

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-7253-TDI/696

ANÁLISE DA COBERTURA VEGETAL E DE BIOMASSA EM ÁREAS DE CONTATO
FLORESTA/SAVANA A PARTIR DE DADOS TM/LANDSAT E JERS-1

Luciana Spinelli de Araujo

Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, orientada pelo Dr. João Roberto
dos Santos, aprovada em 20 de maio de 1999.

INPE
São José dos Campos
1999

528.711.7 : 634.0

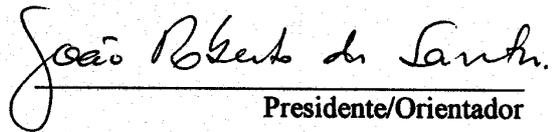
ARAUJO, L. S.

Análise da cobertura vegetal e de biomassa em áreas de contato floresta/savana a partir de dados TM/Landsat e JERS-1 / L. S. Araujo. – São José dos Campos: INPE, 1999. 129p. – (INPE-7253-TDI/696).

1.Biomassa. 2.Floresta tropical. 3.Savana. 4.Sensoriamento remoto. 5.JERS-1. 6.Modelo de mistura. 7.Índice de vegetação. I.Título.

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

Dr. João Roberto dos Santos


Presidente/Orientador

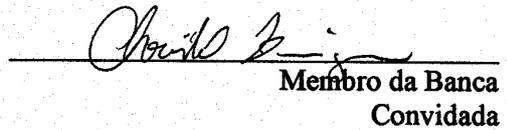
Dr^a Corina da Costa Freitas


Membro da Banca

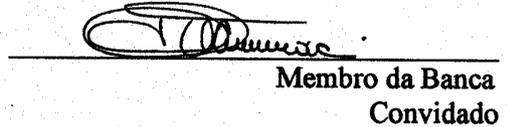
Dr. Yosio Edemir Shimabukuro


Membro da Banca

Dr^a Christel Lingnau


Membro da Banca
Convidada

Dr. Waldir Mantovani


Membro da Banca
Convidado

Candidata: Luciana Spinelli de Araujo

São José dos Campos, 20 de maio de 1999.

*Digamos que estava a pôr à prova os
limites da realidade. Estava ansioso em
ver o que aconteceria.
Era tudo: apenas curiosidade.*

Jim Morrison

Dedico

Ao meu irmão Sidney Jr.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. João Roberto dos Santos, pela orientação, amizade e cobranças ‘necessárias’ durante o desenvolvimento deste projeto.

Aos pesquisadores do DSR/INPE e DPI/INPE, em especial à Dra. Corina da Costa Freitas, Dr. Yosio Edemir Shimabukuro e Dr. Hermann Johann Heinrich Kux, pela cooperação no decorrer do projeto.

À CAPES, pela bolsa de estudos, e à FAPESP (processo nº 97/00943-8), pelo apoio financeiro dado ao projeto.

À NASDA, pela cessão da imagem JERS-1, dentro do “*Global Rain Forest Monitoring Project*” (GRFM).

À EMBRAPA, em particular ao MSc. Haron Abrahim Magalhães Xaud, pelo apoio logístico durante a etapa de campo.

Ao Sr. Osmarino Monteiro, pela colaboração na etapa de campo.

À MSc. Maria Silvia Pardi Lacruz, por todo o incentivo e colaboração para a concretização deste trabalho.

A Sra. Vera A.G. dos Santos e filhas, pelo carinho com que me receberam.

À Maria Etelvina Rennó D. Arbex, pela atenção dispensada aos alunos.

Ao pessoal da ‘senzala’, a quem sempre recorreremos.

À toda a turma de mestrado de 1997 - ‘a melhor’.

Aos amigos Marcelo Cordeiro Thalês e Fábio Roque Silva Moreira, pela ‘última noite’.

A meus pais, Sidney e Neusa, pelo incentivo e apoio, incondicional, às minhas escolhas.

À minha vó Rosa e irmãos, Junior e Eduardo, por estarem sempre presentes.

À Deus, pela vida.

RESUMO

As mudanças das áreas de floresta em outras formas de uso da terra são responsáveis por parte da emissão global de CO₂, contribuindo para o desequilíbrio do teor de gases constituintes na atmosfera. O inventário e monitoramento da cobertura vegetal são considerados fontes primárias de informação em estudos de modelagem global, contribuindo também para estudos de alteração da biodiversidade. Assim, este trabalho tem como finalidade analisar a utilização de imagens TM/Landsat e JERS-1 para a estratificação da vegetação e quantificação de sua biomassa em áreas de contato floresta/savana na região centro-norte do Estado de Roraima. O trabalho de campo propiciou a caracterização e o inventário da vegetação em quatro classes de interesse - floresta primária, sucessão secundária, savana parque e savana graminosa. Técnicas de processamento digital (Modelo Linear de Mistura Espectral e Índice de Vegetação Ajustado para Influência do Solo) aplicadas à imagem TM foram empregadas, com o intuito de discriminar as diferentes fácies. Ambos os processamentos mostraram-se adequados para o delineamento das classes florestais, havendo dificuldade na discriminação das classes savânicas. Da imagem JERS-1 e das imagens TM originais e sintéticas, foram extraídos os valores digitais correspondentes às amostras inventariadas em campo. As informações extraídas dos dois sensores foram associadas isoladamente à biomassa através de modelos estatísticos. Os resultados indicaram a existência de correlação significativa entre biomassa e dados sensoriados, especialmente na análise das formações florestais, sendo a variável referente aos valores digitais da banda 4 do TM/Landsat que melhor se correlaciona com o parâmetro biofísico analisado. Nessas formações, dados de coeficiente de retroespalhamento do sensor JERS-1 também podem ser utilizados para análise de biomassa, havendo significativa correlação entre as variáveis. Nas áreas de savana, a baixa correlação indicou a dificuldade de explicar o comportamento da biomassa, através dos dados orbitais considerados. A utilização de regressão múltipla, com a inclusão de informações dos dois sensores, não representou melhoria no modelo na relação com a biomassa florestal e savânica.

ANALYSIS OF VEGETATION COVER AND BIOMASS IN THE FOREST/SAVANNA CONTACT ZONE BY TM/LANDSAT AND JERS-1 DATA

ABSTRACT

Changes of forest coverage to other land use forms are responsible for part of the global CO₂ emission, contributing to changes of the equilibrium of gases that constitute the atmosphere. The inventory and monitoring of vegetation cover are considered primary sources of information for global modeling studies, contributing also for studies of changes in biodiversity. In this frame, the objective of this study is to analyze the usefulness of TM/Landsat and JERS-1 images for the stratification of vegetation and quantification of its' biomass in contact zones forest/savanna in the central north part of Roraima State. The field survey allowed the characterization and the inventory of four vegetation classes of interest: primary forest, secondary succession, savanna parkland and grassland savanna. Digital processing techniques (Linear Spectral Mixture Model and Soil Adjuste Vegetation Index) were applied to the TM scene in order to discriminate the different facies. Both processing procedures were adequate for the delineation of forest classes, while the discrimination of savanna classes presented problems. From both JERS-1 and TM original and synthetic images the digital values, corresponding to the samples inventoried in the field, were extracted. Information obtained from both sensors were associated separately to biomass, using statistical models. The results showed a significant correlation among biomass and sensor data, specially for the analysis of forest formations. The variable referring to digital values of band 4 from TM/Landsat best correlates with the biophysical parameter analyzed. Data of forest backscatter from JERS-1 can also be used for the analysis of biomass, and there is a significant correlation among the variables. In the savanna areas, the low correlation indicates the difficulty to explain the behavior of biomass, using the orbital data analyzed. The use of multiple regression, with the inclusion of information from both sensors did not improve the model for the relation forest/savanna biomass.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE TABELAS	
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	19
CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1 - Aspectos relativos à vegetação.....	21
2.1.1 - Estimativa da biomassa.....	24
2.2 - Sensoriamento remoto em estudos de vegetação	26
2.2.1 - Sensor óptico	27
2.2.1.1 - Comportamento espectral da vegetação na faixa óptica	28
2.2.2 - Sensor microondas.....	30
2.2.3 - Análise multisensor.....	35
2.3 - Processamento digital de imagens	36
2.3.1 - Pré-processamento.....	36
2.3.1.1 - Correção geométrica	36
2.3.1.2 - Correção radiométrica	37
2.3.1.2.1 - Correção atmosférica.....	37
2.3.1.2.2 - Conversão dos números digitais em valores de reflectância	39
2.3.2 - Modelo linear de mistura espectral.....	41
2.3.3 - Índice de vegetação ajustado para influência do solo (SAVI)	44
2.3.4 - Segmentação.....	46
2.3.5 - Classificação.....	47
CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS	49
3.1 - Área de estudo	49
3.1.1 - Aspectos climáticos	50
3.1.2 - Aspectos fisiográficos.....	50
3.1.2.1 - Geologia	50
3.1.2.2 - Geomorfologia.....	51
3.1.2.3 - Pedologia	51
3.1.2.4 - Vegetação	51
3.2 - Produtos utilizados.....	52
3.2.1 - Imagens orbitais.....	52
3.2.2 - Material cartográfico.....	52
3.2.3 - Sistemas de processamento de imagens.....	52
3.2.4 - Equipamentos complementares	53
3.3 - Metodologia	53
3.3.1 - Processamento de imagens - Fase 1.....	54

3.3.1.1 - Pré-processamento dos dados TM.....	54
3.3.1.1.1 - Georeferenciamento.....	54
3.3.1.1.2 - Atenuação dos efeitos atmosféricos.....	54
3.3.1.1.3 - Conversão dos números digitais para reflectância.....	55
3.3.2 - Seleção das unidades amostrais.....	55
3.3.3 - Trabalho de verificação e coleta de dados em campo e cálculo da biomassa.....	55
3.3.4 - Processamento de imagens - Fase 2.....	56
3.3.4.1 - Imagem TM.....	56
3.3.4.1.1 - Geração das imagens proporção.....	57
3.3.4.1.2 - Geração da imagem SAVI.....	57
3.3.4.1.3 - Segmentação.....	58
3.3.4.1.4 - Classificação.....	58
3.3.4.1.5 - Obtenção dos valores na imagem TM e suas derivadas.....	58
3.3.4.2 - Imagem JERS-1.....	59
3.3.4.2.1 - Registro entre imagens.....	59
3.3.4.2.2 - Obtenção dos valores de retroespalhamento na imagem JERS-1.....	59
3.3.5 - Integração dos dados.....	59
3.3.5.1 - Procedimento estatístico.....	60
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	63
4.1 - Trabalho de campo.....	63
4.1.1 - Caracterização das unidades amostrais.....	64
4.1.1.1 - Savana graminosa.....	65
4.1.1.2 - Savana parque.....	66
4.1.1.3 - Floresta primária.....	68
4.1.1.4 - Floresta secundária.....	71
4.1.2 - Análise comparativa das unidades amostrais.....	73
4.2 - Processamento de imagens.....	75
4.2.1 - Modelo linear de mistura espectral.....	75
4.2.2 - Índice de vegetação ajustado para influência do solo (SAVI).....	79
4.2.3 - Segmentação.....	82
4.2.4 - Classificação supervisionada.....	83
4.2.5 - Análise dos coeficientes de retroespalhamento em imagem JERS-1.....	87
4.3 - Integração de dados.....	89
4.3.1 - Análise estatística dos modelos de regressão.....	89
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	99
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101

APÊNDICE A - Programação em Legal - conversão de DN para reflectância	117
APÊNDICE B - Programação em Legal - geração da imagem SAVI.....	119
APÊNDICE C - Composição florística, biomassa e densidade dos indivíduos inventariados em floresta primária	121
APÊNDICE D - Composição florística, biomassa e densidade dos indivíduos inventariados em sucessão secundária	127
APÊNDICE E – Matrizes de confusão referentes às classificações com as imagens PROPORÇÃO, SAVI + SOMBRA e TM (caso 2).....	129

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2.1 Curva de reflectância típica de uma folha verde sadia na faixa óptica do espectro eletromagnético.....	29
3.1 Área de estudo representada em uma composição colorida TM/Landsat (3B/4G/5R) e na imagem JERS-1.....	49
3.2 Fluxograma da metodologia adotada.....	53
4.1 Localização das amostras inventariadas em campo (pontos em vermelho), observada na banda 5 da imagem TM/Landsat.....	64
4.2 Aspecto típico da savana gramínea.....	65
4.3 Aspecto típico da savana parque.....	67
4.4 Bloco diagrama representativo da floresta primária.....	70
4.5 Bloco diagrama representativo de floresta secundária.....	72
4.6 Biomassa média das comunidades vegetais analisadas.....	74
4.7 Espaço de atributos espectrais dos componentes puros no modelo de mistura.....	75
4.8 Secção da área de estudo, correspondente ao trecho de contato floresta/savana, nas imagens proporção (a) vegetação, (b) solo e (c) sombra.....	76
4.9 Diagrama ternário representando a dispersão das proporções VEG, SOL e SOM, para os pontos amostrais inventariados, de acordo com a formação vegetal.....	78
4.10 Secção da área de estudo, correspondente ao trecho de contato floresta/savana, na imagem SAVI (L = 0.5).....	80
4.11 Distribuição dos valores digitais extraídos da imagem SAVI_0.5 de acordo com a formação.....	81
4.12 Mapa temático da cobertura vegetal.....	86

4.13 Intervalos de valores de retroespalhamento correspondentes às comunidades vegetais analisadas.....	88
4.14 Gráficos de dispersão relacionando biomassa com: (a) valores de reflectância na banda 4 do TM/Landsat e (b) retroespalhamento - σ^0 , em áreas de floresta.....	93
4.15 Gráficos de dispersão relacionando biomassa com: (a) valores de reflectância na banda 5 do TM/Landsat e (b) retroespalhamento - σ^0 , em áreas de savana.....	96

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
2.1 Valores de $L_{min\lambda}$ e $L_{max\lambda}$ utilizados na conversão dos números digitais brutos para radiância.....	40
2.2 Valores de $E_{Sol\lambda}$ utilizados na conversão de radiância para reflectância.	41
2.3 Coeficientes $kappa$	48
4.1 Áreas amostradas em campo.....	63
4.2 Biomassa das amostras inventariadas em savana gramínea.....	66
4.3 Biomassa das amostras inventariadas em savana parque.....	67
4.4 Biomassa estimada para as amostras inventariadas em floresta primária.	68
4.5 Biomassa estimada para as amostras inventariadas em áreas de floresta secundária.....	71
4.6 Resposta espectral dos componentes puros.....	75
4.7 Erro médio por banda e total.....	76
4.8 Desempenho da classificação MAXVER.....	89
4.9 Matriz de confusão.....	87
4.10 Coeficientes de correlação (áreas de floresta).....	90
4.11 Parâmetros do modelo de regressão aplicado às imagens TM/Landsat (banda 4) e JERS-1, em áreas de floresta.....	92
4.12 Coeficientes de correlação (áreas de savana).....	94
4.13 Parâmetros do modelo de regressão aplicado às imagens TM/Landsat (banda 3) e JERS-1, em áreas de savana.....	96

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

As florestas tropicais vêm sendo alvo de interesse mundial, impulsionado, principalmente, pelas especulações sobre a redução na extensão de florestas tropicais e sua implicação no ciclo de carbono global. Estudos das transformações da cobertura vegetal vêm sendo realizadas especialmente nas formações florestais da Amazônia brasileira, por constituírem um grande reservatório de carbono, contando com parte do total de biomassa das plantas terrestres (Rankin, 1979).

A conversão da floresta tropical em áreas destinadas à agricultura e pastagem, prática comum na região amazônica, resulta em um fluxo contínuo de carbono para a atmosfera (Skole e Tucker, 1993). Segundo Dale et al. (1993), estas mudanças no uso da terra têm representado entre 30 e 50 % da emissão global de CO₂, colaborando para a concretização do chamado ‘efeito estufa’.

De acordo com dados divulgados pela Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM) (AMBTEC, 1994), as áreas mais alteradas da região amazônica, precedidas apenas pelas áreas de floresta densa, incluem as savanas e campos, fato explicado pelas características positivas dessas formações, incluindo potencial hídrico com rios perenes, lagos e igarapés, além do manejo facilitado pela vegetação de pequeno porte, poucas elevações e raras depressões.

Apesar do grande enfoque dado pela mídia e da aparente preocupação do governo brasileiro - e de outros países - devido, principalmente, ao efeito do desflorestamento e regeneração da biomassa nas reservas de carbono global (Saatchi et al., 1997), são restritos os levantamentos e pesquisas realizados nessa região. A extensa área, 5.033.072 km², e a diversidade de regiões fitoecológicas contribuem para a escassa base de dados sobre a Amazônia.

Para a compreensão e a avaliação do papel das florestas tropicais em relação ao clima global e a biodiversidade, mapas comparáveis de vegetação são considerados fontes

primárias de informação, inclusive visando a detecção de mudanças e redução da taxa de desflorestamento (Freeman e Fox, 1999). Devido à grande extensão e localização remota da região amazônica, esses estudos têm tido como suporte o emprego de técnicas de sensoriamento remoto utilizando imagens de sensores ópticos. Essas informações têm sido atualmente complementadas por dados de sensores de microondas, permitindo um imageamento independente da ocorrência de nuvens. Adicionalmente, sistemas sensores na faixa de microondas fornecem informações sobre as propriedades estruturais dos alvos (Chipman, 1997).

De acordo com Le Toan et al. (1999), dados de radar representam um importante papel entre as técnicas de sensoriamento remoto para observação de florestas, especificamente para o monitoramento de mudanças do ambiente florestal, mudanças naturais e antropogênicas e em medidas de parâmetros florestais, como biomassa e altura.

Dentro desse contexto, o objetivo do presente trabalho é avaliar o uso de sensores ópticos e microondas, aliado às técnicas de processamento digital de imagens TM/Landsat, para estudos de caracterização da vegetação e de sua biomassa em áreas de contato floresta/savana na região amazônica. A partir deste, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- a) analisar os aspectos fisionômicos-estruturais das formações florestal e savânica, a partir de dados inventariados em campo;
- b) gerar imagens sintéticas com a aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) e do índice de vegetação ajustado para influência do solo (SAVI), a partir da imagem TM/Landsat, para a discriminação das diferentes fácies florestais e savânicas;
- c) verificar a relação existente entre a biomassa dessas diferentes formações com os dados digitais da imagem TM/Landsat, original e processada pelo MLME e pelo SAVI, e com valores obtidos da imagem JERS-1;
- d) gerar um mapa temático a partir de dados TM/Landsat, com a caracterização dos tipos fisionômicos de cobertura vegetal.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Visando embasar a metodologia adotada e a discussão dos resultados, serão apresentados de forma sintetizada os temas gerais abordados no decorrer do projeto.

2.1 ASPECTOS RELATIVOS À VEGETAÇÃO

De acordo com Whittaker (1980), as comunidades de plantas são um fenômeno complexo, havendo diferentes possibilidades de classificação, de acordo com o critério analisado.

Walter (1986) propõe uma classificação de vegetação em função do clima, onde toda a Terra seria subdividida em grandes zonas climáticas, os zonobiomas, que interfeririam na constituição do solo e vegetação. De acordo com este autor, um aspecto que caracteriza o zonobioma do tipo II, o qual inclui trecho da região amazônica, é a falta de vegetação florestal em grandes áreas, sendo ela substituída por vegetação do tipo savana. Estas savanas teriam origem edáfica, ou seja, seriam decorrentes de condições do solo e não diretamente de fatores climáticos.

Estudos mais recentes sobre os paleoclimas da Amazônia vêm apontando as grandes mudanças sofridas pelo clima na Terra durante o Pleistoceno e, especialmente, nos últimos 18 mil anos, como responsáveis pela alteração da vegetação (Rancy, 1993). Na transição do Cenozóico para o Pleistoceno, a temperatura pode ter baixado de 4° a 5° C, o clima tornado-se mais seco, com as áreas de savana tendo penetrado nas áreas ocupadas por florestas úmidas.

Segundo Moran (1990), assim como a floresta pluvial refugiou-se em pequenas áreas durante o Pleistoceno, é possível considerar as savanas atuais da Amazônia como áreas recentes de refúgio da extensa savana daquele período, ocorrendo em forma de manchas por toda a bacia; tais mudanças teriam tido uma influência significativa na evolução biológica das espécies amazônicas.

A origem, idade e natureza das savanas neotropicais, bem como os fatores ambientais que determinam as condições dos ecossistemas savânicos, são controversos e bastante debatidos. De acordo com Sarmiento (1984), muitas interpretações alternativas são propostas, incluindo a visão extrema de que esses sistemas tenham uma origem recente devido à atividade humana.

Walter (1986) define as savanas como sistemas ecológicos formados por pradarias tropicais, nas quais algumas espécies lenhosas isoladas vivem em competição com gramíneas e outras herbáceas.

Sarmiento (1984) cita diversas descrições para a formação savânica, considerando-a como um tipo de ecossistema dos trópicos quentes (terras baixas), dominado por uma cobertura herbácea consistindo principalmente de gramíneas, podendo incluir espécies lenhosas (arbustos, árvores e palmeiras), mas nunca formando uma cobertura contínua semelhante a que as gramíneas formam.

De acordo com Sarmiento (1984), fitogeógrafos chamam a formação savânica de formação de cerrado. Vários autores discutem a nomenclatura dos tipos fisionômicos que ocorrem na região dos cerrados brasileiros, que incluem o campo limpo, o campo cerrado e o cerrado (*strictu sensu*) (Ribeiro et al., 1982)

Kuhlmann e Correia (1982) discorrem sobre a dificuldade de um critério de classificação na denominação em âmbito universal dos tipos e sub-tipos de cerrado. De acordo com esses autores, muitos estudos consideram o cerrado como uma savana, enquadrando suas diferentes classes em savana arbórea densa, savana arbórea aberta, savana parque, savana gramíneo lenhosa, savana estépica arbórea aberta, savana estépica arbórea densa, parque estépico, savana estépica parque.

A fisionomia savânica é caracterizada por baixa biomassa, sendo que nessa formação os ciclos são mais pronunciadas e uma substancial parte da biomassa é renovada todo ano (Sarmiento, 1984). Pires (1982) define o conceito de formação florestal e não florestal em função da biomassa, ou seja, em termos de como se processa a evolução vegetacional, sendo a fisionomia florestal caracterizada por biomassa elevada.

As árvores da comunidade de floresta úmida são extremamente numerosas em espécies, sendo os indivíduos notadamente uniformes em aparência e fisionomia, caracterizados, via de regra, por um fuste e estrutura de copa mais regular, sem significativo desgalhamento (Richards, 1952).

Estruturalmente há uma grande variedade na altura das árvores, sendo a floresta úmida comumente formada por várias camadas (estratos). A vegetação rasteira consiste de arbustos, plantas herbáceas e um vasto número de mudas e árvores novas. Além dessas, a floresta é composta por plantas trepadeiras de várias formas e tamanhos e de epífitas crescendo nos troncos, galhos das árvores. A maioria das trepadeiras é lenhosa (liana), tendo caules de largos a finos (Richards, 1952).

Nas áreas de florestas tropicais úmidas, grandes áreas têm sido destruídas e substituídas por culturas ou comunidades secundárias, variando de herbáceas a densas florestas não muito diferentes da vegetação primária original (Richards, 1952).

Muitos nomes são usados para denominar as comunidades secundárias, como sucessão secundária, floresta secundária e, no caso do Brasil, capoeira (Richards, 1952).

O termo sucessão refere-se à substituição da biota de uma área por outra de natureza diferente, sendo o desenvolvimento da biota iniciado em lugares desocupados e prosseguindo na ausência de distúrbios catastróficos, denominada de sucessão primária. Sucessão que é subsequente aos distúrbios que causam a destruição da comunidade biótica existente é denominada secundária (Spurr e Barnes, 1980).

Brown e Lugo (1990) definem as florestas secundárias como aquelas formadas em consequência de impactos humanos em florestas naturais, não incluindo as resultantes de distúrbios naturais, como escorregamentos, fogo natural e furacões, dando ênfase às resultantes do abandono de clareiras formadas geralmente para a prática agrícola.

Nas formações secundárias as árvores têm como características a exigência de muita luz e a intolerância à sombra, crescendo bem em áreas abertas e clareiras em florestas, formadas predominantemente por árvores de vida curta, rápido crescimento e

mecanismo de dispersão por vento ou animais, sendo com o tempo eliminadas por espécies tolerantes à sombra de floresta primária e de estádios avançados de sucessão secundária (Richards, 1952).

Estruturalmente as características típicas de floresta secundária incluem baixa densidade de árvores com diâmetros maiores que 10 cm, árvores baixas com diâmetros pequenos, baixo volume de madeira e índice de área foliar alto (Brown e Lugo, 1990). A baixa altura máxima e o tamanho dos diâmetros das árvores dessa formação não são relacionadas à sua taxa de crescimento, mas conseqüências do seu curto período de vida (Richards, 1952).

As árvores nas florestas secundárias jovens tendem a ter idade uniforme e são, muitas vezes, dominadas por uma única espécie, tornando-se com o tempo mais mistas em estrutura, idade e composição florística, até se aproximar das condições de floresta madura (Richards, 1952). Em toda parte de floresta tropical úmida, a tendência da sucessão secundária é direcionada à restauração do clímax, sendo este o último estágio sucessional (Spurr e Barnes, 1980) e o ponto em que se inicia a fase de estabilidade da biomassa (Pires, 1982). O curso subsequente do evento dependerá do tamanho das áreas abertas, da distância das áreas preservadas próximas, das condições climáticas locais, da topografia, do tipo de solo e do grau de destruição do húmus, erosão e empobrecimento do solo (Richards, 1952).

2.1.1 ESTIMATIVA DA BIOMASSA

Uma forma prática para expressar as diferenças entre tipos de vegetação é correlacionar essas diferenças com índices de biomassa (Pires e Prance, 1985). A biomassa da vegetação, definida como sendo o peso seco de material vivo por unidade de área, é estimada basicamente de duas formas: direta e indiretamente.

O método direto consiste no corte do material vegetal dentro da unidade amostral, secagem do material verde, pesagem e extrapolação da avaliação amostrada para a área total de interesse (Matteucci e Colma, 1982; Santos, 1988), tendo a desvantagem de ser um método destrutivo. Embora a complexidade operacional e de tempo, esta

metodologia vem sendo empregada para estimativa de biomassa aérea de formações savânicas (Pereira e Batista, 1985; Xaud H., 1998).

A estimativa de biomassa aérea através do modo indireto consiste em correlacioná-la com alguma variável de fácil medição e que não requeira a destruição do material vegetal. De acordo com Brown et al. (1989), a massa é estimada utilizando-se de equações matemáticas que descrevem a relação entre peso fresco e outras variáveis independentes da árvore, como DAP (diâmetro do caule a 1,3 m de altura do solo) e altura total.

As equações alométricas mais comumente utilizadas para a estimativa de biomassa são as propostas por Brown et al. (1989), para floresta tropical primária, e por Uhl et al. (1988), para o caso de floresta secundária, sendo função do DAP e da altura total do indivíduo:

$$y = 0,44 * (DAP^2 * H)^{0,9719} \dots\dots\dots floresta primária \quad (2.1)$$

$$\ln y = - 2,17 + 1,02 \ln (DAP)^2 + 0,39 \ln H \dots\dots\dots floresta secundária \quad (2.2)$$

em ambos os casos,

y = biomassa aérea do peso seco (Kg/árvore);

DAP = diâmetro do caule a 1,3 m de altura do solo (cm);

H = altura total do indivíduo (m).

Algumas equações específicas são propostas para determinadas espécies, como no caso da *Maximiliana regia* (inajá) (Santos, 1998):

$$y = 1,0965^{(0,111 * DAP)} \quad (2.3)$$

onde,

DAP = diâmetro do caule a 1,3 m de altura do solo (cm).

A estimativa, de forma indireta, da biomassa de floresta em pé requer a execução de inventário florestal, consistindo da aquisição de variáveis dendrométricas e estruturais para caracterizá-la. Técnicas de amostragem incluem a divisão do ecossistema em componentes (árvores, arbustos, ervas) que podem ser considerados separadamente (Newbould, 1967).

