

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS**

EDUARDO DA SILVA PINHEIRO

**ANÁLISES ECOLÓGICAS E SENSORIAMENTO REMOTO
APLICADOS À ESTIMATIVA DE FITOMASSA DE CERRADO NA
ESTAÇÃO ECOLÓGICA DE ASSIS, SP.**

**São Carlos
2008**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

EDUARDO DA SILVA PINHEIRO

**ANÁLISES ECOLÓGICAS E SENSORIAMENTO REMOTO
APLICADOS À ESTIMATIVA DE FITOMASSA DE CERRADO NA
ESTAÇÃO ECOLÓGICA DE ASSIS, SP.**

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Carlos, como requisito para obtenção do Título de Doutor em Ciências da Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof^a Dr^a Giselda Durigan

São Carlos

2008

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

P654a Pinheiro, Eduardo da Silva
Análise ecológicas e sensoriamento remoto aplicados à
estimativa de fitomassa de cerrado na estação ecológica
de Assis, SP / Eduardo da Silva Pinheiro ; orientadora
Giselda Durigan. -- São Carlos, 2008.

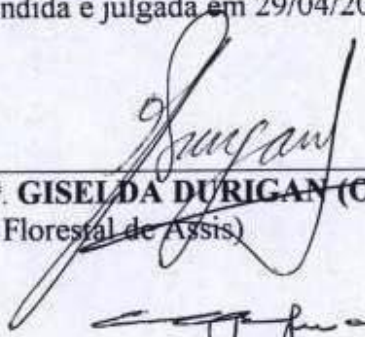
Tese (Doutorado-Programa de Pós-Graduação em Ciências da
Engenharia Ambiental) -- Escola de Engenharia de São
Carlos da Universidade de São Paulo, 2008.

1. Cerrado. 2. Composição florística e estrutural.
3. Dinâmica da vegetação. 4. Estoque de carbono.
5. Fitomassa. 6. Imagens de satélite. I. Título.

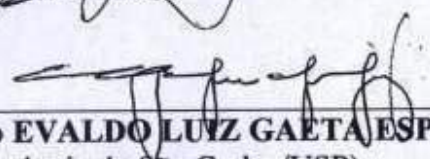
FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Geógrafo **EDUARDO DA SILVA PINHEIRO**

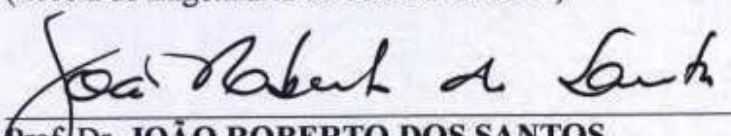
Tese defendida e julgada em 29/04/2008 perante a Comissão Julgadora:


 Prof.^a. Dr.^a. **GISELDA DURIGAN (Orientadora)**
 (Instituto Florestal de Assis)

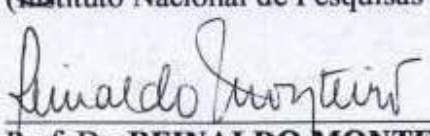
aprovado


 Prof. Associado **IVALDO LUIZ GAETA ESPINDOLA**
 (Escola de Engenharia de São Carlos/USP)


aprovado


 Prof. Dr. **JOÃO ROBERTO DOS SANTOS**
 (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/INPE)

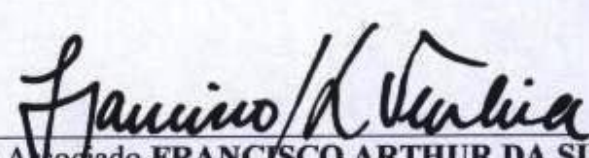
Aprovado



 Prof. Dr. **REINALDO MONTEIRO**
 (Universidade Estadual Paulista/UNESP)

aprovado


 Prof. Dr. **CAMILO DALELES RENNÓ**
 (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/INPE)

aprovado


 Prof. Associado **FRANCISCO ARTHUR DA SILVA VECCHIA**
 Vice-Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
 Ciências da Engenharia Ambiental, em Exercício


 Prof. Associado **GERALDO ROBERTO MARTINS DA COSTA**
 Presidente da Comissão da Pós-Graduação da EESC

Ao meus avôs Evilazio & Neiva
(in memoriam)

A Mariza
esposa companheira
em todos momentos

A meus pais Solon e Fátima
por nunca medir esforços
para minha educação

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Dr^a Giselda Durigan, por todas as oportunidades que me foram dadas durante a sua orientação, pelo incentivo e discussões produtivas, por todo acompanhamento durante os trabalhos de campo, pela amizade e confiança, e principalmente por sempre ter acreditado nesta pesquisa, contribuindo com sua experiência e conhecimento.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil, pela bolsa de doutorado na primeira etapa do trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental da Universidade de São Paulo, por sua seriedade, qualidade e competência no ensino e pesquisa.

Ao Dr. João Roberto dos Santos pelo acompanhamento do trabalho, pelos esclarecimentos e discussões desta pesquisa.

Ao Dr. Ricardo Ribeiro Rodrigues, coordenador do Projeto “*Diversidade, dinâmica e conservação em florestas do Estado de São Paulo: 40 ha de parcelas permanentes*” por disponibilizar a imagem *QuickBird*.

A doutoranda Priscila Brochado Gomes, pelo auxílio na aquisição da imagem *QuickBird*.

Ao Dr. Antônio Carlos Galvão de Melo, por todas as discussões da pesquisa, envio de material bibliográfico e suporte nos trabalhos de campo.

Aos funcionários do Instituto Florestal da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, seção Assis, pelos diferentes suportes dados aos trabalhos de campo. Em especial aos senhores: Edivaldo Furlan, Fernando Souza, Douglas Zimmermann e Nelson Keki.

Ao Dr. Camilo Daleles Rennó, pelos esclarecimentos e discussões sobre os modelos estatísticos.

Ao amigo Marcos Adami, pelo apoio durante a elaboração e execução das análises estatísticas.

Ao doutores Flávio Jorge Ponzoni, Paulo Maurício L.M. Graça e Márcio de Morisson Valeriano e à doutoranda Luciana Spinelli Araújo, pela atenção dispensada e esclarecimentos sobre estimativa de fitomassa com dados orbitais.

A Dr^a Eliane Akiko Honda, por disponibilizar os dados meteorológicos de Assis.

Ao Sr. Rodrigo Tavares da empresa Apta Topografia Ltda pelo auxílio no levantamento com DGPS.

Aos amigos Juliano, Erica, Daniel e Fernanda, pela grande amizade.

A Mariza, pelo auxílio e discussões do texto, pelo amor e compreensão, mesmo nos momentos mais difíceis.

A todos que de alguma forma contribuíram para a concretizar este trabalho.

“A Terra não pertence ao homem, é o homem que pertence à terra. O que ocorre com a Terra recai sobre os filhos da Terra. O homem não teceu a teia da vida, ele é apenas um de seus tecidos.

Tudo o que fizer ao tecido fará a si mesmo”.

(Manifesto de 1885, do Chefe Indígena Seattle).

RESUMO

PINHEIRO, E.S. **Análises ecológicas e sensoriamento remoto aplicados à estimativa de fitomassa de cerrado na Estação Ecológica de Assis, SP.** 192f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2008.

Ainda que o conhecimento sobre a flora e a ecologia do cerrado tenha sido consideravelmente ampliado nas últimas décadas, persistem dificuldades relacionadas com a caracterização estrutural das fitofisionomias e pouco se sabe sobre as transformações fisionômicas que ocorrem nesta vegetação ao longo do tempo em áreas protegidas. Adicionalmente, mediante as mudanças climáticas, surgiu a demanda de quantificação de fitomassa e estoque de carbono em formações vegetais, entre os quais o cerrado. Os objetivos deste estudo foram: a) verificar se a classificação fisionômica de três fisionomias de cerrado reflete diferenças florísticas e estruturais; b) caracterizar a dinâmica espaço-temporal das fisionomias de cerrado; c) quantificar a fitomassa dessa vegetação e sua contribuição para estoque de carbono; d) avaliar a aplicabilidade de dados de sensoriamento remoto para estimar a fitomassa do cerrado. A pesquisa foi desenvolvida na Estação Ecológica de Assis (EEcA) localizada no estado de São Paulo. O cerrado típico, cerrado denso e cerradão foram caracterizados florística e estruturalmente e comparados para verificar se podem ser considerados distintos. Foram alocadas 30 parcelas de 20 x 50 m, sendo 10 parcelas para cada um dos tipos fisionômicos. Os indivíduos de espécies lenhosas com DAP ≥ 5 cm foram identificados e medidos. As fisionomias mostraram-se estruturalmente distintas, em classes de densidade, área basal e altura média das árvores e o melhor descritor para classificá-las, por ser pouco variável com o critério de inclusão, é a área basal ($m^2 \cdot ha^{-1}$). Floristicamente, há diferenças apenas entre o cerradão e as fisionomias savânicas. Analisou-se a dinâmica espaço-temporal das fisionomias de cerrado, ao longo de 44 anos, com base em aerofotos (1962, 1984 e 1994) e imagens *QuickBird* (2006). Após a criação da unidade de conservação e devido à suspensão das atividades antrópicas (fogo e agropecuária), tem ocorrido um adensamento da vegetação, em que áreas de campo foram ocupadas por fisionomias de maior fitomassa, o cerradão correspondendo, em 2006, 91,43% da EEcA. Analisou-se, em particular, a oscilação na área ocupada por uma espécie invasora de samambaia (*Pteridium arachnoideum*). As imagens de 1994 e 2006 mostram que espécies arbóreas estão aumentando em densidade e cobertura em meio às manchas de samambaias e, em campo, constatou-se que a fitomassa das samambaias está diminuindo consideravelmente sob as copas das árvores. A fitomassa do cerrado *stricto sensu* e cerradão da EEcA foi estimada por meio de equações alométricas. Utilizaram-se parcelas de 20 x 40 m, sendo 20 parcelas para cada fitofisionomia. Utilizou-se Regressão Robusta com reamostragem *Bootstrap* para explorar as relações entre a fitomassa aérea do cerrado e as imagens do *QuickBird* e *TM/Landsat*, índices espectrais de vegetação (IV), componentes principais (CP), modelo linear de mistura espectral (MLME). Na EEcA, os valores médios de fitomassa aérea ($23,22 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$) e total ($28,88 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$) do cerrado *stricto sensu* foram próximos aos descritos na literatura para o cerrado do Brasil Central e os valores médios de fitomassa aérea ($98,18 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$) e total ($118,36 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$) do cerradão aproximaram-se aos descritos para florestas estacionais. As bandas espectrais dos sensores *QuickBird* e *TM* apresentaram correlações fracas a moderadas com a fitomassa aérea de cerrado. As transformações espectrais (IV e CP) melhoram, em geral, a predição da fitomassa aérea de cerrado, contudo as correlações se mantiveram entre fracas e moderadas.

Palavras-chave: cerrado, composição florística e estrutural, dinâmica da vegetação, estoque de carbono, fitomassa, imagens de satélite.

ABSTRACT

PINHEIRO, E.S. **Ecological and remote sensing analyses applied to estimate the cerrado phytomass in the Assis Ecological Station, São Paulo State, Brazil.** 192p. Thesis (Doctoral) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brazil, 2008.

Even though knowledge on the ecology and flora of cerrado vegetation has considerably improved in recent years, gaps are still remaining on structural differentiation of the cerrado physiognomies and few is known about cerrado vegetation dynamics after protection from human pressure. In addition, before the climate changes, phytomass and carbon storage quantification has been a new challenge for different vegetation types, including the cerrado physiognomies. The present study was carried out with the aim of a) to characterize three cerrado physiognomies to verify if they are structurally and floristically distinct; b) to analyze the vegetation dynamics in time and space, to verify if the vegetation is undergoing a successional process, whose structural climax will be a forest physiognomy; c) to quantify phytomass in different physiognomies and their contribution to carbon stock; and d) to assess the application of remote sensing techniques to estimate the cerrado phytomass in large scale. This study was carried out at Assis Ecological Station (EEcA), located in the southwestern São Paulo State, Brazil. This protected area preserves one of the few Brazilian cerrado (savanna) biome remnants in the State. Three distinct physiognomic types of cerrado (typical cerrado, dense cerrado and woodland cerrado) were floristically and structurally characterized and submitted to comparative analyses to verify if they can, or not, be considered as separate vegetation types within the cerrado gradient. Thirty permanent plots (20 x 50 m each) were set, ten in every cerrado type, and all woody individuals with DBH ≥ 5 cm were measured and identified. The three types of cerrado under comparison are structurally distinct in terms of density, medium height and basal area ($\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$), the last being considered as the best and more precise descriptor to classify the physiognomies of the cerrado vegetation. The woodland cerrado is also distinct by its flora, but the two open physiognomies (dense cerrado and cerrado *stricto sensu*) are floristically very similar. The dynamics of the vegetation types along 44 years in the studied area was analyzed by using aerial photographs (1962, 1984 and 1994) and QuickBird images (2006). After protection from human pressures (fire and agriculture), the woody vegetation density and phytomass has continuously increased, with open physiognomies tending to disappear and woodland cerrado replacing them. Surprisingly, the area covered by the invasive fern *Pteridium arachnoideum* has also decreased, replaced by sparse or clustered trees. The cerrado phytomass was estimated by allometric equations. Forty plots (20 x 40 m each) were used, twenty in every cerrado type - cerrado *stricto sensu* and woodland cerrado. Robust Regression and Bootstrap methods were used to explore relationships between aboveground cerrado phytomass and remote sensing data of QuickBird and Landsat Thematic Mapper (TM) sensors (spectral bands, vegetation index - VI, principal components - PC, linear spectral mixture model - LSMM). Values of medium phytomass obtained for the cerrado *stricto sensu* at Assis Ecological Station were close to those described in the literature for Central Brazilian cerrado. The values of medium phytomass of the woodland cerrado were close to those described for seasonal forests. Spectral bands of QuickBird and TM sensors presented weak to moderate correlations with the aboveground cerrado phytomass. In general, spectral transformations (VI and PC) improved the prediction of the cerrado phytomass, however the correlation remained from weak to moderate.

Keywords: Brazilian savana, carbon storage, floristic composition, phytomass, satellite images, structure, vegetation dynamics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Distribuição da vegetação do Cerrado no Brasil.....	32
Figura 1.2. Gradiente fitofisionômico do cerrado e seus fatores condicionantes.....	34
Figura 1.3. Comparação de áreas totais de cerrado do estado de São Paulo, nos períodos 1962, 1971-73, 1992 e 2000-2001.....	42
Figura 2.1. Localização e limites da Estação Ecológica de Assis, SP. Em linha pontilhada a área original da unidade de conservação, coberta por vegetação natural de cerrado, objeto do presente estudo.....	48
Figura 2.2. Diagrama climático de Assis.....	49
Figura 2.3. Método utilizado para calcular a porcentagem de cobertura arbórea. Imagem <i>QuickBird</i>	52
Figura 2.4. Distribuição dos erros nos pontos de controle utilizados nos dados de sensoriamento remoto.....	54
Figura 2.5. Amostra e fotos das classes temáticas mapeadas na Estação Ecológica de Assis, SP.....	59
Figura 2.6. Mapas da cobertura vegetal natural de cerrado na Estação Ecológica de Assis, SP - 1962 a 2006.....	61
Figura 2.7. Alterações na cobertura vegetal em um mesmo local, na Estação Ecológica de Assis, SP, em que área de campo (a) evoluiu para cerradão (d). Aerofotos (a, b e c), imagem <i>QuickBird</i> (d).....	63
Figura 2.8. Alterações na cobertura vegetal em um mesmo local, na Estação Ecológica de Assis, SP, em que fisionomia campestre (a) modificou-se em fisionomias savânicas (b e c) e, finalmente, em cerradão (d). Aerofotos (a, b e c), imagem <i>QuickBird</i> (d).....	63
Figura 2.9. Modificações na cobertura vegetal em um mesmo local, na Estação Ecológica de Assis, SP, onde a vegetação de campo cerrado (a e b) evoluiu para cerrado <i>strictu sensu</i> (c) e depois, para cerradão (d). Aerofotos (a, b e c), imagem <i>QuickBird</i> (d).....	64
Figura 2.10. Alterações na cobertura vegetal em área ocupada pela samambaia (<i>Pteridium arachnoideum</i>) na Estação Ecológica de Assis, SP, no período 1962-2006. Aerofotos (a, b e c), imagem <i>QuickBird</i> (d).....	65

Figura 2.11. Redução na área coberta pela samambaia (<i>Pteridium arachnoideum</i>) e adensamento de espécies arbóreas na Estação Ecológica de Assis, SP, no período 1962-2006. Aerofotos (a, b e c), imagem <i>QuickBird</i> (d).	66
Figura 3.1. a) Distribuição das parcelas alocadas na Estação Ecológica de Assis, SP. b) Croqui de uma parcela, com a divisão em sub-parcelas. c) Marco de concreto.....	76
Figura 3.2. Distribuição das espécies nas fitofisionomias de cerrado da Estação Ecológica de Assis, SP. (Abreviaturas na Tabela 3.2).	84
Figura 3.4. Dendrograma de análise de agrupamento das espécies que ocorrem no cerrado típico, cerrado denso e cerradão, na Estação Ecológica de Assis, SP, utilizando o coeficiente de similaridade de Jaccard.	87
Figura 3.5. <i>Box-plot</i> das diferenças estruturais entre as fitofisionomias de cerrado na Estação Ecológica de Assis, SP. onde: h = altura; G = área basal; D = densidade; Cti = cerrado típico; Cde = cerrado denso; Cdao = cerradão.....	90
Figura 3.6. Distribuição de diâmetro no cerrado típico, cerrado denso e cerradão, na Estação Ecológica de Assis, SP.	91
Figura 3.7. Distribuição de altura no cerrado típico, cerrado denso e cerradão, na Estação Ecológica de Assis, SP	91
Figura 4.1. Interação da folha com a radiação eletromagnética.	98
Figura 4.2. Curva de reflectância típica de uma folha verde.	98
Figura 4.3. Representação gráfica da transformação por componentes principais	104
Figura 4.5. Fluxograma dos procedimentos realizados no estudo em modelagem OMT-G (<i>Object Modeling Techniques - Geographical</i>).	107
Figura 4.6. Distribuição das 40 parcelas de cerrado utilizadas para estimar a fitomassa da vegetação de cerrado na Estação Ecológica de Assis, SP.	108
Figura 4.7. Parcela com 10,24 ha de cerradão na Estação Ecológica de Assis, SP. a) 256 subparcelas com 20 x 20 m; b) 130 subparcelas com 20 x 40 m e amostragem.....	109
Figura 4.8. Gráficos de dispersão entre bandas espectrais (vermelho e infravermelho), a) imagens <i>QuickBird</i> ; b) imagens <i>TM/Landsat-5</i>	117
Figura 4.9. a) Autovalores da transformação por componentes principais das imagens <i>TM/Landsat-5</i> , da Estação Ecológica de Assis, SP; b) Gráfico de dispersão e seleção dos conjuntos de <i>pixels</i> puros nas duas primeiras componentes principais geradas com as imagens <i>TM/Landsat-5</i>	119

Figura 4.10. Adensamento da vegetação do cerrado nas parcelas 11 e 18, na Estação Ecológica de Assis, SP, no período de 1962-2006. Aerofotos (a, b e c), imagem <i>QuickBird</i> (d).....	125
Figura 4.11. Adensamento da vegetação do cerradão nas parcelas Z02 e 34, na Estação Ecológica de Assis, SP, no período de 1962-2006. Aerofotos (a, b e c), imagem <i>QuickBird</i> (d).....	128
Figura 4.12. Comparação das curvas espectrais, antes e após a correção atmosférica da imagem <i>QuickBird</i> da Estação Ecológica de Assis, SP.....	130
Figura 4.13. Comparação das curvas espectrais, antes e após a correção atmosférica da imagem <i>TM/Landsat-5</i> da Estação Ecológica de Assis, SP.	130
Figura 4.14. a) Resultado da aplicação da técnica <i>Bootstrap</i> para estimar os parâmetros: a) intercepto; b) inclinação da reta c) coeficiente de correlação entre o logaritmo da fitomassa do cerradão e a banda 4 do <i>QuickBird</i>	133
Figura 4.15. Resultado da aplicação da técnica <i>Bootstrap</i> para estimar os parâmetros: a) intercepto; b) inclinação da reta; c) coeficiente de correlação entre o logaritmo da fitomassa do cerrado <i>stricto sensu</i> e a banda do infravermelho médio do <i>TM/Landsat-5</i>	135
Figura 4.16. Precipitação total mensal em Assis, para o ano de 2006.	137
Figura 4.17. Resultado da aplicação da técnica <i>Bootstrap</i> para estimar os parâmetros: a) intercepto; b) inclinação da reta c) coeficiente de correlação entre o logaritmo da fitomassa do cerrado <i>stricto sensu</i> e o <i>SAVI L=1,0</i> gerado com dados <i>QuickBird</i>	141
Figura 4.18. Resultado da aplicação da técnica <i>Bootstrap</i> para estimar os parâmetros a) intercepto; b) inclinação da reta; a) coeficiente de correlação entre o logaritmo da fitomassa do cerradão <i>TVI</i> gerado com dados <i>QuickBird</i>	143
Figura 4.19. Resultado da aplicação da técnica <i>Bootstrap</i> para estimar os parâmetros a) intercepto; b) inclinação da reta; c) coeficiente de correlação entre o logaritmo da fitomassa do cerrado <i>stricto sensu</i> e segunda componente principal obtida com os dados <i>TM/Landsat-5</i>	146
Figura 4.20. Resultado da aplicação da técnica <i>Bootstrap</i> para estimar os parâmetros: a) intercepto; b) inclinação da reta; c) coeficiente de correlação entre o logaritmo da fitomassa do cerradão e a primeira componente principal calculada com dados <i>QuickBird</i>	147

Figura 4.21. Valores de reflectância dos componentes puros (vegetação, solo e sombra), gerados com dados <i>QuickBird</i> a partir do modelo linear de mistura espectral, Estação Ecológica de Assis, SP.	148
Figura 4.22. Valores de reflectância dos componentes puros (vegetação, solo e sombra), gerados com dados <i>TM/Landsat-5</i> a partir do modelo linear de mistura espectral, Estação Ecológica de Assis, SP.	149
Figura 4.23. Distribuição do erro médio quadrático do modelo linear de mistura espectral, por parcela da vegetação de cerrado na Estação Ecológica de Assis, SP. a) parcelas do cerrado <i>stricto sensu</i> ; b) parcelas do cerradão.	150
Figura 4.24. Imagens fração (vegetação, solo, sombra e erro) geradas a partir do modelo linear de mistura espectral aplicado aos dados <i>QuickBird</i> e <i>TM/Landsat-5</i> , da Estação Ecológica de Assis, SP.	151
Figura 4.25. Valores médios das imagens fração (vegetação, solo e sombra) geradas pelo modelo linear de mistura espectral por parcela de cerrado na Estação Ecológica de Assis, SP. a) parcelas do cerrado <i>stricto sensu</i> ; b) parcelas do cerradão. Onde: <i>If</i> : Imagem fração.	152

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Especificações dos dados de sensoriamento remoto utilizados na análise temporal da vegetação de cerrado, na Estação Ecológica de Assis, SP.	50
Tabela 2.2. Erro médio quadrático e erros máximos obtidos no georreferenciamento dos mosaicos de aerofotos da Estação Ecológica de Assis, SP.	55
Tabela 2.3. Distribuição e evolução da cobertura vegetal (1962 - 2006) natural do cerrado na Estação Ecológica de Assis, SP.	60
Tabela 3.1. Comparação entre os resultados do índice de diversidade de <i>Shannon</i> e equabilidade de diferentes locais no estado de São Paulo.....	79
Tabela 3.2. Espécies amostradas nas diferentes fitofisionomias do cerrado na Estação Ecológica de Assis, SP.	81
Tabela 3.3. Resultados do teste <i>Shapiro-Wilk</i> para análise dos parâmetros estruturais da vegetação em três fisionomias de cerrado na Estação Ecológica de Assis, SP.....	88
Tabela 3.4. Resultados do teste de <i>Bartlett</i> para análise dos parâmetros estruturais da vegetação em três fisionomias de cerrado na Estação Ecológica de Assis, SP.....	88
Tabela 3.5. Análise de variância ($p = 0,05$) para as variáveis altura média, área basal e densidade absoluta de três fisionomias de cerrado na Estação Ecológica de Assis, SP...	89
Tabela 3.6. Parâmetros estruturais da vegetação em três fisionomias de cerrado na Estação Ecológica de Assis. Valores seguidos da mesma letra dentro da linha não diferem entre si pelo teste de <i>Tukey</i> , a 5% de probabilidade.....	89
Tabela 4.1. Equações alométricas utilizadas para estimar a fitomassa do cerrado <i>stricto sensu</i> e cerradão na Estação Ecológica de Assis, SP.	110
Tabela 4.2. Especificações das imagens orbitais utilizadas no estudo da fitomassa do cerrado na Estação Ecológica de Assis, SP.	111
Tabela 4.3. Parâmetros de calibração para conversão das bandas espectrais do <i>QuickBird</i> para radiância aparente.	112
Tabela 4.4. Parâmetros de calibração para conversão das bandas espectrais <i>TM/Landsat-5</i> para radiância aparente.	113
Tabela 4.5. Condições meteorológicas no município de Assis, SP na data de aquisição das imagens <i>QuickBird</i> e <i>TM/Landsat-5</i>	114

Tabela 4.6. Índices espectrais de vegetação utilizados no estudo da vegetação de cerrado na Estação Ecológica de Assis, SP.	116
Tabela 4.8. Interpretação dos coeficientes de correlação de <i>Pearson</i>	122
Tabela 4.9. Parâmetros estruturais e valores estimados de fitomassa e estoque de carbono, obtidos a partir de 20 parcelas de cerrado <i>stricto sensu</i> na Estação Ecológica de Assis, SP.	123
Tabela 4.10. Comparação entre estimativas de fitomassa de fisionomias campestres e savânicas de cerrado obtidas por diferentes estudos.....	124
Tabela 4.11. Parâmetros estruturais e valores estimados de fitomassa e estoque de carbono, obtidos a partir de 20 parcelas de cerradão na Estação Ecológica de Assis, SP.	126
Tabela 4.12. Relações entre fitomassa aérea do cerrado <i>stricto sensu</i> e bandas espectrais dos sensores <i>QuickBird</i> e <i>TM/Landsat-5</i> , na Estação Ecológica de Assis, SP.	131
Tabela 4.13. Relações entre fitomassa aérea do cerradão e bandas espectrais dos sensores <i>QuickBird</i> e <i>TM/Landsat-5</i> , na Estação Ecológica de Assis, SP.	132
Tabela 4.14. Relações entre fitomassa aérea do cerrado <i>stricto sensu</i> e índices espectrais de vegetação na Estação Ecológica de Assis, SP.....	140
Tabela 4.15. Relações entre fitomassa aérea do cerradão e índices espectrais de vegetação na Estação Ecológica de Assis, SP.	142
Tabela 4.16. Autovalores e porcentagem da variação associada a cada componente principal, calculados com os dados das imagens <i>QuickBird</i> e <i>TM/Landsat-5</i> , do cerrado na Estação Ecológica de Assis, SP.	144
Tabela 4.17. Relações entre fitomassa aérea do cerrado <i>stricto sensu</i> e componentes principais das imagens <i>QuickBird</i> ou <i>TM/Landsat-5</i> , na Estação Ecológica de Assis, SP.	145
Tabela 4.18. Relações entre fitomassa aérea do cerradão e componentes principais das imagens <i>QuickBird</i> ou <i>TM/Landsat-5</i> , na Estação Ecológica de Assis, SP.	147
Tabela 4.19. Estatística descritiva do modelo linear de mistura espectral aplicado aos dados <i>QuickBird</i> e <i>TM/Landsat-5</i> para as parcelas de cerrado <i>stricto sensu</i> na Estação Ecológica de Assis, SP.	153
Tabela 4.20. Estatística descritiva do modelo linear de mistura espectral aplicado aos dados <i>QuickBird</i> e <i>TM/Landsat-5</i> para as parcelas de cerradão na Estação Ecológica de Assis, SP.	153

Tabela 4.21. Relações entre fitomassa aérea do cerrado stricto sensu e imagens fração geradas com o modelo linear de mistura espectral, aplicado aos dados <i>QuickBird</i> e <i>TM/Landsat-5</i> , na Estação Ecológica de Assis, SP.	154
Tabela 4.22. Relações entre fitomassa aérea do cerrado e imagens fração, geradas com o modelo linear de mistura espectral, aplicado aos dados <i>QuickBird</i> e <i>TM/Landsat-5</i> , na Estação Ecológica de Assis, SP.	155

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	xv
LISTA DE TABELAS	xix
INTRODUÇÃO GERAL	27
CAPÍTULO I. ASPECTOS GERAIS DO CERRADO	31
1 INTRODUÇÃO.....	31
2 O CERRADO NO BRASIL	32
3 CONSIDERAÇÕES SOBRE A HISTÓRIA DO CERRADO.....	34
4 O FOGO NO CERRADO.....	37
5 A VEGETAÇÃO DO CERRADO.....	39
6 O CERRADO PAULISTA	40
CAPÍTULO II. A DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL (1962-2006) DA COBERTURA VEGETAL NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA DE ASSIS	45
1 INTRODUÇÃO.....	45
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	47
2.1 Área de estudo	47
2.1 Processamento dos dados de sensoriamento remoto	50
2.3 Interpretação e mapeamento.....	51
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
3.1 Correção geométrica dos dados.....	53
3.2 Os tipos fitofisionômicos.....	55
3.3 A evolução da cobertura vegetal	60
3.4 Implicações para o manejo e conservação da diversidade biológica	69
CAPÍTULO III. CARACTERIZAÇÃO DAS FISIONOMIAS DA VEGETAÇÃO DE CERRADO NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA DE ASSIS.	73
1 INTRODUÇÃO.....	73
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	75
2.2 Método de amostragem.....	75
2.3 Análise fitossociológica.....	77
2.4 Análises estatísticas.....	78
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	78
3.1 Análise florística das fisionomias do cerrado.....	78

3.1.1 Composição florística e diversidade	78
3.1.2 Similaridade florística entre fisionomias	84
3.1.3 Fitossociologia	85
3.2 Análise estrutural da comunidade nas fisionomias do cerrado	87
3.2.1 Estrutura geral da comunidade	87
3.4 Distribuição dos indivíduos entre classes de tamanho nas diferentes fisionomias	90
5 CONCLUSÕES	92

CAPÍTULO IV. AVALIAÇÃO DE SENSORES ELETRO-ÓPTICOS PARA ESTIMATIVA DE FITOMASSA DO CERRADO 93

1 INTRODUÇÃO	93
2 BASES TEÓRICAS	95
2.1 A fitomassa	95
2.1.1 Quantificação da fitomassa	95
2.2 Sensoriamento Remoto e estimativa de fitomassa	96
2.2.1 Comportamento espectral da vegetação	97
2.2.2 Conversão de números digitais para valores físicos	99
2.2.3 Atenuação dos efeitos atmosféricos	100
2.2.4 Transformações espectrais	101
2.2.4.1 Índices espectrais de vegetação	102
2.2.4.2 Componentes principais	103
2.2.4.3 Modelo linear de mistura espectral	104
3 MATERIAL E MÉTODOS	106
3.1 Aquisição dos dados de campo e estimativa de fitomassa	108
3.2 Pré-processamento das imagens de satélite	111
3.2.1 Correção atmosférica e conversão para reflectância	111
3.2.2 Correção geométrica	115
3.3 Imagens índices de vegetação	115
3.4 Componentes principais	118
3.5 Modelo Linear de Mistura Espectral	118
3.6 Integração dos dados	120
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	122
4.1 A fitomassa das fisionomias de cerrado na Estação Ecológica de Assis	122
4.2 Correção atmosférica	129
4.3 Estimativa da fitomassa de cerrado com as bandas espectrais	131

4.4 Estimativa da fitomassa de cerrado com transformações multiespectrais.....	139
4.4.1 Índices espectrais de vegetação.....	139
4.4.2 Componentes principais	144
4.4.3 Modelo Linear de Mistura Espectral	148
5 CONCLUSÕES	156
REFERÊNCIAS	159
APÊNDICE A. Pontos de controle utilizados na ortorretificação da imagem <i>QuickBird</i> pancromática e fusão.....	181
APÊNDICE B. Parâmetros fitossociológicos das espécies arbóreas ($DAP \geq 5\text{cm}$) do cerrado típico da Estação Ecológica de Assis, em ordem decrescente de IVI (índice do valor de importância), n (número de indivíduos), DA (densidade absoluta - $n\cdot\text{ha}^{-1}$), DR (densidade relativa - %), FR (frequência relativa - %), DoA (dominância absoluta - $\text{m}^2\cdot\text{ha}^{-1}$) e DoR (dominância relativa - %)......	182
APÊNDICE C. Parâmetros fitossociológicos das espécies arbóreas ($DAP \geq 5\text{cm}$) do cerrado denso da Estação Ecológica de Assis, em ordem decrescente de IVI (índice do valor de importância). n (número de indivíduos), DA (densidade absoluta - $n\cdot\text{ha}^{-1}$), DR (densidade relativa - %), FR (frequência relativa - %), DoA (dominância absoluta - $\text{m}^2\cdot\text{ha}^{-1}$) e DoR (dominância relativa - %)......	184
APÊNDICE D. Parâmetros fitossociológicos das espécies arbóreas ($DAP \geq 5\text{cm}$) do cerrado da Estação Ecológica de Assis, em ordem decrescente de IVI (índice do valor de importância). n (número de indivíduos), DA (densidade absoluta - $n\cdot\text{ha}^{-1}$), DR (densidade relativa - %), FR (frequência relativa - %), DoA (dominância absoluta - $\text{m}^2\cdot\text{ha}^{-1}$) e DoR (dominância relativa - %)......	186
APÊNDICE E. Monitoramento climatológico: Assis, SP no período de 01/06/2006 até 30/07/2006.	188
APÊNDICE F. Parâmetros utilizados para a correção atmosférica da imagem <i>QuickBird</i> da Estação Ecológica de Assis, SP.....	189
APÊNDICE G. Parâmetros utilizados para correção atmosférica da imagem <i>TM/Landsat</i> da Estação Ecológica de Assis, SP.....	190
APÊNDICE H. Programa desenvolvido no <i>Matlab</i> para analisar as relações entre a fitomassa aérea de cerrado e os dados de sensoriamento remoto.....	191
APÊNDICE I. Resultados das análises por componentes principais das imagens <i>QuickBird</i> e <i>TM/Landsat-5</i>	192

INTRODUÇÃO GERAL

O Cerrado está entre as 25 áreas consideradas críticas para conservação da diversidade biológica no mundo (*hotspots*) devido à sua riqueza e à alta pressão antrópica a que vem sendo submetido (MYERS et al., 2000). Estudos indicam que permanecem intactos apenas 20% da cobertura original do Cerrado e somente 2,2% deste bioma estão inseridos em áreas protegidas (MACHADO et al., 2004).

No estado de São Paulo, o Cerrado não foi exceção dentro da realidade histórica de substituição da cobertura vegetal por pastagens, culturas e cidades, restando apenas cerca de 1% da área original em fragmentos disjuntos, que sobreviveram a ações antrópicas (DURIGAN; FRANCO; SIQUEIRA, 2004).

As pressões antrópicas, principalmente o setor agropecuário, ocasionaram significativos danos ambientais ao Cerrado (ALGER; LIMA, 2003), destacando-se a fragmentação de habitats, redução da biodiversidade, invasão por espécies exóticas, erosão dos solos, poluição de aquíferos, alteração no regime de queimadas, desequilíbrio no ciclo do carbono e, possivelmente, modificações climáticas regionais (KLINK; MACHADO, 2005).

Nos últimos anos, pesquisas indicam uma tendência ao aquecimento global devido às atividades humanas, que ocasionaram o aumento, além do nível normal, dos gases do efeito estufa na atmosfera (IPCC, 2007). O uso de combustíveis fósseis é a principal fonte de aumento da concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, sendo que no Brasil as principais emissões são causadas por mudanças no uso da terra (BRASIL, 2004; IPCC, 2007).

Os efeitos negativos do aquecimento global e os compromissos assumidos por 141 nações no mundo visando à redução da emissão de gases poluentes estimularam inúmeras pesquisas com objetivo de desenvolver mecanismos para mitigação deste problema e a compreensão do balanço de carbono em ecossistemas terrestres (ROSENQVIST et al., 2003).

Uma das principais linhas de pesquisa em expansão está relacionada à capacidade das formações vegetais em absorver o carbono atmosférico e estocar na forma de fitomassa (BROWN; GILLESPIE; LUGO, 1989; HIGUCHI et al., 1998; REZENDE et al., 2006), e desta forma dimensionar os impactos das mudanças de uso da terra para o aquecimento global.

Estudos indicam a necessidade de mapear a fitomassa das formações vegetais, com intuito de subsidiar planos de manejo sustentáveis e elaborar modelos para predição de mudanças climáticas (LEBOEUF et al., 2007). Neste contexto, imagens de satélite podem ser utilizadas na obtenção de estimativas de taxas de desmatamento e monitoramento do uso da terra, além de servirem como suporte para inventários florestais (SANTOS, 2002). Entretanto, o uso desses dados para estimar fitomassa ainda representa um grande desafio técnico e científico (FOODY; BOYD; CUTLER, 2003; CLARK et al., 2004; LEBOEUF et al., 2007).

Devido à elevada degradação ambiental que a humanidade vem protagonizando, o estabelecimento de áreas protegidas vem se constituindo em importante instrumento para a conservação da biodiversidade (BENSUSAN, 2006). Com intuito de reduzir os impactos ambientais e a fragmentação de ecossistemas, foi instituído no Brasil o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), lei 9.985/00, que estabelece os critérios e normas para a criação, implantação e gestão de unidades de conservação.

Entre as principais funções de uma unidade de conservação, destacam-se a proteção e manutenção da diversidade biológica, o estímulo ao desenvolvimento integrado com base nas práticas de conservação e a proteção dos solos e dos mananciais aquíferos (BENSUSAN, 2006). Um novo serviço ambiental, ainda não reconhecido, das unidades de conservação é o seu papel como sumidouro de carbono atmosférico. Prestam esse serviço tanto áreas antes degradadas que se encontram em processo de regeneração e, portanto, acumulando carbono,

quanto áreas de vegetação íntegra com grandes estoques de carbono, por meio do desmatamento evitado.

Neste contexto, o presente estudo teve como objetivos gerais: analisar a dinâmica espaço-temporal das fisionomias de cerrado em uma unidade de conservação; caracterizar as fisionomias de cerrado, do ponto de vista estrutural, da composição florística, fitomassa e de sua contribuição para estoque de carbono; e testar a viabilidade de aplicação de ferramentas de sensoriamento remoto para quantificar a fitomassa de cerrado.

