferentes a 5% de probabilidade

TABELA C 2: Valores F e P do ANOVA na Sombra da Videografia do Limiar S4 (0 A 120).

Fisionomias	F	Valor P	Resumo dos resultados
Floresta x Babaçu	35,67	9,5E-05	Diferentes*
Floresta: Secundária	0,13	0,71	iguais
Floresta x Pasto	2,54	0,12	iguais
Floresta X Inundada	0,61	0,44	iguais
Babaçu x Secundária	14,19	0,002	Diferentes *
Babaçu x Pasto	21,66	0,0004	Diferentes*
Babaçu X Inundada	15,26	0,001	Diferentes*
Secundária x Pasto	0,61	0,44	iguais
Secundária X Inundada	0,58	0,45	iguais
Pasto X Inundada	2,94	0,10	iguais

* significativamente diferentes a 5% de probabilidade