Dentro de cada categoria principal, mais divisões podem incluir outras camadas, grupos de espécies ou espécies, e classes de idade, sendo o tamanho da área amostral dependente principalmente do sítio disponível e da complexidade estrutural da área (Newbould, 1967). A intensidade da amostragem de qualquer componente deve variar de acordo com a importância do ecossistema como um todo, a variabilidade inerente e a dificuldade e custo da amostragem (Newbould, 1967). O tamanho ideal da unidade de amostra é aquele que representa com boa precisão o total da área inventariada (IBGE, 1992). Higuchi et al. (1982) apresentaram a parcela de 37,5 x 150 m como a mais adequada para a região amazônica.

A interpretação de imagens de satélite, com o intuito de otimizar o trabalho de campo, é uma das principais etapas do inventário florestal (IBGE, 1992). A estratificação e o delineamento da área, a partir de imagem de satélite, podem ser utilizados para diminuir a variância das amostras (Lepoutre, 1986), permitindo a redução do tamanho e do número dessas amostras e, conseqüentemente, do custo.

2.2 SENSORIAMENTO REMOTO EM ESTUDOS DE VEGETAÇÃO

Várias hipóteses sobre a relação de desflorestamento e, conseqüentemente, da biomassa perdida, e mudanças do uso da terra, decorrentes de ações antrópicas, com as mudanças climáticas globais, vêm sendo formuladas em diversos trabalhos (Salati e Vose, 1984; Crutzen e Andreae, 1990; Shukla et al., 1990). Porém, até hoje não há um método definido para um mapeamento consistente da vegetação global, embora haja a necessidade de um mapa mostrando a distribuição da vegetação na Terra, em larga escala, inclusive para modelos de mudança climática (Kellndorfer et al., 1999).

Considerando principalmente a extensão desses estudos, o mapeamento e o monitoramento da cobertura de florestas tropicais em escala global podem somente ser realizados com imagens de sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica (GIS) (Freeman e Fox, 1999), como o estudo no trópicos úmidos realizado por Achard et al. (1998), resultando em mapas dos pontos críticos de desflorestamentos, contendo ainda informações sobre os indicadores de suas causas e efeitos.

Para Kronka (1998), em estudo para conservação dos cerrados do estado de São Paulo, é fundamental a elaboração de base cartográfica digital georeferenciada que permita avaliações envolvendo aspectos ambientais, sejam físicos, espaciais, bióticos ou antrópicos.

Numerosos estudos têm demonstrados que as abordagens utilizando dados de sensores remotos ópticos não foram eficazes para a maior parte da biomassa florestal, havendo um efeito de saturação em níveis muito baixos dessa variável (NASA, 1998d). Atualmente, o sensoriamento remoto por radar aparece como uma proposta bastante promissora para obtenção de estimativas de biomassa via técnicas de sensoriamento remoto (NASA, 1998d).

2.2.1 SENSOR ÓPTICO

Apesar da entrada em operação de novos sensores, as imagens do sensor óptico TM/Landsat continuam sendo, atualmente, a base de grande parte dos trabalhos em áreas florestadas. Essas imagens cobrem um período de 20 anos que permitem uma análise das mudanças na cobertura de florestas tropicais (Freeman e Fox, 1999), como o PRODES, projeto executado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, que acompanha a evolução do desflorestamento bruto da Amazônia desde 1973 até o presente, utilizando imagens TM/Landsat (INPE, 1999). Trabalhos como de Skole e Tucker (1993) exploram a relação da taxa de desflorestamento na região amazônica através de dados temporais desse sensor e sua interferência nas mudanças climáticas.

O Landsat-5, lançado em 1984, é o quinto de uma série de satélites para monitoramento e observação da Terra e, apesar de já ter excedido seu tempo de vida útil em 6 anos

(Sheffner,1999), continua ativo e fornecendo dados. O Landsat-7, seu sucessor, foi lançado em abril de 1999 (NASA, 1998a).

A plataforma do Landsat-5 opera a uma altitude de 705 Km, em órbita quase-polar, sol-síncrona, imageando uma faixa de 185 Km com repetição a cada 16 dias (NASA, 1998b). Atualmente, o único sensor ativo a bordo é o *Thematic Mapper* (TM), com seis bandas ópticas (azul, verde, vermelho, infravermelho próximo e duas no infravermelho médio; 0,45-2,35 μm), de resolução espacial de 30 metros, e uma outra banda no infravermelho termal 10,4-12,5 μm , com 120 metros de resolução (NASA, 1998b).

O modo como um alvo é visto pelo sensor depende fundamentalmente de sua interação com a radiação, sendo esta dependente do comprimento de onda analisado. A eficácia da utilização de dados de sensoriamento remoto para análise da vegetação depende da capacidade de relacionar as medidas de reflectância às propriedades desse alvo (Goel, 1988), sendo necessário o conhecimento de seu comportamento espectral, bem como os fatores que o influenciam, inclusive para a seleção das bandas de interesse.

2.2.1.1 COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO NA FAIXA ÓPTICA

O termo comportamento espectral relaciona-se com as propriedades de reflectância da radiação eletromagnética do alvo, no caso, da vegetação.

As folhas são os elementos da vegetação que mais contribuem para o sinal detectado por sensores ópticos (Colwell, 1974), sendo que as propriedades espectrais de uma única folha estão em função de sua composição química, morfologia e estrutura interna.

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

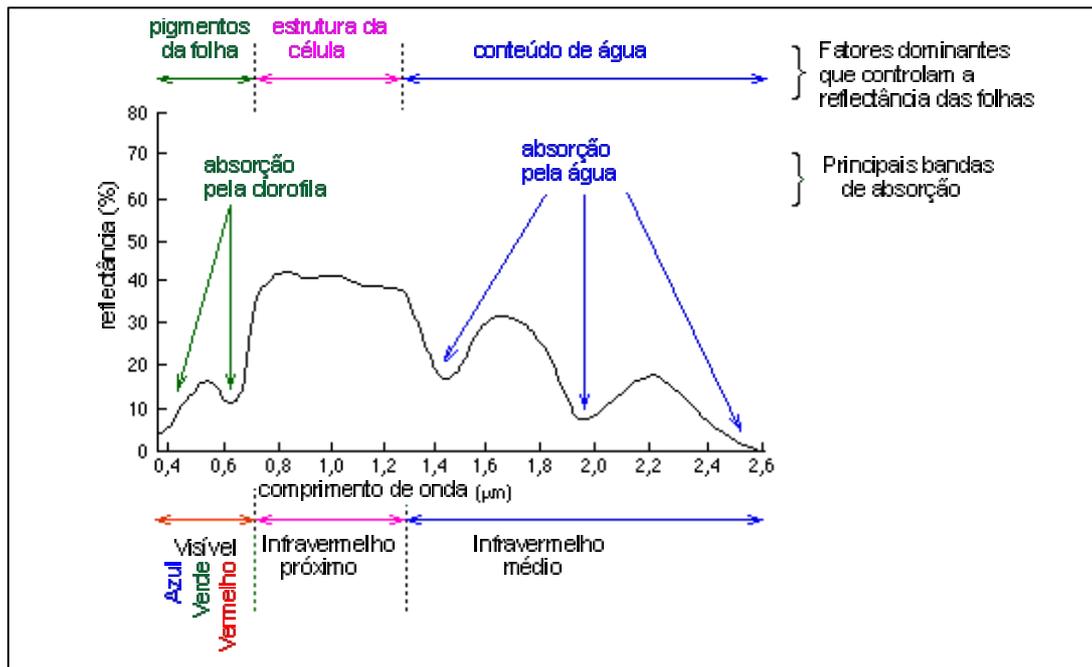


Fig. 2.1 - Curva de reflectância típica de uma folha verde sadia na faixa óptica do espectro eletromagnético.

FONTE: adaptada de Leblon (1999).

- Região do visível (0,4 – 0,7 μm)

Nessa região, a maior parte da radiação incidente é absorvida, sendo o mecanismo dominado pela presença de pigmentos na folha, principalmente pelas clorofilas a e b, carotenos e xantofilas (Gausman, 1985). Devido à clorofila, a curva apresenta 2 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).

- Região do infravermelho próximo (0,7 – 1,3 μm)

A região do infravermelho próximo é caracterizada pela alta reflectância e pela baixa absorção decorrente de um espalhamento interno devido a estrutura interna da folha, mais especificamente do arranjo do mesófilo (Gausman, 1985).

- Região do infravermelho médio (1,3 – 3,0 μm)

O comportamento nessa região é influenciado também pela estrutura da folha, mas grande parte é afetada pela concentração de água nos tecidos, 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 (Gausman, 1985).

No que se refere ao dossel, o arranjo das folhas influencia a interação da radiação eletromagnética com as plantas. Em particular, a fotossíntese e a produção são determinadas pela distribuição de luz dentro do dossel e, portanto, pelo azimute, inclinação e distribuição espacial das folhas (Goel e Strebel, 1984).

De acordo com Goel (1988), são muitos os fatores que determinam a reflectância do dossel: fluxo solar incidente, propriedades espectrais dos elementos da vegetação (folhas, galhos, troncos), arquitetura do dossel e espalhamento pelo solo.

A resposta espectral da cobertura vegetal que chega a um sensor é resultante de uma complexa interação, com elevada dependência das características espectrais do solo de fundo (Huete, 1988), principalmente em dosséis parcialmente abertos, onde a radiação pode atingir diretamente o solo. As propriedades ópticas do solo são função de sua composição mineral, umidade, conteúdo de matéria orgânica e a superfície de rugosidade.

2.2.2 SENSOR MICROONDAS

O estudo de imagens na faixa de microondas, ou imagens de radar, particularmente do tipo *Synthetic Aperture Radar* (SAR), tem ganho destaque nas últimas décadas, devido à sua capacidade de imageamento independente de fatores ambientais atmosféricos, principalmente em relação a presença de nuvens.

O radar é um sistema sensor ativo, ou seja, possui sua própria fonte de energia, emitindo e recebendo radiação eletromagnética na faixa das microondas, podendo operar à noite, o que não ocorre com sensores passivos. Os sensores ativos, por operarem na faixa

espectral das microondas, fornecem características dielétricas e texturais do alvo (Frery e Sant'Anna, 1993).

Os radares de abertura sintética (SAR) são usados no sentido de melhorar a resolução azimutal, aproveitando o próprio deslocamento da plataforma, através da gravação e combinação dos sinais refletidos, para simular uma antena cujo comprimento seria muitas vezes maior que o da antena realmente utilizada (Ulaby e Dobson, 1989).

A análise de imagens obtidas por SAR apresentam maiores dificuldades do que aquelas obtidas por sensores ópticos, devido à presença do ruído *speckle*, o qual dá uma aparência granular às imagens, inibindo, em certas aplicações, a habilidade do intérprete humano de extrair informações úteis (Sant'Anna, 1995). No sensoriamento remoto com microondas, a distinção entre diferentes objetos sensorizados é primordialmente causada pela diferença de potência do sinal recebido pelo radar (Ulaby et al., 1982). Além do que, com o aumento da rugosidade na superfície, há um aumento na magnitude do sinal registrado pela antena, sendo a imagem de radar uma medida da componente retroespalhada do sinal.

A intensidade da energia retroespalhada está relacionada ao parâmetro conhecido como seção transversal de retroespalhamento - σ , que representa a razão entre a energia recebida pelo sensor e a energia que o sensor receberia se a superfície tivesse comportamento isotrópico (Elachi, 1987). Segundo Mura (1990), a idéia básica do processamento SAR é recuperar o valor σ do alvo.

A proporção da energia retroespalhada recebida pelo sensor de um espalhamento isotópico (espalhamento uniforme das ondas em todas as direções), é representado pelo valor σ^0 (NASA, 1998c), sendo este função dos parâmetros do sensor, incluindo o comprimento de onda ou frequência, o ângulo de incidência e as configurações de polarização da antena, e do alvo imageado, referentes às propriedades dielétricas e suas características geométricas. O σ^0 pode ser expresso através dos níveis digitais nas imagens de radar ou, mais usualmente, em decibéis (dB), sendo este descrito como $[10 \log (\text{potência})]$, onde potência é o valor na imagem processada (NASA, 1998c).

Em Rosenqvist (1997), o retroespalhamento para imagens JERS-1 transformado em dB é dado pela equação:

$$\sigma^{\circ} = 10 \log_{10} \{(\sum DN^2) / n\} + CF \quad (2.4)$$

onde,

DN = número digital do pixel de uma imagem 16 bits;

n = número de pixels da área amostrada;

CF = fator de calibração, sendo dependente do sensor e da data da imagem, no caso, -68,5 dB.

Os valores σ° geralmente variam de -18 dB, referente aos dados de ruído, a valores maiores que 1. O σ° pode ser maior que 0 dB se as ondas forem preferencialmente refletidas de volta para o radar, no caso de uma montanha com a face voltada em direção ao sensor, por exemplo, gerando uma reflexão especular (NASA, 1998c).

De acordo com NASA (1998d), alguns estudos têm mostrado que a sensibilidade do retroespalhamento para variações de biomassa satura depois que um certo nível é alcançado, e que essa dependência varia em função do comprimento de onda e da polarização do sensor. As bandas de radar mais utilizadas atualmente incluem: K ~ 1 cm, X ~3 cm, C ~ 5,6 cm, S ~ 10 cm, L ~23 cm e P ~ 75 cm, transmitindo a energia com polarização horizontal ou vertical, podendo receber de modo diferente, resultando em quatro polarizações: HH, HV, VH e VV.

Uma vantagem adicional das microondas é sua capacidade de penetração em determinada superfície ou alvo, sendo que essa penetração depende essencialmente da permitividade complexa do meio em questão (Palme, 1986). Em relação à vegetação, a profundidade de penetração da onda de radar nesse alvo depende de vários fatores, incluindo a geometria dos constituintes do dossel, a umidade destes e a densidade do dossel (Ulaby et al., 1982), assim como do comprimento de onda, sendo que quanto maior este, maior a penetração no alvo.

Em áreas inundadas, o comprimento de onda da banda L é capaz de penetrar no dossel florestal, permitindo a superfície da água e tronco da árvore agir como um *corner reflector* (refletor de canto), resultando em um sinal de retorno realçado (Beall e Lewis, 1998).

Segundo Le Toan et al. (1992), dados SAR podem ser usados para discriminar diferentes formações florestais, sendo a intensidade na imagem SAR, banda L, proporcional à biomassa de florestas.

A sensibilidade do SAR de comprimentos de onda apropriados para densidade de biomassa florestal torna possível estimar a extensão espacial e o estágio de regeneração de tais florestas e, portanto, quantificar a influência dessa regeneração florestal no ciclo de carbono (Luckman et al., 1997).

De acordo com Paolo et al. (1999), as melhores performances para estimativa de biomassa arbórea têm sido encontradas com baixas frequências (banda L e P) e polarização cruzada (HV). Em suma, o ponto de saturação é mais alto para comprimentos de onda longos, sendo a polarização HV mais sensível e a VV menos, para análise da biomassa (NASA, 1998d).

O *Japanese Earth Satellite-1* (JERS-1), lançado em fevereiro de 1992, foi o primeiro satélite de sensoriamento remoto com capacidade multisensorial, aliando sensores na faixa óptica (três bandas no visível e infravermelho próximo e quatro no infravermelho médio, sendo uma para observação estereoscópica), com sensor radar de abertura sintética (SAR), na banda L (NASDA, 1998). As imagens ópticas possuem resolução espacial da ordem de 18 metros, enquanto a imagem SAR, de polarização horizontal (HH) e ângulo de incidência em torno de 33°, é adquirida com *pixel* nominal de 12,5 metros (Buiten, 1993).

De órbita baixa, 568 km, e com capacidade de repetição a cada 44 dias, dados JERS-1 têm sido utilizados para mapeamento temático (identificação da paisagem florestal e agrícola, desmatamentos e queimadas) e mapeamento das formas de relevo. De acordo com Santos (1996), pesquisas com dados JERS-1 têm sido realizadas para distinção das

áreas de várzea e de terra firme, bem como para mapeamento de áreas de floresta primária e de sucessão secundária, com vistas a relacionar valores de biomassa coletados em campo, com os extraídos da imagem desse sensor. Muitos estudos têm correlacionado valores de retroespalhamento de radar e parâmetros florestais (idade, altura, área basal e biomassa), como os realizados por Imhoff (1995a, 1995b) inclusive com dados JERS-1.

De acordo com Rosenqvist (1999), para árvores decíduas, a altura média do dossel é o parâmetro dendrométrico que melhor se correlaciona com a resposta na banda L do sensor JERS-1.

Os resultados obtidos por Paolo et al. (1999), em regiões cultivadas, mostram que as medidas com a banda L do sensor JERS-1 são capazes de detectar o crescimento da vegetação. No caso da biomassa florestal, o retroespalhamento na banda L também mostrou-se sensível, embora o sinal tendesse à saturação completa com o aumento do volume de madeira.

Esses estudos têm como limitação principal o ponto de saturação existente para níveis altos de biomassa, a partir do qual os dados de σ^0 não forneceriam informações significativas de variação da biomassa. Luckman et al. (1997) realizaram um estudo para quantificar a relação entre o retroespalhamento de dados de radar, inclusive do JERS-1, e a densidade de biomassa de florestas tropicais na região de Tapajós-PA, concluindo que a banda L pode ser usada para obtenção de informações sobre a densidade de biomassa até um limite de 60 ton/ha, onde ocorre a saturação do sinal.

Santos et al. (1998b) encontrou valor de saturação próximo de 100 ton/ha, enquanto Imhoff (1995b) considera 40 ton/ha. De acordo com Imhoff (1995b), esses níveis de saturação são relativamente baixos, quando comparados à biomassa de grande parte da vegetação global. Em aplicações focadas em florestas com valores de biomassa acima do limite de saturação, o σ^0 pode ser usado para identificar tipos distintos de vegetação, baseados nas diferenças da estrutura do dossel (Imhoff, 1995a).

Para Hernandez Filho et al. (1997), a média do retroespalhamento do JERS-1 mostrou-se um bom indicador na separabilidade das classes de uso da terra, o mesmo não ocorrendo para os tipos de floresta, sendo estas separadas apenas com o uso conjunto de outro parâmetro.

2.2.3 ANÁLISE MULTISENSOR

A integração de dados de radar de distintas polarizações e ângulos de incidência e, ainda, a fusão com dados dos sensores ópticos, podem propiciar uma melhor capacidade discriminatória quando se trata de inventariar e monitorar os recursos ambientais - vegetação, solo, água (Santos, 1996).

Chantanaroj et al. (1998) recomendaram o uso de dados SAR junto com outros sensores passivos para a identificação dos tipos de uso da terra.

Yanasse et al. (1995), em estudo de mapeamento de regeneração no Pará, utilizaram dados de radar juntamente com dados ópticos, resultando na caracterização de cinco classes de regeneração, além da floresta primária. Os dados JERS-1 mostraram-se sensíveis às etapas de regeneração e estruturas internas da vegetação.

Ii et al. (1996) utilizaram imagens ópticas em conjunto com imagens de radar para o mapeamento da regeneração de floresta secundária na região de Tapajós, Pará. As imagens TM contribuíram para o mapeamento da evolução de floresta secundária tropical, enquanto resultados preliminares indicaram que faixas de idade de regeneração pode ser obtida através da análise de imagens JERS-1.

Para áreas desmatadas no estado de Rondônia, próximo a Porto Velho, Rignot et al. (1997) demonstraram, a partir de uma análise sazonal (época seca e chuvosa), que dados TM identificaram melhor essas áreas, enquanto dados JERS-1 subestimaram os desmatamentos.

Xaud M. (1998), em análise estatística, não obteve melhora significativa na explicação dos dados de biomassa a partir de informações conjuntas dos sensores TM e JERS-1 em relação à regressão simples com TM.

2.3 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

Por processamento digital de imagens entende-se a manipulação de uma imagem via computador, de modo que a entrada e a saída do processo sejam imagens, com o objetivo de melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais, proporcionando maior facilidade na extração de informações (INPE/DPI, 1998a).

2.3.1 PRÉ-PROCESSAMENTO

O pré-processamento refere-se ao processamento inicial de dados brutos, visando a eliminação de alterações detectadas na imagem, incluindo a atenuação de distorções geométricas e radiométricas.

2.3.1.1 CORREÇÃO GEOMÉTRICA

O conceito de correção geométrica inclui qualquer alteração na posição que os *pixels* ocupam na imagem (Chuvieco, 1990). De acordo com Richards (1993), o georeferenciamento é a técnica mais usada para corrigir tipos de distorções geométricas presentes nas imagens digitais, baseando-se em relações matemáticas entre a localização dos pontos na imagem e as coordenadas correspondentes desses pontos no terreno, via mapa.

A adequação da correção é função da aquisição desses pontos comuns à imagem e mapa, denominados pontos de controle, considerando o número e a distribuição desses, utilizando-se geralmente cruzamentos de estradas e encontros de rios.

A relação entre o ponto na imagem e mapa é definido geralmente por um polinômio simples, sendo necessário, no mínimo, 3 pontos para a função de ajuste de 1^o grau, 6 para a de 2^o grau e 10 para a de 3^o grau.

Segundo Chuvieco (1990), o *pixel* da nova imagem se situa entre vários da imagem original, sendo os novos valores de brilho dos *pixels* reamostrados pelas técnicas:

- Vizinho mais próximo: situa na imagem corrigida o valor do número digital (DN) do *pixel* mais próximo na imagem original, acarretando menor alteração dos DN originais;
- Interpolação bilinear: valor do novo *pixel* a partir da média de DN dos 4 *pixels* mais próximos na imagem original;
- Convolução cúbica: considera os DN dos 16 *pixels* mais próximos.

2.3.1.2 CORREÇÃO RADIOMÉTRICA

Correção radiométrica designa aquelas técnicas que modificam os DN originais com o objetivo de caracterizar as imagens no caso de uma recepção ideal, englobando as distorções provocadas pela atmosfera e a conversão de DN da imagem a parâmetros físicos - radiância e reflectância (Chuvieco, 1990).

2.3.1.2.1 CORREÇÃO ATMOSFÉRICA

A radiância refletida e recebida pelo sensor é determinada principalmente pelas propriedades de reflectância e absorção dos componentes da superfície e pelo comportamento dos componentes da atmosfera (Huete, 1996).

A atmosfera influi na radiância refletida pela superfície e registrada pelo sensor, comportando-se como um filtro seletivo a distintas longitudes de onda, de tal forma que em algumas bandas do espectro elimina praticamente qualquer possibilidade de observação (Chuvieco, 1990), afetando as imagens por espalhamento, absorção e refração da luz, sendo a influência do primeiro dominante (Chavez, 1988).

O espalhamento da radiação eletromagnética é causado pela interação desta com gases e partículas atmosféricas em suspensão, afetando principalmente os comprimentos de onda mais curtos, no caso da dispersão *Rayleigh*, de maior influência em sensoriamento remoto (Chuvieco, 1990). A resposta de um alvo imageado detectada pelo sensor teria um efeito aditivo resultante dessa interação.

Diversos métodos podem ser usados para extrair esse valor adicional de DN da imagem digital, entre eles o método proposto por Chavez (1988), baseado em um modelo

atmosférico de espalhamento relativo, sendo este função do comprimento de onda da banda analisada e das condições da atmosfera no momento da aquisição da imagem. De acordo com Bentz (1990), com a dificuldade de se caracterizar a atmosfera, o pesquisador tem que supor e estimar muitos parâmetros, o que introduz incertezas nos resultados, sugerindo a utilização de métodos mais simples que utilizem somente informações intrínsecas às imagens.

Segundo Crósta (1992), a mais simples e rápida técnica para minimizar os efeitos da atmosfera é a subtração de *pixels* escuros, pois requer somente informações contidas nos dados da imagem digital (Chavez, 1988). Esse tipo de correção envolve a subtração de um valor constante de DN da imagem inteira, supondo também um valor constante de neblina por toda a imagem (Chavez, 1988).

Esse método parte da premissa de que há na imagem alguns poucos *pixels* pretos, decorrentes da ocorrência de sombras da topografia ou de nuvens, supondo que estes deveriam ter valor de DN igual a zero (Chavez, 1988), ou seja, de reflectância nula. Devido ao espalhamento atmosférico, os valores radiométricos encontrados nesses *pixels* são iguais à contribuição dos componentes aditivos da atmosfera (Chen et al., 1995), sendo esses os valores a serem subtraídos de cada imagem para atenuação do efeito atmosférico.

Chen et al. (1995) testaram três métodos de correção atmosférica, incluídos os do histograma mínimo e subtração de *pixels* escuros, concluindo que para o caso de estudos em floresta tropical amazônica não há um método adequado.

Chuvienco (1990) cita as dificuldades e imprecisões da correção, incluindo a variação da dispersão atmosférica em uma imagem, ressaltando, porém, a necessidade de se realizar a estimação desses efeitos, principalmente quando se objetiva estabelecer relações do DN com parâmetros físicos. Bentz (1990) demonstrou a necessidade de correção atmosférica para melhorar os resultados obtidos com a transformação de DN para reflectância. De acordo com Chavez (1988), com o método da subtração de *pixel* escuro realiza-se uma correção considerada satisfatória, sendo mais adequada que correção nenhuma.

2.3.1.2.2 CONVERSÃO DOS NÚMEROS DIGITAIS EM VALORES DE REFLECTÂNCIA

A imagem é composta por *pixels* representados por números digitais, sendo estes diretamente proporcionais à reflectância dos alvos. Diversos são os trabalhos que relacionam o próprio número digital às características da vegetação, como os citados por Epiphanyo e Formaggio (1988). De acordo com Chuvieco (1990), para o estudo do conteúdo de umidade na vegetação ou de sua biomassa, é preciso estabelecer uma relação quantitativa entre os números digitais da imagem e parâmetros físicos desse alvo.

A conversão dos DN para reflectância aparente minimiza a variabilidade provocada por diferentes condições de iluminação no comportamento espectral dos alvos (Bentz, 1990). A análise dos parâmetros físicos, através da conversão de número digital para valores de reflectância, permite medições mais absolutas do alvo, além de permitir realizar, com maior rigor, a razão entre bandas, a definição espectral de classes temáticas e a relação entre imagens de diferentes datas e sensores (Robinove, 1982).

Chuvieco (1990) resume o processo de transformação de número digital a parâmetros físicos em três fases: (i) correção atmosférica da imagem, (ii) conversão de número digital a valores de radiância, a partir dos coeficientes de calibração do sensor e (iii) estimativa dos valores de reflectância.

Epiphanyo e Formaggio (1988) compararam diferentes metodologias para essa conversão, concluindo ser a proposta por Markham e Barker (1986) mais adequada. De acordo com esses autores, a conversão é realizada em duas fases, sendo inicialmente o valor de DN transformado em radiância e depois em reflectância:

1) Transformação dos valores de DN em valores de radiância

$$L_{\lambda} = L_{\min\lambda} + (L_{\max\lambda} - L_{\min\lambda}) \cdot Q_{\text{Cal}} / Q_{\text{Calmax}}, \quad (2.5)$$

onde,

L_{λ} = radiância espectral, em $\text{mw.cm}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\mu\text{m}^{-1}$;

Q_{cal} = radiância calibrada e reescalada para o intervalo 0 a 255, em unidades de número digital;

$L_{\text{min}\lambda}$ = radiância espectral correspondente ao $Q_{\text{cal}} = 0$, em $\text{mw.cm}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\mu\text{m}^{-1}$;

$L_{\text{max}\lambda}$ = radiância espectral correspondente ao $Q_{\text{cal}} = 255$ (radiância de saturação), em $\text{mw.cm}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\mu\text{m}^{-1}$;

Q_{Calmax} = valor máximo de radiância, reescalada para número digital.

TABELA 2.1 - VALORES DE $L_{\text{min}\lambda}$ E $L_{\text{max}\lambda}$ UTILIZADOS NA CONVERSÃO DOS NÚMEROS DIGITAIS BRUTOS PARA RADIÂNCIA

Banda TM	$L_{\text{max}\lambda}$ *	$L_{\text{min}\lambda}$ *
1	15,21	-0,15
2	29,68	-0,28
3	20,43	-0,12
4	20,62	-0,15
5	2,719	-0,037
7	1,438	-0,015

* $\text{mW.cm}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\text{mm}^{-1}$

Fonte: Markham e Barker (1986).