O estudo foi realizado na Estação Ecológica de Assis (EEcA), localizada na região sudoeste do estado de São Paulo. A unidade de conservação foi criada em 1992, com uma área de 1.312,38 ha (Decreto 35.697 de 21/09/92) desmembrados da Estação Experimental de Agronomia do Vale do Paranapanema. O Horto Florestal de Assis foi criado em 1959, a partir de terras desmembradas do antigo Horto Florestal Jonas Zobrasckis, na época pertencentes à Companhia de Estradas de Ferro Sorocabana. Em 1986, parte da área do Horto Florestal de Assis foi transformada em Estação Experimental de Agronomia do Vale do Paranapanema (IF/SP, 2007). No ano de 2002, com intuito de adequar-se ao Sistema Nacional de Unidades de Conservação, a Estação Experimental foi transformada em Floresta Estadual de Assis, constituída por três glebas com área total de 2.816,42 ha.

Desde 1959, quando foi criado o Horto Florestal de Assis, o pastoreio, as queimadas, a agricultura e a exploração de madeira foram interrompidos na área (DURIGAN et al., 1987). Em 2002, diante da preocupação com as questões ambientais, a área da EEcA foi ampliada para 1.760,64 ha (Decreto 47.097 de 18/09/02). Talhões de *Pinus* e *Eucalyptus* foram incorporados à área da UC, os quais vêm sendo convertidos em vegetação de cerrado. Nesses locais, verifica-se um processo avançado de regeneração natural, onde se encontram espécies heliófitas, típicas de cerrado, adaptadas aos solos arenosos, ácidos e bem drenados (DURIGAN et al., 1997). Há grande possibilidade de que essa vegetação evolua naturalmente

para a estrutura de cerrado, sem a necessidade de interferências (SAITO et al., 2004). Embora façam parte da unidade de conservação, estas áreas ocupadas por espécies exóticas não foram objeto do presente estudo. Atualmente, a EECA integra a rede estadual de unidades de conservação e preserva um dos últimos remanescentes de cerrado na região oeste do estado de São Paulo.

Para alcançar os objetivos gerais propostos, o trabalho foi estruturado em quatro capítulos, onde são abordadas questões específicas, porém complementares. No primeiro capítulo, além de breve histórico da formação do Cerrado, são descritas algumas de suas características fisiográficas, a influência do fogo e sua diversidade florística, com base em revisão de literatura.

Estudos recentes indicam que em áreas de cerrado, protegidas das atividades antrópicas, ocorre uma evolução estrutural de fisionomias abertas para outras mais fechadas, com tendência ao desaparecimento das primeiras. Para verificar se este processo está ocorrendo na área de estudo, no segundo capítulo é analisada a dinâmica espaço-temporal das fisionomias de cerrado na EECA, ao longo de 44 anos.

No terceiro capítulo, é discutida a classificação das fisionomias da vegetação de cerrado, uma vez que esta temática tem se constituído em um desafio entre os estudiosos, seja por não haver critérios florísticos ou estruturais claros para sua separação, seja pelas alterações que sofrem ao longo do tempo. Para tanto, foram caracterizados florística e estruturalmente três tipos fitofisionômicos de cerrado que ocorrem naturalmente na EECA e propõe-se a utilização de descritores estruturais para classificação das fisionomias.

No último capítulo, é efetuado um estudo sobre o potencial de estoque de carbono na fitomassa de diferentes fisionomias de cerrado e é avaliada a confiabilidade das estimativas desta fitomassa com base em dados de satélite, utilizando-se imagens geradas por dois sensores eletro-ópticos com média e alta resolução espacial.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GERAIS DO CERRADO

1 INTRODUÇÃO

As savanas ocorrem associadas às zonas tropicais, recobrem um quinto da superfície do planeta (SANKARAN et al., 2005) e são responsáveis por 30% da produção primária de toda a vegetação terrestre (GRACE et al., 2006). Na África, compreendem cerca de 15,1 milhões de km², o que representa 50% desse continente. Extensas áreas de savana podem ser encontradas também na Índia, Austrália, sudeste da Ásia, América Central e ilhas do Pacífico. Na América do Sul, as savanas ocupam cerca de 2,1 milhões de km², sendo que a maior parte está localizada no Brasil (GRACE et al., 2006).

Do ponto de vista ecológico, as savanas representam uma comunidade vegetal caracterizada pela presença de vegetais lenhosos esparsos, que variam na densidade e cobertura, em meio a prados relativamente secos (WALTER, 1986; RIZZINI, 1997). No continente africano, além dos distúrbios causados pelo fogo, pastejo e outras atividades antrópicas, a disponibilidade hídrica é um fator limitante para explicar a coexistência de árvores e campos (SANKARAN et al., 2005).

A savana é uma vegetação xeromorfa, associada ao clima estacional, com uma estação seca, de até três meses, e outra chuvosa, que se prolonga entre três a seis meses, também podendo ocorrer, eventualmente, em clima ombrófilo (IBGE, 1992; RIZZINI, 1997). Em consequência das queimadas anuais, diversas plantas possuem adaptações ou dispositivos aparentemente correlacionados com o fogo (RIZZINI, 1997).

2 O CERRADO NO BRASIL

O Cerrado¹, como é conhecida a savana no Brasil (IBGE, 1992; RIZZINI, 1997; WALTER B., 2006), cobria originalmente cerca de dois milhões de km² no Planalto Central (RATTER; BRIDGEWATER; RIBEIRO, 2006). Sua distribuição estende-se desde a borda da floresta Amazônica até áreas nos estados de São Paulo e Paraná, com encraves na Amazônia, na Caatinga e na Mata Atlântica (Figura 1.1) (AGUIAR; MACHADO; MARINHO-FINHO, 2004; RATTER; BRIDGEWATER; RIBEIRO, 2006).

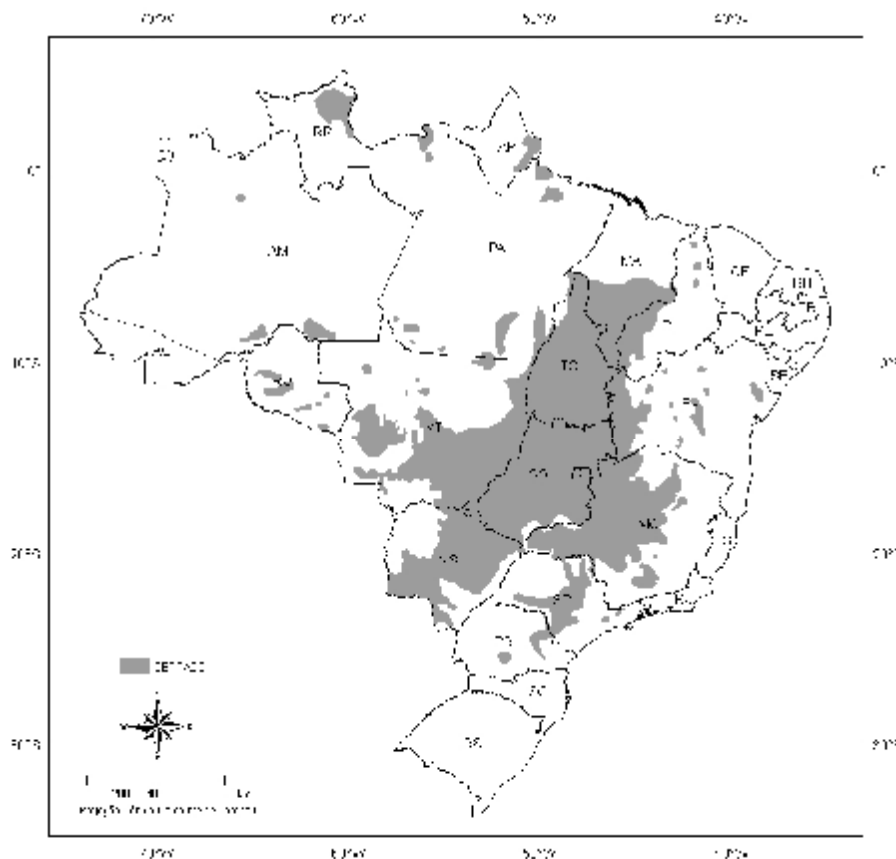


Figura 1.1. Distribuição da vegetação do Cerrado no Brasil.

Fonte: Adaptado de Ratter, Bridgewater e Ribeiro (2006).

Existem controvérsias na definição da extensão da área do Cerrado no Brasil, explicadas, essencialmente, pela inclusão ou não das áreas de transição ou de tensão

¹ Segundo Ribeiro; Walter (1998), o termo “Cerrado” com inicial maiúscula refere-se ao bioma. O conceito de bioma utilizado neste estudo possui um sentido de uma grande área geográfica, ou biossistema regional ou subcontinental, caracterizado por um tipo principal de vegetação e pode ser entendido com um sinônimo de domínio vegetacional ou província (WALTER, 2006).

ecológica, existentes nos limites deste bioma (MACHADO et al., 2004). Esta situação pode estar relacionada aos processos históricos de contração e expansão dos ecossistemas brasileiros, cuja dinâmica resultou das mudanças climáticas do passado (AGUIAR; MACHADO; MARINHO-FINHO, 2004; AB'SÁBER, 2003).

O clima do Cerrado é típico das regiões de savanas mais úmidas do mundo. Em mais de 90% de sua área, as precipitações médias oscilam entre 800 e 2000 mm, com temperaturas que variam entre 18 e 28°C (RATTER; RIBEIRO; BRIDGEWATER, 1997). A característica de clima estacional determina períodos mais secos durante o inverno e precipitações regulares e concentradas no verão (RIBEIRO; WALTER, 1998).

Os solos são, normalmente, distróficos, com baixa disponibilidade de cálcio e magnésio, alta concentração de alumínio e boa drenagem (FURLEY; RATTER, 1988). Há predominância de Latossolos, embora ocorra um número expressivo de outros solos, os quais, em conjunto com as condições climáticas, permitem o estabelecimento de uma grande diversidade de espécies vegetais (REATTO; CORREIA; SPERA, 1998).

No Cerrado, alguns fatores ambientais, como a disponibilidade hídrica, a saturação de alumínio, acidez e fertilidade do solo, determinam a ocorrência de diferentes fisionomias (Figura 1.2), desde o campo limpo até o cerradão (OLIVEIRA-FILHO; RATTER, 2002). Desta forma, de acordo com aqueles fatores ambientais, as fisionomias evoluem, por exemplo, desde um campo sujo para campo cerrado, cerrado e, finalmente, cerradão, que é a fitofisionomia mais densa, com maior fitomassa (DURIGAN; FRANCO; SIQUEIRA, 2004).

As ações antrópicas também são fatores que condicionam diferentes tipos fitofisionômicos (Figura 1.2). A agropecuária intensiva, com práticas de queimadas intensas e freqüentes, pode alterar as fisionomias de cerrado (EITEN, 1972; GOODLAND; FERRI, 1979). No entanto, quando existe uma proteção contra o fogo e o pastoreio, a vegetação se adensa, em um processo sucessional dinâmico (DURIGAN; RATTER, 2006).



Figura 1.2. Gradiente fitofisionômico do cerrado e seus fatores condicionantes.

Fonte: Adaptado de Durigan (2004).

3 CONSIDERAÇÕES SOBRE A HISTÓRIA DO CERRADO

A origem e a distribuição da vegetação do Cerrado geram controvérsias, porém há consenso sobre a influência conjunta de fatores climáticos, tipos de solo, drenagem e regime do fogo (EITEN, 1972; RIZZINI, 1997; RIBEIRO; WALTER, 1998; OLIVEIRA-FILHO; RATTER, 2002; RATTER; BRIDGEWATER; RIBEIRO, 2006). Estudos palinológicos indicam efeitos bióticos associados às mudanças climáticas, tais como expansões e contrações da vegetação de floresta e cerrado ocorridos no final do Terciário e no Quaternário (LEDRU, 1993; SALGADO-LABOURIAU et al., 1997; BEHLING, 1998; HAMMEN; HOOGHMSTRA, 2000; BEHLING, 2002; HAFFER; PRANCE, 2002).

As mudanças climáticas ao longo do tempo geológico foram causadas por variações na radiação solar, em consequência das alterações na órbita da Terra (FAIRCHILD, 2003). A ação conjunta dos ciclos astronômicos de Milankovitch, precessão dos equinócios (21 mil anos antes do presente - AP), excentricidade da órbita terrestre (91 mil anos) e inclinação dos pólos (41 mil anos) promovem variações cíclicas na intensidade e distribuição sazonal da radiação recebida pelo planeta e influenciam no período de degelo no verão. Como efeito, os verões tornam-se mais frios, o gelo dos invernos anteriores não derrete, as geleiras e calotas

polares avançam, reduzindo a temperatura e umidade planetária (HAFFER; PRACE, 2002; ROCHA-CAMPOS; SANTOS, 2003; FAIRCHILD, 2003).

No período Cretáceo, anterior à Deriva Continental (América do Sul e África), há indícios de uma vegetação ancestral ao cerrado (RATTER; RIBEIRO; BRIDGEWATER, 1997). Entretanto, são escassas as evidências fósseis que confirmam tais afirmações. Não obstante, depósitos Terciários na América do Sul comprovam a existência de típicos campos de savanas no continente. Durante os períodos glaciais do Quaternário, as reduções da temperatura e, principalmente, da quantidade de umidade disponível podem ter causado consideráveis modificações na distribuição da vegetação na América do Sul. As alterações na precipitação podem ter originado impactos relevantes na composição de comunidades de vegetação (HAMMEN; HOOGHMSTRA, 2000).

Segundo Ledru (1993), entre 40 e 30 mil anos AP, a paisagem do Cerrado no Brasil Central era formada por um mosaico dinâmico de savanas tropicais e subtropicais, além de florestas. Em tempos pretéritos, a região era ocupada por campos subtropicais, uma vez que possivelmente as temperaturas eram frias e o clima seco demais para suportar espécies lenhosas de Cerrado (BEHLING; LICHTER, 1997). Desde então, devido às mudanças climáticas, o Cerrado ocupou proporções variáveis na região.

Durante o Pleistoceno tardio, entre 30 e 23 mil anos AP, o clima era mais úmido e frio e as paisagens eram dominadas pela vegetação de cerrado e campos de altitude, semelhantes aos atuais. Nessa época, a grande quantidade de restos de carvão indica queimadas frequentes (BEHLING, 2002). Segundo Salgado-Labouriau (2005), entre 28 e 20 mil anos AP, embora o clima fosse frio, conjuntos de palinórfos mostram a existência de pólen arbóreo de cerrado (*Byrsonima*, *Neea*, *Andira*, *Cassia*, *Stryphnodendron* e outros gêneros das famílias Leguminosae, Melastomataceae, Combretaceae, Myrtaceae e Palmae, comuns em savana) e em torno de 40 a 60% de pólen de gramíneas.

Por volta de 17 a 11 mil anos AP, o clima tornou-se novamente seco e frio e os campos ainda dominavam as paisagens. Entretanto, as florestas tornaram-se mais comuns, ocorrendo preferencialmente às margens dos rios e vales. No Holoceno, entre 11 e 5,5 mil anos AP, o clima passou a ser mais seco e quente, porém ainda mais frio que o atual, com uma longa estação seca, a qual durava, provavelmente, entre cinco e seis meses na atual região de domínio do Cerrado. Esse período determinou a expansão do Cerrado (BEHLING, 2002).

Cerca de 5,5 mil anos AP, o clima semi-úmido, quente tropical, como hoje, permitiu o desenvolvimento da vegetação atual, com aumento das florestas e um cerrado mais diverso (BEHLING, 1995). A partir desse período começou a redução do Cerrado ao norte e ao sul do Brasil, com o avanço das florestas (BEHLING, 1998). As áreas descontínuas de Cerrado remanescentes nas regiões periféricas ao norte e ao sul do bioma são consideradas encraves, que registram climas pretéritos mais secos (AB'SABER, 2003).

A última expansão do Cerrado ocorreu durante um breve período seco no Holoceno, mas, desde então, a floresta não recuperou sua área original, embora as chuvas aparentemente tenham retornado a níveis anteriores. O fracasso da expansão florestal sobre o cerrado pode ser, em grande parte, determinado pelas atividades humanas, principalmente pelo fogo (OLIVEIRA-FILHO; RATTER, 2002).

A primeira hipótese sobre a origem das formações abertas do cerrado *lato sensu* foi proposta por Lund (1835) *apud* Henriques (2005), a qual descrevia essas formações como uma sucessão secundária resultante do corte e queima das florestas, realizado por atividades antrópicas. Essa hipótese foi refutada, pois os registros palinológicos evidenciam que o cerrado é uma vegetação resiliente, que sofreu diversas queimadas pelo menos desde 40 mil anos AP (SALGADO-LABOURIAU, 2005).

4 O FOGO NO CERRADO

A presença de fogo em áreas de cerrado certamente antecede a chegada do homem na América do Sul (SALGADO-LABOURIAU, 2005). Os restos de carvão do Pleistoceno tardio confirmam eventos de incêndios naturais, os quais influenciaram a composição florística do cerrado (BEHLING, 2002). A região atual de domínio do cerrado começou a ser povoada por índios cerca de 10 mil anos AP e o aumento dos assentamentos ocorreu por volta de cinco mil anos AP. Estes fatos corroboram a hipótese de que o cerrado não foi originado pela queimada de florestas (SALGADO-LABOURIAU, 2005).

O fogo é um dos fatores ecológicos determinantes da composição e estrutura da vegetação de cerrado (RIZZINI, 1997; OLIVEIRA-FILHO; RATTER, 2002), seja ele causado por ação antrópica ou pela ocorrência de relâmpagos que funcionam como faísca sobre a massa de combustível seco (MIRANDA et al., 2004, MIRANDA; SATO, 2005). A adaptação da vegetação ao fogo está relacionada a vários fatores, como tipo de queimada, regime de queima (frequência e época do ano) e também ao comportamento do fogo (MIRANDA et al., 2004).

A literatura sobre os efeitos do fogo no cerrado é vasta, embora um número pequeno de espécies tenha sido estudado, em relação à alta diversidade de espécies lenhosas desse bioma. Pesquisas de longa duração que tenham analisado os efeitos do fogo em populações e comunidades ou sobre o funcionamento do sistema são insuficientes (MIRANDA; SATO, 2005).

De forma geral, várias espécies do cerrado possuem estratégias adaptativas ao fogo, como suberização do tronco e galhos, proteção de gemas e órgãos subterrâneos, indução floral decorrente da eliminação das partes aéreas, além de algumas espécies possuírem sementes que suportam altas temperaturas (COUTINHO, 1990). Segundo Miranda et al. (2004), a vegetação de cerrado possui baixa exigência nutricional, quando comparada com plantas cultivadas, o

que confere ao ecossistema alta resiliência quanto ao estabelecimento da cobertura vegetal após o fogo.

Existem efeitos positivos do fogo sobre a camada de vegetação rasteira de cerrado, essencialmente para as espécies do estrato herbáceo e subarbustivo (MIRANDA et al., 2004). Após o fogo, a superfície do solo fica livre de ramos e gramíneas, o que beneficia a dispersão das sementes anemocóricas (HOFFMANN, 1998). O fogo também pode ter efeitos negativos para a vegetação do cerrado, dependendo da sua frequência e intensidade. Entre os efeitos adversos das queimadas frequentes no cerrado, tem sido observado baixo recrutamento de algumas espécies lenhosas, cujas conseqüências são a redução na densidade arbórea e a diminuição da diversidade de espécies (HOFFMANN, 1998; MIRANDA et al., 2004; FIEDLER et al., 2004).

O aumento da incidência de fogo no cerrado *stricto sensu*, com queimadas ocorrendo, por exemplo, uma ou mais vezes por ano, propicia que a vegetação permaneça em estádios sucessionais iniciais (MIRANDA et al., 2004). Estudos recentes associam a proteção suficientemente longa contra o fogo a uma modificação na estrutura e na composição da vegetação de cerrado, convergindo para fisionomias mais fechadas, com maior fitomassa (MOREIRA A., 2000; MIRANDA et al., 2004; MIRANDA; SATO, 2005; DURIGAN; RATTER, 2006; RATTER; BRIDGEWATER; RIBEIRO, 2006; PINHEIRO, 2006). Rizzini (1997), porém, afirmava que áreas de cerrado, protegidas do fogo, não demonstram tendência para transição florestal.

De acordo com Klink et al. (2002), o fogo pode também alterar o ciclo do carbono do cerrado, uma vez que os reservatórios, fontes e sumidouros de carbono são modificados pela substituição da vegetação dominante. Estudo realizado por Miranda et al. (1997) demonstrou que o cerrado *stricto sensu* absorve aproximadamente $2 \text{ MgC} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, embora durante a estação seca, devido à fenologia da vegetação, torne-se uma fonte de carbono para a

atmosfera. Segundo Miranda et al. (1997), em consequência da grande extensão do Cerrado, alterações nas paisagens deste bioma podem influenciar nos padrões regionais e mesmo nos globais dos ciclos da água e carbono.

5 A VEGETAÇÃO DO CERRADO

O Cerrado está entre as savanas mais ricas do planeta, Mendonça et al. (1998) descreveram sua flora diversificada com 6.062 espécies de fanerógamas e 267 espécies de pteridófitas. A riqueza florística do Cerrado pode estar associada à existência de um mosaico natural de ecossistemas que compartilham a paisagem (AGUIAR; MACHADO; MARINHO-FINHO, 2004). Aproximadamente 35% das plantas do Cerrado são típicas da formação cerrado *stricto sensu*, 30% das espécies vegetais estão nas matas-galeria, 25% em áreas campestres e 10% ainda não estão classificadas (MENDONÇA et al., 1998).

O Cerrado é caracterizado por uma comunidade arbustivo-arbórea. Normalmente, suas árvores possuem altura entre 2 e 8 m e cobertura arbórea de 10 a 60%, com troncos tortuosos cobertos por uma cortiça espessa (RATTER; RIBEIRO; BRIDGEWATER, 1997). O sistema subterrâneo, dotado de longas raízes pivotantes, permite a estas plantas abastecer-se de água em camadas mais profundas do solo, úmidas mesmo na época seca (RIZZINI, 1997).

Entre as principais famílias encontradas no Cerrado, segundo Ratter, Ribeiro e Bridgewater (1997), destacam-se Leguminosae, Asteraceae (Compositae), Myrtaceae e Rubiaceae. Rizzini (1997) complementa a lista citando Malpighiaceae, Apocynaceae, Annonaceae, Melastomataceae, Bignoniaceae, Vochysiaceae, Sapindaceae, Anacardiaceae e Arecaceae (Palmae).

Segundo Coutinho (1978), descrever o cerrado por uma única classe fisionômica (savana) não é adequado, pois apenas as formas intermediárias entre o campo limpo e o cerrado enquadram-se neste conceito. Para Walter (2006), o Cerrado representa uma savana

floristicamente rica. Conforme Ribeiro e Walter (1998), o termo cerrado sugere três definições. A primeira refere-se ao bioma, o qual predomina no Brasil Central (Figura 1.1). A outra ao cerrado *lato sensu*, que agrupa as formações savânicas, campestres e florestais do Bioma (COUTINHO, 1978). E a terceira faz referência ao cerrado *stricto sensu*, que descreve um dos tipos fisionômicos que ocorrem na formação savânica.

Conforme Oliveira-Filho e Ratter (2002), a designação cerrado não representa uma uniformidade estrutural, mas um conjunto de tipos fisionômicos, incluindo fisionomias abertas, onde predominam indivíduos herbáceos e fisionomias compostas predominantemente por indivíduos arbustivos e arbóreos. A vegetação de cerrado possui uma ampla variedade de formas, desde um campo, com arbustos esparsos e árvores pequenas, até uma formação florestal, por vezes completamente fechada, com altura de dossel de 8 a 13m (RATTER; BRIDGEWATER; RIBEIRO, 2006).

6 O CERRADO PAULISTA

O processo histórico de desenvolvimento do estado de São Paulo ocorreu principalmente por meio da ocupação e uso de áreas antes cobertas por cerrados e florestas (MENDONÇA, 2004). Na região do planalto paulista, isolado durante quase todo o período colonial devido à Serra do Mar, as atividades econômicas foram baseadas em capturas de índios, busca de ouro e pedras preciosas, agricultura de subsistência e policultura. Por volta do século XVIII, o governo incentivou a ocupação do planalto para consolidar a ocupação da Capitania de São Paulo e fixar sua população. Além disso, estimulou a lavoura canavieira, reativou a concessão de sesmarias, criou proteção ao comércio de mulas, moralizou o comércio do sal e melhorou o Caminho do Mar para escoamento dos produtos de café (MENDONÇA, 2004).

A cultura do café em São Paulo iniciou-se, por volta em 1836, no Vale do Paraíba, avançando até o início do século XX, em praticamente todo o estado. Inicialmente, as práticas agrícolas eram precárias, sendo comum a derrubada e queima da floresta para o plantio de café (DEAN, 2004). Em consequência da valorização dessa cultura e do desenvolvimento da infra-estrutura, começaram a ser utilizadas, além das terras férteis de florestas, aquelas menos férteis onde se localizavam os cerrados. Durante o período do café, diversas ferrovias foram construídas, principalmente para o escoamento dessa cultura e, em consequência, a devastação de florestas e cerrados alastrava-se por todo o estado.

No início do século XX, a cultura do café entrou em crise, deixando aos poucos de ser a principal atividade agrícola. Muitos fazendeiros começaram a dividir suas terras para saldar as dívidas, outros optaram pelo plantio do algodão e pastagens (MENDONÇA, 2004). Nos períodos seguintes, a pecuária e as práticas agrícolas intensivas, além da silvicultura, contribuíram para a fragmentação das paisagens de São Paulo, com uma redução significativa das áreas de florestas e cerrados (DURIGAN et al., 2003a).

O cerrado paulista ocupava, originalmente, 14% do estado. Já no início da década de 70, as formações cerradão, cerrado e campo cerrado abrangiam, respectivamente, 0,42%, 3,16% e 0,60%, ou seja, 4,18% da área do estado de São Paulo (SERRA FILHO et al., 1974). Levantamentos realizados por KRONKA et al. (2005) mencionaram que no ano 2001 haviam apenas 0,74% da área do estado de remanescentes de cerrado (Figura 1.3).

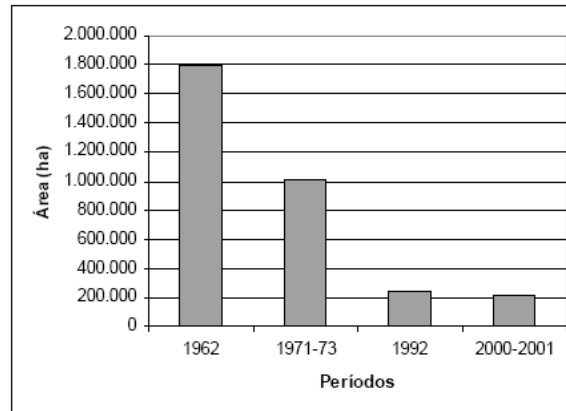


Figura 1.3. Comparação de áreas totais de cerrado do estado de São Paulo, nos períodos 1962, 1971-73, 1992 e 2000-2001.

Fonte: Kronka et al (2005).

Além da drástica redução da vegetação de cerrado no estado, a proteção legal dos remanescentes ainda não é adequada, pois somente 0,5% da área original coberta por esta vegetação e ecótonos entre cerrado e floresta estão inseridos em unidades de conservação (DURIGAN et al., 2006).

Os remanescentes de cerrado paulista estão em áreas disjuntas que sobreviveram à agricultura e ao pastoreio (DURIGAN et al., 2003a). A vegetação remanescente apresenta dois grandes padrões fitogeográficos: um a oeste, correspondente ao cerradão e ecótono entre cerrado e floresta, e outro a leste, representado por fisionomias abertas de cerrado (DURIGAN et al., 2003b). Esses padrões de distribuição podem estar relacionados a fatores como fertilidade dos solos e condições climáticas (DURIGAN et al., 2003b). As fisionomias e a composição florística do cerrado paulista, associadas às condições edáficas, originam padrões florísticos distintos (RATTER; RIBEIRO; BRIDGEWATER, 1997). O clima também condiciona diferenças florísticas sutis, como, por exemplo, a diferença entre os cerradões do norte e sul do estado (DURIGAN et al., 2003b).

Atualmente, mesmo com elevado grau de fragmentação do cerrado em São Paulo, ainda é possível identificar remanescentes de distintas fisionomias, a saber: campo sujo, campo

cerrado, cerrado *stricto sensu* e cerradão, além das formações associadas: campos gramíneos úmidos, matas de brejo e matas ciliares (DURIGAN; FRANCO; SIQUEIRA, 2004). Segundo Durigan et al. (2003a), ainda existem fragmentos relativamente extensos, com excelente estado de conservação, sobretudo na região oeste de São Paulo.

Leitão Filho (1992) elaborou uma lista de espécies arbóreas do cerrado paulista, em que relacionou 266 espécies pertencentes a 156 gêneros de 61 famílias. Em seu estudo não foram encontradas espécies endêmicas, em sua maioria tratando-se de espécies com ampla distribuição. Para o autor, ainda que São Paulo esteja localizado em uma área marginal à distribuição dos cerrados, o estado abriga uma considerável diversidade de espécies arbóreas, cerca de 34% do total listado para todo o bioma. Este fato enfatiza a importância das áreas residuais dos cerrados paulistas e sua importância em termos de preservação e conservação dos recursos genéticos (LEITÃO FILHO, 1992).

CAPÍTULO II

A DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL (1962-2006) DA COBERTURA VEGETAL NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA DE ASSIS

1 INTRODUÇÃO

O cerrado no estado de São Paulo vem sofrendo pressões por atividades antrópicas desde o período colonial brasileiro. Essas pressões foram intensificadas com o começo da cultura do café, pecuária e reflorestamentos de *Pinus* e *Eucalyptus* e, em períodos mais recentes, por pomares de *Citrus* e cana-de-açúcar, entre outras práticas agrícolas (MENDONÇA R., 2004; DURIGAN et al., 2003a).

Apesar da área de cerrado paulista encontrar-se atualmente reduzida, há diversos fragmentos protegidos em unidades de conservação, embora, segundo Durigan, Franco e Siqueira (2004), o número dessas unidades ainda não seja suficiente para preservar todas as peculiaridades florísticas desse bioma.

A presença humana nas áreas do cerrado, no entanto, é registrada praticamente durante todo o Holoceno e há evidências de que, durante todo esse período, episódios de fogo fizeram parte da história e da ecologia dessa vegetação (DEAN, 1996), embasando a teoria do cerrado como climax antrópico, ou seja, um ecossistema cujas características se mantêm estáveis desde que mantidas inalteradas as pressões antrópicas, tais como a frequência de queimadas e a intensidade do pastejo.

Estudos em diferentes regiões do Brasil, demonstraram a evolução estrutural de fisionomias abertas para outras mais fechadas com maior fitomassa em diversas áreas do cerrado após a supressão de pressões antrópicas, especialmente pastejo e fogo (GOODLAND; FERRI, 1979 em Emas, SP; DURIGAN et al., 1987 em Assis, SP; RATTER et al. 1988 em

Angatuba, SP; RATTER 1992, no Distrito Federal; DURIGAN; RATTER, 2006; PINHEIRO, 2006), tendem a corroborar a hipótese do climax antrópico em áreas de cerrado.

Resultados semelhantes foram obtidos ao redor do mundo, Archer et al. (1988) em vegetação campestre no Texas, EUA, Carmel e Kadmon (1999) e Kadmon e Harari-Kremer (1999) em campos de Israel, Bowman et al. (2001) em uma matriz composta por *Eucalyptus* e savanas na Austrália. Esses estudos conduzem a um consenso de que o pastejo e o fogo são importantes fatores de pressão sobre esses ecossistemas, interferindo negativamente na expansão de arbustos e árvores sobre as áreas campestres.

Todavia, se, por um lado, a intensificação das pressões pode conduzir à perda de biodiversidade e desequilíbrio do ecossistema. Por outro lado, a supressão total das perturbações em formações campestres e savânicas pode ocasionar transformações importantes, a ponto de modificar as condições ótimas para a sobrevivência e reprodução de muitas espécies (DURIGAN; RATTER, 2006), favorecer o estabelecimento de competição inter e intra-específica por recursos que não eram escassos antes (e.g. luz). Assim, também gerar perdas de biodiversidade ou, pelo menos, modificações na composição e estrutura das comunidades, pela imigração de novas espécies, adaptadas à nova condição (FRANCO, 2005). Nos estágios iniciais de desenvolvimento plantas do cerrado investem predominantemente em sistemas radiculares, para garantir sua sobrevivência na estação seca e às queimadas, o que resulta em um reservatório de nutrientes. Este mecanismo também permite um rápido aumento da fitomassa em áreas protegidas do fogo (FRANCO, 2005). Por essas razões, alguns estudiosos defendem o manejo do fogo visando à conservação da diversidade biológica do Cerrado (COUTINHO, 1990; RAMOS-NETO; PIVELLO 2000, MIRANDA et al. 2004, PIVELLO 2005).

Estudos sobre dinâmica vegetacional têm utilizado técnicas analógicas ou digitais e sistemas de informação geográfica (SIG) para a análise de séries temporais de aerofotos e imagens de satélite, obtendo resultados satisfatórios (CARMEL; KADMON, 1999; KADMON; HARARI-KREMER, 1999; BOWMAN; WALSH; MILNE, 2001; OLIVEIRA; PILLAR, 2004; DURIGAN; RATTER, 2006; PINHEIRO, 2006). Registros históricos de levantamentos aerofotogramétricos para o estudo de dinâmica vegetacional estão entre as principais fontes de informação disponíveis, sendo as únicas que aliam grande amplitude espaço-temporal com alta resolução espacial (KADMON; HARARI-KREMER, 1999).

O objetivo do presente capítulo foi mapear e analisar a dinâmica espaço-temporal da cobertura vegetal na Estação Ecológica de Assis (EEcA), ao longo de 44 anos. Pretende-se, com essas análises, verificar a hipótese de que a vegetação de cerrado está passando por um processo sucessional, cujo clímax estrutural será uma fitofisionomia florestal, com estrato arbóreo contínuo. Esse processo tem sido observado em outras áreas de cerrado no estado de São Paulo e em outras regiões do país. As fisionomias abertas de cerrado, na área de estudo, mantiveram-se devido a pressões antrópicas que, uma vez suprimidas, possibilitariam a evolução da vegetação para um clímax com maior fitomassa.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A Estação Ecológica de Assis está localizada no município de Assis, estado de São Paulo, entre as coordenadas 22°33'20" a 22°37'41" Latitude Sul e 50°24'4,8" a 50°21'27" Longitude Oeste de Greenwich (Figura 2.1).

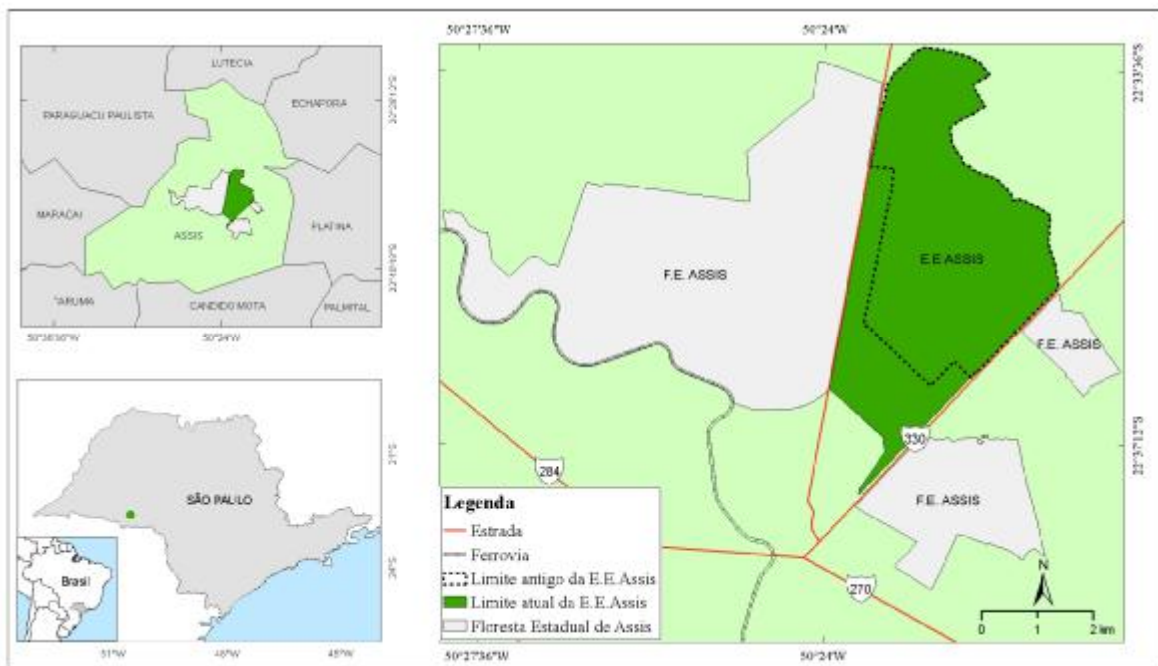


Figura 2.1. Localização e limites da Estação Ecológica de Assis, SP. Em linha pontilhada a área original da unidade de conservação, coberta por vegetação natural de cerrado, objeto do presente estudo.

A EECA está inserida no Planalto Ocidental paulista, em uma região com relevo suave-ondulado. Em cerca de 25% de sua área, as declividades variam entre 0 e 2%, em 58,5% entre 2 e 5%, em 16% apresentam declividades entre 5 a 12% e menos de 1% da área possui declividades maiores do que 12%. As altitudes apresentam-se entre 510 e 596 m. A litologia constitui-se de arenitos do Grupo Bauru, da Formação Adamantina (PRADO, 1997). A rede de drenagem integra a bacia do rio Paranapanema e abriga as nascentes de dois córregos: Pirapitinga e Campestre. Os solos da unidade de conservação (UC) são ácidos, com baixa fertilidade e elevados teores de alumínio. Conforme a classificação da EMBRAPA (1999), são do tipo Latossolo Vermelho Distrófico, os quais ocupam 93,1% da área, Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico e Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (BOGNOLA et al., 1990).

Segundo a classificação de Köppen, a região de Assis está inserida em uma zona de transição entre os tipos climáticos Cwa e Cfa, caracterizada como subtropical, com chuvas

concentradas no verão e inverno seco (Figura 2.2). A distinção entre os dois tipos climáticos está na duração da estação seca, que nessa região é variável (FARIA et al., 2004). A temperatura média anual é de 21,8°C, a média das máximas atinge 32,4°C e a média das mínimas é de 8,4°C. A pluviosidade média anual é de 1.400 mm e o período das chuvas ocorre entre outubro e março (Figura 2.2). A umidade relativa do ar varia entre 62% e 84%, com média anual de 75,2% (SETZER, 1966). Durante o inverno, podem ocorrer geadas, as quais produzem distúrbios na vegetação do cerrado (BRANDO; DURIGAN, 2004).