2) Transformação dos valores de radiância a valores de reflectância

$$\rho = (\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2) / (E_{\text{Sol}\lambda} \cdot \cos \theta_s) \quad (2.6)$$

onde,

ρ = reflectância medida ao nível do satélite, adimensional;

L_λ = radiância espectral no detector, em $\text{mw.cm}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\mu\text{m}^{-1}$;

d = distância Terra-Sol, em unidades astronômicas;

$ESol_\lambda$ = irradiância solar exoatmosférica média, em $\text{mw.cm}^{-2}.\mu\text{m}^{-1}$;

θ_s = ângulo zenital solar, em graus.

TABELA 2.2 - VALORES DE $ESol_\lambda$ UTILIZADOS NA CONVERSÃO DE
RADIÂNCIA PARA REFLECTÂNCIA

Banda TM	$ESol_\lambda$ *
1	195,7
2	182,9
3	155,7
4	104,7
5	21,93
7	7,452

* ($\text{mW.cm}^{-2}.\mu\text{m}^{-1}$)

Fonte: Markham e Barker (1986).

2.3.2 MODELO LINEAR DE MISTURA ESPECTRAL

Muitas das propriedades do *pixel*, como seu posicionamento e dimensão, são determinadas pelas variáveis do sensor como o IFOV (*angular instantaneous field of view*) e a altitude. Considerando a resolução do sensor TM, 30 m, um *pixel* pode representar a resposta espectral de mais de um alvo. Essa mistura no *pixel* pode afetar na análise de dados de sensoriamento remoto, sendo que muitas técnicas de processamento de imagens supõe que os *pixels* sejam puros, representando áreas homogêneas da superfície da Terra (Foody et al., 1997). Consequentemente, feições de interesse podem ser mascaradas na análise, agregando num mesmo *pixel* diferentes alvos.

O Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) é uma técnica que visa o realce das feições de interesse da imagem, com o intuito de otimizar o processo de extração de informações. Nesse modelo, o valor do *pixel* em cada banda espectral é considerado como a combinação linear da resposta de cada componente dentro do *pixel* (INPE/DPI, 1998b). Em um *pixel*, a presença dos componentes varia de 0% a 100%, determinando a ausência ou dominância do componente, respectivamente. Componentes puros correspondem aos *pixels* totalmente recobertos pelos componentes selecionados.

Foody et al. (1997) citam o grande problema da aplicação desse método em relação a seleção dos componentes a serem considerados. Diversos são os trabalhos que indicam os componentes vegetação, solo e sombra como constituintes básicos de cenas florestadas (Shimabukuro et al., 1997, Aguiar, 1991). Alguns trabalhos incluem um quarto componente para caracterizar áreas florestadas, como madeira (Nascimento, 1997) ou material vegetal não-fotossintético referente a análise de tronco (Pereira et al., 1998).

Shimabukuro et al. (1997), para a análise da taxa de desflorestamento de área localizada em Rondônia, utilizaram imagens sombra geradas a partir de imagens TM/Landsat, por apresentarem um grande contraste entre áreas florestadas, com média quantidade de sombras, e áreas desflorestadas, com baixa quantidade de sombras.

Aguiar (1991) confirmou a importância do componente sombra para explicar diferenças encontradas na estrutura do dossel e a influência positiva dessas informações no processo de classificação automática.

Shimabukuro et al. (1997) descrevem o modelo de mistura espectral pela fórmula:

$$r_i = a \cdot \text{vege}_i + b \cdot \text{solo}_i + c \cdot \text{sombra}_i + e_i \quad (2.7)$$

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.

No *software* SPRING (INPE/DPI,1998b), os métodos para estimar as proporções dentro de um *pixel* baseiam-se no critério dos Mínimos Quadrados, visando minimizar a soma dos quadrados dos erros, sendo esses: Mínimos Quadrados com Restrições (MQR), Mínimos Quadrados Ponderado (MQP) e Principais Componentes (PRINCO).

Aguiar (1991) faz algumas considerações sobre o emprego dos diferentes estimadores de proporção, observando a similaridade entre a aplicação do MQP e MQR; considerou ainda que, visando a utilização de classificadores de máxima verossimilhança, o emprego de MQR é mais adequado, além de ter maior eficiência computacional.

O cálculo dos indicadores do erro (e_i) visa auxiliar a análise da adequação do modelo de mistura a uma determinada cena, sendo possível gerar as denominadas imagens de erro, que representam a distribuição espacial de erros (INPE/DPI, 1998b).

Após a obtenção das proporções, a partir da seleção do *pixel* puro de cada componente, são geradas as bandas sintéticas de proporções ou imagens componentes.

A seleção do *pixel* puro de cada componente é um problema inerente a esse método; no SPRING é realizada a partir da análise da assinatura espectral do *pixel* selecionado. As técnicas para escolha dos *pixels* puros dos componentes primários podem ser auxiliadas por processos interativos para ajustar as assinaturas, como a comparação das respostas dos alvos com bibliotecas espectrais. De acordo com Price (1994), essas bibliotecas espectrais representam casos específicos para determinadas espécies, sendo necessário um grande número de exemplos para cobrir a variabilidade existente. A utilização de informações oriundas do conhecimento de campo seria uma alternativa para minimizar o problema com a seleção dos *pixels* puros.

Segundo Aguiar (1991), nas novas bandas sintéticas geradas com a aplicação do Modelo não existe a dependência de se conhecer a assinatura espectral de cada classe para realizar a interpretação visual, mas apenas características estruturais dos alvos.

Bernardes (1998) verificou a adequação da utilização dos componentes vegetação, solo e sombra para análise de floresta primária e estádios sucessionais, sendo que os valores de proporção de vegetação e sombra possibilitaram descrever a evolução da biomassa durante o processo de sucessão.

Xaud M. (1998) obteve baixa correlação entre as imagens proporção de vegetação, solo e sombra e a biomassa de savana, sugerindo a utilização de um índice de vegetação para a caracterização desse parâmetro nessa formação.

2.3.3 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO AJUSTADO PARA INFLUÊNCIA DO SOLO (SAVI)

Diversos índices vêm sendo desenvolvidos para caracterizar o dossel da vegetação, correlacionando-os com vários de seus parâmetros, a maioria utilizando a reflectância ou radiância do dossel nas bandas do vermelho e do infravermelho na forma de razões (Huete, 1988), gerando uma imagem índice de vegetação. De acordo com Zhang et al. (1999), a biomassa do dossel pode ser estimada com a utilização de dados de índice de vegetação com precisão de 58 a 80%, dependendo da espécie.

Os mais usuais desses índices exploram a característica da absorção da clorofila da vegetação na porção do vermelho do espectro e na alta reflectância da vegetação na porção do infravermelho próximo, devido a essas bandas conterem mais de 90% da informação do dossel de plantas (Leblon, 1999). Um índice ideal deveria ser sensível apenas ao dossel da vegetação (parte verde), porém fatores como as propriedades ópticas do solo e a influência da atmosfera atuam de forma limitante na análise desses dados (Leblon, 1999).

Alguns desses índices espectrais de vegetação, baseados em contrastes da reflectância espectral entre a vegetação verde e o material do substrato, têm sido formulados, entre

eles o SAVI (Índice de Vegetação Ajustado para Influência do Solo), desenvolvido por Huete (1988), para minimizar as influências do solo na caracterização do dossel. O cálculo do SAVI pode ser expresso pela relação:

$$\text{SAVI} = [(TM4 - TM3) / (TM4 + TM3 + L)] \cdot (1 + L) \quad (2.8)$$

onde,

TM4 = valor de reflectância para a banda 4 (infravermelho próximo) do sensor TM;

TM3 = valor de reflectância para a banda 3 (vermelho) do sensor TM;

L = constante.

O valor da constante “L” é função do grau de cobertura/exposição do solo nos diferentes alvos, variando de 0 a 1, como apresentado por Huete (1988). De acordo com esse autor, o valor L=0,25 é utilizado para vegetações densas e L=1 para vegetações abertas, sendo L=0,5 um valor considerado ideal para um grande intervalo de condições de vegetação. Xavier (1998), em trabalho com áreas reflorestadas com eucalipto em diferentes estágios de desenvolvimento, observou que não houve diferença significativa entre os índices SAVI com diferentes valores de L (0,25; 0,5 e 0,75) na análise de DAP, idade e altura, sendo que todas as três constantes minimizaram as variações do solo para esse tipo de vegetação.

De acordo com Ray (1999), o valor padrão tipicamente usado na maioria das aplicações é 0,5, indicado para densidades intermediárias de vegetação.

Sousa (1997) utilizou a imagem SAVI, L=0,5, para avaliar a quantidade de madeira em povoamentos adultos de *Pinus* sp, não obtendo resultados satisfatórios, mencionando que os valores de volume ultrapassaram o ponto de saturação, não sensibilizando os valores desse índice.

Esse índice, utilizado inicialmente em estudos sobre culturas agrícolas, como os realizados por Epiphanyo e Huete (1995) e Epiphanyo et al. (1997), vem sendo aplicado em análises da mudança de cobertura e etapas de regeneração em áreas florestais.

Van Niel (1999), utilizando imagens SAVI, $L=0,5$, de 5 diferentes anos, gerou imagens diferença, a partir da subtração de cada imagem SAVI de datas anteriores da imagem mais recente, possibilitando a análise das principais mudanças ocorridas na vegetação nesse período.

Em estudo da regeneração em floresta tropical, Bernardes (1998) verificou a redução dos valores de SAVI, $L=0,5$, com a elevação da biomassa.

2.3.4 SEGMENTAÇÃO

A segmentação é um procedimento proposto para ser empregado anterior à fase de classificação, permitindo extrair um conjunto mais rico de atributos e relacionar amostras mais representativas de cada classe (Kai e Muller, 1991). Neste processo, divide-se a imagem em regiões que devem corresponder às áreas de interesse da aplicação, entendendo-se por regiões um conjunto de *pixels* contíguos, que se espalham bidirecionalmente e que apresentam uniformidade.

No SPRING, o algoritmo de segmentação por crescimento de regiões apresenta os seguintes parâmetros:

a) similaridade: limiar sob o qual duas regiões são consideradas similares e, portanto, agrupadas, representando a distância euclidiana entre as médias das duas regiões;

b) área: área mínima a ser considerada como uma região, definida como o número de *pixels*.

A determinação dos limiares a serem empregados é função da complexidade da imagem e do objetivo visado. Pardi Lacruz (1998) testou alguns limiares de similaridade em estudo do levantamento fisionômico de floresta tropical, mostrando ser o valor 4 o mais adequado; para o limiar de área foi utilizado 10. Pereira (1996), em trabalho com floresta em estágio de sucessão secundária, utilizou limiares de similaridade e de área de 8 e 25, respectivamente. Para a caracterização de áreas de contato floresta/cerrado, Santos et al. (1993) utilizaram o valor 10 tanto para o limiar de similaridade quanto o de

área. Xaud M. (1998), para análise da região de contato floresta/savana em imagens proporção, utilizou limiares de área e de similaridade de 10 e 8 para áreas de floresta e de 25 e 10 para áreas de savana.

2.3.5 CLASSIFICAÇÃO

A classificação de imagens digitais é o processo em que os elementos são identificados e concentrados em grupos ou classes, com atributos semelhantes, como padrões espectrais similares. No processamento digital de imagens, os métodos de classificação consistem em dois tipos, supervisionados e não supervisionados.

A classificação supervisionada consiste na utilização de amostras de treinamento, ou seja, *pixels* representativos das classes de interesse, sendo considerada a semelhança de cada *pixel* da imagem com essas amostras. O conjunto de treinamento para cada classe pode ser estabelecido usando informações de campo, mapas, fotografias aéreas ou interpretação de composição colorida da imagem (Richards, 1993). A classificação não supervisionada baseia-se no princípio de que o próprio *software* é capaz de identificar as classes dentro de um conjunto de dados.

De acordo com Richards (1993), na classificação supervisionada, o método estatístico mais empregado para fazer a partição da imagem em classes é o da máxima verossimilhança (MAXVER), sendo este geralmente baseado numa distribuição de probabilidade gaussiana dos níveis de cinza dos *pixels* de cada classe/grupo (Erthal e Frery, 1993). Esse procedimento utiliza regras de decisão para analisar a probabilidade de cada *pixel* da imagem pertencer a determinada classe disponível (Richards, 1993), sendo esta uma classificação *pixel a pixel*.

O produto final da classificação é um mapa temático com a área de estudo dividida em unidades espaciais, com a existência de erros inerentes ao processo, havendo a necessidade da verificação dos resultados.

O modo mais comum de representar a acurácia da classificação digital é na forma da matriz de erro, onde os valores das linhas e colunas correspondem aos números de

pixels atribuídos a um tipo de cobertura da superfície em relação a sua identificação correta, conforme verificação no campo ou em mapa de referência (Congalton et al., 1983). Para cada matriz de erro pode ser calculado o coeficiente *Kappa*, sendo a medida da concordância da classificação com os dados de referência (Congalton et al., 1983).

O coeficiente *Kappa* situa-se tipicamente entre 0 e 1, onde 1 indica completo acordo, e quando multiplicado por 100, dá a porcentagem da medida de acurácia da classificação (Foody, 1992).

De acordo com Landis e Koch (1977), a avaliação a partir do coeficiente *Kappa* pode realizada com base na Tabela 2.3.

TABELA 2.3 – COEFICIENTES *KAPPA*

KAPPA	CONCORDÂNCIA
< 0	PÉSSIMA
0 - 0.2	RUIM
0.2 - 0.4	RAZOÁVEL
0.4 - 0.6	MODERADA/BOA
0.6 - 0.8	MUITO BOA
0.8 - 1	EXCELENTE

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

Roraima é caracterizada por uma vegetação diferenciada, com ocorrência da floresta tropical úmida juntamente com a formação savânica, sendo que a área de estudo representa uma zona de contato abrupto entre ambas as formações, estando localizada na porção centro-norte do estado, entre as coordenadas geográficas 2°30' a 2°50' de latitude norte e 61°00' a 61°30' de longitude oeste. O acesso rodoviário a essa região é realizado pelas estradas RR-205 e RR-343, distando aproximadamente 85 Km de Boa Vista, capital do estado. Na Figura 3.1 a área de estudo, de 2053,5 km², está delimitada na composição colorida TM/Landsat, sendo um trecho desta representada na imagem JERS-1. Ao norte do Rio Mucajaí tem-se a predominância da formação savânica e na parte inferior, a floresta marcada pelos processos de antropização, com a ocupação por colonos.

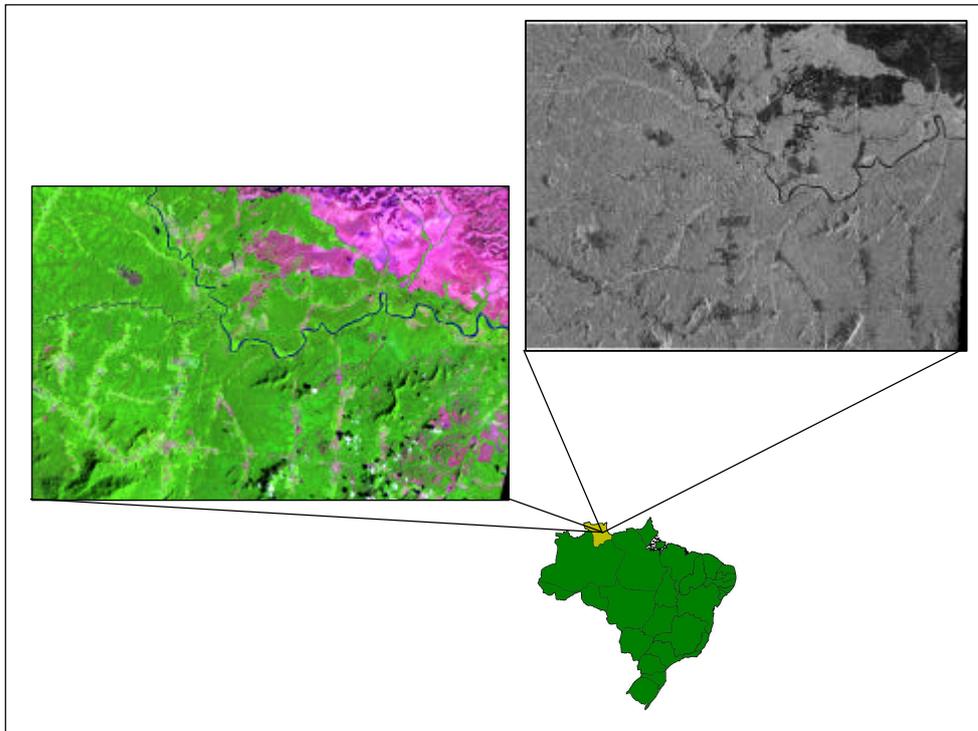


Fig. 3.1 - Área de estudo representada em uma composição colorida TM/Landsat (3B/4G/5R) e na imagem JERS-1.

Desde o início dos anos 70, Roraima tem sido alvo de uma intensa ocupação, sendo que entre 1980 e 1985 esse aumento foi de aproximadamente 70% (Schaefer, 1997). O sistema de produção envolvido no processo de ocupação desta região, como em grande parte da Amazônia Brasileira, consiste na derrubada da floresta, queima do material resultante da derrubada, implantação de cultivos e/ou pastagem e, em certos casos, o abandono da área, com a busca de novas áreas para retomar o ciclo (Dale et al., 1993), acelerando o processo de desmatamento.

O recente incêndio florestal que ocorreu no estado apenas evidencia a necessidade do conhecimento dos recursos naturais existentes e, principalmente, da biomassa acumulada. De acordo com dados do IBAMA (1998), a possibilidade de um novo incêndio de maiores proporções é grande para a próxima estação seca, devido ao material combustível acumulado sob o dossel.

3.1.1 ASPECTOS CLIMÁTICOS

A caracterização do clima é um dos fatores fundamentais para a compreensão de qualquer ecossistema, sendo que na Amazônia o clima torna-se um fator dominante pela importância e magnitude do ciclo hidrológico (Moran, 1990).

De acordo com o sistema de Köppen, o clima na área é do tipo Aw1, representando o clima tropical úmido com estação seca acentuada. Segundo a classificação de Gaussen, a região enquadra-se na descrição de dois tipos climáticos: o termoxeroquimênico atenuado, representado por uma estação seca curta de 3 a 4 meses, e o subtermaxérico, com estação seca de 1 a 2 meses (Projeto Radambrasil, 1975).

3.1.2 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

3.1.2.1 GEOLOGIA

A unidade de maior ocorrência na área de estudo corresponde ao Complexo Guianense (Projeto Radambrasil, 1975), formada por rochas de origem metamórfica, sendo as mais comuns os granulitos, gnaisses, migmatitos, anfibolitos e dioritos. Destes, os granulitos são as rochas mais antigas aflorantes, com áreas de exposição muito restritas, sendo as

do tipo ácido predominantes na área. Outra unidade é a Formação Boa Vista, constituída por sedimentos arenosos com cimentos argilosos e intercaladas de níveis conglomeráticos.

3.1.2.2 GEOMORFOLOGIA

A unidade morfoestrutural predominante na área é denominada Pediplano Rio Branco - Rio Negro (Projeto Radambrasil, 1975), constituído por extensa superfície de aplainamento, com ondulações pouco acentuadas, originadas pelo entalhamento incipiente da drenagem, estas constituídas predominantemente por igarapés. Em meio a superfícies aplainadas encontram-se afloramentos do tipo *inselberg*, formas de relevo residual resultantes de processo de pediplanação.

3.1.2.3 PEDOLOGIA

De acordo com o Projeto Radambrasil (1975), os solos dominantes na área pertencem à classe dos latossolos vermelho amarelo, constituídos por solos apresentando a seqüência de horizontes A, B e C, sendo profundos a muito profundos. Nas áreas próximas ao Rio Mucajaí predomina o solo hidromórfico gleizado, caracterizado pelo pouco desenvolvimento e saturado com água. Em manchas isoladas ainda ocorrem os solos litólicos e hidromórfico cinzento.

3.1.2.4 VEGETAÇÃO

Segundo AMBTEC (1994), Roraima apresenta grande variedade de fisionomias vegetais, sendo que a região de estudo, especificamente, caracteriza-se pelas áreas de contato, denominadas regiões de tensão ecológica. Estas áreas são definidas como sendo uma graduação de vegetação que se desenvolve para outra, partindo de seu ótimo-ecológico até o extremo oposto, quando desaparece. As áreas de contato savana/floresta compreendem manchas de floresta densa e aberta (com ou sem palmeira), dispersas no domínio ecológico de savana e vice-versa (Projeto Radambrasil, 1975). Os encaves (interpenetração de formações distintas) presentes na área referem-se às regiões de relevo suave ondulado, onde ocorre a formação da Floresta Ombrófila Densa

Submontana e Floresta Estacional Semidecidual, além da presença da Floresta Ombrófila Aberta com palmeiras, que na região é composta predominantemente pela palmeira inajá (*Maximiliana regia*). Nas áreas mais planas, ocorrem dois tipos fisionômicos de savanas (parque e graminosa). A savana parque caracteriza-se pela fisionomia campestre, com árvores isoladas e/ou grupos isolados. Quanto à savana graminosa, esta é amplamente dominada por gramíneas, apresentando algumas plantas lenhosas anãs e pequenos arbustos de folhas pequenas.

3.2 PRODUTOS UTILIZADOS

3.2.1 IMAGENS ORBITAIS

Para aquisição da imagem digital TM/Landsat considerou-se a boa visibilidade, pouca ocorrência de nuvens e a disponibilidade da imagem, material já utilizado por Xaud H. (1998) e Xaud M. (1998) em estudos sobre as savanas de Roraima, selecionando-se as bandas 1 a 5 e 7, órbita/ponto 232/58 de 17 de janeiro de 1996.

A seleção da imagem JERS-1 foi função da disponibilidade e época similar ao trabalho de campo, sendo esta de órbita 419/296 de 31 de maio de 1996, cedida dentro da cooperação com a *National Space Development Agency of Japan* (NASDA).

3.2.2 MATERIAL CARTOGRÁFICO

Como suporte cartográfico às informações obtidas das imagens digitais e como auxílio no deslocamento em campo foram utilizadas as cartas topográficas do DSG (Diretoria de Serviço Geográfico), escala 1:100.000: 'Maloca do Sucuba'/MI-53, 'Boa Vista'/MI-54, 'Vila Nova'/MI-72 e 'Mucajaí'/MI-73.

3.2.3 SISTEMAS DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS

O Sistema de Tratamento de Imagens (SITIM) (Imagem, 1993) foi utilizado na fase de georeferenciamento da imagem TM/Landsat. As imagens registradas foram transferidas para o Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas - SPRING (INPE/DPI, 1999), *release* 2.0.5 e, posteriormente, para o *software The Environment for*

Visualizing Images (ENVI) (Sulsoft, 1999), versão 3.0, ambos em ambiente UNIX. A leitura da imagem JERS-1 foi realizada utilizando-se a linguagem de programação *Interactive Data Language* (IDL) (SulSoft, 1999), versão 5.0.5.

3.2.4 EQUIPAMENTOS COMPLEMENTARES

Para auxiliar no deslocamento em campo, bem como na alocação adequada dos pontos na imagem georeferenciada, foi utilizado o *Global Positioning System* (GPS), modelo Garmin II Plus, instrumento que fornece a localização por coordenadas geográficas.

3.3 METODOLOGIA

A metodologia empregada no projeto de pesquisa é apresentada na forma de fluxograma na Figura 3.2, sendo detalhada a seguir.

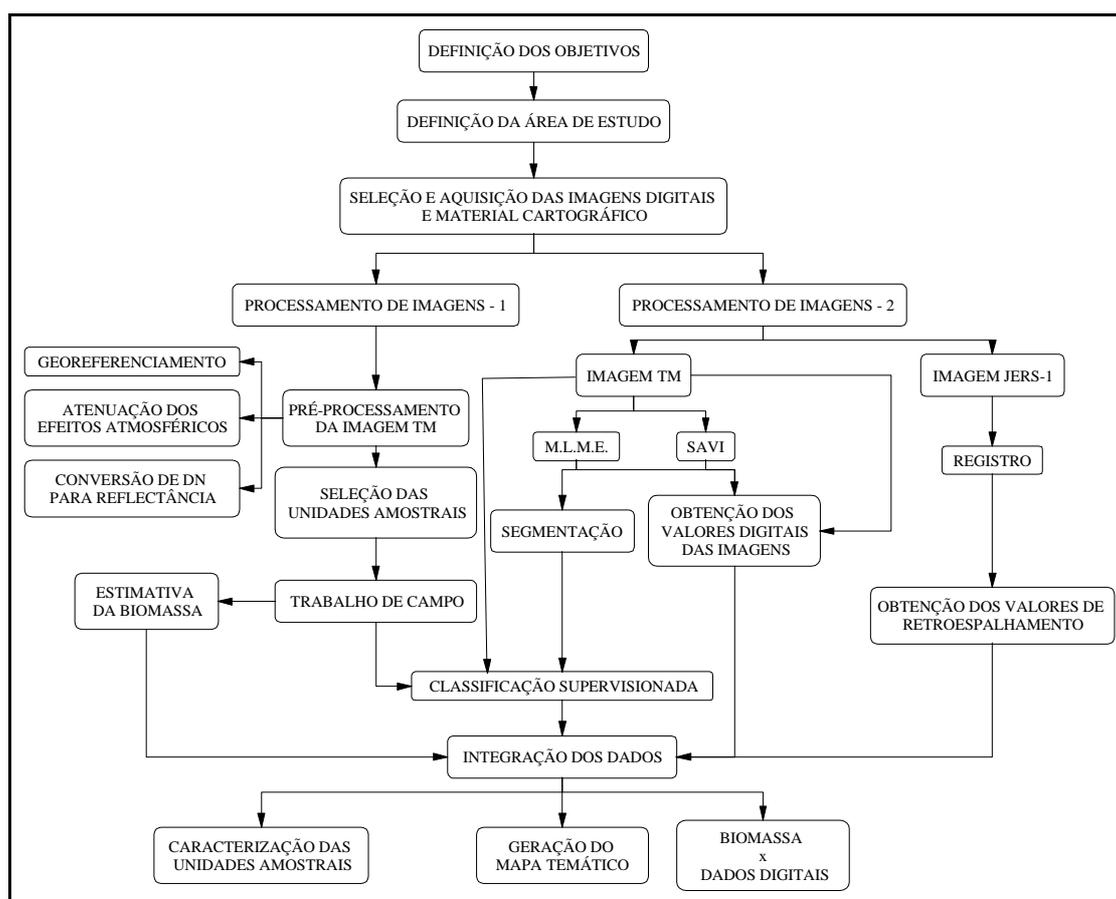


Fig. 3.2 - Fluxograma da metodologia adotada.

3.3.1 PROCESSAMENTO DE IMAGENS – FASE 1

O processamento de imagens foi realizado em duas fases distintas, anterior e posterior ao trabalho de campo. Na primeira etapa compreendeu as técnicas de pré-processamento da imagem TM, para uma estratificação preliminar dos alvos na cena, análise do comportamento radiométrico destes alvos e seleção de pontos amostrais representativos das feições da paisagem existente.

3.3.1.1 PRÉ-PROCESSAMENTO DOS DADOS TM

3.3.1.1.1 GEOREFERENCIAMENTO

O georeferenciamento foi realizado com o registro imagem-mapa. Na etapa de aquisição dos pontos de controle considerou-se a distribuição desses por toda a imagem, além de um número de pontos mínimo necessário para o polinômio de transformação, no caso de 2º grau. Para a aquisição dos pontos foram utilizadas, preferencialmente, as bandas 5 e 3, mais adequadas à visualização de encontros de rios e cruzamento de estradas, relacionando-os com os pontos identificados na carta MI-53, gerando um erro menor que um *pixel*. A reamostragem dos *pixels* na imagem foi realizada pelo método do vizinho mais próximo, visando manter as características radiométricas da imagem original, devido a menor alteração dos níveis de cinza, sendo essa etapa de registro realizada no sistema SITIM.

3.3.1.1.2 ATENUAÇÃO DOS EFEITOS ATMOSFÉRICOS

Para a atenuação dos efeitos atmosféricos na imagem TM/Landsat optou-se pela técnica da subtração de *pixels* escuros, onde alvos ou tonalidades escuras (sombreamento gerado pela topografia ou água limpa) são utilizados para determinar o valor de correção para cada banda. Essa técnica foi selecionada considerando que a área de estudo possui os alvos em questão, sendo aplicada sobre as bandas 1 a 4, que sofrem maior efeito do espalhamento pela atmosfera. No SPRING foi realizada a edição do histograma da imagem para que se evidenciassem os *pixels* com valores mais baixos

para cada banda, sendo estes relativos às sombras de relevo. Dessa forma, os valores 37, 12, 9 e 6 foram subtraídos das bandas TM 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

3.3.1.1.3 CONVERSÃO DOS NÚMEROS DIGITAIS PARA REFLECTÂNCIA

Em função da utilização do índice SAVI, os números digitais brutos da imagem TM foram convertidos para valores de reflectância em uma mesma etapa através da linguagem de programação "Legal" (Apêndice A) do SPRING, a partir das relações propostas por Markham e Barker (1986), utilizando-se os valores apresentados anteriormente nas Tabelas 2.1 e 2.2.

3.3.2 SELEÇÃO DAS UNIDADES AMOSTRAIS

A partir da análise da imagem TM realçada, composição colorida 3B/4G/5R, foram selecionados pontos amostrais para checagem em campo. As amostras buscaram representar a variabilidade de cada classe e caracterizar áreas homogêneas, além de considerar a facilidade de acesso a esses pontos.

Considerando a época do trabalho de campo, após o incêndio ocorrido no Estado, as amostras foram selecionadas, preferencialmente, em áreas não afetadas pela queimada.

3.3.3 TRABALHO DE VERIFICAÇÃO E COLETA DE DADOS EM CAMPO E CÁLCULO DA BIOMASSA

O trabalho de campo foi realizado no período de 28/04 a 15/06 de 1998, tendo como objetivos a caracterização dos aspectos fisionômicos-estruturais das classes de floresta e savana, além da verificação da paisagem existente, visando estimar a exatidão do mapa final.

Em áreas de florestas primária e em processo de sucessão secundária foram adquiridas medidas fisionômico-estruturais (DAP, altura, porcentagem de cobertura de copa e posição do indivíduo no transecto) da vegetação e identificação botânica em transectos de 250m x 10m e 100m x 10m, respectivamente. Os dados foram coletados para todos os

indivíduos dentro da área amostral, com DAP acima de 10 cm para floresta primária e 5 cm para sucessão secundária.

A estimativa de biomassa em áreas florestais foi realizada pelo método indireto, com a aplicação de equações alométricas. Os dados coletados em campo (DAP, altura) foram inseridos nas equações propostas por Brown et al. (1989) e Uhl et al. (1988) para floresta primária e sucessão secundária, respectivamente, e por Santos (1998) para o caso específico de *Maximiliana regia* (inajá), mostradas no Capítulo 2.

Nas áreas de savana a metodologia adotada foi a proposta por Xaud H. (1998), com o corte raso e pesagem de todos os indivíduos de porte arbóreo e/ou arbustivo para a estimativa de biomassa em unidades amostrais de 50m x 5m, além do posicionamento dos indivíduos na parcela. Para análise do estrato herbáceo foram alocadas 5 sub-parcelas de 1 m² cada, distribuídas sistematicamente de 10 em 10m em cada uma das unidades amostrais, com pesagem do material aéreo e estimativa da porcentagem de exposição do solo.

Em algumas das unidades de savana foi tomada uma amostra do material coletado que, levado para secagem em estufa, permitiu quantificar a variação de água. Os valores encontrados foram extrapolados para as demais áreas, para análise da biomassa em peso seco.

Em todas as unidades amostrais foi obtido o posicionamento cartográfico com GPS para a alocação adequada dos pontos na imagem georeferenciada.

3.3.4 PROCESSAMENTO DE IMAGENS - FASE 2

3.3.4.1 IMAGEM TM

Na etapa de processamento após o trabalho de campo, foram geradas as imagens proporção e SAVI em ambiente SPRING, seguida da segmentação dessas. As imagens foram exportadas para o *software* ENVI, onde foram plotados os pontos de campo para extração dos valores médios correspondentes às amostras, sendo estes polígonos

definidos em torno do ponto de campo a fim de cobrir a maior área possível do mesmo tipo de cobertura vegetal, considerando-se a homogeneidade na imagem.

3.3.4.1.1 GERAÇÃO DAS IMAGENS PROPORÇÃO

A aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral teve como objetivo a análise da variação estrutural, de biomassa e de exposição do solo nas classes de floresta e savana, gerando imagens de proporção representativas dos componentes de ocorrência nas cenas analisadas.

Com base na literatura direcionada à análise de áreas florestadas, foram considerados para a geração das imagens proporção os componentes solo, vegetação e sombra, utilizando-se as bandas 2, 3, 4, 5 e 7. A banda 1, por apresentar ruído, não foi utilizada no modelo. O procedimento envolveu as etapas de identificação dos componentes puros e determinação de seus valores de reflectância, aplicação do modelo linear de mistura espectral e análise das imagens resultantes e erros gerados.

A seleção do *pixel* puro de cada componente foi realizada na imagem com base no conhecimento de campo e análise da resposta espectral destes nas bandas analisadas.

Para a estimativa das proporções foi aplicado o método dos Mínimos Quadrados com Restrições, que melhor se adequou visual e numericamente à cena estudada.

Após a obtenção das proporções foram geradas as bandas sintéticas de proporções ou imagens componentes e o cálculo dos indicadores do erro, visando auxiliar a análise da adequação do modelo de mistura.

3.3.4.1.2 GERAÇÃO DA IMAGEM SAVI

O índice de vegetação SAVI foi empregado visando a melhor caracterização das classes de interesse, principalmente para a análise das áreas de savana, com o objetivo de reduzir as influências do solo sob dosséis parcialmente cobertos, como é o caso dessas formações. O cálculo do índice SAVI ocorreu em ambiente SPRING, através da

linguagem de programação "Legal" (Apêndice B), sendo expresso pela relação citada anteriormente no Capítulo 2.

Considerando os dados apresentados por Huete (1988), para a análise das formações de interesse, floresta e savana, foi aplicado à imagem TM o índice SAVI com diferentes valores de "L" (0,25, 0,5 e 0,75), visando a sua adequação aos tipos de vegetação.

3.3.4.1.3 SEGMENTAÇÃO

Com o objetivo de particionar as imagens em conjuntos de regiões correspondentes às feições de interesse para auxílio na classificação foram segmentadas, através do algoritmo por crescimento de regiões, a imagem SAVI e a composição formada pelas três imagens geradas pelo Modelo Linear de Mistura, utilizando-se na primeira os limiares 8x10, 8x15 e 15x25 e na segunda, 8x20 e 15x20.

3.3.4.1.4 CLASSIFICAÇÃO

Para a classificação, amostras de treinamento foram tomadas nas classes encontradas em campo – floresta primária, floresta secundária, savana parque e savana gramínea, considerando-se a representatividade dessas na área de estudo. Além das classes de interesse, foram tomadas amostras de água, solo exposto, pasto, nuvem e sombra, para melhor caracterização da área.

Aplicou-se a classificação supervisionada MAXVER, sendo a avaliação do mapa realizada a partir da análise da matriz de confusão e coeficiente *Kappa*, gerados em função de pontos testes adquiridos em campo, e da análise visual do produto final.

Os coeficientes *Kappa* foram corrigidos de acordo com o recomendado por Hudson e Ramm (1987).

3.3.4.1.5 OBTENÇÃO DOS VALORES DIGITAIS NA IMAGEM TM E DERIVADAS

As amostras foram sobrepostas às imagens proporção de vegetação, solo e sombra, e nas imagens SAVI com diferentes valores de "L" e extraídos os valores médios

correspondentes, sendo estes inseridos em planilha eletrônica, juntamente com os valores médios de retroespalhamento. Adicionalmente, foram extraídos os valores das amostras nas imagens TM/Landsat, bandas 3, 4 e 5, para comparação com as imagens processadas pelo MLME e pelo SAVI.

3.3.4.2 IMAGEM JERS-1

3.3.4.2.1 REGISTRO ENTRE IMAGENS

Para a extração dos números digitais na imagem JERS-1 foi realizado no ENVI um registro entre imagens para a alocação das amostras em ambas as imagens. A imagem TM foi registrada sobre a imagem amplitude JERS-1, sendo este procedimento adotado a fim de manter as características originais da imagem SAR, uma vez que, no processo de registro, a imagem sofre uma reamostragem, o que resultaria na mudança dos níveis de cinza originais da imagem JERS-1. O registro foi realizado com a aquisição de pontos de controle, com o erro menor que um *pixel*, sendo a reamostragem dos *pixels* na imagem realizada pelo método do vizinho mais próximo. Nesse processo de registro, a imagem TM/Landsat foi reamostrada para que ambas as imagens possuíssem o mesmo número de linhas e colunas.

3.3.4.2.2 OBTENÇÃO DOS VALORES DE RETROESPALHAMENTO

Para a obtenção dos números digitais da imagem JERS-1, a imagem amplitude, utilizada inicialmente devido a melhor visualização, foi transformada em imagem intensidade, elevando-a ao quadrado. A partir das amostras foram obtidos os valores digitais médios da imagem SAR, seguida da conversão destes para coeficientes de retroespalhamento (σ^0), através da equação proposta por Rosenqvist (1997).

3.3.5 INTEGRAÇÃO DOS DADOS

Visando avaliar a capacidade de utilização de imagens de satélite para a discriminação e caracterização quantitativa de formações vegetais, procurou-se estabelecer a relação entre os dados de campo e os valores extraídos das imagens, empregando modelos estatísticos.

3.3.5.1 PROCEDIMENTO ESTATÍSTICO

Os dados de campo foram relacionados às imagens através de modelo de regressão, função estatística que utiliza a relação entre duas ou mais variáveis quantitativas para que se possa fazer a previsão de uma variável com base em outra(s) (Neter e Wasserman, 1974). Na análise de regressão uma variável aleatória y , denominada dependente, é relacionada à outra variável x , independente; no caso, a biomassa foi considerada a variável dependente e os valores digitais extraídos das imagens dos dois sensores, correspondentes às amostras de cada classe, considerados variáveis independentes.

Considerando o número estatisticamente limitado de amostras de campo para cada classe, recorreu-se a uma análise geral de formações florestais, incluídas as florestas primárias e em processo de sucessão secundária, e formações savânicas, parque e graminosa.

A princípio foi aplicada uma regressão simples, ou seja, análise individual da relação da variável biomassa com cada uma das variáveis independentes, empregando as funções linear e exponencial, a partir das relações definidas por:

$$y_i = \alpha + \beta x_i + \varepsilon_i \quad \dots\dots\dots\text{linear} \quad (3.1)$$

$$y_i = \alpha \cdot e^{\beta x_i} \cdot \varepsilon_i \quad \dots\dots\dots\text{exponencial} \quad (3.2)$$

Este último modelo pode ser linearizado, tomando-se o logaritmo neperiano:

$$\ln y_i = \ln \alpha + \beta x_i + \ln \varepsilon_i \quad (3.3)$$

ou seja,

$$y_i' = \alpha' + \beta x_i + \varepsilon_i \quad (3.4)$$

sendo que $y_i' = \ln y_i$ e $\varepsilon_i = \ln \varepsilon_i'$.

Nos modelos acima tem-se que:

y_i = variável dependente referente aos valores de biomassa na i-ésima observação;

x_i = variável independente na i-ésima observação referente aos valores de proporção das imagens vegetação, solo e sombra do MLME, valores da imagem SAVI, valores extraídos das bandas 3, 4 e 5 e aos valores dB da imagem JERS-1;

α , α' , β = coeficientes de regressão;

ε_i = erro aleatório com média zero e variância constante.

Além das análises do modelo de regressão simples, uma análise de regressão múltipla foi efetuada, visando avaliar a utilização conjunta dos dados oriundos dos dois sensores, TM/Landsat e JERS-1.

Na avaliação do modelo mais adequado, bem como na determinação da variável ou variáveis que melhor explicassem a variação em y , foram empregados testes estatísticos e análise de resíduos (Neter e Wasserman, 1974). A análise de regressão foi efetuada utilizando-se o pacote estatístico STATISTICA (StatSoft, 1999).

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse capítulo serão apresentados os resultados obtidos com a adoção da metodologia descrita. Inicialmente, serão relatados os resultados do trabalho de campo, com a caracterização das formações florestal e savânica presentes na área de estudo. A seguir, serão apresentados os resultados alcançados com as técnicas de processamento de imagens aplicadas à imagem TM/Landsat (Modelo Linear de Mistura Espectral, índice de vegetação SAVI, segmentação e classificação), além da análise dos coeficientes de retrospalhamento da imagem JERS-1. Finalmente, serão apresentados os resultados obtidos com a integração dos dados, a partir da análise estatística da relação existente entre os dados de campo e os valores oriundos das diferentes imagens.

4.1 TRABALHO DE CAMPO

O trabalho de campo visou a caracterização da região de contato floresta/savana, através da análise das características fisionômica-estruturais dessas formações, e aquisição de dados em áreas inventariadas para posterior cálculo de biomassa. Adicionalmente, foram também coletadas informações da paisagem existente em amostras testes, visando estabelecer o desempenho da classificação temática elaborada com os dados sensoriados. As unidades visitadas (Tabela 4.1) buscaram representar a variabilidade interna de cada classe, tendo sido inventariadas um total de 51 unidades amostrais, 19 em regiões florestais e 32 em áreas de savana (Figura 4.1).

TABELA 4.1 - ÁREAS AMOSTRADAS EM CAMPO

FORMAÇÃO	Nº DE AMOSTRAS INVENTARIADAS	Nº DE AMOSTRAS TESTES
Floresta Primária (FP)	09	10
Floresta Secundária (FS)	10	06
Savana Parque (SP)	09	05
Savana Graminosa (SG)	23	09
TOTAL	51	30

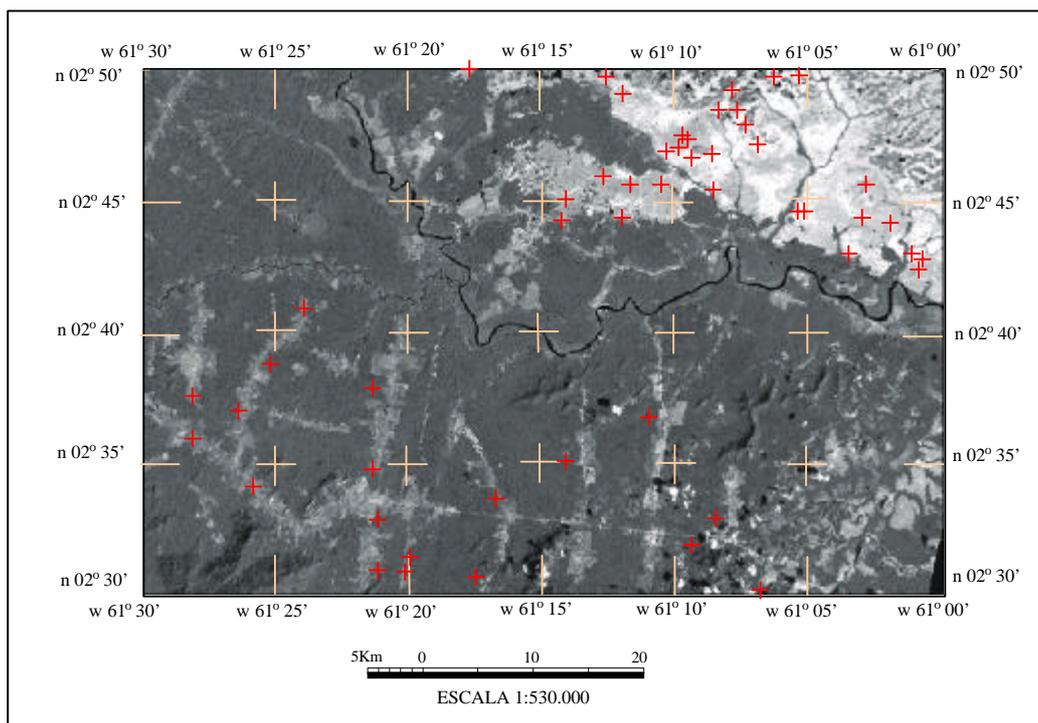


Fig 4.1 - Localização das unidades amostrais inventariadas em campo (pontos em vermelho), observada na banda 5 da imagem TM/Landsat.

4.1.1 CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES AMOSTRAIS

Os dados coletados em trabalho de campo permitiram a análise dos aspectos fisionômico-estruturais das formações florestal e savânica, bem como de suas intraclasses.

Considerando-se as divergências no critério de denominação tipológica da vegetação, adotou-se para a descrição das classes de savana a classificação do Projeto RadamBrasil (1975), em que a terminologia de cerrado é sinônimo de savana. Assim, as classes encontradas em campo enquadram-se nas denominações de savana gramínea (campo) e savana parque (parque), além das áreas cobertas por florestas primária e em processo de sucessão secundária.

4.1.1.1 SAVANA GRAMINOSA

Classe dominante na fisionomia savânica, totalizando 23 amostras inventariadas, a savana gramínea caracteriza-se por ser composta por campos entremeados de lagoas temporárias e densa rede de drenagem ladeada por filas de buritis (*Mauritia flexuosa*) (Figura 4.2). Essa formação, amplamente dominada por gramíneas, apresenta algumas lenhosas anãs, destacando-se *Byrsonima verbascifolia* (murici rasteiro) com grandes folhas ao nível do solo.



Fig. 4.2 - Aspecto típico da savana gramínea.

A savana gramínea apresenta alta variação no estrato herbáceo quanto à cobertura de vegetação, entre 10 e 66%, e principalmente, de biomassa seca, de 1,57 a 7,83 ton/ha (Tabela 4.2), ambas sendo função da dominância das espécies presentes, gramíneas, ciperáceas ou dessas plantas lenhosas anãs, e também da forma como a área vem sendo historicamente manejada, principalmente quanto à frequência do emprego de fogo, prática anual não controlada que atinge as formações savânicas na região.

TABELA 4.2 - BIOMASSA DAS AMOSTRAS INVENTARIADAS EM SAVANA GRAMINOSA

AMOSTRA	BIOMASSA (ton/ha)
10	6,60
11	6,34
25	5,55
29	5,77
30	1,59
31	5,33
33	5,73
35	5,77
36	6,38
39	1,79
40	1,73
41	4,69
42	3,24
43	2,47
44	4,94
45	7,83
47	3,72
48	2,28
49	6,07
50	3,92
51	3,53
52	1,57
53	5,63

Apenas em 04 das 23 unidades de savana gramínea foi observada a presença de algum material arbustivo, sendo de *Byrsonima crassifolia* (murici), Malpighiaceae, totalizando aproximadamente 8 % apenas da biomassa total da amostra.

4.1.1.2 SAVANA PARQUE

Esta formação, cuja fisionomia é campestre, apresenta-se com árvores de pequeno porte isoladas e/ou em grupos também isolados (Figura 4.3), pertencentes predominantemente à *Byrsonima crassifolia* (murici), Malpighiaceae, e ocorrência de *Curatella americana* L. (caimbé), Dilleniaceae.

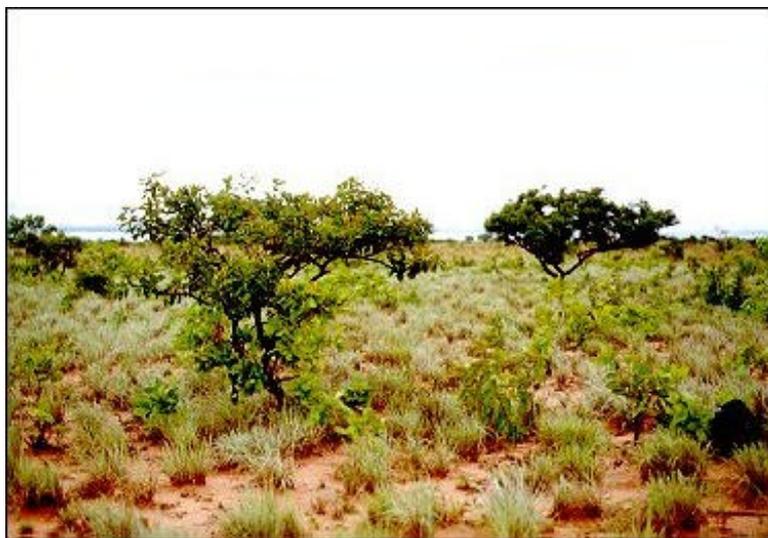


Fig. 4.3 - Aspecto geral da savana parque.

Para a caracterização da savana parque, foram inventariadas 09 amostras distribuídas nas extensas manchas de savana graminosa. Nessa formação, os valores de biomassa seca variam de 4,23 a 10,73 ton/ha (Tabela 4.3), sendo que o estrato arbustivo/arbóreo, em alguns casos, influi em torno de 50-70 % da biomassa total da amostra. Quanto à variação no grau de exposição do solo, de 52 a 87 %, consideram-se os mesmos fatores influentes da formação de savana graminosa.

TABELA 4.3 - BIOMASSA DAS AMOSTRAS INVENTARIADAS EM SAVANA PARQUE

AMOSTRA	BIOMASSA (ton/ha)
12	6,03
13	10,73
27	5,85
28	6,71
32	4,23
34	7,05
38	7,61
46	8,11
54	9,92

4.1.1.3 FLORESTA PRIMÁRIA

Essa formação inclui as áreas compostas por vegetação primária, predominantemente relativa à Floresta Estacional Semidecidual, caracterizadas pela ausência de intervenção antrópica e formadas, de uma maneira geral, por um grande número de espécies com elevada biomassa total.

No caso desse trabalho, o termo floresta primária foi empregado para indicar as áreas com vegetação original, sendo observados, em alguns casos, diferentes graus de antropização originários da retirada seletiva de algumas espécies mais valorizadas economicamente, ocasionando a presença de espécies típicas de estádios iniciais de sucessão, acarretando alta variação nos valores de biomassa (Tabela 4.4).

TABELA 4.4 - BIOMASSA ESTIMADA PARA AS AMOSTRAS INVENTARIADAS EM FLORESTA PRIMÁRIA

AMOSTRA	BIOMASSA (ton/ha)
01	169,86
02	181,15
03	108,74
07	127,85
14	118,05
18	110,83
22	130,57
23	153,60
24	75,04

A amostra 03, especificamente, com a biomassa de 108,74 ton/ha, é uma área em processo de degradação mais intensa, com alteração significativa do sub-bosque.

A amostra 07 ocorre sobre uma área de afloramento rochoso o que, conseqüentemente, diminui a densidade de indivíduos/ha, registrando biomassa de 127,85 ton/ha. Nessa amostra encontram-se alguns indivíduos típicos de áreas de sucessão, em particular *Cecropia leucocoma* Miquel. (imbaúba branca), Moraceae.

No caso da amostra 24, sua baixa biomassa, 75,04 ton/ha, é função de um caso particular de ocorrência de uma mancha localizada de campina dentro dessa área. Em Roraima, o nome comum dado a essa vegetação é chavascal, sendo caracterizada por crescer sobre a areia branca (Pires e Prance, 1985). Nessa amostra, a formação de campina ocorre juntamente com a formação florestal, sobre um trecho de solo mais árido, ocupando a extensão aproximada de 50 m dentro da amostra, sendo composta por *Byrsonima crista* Juss. (Malpighiaceae), *Miconia* sp. (Melastomataceae) e *Coccoloba* sp. (Polygonaceae), com a biomassa tendo sido estimada da mesma forma, possuindo, porém, indivíduos de menor diâmetro, em média 15 cm. Devido a essa peculiaridade, essa área não foi utilizada como amostra de treinamento para a classificação supervisionada.

Os valores de biomassa encontrados foram relativamente baixos em relação a outros relatos sobre a floresta amazônica. Para Bernardes (1998), na região do Pará, o valor médio foi de 267 ton/ha, enquanto em Roraima, Xaud M. (1998) encontrou média de 195 ton/ha, não incluindo as áreas degradadas.

Um fator adicional a ser considerado para explicar os baixos valores de biomassa da floresta primária é a própria característica da formação florestal encontrada, composta por indivíduos com altura média de 14 m e 23,40 cm de diâmetro.

No que se refere à riqueza, foram catalogadas 141 espécies pertencentes a 45 famílias, sendo alguns indivíduos indeterminados. A composição florística, determinada com base em Silva et al. (1977) e em Lorenzi (1992), bem como a biomassa e a densidade dos indivíduos inventariados, podem ser encontradas no Apêndice C.

As espécies mais significativas em termos de biomassa foram *Tetragastris trifoliolata* (Engl.) Cuatr. (Burseraceae), *Chrysophyllum prieurii* A. DC. (Sapotaceae), *Qualea* sp. (Vochysiaceae), *Goupia glabra* Aubl. (Celastraceae), totalizando 15 % do total da biomassa amostrada.

Considerando a densidade, as espécies mais numerosas foram *Tetragastris trifoliolata* (Engl.) Cuatr. (Burseraceae), indeterminada (Vochysiaceae) e *Myrciaria* sp. (Myrtaceae), somando 27 % do total de árvores catalogadas.

A partir dos dados coletados em campo foram gerados blocos diagramas (Figura 4.4) representativos das parcelas inventariadas na floresta primária encontrada na área de estudo.

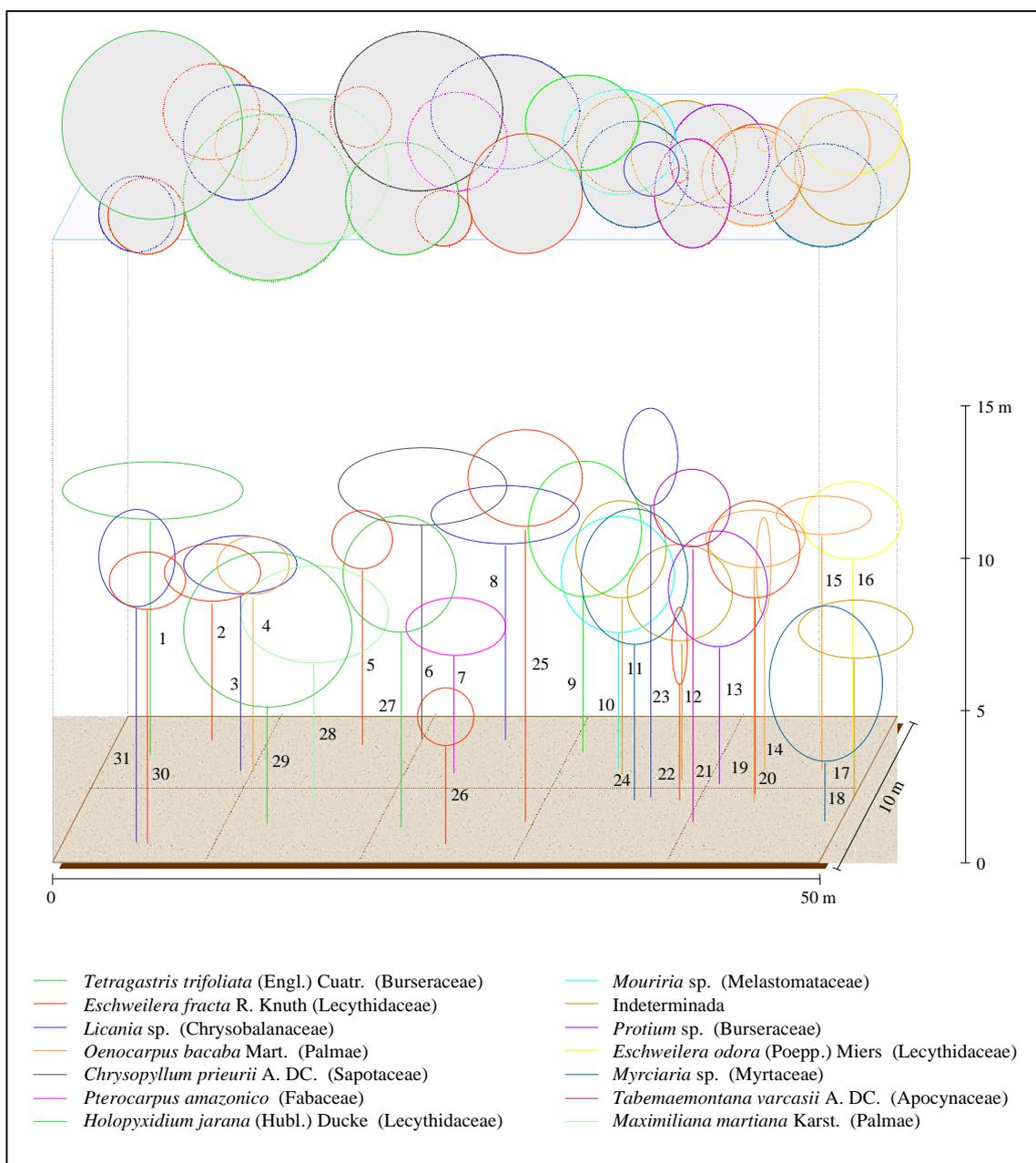


Fig. 4.4 – Bloco diagrama representativo da floresta primária.