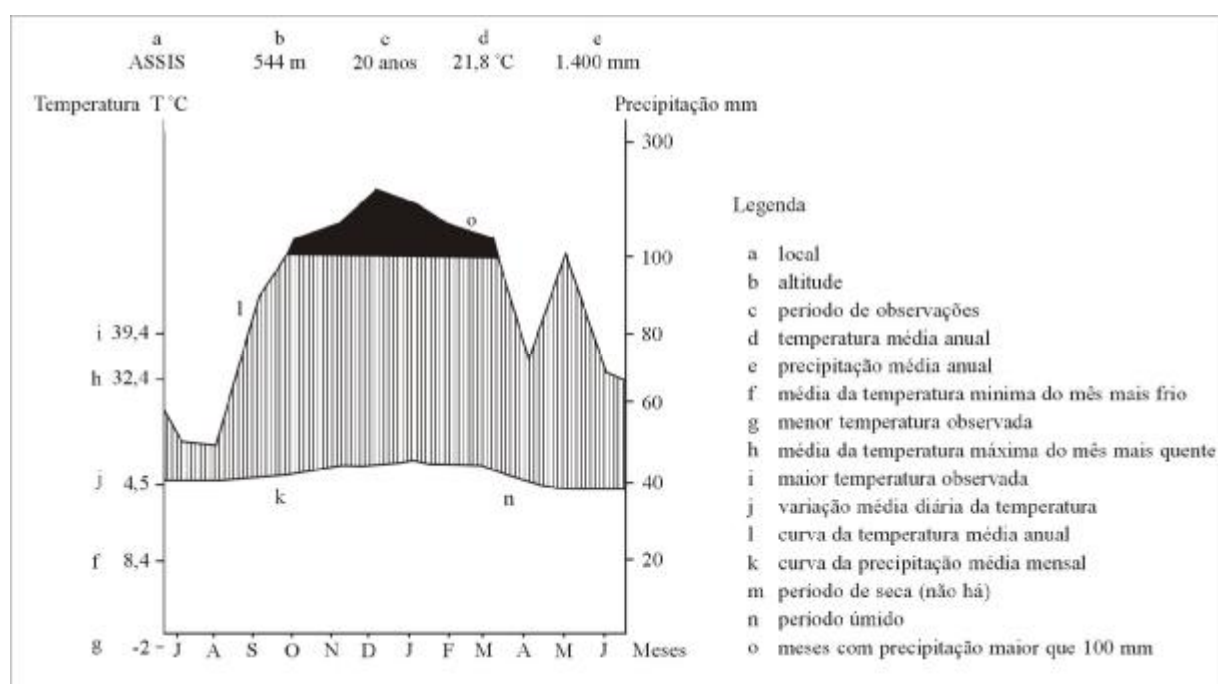


Figura 2.2. Diagrama climático de Assis.

Fonte: Adaptado de Garrido et al., (s.d.).

A vegetação da EECA ocupa ambientes distintos, formando paisagens com diferentes fisionomias, resultando em um mosaico vegetacional. Possivelmente, isso está relacionado aos fatores ambientais, tais como umidade, tipo de solo, microclima, ocorrência de fogo e outras perturbações antrópicas. Na referida UC, a vegetação pode ser classificada como cerrado *lato sensu*. A fitofisionomia dominante é o cerradão, com árvores que chegam até 15 metros de altura e formam uma cobertura arbórea fechada. Também ocorrem pequenas manchas de vegetação com estrato arbóreo descontínuo, o que configura a fitofisionomia de

cerrado *stricto sensu*. Ao longo dos córregos, verificam-se dois tipos de vegetação: uma com estrato arbóreo denso (mata-galeria), com algumas espécies higrófilas, e outra nos terrenos úmidos (brejos), com vegetação herbácea e arbustiva exclusivamente higrófila (DURIGAN et al., 1999).

2.1 Processamento dos dados de sensoriamento remoto

Para realizar este estudo foram utilizadas fotografias aéreas e imagens do satélite *QuickBird*, material descrito na Tabela 2.1. No estudo também foi utilizada uma base cartográfica digital em escala 1:10.000, contendo informações referentes às estradas, hidrografia e curvas de nível com equidistância de 10 metros (MAX et al., 2004).

Tabela 2.1 - Especificações dos dados de sensoriamento remoto utilizados na análise temporal da vegetação de cerrado, na Estação Ecológica de Assis, SP.

Ano	Responsável	Escala	Imagem	Digitalização (pdi*)
1962	Secretaria da Agricultura – SP	1:25.000	Pancromática	300
1984	Instituto Agronômico de Campinas	1:35.000	Pancromática	900
1994	Base Aerofotogrametria S/A	1:25.000	Colorida	300
2006	Digital Globe	-	Multiespectral e Pancromática	

*pdi (ponto por polegadas).

As imagens *QuickBird*, pancromática e multiespectral, foram fundidas antes do processo de ortorretificação, para garantir que não haveria deslocamento entre elas. A fusão foi realizada pelo método *Gram-Schmidt*, disponível no aplicativo *Environment for Visualizing Images* (ENVI 4.3) (RSI, 2006a). Esse método, desenvolvido para imagens com alta resolução espacial, permite a fusão das cinco bandas espectrais. Entre as vantagens de sua aplicação destaca-se a possibilidade de, após a fusão das imagens, selecionar composições

coloridas com os filtros, vermelho (3R), verde (2G) e azul (1B) ou de falsa-cor, composição (4R, 3G e 2B). Essas composições facilitaram a interpretação das feições no terreno, permitindo observar diferenças sutis nas fitofisionomias, as quais estão associadas à interação da radiação eletromagnética com o dossel da vegetação. Além disso, Pinto, Rennó e Kux (2005), após testes com vários métodos para fusão de imagens *QuickBird*, concluíram que o *Gram-Schmidt* apresenta os melhores resultados para imagens deste satélite.

Para corrigir as distorções geométricas da imagem *QuickBird*, utilizou-se o modelo função racional descrito por Tao e Hu (2001) e Toutin e Cheng (2002). Com esta finalidade foram empregados pontos de controle, adquiridos na base cartográfica 1:10.000 (MAX et al., 2004), dados dos coeficientes polinomiais racionais (RPC) e um modelo digital de elevação (MDE). O MDE foi confeccionado a partir das curvas de nível, utilizando-se a rede irregular de triangulação (TIN) e interpoladores lineares.

Para as fotografias aéreas digitalizadas de cada ano foi feito um mosaico utilizando-se o aplicativo *Image Registration and Mosaicking* (REGGEEMY²), desenvolvido por Fedorov et al. (2003). Para tanto foi aplicada uma transformação Afim e as imagens foram reamostradas pelo interpolador bilinear, utilizando-se apenas a parte central das aerofotos. Este aplicativo permite a aquisição automática de pontos de controle por meio de feições similares, por exemplo, na sobreposição entre os pares aerofotogramétricos (FEDEROV et al., 2003). Posteriormente, cada mosaico foi georreferenciado, tendo como base a imagem *QuickBird*. Nesta etapa foi empregado o modelo polinomial de 2º grau e reamostragem bilinear.

2.3 Interpretação e mapeamento

O mapa de cobertura vegetal da EECA foi elaborado de acordo com o sistema de classificação de vegetação do Cerrado proposto por Ribeiro e Walter (1998). Para auxiliar no

² Disponível no endereço eletrônico: <http://regima.dpi.inpe.br/>

mapeamento, efetuou-se a caracterização das fitofisionomias em campo, a partir do método de parcelas, as quais foram georreferenciadas com Sistema de Posicionamento Global (GPS), estando a maior parte dos dados apresentados no Capítulo 03 deste estudo.

Para extrair as informações dos produtos de sensoriamento remoto empregaram-se técnicas de interpretação visual, baseadas em elementos usuais, tais como, brilho, cor, textura, forma, tamanho, contexto, padrão e tamanho (WOLF, 1983; LILLESAND; KIEFER, 2000). As feições foram interpretadas e digitalizadas na tela do computador, em uma escala média de 1:3.500, utilizando-se o aplicativo *ArcMap 9.1* (ESRI, 2004). Além disso, foi calculada a cobertura das árvores (porcentagem do terreno coberta pela projeção das copas), utilizando-se o método de interceptação das linhas. Assim, a partir dos produtos de sensoriamento remoto (aerofotos e imagens), em cada fitofisionomia de cerrado foram traçados 10 transectos, com 50 m de comprimento, e calculada a porcentagem de cobertura arbórea (Figura 2.3). Na etapa final do mapeamento, um segundo trabalho de campo foi realizado para verificar da exatidão temática dos mapas gerados.

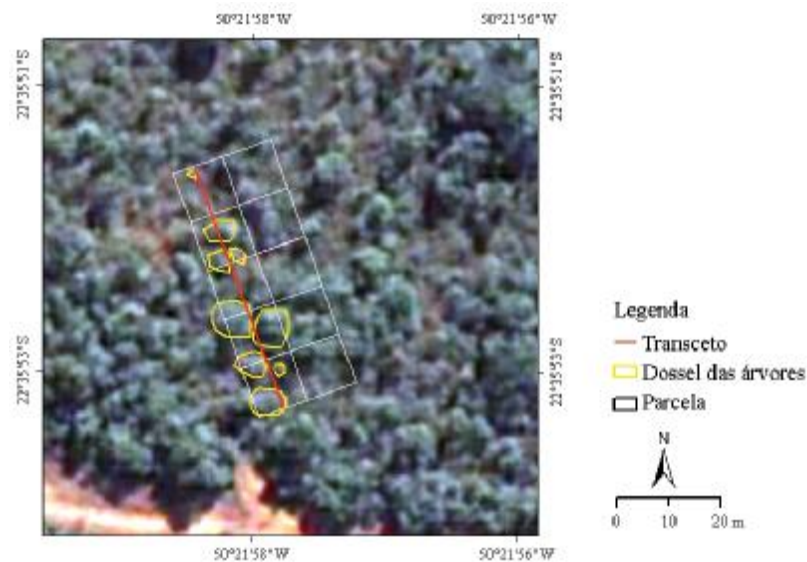


Figura 2.3. Método utilizado para calcular a porcentagem de cobertura arbórea. Imagem *QuickBird*.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Correção geométrica dos dados

A ortorretificação da imagem *QuickBird* obteve um erro médio quadrático (*EMQ*) de 2,59 m, utilizando 25 pontos de controle (APÊNDICE A). Os erros máximos em Leste (E) e Norte (N) foram, respectivamente, -4,3 m e 5,1 m (Figura 2.4d). O *EMQ* obtido está de acordo com as normas cartográficas brasileiras (BRASIL, 1984). O Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) obtido está dentro da margem de erro aceita para a classe A planimétrica da base utilizada (1:10.000), ou seja, 0,5 mm na escala da carta (5 m).

Apesar dos mosaicos terem sido gerados apenas com a parte central das aerofotos, seu georreferenciamento ofereceu dificuldades. Entre os problemas normais em aerofotos, como irregularidades no voo, distorções das lentes, refração atmosférica, destaca-se o efeito da topografia (WOLF, 1983; MCGLONE, 1996). As distorções nas aerofotos foram significativas, mesmo com o relevo suave ondulado da área mapeada. Para solucionar estes problemas, todas as aerofotos foram ajustadas ao mesmo polígono dos limites da EEcA, além da imagem *QuickBird*. Diversas pesquisas com uso de aerofotos também relatam problemas com distorções geométricas (CARMEL; KADMON, 1999; KADMON; HARARI-KREMER, 1999; BOWMAN; WALSH; MILNE, 2001).

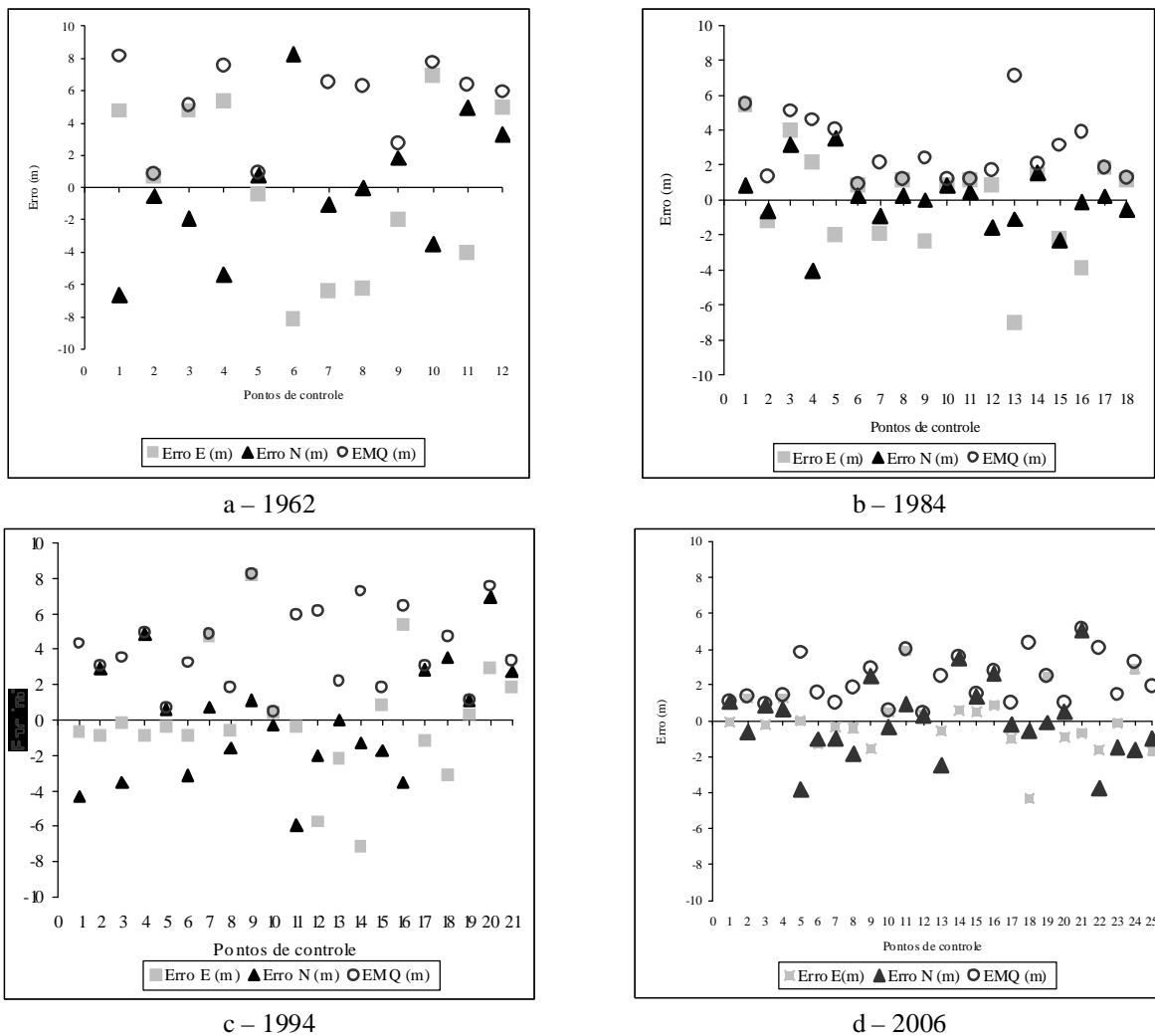


Figura 2.4. Distribuição dos erros nos pontos de controle utilizados nos dados de sensoriamento remoto.

Embora o processamento das aerofotos tenha apresentado erros mais altos do que as imagens *QuickBird*, esses foram bem distribuídos (Figura 2.4). A Tabela 2.2 apresenta os erros máximos (E e N) e o *EMQ* obtidos para cada mosaico de aerofotos. Os maiores erros foram obtidos para o mosaico de 1962, para o qual foram utilizados somente 12 pontos de controle, uma vez que as modificações no uso e cobertura da terra ocorridas na área dificultaram a identificação de pontos. Para os anos de 1984 e 1994, foram utilizados 19 e 21 pontos de controle, respectivamente. No modelo polinomial, quanto maior o número e melhor distribuídos os pontos de controle maior será a precisão do processamento (LILLESAND; KIEFER, 2000).

Tabela 2.2 - Erro médio quadrático e erros máximos obtidos no georreferenciamento dos mosaicos de aerofotos da Estação Ecológica de Assis, SP.

Ano do vôo aerofotogramétrico	Erro máximo E (m)	Erro máximo N (m)	EMQ (m)
1962	-8,13	8,25	6,51
1984	3,89	3,52	3,32
1994	-7,15	-5,92	4,62

3.2 Os tipos fitofisionômicos

As fitofisionomias mapeadas na EEcA, conforme a classificação de Ribeiro e Walter (1998), foram as seguintes:

- **Campo:** vegetação com predomínio de espécies herbáceas, poucas arbustivas e praticamente nenhuma arbórea (Figura 2.5a). Os campos mapeados caracterizam-se como áreas antropizadas, onde era realizado o pastoreio, e alguns outros locais, ao norte da atual Estação Ecológica, em que eram feitas práticas agrícolas (milho e café);

- **Campo úmido:** representa um tipo de vegetação de ambiente ripário que ocupa terrenos úmidos com drenagem deficiente ou lençol freático pouco profundo (Figura 2.5b). A vegetação herbácea é predominantemente composta por gramíneas;

- **Campo cerrado:** este tipo fitofisionômico, também denominado cerrado ralo, é mais aberto do que o cerrado típico. Seu estrato arbóreo não ultrapassa 2 a 3 m de altura (Figura 2.5c). O estrato graminoso é contínuo, com elementos lenhosos esparsos. De acordo com as análises das imagens sua cobertura arbórea média foi de 10,5% ($\pm 4,4\%$);

- **Cerrado típico:** possui o solo revestido por gramíneas, ervas e subarbustos e o estrato arbóreo é descontínuo (Figura 2.5d). Esse tipo fitofisionômico, na EEcA, apresentou cobertura arbórea média de 46,3% ($\pm 8,9\%$). Este valor, apesar de relativamente alto, está de acordo com a classificação de Ribeiro e Walter (1998), que descrevem o cerrado típico com cobertura arbórea entre 20 e 50%. No Capítulo 3 são apresentados maiores detalhes sobre a estrutura desta fitofisionomia;

- **Cerrado denso:** é um tipo de vegetação mais baixa e mais aberta do que o cerradão (Figura 2.5e). A cobertura arbórea média foi de 70,4% ($\pm 7,9\%$), valores estes que estão um pouco acima da classificação proposta por Ribeiro e Walter (1998), ou seja, de 50% a 70%. Segundo aqueles autores, esse é o tipo fitofisionômico mais denso e alto do cerrado *stricto sensu*. Normalmente, segundo Durigan, Franco e Siqueira (2004), encontra-se o cerrado denso em pequenas áreas de transição do cerrado típico para o cerradão;

- **Cerradão:** é uma fitofisionomia florestal, em que a vegetação arbórea forma um dossel fechado, normalmente com mais de 90% de cobertura, e a altura média das árvores varia entre 8 e 15 m (Figura 2.5f);

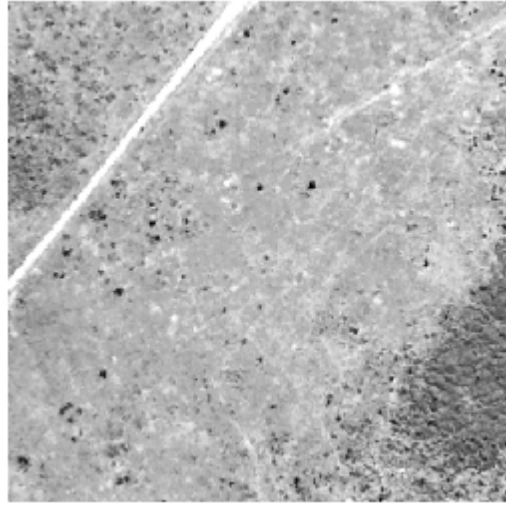
- **Mata-galeria:** representa uma vegetação florestal densa, com cobertura arbórea superior a 90%, as espécies são tolerantes à saturação hídrica e alagamento do terreno ao longo do ano (Figura 2.5g);

Outras duas classes temáticas também foram mapeadas, as quais não constam na proposta apresentada por Ribeiro e Walter (1998), a saber:

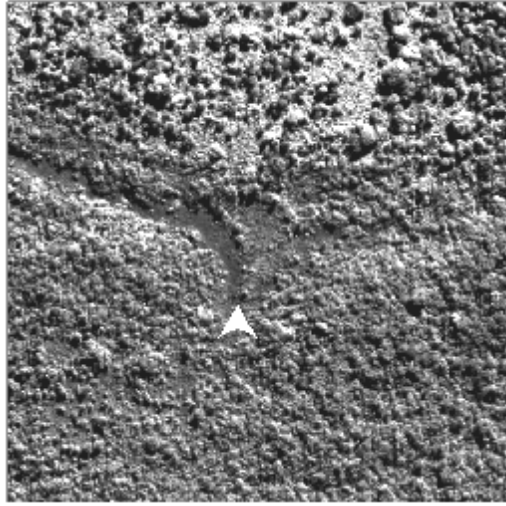
- **Invasão** [*Pteridium arachnoideum* (kaulf.) Maxon]: este tipo de vegetação aparece nas imagens com textura lisa, em tons de cinza claro a médio (Figura 2.5h). Nas aerofotos de 1962 e 1984 observam-se poucos indivíduos arbóreos associados às áreas com samambaias, sendo possível identificar um adensamento de árvores nas datas posteriores, 1994 e 2006;

- **Estrada/caminho/aceiro:** são feições lineares, facilmente identificáveis nos dados de sensoriamento remoto (Figura 2.5i).

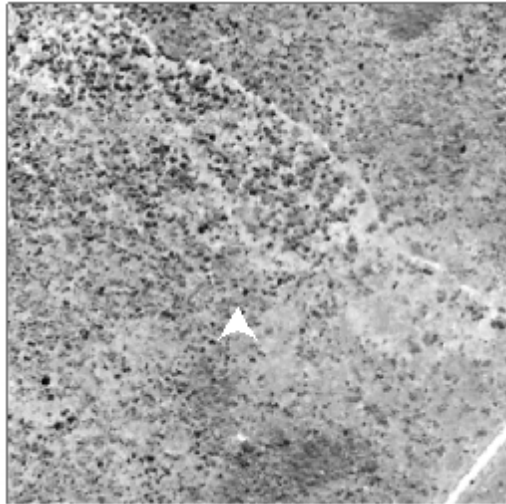
a - Campo



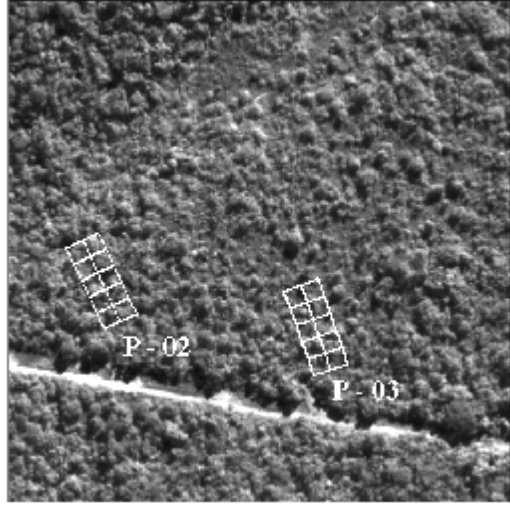
b - Campo úmido



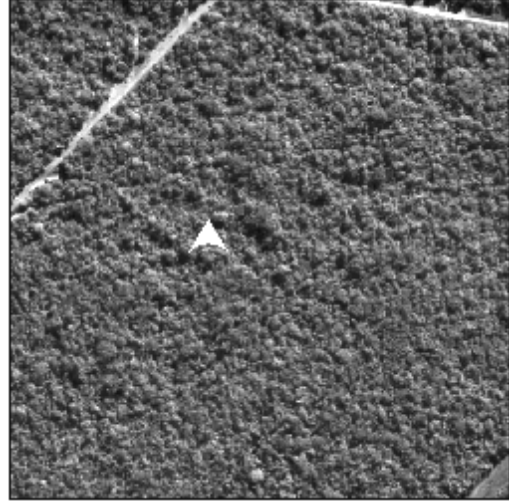
c - Campo cerrado



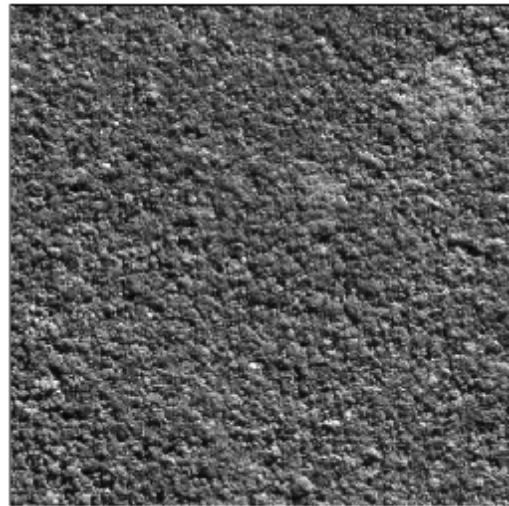
d - Cerrado típico



e - Cerrado denso



f - Cerradão



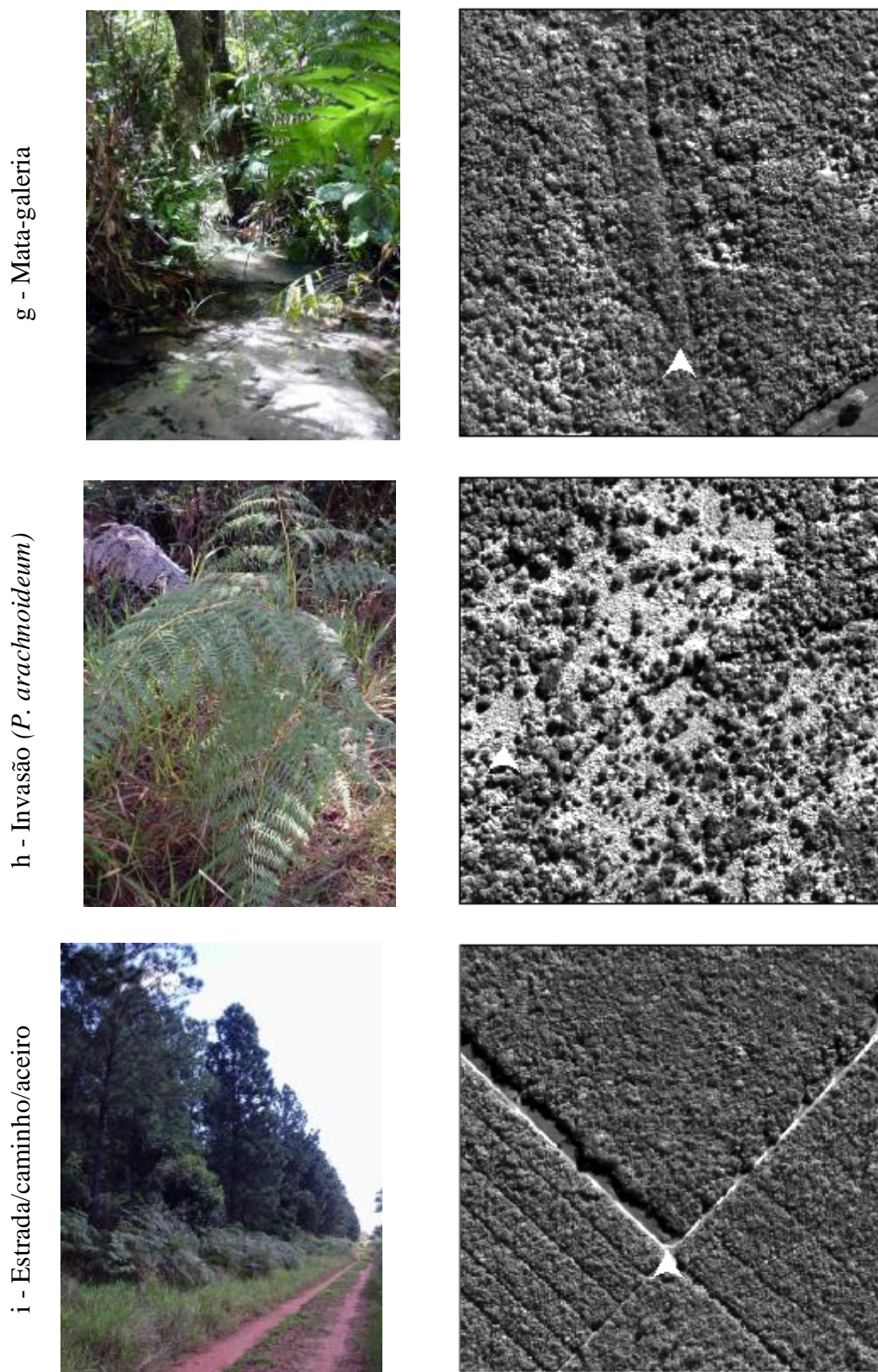


Figura 2.5. Amostra e fotos das classes temáticas mapeadas na Estação Ecológica de Assis, SP. (Fotos à esquerda de autoria de Durigan e Pinheiro, 2006).

3.3 A evolução da cobertura vegetal

Os resultados do mapeamento demonstram que, durante os 44 anos analisados, houve alterações significativas na cobertura vegetal da EEcA (Figuras 2.6 e 2.7). A principal modificação observada foi o adensamento contínuo da vegetação, com áreas abertas de campo sendo aos poucos ocupadas por fisionomias mais fechadas de cerrado (Figura 2.6 e Tabela 2.3). Outras pesquisas sobre dinâmica da cobertura vegetal, com dados de sensoriamento remoto, mostram resultados semelhantes aos obtidos nesse estudo (DURIGAN et al., 1987; ARCHER; SCIFRES; BASSHAN, 1988; CARMEL; KADMON, 1999; BOWMAN; WALSH; MILNE, 2001; OLIVEIRA; PILLAR, 2004; PINHEIRO, 2006; DURIGAN; RATTER, 2006). Nessas pesquisas há um consenso de que o incremento das fisionomias florestais sobre formações campestres é explicado pela situação climática favorável às primeiras, e que a eliminação do pastejo e queimadas são fatores importantes para a expansão de formações florestais.

Tabela 2.3 - Distribuição e evolução da cobertura vegetal (1962 - 2006) natural do cerrado na Estação Ecológica de Assis, SP.

Classe	Área ocupada por cada fisionomia							
	1962		1984		1994		2006	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Campo	74,36	5,90	1,41	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00
Campo úmido	18,69	1,48	13,05	1,04	8,73	0,69	4,66	0,37
Campo cerrado	194,11	15,40	32,93	2,61	0,00	0,00	0,00	0,00
Cerrado denso	126,89	10,06	112,77	8,94	98,68	7,83	32,33	2,56
Cerrado típico	82,07	6,51	86,87	6,89	66,86	5,30	10,54	0,84
Cerradão	673,74	53,44	899,20	71,32	974,97	77,33	1115,68	91,43
Mata-galeria	3,69	0,29	8,30	0,66	9,53	0,76	11,04	0,88
Invasão (<i>Pteridium arachnoideum</i>)	71,16	5,64	93,43	7,41	90,73	7,20	39,18	3,11
Estrada/caminho/aceiro	16,05	1,27	12,81	1,02	11,25	0,89	10,32	0,82
Total	1260,76	100	1260,76	100	1260,76	100	1260,76	100

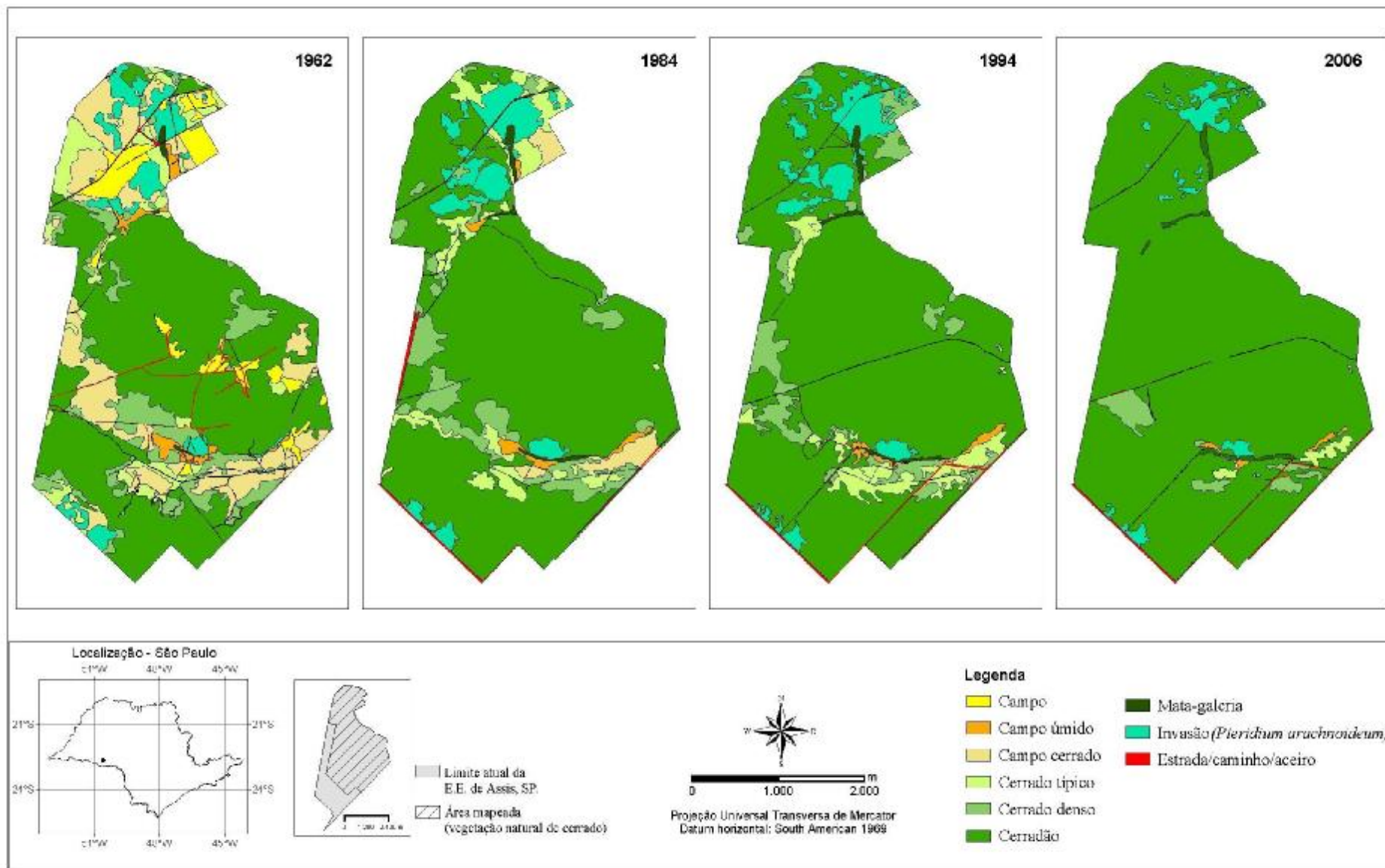


Figura 2.6. Mapas da cobertura vegetal natural de cerrado na Estação Ecológica de Assis, SP - 1962 a 2006.

Pesquisas tratando especificamente da vegetação de cerrado também indicam que as modificações no regime de queimadas resultam em diferentes fisionomias (HOFFMANN, 1998; MOREIRA, 2000), alterando a proporção de plantas herbáceas e lenhosas e até mesmo a flora. O aumento de queimadas sobre vegetação lenhosa conduz a fisionomias mais abertas, devido às altas taxas de mortalidade, alterações de recrutamento e favorecimento da vegetação rasteira (MIRANDA; SATO; 2005).

Se, por um lado, maior frequência de queimadas resulta em aumento da proporção de espécies não lenhosas no cerrado, por outro lado, a total supressão do fogo pode ser considerada uma forma de intervenção nos processos ecológicos naturais em savanas. Moreira (2000) verificou que a proteção contra queimadas aumenta a abundância de espécies lenhosas e de espécies sensíveis ao fogo. Diante dessas constatações, alguns estudiosos da conservação do cerrado (COUTINHO 1990, RAMO-NETO; PIVELLO, 2000; MIRANDA et al., 2004; PIVELLO, 2005), defendem queimadas esporádicas como estratégia de manejo para favorecer a manutenção de formações campestres e preservar a biodiversidade.

Na Estação Ecológica de Assis, segundo depoimentos de antigos funcionários e vizinhos, o uso do fogo era freqüente como prática de limpeza de áreas para cultivo ou pastoreio, limitando, certamente, a regeneração das plantas lenhosas e o incremento de fitomassa.

Com a proteção, as fisionomias campo e campo cerrado, que em 1962 ocupavam 21,3% da área, nas imagens de 1994 e 2006 não existiam mais, tendo sido substituídas por cerradão (Figuras 2.7 e 2.8) ou, nas partes mais baixas das vertentes, por cerrado denso (Figura 2.9), ao longo do período estudado. O campo úmido perdeu espaço em parte para o cerrado típico, mas principalmente para as matas-galeria, tendo sua área reduzida a um quarto do inicial.

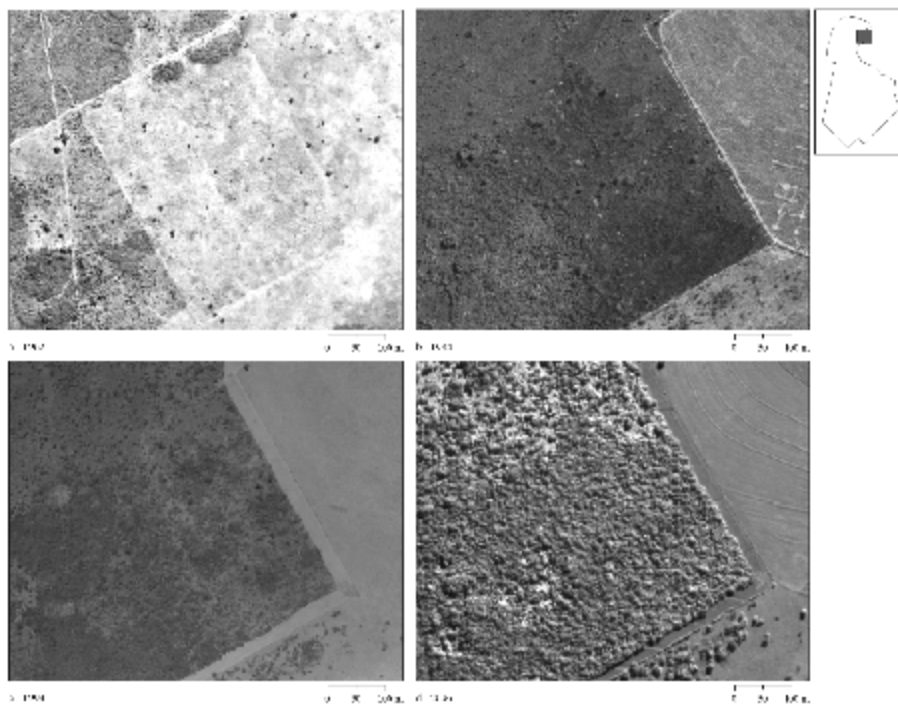


Figura 2.7. Alterações na cobertura vegetal em um mesmo local, na Estação Ecológica de Assis, SP, em que área de campo (a) evoluiu para cerradão (d). Aerofotos (a, b e c), imagem *QuickBird* (d).

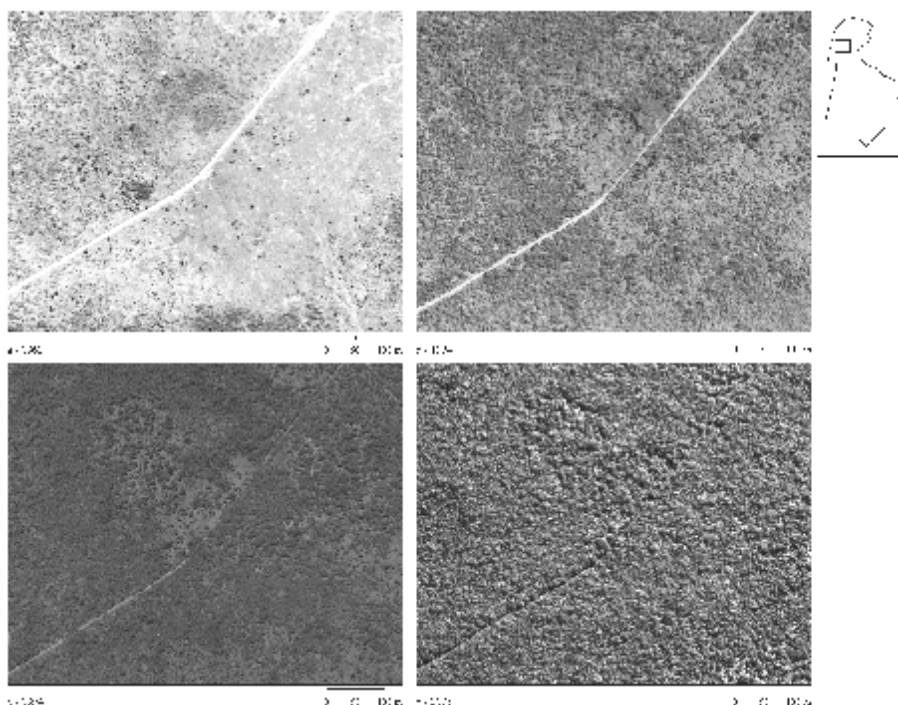


Figura 2.8. Alterações na cobertura vegetal em um mesmo local, na Estação Ecológica de Assis, SP, em que fisionomia campestre (a) modificou-se em fisionomias savânicas (b e c) e, finalmente, em cerradão (d). Aerofotos (a, b e c), imagem *QuickBird* (d).

Em diversos locais da EEcA, verificou-se a evolução gradativa, durante 44 anos, das fisionomias de campo cerrado para cerrado típico e cerrado denso (Figuras 2.7 e 2.9). O elevado número de caminhos identificados nas aerofotos de 1962 é, resultado das ações antrópicas intensas em períodos anteriores, possivelmente associadas ao pastejo.

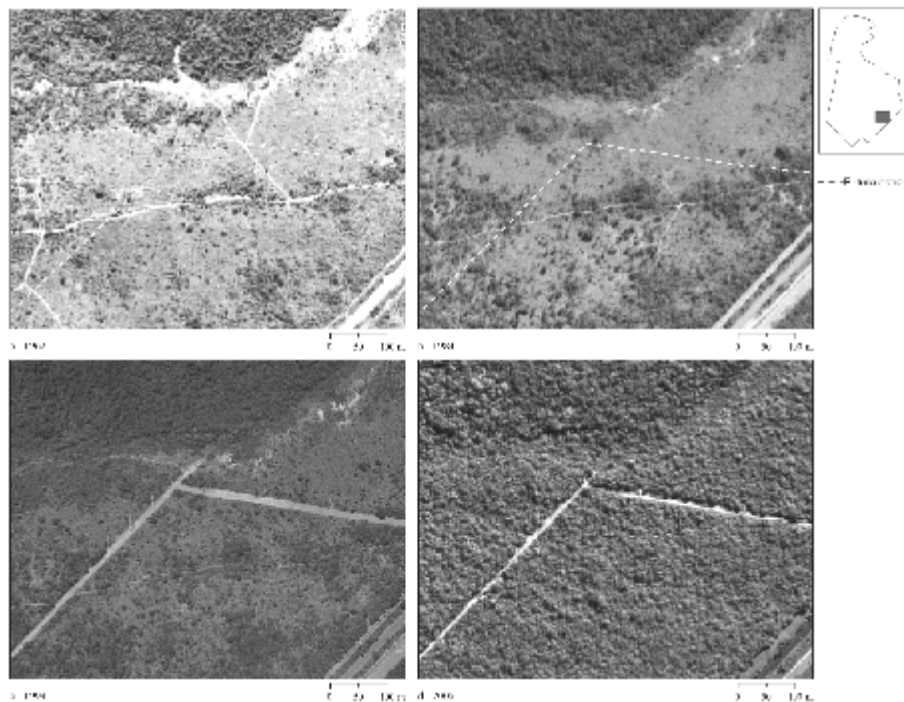


Figura 2.9. Modificações na cobertura vegetal em um mesmo local, na Estação Ecológica de Assis, SP, onde a vegetação de campo cerrado (a e b) evoluiu para cerrado *strictu sensu* (c) e depois, para cerradão (d). Aerofotos (a, b e c), imagem *QuickBird* (d).

Durante a década de 70, quando a administração da unidade passou para o Instituto Florestal foram interrompidas as atividades antrópicas no interior da área que hoje corresponde à EEcA. Como resultado, observa-se a rápida redução dos campos (Tabela 2.4 e Figura 2.6), quando comparadas as aerofotos de 1962 e 1984. Em 1984, os elementos lenhosos já se regeneravam sobre os campos, embora em alguns locais tenham proliferado as samambaias (*Pteridium arachnoideum*). Além dos campos abandonados, as análises do modelo digital de elevação, em conjunto com a rede hidrográfica, aliadas aos trabalhos de campo, permitiram observar que essas samambaias geralmente ocupam locais próximos às nascentes de cursos d'água, embora não ocupem terrenos permanentemente úmidos.

Entre os anos de 1962 e 1984, observa-se aumento das áreas ocupadas por samambaias, mas, a partir de 1994 este processo de invasão vem sendo revertido (Tabela 2.4 e Figura 2.6). Verifica-se, nas fotos de 1962, a existência de alguns poucos indivíduos lenhosos no interior das áreas invadidas. Nos períodos subseqüentes, a densidade e a cobertura de copas das árvores aumentaram gradativamente sobre as samambaias (Figuras 2.10 e 2.11), de modo que entre 1994 e 2006 a área ocupada pela espécie invasora reduziu-se a menos da metade. Em campo, verificou-se que as samambaias estão diminuindo consideravelmente sob as árvores, possivelmente em decorrência do sombreamento, uma vez que a espécie é exigente em luz (Marrs *et al.* 2000).

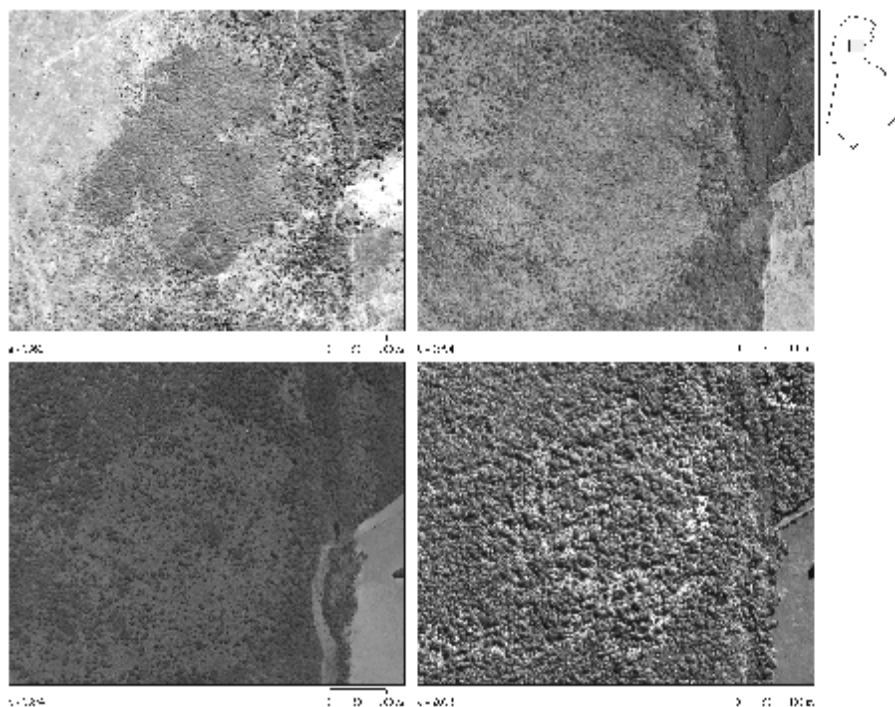


Figura 2.10. Alterações na cobertura vegetal em área ocupada pela samambaia (*Pteridium arachnoideum*) na Estação Ecológica de Assis, SP, no período 1962-2006. Aerofotos (a, b e c), imagem *QuickBird* (d).

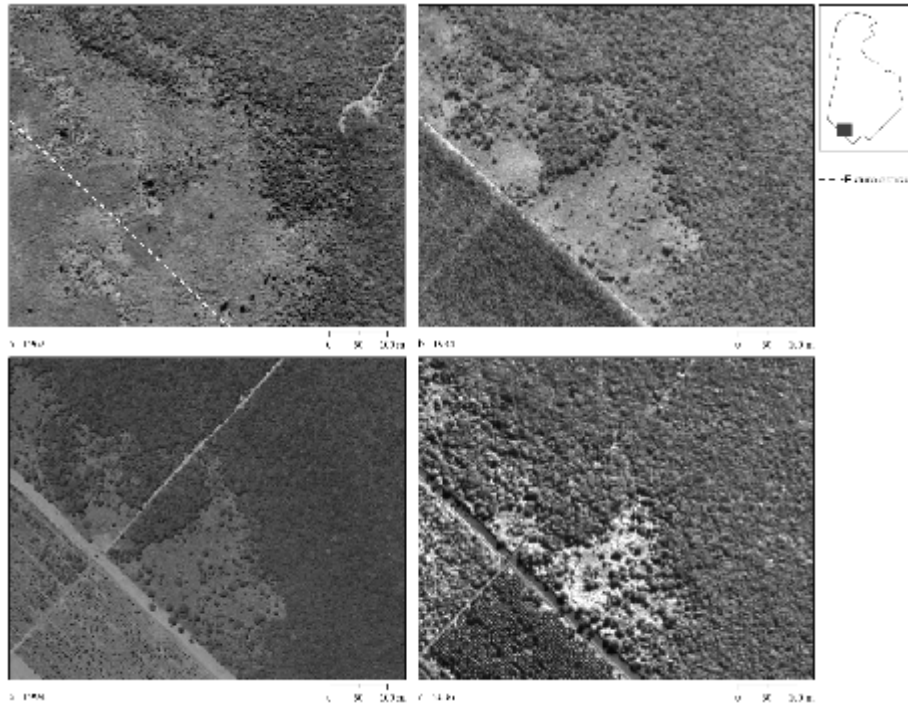


Figura 2.11. Redução na área coberta pela samambaia (*Pteridium arachnoideum*) e adensamento de espécies arbóreas na Estação Ecológica de Assis, SP, no período 1962-2006. Aerofotos (a, b e c), imagem *QuickBird* (d).

Em estudo realizado com *Pteridium aquilinum*, Marrs et al., (2000) descrevem algumas características próprias das espécies do gênero, a saber: possuem grande sistema de rizomas com elevadas reservas de nutrientes e carboidratos e muitos brotos capazes de gerar nova folhagem; alta produtividade de fitomassa aérea que gera sombreamento; provocam grande acumulação de serapilheira, o que pode inibir o crescimento de outras espécies; presença de elementos químicos tóxicos em seus tecidos, que dificultam o ingresso de outras espécies por alelopatia.

As espécies do gênero, embora possam ter respostas distintas em diferentes locais, persistem por períodos longos, provavelmente devido aos efeitos competitivos diretos que têm com outras espécies (MARRS et al., 2000). Belinato e Matos (2003) demonstraram que *Pteridium aquilinum* representa um perigo para a regeneração natural de dez espécies normalmente utilizadas em reflorestamentos na Mata Atlântica. Essas samambaias impedem a

sucessão secundária, com efeitos negativos essencialmente sobre o sistema radicular das plântulas de espécies arbóreas.

A reocupação das áreas invadidas por *Pteridium arachnoideum* pelas espécies arbóreas do cerradão parece, portanto, contrariar o que tem sido observado em outras regiões. É possível que este processo observado na EECA esteja associado à alta resiliência usualmente atribuída à vegetação de cerrado. Estudos de ecologia e dinâmica de comunidades nas áreas de cerrado ocupadas por *P. arachnoideum* são necessários, para que possam ser explicados os processos ecológicos que estão condicionando a reversão da invasão por esta espécie.

Embora sejam relevantes as evidências de que a ação antrópica e os incêndios sejam fatores limitantes para os padrões vegetacionais (ARCHER; SCIFRES; BASSHAN, 1988; CARMEL; KADMON, 1999; BOWMAN; WALSH; MILNE, 2001; MOREIRA, 2000; OLIVEIRA-FILHO; RATTER, 2002; PINHEIRO, 2006; DURIGAN; RATTER, 2006), as explicações para as alterações de formações campestres para florestais não estão esgotadas, devendo ser analisados outros fatores ecológicos, como tipo de solo, microclima e disponibilidade de luz, como condicionantes desse processo. Além desses fatores, na ausência do fogo, o tempo para uma comunidade em fase inicial de crescimento atingir a fase de equilíbrio pode depender também da distância da fonte de propágulos (HENRIQUES, 2005). Esta fase de equilíbrio (climax estrutural) seria representada pelo cerradão, segundo Ratter, Bridgewater e Ribeiro (2006), em boa parte das regiões de domínio do Cerrado.

No caso da EECA, verifica-se que a resiliência é variável entre fitofisionomias e entre trechos da unidade. A sucessão rumo ao cerradão tem sido mais lenta nas áreas ocupadas por samambaias e fisionomias savânicas, localizadas nos trechos situados nas porções inferiores das vertentes, onde os solos (mapeados por BOGNOLA et al., 1990) são mais arenosos e as geadas mais intensas e freqüentes (BRANDO; DURIGAN, 2004). Nas áreas ao norte da unidade, que, em 1962, demonstravam ter sofrido as mais intensas pressões antrópicas, em

2006 não existiam mais fisionomias savânicas (Figuras 2.7 e 2.10). Essas áreas estão em zonas de interflúvio, mais elevadas e sobre latossolos. É possível, portanto, que a mais lenta modificação das fisionomias em alguns trechos esteja relacionada a fatores de natureza edáfica ou microclimática, com a possibilidade até de que o clímax não chegue ao cerradão.

Pinheiro (2006) comparou os resultados de análises edáficas para explicar o adensamento da vegetação de cerrado em Corumbataí, estado de São Paulo, constatando que a disponibilidade de nutrientes no solo não é o principal elemento para explicar a mudança de cerrado *stricto sensu* para o cerradão. Em estudo realizado no Mato Grosso, Marimon Jr e Haridasan (2005) concluíram que a fertilidade do solo não é um fator determinante para explicar a coexistência de cerrado *stricto sensu* e cerradão. Aparentemente, segundo os autores, esse processo está associado à disponibilidade hídrica, pois solos com teor maior de argila, comuns sob cerradão, são capazes de reter maior quantidade de água ao longo do perfil por um tempo mais longo do que solos arenosos, característicos das fisionomias mais abertas de cerrado.

Quanto à possível influência do microclima, Brando e Durigan (2004) estudaram os efeitos da geada severa do ano 2000 sobre a vegetação da EEcA, constatando mudanças na estrutura da comunidade vegetal, similares às causadas pelo fogo, com redução da fitomassa aérea. Para esses autores, a ocorrência de geadas mais frequentes e intensas conservaria o cerrado com fisionomias abertas, mesmo em locais onde os nutrientes e a disponibilidade hídrica poderiam sustentar uma vegetação com maior fitomassa. Assim, pode-se inferir que, embora geadas muito severas sejam esporádicas na região, com recorrência a cada 25 anos (BRANDO e DURIGAN, 2004), estas e outras geadas, mais frequentes e menos intensas, podem contribuir para a permanência de fisionomias savânicas em alguns trechos na EEcA, que ainda persistem nas imagens de 2006, especialmente nos fundos dos vales, em que o frio é mais intenso.

Ainda que a rapidez do processo de evolução das fisionomias seja variável entre condições ambientais, o que se observou nesta unidade de conservação durante esse período de 44 anos deve ter se repetido, com maior ou menor intensidade, em todas as áreas ocupadas por vegetação de cerrado no estado de São Paulo, que tiveram um histórico de ocupação semelhante. Tomando-se por base o primeiro mapeamento das fisionomias de cerrado realizado por Chiarini e Coelho (1969), a partir do mesmo levantamento aerofotogramétrico de 1962 que foi base do presente estudo, e extrapolando-se para todo o estado a redução aqui observada na proporção das fisionomias abertas de cerrado, estima-se que as áreas de campo cerrado e cerrado *stricto sensu*, que ocupavam, em 1962, 91% do estado, se tivessem sido preservadas e protegidas contra as pressões antrópicas, teriam se reduzido a cerca de apenas 15%, com o restante sendo ocupado por cerradão.

3.4 Implicações para o manejo e conservação da diversidade biológica

As transformações fitofisionômicas constatadas no presente estudo, se analisadas mediante os objetivos das áreas protegidas e estratégias de conservação, conduzem a um paradoxo: ou se adota o manejo do fogo como estratégia para manter a diversidade de habitats e espécies do mosaico pré-existente (estratégia de manejo defendida por COUTINHO, 1990; RAMO-NETO e PIVELLO 2000; MIRANDA et al., 2004; PIVELLO, 2005), ou se suprime o fogo, aceitando-se uma nova condição de equilíbrio, desconhecida, mas certamente distinta da que existia anteriormente à proteção e, aparentemente, com redução da diversidade *beta*.

Paralelamente às transformações estruturais constatadas, certamente estão ocorrendo transformações importantes no conjunto de espécies animais e vegetais que ocorrem na Estação Ecológica de Assis, com o aumento populacional e possível imigração de espécies adaptadas a ambientes florestais e provável extinção das não adaptadas. Cabe lembrar que o

estado de fragmentação da paisagem na região pode dificultar a chegada de novas espécies, impedindo ou atrasando esse processo.

Com relação a espécies arbóreas, Giampietro (2005) verificou, em estudo da dinâmica da mata-galeria na EECA durante 12 anos, que está ocorrendo evolução estrutural, aumento da riqueza, ingresso de espécies oriundas da floresta estacional semidecidual e tendência à diminuição da densidade relativa ou extinção local de espécies exclusivas do cerrado. Rossato et al. (*no prelo*), em estudo sobre a flora não-arbórea da EECA, manifestaram preocupação com a possível extinção local de espécies heliófitas e das próprias fisionomias campestres, que apresentam um grande número de espécies exclusivas.

Estudo em andamento sobre a herpetofauna desta unidade de conservação indica que a riqueza é maior e que há espécies exclusivas das fisionomias savânicas e campestres, as quais podem ser extintas se a evolução fisionômica conduzir a um climax florestal em toda a unidade de conservação (Cybele de Oliveira Araujo, comunicação pessoal).

É possível que a preservação das espécies ameaçadas pelo desaparecimento das fisionomias campestres e savânicas seja favorecida pelo manejo do fogo em áreas de cerrado. Por outro lado, a evolução estrutural das fisionomias da vegetação na Estação Ecológica de Assis pode representar apenas o resultado da desobstrução dos processos de dinâmica natural dos grandes biomas, cuja expansão e retração ocorrem naturalmente em resposta a mudanças climáticas globais, que viriam sendo reprimidos pelas pressões antrópicas (DURIGAN; RATTER, 2006). A evolução das fisionomias seria então uma adaptação à condição climática atual e, por este prisma, o processo sucessional em andamento traz em si um importante serviço ambiental até pouco tempo impensado para áreas protegidas: a fixação de carbono atmosférico.

Os resultados deste estudo mostram que, em apenas 44 anos, a área coberta por cerradão quase duplicou (Tabela 2.3). Inúmeros trechos da unidade de conservação ocupados em 1962

por campo e campo cerrado deram lugar a uma vegetação lenhosa com maior fitomassa e tais modificações se traduzem em aumento considerável no estoque de carbono, conforme tem sido observado também em florestas da Amazônia (FOODY et al., 1996; SALOMÃO; NEPSTAD; VIEIRA, 1998). Higuchi et al. (2004) analisaram a dinâmica de uma floresta primária na Amazônia no período de 1986 a 2000, os autores observaram a acumulação de $1,2 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ de carbono. Antes desses estudos, acreditava-se que em ecossistemas naturais protegidos o balanço entre a fixação e as emissões de carbono fosse nulo.

Mediante o cenário de aumento do efeito estufa e aquecimento global, as modificações observadas na vegetação da Estação Ecológica de Assis, portanto, são positivas e agregam a esta unidade de conservação a função adicional de sumidouro de carbono atmosférico, contribuindo para a mitigação do efeito estufa.

O paradoxo persiste e, com base no conhecimento científico vigente, não é possível assumir uma postura maniqueísta sobre o processo de evolução das fisionomias do cerrado em áreas protegidas. A propósito, além da conservação da diversidade biológica e do oferecimento de serviços ambientais, a categoria de manejo Estação Ecológica tem como um de seus principais objetivos a pesquisa científica. Ainda que ocupando áreas não muito extensas, em unidades de conservação como a EEcA podem ser estudados cientificamente os dois caminhos: a eficácia do manejo do fogo para a manutenção da diversidade biológica e o monitoramento dos processos ecológicos relacionados com a evolução dos tipos fisionômicos em trechos permanentemente protegidos, contribuindo efetivamente para a tomada de decisões sobre estratégias de conservação do Cerrado em larga escala.

CAPÍTULO III

CARACTERIZAÇÃO DAS FISIONOMIAS DA VEGETAÇÃO DE CERRADO NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA DE ASSIS.

1 INTRODUÇÃO

O Cerrado possui uma ampla variação de fisionomias vegetais, desde campos com arbustos esparsos e árvores pequenas até uma formação florestal fechada, com altura do dossel de 8 a 13 m (RATTER; BRIDGEWATER; RIBEIRO, 2006). A classificação das fisionomias do cerrado tem sido objeto de estudo por diferentes autores, destacando-se: Eiten (1972), Coutinho (1978), Ribeiro, Silva e Batmanian (1985), Ribeiro e Walter (1998), Oliveira-Filho e Ratter (2002) e Walter (2006). Dentre esses estudos, a tentativa de caracterizar estruturalmente as fisionomias com base em dados numéricos de área basal e densidade obtidos por meio de levantamentos fitossociológicos foi feita apenas por Ribeiro, Silva e Batmanian (1985), para uma área de cerrado no Distrito Federal.

Ribeiro e Walter (1998) propuseram uma classificação para diferenciar os principais tipos fisionômicos do cerrado, de acordo com a estrutura, formas de crescimento dominantes, possíveis mudanças estacionais, fatores edáficos e composição florística. Em decorrência do seu pragmatismo, esta classificação tem sido usada por autores como Durigan, Franco e Siqueira (2004), Walter (2006), Ratter, Bridgewater e Ribeiro (2006). No total, são descritos onze tipos fisionômicos gerais, compostos por formações florestais, savânicas e campestres. Subdivididos pelos autores, esses tipos gerais resultam em 23 tipos vegetacionais distintos, sendo o cerrado *stricto sensu*, por exemplo, subdividido em cerrado típico, cerrado denso, cerrado ralo e cerrado rupestre.

Ribeiro e Walter (1998) destacaram as dificuldades para uma classificação da vegetação do cerrado, uma vez que tais tentativas tendem a adotar critérios e escalas diferentes, baseadas

em princípios ou origens distintas. Para Oliveira-Filho e Ratter (2002), a principal complicação refere-se ao fato de que qualquer categoria de classificação é realmente um segmento de uma série vegetacional contínua. Walter B. (2006) apresenta uma ampla revisão sobre as denominações das fisionomias do cerrado, na qual 21 trabalhos foram analisados, identificando cerca de 774 termos e expressões para classificar e descrever a riqueza vegetacional do cerrado.

A classificação das fisionomias de cerrado tem se constituído em um desafio entre os pesquisadores dessa vegetação, seja por não haver nitidez em sua separação, seja pelas alterações que a vegetação sofre ao longo do tempo, num mesmo local, devido à frequência e intensidade de impactos como o fogo e pastoreio (DURIGAN et al., 2002). Essas transformações têm sido documentadas na região deste estudo (DURIGAN; RATTER 2006; DURIGAN, 2006), mostrando tendência ao desaparecimento das fisionomias savânicas e campestres, substituídas pelo cerradão.

A Estação Ecológica de Assis (EEcA) contém um dos últimos remanescentes de cerrado no estado de São Paulo, que tem sido objeto de estudos florísticos e ecológicos recentes (DURIGAN et al., 1999; BRANDO; DURIGAN, 2004), nos quais é mencionada a existência de fitofisionomias distintas no interior da área protegida.

O objetivo do presente capítulo foi caracterizar florística e estruturalmente as fisionomias de cerrado na Estação Ecológica de Assis, e verificar se a classificação proposta por Ribeiro e Walter (1998) pode ser aplicada na referida unidade de conservação. Para tanto, as seguintes hipóteses foram formuladas:

1. O cerrado típico, o cerrado denso e o cerradão da Estação Ecológica de Assis são floristicamente distintos.

2. Há um gradiente de altura média das árvores, área basal e densidade da comunidade, crescente do cerrado típico para o cerrado denso e o cerradão, que permite a separação visual das fisionomias.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A Estação Ecológica de Assis possui uma área total de 1.760,64 hectares, localizada no município de Assis, ao sudoeste do estado de São Paulo, conforme descrito no Capítulo 2 deste estudo.

A vegetação natural, nas áreas de interflúvio da EECA, pode ser classificada como cerrado *lato sensu*, predominando o cerradão. Há também pequenas manchas de vegetação com estrato arbóreo descontínuo, o que configura a fitofisionomia de cerrado *stricto sensu* (DURIGAN et al., 1999). As fisionomias de cerrado existentes nas áreas de interflúvio da unidade de conservação foram objeto do presente estudo.

2.2 Método de amostragem

As fitofisionomias de cerrado existentes fora das zonas ripárias foram identificadas em imagens do satélite Ikonos-II, de 02/04/2003, e, em campo, separadas visualmente segundo as descrições fisionômicas propostas por Ribeiro e Walter (1998).

A amostragem foi efetuada utilizando o método de parcelas (MÜLLER-DOMBOIS; ELLENBERG, 1974). Foram distribuídas 30 parcelas (Figura 3.1a), sendo 10 parcelas para cada uma das três fitofisionomias de cerrado existentes na unidade de conservação, a saber: cerrado típico que ocupada 0,84% da EECA, cerrado denso - 2,56% e cerradão - 91,43% (Tabela 2.3 – Capítulo 2).

Utilizaram-se parcelas retangulares de 1.000 m², com dimensões de 20 x 50 m (Figura 3.1b), conforme proposto pelo projeto Biogeografia do Bioma Cerrado (FELFILI et al.,

1994). Cada parcela foi subdividida em 10 subparcelas de 10 x 10 m (100 m²). Todas as parcelas foram georreferenciadas com um Sistema de Posicionamento Global (GPS) modelo *Trimble Pro-XR*, empregando-se o método DGPS, com coordenadas pós-processadas para obter maior precisão no posicionamento.

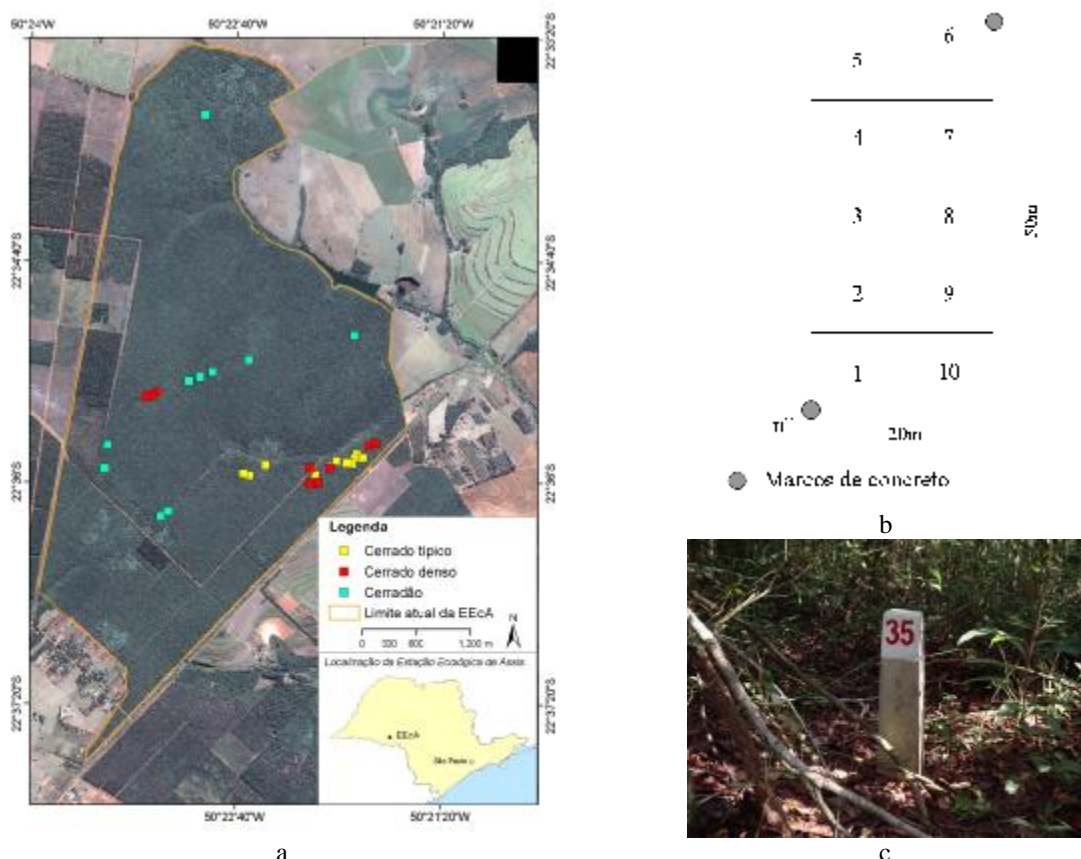


Figura 3.1. a) Distribuição das parcelas alocadas na Estação Ecológica de Assis, SP. b) Croqui de uma parcela, com a divisão em sub-parcelas. c) Marco de concreto.

Todos os indivíduos arbóreos vivos e com diâmetro do tronco à altura do peito (DAP) igual ou superior a 5 cm foram amostrados e numerados com etiqueta metálica. Para o caso dos indivíduos com troncos múltiplos, mediu-se cada um dos troncos separadamente e que ao menos um indivíduo tivesse o $DAP \geq 5$ cm. Os dados adquiridos em campo foram: DAP medido com fita diamétrica, altura total estimada com auxílio da régua dendrométrica telescópica e identificação da espécie.

No caso de algumas espécies que não puderam ser identificadas em campo, foi coletado material botânico para comparação com exsicatas depositadas na Coleção Botânica da Floresta Estadual de Assis, do Instituto Florestal do Estado de São Paulo.

2.3 Análise fitossociológica

Para cada fitofisionomia de cerrado foram calculados os parâmetros fitossociológicos usuais (densidade, frequência e dominância das espécies), de acordo com os métodos compilados por Durigan (2004). Na análise da estrutura fitossociológica das fitofisionomias, utilizou-se o índice de valor de importância (IVI), o qual inclui nos cálculos a dominância relativa, a densidade relativa e a frequência relativa das espécies.

Altura média, mínima e máxima das espécies foram analisadas para cada fitofisionomia. A diversidade das espécies foi calculada a partir do índice de diversidade de *Shannon* (H'), com base neperiana, e do índice de equabilidade de Pielou (e), compilados por Durigan (2004). Elaborou-se diagrama de Venn para verificar as espécies exclusivas e comuns às fitofisionomias de cerrado estudadas.

A similaridade entre as fitofisionomias foi calculada a partir do índice de Sørensen, em que quanto mais próximo de 1,0, maior a similaridade. Para este índice, consideram-se semelhantes duas áreas a partir do valor mínimo de 0,5 (SØRENSEN, 1948). Elaborou-se também uma classificação aglomerativa das parcelas por UPGMA (*Unweighted Pair Groups Method using Arithmetic Averages*), com o uso do coeficiente de similaridade de Jaccard (JAMES; MCCULLOCH, 1990; BELBIN; MCDONALD, 1993), visando verificar se as três fitofisionomias eram floristicamente distintas.

2.4 Análises estatísticas

Testes estatísticos foram aplicados para analisar as variáveis: altura média, área basal e densidade absoluta do estrato arbóreo das fitofisionomias. Aplicou-se o teste de *Shapiro-Wilk*, com nível de significância de 5%, para testar a normalidade da distribuição das variáveis estruturais da vegetação das três fitofisionomias de cerrado. De acordo com Ayres et al. (2003), o *Shapiro-Wilk* é recomendado para avaliar a distribuição de amostras pequenas. Testou-se a hipótese nula segundo a qual a distribuição nas variáveis é normal, contra a hipótese alternativa de que a distribuição das variáveis não apresenta normalidade em sua distribuição. O teste de *Bartlett* foi aplicado, para testar a hipótese de que as amostras possuem variâncias idênticas. Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), com nível de significância de 5%, e aplicado o teste de *Tukey* para comparação de médias.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos a partir das análises efetuadas foram agrupados em dois itens, o primeiro tratando da composição florística e o segundo da estrutura da comunidade nas fisionomias do cerrado na Estação Ecológica de Assis.

3.1 Análise florística das fisionomias do cerrado

3.1.1 Composição florística e diversidade

No levantamento florístico de todas as fisionomias foram registradas 101 espécies, pertencentes a 69 gêneros e 43 famílias (Tabela 3.2). Foram identificadas 50 espécies no cerrado *stricto sensu*, 54 no cerrado denso (uma espécie exótica) e 71 no cerradão.

A diversidade florística obtida no cerrado típico, segundo o índice de *Shannon* (H'), foi de 2,82 (equabilidade de 72%), no cerrado denso 2,72 (equabilidade de 67%) e no cerradão

3,19 (equabilidade de 75%). Embora o valor obtido para o cerrado seja semelhante aos valores obtidos em outras regiões do estado, para as fisionomias savânicas a diversidade florística obtida no presente estudo é relativamente baixa, se comparada com os valores mencionados para outras áreas de cerrado no estado de São Paulo por Batalha (1997), Martins e Santos (1999), Durigan et al. (2002), Fidelis e Godoy (2003), Teixeira et al. (2004), Pereira-Silva et al. (2004), Gomes, Martins, e Tamashiro (2004), Toppa (2004), Medeiros (2004) e Pinheiro (2006) (Tabela 3.1). Esse resultado pode ser explicado, entre outros fatores, pela condição ecotonal da EECA, por diferentes critérios de inclusão (tamanho do diâmetro e local do tronco medido) em relação aos outros levantamentos analisados ou pela localização marginal em relação à área de domínio do cerrado, no seu limite austral.

Tabela 3.1 - Comparação entre os resultados do índice de diversidade de Shannon e equabilidade de diferentes locais no estado de São Paulo.

Autor	Município	Fisionomia	Método	Parcela	Nº ind.	Nº ssp	S (m ²)	Critério de inclusão	H'	E (%)
Este trabalho	Assis	Cerrado típico	Parcela	Separada	897	50	10.000	DAP ≥ 5cm	2,83	72,0
		Cerrado denso			1.144	54	10.000		2,72	67,0
		Cerradão			1.779	71	10.000		3,19	75,0
Pinheiro (2006)	Corumbataí	Cerrado <i>stricto sensu</i>	Parcela	Contígua	5.243	103	8.600	h ≥ 1,5m e PAS a 30cm	3,15	-
		Cerradão			7.377				2,92	-
Medeiros (2004)	Assis	Cerradão	Parcela	Separada	10.561	102	900	DAP ≥ 4,77cm	3,05	-
			Ponto quadrante	-	1.936	71	-		3,10	-
Teixeira et al. (2004)	Patrocínio Paulista	Cerrado <i>stricto sensu</i>	Parcela	Contígua	511	53	3.000	PAP ≥ 15cm	3,05	
Toppa (2004)	Luiz Antônio	Cerrado <i>stricto sensu</i>	Parcela	Separada	452	38	10.000	ES DAJ ≥ 3cm	2,68	73,7
					190	28		EI h > 1m e DAJ < 3cm	2,27	68,1
		Cerradão			1.412	68	10.000	ES DAP > 4,77cm	2,84	66,8
					1.229	99		EI h > 1m e DAP < 4,77cm	3,10	67,5
Gomes, Martins, e Tamashiro (2004)	Brotas	Cerradão	Parcela	Separada	3.787	118	10.000	DAS ≥ 3cm	3,38	-
Pereira-Silva et al. (2004)	Luiz Antônio	Cerradão	Parcela	Separada	8.454	121	6.250	DAS ≥ 1cm	3,47	-

continua

conclusão

Fidelis e Godoy (2003)	Santa Rita do Passa Quatro	Cerrado <i>stricto sensu</i>	Parcela	Separada	1.747	75	1.250	PAS \geq 3cm	3,62	83,9
Durigan et al. (2002)	Brotas	Cerrado <i>stricto sensu</i>	Parcela	Contígua	1.150	44	5.000	ES DAJ \geq 5cm	3,02	80,0
					10.220	61	500	EI DAJ < 5cm	3,32	81,0
Martins e Santos (1999)	Itirapina	Cerrado	Parcela		1317	63	1.600	DAS \geq 3cm	2,98	72,0
Batalha (1997)	Santa Rita do Passa Quatro	Cerrado <i>stricto sensu</i>	Parcela	Separada		84	400	DAB \geq 1cm	3,71	83,7
						81	25	DAB \geq 0,9cm	3,55	80,8
		Cerradão				42	2.500	DAS \geq 10cm	3,15	84,2
						70	400	DAS 1 a 9,9cm	3,55	83,6
						65	25	DAS \leq 0,9cm	3,48	83,3

H' = Índice de *Shannon*; **E** = Equabilidade; **Nº ind.** = Número de indivíduos; **Nº ssp** = Número de espécies; **S** = área; **DAP** = Diâmetro a altura do peito (1,3m); **DAS** = Diâmetro a altura do solo (0,3m); **DAJ** = Diâmetro a altura do joelho (0,5m); **DAB** = Diâmetro a altura da base; **CAP** = Circunferência a altura do peito (1,3m); **PAS** = Perímetro a altura do solo (0,3m); **PAP** = Perímetro a altura do peito (1,3m); **ES** = Estrato superior; **EI** = Estrato inferior; **h** = altura.