4.1.1.4 FLORESTA SECUNDÁRIA

As áreas em processo de sucessão secundária referem-se às florestas primárias que sofreram intervenção antrópica, com a finalidade principal de uso agrícola e pastagem, com posterior abandono. Essas áreas distribuem-se ao longo das vicinias resultantes do processo de assentamento humano, e a forma de manejo, com queima periódica, é clara pela idade de regeneração, entre 4 e 6 anos, não tendo sido discriminadas as de regeneração mais avançada.

A biomassa dessa formação foi estimada entre 14,64 e 79,96 ton/ha (Tabela 4.5), e a amplitude nesses valores demonstra a ocorrência de variabilidade entre as amostras, seja em função do manejo anterior dado à área ou da forma de condução do processo de crescimento. Na análise dessa variação deve-se ainda considerar as idades variadas incluídas, influenciando as características florísticas, fisionômicas e estruturais da vegetação.

TABELA 4.5 - BIOMASSA ESTIMADA PARA AS AMOSTRAS INVENTARIADAS EM ÁREAS DE FLORESTA SECUNDÁRIA

AMOSTRA	BIOMASSA (ton/ha)
05	14,64
06	39,15
08	79,96
15	40,81
16	47,26
17	46,47
19	37,81
20	50,54
21	52,39
55	28,96

As amostras 05 e 08 são compostas, predominantemente, por *Cecropia leucoma* Miquel. (Moraceae), 56% do total de indivíduos na primeira e 45% na segunda, sendo que, no segundo caso, os indivíduos dessa espécie são maiores em altura e diâmetro, apesar da idade similar, 5 anos aproximadamente.

De um modo geral, as áreas em processo de sucessão secundária caracterizam-se por um diâmetro médio de 8,60 cm e altura em torno de 9,20 m.

Nessas áreas foram catalogadas 45 espécies, distribuídas em 33 famílias, sendo que apenas 03 espécies, *Cecropia leucoma* Miquel. (Moraceae), *Guazuma ulmifolia* Lam. (Sterculiaceae) e *Caesalpinia* sp. (Leg. Caesalpinioideae), somam 75% da biomassa total e 70% do total de árvores inventariadas. A composição florística, a biomassa e a densidade dos indivíduos catalogados podem ser encontradas no Apêndice D.

A Figura 4.5 apresenta o bloco diagrama característico das áreas de floresta secundária da área de estudo.

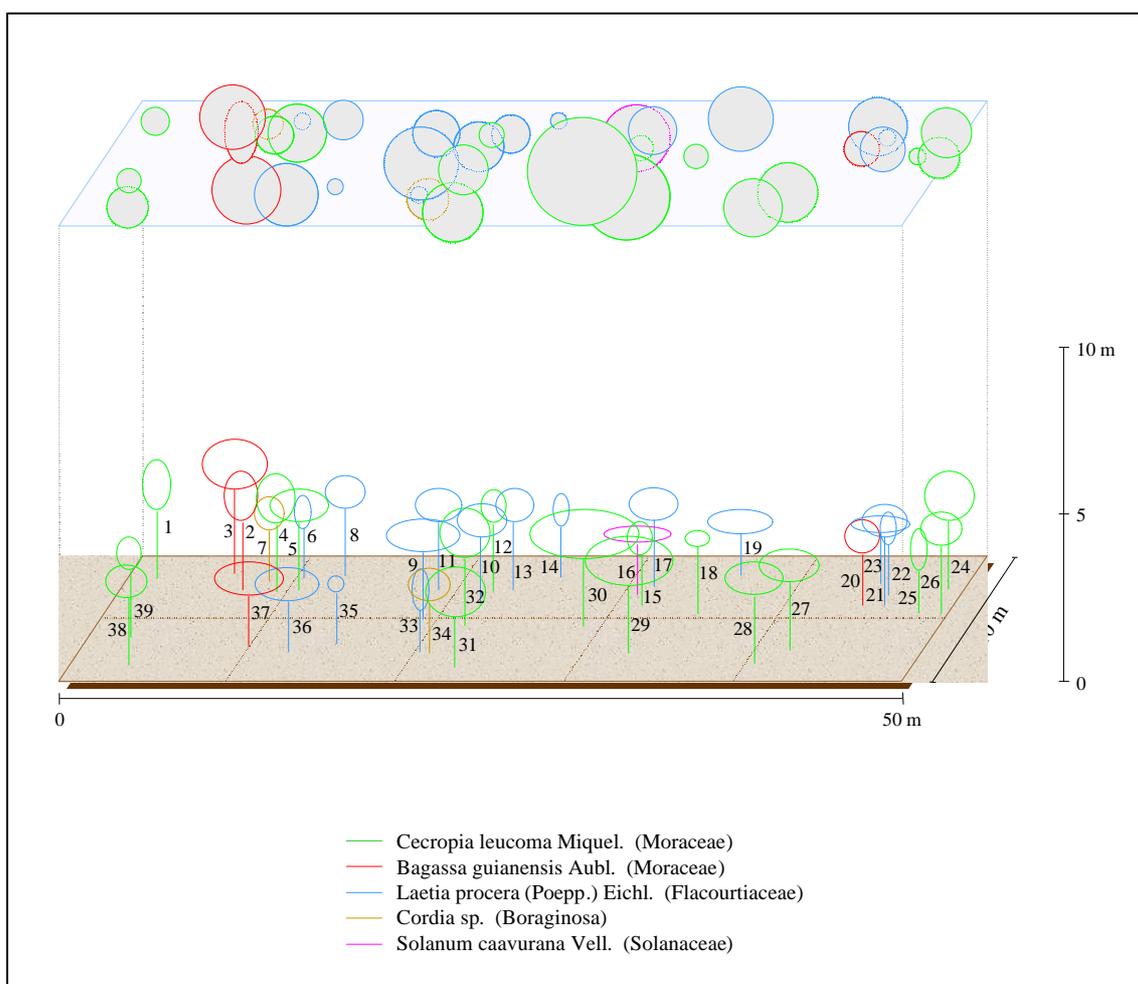


Fig. 4.5 - Bloco diagrama representativo de floresta secundária.

4.1.2 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS FORMAÇÕES

Os dados coletados nas amostras inventariadas em campo possibilitaram, ainda, uma análise comparativa entre as formações, em termos de biomassa e riqueza de espécies.

De acordo com Dantas e Rodrigues (1982), há um aumento no gradiente de número de espécies dos campos savânicos para a floresta, como foi observado nessas áreas de contato abrupto entre as duas formações.

A análise dos blocos diagramas, apresentados anteriormente nas Figuras 4.4 e 4.5, permite visualizar as diferenças entre as duas fisionomias florestais, enquadrando-as nas descrições de floresta primária e aquelas em processo de sucessão secundária, no que se refere à densidade e à riqueza.

Nas áreas de floresta secundária, o número de espécies é menor que o encontrado na floresta primária, havendo 03 espécies dominantes responsáveis por grande parte da biomassa total. Nas florestas primárias, as 04 espécies dominantes somam apenas 15% do total da biomassa. Nessas formações primárias foram catalogadas 416 indivíduos/ha, enquanto nas áreas em processo de sucessão, de baixa diversidade florística, esse número é de 1663.

Nas formações savânicas, as espécies encontradas no estrato arbustivo-arbóreo limitam-se a *Byrsonima crassifolia* (murici) e *Curatella americana* L. (caimbé).

Em termos de biomassa, há um aumento em função da fisionomia, como pode ser observado na Figura 4.6.

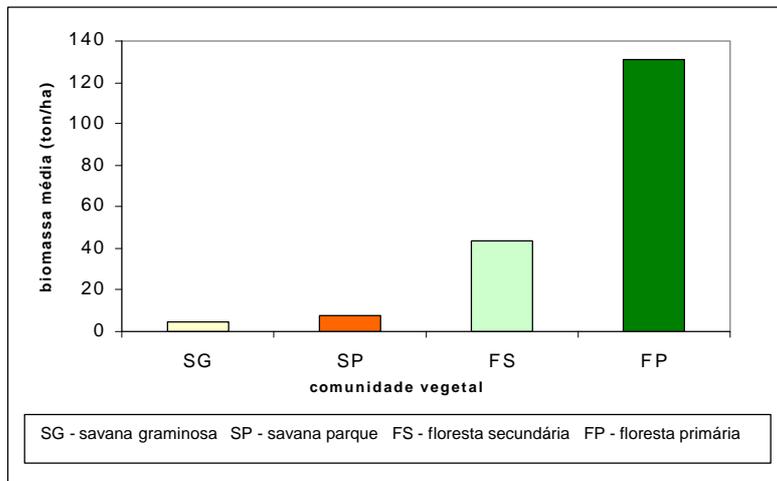


Fig 4.6 - Biomassa média das comunidades vegetais analisadas.

A biomassa média das formações savânicas foi de 4,46 ton/ha nas savanas graminosas e 7,36 ton/ha nas savanas-parque. Nas áreas em sucessão secundária a média foi estimada em torno de 43,8 ton/ha, enquanto nas florestas primárias, em 130,63 ton/ha.

A forma de ciclagem da biomassa é distinta para as formações florestais e savânicas. A biomassa de savana pode ser renovada anualmente, como foi observado nas áreas após a queimada, totalmente refeitas após um curto período. Nas áreas de floresta, o impacto do fogo é mais intenso, marcado pelo acúmulo de material seco no sub-bosque e diminuição da biomassa total em pé, quando o incêndio atinge o dossel (Santos et al., 1998a).

Nas formações florestais esse impacto ainda interfere na riqueza de espécies, como é o caso da palmeira inajá que, devido a sua característica de resistência ao fogo e capacidade e poder de propagação, deve predominar em relação às outras espécies (IBAMA, 1998).

4.2 PROCESSAMENTO DE IMAGENS

4.2.1 MODELO LINEAR DE MISTURA ESPECTRAL

A aplicação do MLME implicou inicialmente na seleção do *pixel* puro de cada componente, no caso vegetação, solo e sombra, tendo sido realizado a partir do conhecimento de campo e da análise da resposta espectral destes nas bandas analisadas (Tabela 4.6 e Figura 4.7).

TABELA 4.6. - RESPOSTA ESPECTRAL DOS COMPONENTES PUROS

Componente Puro	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 7
vegetação	0,011765	0,007843	0,137255	0,066667	0,015686
solo	0,035294	0,054902	0,074510	0,129412	0,082353
sombra	0,011765	0,011765	0,000000	0,000000	0,000000

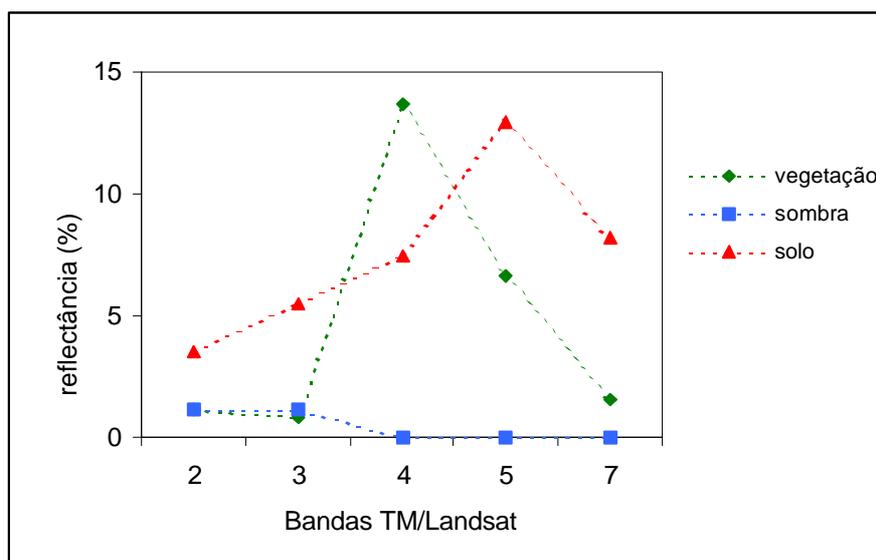


Fig. 4.7 - Espaço de atributos espectrais dos componentes puros no modelo de mistura.

O *pixel* puro do componente vegetação foi selecionado em área de floresta secundária, caracterizada por ser estruturalmente mais uniforme e fotossinteticamente mais ativa que a floresta primária, com menor influência dos componentes sombra e solo. Para o

componente solo, o *pixel* foi selecionado em área de solo exposto, enquanto que para o componente sombra, foi selecionado um *pixel* relativo à sombra topográfica.

A geração das imagens proporção vegetação (VEG), solo (SOL) e sombra (SOM) foi realizada a partir das estimativas de proporção pelo método dos Mínimos Quadrados com Restrição. De acordo com Aguiar (1991), esse método é mais adequado quando se visa uma posterior classificação.

Os indicadores de erro para cada banda e total (Tabela 4.7), calculado juntamente com a geração das imagens proporção, possibilitaram a análise da adequação dos *pixels* selecionados e do modelo final empregado.

TABELA 4.7 - ERRO MÉDIO POR BANDA E TOTAL

	BANDA 2	BANDA 3	BANDA 4	BANDA 5	BANDA 7	TOTAL
ERRO	1,779439	1,585259	0,526701	1,022534	0,769377	1,136662

Visualmente, a análise individual das imagens proporção possibilita a discriminação de áreas florestadas daquelas não florestadas, havendo dificuldade na diferenciação entre as sub-classes, principalmente no que se refere às savanas. Na Figura 4.8 pode-se visualizar um trecho de contato entre a floresta e a savana, nas imagens proporção de vegetação, solo e sombra.

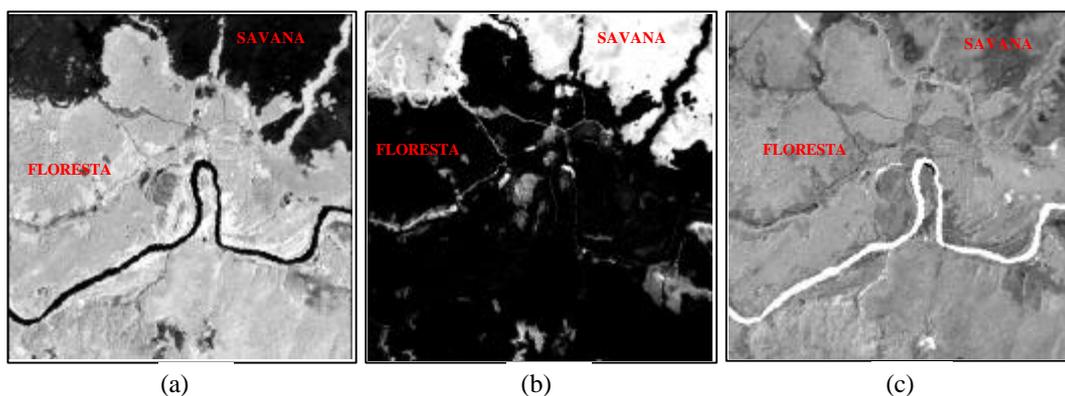


Fig. 4.8 - Secção da área de estudo, correspondente ao trecho de contato floresta/savana, nas imagens proporção (a) vegetação, (b) solo e (c) sombra.

A variação nos níveis de cinza, visualizados na Figura 4.8, correspondem às diferentes proporções dos componentes, sendo que os altos valores de cinza caracterizam a dominância do componente em questão. Nas imagens VEG e SOL o contato floresta/savana é facilmente delimitado, enquanto na imagem SOM é possível visualizar somente pequenas variações intra-classes, principalmente nas áreas florestadas, decorrentes das características do dossel.

Conforme foi relatado por Aguiar (1991), a análise da composição colorida das bandas sintéticas é útil para a interpretação visual, sendo que as informações representam conceitos físicos, referentes à proporção dos componentes, mais facilmente assimiláveis do que as assinaturas espectrais dos alvos. A análise da composição colorida das bandas de proporção VEG, SOL e SOM facilitou a discriminação visual entre as classes florestais, sendo mais claro a existência das áreas de regeneração em meio às de floresta primária. As feições topográficas também foram evidenciadas.

A análise quantitativa das imagens proporção possibilitou a verificação dos espaços de atributos espectrais ocupados por cada classe, podendo ser visualizados no diagrama ternário, apresentado na Figura 4.9. Os vértices do diagrama representam os componentes puros vegetação, solo e sombra e o interior do triângulo caracteriza a ocorrência de mistura dos componentes.

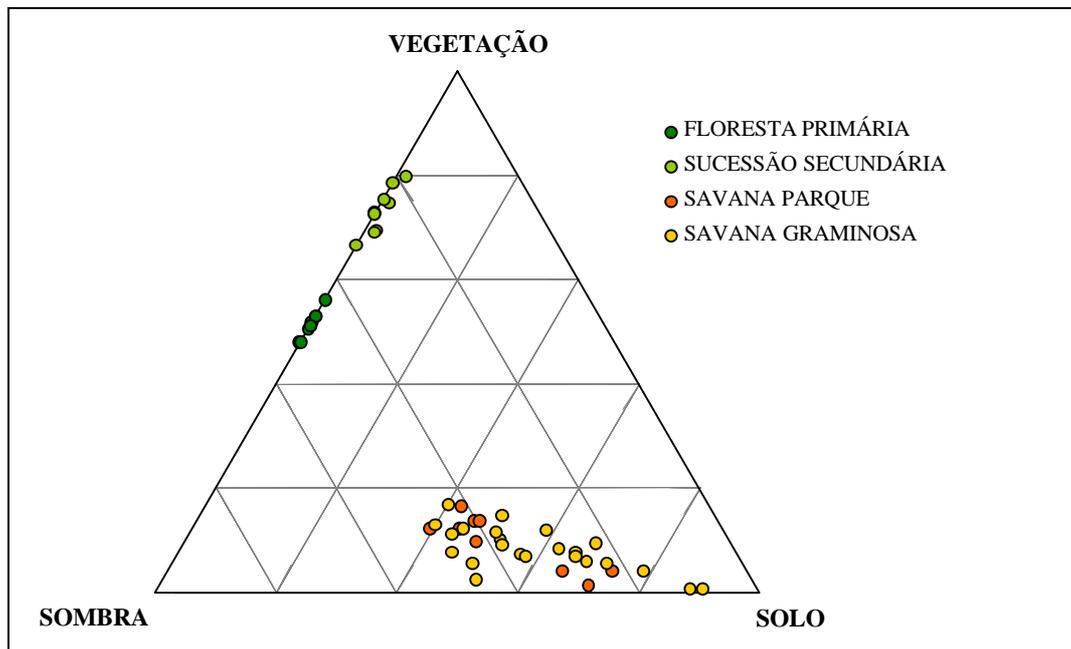


Fig. 4.9 - Diagrama ternário representando a dispersão das proporções VEG, SOL e SOM, para os pontos amostrais inventariados, de acordo com a formação vegetal.

Segundo Pires (1982), nas áreas de floresta, a seleção natural para o crescimento e para a regeneração é baseada na aptidão de captar luz, formar biomassa, cobrir e fazer sombra sobre os elementos concorrentes. As áreas de floresta primária, com indivíduos de diferentes alturas formando vários estratos, caracterizam-se pela alta porcentagem do componente vegetação e sombra, aproximadamente 50% para ambos, e um nível de exposição do solo praticamente nulo.

A floresta secundária diferencia-se da floresta primária principalmente pela menor quantidade de sombra (26%) gerada por um crescimento mais homogêneo, com indivíduos estruturalmente mais uniformes, aumentando, assim, a proporção do componente vegetação (73%), decorrente também da maior capacidade fotossintética.

Analisando a Figura 4.5, mostrada anteriormente, onde o bloco diagrama representa uma área de floresta secundária, observa-se que a cobertura formada pelas copas não é contínua, ou seja, haveria uma forte influência do componente solo para essa formação.

A alta proporção do componente vegetação sugere a influência da vegetação de sub-bosque na caracterização espectral dessa formação.

De acordo com Shimabukuro et al. (1997), o realce proporcionado pela imagem sombra entre áreas florestadas e desflorestadas se deve às diferenças na resposta espectral e na morfologia destes alvos. A floresta, devido à morfologia do dossel, forma uma superfície relativamente irregular e, conseqüentemente, apresenta mais sombra do que uma superfície desflorestada, especialmente se for uma área de solo exposto ou uma pastagem homogênea.

Nas áreas de savana, a identificação é realizada através dos baixos valores de proporção de vegetação (9%), devido à predominância de áreas com apenas material herbáceo ou arbustos esparsos e a baixa capacidade fotossintética dessa vegetação, enquanto os valores de proporção de solo somam 57%. Devido às características do estrato herbáceo, formando, ocasionalmente, uma cobertura contínua, o componente sombra também predomina nessa formação (34%), em relação ao componente vegetação.

A análise do diagrama ternário demonstra a dificuldade da separação das classes graminosa e parque nas imagens proporção, o que em muito se deve às suas características similares. A savana parque é composta por indivíduos arbustivos/arbóreos esparsos, dificultando sua caracterização em termos espectrais, considerando a resolução do sensor TM de 30 m.

4.2.2 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO AJUSTADO PARA INFLUÊNCIA DO SOLO (SAVI)

O índice de vegetação é gerado a partir da razão entre bandas, no caso do SAVI bandas 3 e 4, sendo utilizado para caracterizar a vegetação, especialmente quanto à biomassa.

Visando a comparação com outros estudos, o valor da constante “L” igual a 0.5, proposto por Huete (1988) como ideal para um grande intervalo de condições de vegetação, foi considerado, inicialmente, para as discussões nesse item, visando englobar as duas formações de interesse, floresta e savana.

Visualmente, a imagem gerada pelo modelo SAVI assemelha-se à imagem proporção de vegetação, onde são realçadas as áreas florestadas, com boa delimitação entre essas e aquelas não florestadas. Na Figura 4.10 pode-se visualizar um trecho de contato entre a floresta e a savana, na imagem SAVI, gerada com $L = 0,5$.

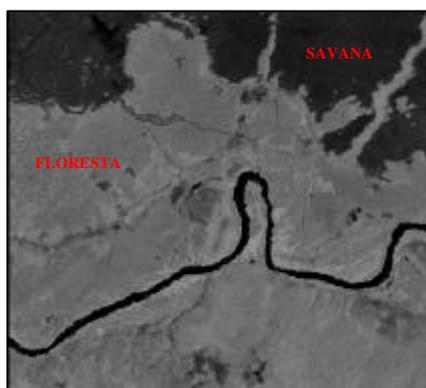


Fig. 4.10 - Secção da área de estudo, correspondente ao trecho de contato floresta/savana, na imagem SAVI ($L = 0,5$).

Na análise dos dados oriundos da imagem SAVI ($L = 0,5$) notam-se os baixos valores médios do índice para áreas de savana parque e gramíneas, 0,13, devido à pequena presença de vegetação, enquanto que para a floresta secundária esse valor é alto, 0,47. Contraditoriamente, a partir de um determinado estágio de crescimento, esses valores tendem a diminuir novamente, verificados no valor médio do índice para floresta primária, 0,36, pouco mais baixo que o de secundária, apesar da maior biomassa. Como foi observado por Bernardes (1998), em áreas florestais há um decréscimo no valor de SAVI com o aumento da biomassa.

De modo análogo às imagens proporção, o resultado encontrado deve-se à maior proporção de sombra em detrimento da proporção de vegetação na floresta primária, e também à sua menor capacidade fotossintética, ocasionando menor resposta espectral dessa vegetação primária em relação às áreas em sucessão secundária, especificamente na banda 4 no caso do SAVI.

A partir da análise da Figura 4.11 pode-se visualizar a distribuição dos valores médio, máximo e mínimo extraídos da imagem SAVI_0.5 de acordo com a formação.

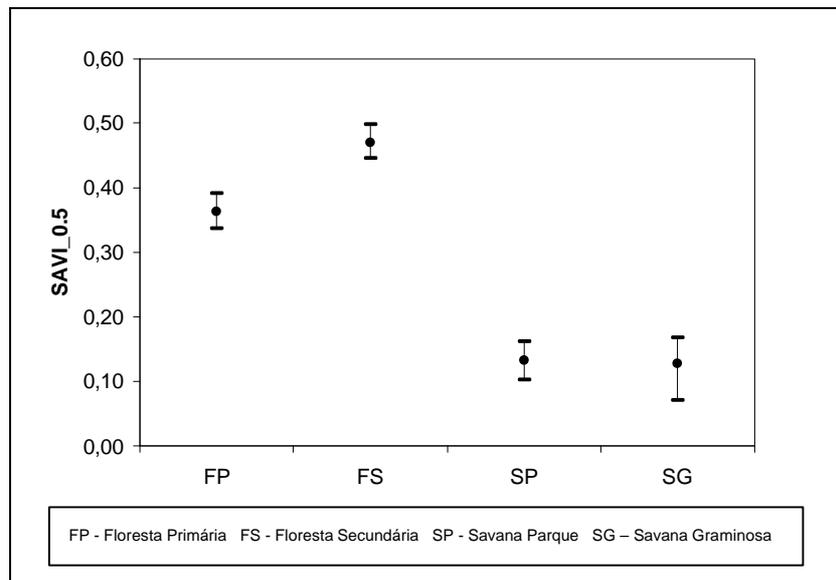


Fig 4.11 - Distribuição dos valores digitais extraídos da imagem SAVI_0.5 de acordo com a formação.

No que se refere às savanas, observa-se a impossibilidade de distinção intra-classes, sendo que os valores máximo e mínimo encontrados para a savana parque abrangem um largo intervalo, incluindo os valores encontrados para a savana gramínosa. A característica da savana parque, composta por poucos indivíduos esparsos, torna sua resposta espectral similar à da savana gramínosa neste tipo de imagem sintética.

Na formação florestal é possível a diferenciação entre floresta primária e em processo de sucessão secundária devido às diferentes respostas espectrais, decorrentes, principalmente, da maior proporção de sombra na primeira.

Bernardes (1998) considerou diferentes valores de “L” para formações florestais, sendo 0,5 para estádios inicial e intermediário de sucessão, 0,25 para estágio avançado e 0 para floresta primária. Essa diferenciação conferiu uma relação mais adequada com a cobertura vegetal, com a elevação do índice à medida em que o processo sucessional evolui, com conseqüente aumento da biomassa

Considerando aqui o valor de “L” como 0,25 para floresta primária e 0,5 para floresta secundária, os resultados apresentam o mesmo comportamento que os relatados por Bernardes (1998), sendo as médias de 0,48 e 0,47, respectivamente, muito próximas para uma diferenciação entre as classes.

Segundo Jackson et al. (1982), os resultados encontrados em trabalhos com índices de vegetação são úteis em um determinado estágio de crescimento da vegetação, para uma dada condição atmosférica. Considerando apenas a formação florestal e não florestal (savanas), o índice mostrou-se como bom discriminador, não caracterizando bem o comportamento das intra-classes em termos de biomassa. Deve-se considerar, ainda, que os diferentes valores de “L” empregados visaram caracterizar os tipos de vegetação, porém foram selecionados baseados em trabalhos anteriores.

4.2.3 SEGMENTAÇÃO

A segmentação visa a extração das classes de interesse, no caso, as formações savânicas e florestais, bem como suas respectivas intra-classes. A precisão da segmentação é função da definição adequada dos limiares, e sendo uma etapa crítica e demorada, foi realizada com base em trabalhos já efetuados em áreas similares. As segmentações foram realizadas sobre as imagens proporção e SAVI, visando a melhor discriminação das classes, para auxílio visual na classificação.

Sobre a composição formada pelas três bandas proporção, vegetação, solo e sombra, geraram-se segmentações utilizando os limiares de 8x20 e 15x20. No primeiro caso houve um superparticionamento da imagem, gerando segmentos pequenos, inclusive das classes maiores e bem definidas visualmente, como as áreas de floresta, produzindo uma imagem excessivamente particionada. Com a aplicação do limiar 15x20 as classes foram melhor delimitadas, principalmente as áreas de floresta.