O adensamento da vegetação que vem ocorrendo na EECA (apresentado no Capítulo 2) e, em uma área próxima, conforme demonstrado por Durigan e Ratter (2006) indica que o ambiente local é, atualmente, mais favorável às fisionomias florestais e esta pode ser uma razão a mais para explicar a baixa diversidade do cerrado típico e cerrado denso. Estudo realizado por Pinheiro (2006) no cerrado em Corumbataí, SP, menciona o valor baixo do índice de *Shannon* devido ao adensamento da formação savânica.

Conforme Martins e Santos (1999), o índice de diversidade de *Shannon* é sensível ao critério de inclusão, uma vez que incorpora os efeitos de variações quanto ao número de indivíduos e espécies amostradas. Ainda assim, Toppa (2004) para a formação savânica e florestal e Pinheiro (2006) para o cerradão, utilizando critérios de inclusão mais inclusivos, do que os utilizados neste estudo, obtiveram diversidade menor que a verificada na EecA (Tabela 3.1).

Tabela 3.2 - Espécies amostradas nas diferentes fitofisionomias do cerrado na Estação Ecológica de Assis, SP.

Família / Espécie	Abrev.	Nome popular	Nº de indivíduos amostrados			
			Cerrado típico	Cerrado denso	Cerradão	Total
Anacardiaceae						
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	T.guia	peito-de-pomba	3	12	51	66
Annonaceae						
<i>Annona coriacea</i> Mart.	A.cori	araticum-do-campo	1			1
<i>Annona crassiflora</i> Mart.	A.cras	marolo-verdadeiro	10	18		28
<i>Xylopia aromatica</i> (Lam.) Mart.	X.arom	pimenta-de-macaco	5	33	132	170
<i>Xylopia brasiliensis</i> Spreng.	X.brasi	pindaíba			1	1
Apocynaceae						
<i>Aspidosperma tomentosum</i> Mart	A.tome	peroba-do-campo	2	1		3
Aquifoliaceae						
<i>Ilex paraguariensis</i> A. St.-Hil.	I.para	erva-mate			1	1
Araliaceae						
<i>Schefflera vinosa</i> (Cham. e Schltld.) Frodin e Fiaschi	S.vino	mandioquinha-do-cerrado	3			3
Areaceae						
<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman	S.roma	jerivá		2	10	12
Asteraceae						
<i>Gochnatia barrosii</i> Cabrera	G.barr			1		1
<i>Gochnatia polymorpha</i> (Less.) Cabrera	G.poly	candeia	49	24	5	78
<i>Piptocarpha axillaris</i> (Less.) Baker	P.axil				1	1
<i>Piptocarpha rotundifolia</i> (Less.) Baker	P.rotu	cambará	6	4		10
Bignoniaceae						
<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth e Hook.f. ex S.Moore	T.aure	ipê-amarelo-do-cerrado	1			1
<i>Tabebuia ochracea</i> (Cham.) Standl	T.ochr	ipê-amarelo-do-campo	14	18	2	34
Bombacaceae						
<i>Eriotheca gracilipes</i> (K.Schum.) A.Robyns	E.graci	paineira-do-campo	60	28	1	89
Burseraceae						
<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand	P.hept	amescla			184	184
Caryocaraceae						
<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess.	C.brasi	pequi	2	2		4
Celastraceae						
<i>Austroplenckia populnea</i> (Reissek) Lundell	A.popu	marmeleiro-do-campo	3			3
<i>Maytenus robusta</i> Reissek	M.robu	cafezinho			3	3
Chrysobalanaceae						
<i>Couepia grandiflora</i> (Mart. e Zucc.) Benth. ex Hook. f.	C.gran	fruta-de-ema			1	1
<i>Licania humilis</i> Cham. e Schltld	L.humi			1		1
Clethraceae						
<i>Clethra scabra</i> Pers.	C.scab	guaperê			1	1
Clusiaceae						
<i>Kielmeyera coriacea</i> Mart. e Zucc.	K.cori	pau-santo	1			1
Combretaceae						
<i>Terminalia glabrescens</i> Mart.	T.glab	capitão		2	28	30
Connaraceae						
<i>Connarus suberosus</i> Planch var. suberosus	C.sube	para-tudo	1			1

continua

Ebenaceae						
<i>Diospyros hispida</i> A. DC.	D.hisp	caqui-do-cerrado	2	2		4
Erythroxylaceae						
<i>Erythroxylum suberosum</i> A.St.-Hil.	E.sube	mercúrio-do-campo	4			4
<i>Erythroxylum tortuosum</i> Mart.	E.tort	mercúrio-do-campo		2		2
Euphorbiaceae						
<i>Alchornea triplinervia</i> (Spreng.) Müll. Arg.	A.trip	tapiá			2	2
<i>Croton floribundus</i> Spreng.	C.flor	capixingui			2	2
<i>Mabea fistulifera</i> Mart.	M.fist	canudo-de-pito			62	62
<i>Maprounea guianensis</i> Aubl.	M.guia	marmelinho-do-cerrado		1	18	19
<i>Pera obovata</i> (Klotzsch) Baill.	P.obov	pimenteira	1	7	71	79
Fabaceae						
<i>Acosmium subelegans</i> (Mohlenbr.) Yakovlev	A.sube	peroba-do-campo	14	27	1	42
<i>Anadenanthera falcata</i> (Benth.) Speg.	A.falc	angico-do-cerrado	7	60	9	76
<i>Andira anthelmia</i> (Vell.) J.F. Macbr	A.anth	angelim morcego			3	3
<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth	B.virg	sucupira			6	6
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	C.lang	copaíba	110	68	296	474
<i>Dalbergia miscolobium</i> Benth.	D.misc	caviúna do cerrado			1	1
<i>Dimorphandra mollis</i> Benth.	D.moll	falso barbatimão	23	19		42
<i>Machaerium acutifolium</i> Vogel	M.acut	jacarandá-do-campo	29	44	31	104
<i>Machaerium brasiliense</i> Vogel	M.brazi	sapuva	1	1	3	5
<i>Plathymenia reticulata</i> Benth.	P.reti	vinhático	2	4	3	9
<i>Platypodium elegans</i> Vogel	P.eleg	amendoim-do-campo	10		32	42
<i>Sclerolobium paniculatum</i> Vogel	S.pani	tachi			5	5
<i>Stryphnodendron obovatum</i> Benth.	S.obov	barbatimão	73	54		127
Flacourtiaceae						
<i>Casearia lasiophylla</i> Eichler	C.lasi	cambroé	1			1
Lauraceae						
<i>Nectandra cuspidata</i> Nees e Mart.	N.cusp	canela-bosta			71	71
<i>Nectandra lanceolata</i> Nees	N.lanc	canela-amarela			1	1
<i>Ocotea corymbosa</i> (Meisn.) Mez.	O.cory	canelinha	186	250	112	548
<i>Ocotea velloziana</i> (Meisn.) Mez.	O.vell	canela-branca			3	3
<i>Ocotea velutina</i> (Nees) Rohwer	O.velu	canelão			2	2
<i>Persea wildenovii</i> Kosterm.	P.wild	abacateiro-do-mato		1	31	32
Lythraceae						
<i>Lafoensia pacari</i> A.St.-Hil.	L.paca	dedaleiro	2	1		3
Malpighiaceae						
<i>Byrsonima basiloba</i> A.Juss.	B.basi	muric i		2	1	3
<i>Byrsonima intermedia</i> A.Juss.	B.inte	muric i-do-campo		1		1
<i>Byrsonima laxiflora</i> Griseb.	B.laxi	muric i-do-mato		13	50	63
<i>Byrsonima</i> sp2	B.sp2				6	6
Melastomataceae						
<i>Miconia ligustroides</i> (DC.) Naudin	M.ligu			6	4	10
<i>Miconia sellowiana</i> Cogn.	M.sell	capa-rosa		1	1	2
Monimiaceae						
<i>Siparuna guianensis</i> Aubl.	S.guia	limão-bravo			61	61
Moraceae						
<i>Ficus guaranitica</i> Chodat	F.guar	figueira			1	1
<i>Pseudolmedia laevigata</i> Trécul	P.laev				14	14
Myrsinaceae						
<i>Rapanea ferruginea</i> (Ruiz e Pav.) Mez	R.ferr	capororoca		1	15	16

						conclusão	
<i>Rapanea umbellata</i> (Mart.) Mez.	R.umbe	capororoca	5	21	15	41	
Myrtaceae							
<i>Eugenia aurata</i> O.Berg	E.aura		8	4	3	15	
<i>Eugenia livida</i> O. Berg	E.livi		1	2		3	
<i>Eugenia pluriflora</i> DC.	E.plur			2	7	9	
<i>Gomidesia lindeniana</i> O. Berg	G.lind	pimenteira			2	2	
<i>Myrcia bella</i> Cambess.	M.bell	myrcia	11	21	2	34	
<i>Myrcia cf lingua</i>	M.ling		1	2		3	
<i>Myrcia fallax</i> (Rich.) DC.	M.fall	coração-tinto			3	3	
<i>Myrcia guianensis</i> (Aubl.) DC.	M.guia	guamirim-vermelho	14	27	12	53	
<i>Myrcia lingua</i> (O. Berg) Mattos e D. Legrand	M.ling	brasa-viva	12	2		14	
<i>Myrcia multiflora</i> (Lam.) DC.	M.mult	cambuí	11	11	40	62	
<i>Myrcia prunifolia</i> DC.	M.prun		1			1	
<i>Myrcia rostrata</i> DC.	M.rost	guamirim-de-folha-fina			1	1	
<i>Myrcia venulosa</i> DC.	M.venu		4	4	14	22	
<i>Myrciaria delicatula</i> (DC.) O. Berg	M.delic	araçá-do-mato	3			3	
<i>Psidium pohlianum</i> O. Berg	P.firm	goiabinha-do-cerrado	3			3	
Nyctaginaceae							
<i>Guapira noxia</i> (Netto) Lundell	G.noxi	maria-faceira		1	1	2	
<i>Guapira opposita</i> (Vell.) Reitz	G.oppo	maria-mole			1	1	
Ochnaceae							
<i>Ouratea spectabilis</i> (Mart. ex Engl.) Engl.	O.spec	batiputá	12	12		24	
Pinaceae							
<i>Pinus elliottii</i> Engelm.		pinheiro		1		1	
Proteaceae							
<i>Roupala montana</i> Aubl.	R.mont	carne-de-vaca			1	1	
Rosaceae							
<i>Prunus myrtifolia</i> (L.) Urb.	P.myrt	pessegueiro-bravo	2			2	
Rubiaceae							
<i>Amaioua intermedia</i> Mart.	A.inte	pau-carvão			54	54	
<i>Faramea montevidensis</i> (Cham. e Schldl) DC.	F.mont	pimenteira-do-mato			150	150	
Sapindaceae							
<i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk	M.elae	camboatã	1			1	
Sapotaceae							
<i>Pouteria laurifolia</i> (Gomes) Radlk	P.laur	abiu-do-mato	2	4	25	31	
<i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.) Radlk	P.rami	abiurana			1	1	
Styracaceae							
<i>Styrax camporum</i> Pohl	S.camp	benjoeiro			4	4	
<i>Styrax ferrugineus</i> Ness e Mart.	S.ferru	limoeiro-do-mato		2		2	
<i>Styrax pohlii</i> A. DC.	S.pohl	árvore-de-bálsamo			2	2	
Symplocaceae							
<i>Symplocos mosenii</i> Brand	S.mose			1	4	5	
Thymelaeaceae							
<i>Daphnopsis fasciculata</i> (Meisn.) Nevling	D.fasc	embira		1	14	15	
Tiliaceae							
<i>Luehea grandiflora</i> Mart.	L.gran	çoita-cavalo	1		1	2	
Vochysiaceae							
<i>Qualea cordata</i> (Mart.) Spreng.	Q.cord	pau-terrinhá	38	20	17	75	
<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	Q.gran	pau-terra	16	6	12	34	
<i>Qualea multiflora</i> Mart.	Q.mult	pau-terra		1	2	3	
<i>Vochysia tucanorum</i> Mart.	V.tuca	cinzeiro	125	288	51	464	

amostrados, são tolerantes à sombra. Por outro lado, todas as que ocorrem apenas nas fisionomias savânicas (cerrado denso e cerrado típico) são heliófitas, intolerantes à sombra.

Para Franco (2005), os diferentes níveis de sombreamento podem definir uma sucessão de espécies na paisagem. Aquelas tolerantes à sombra ocorrem em formações florestais (cerradão), enquanto espécies heliófilas, possuidoras de mecanismos capazes de resistir aos efeitos da incidência excessiva de radiação, predominam em ambientes mais abertos. O processo de adensamento da vegetação observado por Durigan e Ratter (2006) permite supor que nas áreas ocupadas por cerradão as espécies heliófilas exclusivas das fisionomias savânicas teriam sido eliminadas da comunidade e estariam sendo substituídas por espécies tolerantes à sombra, mas que não se desenvolvem no ambiente seco e ensolarado das fisionomias savânicas.

3.1.3 Fitossociologia

A análise fitossociológica resulta em ordenação distinta das espécies nas diferentes fisionomias, pela sua importância relativa na comunidade. Os APÊNDICES B, C e D apresentam os descritores fitossociológicos das espécies levantadas na EEcA.

Analisando-se apenas as dez espécies de maior importância (Figura 3.3), verifica-se que enquanto há apenas uma troca de posições de algumas espécies entre o cerrado típico e o cerrado denso, no cerradão surgem novas espécies entre as mais importantes, de modo que a distinção desta fitofisionomia, apontada pela análise florística, se confirma na análise fitossociológica das comunidades. Quatro espécies, dentre as mais importantes no cerradão, foram exclusivas desta fitofisionomia (*Protium heptaphyllum*, *Faramea montevidensis*, *Nectandra cuspidata* e *Byrsonima laxiflora*).

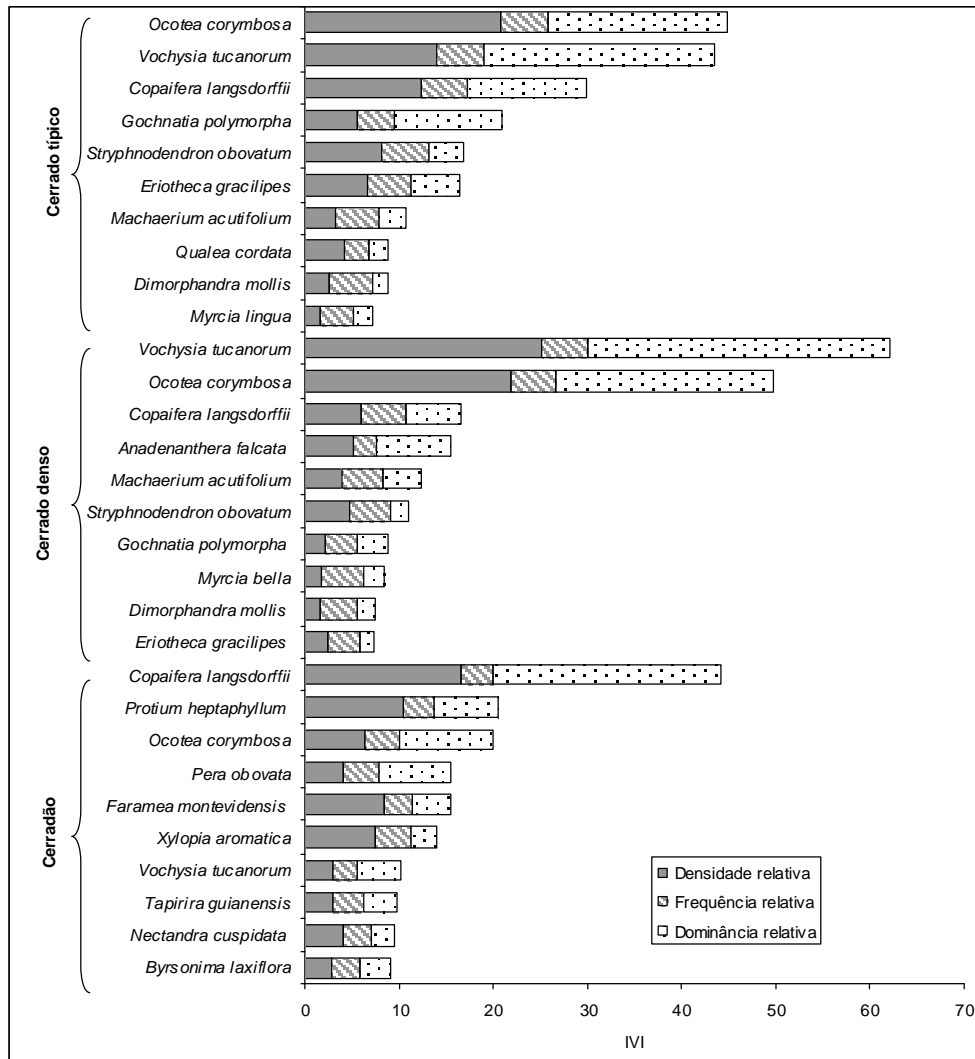


Figura 3.3. Parâmetros fitossociológicos das dez espécies com maior IVI, por fitofisionomia de cerrado na Estação Ecológica de Assis, SP.

Com base na presença ou ausência das espécies nas três fitofisionomias de cerrado, o índice de similaridade de Sørensen foi de 0,67 entre cerrado típico e cerrado denso, 0,20 entre cerrado típico e cerradão e 0,29 entre cerrado denso e cerradão. Esses resultados evidenciam que o cerradão apresenta composição florística distinta das outras duas fisionomias amostradas. A análise de agrupamento (Figura 3.4) corroborou este resultado, ao apontar dois grupos de parcelas floristicamente distintos, um para as parcelas de cerradão (que incluiu uma parcela de cerrado denso com baixa similaridade) e um outro apenas com parcelas de fisionomias savânicas (cerrado denso e cerrado típico).

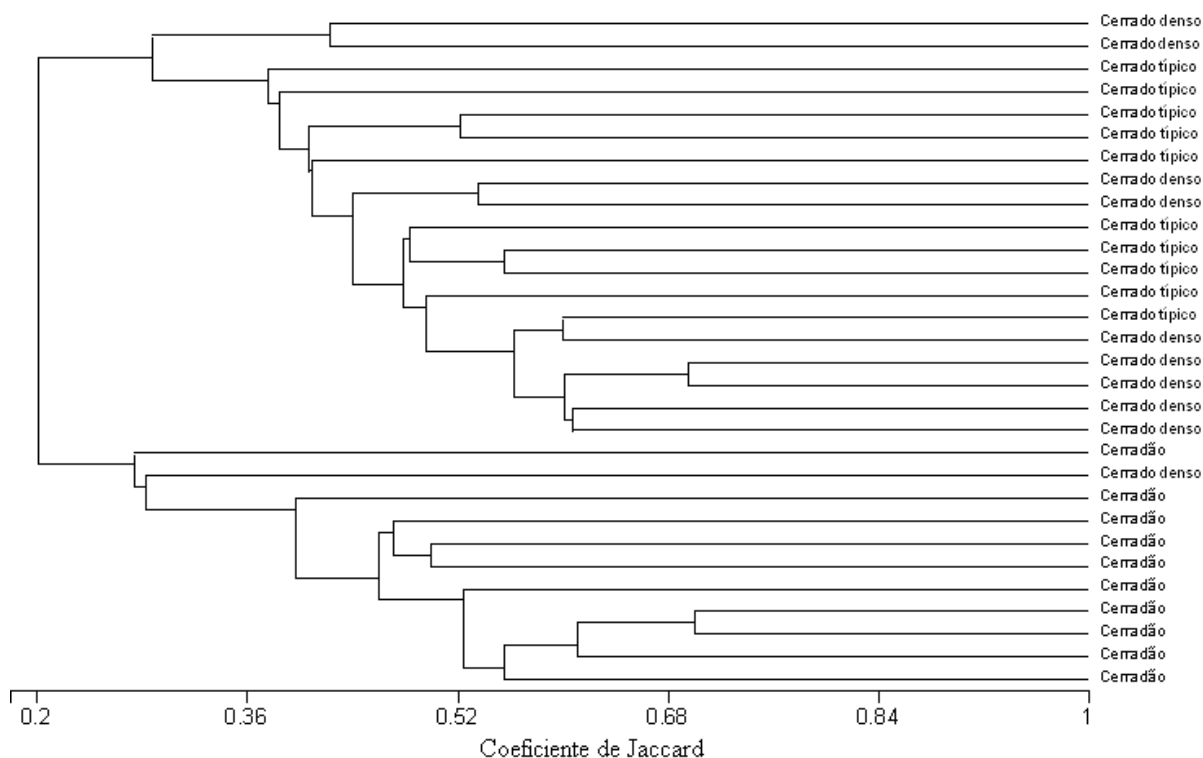


Figura 3.4. Dendrograma de análise de agrupamento das espécies que ocorrem no cerrado típico, cerrado denso e cerradão, na Estação Ecológica de Assis, SP, utilizando o coeficiente de similaridade de Jaccard.

3.2 Análise estrutural da comunidade nas fisionomias do cerrado

Do ponto de vista estrutural, foram analisados aspectos relacionados com a fitomassa da vegetação (altura média, área basal e densidade) e aspectos da distribuição dos indivíduos por classes de tamanho em cada fitofisionomia.

3.2.1 Estrutura geral da comunidade

O teste *Shapiro-Wilk*, com nível de significância de 5%, permitiu verificar que as três variáveis analisadas - altura média, área basal e densidade absoluta por parcela, possuem distribuição normal ($p > 0,05$) (Tabela 3.2). O teste de *Bartlett* demonstram não haviam diferenças significativas a 5%, entre as variâncias das três fitofisionomias para as variáveis analisadas (Tabela 3.3).

Houve diferenças estruturais importantes entre as diferentes fisionomias de cerrado na EEcA. Os resultados da ANOVA para essas variáveis indicaram diferenças significativas, comprovadas pelo teste de *Tukey* (Tabelas 3.4 e 3.5). Exceto para a densidade absoluta do cerrado denso, que não foi significativamente diferente das outras duas fisionomias, em todas as outras comparações estruturais (área basal da comunidade e altura média) as fisionomias foram claramente distintas.

Tabela 3.3 - Resultados do teste *Shapiro-Wilk* para análise dos parâmetros estruturais da vegetação em três fisionomias de cerrado na Estação Ecológica de Assis, SP.

	Altura média (m)			Área basal (m ² .ha ⁻¹)			Densidade absoluta (ind.ha ⁻¹)		
	Cti	Cde	Cdao	Cti	Cde	Cdao	Cti	Cde	Cdao
<i>W</i>	0,93	0,84	0,97	0,89	0,97	0,88	0,94	0,97	0,98
<i>p</i> *	0,445	0,051	0,899	0,216	0,845	0,145	0,491	0,876	0,940

Onde, *W* = *Shapiro-Wilk*; *p* = valor-p; Cti = cerrado típico; Cde = cerrado denso; Cdao = cerradão.

* Significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 3.4 - Resultados do teste de *Bartlett* para análise dos parâmetros estruturais da vegetação em três fisionomias de cerrado na Estação Ecológica de Assis, SP.

	Altura média (m)			Área basal (m ² .ha ⁻¹)			Densidade absoluta (ind.ha ⁻¹)		
	Cti	Cde	Cdao	Cti	Cde	Cdao	Cti	Cde	Cdao
<i>s</i> ²	0,238	0,293	0,433	6,638	7,990	3,818	32601,111	35115,556	103832,222
<i>n</i>		10			10			10	
<i>c</i> ² <i>V</i> _o		0,809			1,183			3,88	
<i>p</i> *		0,667			0,554			0,143	

Onde, Cti = cerrado típico; Cde = cerrado denso; Cdao = cerradão; *s*² = variância; *n* = número de amostras; *c*² *V*_o = Qui-quadrado ajustado; *p* = valor-p (unilateral). * Significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 3.5 - Análise de variância ($p = 0,05$) para as variáveis altura média, área basal e densidade absoluta de três fisionomias de cerrado na Estação Ecológica de Assis, SP.

Altura média (hm)						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>GL</i>	<i>QM</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>Fc</i>
Hm	136,23	2	68,12	211,77	$3,15 \cdot 10^{-17}$	3,35
Resíduo	8,68	27	0,32			
Total	144,92	29				
Área basal (G) ($m^2 \cdot ha^{-1}$)						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>GL</i>	<i>QM</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>Fc</i>
G	991,72	2	495,86	80,65	$4,1 \cdot 10^{-12}$	3,35
Resíduo	166,01	27	6,15			
Total	1157,73	29				
Densidade absoluta (DA) ($ind \cdot ha^{-1}$)						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>GL</i>	<i>QM</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>Fc</i>
DA	41405,27	2	20702,63	36,20	$2,28 \cdot 10^{-8}$	3,35
Resíduo	15439,40	27	571,83			
Total	56844,67	29				

Onde, *GL*: Graus de liberdade; *SQ*: Soma de quadrados; *QM*: Quadrado médio; *Fc*: F crítico.

Tabela 3.6 - Parâmetros estruturais da vegetação em três fisionomias de cerrado na Estação Ecológica de Assis. Valores seguidos da mesma letra dentro da linha não diferem entre si pelo Teste de *Tukey*, a 5% de probabilidade.

	Cerrado típico	Cerrado denso	Cerradão
Altura média (m)	4,8 ± 1,9a	5,7 ± 2,3b	9,7 ± 2,9c
Área basal ($m^2 \cdot ha^{-1}$)	7,8 ± 2,6a	11,5 ± 2,8b	21,4 ± 2,0c
Densidade ($ind \cdot ha^{-1}$)	897 ± 36a	1.144 ± 51b	1.779 ± 49b

Uma vez que a densidade absoluta e a altura média das árvores são fortemente dependentes do critério de inclusão do levantamento florístico, a área basal, expressa em $m^2 \cdot ha^{-1}$, coloca-se como o melhor descritor para a classificação das fitofisionomias do cerrado. O cerrado típico, portanto, caracterizou-se por área basal entre 5 e 10 $m^2 \cdot ha^{-1}$, o cerrado denso entre 9 e 14 $m^2 \cdot ha^{-1}$ e o cerradão estudado entre 19 e 23 $m^2 \cdot ha^{-1}$. Ainda que o gráfico *box-plot* (Figura 3.5) demonstre a altura média com a maior diferença estrutural entre as fitofisionomias do cerrado, os valores de área basal calculados a partir dos dados de DAP

são mais precisos e são mais fáceis de serem adquiridos, quando comparados com as medidas de altura dos indivíduos.

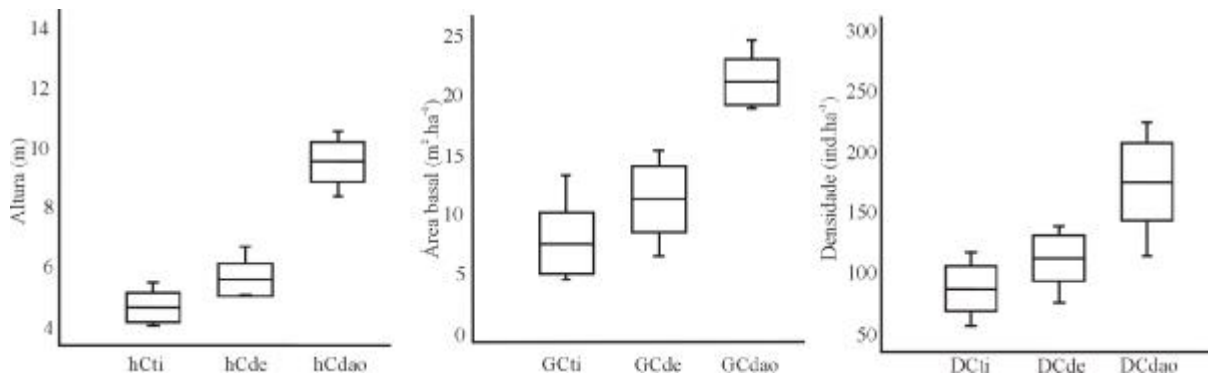


Figura 3.5. *Box-plot* das diferenças estruturais entre as fitofisionomias de cerrado na Estação Ecológica de Assis, SP. onde: h = altura; G = área basal; D = densidade; Cti = cerrado típico; Cde = cerrado denso; Cdao = cerradão.

A apresentação dos dados em *box-plot* (Figura 3.5) permite concluir que apesar de haver diferenças significativas entre as fitofisionomias em estudo, o cerrado típico e o cerrado denso apresentaram valores mais próximos entre si para as variáveis examinadas, quando comparados com o cerradão.

3.4 Distribuição dos indivíduos entre classes de tamanho nas diferentes fisionomias

A distribuição diamétrica dos indivíduos nas três fitofisionomias analisadas resultou no padrão de J invertido (Figura 3.6), evidenciando a predominância de indivíduos com diâmetros menores nas três fisionomias, o que era esperado. A diferença entre as fisionomias está na concentração crescente dos indivíduos de maior diâmetro, que vai do cerrado típico para o cerradão. No cerrado típico, a quase totalidade das árvores apresentou diâmetros inferiores a 20 cm e nenhuma ultrapassou 35 cm.

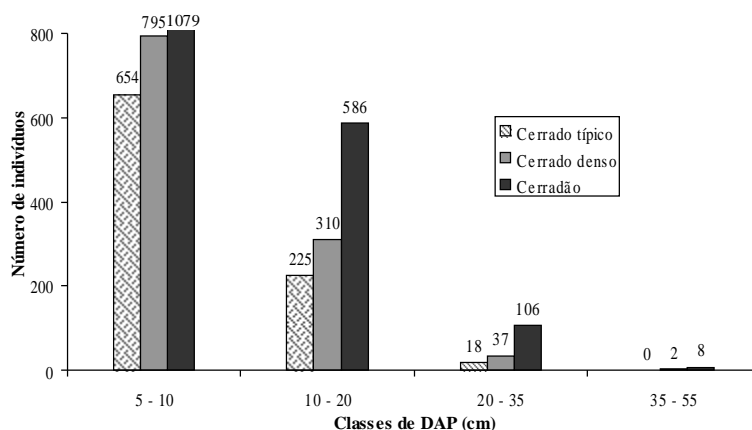


Figura 3.6. Distribuição de diâmetro no cerrado típico, cerrado denso e cerradão, na Estação Ecológica de Assis, SP.

A análise comparativa da distribuição dos indivíduos em classes de altura (Figura 3.7) mostrou diferenças marcantes, com a maior concentração de indivíduos entre 10 e 15 m no cerradão, diferente do cerrado típico, em que a maioria dos indivíduos teve altura entre 1,5 e 5 m.

Os valores de altura média das árvores (4,8 m no cerrado típico, 5,7 m no cerrado denso e 9,7 m no cerradão) estão de acordo com a classificação das fisionomias do cerrado proposta por Ribeiro e Walter (1998). Conforme esses autores, a altura média do cerrado típico está entre 3 e 6 m, no cerrado denso entre 5 e 8m e no cerradão entre 8 e 15 m.

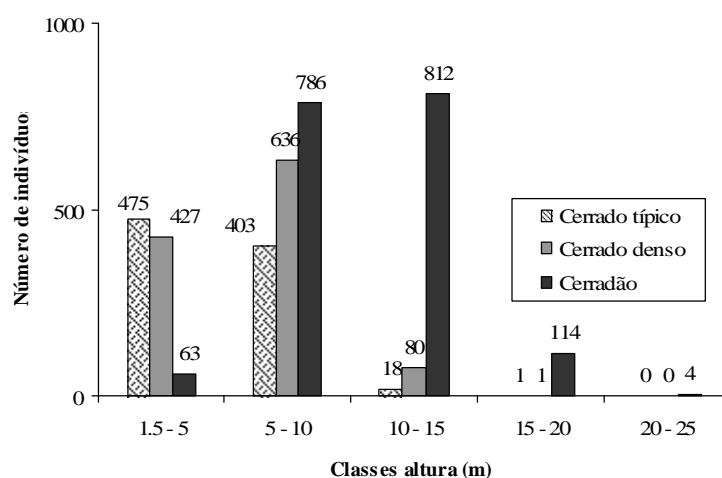


Figura 3.7. Distribuição de altura no cerrado típico, cerrado denso e cerradão, na Estação Ecológica de Assis, SP.

5 CONCLUSÕES

As três fitofisionomias de cerrado estudadas na Estação Ecológica de Assis são estruturalmente distintas e correspondem à caracterização desses tipos proposta por Ribeiro e Walter (1998). A separação visual das fisionomias corresponde à separação estrutural resultante dos cálculos.

Considerando-se que a área basal (em $m^2 \cdot ha^{-1}$) é, dentre os parâmetros estruturais, o que apresentou a melhor separação entre as fitofisionomias e praticamente não sofre influência do critério de inclusão do levantamento florístico, este é o melhor parâmetro a ser utilizado para classificação de tipos fisionômicos de cerrado.

Por outro lado, do ponto de vista das espécies arbóreas que compõem a comunidade, o cerrado típico e o cerrado denso são bastante semelhantes, quer seja analisando-se apenas presença e ausência das espécies, quer seja analisada a importância relativa das espécies na comunidade (fitossociologia). Esta conclusão corrobora a observação de Ribeiro e Walter (1998), de que, em termos florísticos, as formações savânicas apresentam maior semelhança entre si do que em relação ao cerradão.

Em síntese, existem três fisionomias estruturalmente distintas, mas a flora se diferencia apenas entre o cerradão e as fisionomias savânicas. As espécies abundantes exclusivas do cerradão (tolerantes à sombra) ou das fisionomias savânicas (intolerantes à sombra) levam à conclusão de que a disponibilidade de luz é um dos fatores que explicam a diferenciação florística entre as fisionomias de cerrado estudadas. Embora, outros condicionantes ecológicos também devam ser levados em consideração, tais como: a disponibilidade hídrica, microclima, tipo de solo e sua granulometria e capacidade de retenção de água.

CAPÍTULO IV

AVALIAÇÃO DE SENSORES ELETRO-ÓPTICOS PARA ESTIMATIVA DE FITOMASSA DO CERRADO

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a preocupação com o aumento da concentração de gases do efeito estufa na atmosfera propiciou uma ampla discussão e pesquisas referentes à produtividade primária e estimativa de matéria orgânica acumulada em ecossistemas (BROWN; GILLESPIE; LUGO, 1989; DIXON et al., 1994). As informações sobre fitomassa tornaram-se importantes para entender o papel das florestas no ciclo global do carbono, particularmente no processo de fixação e estoque de carbono (BROWN, 1997).

No Brasil, 75% das emissões de gás carbônico (CO₂) são causadas por mudanças no uso da terra e conversão de floresta em atividades agropecuárias (BRASIL, 2004). Entre os anos de 1988 a 1994, o desmatamento no Cerrado foi responsável por 26% das emissões de CO₂ (188,7 TgCO₂.ano⁻¹). Nesse período, o desmatamento da Amazônia contribuiu com 59% das emissões (428,6 TgCO₂.ano⁻¹). A Mata Atlântica, a Caatinga e o Pantanal, juntos, somaram 15% das emissões (105,2 TgCO₂.ano⁻¹) (BRASIL, 2004).

O Cerrado abrange uma superfície de cerca de dois milhões de quilômetros quadrados, por volta de 23% do território brasileiro (RATTER; RIBEIRO; BRIDGEWATER, 1997). Esse bioma é considerado uma das áreas de savana mais ricas em biodiversidade do planeta, porém é pouco valorizado em termos de conservação. Ao mesmo tempo em que o desmatamento na Amazônia recebe ampla publicidade, a destruição do Cerrado é negligenciada pela mídia (RATTER; BRIDGEWATER; RIBEIRO, 2006).

Enquanto o Cerrado é desmatado e fragmentado em pequenas manchas, ainda permanecem lacunas no conhecimento sobre sua importância para o balanço de energia, água,

fitomassa e carbono (SANTOS, 1988; MIRANDA et al., 1997; CASTRO; KAUFFMAN, 1998; ABDALA et al., 1998; BURGER; DELITTI, 1999; DELITTI; PAUSAS; BURGER, 2001; BARBOSA; FEARNSIDE, 2005; VALE; FELFILI, 2005; GUARINO; MEDEIROS 2005; REZENDE et al., 2006; SALIS et al., 2006).

A necessidade de quantificar e aprimorar a compreensão dos estoques de carbono terrestre tem estimulado inúmeras pesquisas, com intuito de avaliar a capacidade de estimar fitomassa por meio de sensoriamento remoto (ROSENQVIST et al., 2003). O uso desta tecnologia para estimativas de parâmetros biofísicos da vegetação tem sido um desafio, principalmente no que se refere a paisagens tropicais, onde a diversidade de formações vegetais e espécies é elevada (FOODY; BOYD; CUTLER, 2003; CLARK et al., 2004; LU; BATISTELLA, 2005; LEBOEUF et al., 2007).

O objetivo do presente capítulo foi avaliar as relações entre fitomassa e produtos de sensoriamento remoto em uma área de cerrado *lato sensu*, na Estação Ecológica de Assis (EEcA), localizada no sudeste do Brasil. Foram testadas as seguintes hipóteses:

1. Uma vez que há variações estruturais entre as fisionomias, como altura do dossel, área basal da vegetação na EEcA (Capítulo 3 do presente estudo), dados de sensores eletro-ópticos com média e alta resolução espacial, aliados a variáveis biométricas e equações alométricas seriam capazes de gerar estimativas de fitomassa para grandes áreas de cerrado, com confiabilidade.
2. Transformações de dados multiespectrais, como índices espectrais de vegetação, componentes principais e modelo linear de mistura espectral poderiam aumentar a precisão da estimativa de fitomassa da vegetação de cerrado.