Em ambas as segmentações, as sub-classes parque e graminosa da formação savânica foram mal delineadas. A partir da análise do diagrama ternário apresentado anteriormente (Figura 4.9) é possível observar a mistura existente entre essas duas classes, quando se consideram as proporções dos três componentes, sendo previsível a

dificuldade na diferenciação a partir da segmentação e, inclusive posteriormente, na classificação.

Quanto à imagem SAVI, sua segmentação foi realizada sobre a imagem gerada com fator $L=0,5$, visando permitir a análise das duas formações, floresta e savana, aplicando-se os limiares 8x10, 8x15 e 15x25. Os limiares altos englobaram classes espectrais diferentes, considerando duas classes distintas como a mesma região, gerando perda de informação. A análise das imagens 8x10 e 8x15 demonstrou pouca diferença, gerando na primeira algumas regiões na formação savânica não discriminadas na segunda.

De um modo geral, a melhor segmentação foi realizada sobre a composição formada pelas imagens proporção, vegetação, solo e sombra, empregando limiares de similaridade e área de 15x20, respectivamente, na qual as duas formações de interesse, bem como suas intra-classes, foram melhor delimitadas em relação às demais.

4.2.4 CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA

A classificação supervisionada foi realizada a partir do algoritmo MAXVER, definindo uma legenda temática em função das unidades inventariadas em campo (floresta primária, floresta secundária, savana parque e savana graminosa), além de classes de uso da terra (pasto, solo exposto, água). Adicionalmente, para melhor caracterização da área, foram adquiridas amostras de nuvem e de sombra de nuvem e de topografia

Inicialmente, a classificação foi testada sobre as imagens proporção, visando a avaliação de seu uso para o delineamento das classes de interesse. De acordo com Aguiar (1991), a utilização de bandas sintéticas no processo de classificação pode ser visto como uma maneira de reduzir a dimensão do espaço de atributos ao número de componentes primários da mistura.

Como as bandas geradas a partir do MLME são uma combinação linear uma da outra, não foi possível gerar uma classificação a partir da composição das imagens proporção utilizando todas as classes citadas. O espaço de atributos relativo às classes gerou uma

confusão, impedindo o próprio processamento da classificação. Testou-se, ainda, uma classificação duas a duas das imagens proporção, o que não acarretou diferença.

No MLME, um dos componentes selecionado como primário foi relativo à sombra da topografia, no caso, englobando as áreas de água pela similaridade da resposta espectral, acarretando a dificuldade de separação entre esses dois alvos.

No diagrama ternário, apresentado anteriormente na Figura 4.9, visualiza-se a mistura de proporções na caracterização das classes de savana parque e gramínea devido às suas similaridades estruturais, o que em termos espectrais impossibilitou a diferenciação entre essas classes nessa classificação.

Testou-se uma segunda classificação sobre essa composição, onde foram eliminadas as classes sombra e nuvem e, ainda, englobadas numa mesma classe as savanas parque e gramínea. Essa classificação possibilitou uma boa discriminação entre as formações florestal e savânica, e ainda, entre as classes de floresta primária e em sucessão secundária.

A classificação empregando a imagem SAVI foi testada em uma composição dessa (com “L” = 0,5 para análise das duas formações) com a imagem SOMBRA (indicada para a discriminação entre regiões florestadas e não florestadas), utilizando as mesmas amostras da classificação das imagens proporção, ou seja, sem amostras de nuvens e sombra, além da junção das savanas parque e gramínea.

Com o objetivo de avaliar o resultado encontrado nessas classificações, testou-se a classificação da imagem TM/Landsat, composição formada pelas bandas 3, 4 e 5. Na imagem TM, as respostas foram mais diferenciadas, sendo possível a diferenciação espectral entre sombra e água, por exemplo. Testou-se a classificação considerando todas as amostras (caso 1) e uma segunda classificação empregando as mesmas amostras utilizadas na classificação das imagens proporção e SAVI (caso 2).

A avaliação das classificações foi realizada a partir da matriz de confusão gerada em função de cada classificação utilizando amostras testes, considerando ainda o

conhecimento de campo para análise do mapa final. Os resultados encontrados foram comparados empregando a estatística *Kappa*, com base nos valores relatados por Landis e Kock (1977), apresentados na Tabela 2.3 do Capítulo 2.

Na Tabela 4.8 são apresentados os resultados do coeficiente *Kappa* obtidos em cada caso, utilizando-se limiares de aceitação de 95 e 99% para a classificação.

TABELA 4.8 - DESEMPENHO DA CLASSIFICAÇÃO MAXVER

IMAGENS	COEFICIENTE <i>KAPPA</i>	
	95 %	99 %
PROPORÇÃO	0,94	0,94
SAVI + SOMBRA	0,97	0,97
TM (caso 1)	0,87	0,87
TM (caso 2)	0,94	0,95

A análise da tabela demonstra que, em todos os casos, o índice *kappa* foi significativo, sendo indiferente o limiar de aceitação empregado.

A classificação a partir das imagens originais TM obteve o menor coeficiente *kappa*, porém, considerando que essa composição possibilitou a diferenciação entre as classes de savana parque e savana gramínea, o que não ocorreu nos outros casos, selecionou-se a composição formada pelas bandas 3, 4 e 5 do TM/Landsat para a geração do mapa temático dos tipos fisionômicos da cobertura vegetal, associados a valores de biomassa (Figura 4.12).

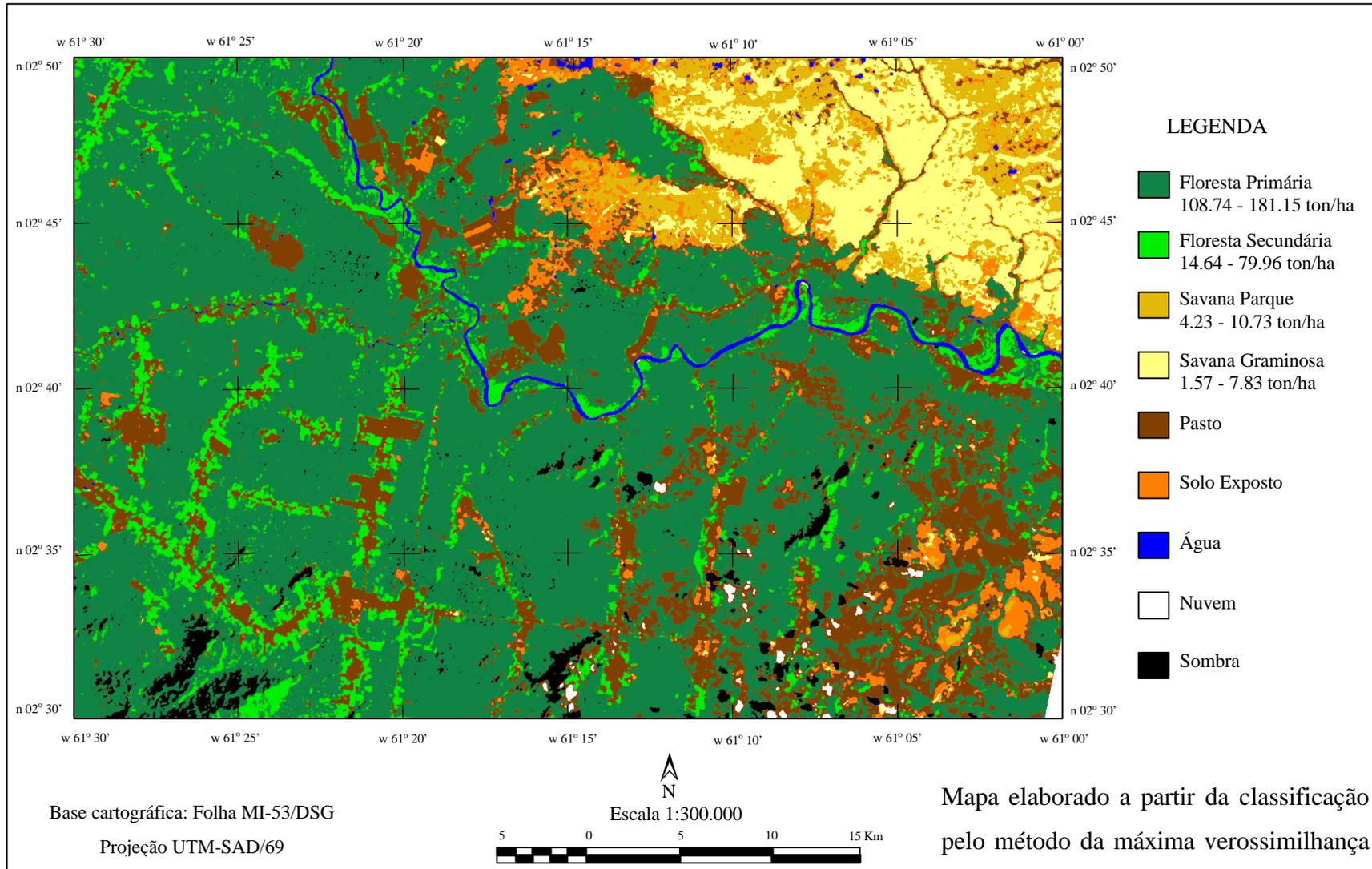


Fig 4.12 – Mapa temático da cobertura vegetal.

A análise da matriz de confusão referente à classificação com as três bandas TM/Landsat (Tabela 4.9) mostra que a grande dificuldade de discriminação das classes refere-se às savanas parque e graminosa, ocorrendo confusão entre ambas.

TABELA 4.9 – MATRIZ DE CONFUSÃO

Classes*	SP	SG	SE	NV	SB	FS	P	FP	A
SP	20	12	4	0	0	0	0	0	0
SG	2	18	0	0	0	0	0	0	0
SE	8	0	35	0	0	0	0	0	0
NV	0	0	0	66	0	0	0	0	0
SB	0	0	0	0	63	0	0	0	0
FS	0	0	0	0	0	77	4	1	0
P	0	0	0	0	0	3	37	0	0
FP	0	0	0	0	0	0	0	45	0
A	0	0	0	0	13	0	0	0	22
Total	30	30	39	66	76	80	41	46	22

* SP – Savana Parque; SG – Savana Graminosa; SE – Solo Exposto; NV – Nuvem; SB – Sombra; FS – Floresta Secundária; P – Pasto; FP – Floresta Primária; A – Água.

As classes de floresta, primária e secundária, são bem discriminadas das demais, inclusive das savanas e classes de uso do solo. Esse resultado já era esperado considerando a Figura 4.7, onde observa-se a diferença da resposta espectral dos componentes vegetação e solo, especialmente na banda 4.

As matrizes de confusão, referentes às demais classificações geradas, podem ser encontradas no Apêndice E.

4.2.5 ANÁLISE DOS COEFICIENTES DE RETROESPALHAMENTO EM IMAGEM JERS-1

Nos resultados encontrados nesse estudo observa-se a influência da biomassa com o decréscimo no sinal de radar, de acordo com a formação, estando esses valores entre -7,95 e -7,17 dB para floresta primária, -8,57 e -8,04 dB para floresta secundária e -14,86 e -11,90 dB para áreas de savana (Figura 4.13), valores coerentes com o que tem sido reportado para imagens JERS-1. Para Hashimoto et al. (1997), as florestas densas

são caracterizadas por valores altos de σ^0 , enquanto as florestas abertas, savanas e pastos são caracterizadas por baixos valores de σ^0 . Esse coeficiente, como função da estrutura, tende a aumentar com a consolidação da superfície vegetal (Imhoff, 1995a).

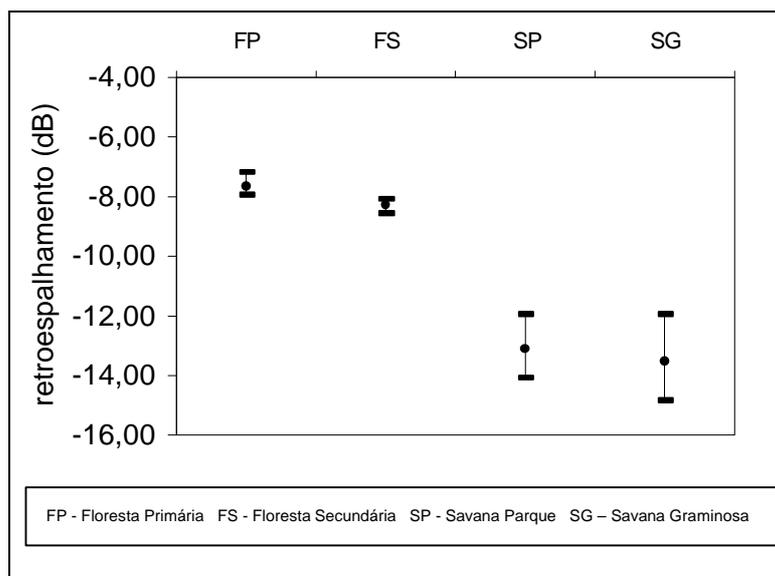


Fig 4.13 - Intervalos de valores de retroespalhamento correspondentes às comunidades vegetais analisadas.

Como pode ser observado no gráfico, os intervalos entre os valores de retroespalhamento máximo e mínimo permitem, principalmente, a separação das áreas florestadas daquelas de não floresta, de modo similar ao gráfico referente ao índice SAVI.

Nas áreas florestadas é possível a diferenciação entre a floresta primária, com valor médio de -7.62 dB, e em processo de sucessão secundária, valor médio de -8.27 dB, devido às diferenças estruturais entre as classes. Em Hernandez Filho et al. (1997), os valores médios de retroespalhamento não possibilitaram a distinção entre as classes florestais, incluindo regeneração jovem. Aqui, essa separação seria dificultada se fossem consideradas regenerações mais avançadas, onde a cobertura das copas, mais fechada, assemelha-se a de floresta primária.

Os dados de floresta primária apresentam-se em conformidade com os já relatados em Hashimoto et al. (1997), para a vegetação próxima de Ji-Paraná, em Rondônia, e Santos et al. (1998c), em trabalho na área de influência entre o Rio Branco e o projeto de colonização Humaitá, no Acre, estando entre -7 a -6 dB.

Nas áreas em processo de sucessão secundária, ocorre uma variação maior; para Santos et al. (1998c) essas áreas (<5 anos) são caracterizadas por valores de σ^0 entre -10,4 a -9,61 dB, sendo que, com o avanço da regeneração (5 a 15 anos), os valores oscilam entre -8,31 a -7,8 dB.

Para Salas e Skole (1998), há uma tendência geral de aumento do σ^0 com a idade de regeneração, existindo, porém, diferenças significativas dentro das classes de pasto e de sucessão com diferentes idades.

As amplitudes encontradas nos valores de retroespalhamento em áreas de regeneração podem estar relacionadas aos diferentes tipos de manejos da área e, especificamente no caso de Roraima, com a frequência de queima.

No caso de uma diferenciação da savana parque e gramínea, a distinção é dificultada pela similaridade entre as classes, acarretando valores médios próximos, -13.53 dB para a primeira e -13.13 dB para a segunda. Em estudo nas áreas de contato floresta/savana de Roraima, Santos et al. (1998b) apresentou valores referentes às formações savânicas entre -15 a -9 dB; para Hess et al. (1998) esses valores foram de -15 a -13 dB.

4.3 INTEGRAÇÃO DE DADOS

A integração dos dados foi realizada empregando-se modelos estatísticos, a fim de avaliar a relação existente entre os dados de campo e os dados sensoriados, sendo realizada separadamente para floresta e savana.

4.3.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS MODELOS DE REGRESSÃO

Na análise de regressão considerou-se como variável dependente a biomassa e como variáveis independentes os valores de proporção – vegetação (VEG), solo (SOL) e

sombra (SOM), valores da imagem SAVI (L = 0,25, 0,5 e 1,0), valores de retroespalhamento da imagem JERS-1 e, adicionalmente, valores de reflectância das bandas 3 (TM3), 4 (TM4) e 5 (TM5) da imagem TM/Landsat, para efeito de comparação com os dados obtidos das imagens processadas.

A análise dos gráficos de dispersão para as amostras de floresta, incluídas as florestas primárias e em processo de sucessão secundária, mostrou que, em alguns casos, a relação entre biomassa e a variável independente poderia não ser linear. Analisou-se, então, o comportamento das variáveis independentes com a biomassa a partir das funções linear e exponencial, definidas no Capítulo 3.

A matriz de correlação (Tabela 4.10) relacionando as variáveis independentes com as variáveis biomassa (função linear) e logaritmo da biomassa (função exponencial) possibilitou determinar o grau de dependência linear entre elas. A análise indicou a proximidade desses coeficientes tanto para a variável biomassa quanto para o logaritmo dessa, sendo os da primeira, em geral, mais elevados. Baseados nestes valores de correlação, decidiu-se por utilizar para a continuação da análise a variável biomassa, empregando a função linear.

TABELA 4.10 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (ÁREAS DE FLORESTA)

		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
JERS	(1)	1										
TM5	(2)	-0,79	1									
TM4	(3)	-0,76	0,94	1								
TM3	(4)	-0,68	0,79	0,69	1							
VEG	(5)	-0,77	0,95	1,00	0,71	1						
SOL	(6)	-0,57	0,69	0,46	0,70	0,48	1					
SOM	(7)	0,78	-0,97	-1,00	-0,73	-1,00	-0,53	1				
SAVI_0.25	(8)	-0,74	0,92	0,99	0,63	0,99	0,43	-0,99	1			
SAVI_0.5	(9)	-0,75	0,93	1,00	0,65	0,99	0,44	-0,99	1,00	1		
BIOMASSA	(10)	0,75	-0,84	-0,88	-0,66	-0,88	-0,47	0,88	-0,88	-0,88	1	
LOG BIOM.	(11)	0,69	-0,81	-0,83	-0,72	-0,83	-0,49	0,84	-0,83	-0,83	0,95	1

A análise da matriz de correlação mostrou ainda a alta correlação entre algumas das variáveis independentes devido, principalmente, ao fato das imagens SAVI's serem geradas a partir das bandas 3 e 4 do TM e das imagens proporção serem derivadas de todas as bandas do TM.

A análise da regressão múltipla foi realizada na tentativa de melhor explicar o modelo através da introdução de mais variáveis, visando obter maior confiabilidade nos valores estimados. Porém, a inclusão de variáveis altamente correlacionadas entre si torna-se redundante, não adicionando informações ao modelo, e tendo como desvantagem a instabilidade dos coeficientes de regressão (Neter e Wasserman, 1974).

Como as variáveis VEG, SOM, SAVI_0.5, SAVI_0.25, TM4 e TM5 são altamente correlacionadas ($r \geq 0.92$), ou seja, qualquer uma dessas variáveis poderia ser empregada no modelo, optou-se pela seleção da variável TM4 por ser uma banda original, não necessitando de processamento para geração de banda sintética, e ter maior correlação com a biomassa.

Uma regressão múltipla foi aplicada empregando as variáveis JERS, SOL, TM4 e TM3. Obteve-se apenas o coeficiente do TM4 como estatisticamente significativo ($t^* = -3.289$) a 95% de confiança.

Para avaliar se as variáveis JERS, SOL e TM3 poderiam ser todas desconsideradas no modelo, efetuou-se o teste de hipótese (Neter e Wasserman, 1974):

$$H_0: \beta_{\text{JERS}} = \beta_{\text{SOL}} = \beta_{\text{TM3}} = 0$$

H_1 : pelo menos um deles é diferente de zero.

A hipótese H_0 foi aceita ao nível de confiança de 95%.

Essa análise foi confirmada pela regressão de *Stepwise*, onde apenas a variável TM4 foi incluída no modelo. Foi efetuada, ainda, a análise de resíduos do modelo final e os mesmos mostraram-se, aparentemente, normalmente distribuídos, com média zero e variância constante.

Portanto, a análise dos resultados para as amostras de floresta primária e secundária permitiu a seleção da imagem TM4 para explicar a biomassa dessa formação e, considerando os dados apresentados, esta poderia ser substituída no modelo por uma das variáveis: VEG, SOM, SAVI_0.5, SAVI_0.25 e TM5, uma vez que o teste de igualdade [$r^2_{TM4} = r^2_{VEG} = r^2_{SOM} = r^2_{SAVI_0.5} = r^2_{SAVI_0.25} = r^2_{TM5}$] (Sokal e Rohlf, 1969) foi aceito a 95% de confiança.

Em Xaud M. (1998), os dados de biomassa florestal foram melhor explicados pelo modelo que utiliza somente a variável sombra, sendo as amostras dessa formação compostas, predominantemente, por floresta primária, que possui maior proporção de sombra em relação àquela em sucessão secundária.

A análise efetuada aqui demonstrou ainda que a inclusão de outra variável, através da regressão múltipla, não melhora o modelo. Porém, os resultados demonstraram que, se não houver disponibilidade da imagem TM/Landsat, a imagem JERS-1 pode ser utilizada para esse fim, porém com um coeficiente de correlação menor (0,75).

A Tabela 4.11 mostra os parâmetros do modelo ajustado com os valores da imagem TM/Landsat, banda 4, e com o retroespalhamento do JERS-1, assim como o coeficiente de correlação (r) e o valor F.

TABELA 4.11 - PARÂMETROS DO MODELO DE REGRESSÃO APLICADO ÀS IMAGENS TM/LANDSAT (BANDA 4) E JERS-1, EM ÁREAS DE FLORESTA

Parâmetros	$y = a + bx_1$	$y = a + bx_1$
x_1	TM4	JERS
a	335,0325 (t = 10,34154*)	760,5848 (t = 5,103755*)
b	-1125,65 (t = -7,83874*)	85,33583 (t = 4,575495*)
r	-0.88503669	0.75286674
F	61.446*	20.935*

* valor significativo a 95 %

Na Figura 4.14 pode-se visualizar, para áreas de floresta primária e em processo de sucessão secundária, o padrão de distribuição dos valores digitais, em função da biomassa, nas imagens banda 4 do TM/Landsat e JERS-1.

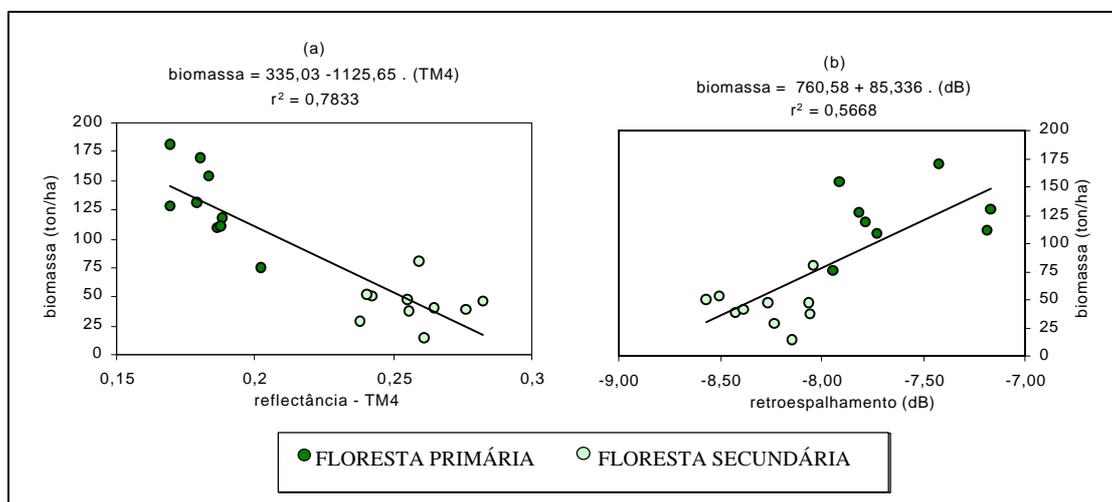


Fig 4.14 - Gráficos de dispersão relacionando biomassa com: (a) valores de reflectância na banda 4 do TM/Landsat e (b) retroespalhamento - σ^0 , em áreas de floresta.

Na Figura 4.14a, observa-se uma correlação negativa entre a biomassa e os valores de reflectância na banda 4 do TM/Landsat, ou seja, quanto maior a biomassa em formação florestal, menores são esses valores. Na banda 4 a reflectância das áreas de sucessão secundária é maior devido a menor proporção de sombra, com a cobertura das copas mais uniforme, em relação à floresta primária. Essa figura possibilita, ainda, a caracterização das duas classes em termos de valores de reflectância, estando a floresta primária entre 0,17 e 0,20 e as áreas secundárias entre 0,24 e 0,28.

Na Figura 4.14b, a correlação entre os valores de biomassa e coeficiente de retroespalhamento da imagem JERS-1 é positiva, com o aumento deste na direção de sucessão secundária para floresta primária. A maior biomassa nas formações primárias acarreta esse aumento no sinal de retorno de radar.

A análise desses dois gráficos permite supor a utilidade da integração de informações oriundas dos dois sensores, ou seja, utilizar esse comportamento oposto entre os valores digitais e biomassa para melhor discriminar as classes florestais.

No caso da formação savânica, incluídas as savanas parque e graminosa, a análise de regressão foi realizada, inicialmente, utilizando-se 21 amostras, apesar do total de 32 pontos inventariados nessa formação, devido a imagem JERS-1 não cobrir trecho da área de estudo.

A análise foi realizada empregando-se a função linear, que melhor adequou-se aos dados, apesar dos baixos valores dos coeficientes de correlação.

Através da análise dos coeficientes de correlação (Tabela 4.12), observou-se que: as variáveis SAVI's eram altamente correlacionadas entre si e com VEG, as variáveis SOL e SOM eram altamente correlacionadas entre si e com as TM's, e que as 3 bandas TM eram altamente correlacionadas. Desta forma, optou-se por efetuar a análise de regressão somente com as variáveis JERS, VEG e TM3.

TABELA 4.12 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (ÁREAS DE SAVANA)

		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
JERS	(1)	1									
TM5	(2)	-0,43	1								
TM4	(3)	-0,57	0,88	1							
TM3	(4)	-0,47	0,91	0,90	1						
SAVI_1	(5)	0,05	-0,47	-0,25	-0,64	1					
SAVI_0.5	(6)	0,08	-0,58	-0,36	-0,72	0,98	1				
VEG	(7)	0,12	-0,77	-0,49	-0,78	0,88	0,92	1			
SOL	(8)	-0,42	0,98	0,88	0,97	-0,60	-0,70	-0,84	1		
SOM	(9)	0,50	-0,98	-0,96	-0,95	0,44	0,54	0,69	-0,98	1	
BIOMASSA	(10)	0,35	-0,48	-0,44	-0,48	0,23	0,28	0,36	-0,47	0,48	1

A análise da regressão múltipla utilizando as variáveis JERS, VEG e TM3 mostraram que os coeficientes individuais não são significativos, embora exista regressão (F significativo a 95%), devido à correlação entre as variáveis.

Como a variável TM3 apresentou a maior correlação com a biomassa, efetuou-se um teste de hipótese para verificar se as variáveis JERS e VEG poderiam ser retiradas simultaneamente do modelo, onde:

$$H_0: \beta_{\text{JERS}} = \beta_{\text{veg}} = 0,$$

sendo o teste aceito ao nível de 95 % de confiança.

Como só a variável TM3 foi selecionada, também pela regressão de *Stepwise*, realizou-se a regressão com 32 observações. A análise de regressão, não considerando os valores de JERS, levou à escolha da TM5, mas como o teste de igualdade [$r^2_{\text{TM5}} = r^2_{\text{TM3}} = r^2_{\text{TM4}} = r^2_{\text{sombra}} = r^2_{\text{solo}}$] (Sokal e Rohlf, 1969) foi aceito a 95% de confiança, qualquer uma dessas variáveis poderia ser usada para explicar a biomassa.

Na análise de resíduos do modelo final, os dados mostraram-se, aparentemente, normalmente distribuídos, com média zero e variância constante.

Novamente a regressão múltipla, com a inclusão de mais variáveis, não adicionou informações ao modelo.

Xaud M. (1998) encontrou como melhor variável para explicar a biomassa de formação savânica o valor de retroespalhamento do JERS-1; deve-se considerar que as amostras incluíam a savana arbórea, o que poderia acarretar maior biomassa e, possivelmente, maior correlação com os dados de radar.

No caso da utilização da imagem JERS-1, apenas, a baixa correlação demonstra que dificilmente esse sensor poderia explicar a biomassa da formação de savana gramínea e parque, como também a imagem TM, devido aos baixos valores do coeficiente de correlação. Um indicativo disso poderia ser uma estrutura gramíneo-lenhosa mais rala, com menor capacidade fotossintética do tapete herbáceo-arbustivo e considerável exposição do solo, fatores que, integrados, consubstanciarão esta resposta pouco significativa dos sensores.

A Tabela 4.13 mostra os parâmetros do modelo ajustado com os valores da imagem TM/Landsat, banda 5 (32 amostras), e com o retroespalhamento do JERS-1 (21 amostras).

TABELA 4.13 - PARÂMETROS DO MODELO DE REGRESSÃO APLICADO ÀS IMAGENS TM/LANDSAT (BANDA 3) E JERS-1, EM ÁREAS DE SAVANA

Parâmetros	$y = a + bx_1$	$y = a + bx_1$
x_1	TM5	JERS
a	12,6053 (t = 4,89150*)	16,71202 (t = 2,408175*)
b	-32,5663 (t = -2,87493*)	0,834746 (t = 1,61455)
r	-0.4757569	0.34734140
F	8.2652*	2.6068

significativo a 95 %

Na Figura 4.15 são apresentadas as curvas de regressão entre biomassa e os valores de reflectância na banda 5 do TM/Landsat e valores de retroespalhamento da imagem JERS-1.

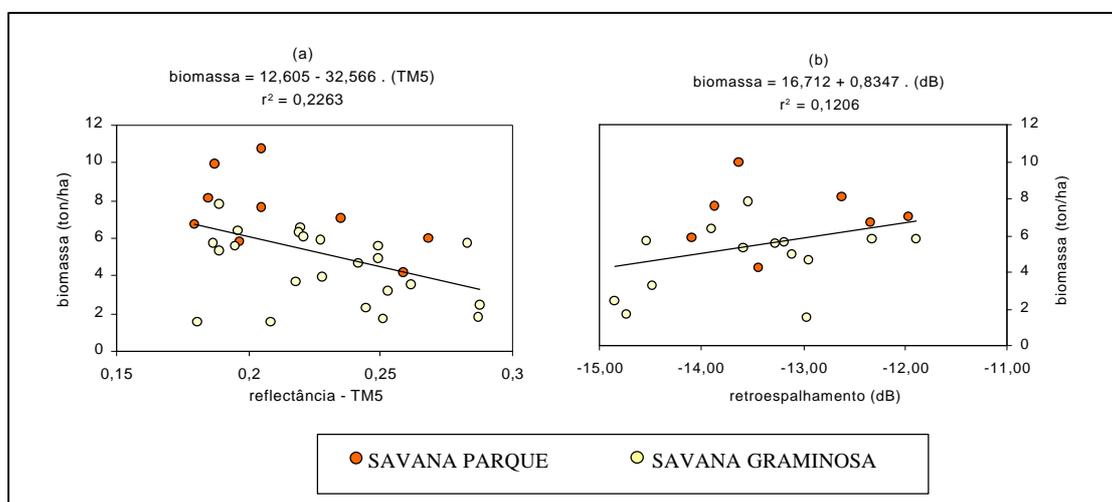


Fig 4.15 - Gráficos de dispersão relacionando biomassa com: (a) valores de reflectância na banda 5 do TM/Landsat e (b) retroespalhamento - σ^0 , em áreas de savana.

Em ambas as relações entre a biomassa e as imagens TM e JERS-1 (Figura 4.15a e 4.15b) não é possível diferenciar quantitativamente as áreas de savana parque e gramínea, devido à similaridade estrutural entre as duas classes.

Na Figura 4.15a, a correlação entre a biomassa e a reflectância é negativa, ao contrário da relação com o retroespalhamento, positiva (Figura 4.15b). Porém, devido aos baixos valores de correlação, não se aconselha o emprego das imagens analisadas para explicar a biomassa de formações savânicas.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com a finalidade de avaliar a utilização de dados orbitais ópticos e de microondas na caracterização da cobertura vegetal e biomassa em áreas de contato floresta/savana, o trabalho empregou técnicas de processamento digital na imagem TM/Landsat, além da análise dos coeficientes de retroespalhamento da imagem JERS-1, buscando uma relação entre esses dados sensoriados e dados de campo. Neste capítulo são apresentadas as conclusões obtidas nas diversas etapas do projeto, seguidas de algumas recomendações para o prosseguimento do trabalho.

A abordagem empregando o Modelo Linear de Mistura Espectral mostrou-se adequada na discriminação das formações florestais e savânicas, sendo que os valores obtidos das imagens proporcionaram a caracterização das classes em termos de porcentagem dos componentes, relacionados à densidade de biomassa. A imagem sintética gerada com a aplicação do índice de vegetação SAVI também possibilitou a diferenciação entre as formações, porém mostra certa dificuldade na análise dos dados e sua relação com a biomassa devido, principalmente, às características estruturais e de adensamento do dossel florestal. Ambas as técnicas de processamento não apresentaram um significativo desempenho na discriminação das intra-classes da formação savânica, demonstrado posteriormente no processo de classificação supervisionada, em que a diferenciação foi realizada a partir das bandas originais do TM/Landsat.

A análise dos coeficientes de retroespalhamento demonstraram a influência da biomassa no sinal de radar, havendo um decréscimo na direção de floresta para savana. Nas áreas de savana, a similaridade estrutural acarretou uma dificuldade na caracterização das classes, sendo que a ocorrência de indivíduos arbustivos/arbóreos na savana parque não influenciou no sinal de radar, não ocorrendo aumento do coeficiente de retroespalhamento como, teoricamente, haveria em função do aumento da biomassa.

A integração de dados visando a análise estatística da relação entre a biomassa e os dados sensoriados demonstrou que a utilização de regressão múltipla, incluindo dados

dos dois sensores, não acarreta melhora significativa no modelo. Na regressão simples, para áreas de floresta, a variável referente aos valores digitais na banda 4 do TM/Landsat foi a mais adequada para explicar o comportamento da biomassa, podendo ainda ser substituída pela banda 5, imagem vegetação, imagem sombra, ou mesmo as imagens SAVI ($L = 0.25$ e 0.5). Para áreas de savana, a baixa correlação encontrada demonstrou que as imagens analisadas não são indicadas para caracterizar a variação nos valores de biomassa. Quanto à imagem JERS-1, sua utilização individual para o estudo específico de formações florestais resulta numa correlação menor, porém satisfatória, entre os coeficientes de retroespalhamento e de biomassa; para as savanas, a baixa correlação invalida o uso dos modelos estudados para análise da biomassa.

Assim, considerando que o presente trabalho é parte de uma contínua linha de pesquisa, sugere-se a realização de inventários em mais pontos amostrais, para a formação de um banco de dados que possa representar as variabilidades encontradas intra-classes, inclusive em áreas de contato floresta/savana.

Para a análise de imagens, recomenda-se a realização de um estudo temporal, considerando a influência das épocas úmida e seca na dinâmica do comportamento espectro-textural nas diferentes fácies de cobertura vegetal, além da inclusão de mais um componente no MLME, como material vegetal não fotossinteticamente ativo (material palha), ou dados gerados de levantamentos dos tipos de solo, na tentativa de inferir algum fator adicional para a discriminação das diferentes classes, especialmente de savanas.

Outro ponto sugerido é verificar o desempenho da classificação gerada em uma abordagem que integre a imagem JERS-1 e TM/Landsat, com o desenvolvimento de um classificador que considere as distintas características espectro-texturais e de distribuição de sinais destes dois sensores.

O avanço na disponibilização de novos sensores sugere a utilização de dados de radar na banda P, com maior capacidade de penetração, objetivando diminuir o efeito da saturação em função da alta biomassa encontrada nas florestas tropicais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achard, F.; Eva, H.; Glinni, A.; Mayaux, P.; Richards, T.; Stibig, H.J. **Identification of deforestation hot spot areas in the humid tropics**. Luxemburgo: ECSC-EC-EAEC, 1998. 99 p. (TREES Publications Series B. Research Report, n.4).
- 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**. São José dos Campos. 202p. (INPE-5306-TDI/456). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1991.
- Beall, A.D.; Lewis, A.J. Detecting and mapping flotan using Synthetic Aperture Radar data. [CD-ROM]. In: International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 21. Seattle, 1998. **Proceedings**. Piscataway: IEEE, 1998. Coastal environments.
- Bentz, C.R. **Avaliação da transformação radiométrica dos dados TM/Landsat-5 em reflectâncias**. São José dos Campos. 172 p. (INPE-5210-TDL/431). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1990.
- 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**. São José dos Campos. 86 p. (INPE-6890-TDI/651). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1998.
- Brown, S.; Lugo, A.E. Tropical secondary forests. **Journal of Tropical Ecology**, v. 6, n. 1, p. 1-32, Fev. 1990.
- Brown, S.; Gillespie, A.J.R.; Lugo, A.E. Biomass estimation methods for tropical forest with applications to forest inventory data. **Forest Science**, v. 35, n. 4, p. 881-902, 1989.

- Buiten, H.J. Specifications of some microwave satellite systems and nomenclature of radar frequency bands. In: Buiten, H.J.; Clevers, J.G.P.W. **Land observation by remote sensing - theory and application**. Amsterdam: Gordon and Breach Science Publishers, 1993. p. 539-551. (Current Topics in Remote Sensing, v.3).
- Chantanaroj, A.; Otsuka, K.; Katsuta, K. **Differences of SAR image between JERS-1 and ERS-1 to land use/land cover investigation**. [on line].
<<http://www.star.ait.ac.th/acrors/diff.html>>. Dec. 1998.
- Chavez, P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v.24, n. 3, p. 459-479, Apr. 1988.
- Chen, S.C.; Godoy Junior, M.; Herz, R. **Correção atmosférica através do método de subtração - aplicabilidade para analisar imagens da Região Amazônica**. São José dos Campos: INPE, 1995. 12 p. (INPE-5622-NCT/316).
- Chipman, J.W. Comparison of TM, ERS-1, and SIR-C Data for forest type mapping in the Lake States. In: ACSM/ASPRS - Annual Convention & Exposition, Seattle, Washington, 1997. **Technical Papers**. Bethesda: ASPRS, 1997. v. 3, p. 517-526.
- Chuvienco, E. **Fundamentos de teledetección espacial**. Madrid: Ediciones Rialp, 1990. 453 p.
- Congalton, R.G.; Oderwald, R.G.; Mead, R.A. Assessing Landsat classification accuracy using discrete multivariate analysis statistical techniques. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 49, n. 12, p. 1671-1678, Dec. 1983.
- Colwell, J.E. Vegetation canopy reflectance. **Remote Sensing of Environment**, v. 3, n. 3, p. 175-183, 1974.
- Crósta, A.P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: UNICAMP, 1992. 170 p.

- Crutzen, P.J.; Andreae, M.O. Biomass burning in the tropics: impacts on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles. **Science**. v. 250, n. 4951, p. 1669-1678. 1990.
- Dale, V.H.; Pedlowski, M.A.; O'Neill, R.V.O.; Southworth, F. Alternativas para a Amazônia. **Ciência Hoje**, v. 16, n. 993, p. 61-64, ago. 1993.
- Dantas, M.; Rodrigues, J.A. **Estudos fitoecológicos do trópico úmido brasileiro: IV – Levantamentos botânicos em campos do Rio Branco**. Belém: EMBRAPA/CPATU, 1982. 31p. (Boletim de Pesquisa, n.40).
- Elachi, C. **Introduction to the physics and techniques of remote sensing**. Pasadena: John Wiley, 1987. 413 p.
- Epiphânio, J.C.N.; Formaggio, A.R. Abordagem do uso de número digital e de reflectância em sensoriamento remoto com dados de satélites. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 5., Natal, 1988. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1988. v. 2, p. 400-405.
- Epiphânio, J.C.N.; Huete, A.R. Dependence of NDVI and SAVI on sun/sensor geometry and its effect on fAPAR relationship in alfafa. **Remote Sensing of Environment**, v.51, n. 3, p.351-360, Mar. 1995.
- Epiphânio, J.C.N.; Almeida Jr., A.C.; Formaggio, A.R. Wheat development evaluated by remote sensing using two vegetation indices. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 69, n. 4, p. 471-478, dez. 1997.
- Erthal, G.J.; Frery, A.C. Segmentação de imagens multiespectrais pelo algoritmo ICM: integração ao ambiente SPRING. In: Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens-SIBGRAP, 6., Recife, 1993. **Comunicações**. Recife: SBC/UFPe, 1993. p. 33-36.
- Foody, G.M. On the compensation for change agreement in image classification accuracy assessment. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 58, n. 10, p. 1459-1460, Oct. 1992.

- 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.
- Freeman, P. H., and R. Fox. **Satellite mapping of tropical forest cover and deforestation: A review with recommendations for USAID**. [on line]. <<http://www.ciesin.org/docs/005-325/005-325.html>>. Feb. 1999.
- Frery, A.C.; Sant'Anna, S.J.S. Redução de ruído em imagens SAR pelo uso de filtros robustos. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7., Curitiba, 1993. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1993. v. 3, p. 433-442.
- Fundação do Meio Ambiente e Tecnologia de Roraima (AMBTEC). **Roraima - O Brasil do Hemisfério Norte: diagnóstico científico e tecnológico para o desenvolvimento**. Roraima, 1994. 512 p.
- Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 1992. 92 p. (Manuais Técnicos em Geociências, 1).
- Gausman, H.W. Plant leaf optical properties in visible and near-infrared light. Lubbock Texas: Texas Tech. University, 1985. 78 p. (Graduate Studies, n. 29).
- Goel, N.S. Models of vegetation canopy reflectance and their use in estimation of biophysical parameters from reflectance data. **Remote Sensing Reviews**, v. 4, n. 1, p.1-212, 1988.
- Goel, N.S.; Strebel, D.E. Simple beta distribution representation of leaf orientation in vegetation canopies. **Agronomy Journal**, v. 76, p. 800-802, Sep./Oct. 1984.
- Guyot, G.; Guyon, D.; Riom, J. Factor affecting the spectral response of forest canopies: a review. **Geocarto International**, v. 4, n. 3, p. 3-18, Sep. 1989.

- Hashimoto, Y.; Tsuchiya, K.; Iijima, T. Normalized backscattering radar cross section of tropical rain forest in Rondonia, Northern Brazil. **Advances in Space Research**, v. 19, n. 9, p. 1425-1428, 1997. (Cospar Information Bulletin).
- Hernandez Filho, P.; Dutra, L.V.; Kuntschik, G.; Soares, S.M. **Processamento e análise de dados JERS com ênfase em floresta e uso da terra: Floresta Nacional do Tapajós**. São José dos Campos: INPE, 1997. 28 p. (INPE-6387-RPQ/678).
- Hess, L.L.; Novo, E.M.L.M.; Valeriano, D.M.; Holt, J.W.; Melack, J.M. Large-scale vegetation features on the Amazon basin visible on the JERS-1 low-water Amazon mosaic. [CD-ROM]. In: International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 21. Seattle, 1998. **Proceedings**. Piscataway: IEEE, 1998. Geophysical and environmental applications.
- Higuchi, N.; Santos, J.; Jardim, F.C.S. Tamanho de parcela amostral para inventários florestais. **Acta Amazônica**, v. 12, n. 1, p. 91-103, mar. 1982.
- Hudson, N.D.; Ramm, C.W. Correct formulation of the kappa coefficient of agreement. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 53, n. 4, p. 421-422, Apr. 1987.
- Huete, A.R. A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, n. 3, p. 295-309, Aug. 1988.
- Huete, A.R. Extension of soil spectra to the satellite: atmosphere, geometric, and sensor considerations. **Photo-Interpretation**, v. 2, p. 101-114, Oct. 1996.
- Ii, F.A.M.; Griffiths, G.H. The integrated use of optical and radar images for mapping the regeneration of secondary forest in the Brazilian Amazon. In: Donoghue, D.N.M.; Zong, Y. comp. **Remote Sensing Science and Industry (RSS96)**, Nottingham: Remote Sensing Society, 1996. p. 468-473.
- Imagem Geosistemas e Comércio (Imagem). **SITIM: Sistema de Tratamento de Imagem**: manual de referência. São José dos Campos, 1993.

Imhoff, M.L. A theoretical analysis of the effect of forest structure on synthetic aperture radar backscatter and the remote sensing of biomass. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 33, n. 2, p. 341-352, Mar. 1995a.

Imhoff, M.L. Radar backscatter and biomass saturation: ramifications for global biomass inventory. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 33, n. 2, p. 511-518, Mar. 1995b.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). **Roraima – Avaliação de impacto ambiental**. IBAMA, 1998. 10 p.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **PROJETO PRODES**. [on line].
<<http://www.mct.gov.br/GABIN/CPMG/CLIMATE/PROGRAMA/port/prodes.htm>>.
Março 1999.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Divisão de Processamento de Imagens (INPE/DPI). **Processamento digital de imagens e suas técnicas**. [on line].
<http://www.dpi.inpe.br/inpe/dpi/spring/usuario/pdi_con.htm>. ago. 1998a.

_____. **Modelo de Mistura**. [on line].
<http://www.sputnik.dpi.inpe.br/spring/usuario/c_mix.htm>. ago. 1998b.

_____. **SPRING**. [on line]. <<http://www.dpi.inpe.br/dpi/spring>>. jan. 1999.

Jackson, R.D.; Slater, P.N.; Pinter Jr, P.J. Discrimination of growth and water stress in wheat by various vegetation indices through clear and turbid atmospheres. **Remote Sensing of Environment**, v. 12, n. 3, p. 187-208, 1982.

Kai, L.; Muller, J.P. Segmentation satellite imagery: a region growing scheme. In: International Geoscience Remote Sensing Symposium, 14., Helsink, 1991. **Proceedings**. Espoo: IEEE, 1991. v. 2, p. 1075-1078.

- Kellndorfer, J.M.; Dobson, M.C.; Ulaby, F.T. **Multi-ecoregion vegetation mapping using combined ERS/JERS SAR imagery**. [on line].
<<http://www.eecs.umich.edu/~josefk/PUBLICATIONS/ers-symposium3/kellndorfer.html>>. Feb. 1999.
- Kronka, J.N. **Áreas de domínio do cerrado no Estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 1998. 84 p.
- Kuhlmann, E.; Correia, D.S. Nomenclatura Fitogeográfica Brasileira. In: Congresso Nacional de Botânica, 32. Teresina, 1981. **Anais**. Teresina: Sociedade Brasileira de Botânica, 1982. p. 97-108.
- Landis, J.; Koch, G.G. The measurements of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 3, p. 159-179, Mar. 1977.
- Leblon, B. **Soil and vegetation optical properties**. [on line]. 1997.
<<http://umbc7.umbc.edu/~tbenja1/leblon/frame9.html>>. Jan. 1999.
- Lepoutre, D. Possibilities for using satellite imagery in forest inventory and management. In: Sohlberg, S.; Sokolov, V.E. ed. **Practical application of remote sensing in forestry**. New York: Martinus Nijhoff Publishers, 1986. p. 101-108.
- Le Toan T.; Ribbes F.; Floury N. **Forest Observations by ERS and JERS data**. [on line]. <<http://florence97.ers-symposium.org/participants/data/letoan>>. Jan. 1999.
- Le Toan, T.; Beaudoin, A.; Riom, J.; Guyon, D. Relating forest biomass to SAR Data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 30, n. 2, p. 403-411, Mar. 1992.
- Lorenzi, H. **Árvores Brasileiras**. Nova Odessa: Editora Plantarum, 1992. 384 p.
- Luckman, A.; Baker, J.; Kuplich, T.M.; Yanasse, C.C.F.; Frery, A.C. A study of the relationship between radar backscatter and regeneration tropical forest biomass for spaceborne SAR instruments. **Remote Sensing of Environment**, v. 60, n. 1, p. 1-13, Apr. 1997.

- Markham, B.L.; Barker. J.L. Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at-satellite temperatures. **EOSAT Landsat Technical Notes**. n. 1, 8 p., Ago. 1986.
- Matteucci, S.D; Colma, A. **Metodologia para el estudio de la vegetation**. Washington: Secretaria General de la Organización de los Estudios Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. 1982. 168p.
- Moran, E.F. **Ecologia humana das populações da Amazônia**. Rio de Janeiro: Ed. Vozes, 1990. 367 p.
- Mura, J.C. Algoritmos e metodologia de processamento para síntese de imagens de radar de abertura sintética (SAR). In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 6., Manaus, 1990. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1990. v. 1, p. 188-196.
- 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**. São José dos Campos. 102 p. (INPE-6391-TDI/607). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1997.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). **LANDSAT 7**. [on line]. <<http://geo.arc.nasa.gov/esdstaff/landsat/17.html>> Dec. 1998a.
- _____ **Landsat Thematic Mapper Data**. [on line]. <http://edcwww.cr.usgs.gov/glis/hyper/guide/landsat_tm>. Dec. 1998b.
- _____ **What does it all mean?**. [on line]. <<http://southport.jpl.nasa.gov/amazon/imagebrowser/ed.html#JERS> >. Dec. 1998c.
- _____ **Spaceborne Synthetic Aperture Radar: Current Status and Future Directions**. [on line]. <http://southport.jpl.nasa.gov/nrc/nrcT_of_C.html>. Dec. 1998d.

National Space Development Agency of Japan (NASDA). **Japanese Earth Resources Satellite**. [on line].

<http://www.eoc.nasda.go.jp/guide/guide/satellite/satdata/jers_e.html>. Abr. 1998.

Neter, J.; Wasserman W. **Applied linear statistical models** - regression, analysis of variance and experimental designs. Homewood, IL: Richard D. Irwin, 1974. 842 p.

Newbould. P.J. **Methods for estimation the primary production of forests**. 2 ed.

Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1967. 62 p. (IBP Handbook, n 2).

Palme, U. W. **Caracterização radiométrica de seis solos na faixa-X de microondas, através de medições de permitividade complexa**. São José dos Campos: INPE, 1986. 167 p. (INPE-4376-TDL/302).

Paolo, P.; Giovanni, M.; Simonetta, P.; Simone, S. **The potential of C- and L- band SAR in assessing vegetation biomass: the ERS-1 and JERS experiments**. [on line]. <<http://florence97.ers-symposium.org/program-details/data/pampaloni1/index.html>>. Jan. 1999.

Pardi Lacruz, M.S. **Sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica como subsídio para levantamentos fisionômico-estruturais em florestas tropicais - estudo de caso: Estação Científica Ferreira Penna (Floresta Nacional de Caxiuanã, Estado do Pará)**. São José dos Campos. 105 p. (INPE-6824-TDI/641). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1998.

Pereira, J.L.G. **Estudo de áreas de florestas em regeneração através de imagem Landsat-TM**. São José dos Campos. 137 p. (INPE-5987-TDI/578). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1996.

- Pereira, J.L.G.; Batista, G.T.; Roberts, D.A. Classificação da cobertura da terra na região Amazônica através de classificação de regiões em imagens de proporção de componentes. [CD-ROM]. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9., Santos, 1998. **Anais**. São Paulo: Fábrica da Imagem Multimídia, 1998. Sessão poster.
- Pereira, M.D.B.; Batista, G.T. **Correlação de fitomassa verde de campo cerrado com dados espectrais obtidos pelo sistema MSS-Landsat e por radiometria de campo**. São José dos Campos: INPE, 1985. 198. p. (INPE-3467-PRE/710).
- Pires, J.M. Aspectos da vegetação do norte do Brasil. In: Congresso Nacional de Botânica, 32. Teresina, 1981. **Anais**. Teresina: Sociedade Brasileira de Botânica, 1982. p. 157-170.
- Pires, J.M.; Prance, G.T. The vegetation types of the Brazilian Amazon. In: Prance, G.T.; Lovejoy, T.E. ed. **Key environments – Amazonia**. England: Pergamon Ltd, 1985. Cap. 7, p. 109-145.
- Price, J.C. How unique are spectral signatures? **Remote Sensing of Environment**. v. 49, n. 3, p. 181-186, 1994.
- Projeto Radambrasil. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Folha NA.20-Boa Vista e parte das folhas NA.21 Tumucumaque, NB.20 Roraima e NB.21, geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro: DNPM, 1975, 427 p. (Levantamento de Recursos Naturais, 8).
- Rancy, A. Mamíferos fósseis. **Ciência Hoje**, v. 16, n. 993, p. 48-51, ago. 1993.
- Rankin, J.M. Manejo florestal ecológico. **Acta Amazônica**. v. 9, n. 4, p. 115-122, dez. 1979. Suplemento.
- Ray, T. W. **A FAQ on Vegetation in Remote Sensing**. [on line]. <<http://www.infomine.com/technomine/ege/vegfaq.txt>>. Jan. 1999.

- Ribeiro, J.F.; Sano, S.M.; Silva, J.A. Chave preliminar de identificação dos tipos fisionômicos da vegetação dos cerrados. In: Congresso Nacional de Botânica, 32. Teresina, 1981. **Anais**. Teresina: Sociedade Brasileira de Botânica, 1982. p. 124-133.
- Richards, J.A. **Remote sensing digital image analysis** - an introduction. 2. ed. Germany: Ed. Springer-Verlag, 1993. 340 p.
- Richards, P.W. **The Tropical Rain Forest**. Londres: Cambridge University Press, 1952. 450 p.
- Rignot, E.; Salas, W.A.; Skole, D.L. Mapping deforestation and secondary growth in Rondonia, Brazil, using imaging radar and Thematic Mapper data. **Remote Sensing and Environment**, v. 59, n. 2, p. 167-179, Fev. 1997.
- Robinove, C.J. Computation of physical values for Landsat digital data. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 48, n. 5, p. 781-784, 1982.
- Rosenqvist, A. **Analysis of the backscatter characteristics of rubber, oil palm and irrigated rice in multi-band polarimetric synthetic aperture radar imagery**. Tokyo. 144p. Tese - Institute of Industrial Science, University of Tokyo, 1997.
- Rosenqvist, A. **Monitoring of tropical tree crops by JERS-1 and ERS-1 SAR Data**. [on line]. <<http://florence97.ers-symposium.org/program-details/data/rosenqvist2/index.html>>. Jan. 1999.
- Saatchi, S.S.; Soares, J.V.; Alves, D.S. Mapping deforestation and land use in Amazon rainforest by using SIR-C imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, n. 2, p. 191-202, Feb. 1997.
- Salas, W.A.; Skole, D. Remote sensing of land cover change: secondary growth dynamics in Rondônia, Brazil. [CD-ROM]. In: International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 21. Seattle, 1998. **Proceedings**. Piscataway: IEEE, 1998. Land cover change.

Salati, E.; Vose, P.B. Amazon basin: a system in equilibrium. **Science**. v. 225, n. 4658, p. 129-138, 1984.

Sant'Anna, S.J.S. **Avaliação do desempenho de filtros redutores “speckle” em imagem de radar de abertura sintética**. São José dos Campos. 181 p. (INPE-6125-TDI/586). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1995.

Santos, J.R. **Biomassa aérea da vegetação de cerrado: estimativa e correlação com dados do sensor “Thematic Mapper” do satélite LANDSAT**. Curitiba. 156 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). - Universidade Federal do Paraná, 1988.

Santos, J.R. A tecnologia de sensoriamento remoto como suporte ao monitoramento ambiental: situação atual e perspectivas. In: Seminário de Atualização, 2 - Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal, Curitiba, 1996. **Anais**. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 1996. p. 7-14.

Santos, J.R. (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1998). Comunicação pessoal.

Santos, J.R.; Pardi Lacruz, M. S.; Araujo, L.S.; Xaud, H.A.M. El proceso de quema de biomasa de bosque tropical y de sabanas en la Amazonia Brasileira: experiencias de monitoreo con datos ópticos y de microondas. Aceito para publicação. **Série Geográfica**. 1998a. No prelo.

Santos, J.R.; Xaud, M.R.; Pardi Lacruz, M. S. Analysis of the backscattering signals of JERS-1 image from savanna and tropical rainforest biomass in Brazilian Amazonia. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing Symposium (ISPRS ECO BP'98), Budapest, Hungary, 1998. **Proceedings**. v. 32, part 7, p. 523-526. 1998b. Commission VII.