2 BASES TEÓRICAS

2.1 A fitomassa

A biomassa representa a massa de matéria de origem biológica, viva ou morta, animal ou vegetal (SANQUETA, 2002). A biomassa vegetal, também denominada fitomassa (termo adotado neste estudo), é constituída por todas as partes das plantas: tronco, galhos, folhas, flores e frutos na parte aérea, e as raízes na parte subterrânea (LARCHER, 2000). A fitomassa morta constitui a vegetação em decomposição, composta por troncos, galhos, folhas, frutos e flores caídos (SANQUETA, 2002). A biomassa é um dos aspectos mais importantes para caracterizar a estrutura de ecossistemas, pois expressa o potencial de energia e nutrientes da biota em interação com os fatores ambientais (BURGER; DELITTI, 1999).

Cerca de 99% de toda biomassa na Terra corresponde às plantas (LARCHER, 2000). Devido à atividade fotossintética, as plantas absorvem e fixam o gás carbônico da atmosfera na forma de carboidratos, processo este denominado seqüestro florestal de carbono (BROWN, 1997).

2.1.1 Quantificação da fitomassa

A preocupação com as mudanças globais tem motivado um crescente número de pesquisas, sobretudo com o objetivo de obter informações confiáveis sobre a fitomassa e conteúdo de carbono na vegetação (BROWN; GILLESPIE; LUGO, 1989; HIGUCHI; CARVALHO, 1994; BROWN, 1997; SALOMÃO; NEPSTAD; VIEIRA, 1998; ABDALA et al., 1998; HIGUCHI et al., 1998; BURGER; DELITTI, 1999; SANTOS et al., 2001; ROCHA et al., 2003; ROLIM et al., 2005; VALE; FELFILI, 2005; CHAVE et al., 2005; REZENDE et al., 2006; MELO; DURIGAN, 2006).

A fitomassa pode ser determinada diretamente ou estimada indiretamente (BROWN, 1997). No método direto (destrutivo), toda a vegetação é cortada e pesada. A amostragem para esse método pode ser por árvore individual ou em parcelas fixas. No primeiro tipo,

árvores-amostra são eleitas para o corte e pesagem. A amostragem por parcelas fixas implica em cortar e pesar toda a vegetação compreendida em uma área pré-definida (HIGUCHI; CARVALHO, 1994; SANTOS et al., 2001; SANQUETA, 2002).

O método indireto, indicado para grandes extensões florestais, é baseado em inventários florestais e modelos de regressão (SANQUETA, 2002). A fitomassa é estimada por meio de equações alométricas que caracterizam a relação entre peso úmido ou seco e variáveis de fácil medição, tais como: diâmetro à altura do peito (DAP), altura comercial ou total e volume (BROWN; GILLESPIE; LUGO, 1989). Este método não deve ser utilizado sem o ajuste prévio de equações, sendo indicado seu uso conjuntamente com o método direto (SANQUETA, 2002). Para Higuchi et al. (2004), o ideal é desenvolver um modelo para cada tipo de vegetação.

De forma geral, na literatura é mencionado que metade do peso seco da vegetação é constituído de carbono (BRASIL, 2004).

2.2 Sensoriamento Remoto e estimativa de fitomassa

As técnicas de sensoriamento remoto têm sido amplamente utilizadas em estudos de vegetação, tanto para análises de áreas extensas quanto para estudos de fisiologia vegetal em laboratório (PONZONI, 2001). Devido à possibilidade de uma visão sinóptica da paisagem, imagens de satélite são utilizadas como suporte para mapeamento, inventário e monitoramento da cobertura vegetal (SANTOS, 2002).

Imagens obtidas por sistemas ópticos com média resolução espacial têm sido amplamente aplicadas em estimativas de parâmetros biofísicos de florestas temperadas (ZHENG et al., 2004; HEISKANEN, 2006). Nessas florestas, pesquisas recentes com imagens com alta resolução dos satélites *Ikonos II* e *QuickBird* apresentaram resultados satisfatórios (ACCIOLY et al., 2002; MAURO, 2004; ASTOLA et al., 2004; ISLAM; DONOGHUE, 2004; KAYITAKIRE; HAMEL; DEFOURNY, 2006; LEBOEUF et al., 2007).

Na floresta Amazônica, sistemas ópticos obtiveram distintos níveis de sucesso na estimativa de fitomassa (FOODY; BOYD; CUTLER, 2003; COHEN et al., 2003; MACIEL et al., 2003; ARAGÃO, 2004; LU et al., 2004; LU; BATISTELLA 2005; LU; BATISTELLA; MORAN, 2005). Nessa floresta, os resultados com aplicação de radares geralmente são mais confiáveis (SANTOS et al., 2003; NEEFF et al., 2005; PINHEIRO et al., 2007) do que dados obtidos com sensores eletro-ópticos.

Na floresta de Araucária, imagens *Ikonos II* apresentaram relações significativas com a fitomassa e macronutrientes (WATZLAWICK, 2003; CANAVESI; KIRCHNER, 2005). Em áreas de contato entre floresta e cerrado, as melhores correlações foram obtidas entre a fitomassa florestal e dados *TM/Landsat-5*, quando comparadas com dados do radar JERS-1 (ARAÚJO, 1999).

No Cerrado, as pesquisas com esta temática ainda são incipientes e com diferentes abordagens, do ponto de vista de sensores. Santos (1988) desenvolveu um dos primeiros estudos com aplicação de imagens *TM/Landsat-5* para estimar fitomassa de cerrado, chegando a bons resultados com correlações significativas, principalmente com os índices espectrais de vegetação. Baptista (2003) utilizou dados hiperespectrais *Airborne Visible/InfraRed Imaging Spectrometer* (AVIRIS) e Hyperion, para verificar a fixação de carbono em diferentes estratos de vegetação de cerrado, obtendo os melhores resultados com o sensor AVIRIS. Kuntschik e Bittencourt (2003) avaliaram imagens do radar JERS-1 para estimar a fitomassa do cerrado *stricto sensu* e cerradão, obtendo bons resultados e concluído que esses métodos de estimativa de fitomassa podem ser utilizados.

2.2.1 Comportamento espectral da vegetação

Cerca de 45% da radiação eletromagnética (REM) proveniente do Sol está compreendida entre a faixa espectral de 380 nm a 700 nm (radiação fotossinteticamente ativa

– RFA), a qual é utilizada pelas plantas para realizar a fotossíntese (LARCHER, 2000). Os processos interativos entre as plantas e a REM podem ser analisados sob o ponto de vista da absorção, transmissão e reflexão da radiação solar por folhas isoladas (Figura 4.1), ou por dosséis vegetais (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).



Figura 4.1. Interação da folha com a radiação eletromagnética.

Onde: I – Incidência; A – Absorção; R – Refletância; T – Transmitância.

A compreensão do modo como a energia radiante interage com a vegetação é fundamental para a correta análise e interpretação das imagens de sensoriamento remoto. Para essas análises, a folha é considerada o principal elemento da planta e seu comportamento espectral é função de sua umidade interna, composição química, morfologia e estrutura interna (Figura 4.2).

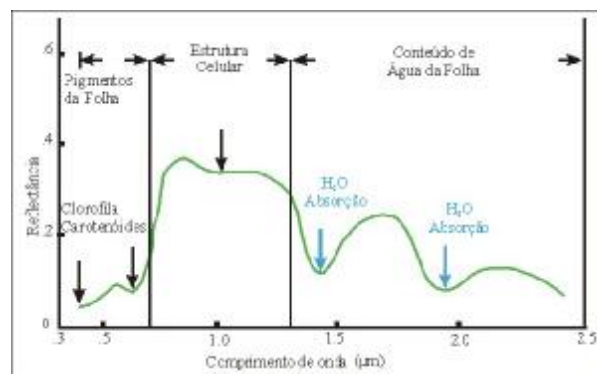


Figura 4.2. Curva de reflectância típica de uma folha verde.

Fonte: Adaptada de Swain e Davis (1978).

A reflectância e a transmitância são muito baixas na região do visível. A maior parte da radiação incidente é absorvida pelos pigmentos da planta, principalmente a clorofila, que exibe bandas de absorção centradas nas regiões do azul e vermelho, e um pico de reflectância no verde. No infravermelho próximo, a radiação é fortemente refletida e transmitida, devido à

estrutura celular interna da folha e ao fato de os pigmentos serem transparentes a essa radiação. No infravermelho médio, as propriedades ópticas das folhas são influenciadas principalmente pelo seu conteúdo de água, o qual é inversamente proporcional à reflectância (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

A reflectância dos diferentes tipos de dossel é influenciada por parâmetros geométricos (iluminação e visada), espectrais e biofísicos (Índice de Área Foliar - IAF e distribuição angular de folhas - DAF) (PONZONI, 2001).

Conforme a cobertura vegetal aumenta sua densidade, espera-se que os valores de reflectância diminuam na faixa do visível e aumentem quase que exponencialmente na faixa do infravermelho próximo, até que seus pontos de saturação sejam atingidos (IAF igual a 2 ou 3 para a região do visível e IAF 6 ou 8 para a região do infravermelho próximo). Esses efeitos variam de acordo com as fases de desenvolvimento da cobertura vegetal, forma e distribuição espacial dos indivíduos constituintes do dossel, e podem ser atenuados pela participação do solo e sombreamento entre os constituintes da planta (folhas, galhos e troncos) (PONZONI, 2001).

2.2.2 Conversão de números digitais para valores físicos

As imagens adquiridas por sensores remotos são compostas por *pixels* (*picture element*) e representados por números digitais (ND) expressos em níveis de cinza. Em um sensor multiespectral, cada banda espectral separa os valores de Radiância aparente³ em uma escala específica de resolução radiométrica (8, 10, 16 bits, etc) (SCHOWENGERDT, 1997; LILLESAND; KIEFFER, 2000).

Imagens produzidas por um mesmo sensor (com bandas diferentes) ou por sensores diferentes não apresentam compatibilidade entre seus ND, tornando impossível sua

³ A Radiância é medida em nível orbital e por não se referir exclusivamente ao brilho do objeto observado, recebe a denominação de Radiância aparente. A Reflectância aparente recebe este denominação pelo mesmo motivo (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

comparação (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007). Isto ocorre porque os ND não representam quantitativamente os valores físicos (radiância e reflectância) dos alvos na superfície terrestre (LILLESAND; KIEFFER, 2000).

Os ND podem ser convertidos em valores de reflectância, o que permite medições mais absolutas dos alvos, possibilita a razão entre bandas com maior rigor e facilita a relação entre diferentes sensores (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007). Essa conversão exige o conhecimento de algumas características do sensor (desempenho radiométrico e calibração dos detectores) e das condições ambientais (efeitos atmosféricos e geometria de iluminação e visada). O processo de conversão envolve calibração radiométrica, atenuação atmosférica e conversão para reflectância (PONZONI; ZULLO JUNIOR; LAMPARELLI, 2007).

2.2.3 Atenuação dos efeitos atmosféricos

A radiação proveniente do Sol interage com a atmosfera ao atravessá-la, ocasionando modificações em sua propagação, como os efeitos de espalhamento e absorção (SLATER, 1980).

O espalhamento atmosférico (difusão e dispersão) está associado ao tamanho das partículas presentes na atmosfera, ocasionando um efeito aditivo sobre os valores de radiância (SABINS, 1978). Conforme o diâmetro predominante das partículas em relação ao comprimento de onda da radiação incidente, podem prevalecer os espalhamentos do tipo *Rayleigh*, *Mie* ou Não-seletivo (SABINS, 1978).

Os efeitos da absorção atmosférica referem-se à subtração de valores de radiância para comprimentos de onda maiores, causada pela absorção da energia eletromagnética. Os principais gases de absorção são: oxigênio (O_2), ozônio (O_3), vapor d'água (H_2O) e gás carbônico (CO_2) (SLATER, 1980).

Diversos modelos matemáticos foram propostos para quantificar a interferência atmosférica sobre a radiância do alvo e corrigir o valor da reflectância espectral medida sob

influência atmosférica. Esses métodos podem ser divididos em alternativos e físicos (LATORRE et al., 2002).

Os métodos alternativos utilizam informações intrínsecas das imagens, ou seja, utilizam os ND de *pixels* que são representativos de feições específicas. Estes não dependem de parâmetros atmosféricos ou de dados da superfície, mas das informações da própria imagem para determinar a contribuição da atmosfera em cada banda espectral. Uma de suas limitações é a exigência de alvos específicos nas imagens analisadas. Como exemplo desses métodos, podem ser citados: *Internal Average Relative Reflectance (IARR)*, *Empirical Line*, *Flat Field* e o método do Histograma Mínimo, entre outros (LATORRE et al., 2002).

Os métodos físicos (transferência radiativa) necessitam do conhecimento das propriedades ópticas da atmosfera e do processo de interação da radiação com a atmosfera e com a superfície. Entre os métodos de transferência radiativa, os mais difundidos são: 5S (*Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum*), 6S (*Second Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum*), LOWTRAN (*Low Resolution Atmospheric Radiance and Transmittance Model*) e MODTRAN (*Moderate Resolution Atmospheric Radiance and Transmittance Model*) (LATORRE et al., 2002).

A principal vantagem da aplicação de modelos de transferência radiativa é que estes consideram também a absorção da REM. Isso implica em resultados mais confiáveis quando o interesse é correlacionar os valores de reflectância com parâmetros geofísicos ou biofísicos de alvos na superfície terrestre (PONZONI; SHIMABUKURO 2007). Sua limitação é a necessidade de dados coletados *in situ* simultaneamente à aquisição da imagem, cuja obtenção nem sempre é viável para estudos retrospectivos.

2.2.4 Transformações espectrais

A propriedade multispectral dos dados de sensoriamento remoto permite gerar novas imagens por meio de transformações espectrais. Essas transformações modificam os atributos

espectrais dos dados e podem evidenciar características pouco realçadas ou preservar o conteúdo das informações com um número reduzido de bandas transformadas (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007). Entre os métodos aplicados nas imagens é possível citar: índices espectrais de vegetação, análise por componentes principais e modelo linear de mistura espectral.

2.2.4.1 Índices espectrais de vegetação

Os índices espectrais de vegetação ou índices de vegetação (IV) são definidos como a combinação de dados entre duas ou mais bandas espectrais. Normalmente, são utilizadas informações contidas na reflectância do dossel, referentes às bandas espectrais do vermelho e infravermelho próximo, mas outras bandas também podem ser utilizadas (PONZONI, 2001).

Os índices de vegetação podem ser aplicados como indicadores de crescimento e vigor da vegetação e utilizados para diagnosticar parâmetros biofísicos (SANTOS, 1988; ARAÚJO, 1999; WATZLAWICK, 2002; FOODY; BOYD; CUTLER; 2003; MACIEL et al., 2003; LU et al., 2004; LU; BATISTELLA; MORAN, 2005; HEISKANEN, 2006), incluindo IAF, fitomassa, porcentagem de cobertura do solo e atividade fotossintética (PONZONI, 2001).

Além de realçar a vegetação em relação aos demais alvos, os IV permitem reduzir a dimensionalidade dos dados e diminuir os efeitos causados pela sombra, atmosfera e solo sobre a informação da vegetação (MOREIRA, 2005; PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

Desde o final da década de 60, diversas pesquisas foram direcionadas para solucionar os problemas que interferem na correta associação entre os IV e os parâmetros biofísicos (JORDAN, 1969; ROUSE et al., 1973; DEERING et al., 1975; TUCKER, 1979; HUETE, 1988; MAJOR; BARET; GUYOT, 1990; QI et al., 1994; ROUJEAN; BREON, 1995; RONDEAUX; STEVEN, M., BARET, 1996; HUETE et al., 1997; JUSTICE et al., 1998).

A determinação dos IV é influenciada, além das características da própria vegetação, por fatores como a influência do solo e da atmosfera, geometria de aquisição dos dados e

características do sensor (calibração e largura de bandas espectrais) (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007). Na busca de solução para tais limitações, na literatura são apresentados cerca de 50 índices de vegetação diferentes (MOREIRA M., 2005).

A saturação dos valores de reflectância representa uma limitação para os IV. Nas regiões do visível e infravermelho próximo, com o aumento do IAF a reflectância torna-se assintótica, caracterizando pontos de saturação. Diante da possibilidade de erros na relação entre valores de reflectância e parâmetros biofísicos, recomenda-se cautela na aplicação desses índices (PONZONI, 2001).

2.2.4.2 Componentes principais

As imagens geradas por sensores remotos multiespectrais geralmente apresentam elevado grau de redundância, devido a fatores como: a correlação existente na resposta espectral dos alvos, o sombreamento causado pela topografia e as faixas de superposição do sensor (SCHOWENGERDT, 1997).

As componentes principais (CP) são combinações lineares de n bandas, obtidas por uma transformação conhecida como *Karhunen-Loève*, a qual gera n imagens novas não correlacionadas entre si (SCHOWENGERDT, 1997).

Segundo Crósta (1999), um exemplo simples para componentes principais pode ser ilustrado no espaço bidimensional. O processo consiste em rotacionar os eixos ortogonais do espaço de atributos da imagem original em relação ao eixo de máxima variância (eixo principal). A primeira componente principal (CP_1) é atribuída ao novo eixo, paralelo ao primeiro, e a direção da segunda componente (CP_2) deve ser ortogonal ao novo eixo (Figura 4.3).

O processo utiliza os coeficientes de correlação ou as covariâncias para determinar um conjunto de autovalores e autovetores. Os autovalores representam o comprimento dos eixos

das CP da imagem e são medidos em unidades de variância. Os autovetores representam as direções dos eixos e a contribuição de informação em cada CP (CRÓSTA, 1999).

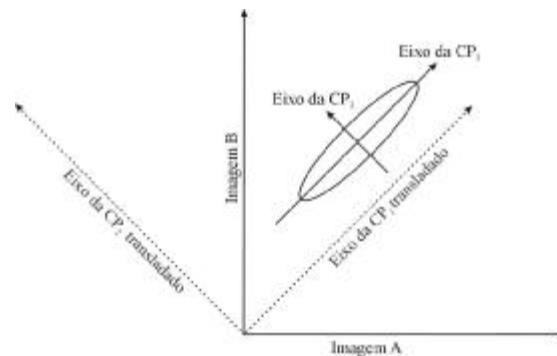


Figura 4.3. Representação gráfica da transformação por componentes principais.

Fonte: Adaptado de Crósta (1999).

A transformação por CP também pode ser utilizada para reduzir a dimensionalidade dos dados multiespectrais, por meio da seleção de imagens com o máximo de informações dos alvos, normalmente as CP_1 e CP_2 . A CP_1 inclui a porcentagem maior da variância da cena, resumindo informações de albedo e sombreamento topográfico (SCHOWENGERDT, 1997). As demais CP serão totalmente desprovidas de informação topográfica, devido à ausência de sombreamento. As últimas CP concentrarão os ruídos da imagem (CRÓSTA, 1999).

2.2.4.3 Modelo linear de mistura espectral

A resposta espectral contida em cada *pixel* de uma imagem de satélite, em geral, representa a mistura de diversos alvos na superfície terrestre (MOREIRA M., 2005). De acordo com a resolução espacial ou campo de visada do sensor do (*Ground Instantaneous Field of View* – GIFOV), a radiância medida pelo sensor é o resultado da mistura espectral de diferentes alvos (SHIMABUKURO; SMITH, 1991). O objetivo do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) é identificar a contribuição de cada alvo presente nos *pixels* da imagem, permitindo a análise em escala de *subpixel* (SCHOWENGERDT, 1997).

O pressuposto do MLME é de que um *pixel* pode ser modelado pela combinação linear de componentes puros, ou seja, “*pixels* puros”. A partir do conhecimento da resposta espectral da vegetação, solo e sombra/água é possível estimar a proporção de cada componente dentro do *pixel* (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

O ajuste do MLME é baseado em uma regressão (Equação 1) e pode ser avaliado a partir do Erro Médio Quadrático (*EMQ*) (Equação 2), que descreve os *pixels* não modelados no processamento (SHIMABUKURO; SMITH, 1991).

$$r_i = \sum_{j=1}^n (a_{ij} x_{ij}) + e_i \quad (1)$$

$$EMQ_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n (e_i)^2 / j} \quad (2)$$

Onde, r_i : reflectância de um *pixel*, para a i -ésima banda espectral (contendo um ou mais componentes); a_{ij} : reflectância do j -ésimo componente puro do *pixel* para a i -ésima banda espectral; x_j : fração do j -ésimo componente puro no *pixel*; e_i : resíduo da modelagem para a i -ésima banda espectral; j : 1, 2, 3, ..., n (número de componentes), e i : 1, 2, 3, ..., m (número de bandas espectrais consideradas).

Ponzoni e Shimabukuro (2007) descrevem três métodos para solucionar as equações do MLME: mínimos quadrados com restrições (*Constrained Least Squares* - CLS), mínimos quadrados ponderados (*Weighted Least Squares* LS) e componentes principais. Os resultados da decomposição linear são novas imagens, denominadas imagens fração vegetação, solo e sombra/água, e uma imagem *EMQ*.

Os valores nas imagens fração podem variar de 0 (*pixels* escuros) a 1 (*pixels* claros) (Equação 3), indicando, respectivamente, a menor e a maior proporção do componente identificado nas imagens. Na imagem *EMQ* *pixels* escuros indicam erros menores.

$$0 \leq x_j \leq 1 \text{ e } \sum x_j = 1 \quad (3)$$

Para gerar as imagens fração, são necessárias amostras dos componentes puros (*endmembers*). Essas amostras podem ser adquiridas em bibliotecas espectrais obtidas em espectrorradiometria de campo ou laboratório, a partir de estudos anteriores com MLME ou, ainda, pela identificação, na própria imagem, de *pixels* considerados “puros” para cada alvo (FERREIRA et al., 2003).

Segundo Wulder (1998), as imagens fração geradas a partir do MLME podem ser aplicadas para estimar parâmetros biofísicos da vegetação. Entre as pesquisas que utilizaram esta técnica é possível citar Araújo (1999) e Maciel et al. (2003).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Diferentes fisionomias da vegetação de cerrado na Estação Ecológica de Assis foram objeto de análise neste estudo. Nas análises efetuadas foram realizadas etapas distintas, porém complementares, a saber: aquisição dos dados em campo e estimativa da fitomassa; pré-processamento das imagens de satélite (*QuickBird – QB* e *Tematic Mapper do Landsat-5 - TM*); integração dos dados de sensoriamento remoto e de campo; e avaliação da aplicabilidade de imagens de satélite para estimar a fitomassa em distintas fitofisionomias de cerrado (fluxograma na Figura 4.5).

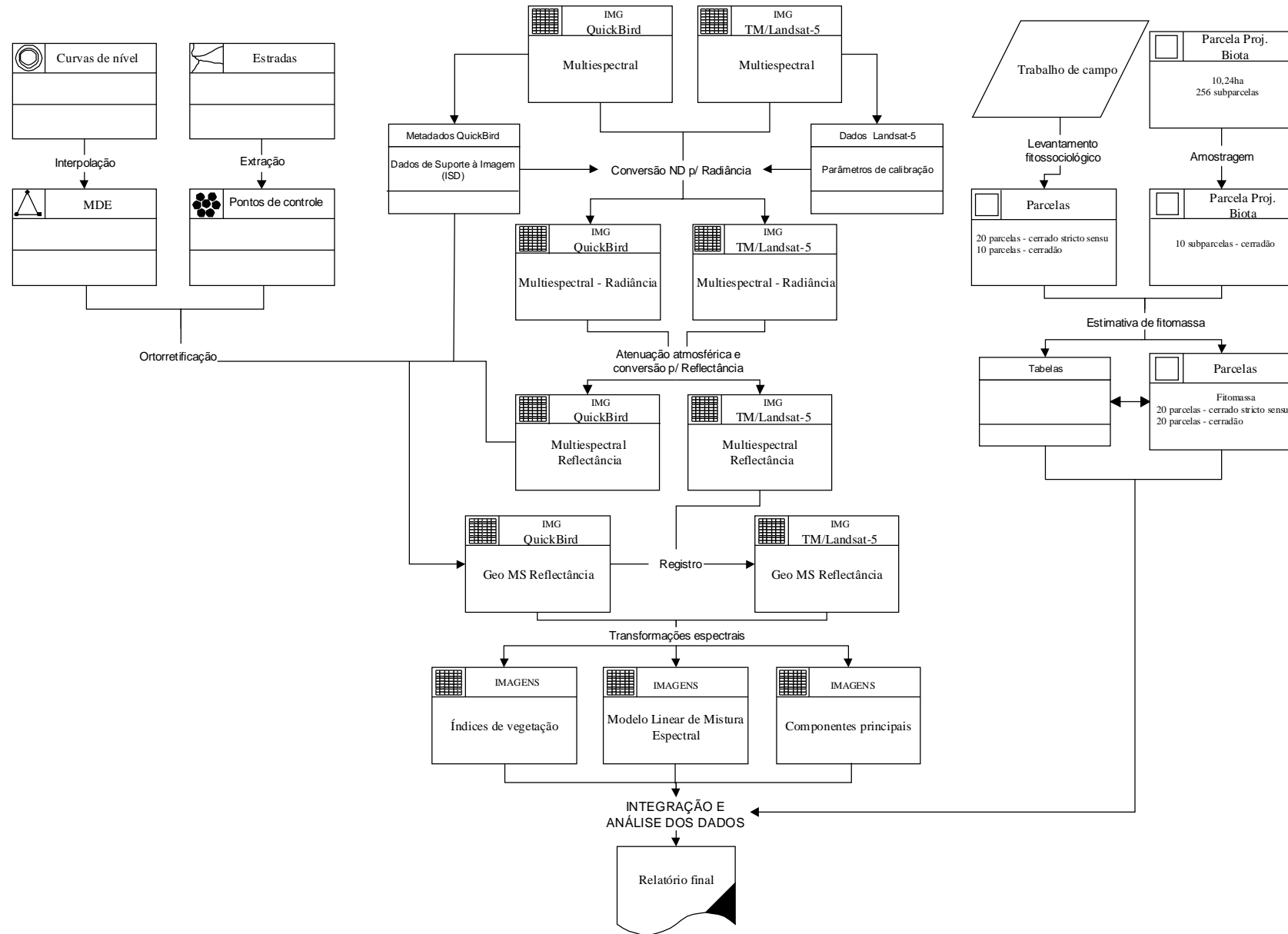


Figura 4.5. Fluxograma dos procedimentos realizados no estudo em modelagem OMT-G (*Object Modeling Techniques - Geographical*).

3.1 Aquisição dos dados de campo e estimativa de fitomassa

Os dados de campo utilizados na quantificação de fitomassa foram oriundos de 40 parcelas de 20 x 40 m, sendo 20 cobertas por cerrado *stricto sensu* (cerrado típico e cerrado denso) e 20 cobertas por cerradão, todas georreferenciadas com um GPS *Trimble Pro-XR*, empregando-se o método DGPS com coordenadas pós-processadas. A distribuição das parcelas lançadas na Estação Ecológica de Assis pode ser visualizada na Figura 4.6.



Figura 4.6. Distribuição das 40 parcelas de cerrado utilizadas para estimar a fitomassa da vegetação de cerrado na Estação Ecológica de Assis, SP.

As 20 parcelas de cerrado *stricto sensu* e 10 das parcelas de cerradão foram levantadas durante o presente estudo (descrição detalhada no Capítulo 3). Os dados dendrométricos das outras 10 parcelas de cerradão foram obtidos a partir do banco de dados do projeto temático “*Diversidade, dinâmica e conservação em florestas do Estado de São Paulo: 40 ha de parcelas permanentes*” (BIOTA/FAPESP 1999/09635-0), para o qual foi amostrada, no cerradão da EEcA, uma parcela com 320 x 320 m (10,24 ha), subdividida em 256 subparcelas

com 20 x 20 m. Destas, foram sorteados 10 pares de parcelas, cada par com dimensões de 20 x 40 m (Figura 4.7).

Para padronização das dimensões de todas as parcelas, foram sistematicamente eliminadas duas sub-parcelas de 10 x 10 m ao sul de cada uma das parcelas demarcadas no presente estudo, que mediam 20 x 50 m.

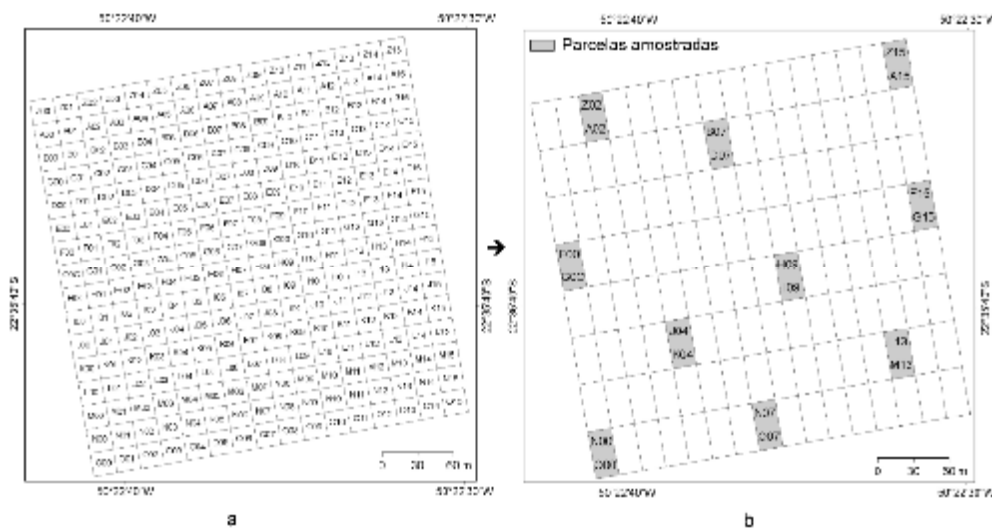


Figura 4.7. Parcela com 10,24 ha de cerradão na Estação Ecológica de Assis, SP. a) 256 subparcelas com 20 x 20 m; b) 130 subparcelas com 20 x 40 m e amostragem.

Fonte: RODRIGUES et al. (2004).

A fitomassa contida nas parcelas foi estimada a partir de dados biométricos: diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total (h). O método indireto foi aplicado por meio de equações alométricas especificamente desenvolvidas para diferentes fisionomias de cerrado na área de estudo por Melo et al. (dados não publicados) (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 - Equações alométricas utilizadas para estimar a fitomassa do cerrado stricto sensu e cerradão na Estação Ecológica de Assis, SP.

Fitomassa		Equação	n	R ² _e	AIC
Cerrado <i>stricto sensu</i>	total	$\ln(\hat{Y}) = -1,6515 + 0,7643 \ln(dg^2h)$	41	0,9068	207,7248
	aérea	$\ln(\hat{Y}) = -2,6504 + 0,8713 \ln(dg^2h)$	41	0,9156	184,7630
Cerradão	total	$\ln(\hat{Y}) = -2,8573 + 0,9556 \ln(dg^2h)$	60	0,9416	727,0565
	aérea	$\ln(\hat{Y}) = -3,0363 + 0,9546 \ln(dg^2h)$	60	0,9390	706,3690

Onde,

\hat{Y} : Fitomassa do indivíduo (kg)

dg : DAP equivalente (cm). Diâmetro do tronco à altura do peito, obtido um diâmetro único a partir da área basal de árvores com vários troncos.

g : área basal do indivíduo (cm²) – área da secção do(s) tronco(s) à altura do peito.

$$dg = \sqrt{\frac{4}{p} g}$$

h : altura (m).

ln: logaritmo natural.

n : número de árvores utilizadas para geração da equação.

AIC: Critério de Informação de Akaike.

R²_e: Coeficiente de determinação empírico.

$$R_e^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (b_i - \bar{b}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (b_i - \bar{b}_i)^2}$$

onde: $\hat{b}_i, b_i \in \bar{b}_i$ estão sempre em kg, independentemente de como o modelo foi ajustado (logaritimizado ou não-linear).

O Critério de Informação de Akaike (AIC) é uma estatística normalmente utilizada para comparar modelos de regressão, quando não existem variáveis independentes comuns aos dois. A escolha do melhor modelo é o que produz o menor valor de AIC.

3.2 Pré-processamento das imagens de satélite

Utilizaram-se imagens de sensores eletro-ópticos, com resolução espacial média e alta, *TM/Landsat-5* e *QuickBird (QB)*, respectivamente. As imagens utilizadas no estudo (Tabela 4.2) datam apenas do período sazonal seco.

Tabela 4.2 - Especificações das imagens orbitais utilizadas no estudo da fitomassa do cerrado na Estação Ecológica de Assis, SP.

	Imagem <i>QuickBird</i>	Imagem <i>TM/Landsat-5</i>
Órbita/ponto	-	221/76
Data	04/07/2006	24/06/2006
Elevação solar	39,9°	34,25°
Azimute solar	26,6°	35,80°
Elevação do sensor	80,9°	-
Azimute do sensor	206,4°	-
Resolução espacial	0,6 m Pancromática (PAN) 2,4 m Multiespectral (MS)	30 m Multiespectral (MS)
Bandas espectrais (nanômetros – nm)	Azul (B): 450-520 Verde (G): 520-600 Vermelho (R): 630-690 Infravermelho próximo (IVP): 760-900 Pancromática: 450-900	Azul (B): 450-520 Verde (G): 520-600 Vermelho (R): 630-690 Infravermelho próximo (IVP): 760-900 Infravermelho médio (IVM): 1550-1750 Infravermelho distante (IVD): 2080-2350
Resolução radiométrica	16 bits (65.536 níveis de cinza)	8 bits (256 níveis de cinza)
Ângulo de visada	8,1°	0°

3.2.1 Correção atmosférica e conversão para reflectância

Os valores de ND das imagens multiespectrais *QB* e *TM* foram transformados para valores de radiância. Em seguida, foram executados os procedimentos de correção atmosférica e conversão dos valores de radiância para reflectância na superfície. Todos os

processos foram realizados no aplicativo *Environment for Visualisation Images* (ENVI 4.3) (RSI, 2006a).

A conversão de ND das imagens multiespectrais do *QB* para radiância aparente foi realizada segundo o método descrito por Krause (2003), no qual a imagem é convertida para radiância utilizando uma conversão linear. Os valores de ND dos *pixels* ($q_{\text{pixel, banda}}$) são multiplicados por um fator radiométrico absoluto (k) (Tabela 4.3), para obter a radiância aparente por banda integrada ($L_{\text{pixel, banda}}$) (Equação 5). Esses valores são divididos pelas bandas espectrais ($\Delta\lambda_{\text{banda}}$ - azul, verde, vermelho e infravermelho próximo) para a obtenção da radiância aparente em cada uma das bandas separadas (Equação 6).

$$L_{\text{Pixel, Banda}} = K_{\text{Banda}} \cdot q_{\text{Pixel, Banda}} \quad (5)$$

$$L_{\lambda_{\text{Pixel, Banda}}} = L_{\text{Pixel, Banda}} / \Delta\lambda_{\text{Banda}} \quad (6)$$

Tabela 4.3 – Parâmetros de calibração para conversão das bandas espectrais do QuickBird para radiância aparente.

Bandas	Fator de calibração (K)
Azul	$1,604 \times 10^{-02}$
Verde	$1,438 \times 10^{-02}$
Vermelho	$1,267 \times 10^{-02}$
Infravermelho próximo	$1,542 \times 10^{-02}$

Fonte: Metadados ISD do *QuickBird*.

Para transformar os valores de ND das imagens *TM* em valores de radiância aparente foi utilizado o método descrito por Markham e Barker (1986) (Equação 7) (RSI, 2006). Os parâmetros utilizados para calibração são apresentados na Tabela 4.4.

$$L_{\lambda} = L_{\text{min}\lambda} + \left(\frac{L_{\text{max}\lambda} - L_{\text{min}\lambda}}{QCAL_{\text{max}}} \right) QCAL \quad (7)$$

Onde, $L\lambda$: radiância aparente; QCAL: radiância calibrada e reescalada para o intervalo 0 a 255; $L_{\min}\lambda$: constantes, radiância aparente correspondente ao QCAL = 0; $L_{\max}\lambda$: constantes, radiância aparente correspondente ao QCAL = 255; $QCAL_{\max}\lambda$: valor máximo de radiância, reescalada para número digital.

Tabela 4.4 - Parâmetros de calibração para conversão das bandas espectrais TM/Landsat-5 para radiância aparente.

Bandas	L_{\min}	L_{\max}	G	B
Azul	-1,52	193,0	0,762824	-1,52
Verde	-2,84	365,0	1,442510	-2,84
Vermelho	-1,17	264,0	1,039880	-1,17
Infravermelho próximo	-1,51	221,0	0,872588	-1,51
Infravermelho médio	-0,37	30,2	0,119882	-0,37
Infravermelho distante	-0,15	16,5	0,065294	-0,15

Onde, Radiância espectral L_{\min} e L_{\max} ($W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$); L: Radiância; G: ganho; B: offset

Fonte: Chander e Markham (2003).

A correção atmosférica das imagens multiespectrais *QB* e *TM* foi realizada no módulo FLAASH (*Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes*), implementado no ENVI 4.3 (RSI, 2006). O FLAASH é baseado em modelos físicos e incorpora o código de transferência de radiação MODTRAN4+ para caracterizar a atmosfera e eliminar efeitos causados por partículas de vapor d'água, aerossóis e gases (ozônio, dióxido de carbono, etc.) (RSI, 2006b).

Segundo Berk et al. (1999), o MODTRAN foi criado para aumentar a resolução espectral do modelo LOWTRAN de 20 cm^{-1} para 2 cm^{-1} , pois incorpora um modelo de banda molecular mais sensível. Permite ainda modelar a absorção atmosférica molecular em função da temperatura e pressão, calcular parâmetros de modelos de banda para 12 moléculas e proporcionar a integração do LOWTRAN 7 em novos algoritmos.

O MODTRAN 4 contém algoritmos que aumentam a capacidade de predição dos efeitos atmosféricos em ambiente nublado e/ou com aerossóis pesados. O módulo de nuvem/chuva permite generalizar especificações das propriedades ópticas e físicas das camadas atmosféricas, como também a presença ou não de sobreposição de nuvens. Este modelo também introduz a correlação-K (CK), a qual aumenta a exatidão do cálculo do espalhamento múltiplo, especialmente nas regiões espectrais que contêm fortes absorções (BERK et al., 1999; ALDER-GOLDEN et al., 1999).

Entre os parâmetros utilizados para correção atmosférica foram adotados o modelo atmosférico *Middle Latitude Summer* (MLS) e o modelo de aerossol Rural, para as duas imagens *QB* e *TM*, conforme descrito por RSI (2006b), que considera condições meteorológicas na data da aquisição das imagens (Tabela 4.5) (APÊNDICE E). Nos APÊNDICES F e G são apresentados todos os parâmetros utilizados na correção atmosférica das imagens de satélite utilizadas neste estudo.

Tabela 4.5 - Condições meteorológicas no município de Assis, SP na data de aquisição das imagens *QuickBird* e *TM/Landsat-5*.