- Santos, J.R.; Pardi Lacruz, M. S.; Keil, M.; Kux, H.J.H.; Xaud, M.R. Análise da imagem JERS-1 para estimativa da biomassa aérea de florestas tropicais no sudoeste da Amazônia. [CD-ROM]. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9., Santos, 1998. **Anais**. São Paulo, Fábrica da Imagem Multimídia, 1998c. Sessão oral.
- Santos, J.R.; Venturieri, A.; Bernardes, S.; Krug, T.; Erthal, G.J.; Bins, L.S. Uso do SGI na avaliação do desempenho de classificação baseada em segmentos para a caracterização de uso da terra na Amazônia Brasileira. In: Simpósio Latinoamericano de Percepción Remota, 6., Cartagena, 1993. **Resumos**. Cartagena, 1993. p. 54.
- Sarmiento, G. **The Ecology of Neotropical Savannas**. USA: Harvard University Press, 1984. 235 p.
- Schaefer, C.E.R. Ecogeography and human scenario in northeast Roraima, Brazil. **Ciência e Cultura** - Journal of the Brazilian Association for the Advancement of Science. v. 49, n. 4, p.241-252, July/Aug. 1997.
- Sheffner, E.J. **The Landsat Program and Landsat Science**. [on line]. 15 October 1996. <<http://geo.arc.nasa.gov/esdstaff/landsat/lswg.html>>. Mar 1999.
- Shimabukuro, Y.E.; Mello, E.M.K.; Moreira, J.C.; Duarte, V. **Segmentação e classificação da imagem sombra do modelo de mistura para mapear desflorestamento na Amazônia**. São José dos Campos: INPE, 1997. 16 p. (INPE-6147-PUD/029).
- Shukla, J.; Nobre, C.; Sellers, P. Amazon deforestation and climate change. **Science**. v. 247, n. 4948, p. 1322-1325. 1990.
- Silva, M.F.; Lisbôa, P.L.B.; Lisbôa, R.C.L. **Nomes vulgares de plantas amazônicas**. Manaus: CNPq/INPA. 1977. 222 p.
- Skole, D.; Tucker C. Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: Satellite data from 1978 to 1988. **Science**. v. 260, n. 5116, p. 1905-1909, 1993.

Sokal, R.R.; Rohlf, F.J. **Biometry**. San Francisco: W.H. Freeman and Company, 1969. 776 p.

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

Spurr, S.H.; Barnes, B.V. **Forest Ecology**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1980. 688 p.

StatSoft. **STATISTICA**. <<http://www.statsoft.com.br/statisti.htm>>. Mar. 1999.

SulSoft. **ENVI**. <<http://www.sulsoft.com.br/ENVI/envi.html>>. Mar. 1999.

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

Uhl, C.; Buschbacher, R.; Serrão, E.A.S. Abandoned pastures in eastern Amazonia. I: patterns of plant succession. **Journal of Ecology**, v. 76, p. 663-681, 1988.

Ulaby, F.T.; Dobson, M.C. **Handbook of radar scattering statistics for terrain**. Norwood, MA: Artech House, 1989. 79 p.

Ulaby, F.T.; Moore, R.K.; Fung, A.K. **Microwave remote sensing active and passive**. Washington: Addison-Wesley, 1982. v.2. 1064 p.

Van Niel, T.G. **Classification of Vegetation and Analysis of its Recent Trends at Camp Williams, Utah Using Remote Sensing and Geographic Information System Techniques**. [on line]. <<http://www.nr.usu.edu/~tvn/campwil/tomthes.html>> January 1999.

Walter, H. **Vegetação e Zonas Climáticas** - tratado de ecologia global. São Paulo: EPU, 1986. 325 p.

- Whittaker, R.H. Approaches to classifying vegetation. In: Whittaker, R.H.ed.
Classification of Plant Communities. Londres: Dr W. Junk bv Publishers, 1980. p.
1-31.
- Xaud, H.A.M. **Utilização de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informação Geográfica para análise da interação da vegetação com seu ambiente, em Roraima, Amazônia-BR.** São José dos Campos. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1998.
- Xaud, M.R. **Abordagem multisensor (Landsat e JERS) na caracterização da cobertura vegetal e distribuição de fitomassa em áreas de contato floresta/savana no Estado de Roraima-Brasil.** São José dos Campos. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1998.
- Xavier, A. **Estimativa de propriedades biofísicas de plantações de eucaliptos a partir de dados Landsat-TM.** São José dos Campos. (INPE-6832-TDI/645). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1998.
- Yanasse, C.C.F.; Sant'Anna, S.J.S.; Frery, A.C.; Kuplich, T.M.; Dutra, L.V.
Mapeamento de etapas de regeneración y sy relación con datos de radar. In:
Simpósio de Especialistas Latinoamericanos in Percepción Remota (SELPER), 7.,
Cidade do México, 1995. **Anais.** México, s.e., 1995, p.542-553.
- Zhang, M.; Ustin, S.L.; Rejmankova, E.; Sanderson, E.W. Monitoring Pacific Coast Salt Marshes using Remote Sensing. **Ecological Applications.** [on line]. v. 7, n. 3, p. 1039-1053, 1997. <<http://cstars.ucdavis.edu/papers/sustin/rssaltmrsh/paper.html>>. Jan. 1999.

APÊNDICE A

PROGRAMAÇÃO EM LEGAL - CONVERSÃO DE DN PARA REFLECTÂNCIA

```
{
IMAGEM IMA1, IMA2, IMA3, IMA4, IMA5, IMA7, BANDA1, BANDA2, BANDA3,
BANDA4, BANDA5, BANDA7("IMAGENS");

BANDA1 = RECUPERE (NOME="TM1CORRI-(OP1)");
BANDA2 = RECUPERE (NOME="TM2CORRI-(OP1)");
BANDA3 = RECUPERE (NOME="TM3CORRI-(OP1)");
BANDA4 = RECUPERE (NOME="TM4CORRI-(OP1)");
BANDA5 = RECUPERE (NOME="BANDA_5");
BANDA7 = RECUPERE (NOME="BANDA_7");

IMA1 = NOVO (NOME = "IMA1REFLECT", RESX = 30, RESY = 30);
IMA2 = NOVO (NOME = "IMA2REFLECT", RESX = 30, RESY = 30);
IMA3 = NOVO (NOME = "IMA3REFLECT", RESX = 30, RESY = 30);
IMA4 = NOVO (NOME = "IMA4REFLECT", RESX = 30, RESY = 30);
IMA5 = NOVO (NOME = "IMA5REFLECT", RESX = 30, RESY = 30);
IMA7 = NOVO (NOME = "IMA7REFLECT", RESX = 30, RESY = 30);

CA = 1.0119;
CB = 0.7485;

LMIN1 = -0.15;
LMIN2 = -0.28;
LMIN3 = -0.12;
LMIN4 = -0.15;
LMIN5 = -0.037;
LMIN7 = -0.015;

LMAX1 = 15.21;
LMAX2 = 29.68;
LMAX3 = 20.43;
LMAX4 = 20.62;
LMAX5 = 2.719;
LMAX7 = 1.438;

QCALMAX = 255;

IMA1 =
(3.1415*(CA^2)*(LMIN1+(LMAX1-LMIN1)*(BANDA1/QCALMAX))/(195.7*CB))*100;
IMA2 =
(3.1415*(CA^2)*(LMIN2+(LMAX2-LMIN2)*(BANDA2/QCALMAX))/(182.9*CB))*100;
IMA3 =
(3.1415*(CA^2)*(LMIN3+(LMAX3-LMIN3)*(BANDA3/QCALMAX))/(155.7*CB))*100;
IMA4 =
(3.1415*(CA^2)*(LMIN4+(LMAX4-LMIN4)*(BANDA4/QCALMAX))/(104.7*CB))*100;
IMA5 =
(3.1415*(CA^2)*(LMIN5+(LMAX5-LMIN5)*(BANDA5/QCALMAX))/(21.93*CB))*100;
IMA7 =
(3.1415*(CA^2)*(LMIN7+(LMAX7-LMIN7)*(BANDA7/QCALMAX))/(7.452*CB))*100;
}
```


APÊNDICE B

PROGRAMAÇÃO EM LEGAL – GERAÇÃO DA IMAGEM SAVI

```
{  
Imagem ima1, Banda3, Banda4 ("imagens");  
  
Banda3 = Recuperar (Nome="ima3reflect");  
Banda4 = Recuperar (Nome="ima4reflect");  
  
ima1 = Novo (Nome = "SAVI0.5", ResX = 30, ResY = 30);  
  
L=0.50;  
  
ima1 = (((Banda4/100-Banda3/100)/(Banda4/100+Banda3/100+L))*(1+L))*100;  
}
```


APÊNDICE C

COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA, BIOMASSA E DENSIDADE DOS INDIVÍDUOS INVENTARIADOS EM FLORESTA PRIMÁRIA

NOME VULGAR	ESPÉCIE	FAMÍLIA	BIOMASSA ⁽¹⁾	DENSIDADE ⁽²⁾
abiurana	<i>Pouteria</i> sp.	Sapotaceae	2,21	8,57
abiurana abiu	<i>Pouteria guyanensis</i> Aubl.	Sapotaceae	1,40	4,29
abiurana branca	<i>Micropholis venulosa</i> (Mart. ex Eichl.) Pierre	Sapotaceae	2,78	6,67
abiurana preta	<i>Eclinusa</i> sp.	Sapotaceae	0,04	0,48
abiurana seca	<i>Micropholis</i> sp.	Sapotaceae	0,30	1,90
abiurana vermelha, maçaranduba branca	<i>Chrysophyllum prieurii</i> A. DC.	Sapotaceae	8,29	11,90
açaí da mata	<i>Euterpe precatoria</i> Mart.	Palmae	0,14	2,38
amarelão	<i>Tabemaemontana varcasii</i> A.DC.	Apocynaceae	3,26	4,76
amarelinho	<i>Pogonophora schomburgkiana</i> Miers	Euphorbiaceae	0,03	0,48
amargoso		Bombacaceae	3,90	1,90
angelim pedra	<i>Diniza excelsa</i> Ducke.	Leg. Mimosoideae	0,40	0,48
apuí	<i>Clusia</i> sp.	Guttiferae	0,20	0,48
arabá roxo	<i>Swartzia reticulata</i> Ducke	Leg. Caesalpinoideae	0,10	0,48
araçá da mata, araçá do campo	<i>Psidium guineense</i> Sw.	Myrtaceae	0,07	0,48
araraúba			1,08	0,95
ata miju			0,08	0,95
bacaba	<i>Oenocarpus bacaba</i> Mart.	Palmae	3,51	23,81
breu almescla	<i>Tetragastris trifoliolata</i> (Engl.) Cuatr.	Burseraceae	13,00	35,24
breu de tucano	<i>Tapirira guianensis</i>	Anacardiaceae	0,46	1,43
breu sucuruba	<i>Protium insigne</i> Engl.	Burseraceae	0,71	0,95
breu vermelho	<i>Protium apiculatum</i> Swartz	Burseraceae	0,76	1,90
breu, breu maruau, mamoninha	<i>Protium</i> sp.	Burseraceae	1,09	3,33
buxixu	<i>Miconia</i> sp.	Melastomataceae	0,03	2,86
cacau da mata	<i>Theobroma sylvestris</i> Aubl. Ex Mart.	Sterculiaceae	0,06	0,48
caferana, quinarana	<i>Quina rhytidopus</i> Tul.	Quiinaceae	0,89	0,95
cajuí	<i>Anacardium spruceanum</i> Benth. Ex Engl.	Anacardiaceae	0,13	0,95
canela jacamin	<i>Rinorea</i> sp.	Violaceae	0,23	2,86
cara cará		Moraceae	0,18	0,48
carapanatúba	<i>Aspidosperma carapanaua</i> Pichon.	Apocynaceae	1,53	1,90
caripé, farinha seca	<i>Licania</i> sp.	Chrysobalanaceae	1,79	9,05

Continua

Continuação

NOME VULGAR	ESPÉCIE	FAMÍLIA	BIOMASSA ⁽¹⁾	DENSIDADE ⁽²⁾
castanha vermelha	<i>Eschweilera fracta</i> R. Knuth	Lecythidaceae	1,28	4,76
cedrinho		Simarubaceae	0,20	0,95
chapéu de sol	<i>Cordia</i> sp.	Boraginaceae	2,02	5,71
chichuasca	<i>Maytenus guianensis</i>	Celastraceae	0,15	0,48
chocolate		Moraceae	0,22	1,43
cocoloba	<i>Coccoloba</i> sp.	Polygonaceae	0,30	7,62
coração de negro	<i>Swartzia corrugata</i> Benth.	Leg. Caesalpinioideae	0,90	0,95
croton, vassoura	<i>Croton</i> sp.	Euphorbiaceae	0,13	1,43
cumarú	<i>Dipterix</i> sp.	Leg. Papilionoideae	0,05	0,48
cupiúba	<i>Goupia glabra</i> Aubl.	Celastraceae	6,95	3,81
cupu brabo			0,16	0,95
cupu da mata	<i>Theobroma</i> sp.	Sterculiaceae	0,05	0,48
cutiribá	<i>Radlkofarella macrocarpa</i> (Hub.) Aubr.	Sapotaceae	0,42	2,86
envira amarela	<i>Guatteria</i> sp.	Anonaceae	0,17	0,48
envira porquinho		Anonaceae	0,09	0,48
envira preta	<i>Duguetia spixana</i> Mart.	Anonaceae	1,15	3,81
envira surucucu	<i>Bocageopsis</i> sp.	Anonaceae	0,44	3,33
envira vassourinha		Anonaceae	0,24	2,38
envira verde	<i>Guatteria scylophylla</i> Diels.	Anonaceae	0,08	0,95
escorrega macaco	<i>Peltogyne paniculata</i> Benth. Subsp. <i>paniculata</i>	Leg. Caesalpinioideae	0,18	1,43
estopeiro		Sapotaceae	0,07	0,48
faveira amarela	<i>Vataireopsis cf iglesiasii</i> Ducke	Leg. Papilionoideae	1,25	0,95
faveira folha fina	<i>Piptadenia suaveolens</i> Miq.	Leg. Mimosoidade	1,52	2,38
gameleira	<i>Ficus</i> sp.	Moraceae	0,40	0,95
goiaba de anta	<i>Bellucia grossularioides</i> (L.) Triana	Melastomataceae	0,01	0,95
goiabinha	<i>Myrciaria</i> sp.	Myrtaceae	2,47	26,19
grão de galo		Euphorbiaceae	0,04	0,48
guariúba	<i>Clarisia racemosa</i> R.et P.	Moraceae	0,28	0,48
hirtela	<i>Hirtela</i> sp.	Chrysobalanaceae	1,38	1,43
imbaúba branca	<i>Cecropia leucocoma</i> Miquel.	Moraceae	0,40	3,33
inajá	<i>Maximiliana martiana</i> Karst.	Palmae	0,29	10,95
indeterminada		Vochysiaceae	2,62	28,10
indeterminada			4,26	8,10
indeterminada		Euphorbiaceae	0,84	6,67
indeterminada		Ochnaceae	0,44	4,29
indeterminada		Crisobalanaceae	1,45	3,33
indeterminada		Myrtaceae	0,50	3,33

Continua

Continuação

NOME VULGAR	ESPÉCIE	FAMÍLIA	BIOMASSA ⁽¹⁾	DENSIDADE ⁽²⁾
indeterminada		Moraceae	0,70	2,86
indeterminada		Humiriaceae	1,96	1,90
indeterminada		Apocinaceae	0,17	1,90
indeterminada		Rubiaceae	0,16	1,90
indeterminada		Sapotaceae	0,08	0,95
indeterminada		Combretaceae	0,24	0,48
indeterminada		Sapindaceae	0,23	0,48
indeterminada		Melastomataceae	0,10	0,48
indeterminada		Rutaceae	0,03	0,48
indeterminada		Mircinaceae	0,00	0,48
ingá -cipó	<i>Inga edulis</i> Mart.	Leg. Mimosoideae	0,05	0,48
ingáí	<i>Inga</i> sp.	Leg. Mimosoideae	0,10	2,38
ingarana	<i>Pithecolobium duckei</i> Huber	Leg. Mimosoideae	2,40	3,81
inharé	<i>Helicostylis</i> sp.	Moraceae	0,56	1,43
iriantra		Myristicaceae	0,08	1,90
itaúba	<i>Mezilaurus</i> sp.	Lauraceae	0,61	0,95
itaúba amarela	<i>Mezilaurus</i> sp.	Lauraceae	0,04	0,48
jará, pau rainha	<i>Brosimum rubescens</i> Taub.	Moraceae	0,04	0,48
jaracatiá	<i>Jaracatia</i> sp.	Caricaceae	0,11	0,95
jaráí	<i>Glycoxylon</i> sp.	Sapotaceae	4,12	2,38
jarana folha miúda	<i>Holopyxidium jarana</i> (Hubl.) Ducke	Lecythidaceae	0,16	0,48
joão mole	<i>Neea</i> sp.	Nyctaginaceae	0,30	3,81
jutaí	<i>Hymenaea parvifolia</i> Huber.	Leg. Caesalpinioideae	0,21	0,48
limãozinho	<i>Zanthoxylum rhöifolium</i> Lam.	Rutaceae	0,07	0,95
louro amarelo	<i>Aniba hostmaniana</i> (Nees) Mez	Lauraceae	0,93	4,29
louro preto	<i>Ocotea neesiana</i> (Miq.) Kosterm.	Lauraceae	0,48	1,43
louro, louro bosta		Lauraceae	1,50	4,76
maçaranduba	<i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Standl.	Sapotaceae	3,60	0,48
macaxeira			6,92	0,48
mamãozinho	<i>Mouriria trunciflora</i> Ducke	Melastomataceae	0,09	0,48
mameleiro	<i>Aparisthium cordatum</i> (Juss.) Baill.	Euphorbiaceae	0,02	0,48
mandioqueira, mandioqueira lisa	<i>Qualea</i> sp.	Vochysiaceae	7,77	9,52
maria mole	<i>Apeiba echinata</i> Goertn.	Tiliaceae	0,17	2,38
marupá	<i>Simaruba amara</i> Aubl.	Simarubaceae	5,05	2,86
mata-matá branco	<i>Eschweilera coriacea</i>	Lecythidaceae	0,06	0,48
mata-matá preto	<i>Eschweilera odora</i> (Poepp.) Miers	Lecythidaceae	0,07	0,95

Continua

Continuação

NOME VULGAR	ESPÉCIE	FAMÍLIA	BIOMASSA ⁽¹⁾	DENSIDADE ⁽²⁾
moela de mutum	<i>Lacunaria</i> sp.	Quinaceae	0,25	2,38
morototó	<i>Didymopanax morototoni</i> (Aubl.) Decne. & Planch.	Araliaceae	0,42	0,48
mouriri	<i>Mouriria</i> sp.	Melastomataceae	0,30	1,90
mucurão	<i>Gustavia augusta</i> L.	Lecythidaceae	0,01	0,48
murici da mata	<i>Byrsonima crispera</i> Juss.	Malpighiaceae	0,20	0,95
murta vermelha	<i>Myrcia</i> sp.	Myrtaceae	0,06	1,43
mutamba, mutamba preta	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Sterculiaceae	0,40	2,86
mututi	<i>Pterocarpus amazonico</i>	Fabaceae	0,17	1,90
parinari, pajurazinho	<i>Parinari rodolphi</i>	Rosaceae	0,17	0,48
pau de remo, tamanqueira	<i>Chimarrhis turbinata</i> DC.	Rubiaceae	0,66	3,81
pau ferro	<i>Caesalpinia ferrea</i>	Leg. Caesalpinioideae	0,21	0,48
pau marfim	<i>Agonandra brasiliensis</i> Benth. & Hook.	Opiliaceae	0,65	0,95
pau santo	<i>Zollernia paraensis</i> Huber	Leg. Caesalpinioideae	0,26	0,95
pintadinha		Rosaceae	0,01	0,48
piquiá	<i>Caryocar villosum</i> (Aubl.) Pers.	Caryocaraceae	1,13	1,90
piriquiteira, pau jacaré	<i>Laetia procera</i> (Poepp.) Eichl.	Flacourtiaceae	0,54	1,90
piritó			0,36	1,43
pitanga da mata	<i>Mouriria duckeana</i> Morley	Melastomataceae	0,97	1,43
pitiribá			0,10	0,48
pitomba	<i>Talisia esculenta</i> Radlk.	Sapindaceae	0,19	0,48
puruf, cabeça de macaco	<i>Duroia macrophylla</i>	Rubiaceae	0,20	3,81
quina, acariquara branca	<i>Geissospermum sericeum</i> (Sagot) Benth. et Hook.	Apocynaceae	0,05	0,48
ripeiro amarelo	<i>Eschweilera acuminatissima</i> (Berg) Miers	Lecythidaceae	0,41	4,76
ripeiro vermelho	<i>Eschweilera amazonica</i> R. Knuth.	Lecythidaceae	0,06	0,48
rouxinho	<i>Peltogyne</i> sp.	Leg. Caesalpinioideae	1,34	0,48
sorva, sorvinha	<i>Couma utilis</i> (Mart.) M. Arg.	Apocynaceae	0,13	1,43
sucuba	<i>Himatanthus sucuuba</i> (Spruce)	Apocynaceae	0,28	2,86
sucupira amarela	<i>Vatairea sericea</i> Ducke	Leg. Papilionoideae	1,31	3,33
sucupira vermelha	<i>Andira parviflora</i> Ducke	Leg. Papilionoideae	0,29	0,95
tamanqueira	<i>Simaruba amara</i> Aubl.	Simarubaceae	0,46	0,95
tauari	<i>Cariana</i> sp.	Lecythidaceae	1,10	0,95
taxi branco	<i>Sclerolobium paniculatum</i> Vog.	Leg. Caesalpinioideae	0,12	0,48
taxi preto	<i>Tachigalia paniculata</i> Aubl.	Leg. Caesalpinioideae	3,10	4,76

Continua

Conclusão

NOME VULGAR	ESPÉCIE	FAMÍLIA	BIOMASSA ⁽¹⁾	DENSIDADE ⁽²⁾
taxi vermelho	<i>Sclerolobium</i> sp.	Leg. Caesalpinioideae	0,06	0,48
tucumã	<i>Astrocaryum aculeatum</i> G. F. W. Meyer	Palmae	0,55	1,90
ucuúba branca, virola	<i>Virola</i> sp.	Myristicaceae	1,28	7,14
urucurana	<i>Sloanea</i> sp.	Elaeocarpaceae	0,66	3,81
uxirana	<i>Sacoglottis</i> sp.	Humiriaceae	1,21	8,57

⁽¹⁾ ton / ha

⁽²⁾ número de indivíduos/ ha

APÊNDICE D

COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA, BIOMASSA E DENSIDADE DOS INDIVÍDUOS INVENTARIADOS EM SUCESSÃO SECUNDÁRIA

NOME VULGAR	ESPÉCIE	FAMÍLIA	BIOMASSA ⁽¹⁾	DENSIDADE ⁽²⁾
ata brava	<i>Annona</i> sp.	Annonaceae	0,03	3,33
breu amescla	<i>Tetragastris trifoliolata</i> (Engl.) Cuatr.	Burseraceae	0,02	2,22
burra leiteira	<i>Sapium marmieri</i> Hub.	Euphorbiaceae	0,37	6,67
buxixu	<i>Miconia</i> sp.	Melastomataceae	0,02	2,22
canduru			0,01	1,11
chapéu de sol	<i>Cordia</i> sp.	Boraginaceae	0,78	37,78
cocoloba	<i>Coccoloba</i> sp.	Polygonaceae	0,08	6,67
cupiúba	<i>Goupia glabra</i> Aubl.	Celastraceae	0,01	1,11
cutiribá	<i>Radlkofarella macrocarpa</i> (Hub.) Aubr.	Sapotaceae	0,01	1,11
envira vassourinha		Anonaceae	0,03	1,11
faveira amarela	<i>Vataireopsis cf iglesiasii</i> Ducke	Leg. Papilionoideae	0,14	6,67
faveira folha fina	<i>Piptadenia suaveolens</i> Miq.	Leg. Mimosoidade	0,06	4,44
goiaba	<i>Psidium guajava</i> L.	Myrtaceae	0,02	2,22
imbaúba branca	<i>Cecropia leucocoma</i> Miquel.	Moraceae	20,02	614,44
indeterminada		Euphorbiaceae	0,55	38,89
indeterminada		Apocinaceae	0,18	4,44
indeterminada		Vochysiaceae	0,12	6,67
indeterminada		Flacortiaceae	0,10	7,78
indeterminada		indeterminada	0,05	4,44
indeterminada		Meliaceae	0,03	1,11
ingá -cipó	<i>Inga edulis</i> Mart.	Leg. Mimosoideae	0,04	2,22
ingáí	<i>Inga</i> sp.	Leg. Mimosoideae	1,91	108,89
jurubeba	<i>Solanum caavurana</i> Vell.	Solanaceae	0,26	18,89
lacre branco	<i>Vismia cayennensis</i> (Jacq.) Pers.	Guttiferae	0,22	10,00
limãozinho, laranjinha	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	Rutaceae	0,04	4,44
louro de capoeira	<i>Ocotea opifera</i> Mart.	Lauraceae	0,09	10,00
mamãozinho	<i>Mouriri trunciflora</i> Ducke	Melastomataceae	0,35	7,78
maria mole	<i>Apeiba echinata</i> Goertn.	Tiliaceae	1,10	74,44
marupá	<i>Simaruba amara</i> Aubl.	Simarubaceae	0,69	14,44
mata burro, cega jumento		Euphorbiaceae	0,06	6,67
mirindiba doce	<i>Glycidendron amazonicum</i> Ducke	Euphorbiaceae	0,01	1,11
mutamba, mutamba preta	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Sterculiaceae	6,81	196,67

Continua

Conclusão

NOME VULGAR	ESPÉCIE	FAMÍLIA	BIOMASSA ⁽¹⁾	DENSIDADE ⁽²⁾
pau rainha	<i>Centrolobium robustum</i>	Leg. Caesalpinioideae	0,02	3,33
piquiá	<i>Caryocar villosum</i> (Aubl.) Pers.	Caryocaraceae	0,01	1,11
piriquiteira	<i>Laetia procera</i> (Poepp.) Eichl.	Flacourtiaceae	0,26	34,44
ripeiro amarelo	<i>Eschweilera acuminatissima</i> (Berg) Miers	Lecythidaceae	0,05	2,22
saboneteira	<i>Caesalpinia</i> sp.	Leg. Caesalpinioideae	4,24	316,67
sucuba	<i>Himatanthus sucuuba</i> (Spruce)	Apocynaceae	0,02	2,22
sumaúma	<i>Ceiba pentandra</i> Gaertn.	Bombacaceae	0,11	2,22
tabaco bravo, tabacorana	<i>Chelonanthus alatus</i> (Aubl.) Pulle	Gentianaceae	0,29	21,11
taperebá	<i>Spondias lutea</i> L.	Anacardiaceae	0,72	7,78
tatajuba	<i>Bagassa guianensis</i> Aubl.	Moraceae	0,50	41,11
taxi preto	<i>Tachigalia paniculata</i> Aubl.	Leg. Caesalpinioideae	0,01	1,11
tento, olho de boi	<i>Ormosia</i> sp.	Fabaceae	0,01	1,11
tucumã	<i>Astrocaryum aculeatum</i> G.F.W.Meyer	Palmae	0,47	3,33

⁽¹⁾ ton / ha

⁽²⁾ número de indivíduos/ ha

APÊNDICE E

MATRIZES DE CONFUSÃO REFERENTES ÀS CLASSIFICAÇÕES COM AS IMAGENS PROPORÇÃO, SAVI + SOMBRA E TM (CASO 2)

1) Imagens PROPORÇÃO

Classes *	A	SE	FS	FP	P	S
A	22	0	0	0	0	0
SE	0	33	0	0	0	4
FS	0	0	76	0	0	0
FP	0	0	0	46	0	0
P	0	1	4	0	41	0
S	0	6	0	0	0	75
Total	22	39	80	46	41	79

2) Imagens SAVI + SOMBRA

Classes *	A	SE	FS	FP	P	S
A	22	0	0	0	0	0
SE	0	36	0	1	0	4
FS	0	0	80	0	0	0
FP	0	0	0	45	0	0
P	0	0	0	0	41	0
S	0	3	0	0	0	75
Total	22	39	80	46	41	79

3) Imagens TM (caso 2)

Classes *	A	SE	FS	FP	P	S
A	22	0	0	0	0	0
SE	0	35	0	0	0	0
FS	0	0	80	0	7	0
FP	0	0	0	46	0	0
P	0	1	0	0	34	0
S	0	3	0	0	0	79
Total	22	39	80	46	41	79

* A – Água; SE – Solo Exposto; FS – Floresta Secundária; FP – Floresta Primária; P – Pasto.