Data	Temperatura média (°C)	Umidade relativa média (%)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Precipitação (mm)
26/06/2006	-	76,0	26,0	11,4	0,0
04/07/2006	18,0	69,0	26,8	12,6	0,0

Fonte: Estação Meteorológica do Instituto Agronômico, Assis, SP (22°37'3,5" S; 50°22'36,9" W).

Após a execução da correção atmosférica, as imagens foram convertidas para reflectância na superfície, por meio da Equação 8 (LILLESAND; KIEFER, 2000).

$$\rho\lambda = (\pi L\lambda d^2) / (E_{sun\lambda} \cos\theta_s) \quad (8)$$

Onde, $\rho\lambda$: Reflectância da superfície; $L\lambda$: Radiância no detector; d : Distância Terra-Sol, em unidades astronômicas; $E_{sun\lambda}$: Irradiância espectral média no topo da atmosfera; θ_s : Ângulo zenital solar.

3.2.2 Correção geométrica

A imagem multiespectral *QuickBird* foi ortorretificada de acordo com os métodos descritos no item 2.2 do Capítulo 2. A imagem fusão *QuickBird* foi utilizada como referência para aquisição dos pontos de controle, obtendo-se um erro médio quadrático de 1,79 *pixels* (4,29 m). A imagem de saída foi reamostrada pelo interpolador vizinho-mais-próximo, para minimizar as alterações dos valores de reflectância dos *pixels*.

A imagem *TM/Landsat-5* foi registrada por meio do modelo polinomial de 1º grau e reamostrada pelo interpolador vizinho-mais-próximo. Foram selecionados dez pontos de controle na imagem fusão *QuickBird*, utilizada como referência, e obtido um erro médio quadrático de 0,21 *pixels* (6,3 m).

3.3 Imagens índices de vegetação

Após o pré-processamento dos dados *QuickBird* e *TM/Landsat-5*, foram gerados os índices espectrais de vegetação. A partir das bandas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo, transformadas para reflectância de superfície, geraram-se dez índices de vegetação (Tabela 4.6). Para o índice de vegetação *EVI* (*Enhanced Vegetation Index*) (HUETE et al., 1997; JUSTICE et al., 1998) foi necessário utilizar também a banda do azul convertida para reflectância de superfície.

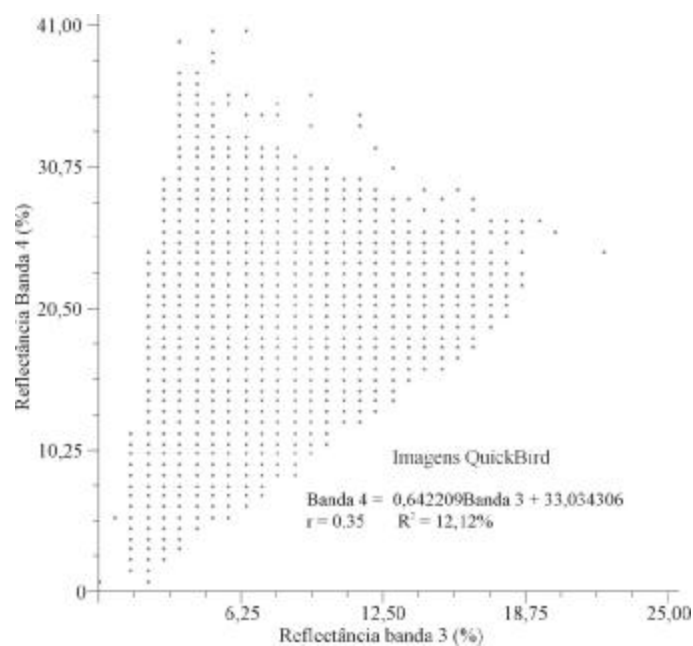
Tabela 4.6 - Índices espectrais de vegetação utilizados no estudo da vegetação de cerrado na Estação Ecológica de Assis, SP.

Índice	Denominação	Equação	Referência
SR	<i>Simple Ratio</i>	r_{IVP}/r_V	Jordan (1969)
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>	$(r_{IVP} - r_V) / (r_{IVP} + r_V)$	Rouse et al. (1973)
TVI	<i>Transformed Vegetation Index</i>	$(r_{IVP} - r_V / (r_{IVP} + r_V + 0,5))^{0,5}$	Deering et al. (1975)
DVI	<i>Difference Vegetation Index</i>	$\rho_{IVP} - \rho_V$	Tucker (1979)
SAVI	<i>Soil Adjusted Vegetation Index</i>	$\frac{r_{IVP} - r_V}{r_{IVP} + r_V + L} (1 + L)$	$L = 0,25; 0,5$ ou $1,0$ Huete (1988)
SAVI ₂	<i>Soil Adjusted Vegetation Index 2</i>	$\frac{r_{IVP}}{r_V + a/b}$	$a = \text{intercepto}$ $b = \text{inclinação}$ $Y = a + bx$ Major, Baret e Guyot (1990)
MSAVI ₂	<i>Modified Soil Adjusted Vegetation Index</i>	$\frac{2r_{IVP} + 1 - \sqrt{(2r_{IVP} + 1)^2 - 8(r_{IVP} - r_V)}}{2}$	Qi et al. (1994)
RDVI	<i>Renormalized Difference Vegetation Index</i>	$\sqrt{NDVI * DVI}$	Roujean e Breon (1995)
OSAVI	<i>Optimized Soil Adjusted Vegetation Index</i>	$r_{IVP} - r_V / (r_{IVP} + r_V + 0,16)$	Rondeaux, Steven e Baret (1996)
EVI	<i>Enhanced Vegetation Index</i>	$2,5(r_{IVP} - r_V) / (1 + r_{IVP} + 6r_V - 7,5r_A)$	Huete et al. (1997) Justice et al. (1998)

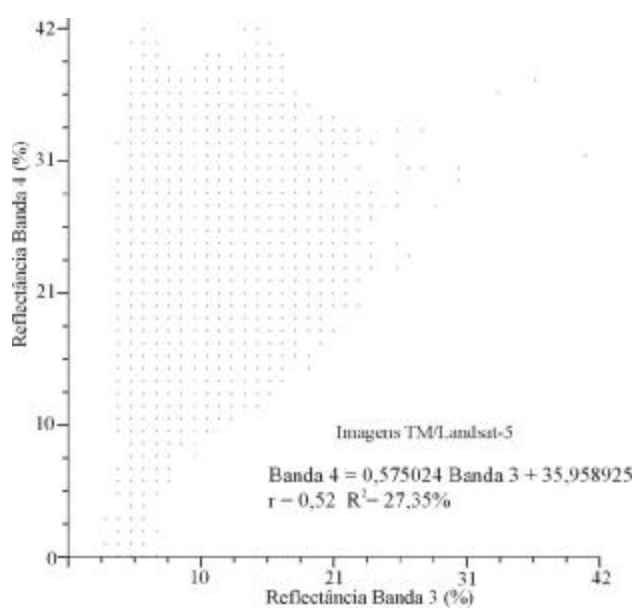
r: Reflectância; A, V e IVP são, respectivamente, bandas do azul, vermelho e infravermelho próximo.

Entre os diferentes IV avaliados, os mais difundidos na comunidade científica são *SR* (*Simple Ratio*) e *NDVI* (*Normalized Difference Vegetation Index*). Foram testados índices que consideram a resposta da vegetação em relação às interferências do solo, principalmente em situações com baixa cobertura vegetal (HUETE 1988; MAJOR; BARET; GUYOT, 1990; QI et al., 1994; RONDEAUX; STEVEN, M., BARET; 1996), como ocorre em algumas fisionomias de cerrado.

Para o índice de vegetação *SAVI*, testaram-se três níveis de cobertura do solo, com o fator *L* (0,25; 0,5 e 1,0). Os parâmetros exigidos para o cálculo do *SAVI*₂ (MAJOR; BARET; GUYOT, 1990) foram obtidos pelos gráficos de dispersão entre os valores de reflectância das bandas espectrais do vermelho e infravermelho próximo (Figura 4.8), para cada um dos dois sensores analisados.



A



B

Figura 4.8. Gráficos de dispersão entre bandas espectrais (vermelho e infravermelho), a) imagens *QuickBird*; b) imagens *TM/Landsat-5*.

3.4 Componentes principais

A transformação por componentes principais permite transladar e rotacionar as imagens para um novo sistema de coordenadas, de modo a maximizar sua variância. Além disso, pode aumentar o conteúdo de informação apenas em uma banda, isolar componentes de ruído e eliminar a correlação entre os dados (RSI, 2006a).

As CP foram geradas a partir das imagens multiespectrais convertidas para reflectância de superfície, sendo elaboradas quatro novas imagens *QuickBird* e seis novas imagens *TM/Landsat-5*. A transformação por CP foi calculada a partir da matriz de covariância das imagens.

3.5 Modelo Linear de Mistura Espectral

O modelo linear de mistura espectral foi utilizado para obter as imagens correspondentes às frações vegetação (*IfVe*), solo (*IfSl*) e sombra (*IfSo*), a partir das imagens transformadas para reflectância do *QB* e *TM*. Como a imagem *QB* possui alta resolução espacial, os *pixels* puros foram selecionados na própria imagem, a saber:

- **Vegetação:** *pixel* selecionado em uma área coberta por samambaias, pois esta vegetação é densa e fechada, com influência mínima do solo e da sombra. No infravermelho próximo essas áreas aparecem em tons claros de cinza, demonstrando alta reflectância da vegetação;

- **Solo:** *pixel* localizado no meio de uma estrada não pavimentada, ao norte da EEcA, sendo sua resposta espectral maior na faixa do infravermelho, quando comparada com a região do visível;

- **Sombra:** *pixel* selecionado na área sombreada. O padrão da resposta espectral nesta área apresenta valores baixos de reflectância, tanto na faixa espectral do visível como no infravermelho.

Para aplicar o MLME na imagem *TM*, os *pixels* com maior probabilidade de serem considerados puros foram selecionados pelo método *simplex* (BOARDMAN; KRUSE 1994). Este procedimento é realizado em diferentes etapas, a saber: redução da dimensão espectral a partir da transformação por componentes principais; seleção de um conjunto de *pixels* puros “candidatos”; redução da dimensão espacial com a técnica Índice de Pureza dos *Pixels* (*Pixel Purity Index* - PPI) e seleção dos *pixels* puros. Os *pixels* puros “candidatos” foram selecionados nos vértices do diagrama de dispersão entre as imagens CP_1 e CP_2 (Figura 4.9).

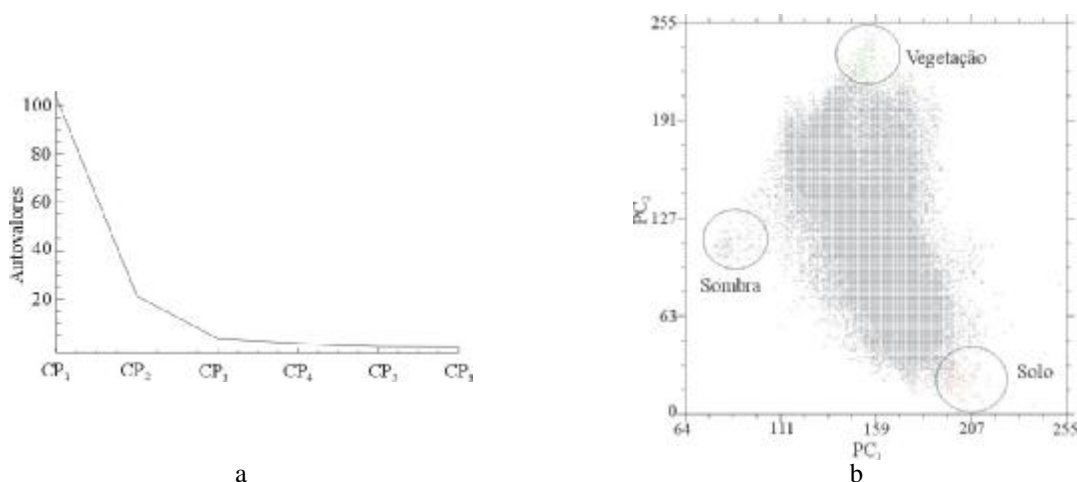


Figura 4.9. a) Autovalores da transformação por componentes principais das imagens *TM/Landsat-5*, da Estação Ecológica de Assis, SP; b) Gráfico de dispersão e seleção dos conjuntos de *pixels* puros nas duas primeiras componentes principais geradas com as imagens *TM/Landsat-5*.

O PPI é uma técnica que registra e contabiliza os *pixels* que estão nos vértices nas diferentes projeções do *simplex*. Neste procedimento é gerada uma imagem na qual os *pixels* mais brilhantes apresentam um índice de maior pureza (RSI, 2006a). Para aplicar o PPI foram utilizadas apenas as três primeiras CP, pois concentraram os dados das seis imagens *TM*. Neste sentido, a partir a imagem PPI podem-se selecionar os *pixels* puros com maior detalhe.

3.6 Integração dos dados

Cada uma das 40 parcelas de 800 m² foi sobreposta às bandas espectrais do *QuickBird*, bem como às transformações (índices espectrais de vegetação, componente principais e modelo linear de mistura espectral). Em seguida, foi extraída a média da resposta espectral dos *pixels* contidos na área de cada parcela.

Para a imagem *TM/Landsat-5*, cada parcela foi sobreposta a uma janela de 3 x 3 *pixels*, para extrair a média dos valores espectrais da imagem e suas transformações, conforme método proposto por Lu e Batistella (2005).

Uma das limitações encontradas em análises estatísticas é a estimação de parâmetros com confiabilidade adequada. Para essas estimativas, as amostras devem possuir as mesmas características da população, referentes à variável a ser estimada (NETER; WASSERMAN; KUTNER, 1989). Um dos elementos essenciais neste processo é a intensidade amostral, por vezes reduzida, devido a restrições de recursos ou por economia de esforço de trabalho. Para solucionar esta questão, Efron (1982) propôs a técnica *Bootstrap*.

Essa técnica é utilizada para calcular o intervalo de confiança de parâmetros estimados, em circunstâncias em que outros métodos não são aplicáveis, em particular quando o número de amostras é reduzido (WILLMOTT et al., 1985). O *Bootstrap* é um método computacional intensivo de análise estatística aplicável em modelos paramétricos e não-paramétricos (AYRES et al., 2005).

A técnica consiste em retirar, de uma pequena amostra, numerosas outras com reposição, normalmente, de 500 a 10.000. Cada amostra possui a probabilidade de $1/n$ de ser obtida. As observações são escolhidas de forma aleatória e as estimativas são re-calculadas (AYRES et al., 2005). A partir das novas amostras, a técnica reconstrói a curva original dos dados e estima os valores de média, variância, mediana, assimetria e curtose, fornecendo os

parâmetros para construir o intervalo de confiança para as estimativas do modelo (EFRON, 1982).

As técnicas usuais de ajuste dos mínimos quadrados exigem a condição de normalidade, independência e variância constante dos resíduos, além de ausência de valores extremos (*outliers*) (NETER; WASSERMAN; KUTNER, 1986). A Regressão robusta (*Robust regression*) é uma técnica complementar aos mínimos quadrados, pois fornece respostas similares a estes, quando os resíduos não têm distribuição normal ou há *outliers* (CUNHA; MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2002).

O principal objetivo da técnica é atenuar o efeito de *outliers*, os quais, devido ao seu distanciamento da média, parecem inconsistentes. A rejeição simples dos *outliers* não é o melhor método, pois sua omissão pode determinar a retirada de algum valor importante para o modelo de regressão (CUNHA; MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2002).

Para analisar as relações entre a fitomassa aérea de cerrado na EECa e os dados dos satélites *QuickBird* e *Landsat-5*, foi utilizada a Regressão robusta, por mínimos quadrados ponderados, utilizando uma função bi-quadrada de peso, ponderada pelo coeficiente de correlação. Os procedimentos foram realizados por meio de programas (APENDICE I) desenvolvidos no aplicativo Matlab 7.2.

Foram ajustadas regressões lineares ($Y = a + bx + e$), tendo como variável dependente a fitomassa aérea ou sua transformação logarítmica e como variáveis independentes as bandas espectrais, suas transformações e as medidas de textura. A técnica *Bootstrap*, com 10.000 repetições, foi empregada devido ao número relativamente pequeno das amostras, 20 para cada uma das fitofisionomias, cerrado ss e cerradão. Construíram-se intervalos de confiança para o coeficiente de correlação de *Pearson* (r) (Tabela 4.8), com significância ao nível de 5% de probabilidade.

O erro médio quadrático foi empregado para avaliar a precisão das associações entre as variáveis dependentes e independentes. O *EMQ* indica o desvio padrão em torno da reta de regressão e sua unidade de medida é igual à da variável dependente (NETER; WASSERMAN; KUTNER, 1986).

Tabela 4.7 - Interpretação dos coeficientes de correlação de *Pearson*

Valor de <i>r</i> (+ ou -)	Correlação
0,00 – 0,19	Bem fraca
0,20 – 0,39	Fraca
0,40 – 0,69	Moderada
0,70 – 0,89	Forte
0,90 – 1,00	Muito forte

Fonte: Adaptado de Barbetta, Reis e Bornia (2004).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 A fitomassa das fisionomias de cerrado na Estação Ecológica de Assis

A fitomassa do cerrado *stricto sensu* da Estação Ecológica de Assis, estimada a partir das parcelas, apresentou variação elevada, de 11,83 a 51,79 Mg.ha⁻¹ (fitomassa total) e de 8,77 a 43,56 Mg.ha⁻¹ (fitomassa aérea) (Tabela 4.9). A grande variação de fitomassa deveu-se à análise conjunta das fisionomias que compõem o cerrado *stricto sensu* (cerrado típico e cerrado denso), as quais diferem entre si justamente pela estrutura: área basal, densidade de indivíduos por hectare e altura, sendo esses parâmetros superiores para o cerrado denso (Capítulo 3, item 3.2).

Tabela 4.8 – Parâmetros estruturais e valores estimados de fitomassa e estoque de carbono, obtidos a partir de 20 parcelas de cerrado *stricto sensu* na Estação Ecológica de Assis, SP.

Parcela	dg médio (cm)	Área basal (m ² .ha ⁻¹)	Fitomassa aérea (Mg.ha ⁻¹)	Fitomassa total (Mg.ha ⁻¹)	Carbono (Mg.ha ⁻¹)*
1	9,31	13,36	33,76	42,09	21,05
2	9,09	7,21	15,85	21,16	10,58
3	8,53	5,70	10,48	14,57	7,29
4	8,41	6,95	16,34	22,23	11,12
5	9,29	7,08	17,36	21,21	10,61
6	10,75	13,79	34,33	41,29	20,65
7	9,66	12,08	28,45	35,53	17,77
8	8,83	10,25	22,24	28,58	14,29
9	9,77	10,80	27,96	33,07	16,54
10	10,72	15,26	41,15	48,31	24,16
11	8,84	4,34	8,77	11,83	5,92
12	8,58	7,14	13,54	17,77	8,89
13	9,83	8,92	19,35	24,69	12,35
14	8,56	7,36	17,28	23,38	11,69
15	9,37	9,30	23,32	30,29	15,15
16	10,00	8,19	19,74	23,74	11,87
17	10,29	9,96	23,98	29,26	14,63
18	11,03	16,17	43,56	51,79	25,90
19	11,00	7,05	14,04	17,73	8,87
20	12,93	14,65	32,97	39,14	19,57
\bar{x}	9,77	9,91	23,22	28,88	14,44
s	1,15	3,46	9,90	11,19	5,6
IC**	9,77 ± 0,50	9,91 ± 1,50	23,22 ± 4,34	28,88 ± 4,91	14,44 ± 2,45

dg: diâmetro à altura do peito; * Valores relativos a fitomassa total seca; ** Intervalo de confiança a 95% de probabilidade.

As análises dos valores médios de fitomassa total - 28,88 Mg.ha⁻¹ e aérea - 23,22 Mg.ha⁻¹ (Tabela 4.9) permitem verificar que os resultados estão próximos aos encontrados para o cerrado *stricto sensu* do Brasil Central (SANTOS 1988; ABDALA et al., 1998; CASTRO; KAUFFMAN 1998; GUARINO; MEDEIROS, 2005; REZENDE et al., 2006). Vale e Felfili (2005) obtiveram valores de fitomassa aérea inferiores aos apresentados por outros estudos em cerrado *stricto sensu* no Distrito Federal, porém próximos aos encontrados em algumas parcelas da Estação Ecológica de Assis (Tabelas 4.9 e 4.10).

A fitomassa obtida em levantamentos realizados em cerrados de Roraima foi inferior aos valores encontrados neste estudo e também inferior aos valores encontrados em áreas de cerrado do Brasil Central (Tabela 4.10).

Tabela 4.9 - Comparação entre estimativas de fitomassa de fisionomias campestres e savânicas de cerrado obtidas por diferentes estudos.

Autor	Local	Fitofisionomia	Fitomassa (Mg.ha⁻¹)
Este estudo ^{1,2}	SP	cerrado <i>stricto sensu</i>	total: 28,88 aérea: 23,22
Santos (1988)* ¹	DF	cerrado <i>stricto sensu</i>	Período úmido: 28,86 Período seco: 27,24
Abdala et al. (1998) ¹	DF	cerrado <i>stricto sensu</i>	26,02
Castro e Kauffman (1998) ¹	DF	campo limpo	5,5
		campo sujo	9,3
		cerrado aberto	24,8
		cerrado denso	24,9
Vale e Felfili (2005) ¹	DF	cerrado <i>stricto sensu</i>	12,4
Araújo (1999) ¹	RR	savana graminosa	1,57 - 7,83
		savana parque	4,23 - 10,73
Guarino e Medeiros (2005) ¹	GO	cerrado <i>stricto sensu</i>	23,28
Rezende et al. (2006) ¹	DF	cerrado <i>stricto sensu</i>	20,04
		savana graminosa	1,6 - 4,1
		savana parque	6,1 - 8,0
Barbosa e Fearnside (2005) ¹	RR	savana arborizada	10,2 - 11,7

* Método direto para quantificação. ¹ Fitomassa aérea. ² Fitomassa total.

No cerrado *stricto sensu* da Estação Ecológica de Assis, a menor quantidade de fitomassa foi registrada na parcela 11 e a maior na parcela 18 (Tabela 4.9 e Figura 4.10). A explicação para a diferença de fitomassa pode estar associada ao histórico de regeneração da vegetação nestas duas parcelas (Capítulo 2 deste estudo). Em 1962, as duas áreas eram ocupadas por um campo cerrado. Nos anos seguintes, um processo de adensamento foi verificado, sobretudo na parcela 18, que atualmente encontra-se em transição para o cerrado, conforme observado na seqüência histórica de fotografias aéreas e imagens de satélite (Figura 4.10).

Esta evolução estrutural observada na Estação Ecológica de Assis representa um mecanismo importante para o acúmulo de fitomassa e conseqüente estoque de carbono,

conforme observado em pesquisas realizadas em outras áreas de floresta no Brasil (FOODY et al., 1996; SALOMÃO, NEPSTAD; VIEIRA, 1998).

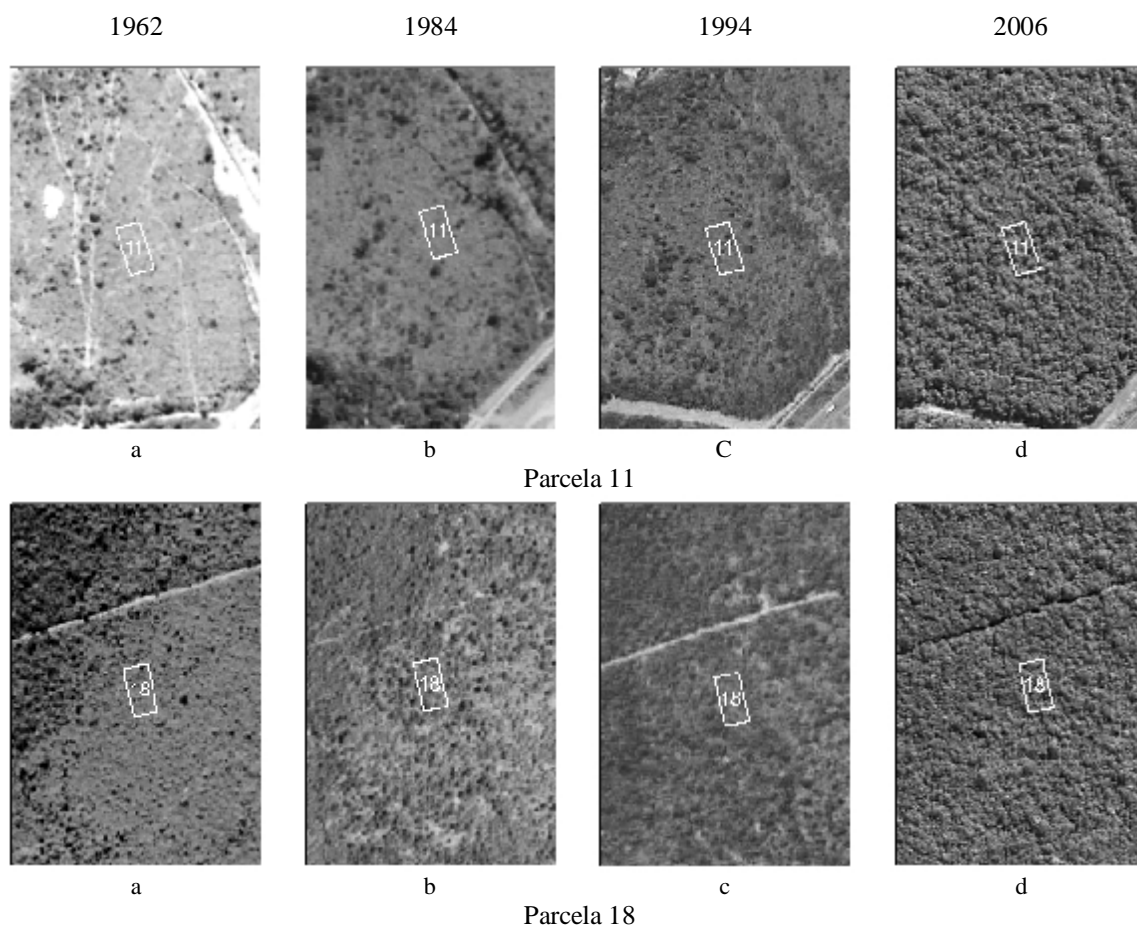


Figura 4.10. Adensamento da vegetação do cerrado nas parcelas 11 e 18, na Estação Ecológica de Assis, SP, no período de 1962-2006. Aerofotos (a, b e c), imagem *QuickBird* (d).

No cerradão da Estação Ecológica de Assis, os valores de fitomassa total e aérea estimados por meio das parcelas variaram de 75,72 a 172,12 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e de 62,83 a 142,72 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente (Tabela 4.11). Os valores médios encontrados foram de 118,36 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para a fitomassa total e 98,18 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para a fitomassa aérea (Tabela 4.11). Em um gradiente de cerrado *stricto sensu* e cerradão em São Paulo, Kuntzschik e Bitencourt (2003), obtiveram uma variação de fitomassa aérea de 3,32 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ a 120,35 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Tabela 4.10 - Parâmetros estruturais e valores estimados de fitomassa e estoque de carbono, obtidos a partir de 20 parcelas de cerradão na Estação Ecológica de Assis, SP.

Parcela	dg médio (cm)	Área basal (m ² .ha ⁻¹)	Fitomassa aérea (Mg.ha ⁻¹)	Fitomassa total (Mg.ha ⁻¹)	Carbono (Mg.ha ⁻¹)*
26	12,52	21,34	110,61	133,44	66,72
27	10,99	20,35	97,22	117,21	58,61
28	11,03	22,24	115,84	139,75	69,88
29	11,13	22,15	103,66	124,95	62,48
30	10,67	19,51	83,94	101,17	50,59
31	9,82	21,70	108,43	130,72	65,36
32	9,98	19,48	94,40	113,77	56,89
33	10,87	22,77	123,07	148,41	74,21
34	11,29	26,06	142,72	172,12	86,06
35	11,23	22,08	108,26	130,59	65,30
N00	11,51	22,13	90,18	108,76	54,38
K04	9,58	18,61	68,54	82,61	41,31
F00	11,27	26,25	102,85	124,01	62,01
G15	9,25	25,34	80,22	96,64	48,32
B07	9,69	23,99	87,61	105,58	52,79
A15	10,45	23,24	90,13	108,62	54,31
H09	10,66	30,83	112,57	135,65	67,83
N07	10,27	19,73	85,29	102,81	51,41
Z02	10,28	19,09	62,83	75,72	37,86
L13	9,78	23,32	95,19	114,72	57,36
\bar{x}	10,61	22,51	98,18	118,36	59,18
s	0,80	2,97	18,66	22,53	11,27
IC**	10,61 ± 0,35	22,51 ± 1,30	98,18 ± 8,18	118,36 ± 9,87	59,18 ± 4,94

dg: diâmetro à altura do peito; * Valores relativos a fitomassa total seca; ** Intervalo de confiança a 95% de probabilidade.

Os valores encontrados para a fitomassa do cerradão na Estação Ecológica de Assis (Tabela 4.11) aproximam-se de estimativas feitas por diversos autores para florestas estacionais tropicais. Brown, Gillespie e Lugo (1989) obtiveram, para florestas tropicais Estacionais, 110,14 Mg.ha⁻¹. Guarino e Medeiros (2005) estimaram em 140,24 Mg.ha⁻¹ a fitomassa total de uma floresta estacional em Corumbataí, Goiás. Burger e Delitti (1999) encontraram fitomassa de 133,3 Mg.ha⁻¹ para o estrato arbóreo de mata ciliar do rio Mogi-Guaçu, SP.

Apesar da proximidade entre os resultados, valores de fitomassa para cerrado são, geralmente, mais baixos que os encontrados para florestas tropicais úmidas. Segundo Houghton et al. (2001), na floresta Amazônica a fitomassa varia entre 95 a 413 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Para Fearnside (2003), a fitomassa total média em florestas maduras não exploradas na Amazônia é de 463 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Maciel et al. (2003) estimaram a fitomassa aérea no sul do Pará em 268,03 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Santos et al. (2003) encontraram 202,61 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de fitomassa aérea média para uma floresta primária no Pará e Rolim et al. (2005) obtiveram fitomassa aérea em uma área de Mata Atlântica, no Espírito Santo, variando de 241,2 a 436,9 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, com média de 334,5 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

No cerrado da Estação Ecológica de Assis, a menor quantidade de fitomassa total foi obtida na parcela Z02 (75,72 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e a maior na parcela 34 (172,12 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) (Tabela 4.11 e Figura 4.11). Os valores mais baixos de fitomassa na parcela Z02 podem ser explicados pelo seu histórico de ocupação e regeneração. Em 1962, a área desta parcela encontrava-se recoberta por uma vegetação de transição entre cerrado típico e denso, enquanto a parcela 34 já estava ocupada por cerrado (Figura 4.11). Além disso, de acordo com os resultados do levantamento florístico realizado na Estação Ecológica de Assis (Capítulo 2 deste estudo), na área da parcela 34 foram encontradas algumas espécies comuns que ocorrem também em floresta estacional, caracterizando uma área de ecótono (Figura 4.6).

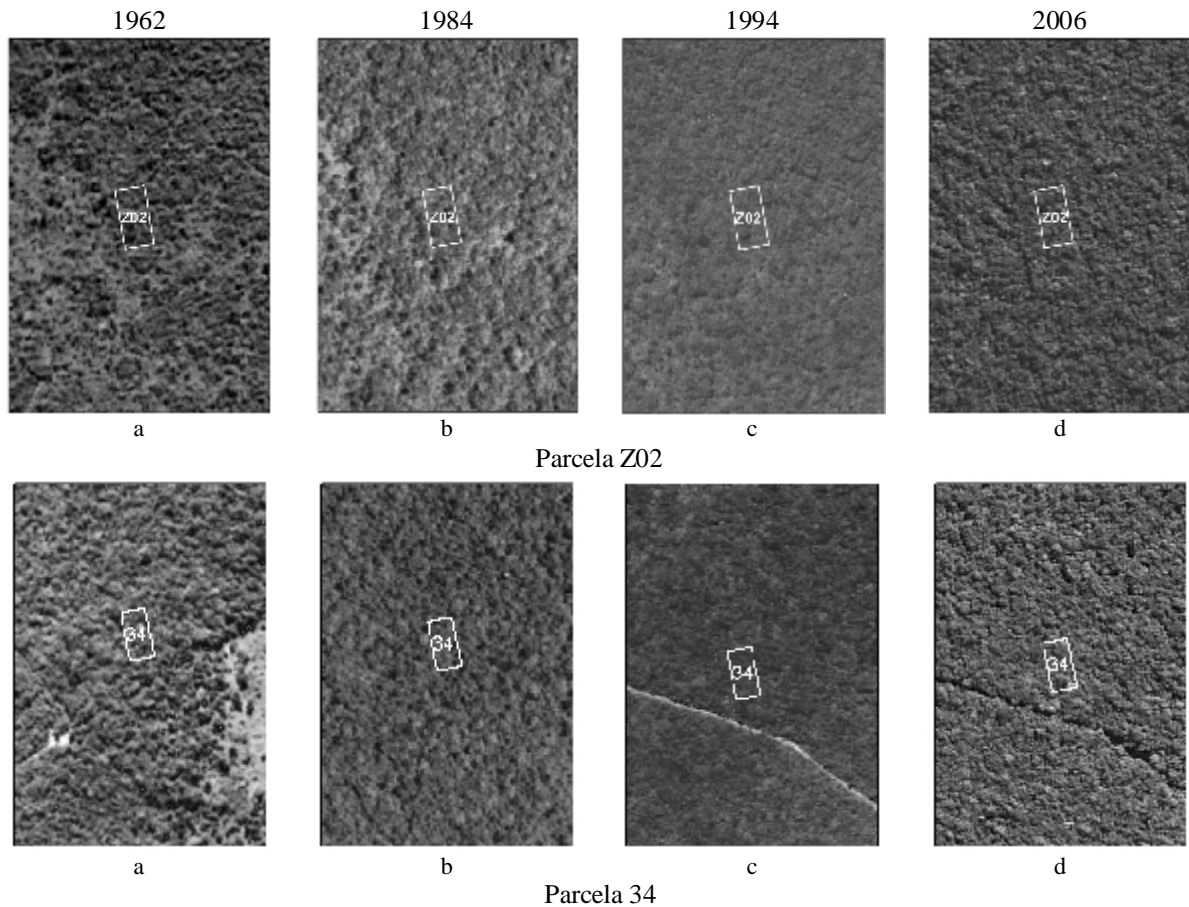


Figura 4.11. Adensamento da vegetação do cerrado nas parcelas Z02 e 34, na Estação Ecológica de Assis, SP, no período de 1962-2006. Aerofotos (a, b e c), imagem *QuickBird* (d).

A diferença média entre a fitomassa total e aérea do cerrado *stricto sensu* foi de 20,7%, ou seja, esta é a proporção da fitomassa total correspondente às raízes. Já para o cerrado, a diferença foi de 17%. Abdala et al. (1998) estimaram a fitomassa subterrânea do cerrado *stricto sensu*, no DF em $41,1 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, o que representou 61% da fitomassa total. De acordo com resultados de Castro e Kauffman (1998), para um gradiente de cerrado no DF, a fitomassa subterrânea representa entre 65 a 76% do total.

Estudo realizado por Melo, Watzlawick e Durigan (2005) concluiu que a distribuição de fitomassa entre os diferentes compartimentos do cerrado na Estação Ecológica de Assis é similar à que tem sido registrada em florestas tropicais, e que a proporção de raízes é muito inferior àquela citada na literatura para cerrado *lato sensu*. Avalia-se que estas diferenças

podem ser explicadas entre outros fatores pela condição ecotonal da EEcA, além das condições climáticas na área, uma vez que o período de seca é menor e menos intenso do que o cerrado do Brasil central, as espécies de cerrado em Assis, investem menos na fitomassa hipogéia.

De acordo com os dados da dinâmica das fisionomias da vegetação natural de cerrado na Estação Ecológica de Assis (Capítulo 2 deste estudo), em 44 anos a área recoberta por cerradão cresceu aproximadamente 38 pontos percentuais. Em 1962, o cerradão recobria 53,43% e em 2006 passou a ocupar 91,43% da área da unidade de conservação. Inúmeros trechos da unidade ocupados em 1962 por campo e campo cerrado deram lugar a uma vegetação lenhosa com maior fitomassa.

Apesar dos diferentes mecanismos de regeneração do cerrado, avalia-se que esse processo determinou um significativo acréscimo de fitomassa na Estação Ecológica de Assis. Esses resultados demonstram a importância da criação e manutenção de unidades de conservação, tanto para a preservação da biodiversidade, quanto para a fixação de carbono atmosférico, contribuindo para a mitigação do efeito estufa.

4.2 Correção atmosférica

As correções atmosféricas das imagens *QuickBird* e *TM/Landsat-5* resultaram imagens que expressam os valores de reflectância de superfície compreendidos entre 0 e 100%. Embora o procedimento não permita um exame quantitativo dos erros associados, a análise das curvas espectrais antes e após a correção atmosférica evidencia bons resultados para os propósitos deste estudo (Figuras 4.12 e 4.13).

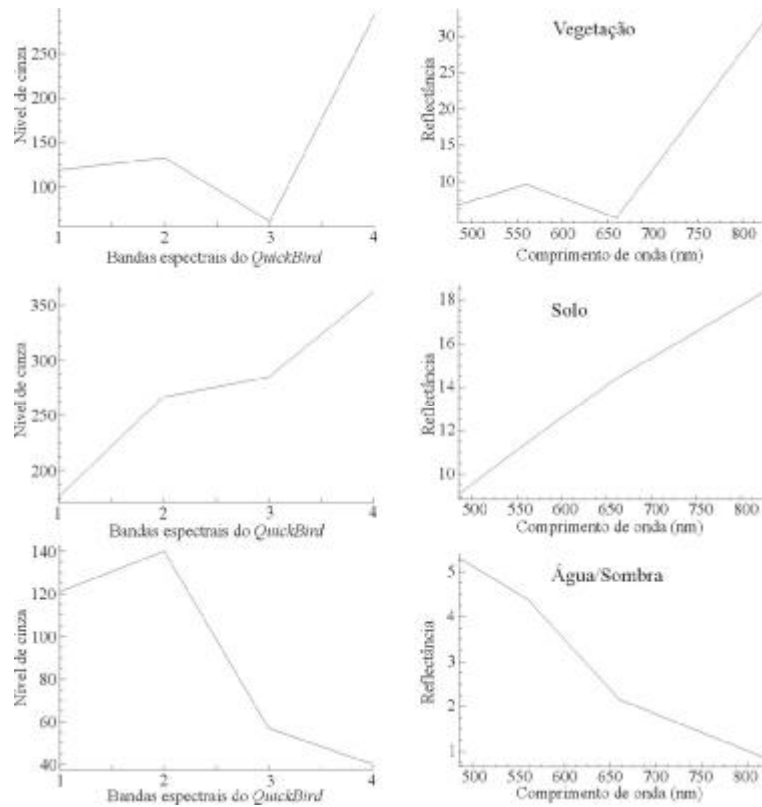


Figura 4.12. Comparação das curvas espectrais, antes e após a correção atmosférica da imagem *QuickBird* da Estação Ecológica de Assis, SP.

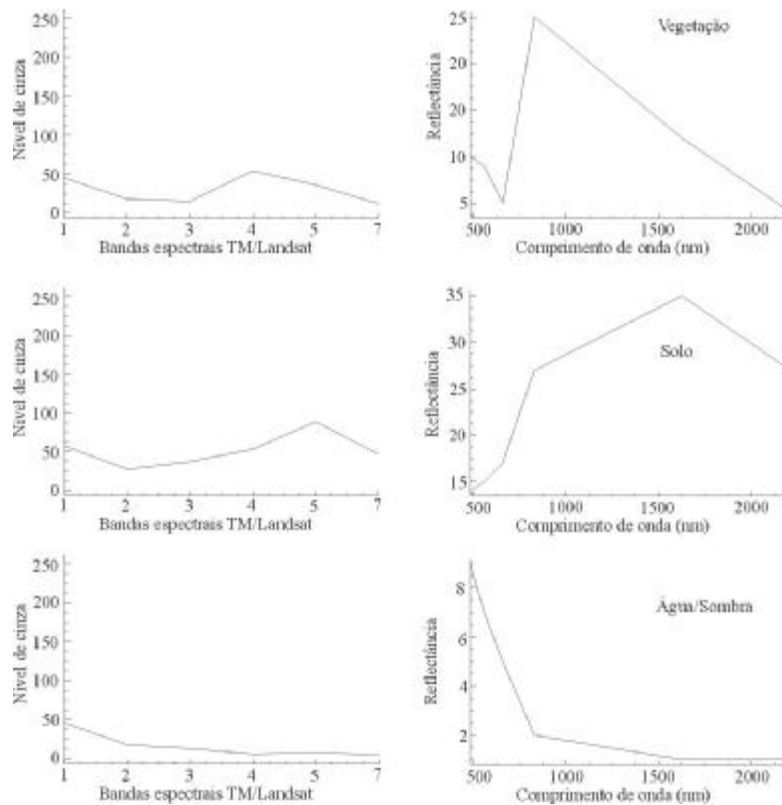


Figura 4.13. Comparação das curvas espectrais, antes e após a correção atmosférica da imagem *TM/Landsat-5* da Estação Ecológica de Assis, SP.

4.3 Estimativa da fitomassa de cerrado com as bandas espectrais

Os dois sensores eletro-ópticos, *QuickBird* e *TM/Landsat-5*, apresentaram correlações fracas a moderadas entre a reflectância das bandas espectrais e a fitomassa aérea das duas fisionomias de cerrado analisadas (Tabelas 4.12 e 4.13)⁴.

Tabela 4.11 – Relações entre fitomassa aérea do cerrado stricto sensu e bandas espectrais dos sensores *QuickBird* e *TM/Landsat-5*, na Estação Ecológica de Assis, SP.

		<i>Cerrado stricto sensu</i>											
		Fitomassa						log Fitomassa					
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r_m</i>	<i>EMQ</i>	<i>p-a</i>	<i>p-b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r_m</i>	<i>EMQ</i>	<i>p-a</i>	<i>p-b</i>
<i>QuickBird</i>	<i>B1</i>	18,51	11,75	-0,243	10,533	0,191	0,275	2,47	9,20	-0,222	0,199	0,066	0,231
	<i>B2</i>	55,67	9,80	-0,183	10,718	0,210	0,388	0,97	10,65	-0,180	0,205	0,036*	0,329
	<i>B3</i>	31,96	9,80	-0,254	10,420	0,069	0,261	1,04	10,60	-0,267	0,195	0,001*	0,183
	<i>B4</i>	-34,72	13,15	0,410	9,946	0,226	0,083	-0,36	12,35	0,472	0,191	0,630	0,038*
<i>TM/Landsat</i>	<i>B1</i>	28,49	11,95	-0,291	10,770	0,142	0,243	0,76	8,85	-0,281	0,197	0,025*	0,181
	<i>B2</i>	19,37	10,65	-0,143	10,540	0,162	0,316	0,40	10,25	-0,172	0,205	0,035*	0,346
	<i>B3</i>	-13,68	10,70	-0,149	10,873	0,183	0,464	1,27	10,15	-0,176	0,209	0,010*	0,369
	<i>B4</i>	-76,17	11,70	0,232	10,298	0,328	0,180	-1,70	9,50	0,294	0,194	0,393	0,051
	<i>B5</i>	41,20	10,00	-0,559	9,221	0,004*	0,021*	1,19	12,20	-0,593	0,168	0,000*	0,010*
	<i>B6</i>	30,92	9,95	-0,508	9,334	0,002*	0,038*	0,97	10,65	-0,567	0,176	0,000*	0,018*
	<i>B7</i>												

Onde, *a* = intercepto; *b* = inclinação da reta; *r_m* = coeficiente de correlação médio estimado pela técnica *Bootstrap* com 10.000 repetições; *EMQ* = Erro médio quadrático; *p-a* = valor-p do intercepto; *p-b* = valor-p da inclinação da reta. Em negrito as melhores correlações. * Significativo a 5% de probabilidade.

⁴ Nos resultados da regressão robusta apresentados nas tabelas deste estudo, os valores do valor-p maiores do que o nível de significância estabelecido ($p > 0,05$) indicam que não há correlação entre as variáveis dependentes (fitomassa ou logaritmo da fitomassa do cerrado) e independentes (dados de sensoriamento remoto).

Tabela 4.12 - Relações entre fitomassa aérea do cerrado e bandas espectrais dos sensores *QuickBird* e *TM/Landsat-5*, na Estação Ecológica de Assis, SP.

		Cerradão											
		Fitomassa						log Fitomassa					
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r_m</i>	<i>EMQ</i>	<i>p-a</i>	<i>p-b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r_m</i>	<i>EMQ</i>	<i>p-a</i>	<i>p-b</i>
<i>QuickBird</i>	<i>B1</i>	-104,60	10,75	0,470	17,292	0,057	0,026*	-0,06	11,85	0,424	0,074	0,567	0,027*
	<i>B2</i>	-8,40	11,95	0,632	14,936	0,017*	0,004*	0,09	10,60	0,601	0,066	0,978	0,005*
	<i>B3</i>	-35,69	12,00	0,599	15,883	0,056	0,009*	0,46	10,35	0,576	0,069	0,250	0,007*
	<i>B4</i>	-0,33	9,80	0,574	15,878	0,260	0,012*	0,74	9,75	0,553	0,072	0,000*	0,015*
<i>TM/Landsat</i>	<i>B1</i>	139,10	10,10	-0,403	19,404	0,047*	0,138	1,80	12,15	-0,381	0,088	0,001*	0,167
	<i>B2</i>	246,29	10,65	-0,231	19,878	0,146	0,471	1,39	11,20	-0,215	0,090	0,000*	0,457
	<i>B3</i>	35,18	11,15	-0,180	19,829	0,183	0,638	1,03	10,30	-0,158	0,090	0,000*	0,603
	<i>B4</i>	-9,96	7,65	0,512	17,230	0,636	0,046*	0,72	10,15	0,493	0,079	0,000*	0,060
	<i>B5</i>	0,16	11,15	0,447	16,807	0,520	0,056	0,69	10,90	0,446	0,076	0,001*	0,063
	<i>B7</i>	20,97	10,25	0,288	18,005	0,389	0,184	0,97	8,90	0,308	0,083	0,000*	0,200

Onde, *a* = intercepto; *b* = inclinação da reta; *r_m* = coeficiente de correlação médio estimado pela técnica *Bootstrap* com 10.000 repetições; *EMQ* = Erro médio quadrático; *p-a* = valor-p do intercepto; *p-b* = valor-p da inclinação da reta. Em negrito as melhores correlações. * Significativo a 5% de probabilidade.

As baixas relações obtidas neste estudo podem estar associadas à grande diversidade florística e arquitetura complexa do cerrado na Estação Ecológica de Assis, à porcentagem de cobertura do solo, à iluminação e sombreamento e ao comportamento espectral das feições imageadas, uma vez que essas características produzem grandes incertezas em estimativas de fitomassa por meio de sensoriamento remoto (FOODY, BOYD; CUTLER, 2003; LU et al., 2004; CLARK et al., 2004). Além disso, a combinação entre estruturas vegetais arbóreas, herbáceas e de gramíneas do cerrado determina fortes variações nos parâmetros biofísicos (ASNER; WARNER 2003).

Pesquisas realizadas em tipologias vegetais homogêneas, essencialmente florestas do hemisfério norte, geralmente apresentam melhores resultados para estimativa de fitomassa com dados de sensores eletro-ópticos. Entretanto, alguns autores sugerem que esses métodos sejam testados em formações vegetais mais heterogêneas (ZHENG et al., 2004; MAURO 2004; ASTOLA et al., 2004; KAYITAKIRE, HAMEL; DEFOURNY, 2006).

Apenas a banda do infravermelho próximo do *QuickBird* apresentou correlação moderada com a fitomassa do cerrado *stricto sensu* (Tabela 4.12). Esta banda também demonstrou correlação moderada com a fitomassa do cerradão, para os dois sensores *QB* e *TM*, porém sendo levemente superior com o *QB* (Tabela 4.13 e Figura 4.14). Este resultado é consistente do ponto de vista do comportamento espectral da vegetação, pois a reflectância é alta nesta faixa, em que as propriedades ópticas das folhas são dominadas principalmente por sua estrutura celular interna (PONZONI, 2001).

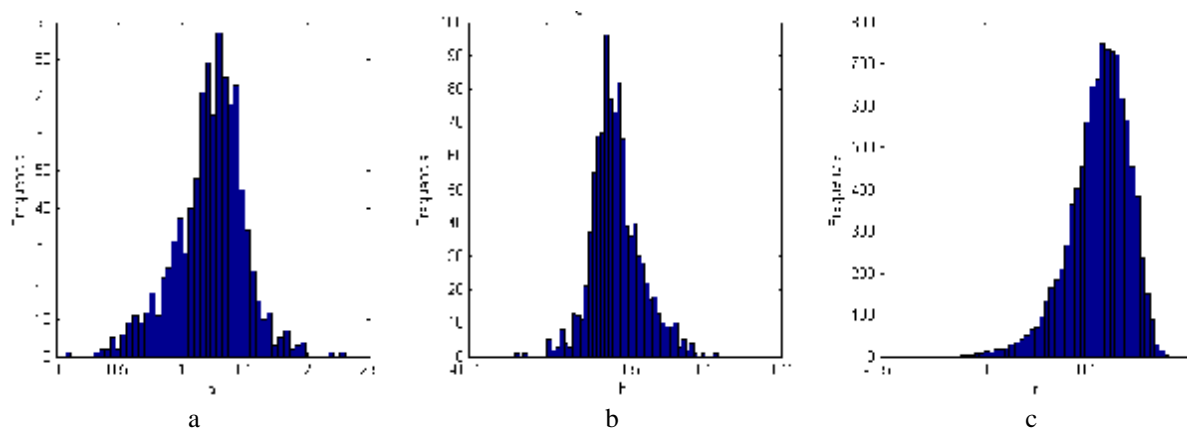


Figura 4.14. a) Resultado da aplicação da técnica *Bootstrap* para estimar os parâmetros: a) intercepto; b) inclinação da reta c) coeficiente de correlação entre o logaritmo da fitomassa do cerradão e a banda 4 do *QuickBird*.

As bandas espectrais do *QB* obtiveram relações estatísticas melhores com a fitomassa do cerradão, quando comparadas com as bandas *TM* (Tabela 4.13). Entretanto, apenas as relações obtidas pela banda 4 do *QB* possuem consistência física. Isso se explica pelo fato de que, na faixa do visível (400 a 700 nm), a reflectância e a transmitância são baixas (Figura 4.2), pois a maior parte da radiação solar é absorvida pelos pigmentos da planta durante a fotossíntese (PONZONI, 2001). Desta forma, seriam esperadas correlações negativas entre a fitomassa e esta faixa do espectro, o que não foi observado para as bandas do *QB*.

A explicação para esta anormalidade pode estar associada, entre outros fatores, à saturação do IAF. O cerrado *stricto sensu* (cerrado típico e cerrado denso) apresentou cobertura arbórea de 46,3% a 70,4%. A cobertura arbórea do cerradão ultrapassou 90% (item

3.2, Capítulo 2). Assim, a maior cobertura arbórea do cerradão determinaria maior IAF e menor reflectância na faixa do visível. Contudo, segundo Ponzoni e Shimabukuro (2007), estas relações não são lineares, podendo ocorrer situações anômalas na reflectância do dossel, conhecidas como pontos de saturação do IAF, em que o aumento do IAF não altera os valores de reflectância.

A análise da altura dos indivíduos arbóreos permitiu constatar que o dossel do cerrado *stricto sensu* é menos rugoso que o dossel do cerradão, com desvios-padrão de 2,10 e 3,02 m, respectivamente. Como a imagem *QB* possui alta resolução espacial, permite retratar com maior fidelidade a rugosidade do dossel do cerradão e, conseqüentemente, há maior variância da reflectância. Além disso, a cobertura arbórea desta fitofisionomia pode estar acima do ponto de saturação do IAF. Estes fatores, associados, podem ter alterado as relações radiométricas entre a cena *QB* e a fitomassa do cerradão. Já para os dados *TM* isto não ocorreu, pois a menor resolução espacial deste sensor e maior mistura (sombra, vegetação) não permitiu captar os pontos de saturação do IAF.

A menor porcentagem de cobertura arbórea no cerrado *stricto sensu*, sobretudo no cerrado típico, influenciou as relações entre a fitomassa e as bandas espectrais dos sensores analisados. A maior exposição do solo aumentou os valores de reflectância, essencialmente na faixa da radiação fotossinteticamente ativa, explicando as fracas correlações entre as bandas do visível e a fitomassa do cerrado *stricto sensu* (Tabela 4.12). Na Estação Ecológica de Assis, os Latossolos vermelhos representam cerca de 93% da área (BOGNOLA et al., 1990), sendo importante destacar que este solo possui alta reflectância da faixa do visível (MOREIRA M., 2005). Novamente, nas imagens *QB* essas influências são mais pronunciadas devido à alta resolução espacial, que possibilita melhor distinção dos objetos na superfície, resultando em *pixels* mais puros. Desta forma, a proporção solo-vegetação é mais bem definida em relação a uma imagem com média resolução espacial, como a *TM*.

Para o sensor *TM*, a banda do infravermelho médio demonstrou correlações moderadas e negativas com o logaritmo da fitomassa do cerrado *stricto sensu* (Tabela 4.12 e Figura 4.15), as quais podem estar associadas ao conteúdo de água nas folhas. Nesta faixa espectral, a reflectância da vegetação diminui, principalmente devido à presença de água líquida (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007). Esta sensibilidade da banda *TM5* também foi identificada por Souza e Ponzoni (1998), ao avaliarem alterações na fitomassa de plantações de *Pinus* spp.

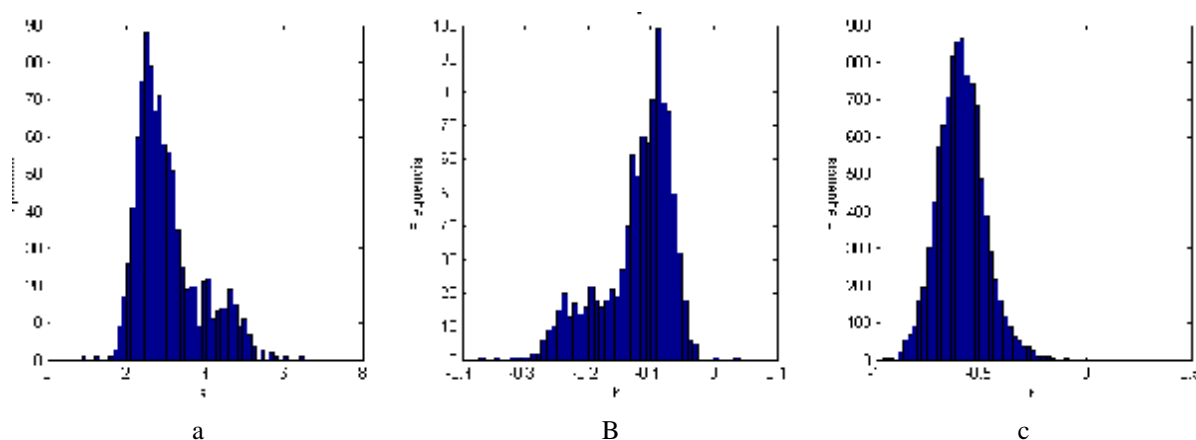


Figura 4.15. Resultado da aplicação da técnica *Bootstrap* para estimar os parâmetros: a) intercepto; b) inclinação da reta; c) coeficiente de correlação entre o logaritmo da fitomassa do cerrado *stricto sensu* e a banda do infravermelho médio do *TM/Landsat-5*.

Alguns estudos têm atribuído à influência das sombras do dossel a redução nos valores de reflectância e, em conseqüência, menores correlações entre a fitomassa e dados de sensoriamento remoto (ARAÚJO 1999; MACIEL et al., 2003; FOODY, BOYD; CUTLER, 2003; LU et al., 2004; MAURO, 2004).

Asner e Warner (2003) estudaram as variações de sombra do dossel, em florestas na Amazônia e Cerrado no Brasil Central, e sua influência em imagens com alta resolução espacial do *Ikonos-II*. As imagens foram transformadas em radiância, o valor de sombra mínimo foi de 0,0 e o máximo de 0,99. Em ambientes florestais, essas imagens apresentam substancial proporção de sombra, com cerca de 30% dos *pixels* possuindo acima de 0,3 de

sombra. No cerrado, há um acréscimo de sombra (0 - 0,16) com o aumento da densidade de cobertura da vegetal.

Segundo os autores, na floresta tropical, imagens multiespectrais, principalmente as bandas do vermelho e infravermelho próximo, são altamente sensíveis à quantidade de sombra do *subpixel*. Para comprimentos de onda nos quais a vegetação absorve efetivamente a energia (vermelho), a cada 10% de aumento na fração de sombra resulta uma diminuição de 3% na reflectância do *pixel*. Esse mesmo acréscimo no sombreamento produz uma redução de 10% na resposta do infravermelho próximo.

Conforme Asner e Warner (2003), imagens do cerrado demonstram expressiva sensibilidade à quantidade de sombra no visível (vermelho). O aumento da densidade de cobertura da vegetação representa um acréscimo de 10% na fração sombra, o que resulta em uma diminuição de 5 a 7% na resposta, na faixa espectral do vermelho.

Os padrões espaciais observados nas sombras de imagens com alta resolução são ricos em informações relacionadas às propriedades estruturais de florestas tropicais e cerrados. Pesquisas com sensoriamento remoto naquelas fisionomias têm ignorado a tridimensionalidade da estrutura da vegetação e o resultado dos efeitos do sombreamento. A compreensão das propriedades básicas e estatísticas de sombreamento é um passo importante para se entenderem os padrões espaciais e temporais das mudanças de uso da terra, ciclo do carbono e hidrologia (ASNER; WARNER, 2003).

Uma importante discussão é o fato das imagens orbitais utilizadas no estudo corresponderem apenas ao período seco, o que se avalia não ter comprometido os resultados obtidos na estimativa de fitomassa aérea do cerrado. Na região de Assis, segundo Faria et al. (2004), as chuvas são concentradas no verão, com invernos mais secos, embora a duração da estação seca na região seja variável entre os anos (Item 2.1 do Capítulo 2). Dados locais compilados, correspondentes a 20 anos, demonstram que o período com excedente hídrico

ocorre de dezembro a março, totalizando 165 mm, em média, e o período mais seco entre abril a setembro, sendo que as deficiências hídricas médias não excedem 20 mm (RODRIGUES et al., 2002). A realização dos trabalhos de campo (23/03/06 a 20/04/06) e de aquisição das imagens orbitais (24/06/06 - *TM* e 04/07/06- *QB*) corresponderam ao final do período úmido até o meio do período seco, sendo importante citar que, segundo Rodrigues et al. (2002) o maior déficit hídrico ocorre normalmente em agosto. Na Figura 4.16 são apresentados dados de precipitação total mensal durante o ano de 2006, dados obtidos a partir da Estação Meteorológica instalada na Floresta Estadual de Assis, SP.

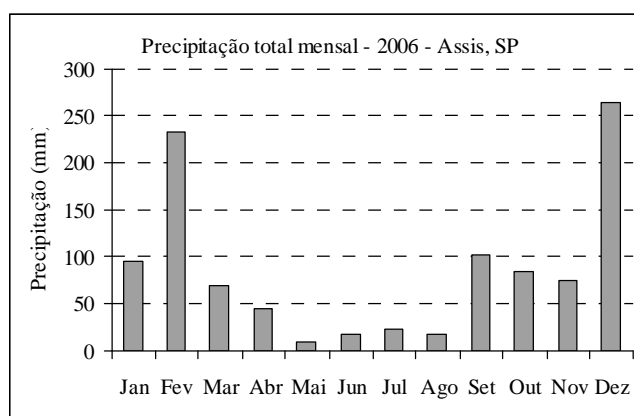


Figura 4.16. Precipitação total mensal em Assis, para o ano de 2006.

Fonte: Estação Meteorológica do Instituto Agrônomo, Assis, SP (22°37'3,5" S; 50°22'36,9" W).

A opção de utilizar imagens do período seco justifica-se pelo fato de que estudos têm descrito que imagens orbitais adquiridas na estação seca apresentam maior capacidade de discriminar a ocorrência e distribuição espacial de fisionomias de cerrado (MESQUITA Jr, 1998; BECERRA; SHIMABUKURO; ALVALÁ, 2007). Além disso, nesta época há maior probabilidade de aquisição de imagens orbitais livres de nuvens.

Santos (1988) verificou ainda que, independentemente da época do ano (período seco ou úmido), a variância dos valores digitais de imagens *TM/Landsat* para o cerrado *stricto sensu* do Brasil Central não ultrapassa, em média, dez pontos percentuais. Os resultados de

sua pesquisa apontam que a banda *TM3*, analisada isoladamente, é superior às demais bandas para estimar a fitomassa foliar do cerrado, não importando o período sazonal.

Para Oliveira (1998), as variações sazonais são características básicas do clima e da vegetação do cerrado, embora tais alterações não afetem igualmente as várias formas de vida e estratos da vegetação. A sazonalidade não limita estritamente a fenologia de espécies lenhosas de cerrado. As plantas com sistemas radiculares profundos mantêm transpiração ativa e parecem ser menos afetadas pela condição de seca, que, todavia, exerce maior influência nas plantas herbáceas com sistemas radiculares menos profundos (OLIVEIRA, 1998). Diversos estudos com dados de sensoriamento remoto também descrevem estas observações.

Mesquita Jr. (1998) avaliou o efeito da sazonalidade em fisionomias de cerrado no Parque Estadual de Vassununga, SP a partir do *NDVI* obtido com imagens *TM/Landsat-5*. Segundo esse estudo, os valores de *NDVI* das fisionomias campestres e savânicas foram mais afetados pela variação sazonal (seco e úmido), enquanto para o cerrado os valores sofreram menor variação. À medida que diminui a participação do componente herbáceo a variação do *NDVI* entre as duas épocas é reduzida.

Ferreira et al. (2005) compararam produtos do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) para analisar a variação sazonal de fisionomias de cerrado em Goiás. As fisionomias campestres apresentaram queda significativa de fitomassa durante a estação seca, devido à predominância de plantas herbáceas, que ou são anuais ou perdem o seu componente fotossintetizante durante a época seca. No campo cerrado observa-se uma variação mais suave entre os períodos seco e úmido, provavelmente devido à maior fitomassa estrutural (ramos e troncos). As fisionomias arbóreas apresentam menor variação sazonal devido à maior presença tanto de fitomassa foliar quanto estrutural ao longo do ano.

Becerra, Shimabukuro e Alvalá (2007) estudaram a relação do padrão sazonal da precipitação com a dinâmica sazonal da vegetação em Tocantins. A partir da análise do *NDVI* e *EVI* gerados pelo MODIS, esses autores verificaram alta atividade fotossintética e fitomassa foliar na estação chuvosa, com diminuição gradual na época seca. No entanto, para as áreas florestais não houve decréscimo do *NDVI* mesmo nos meses de estiagem, devido à maior umidade disponível nos horizontes mais profundos do solo, que é alcançada pelo sistema radicular desenvolvido de algumas espécies e/ou pela proximidade de cursos d'água.

Em sua maior parte, os estudos supracitados foram realizados nos cerrados do Brasil Central, onde a variabilidade sazonal da oferta hídrica é maior do que a observada na área deste estudo. Portanto, espera-se que na região da EECa o período seco seja menos intenso e assim, de forma geral, as variações nos valores de correlação entre fitomassa aérea e dados de sensoriamento remoto, independentemente do período sazonal, não sofrem alterações significativas.

4.4 Estimativa da fitomassa de cerrado com transformações multiespectrais

4.4.1 Índices espectrais de vegetação

De modo geral, foram obtidas melhores correlações entre os índices de vegetação e a fitomassa de cerrado da Estação Ecológica de Assis, em comparação com as bandas espectrais individuais dos sensores. Não obstante, os resultados das relações entre os índices e a fitomassa (cerrado *stricto sensu* e cerradão) ainda foram baixos, independentemente do sensor utilizado para calcular os índices (Tabelas 4.14 e 4.15). É importante destacar que todos os IV apresentaram relações consistentes do ponto de vista físico, uma vez que todas as correlações foram positivas.

Tabela 4.13 - Relações entre fitomassa aérea do cerrado stricto sensu e índices espectrais de vegetação na Estação Ecológica de Assis, SP.

		<i>Cerrado stricto sensu</i>											
		Fitomassa						log Fitomassa					
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r_m</i>	<i>EMQ</i>	<i>p-a</i>	<i>p-b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r_m</i>	<i>EMQ</i>	<i>p-a</i>	<i>p-b</i>
<i>QuickBird</i>	<i>SR</i>	-14,99	9,25	0,443	9,587	0,239	0,059	0,26	10,65	0,515	0,178	0,931	0,026*
	<i>DVI</i>	-5,19	10,40	0,397	9,533	0,261	0,070	0,09	11,05	0,492	0,183	1,000	0,032*
	<i>NDVI</i>	29,99	8,80	0,481	9,361	0,103	0,041*	1,31	10,00	0,545	0,173	0,280	0,017*
	<i>RDVI</i>	-27,30	10,95	0,468	9,338	0,128	0,041*	-0,55	6,40	0,556	0,174	0,437	0,015*
	<i>SAVI¹</i>	89,63	10,80	0,479	9,350	0,418	0,042*	1,77	8,55	0,560	0,174	0,130	0,015*
	<i>SAVI²</i>	23,91	8,05	0,477	9,350	0,135	0,042*	1,29	9,85	0,560	0,174	0,488	0,015*
	<i>SAVI³</i>	-14,92	9,80	0,476	9,350	0,075	0,042*	-0,01	9,45	0,561	0,174	0,101	0,015*
	<i>SAVI₂</i>	70,79	12,10	0,344	9,827	0,276	0,107	1,32	11,05	0,429	0,192	0,756	0,057
	<i>OSAVI</i>	37,75	10,55	0,487	9,351	0,102	0,041*	0,85	7,25	0,549	0,173	0,278	0,017*
	<i>MSAVI₂</i>	-14,81	11,50	0,490	9,328	0,057	0,038*	0,20	12,65	0,555	0,172	0,057	0,016*
	<i>TVI</i>	1,48	10,05	0,200	10,810	0,372	0,257	-0,95	9,85	0,267	0,213	0,477	0,152
	<i>EVI</i>	60,04	8,95	0,440	9,549	0,217	0,061	1,02	9,30	0,532	0,176	0,806	0,021*
<i>TM/Landsat</i>	<i>SR</i>	-14,38	10,05	0,333	8,894	0,164	0,048	-0,12	10,75	0,404	0,176	0,717	0,026
	<i>DVI</i>	-58,78	8,75	0,312	8,334	0,075	0,026*	-0,51	8,60	0,400	0,130	0,044*	0,001*
	<i>NDVI</i>	69,58	8,90	0,320	9,608	0,178	0,095	1,78	9,75	0,394	0,183	0,302	0,042*
	<i>RDVI</i>	-35,65	8,00	0,359	7,959	0,037	0,015*	0,47	11,85	0,451	0,173	0,180	0,016*
	<i>SAVI¹</i>	36,73	10,35	0,321	9,581	0,174	0,093	1,01	9,75	0,397	0,183	0,293	0,040*
	<i>SAVI²</i>	4,58	10,75	0,323	9,581	0,174	0,093	1,34	9,90	0,397	0,183	0,293	0,040*
	<i>SAVI³</i>	22,07	10,15	0,324	9,553	0,169	0,090	0,78	8,45	0,392	0,182	0,284	0,039*
	<i>SAVI₂</i>	-1367,06	10,60	0,334	8,894	0,051	0,048*	-23,26	9,45	0,405	0,176	0,030*	0,026*
	<i>OSAVI</i>	-97,78	9,50	0,154	10,844	0,644	0,409	-1,61	10,25	0,208	0,176	0,038*	0,002*
	<i>MSAVI₂</i>	-1442,4	9,50	0,331	8,894	0,051	0,048*	-2,65	10,95	0,408	0,176	0,030*	0,026*
	<i>TVI</i>	55,63	12,75	0,317	9,674	0,140	0,102	1,48	10,80	0,393	0,184	0,129	0,045*
	<i>EVI</i>	12,55	11,10	0,257	10,075	0,453	0,171	0,67	10,60	0,327	0,197	0,699	0,123

Onde, *a* = intercepto; *b* = inclinação da reta; *r_m* = coeficiente de correlação médio estimado pela técnica *Bootstrap* com 10.000 repetições; *EMQ* = Erro médio quadrático; *p-a* = valor-p do intercepto; *p-b* = valor-p da inclinação da reta; SAVI (¹ = L = 0,25; ² = L = 0,5; ³ = L = 1,0). Em negrito as melhores correlações. (Abreviaturas na Tabela 4.6). * Significativo a 5% de probabilidade.

No cerrado *stricto sensu*, a transformação logarítmica da fitomassa resultou nas melhores correlações e menores *EMQ* com os índices de vegetação SAVI (L = 1; 0,5 e 0,25), *RDVI* e *MSAVI₂*, calculados com as bandas do *QuickBird* (Tabelas 4.14). No entanto, o SAVI

$L = 1$ apresentou o melhor r (0,561) entre os IV citados (Tabela 4.14 e Figura 4.17). Estes IV foram propostos para atenuar os efeitos do solo nas respostas espectrais da vegetação. Em densidades baixas de cobertura vegetal, a curva da vegetação tende a aproximar-se da curva de solo, passando por uma mistura de respostas espectrais para densidades médias e quase nenhuma influência do solo para densidades altas de vegetação (HUETE, 1988; MAJOR; BARET, GUYOT, 1990; RONDEAUX; STEVEN; BARET, 1996).

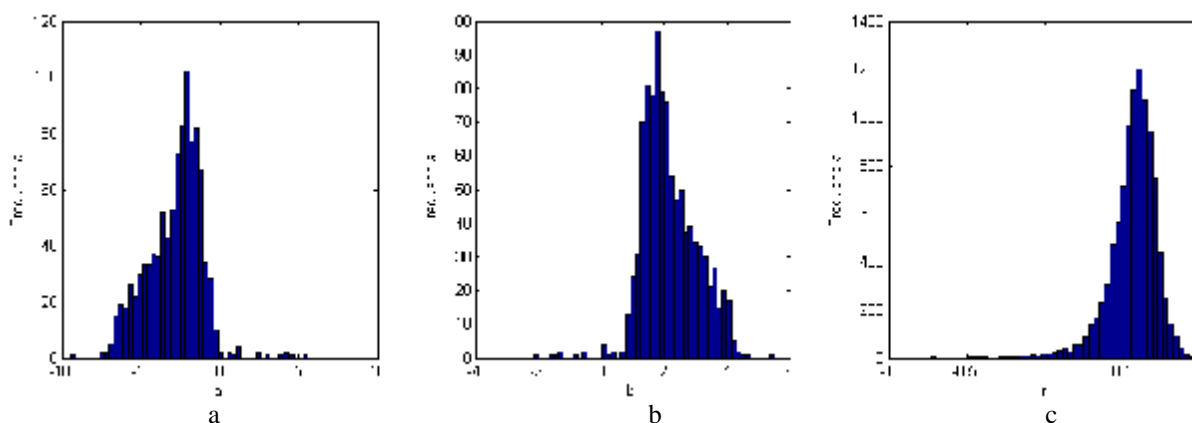


Figura 4.17. Resultado da aplicação da técnica *Bootstrap* para estimar os parâmetros: a) intercepto; b) inclinação da reta c) coeficiente de correlação entre o logarítmo da fitomassa do cerrado *stricto sensu* e o SAVI $L=1,0$ gerado com dados *QuickBird*.

Os IV que consideram os efeitos do solo, calculados com imagens *QB*, resultaram em melhores correlações com a fitomassa do cerrado *stricto sensu*, quando comparados com os mesmos IV calculados com imagens *TM*. Uma explicação para este fato pode estar associada à resolução espacial mais fina do *QB*, a qual permite detalhar pequenas áreas, melhor modelando as distintas respostas espectrais, enquanto a imagem *TM* integra a reflectância de pequenos alvos.

Para estimar a fitomassa do cerradão obteve-se a melhor correlação com o *TVI* gerado a partir de bandas espectrais do *QuickBird* (Tabela 4.15 e Figura 4.18). Pesquisa realizada por Santos (1988) apresentou melhores resultados para estimar a fitomassa foliar do cerrado *stricto sensu* com o *TVI* calculado com dados *TM/Landsat*.

Tabela 4.14 - Relações entre fitomassa aérea do cerradão e índices espectrais de vegetação na Estação Ecológica de Assis, SP.

		Cerradão											
		Fitomassa						log Fitomassa					
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r_m</i>	<i>EMQ</i>	<i>p-a</i>	<i>p-b</i>	<i>a</i>	<i>B</i>	<i>r_m</i>	<i>EMQ</i>	<i>p-a</i>	<i>p-b</i>
QuickBird	<i>SR</i>	4,01	10,40	0,277	18,633	0,837	0,222	0,84	10,10	0,257	0,085	0,002*	0,259
	<i>DVI</i>	-8,51	12,45	0,542	16,288	0,478	0,020*	0,66	9,10	0,522	0,074	0,000*	0,026*
	<i>NDVI</i>	-9,32	11,35	0,276	18,881	0,433	0,241	1,07	11,75	0,258	0,086	0,496	0,270
	<i>RDVI</i>	-7,97	10,50	0,496	16,795	0,231	0,032*	0,75	9,70	0,478	0,076	0,017*	0,040*
	<i>SAVI¹</i>	117,74	11,25	0,481	16,976	0,692	0,038*	1,51	9,10	0,460	0,077	0,000*	0,047*
	<i>SAVI²</i>	84,80	12,60	0,481	16,976	0,207	0,038*	1,10	9,05	0,461	0,077	0,059	0,047*
	<i>SAVI³</i>	-54,43	10,80	0,484	16,976	0,093	0,038*	0,46	10,60	0,463	0,077	0,964	0,047*
	<i>SAVI₂</i>	94,38	12,50	0,559	16,112	0,278	0,016*	1,64	9,00	0,535	0,073	0,000*	0,019*
	<i>OSAVI</i>	147,66	9,95	0,288	18,807	0,416	0,226	1,18	9,20	0,266	0,085	0,496	0,254
	<i>MSAVI₂</i>	-88,92	10,85	0,288	18,837	0,292	0,229	0,49	9,90	0,270	0,085	0,651	0,255
	<i>TVI</i>	-122,78	10,00	0,592	15,574	0,036*	0,008*	0,53	9,85	0,570	0,070	0,709	0,010*
	<i>EVI</i>	183,52	11,50	0,521	16,513	0,338	0,024*	1,80	10,20	0,498	0,075	0,000*	0,031*
	TM/Landsat	<i>SR</i>	26,06	10,25	0,531	17,445	0,587	0,025*	0,87	8,70	0,501	0,078	0,000*
<i>DVI</i>		15,33	9,60	0,538	17,065	0,893	0,032*	0,73	10,95	0,512	0,077	0,000*	0,037*
<i>NDVI</i>		91,59	11,35	0,516	17,843	0,201	0,037*	1,14	10,30	0,483	0,079	0,052	0,046*
<i>RDVI</i>		3,40	11,55	0,543	16,899	0,366	0,023*	0,88	11,85	0,517	0,077	0,000*	0,031*
<i>SAVI¹</i>		69,97	12,10	0,518	17,813	0,201	0,036*	1,09	11,00	0,483	0,079	0,048*	0,045*
<i>SAVI²</i>		72,18	14,30	0,517	17,813	0,201	0,036*	1,10	9,80	0,483	0,079	0,048*	0,045*
<i>SAVI³</i>		65,95	9,50	0,519	17,784	0,201	0,035*	1,04	10,10	0,486	0,079	0,045*	0,045*
<i>SAVI₂</i>		-2005,14	11,15	0,534	17,445	0,029*	0,025*	-2,13	7,30	0,501	0,078	0,065	0,034*
<i>OSAVI</i>		-11,00	10,10	0,473	17,095	0,507	0,053	0,77	7,50	0,458	0,078	0,001*	0,064
<i>MSAVI₂</i>		-1074,11	9,40	0,531	17,445	0,029*	0,025*	-3,93	12,25	0,500	0,078	0,065	0,034*
<i>TVI</i>		152,82	11,00	0,514	17,887	0,096	0,039*	1,44	9,10	0,481	0,079	0,985	0,049*
<i>EVI</i>		45,73	10,65	0,448	18,844	0,718	0,089	0,98	10,20	0,416	0,083	0,000*	0,101

Onde, *a* = intercepto; *b* = inclinação da reta; *r_m* = coeficiente de correlação médio estimado pela técnica *Bootstrap* com 10.000 repetições; *EMQ* = Erro médio quadrático; *p-a* = valor-p do intercepto; *p-b* = valor-p da inclinação da reta; SAVI: ¹ = L = 0,25; ² = L = 0,5; ³ = L = 1,0. Em negrito as melhores correlações. (Abreviaturas na Tabela 4.6). * Significativo a 5% de probabilidade.

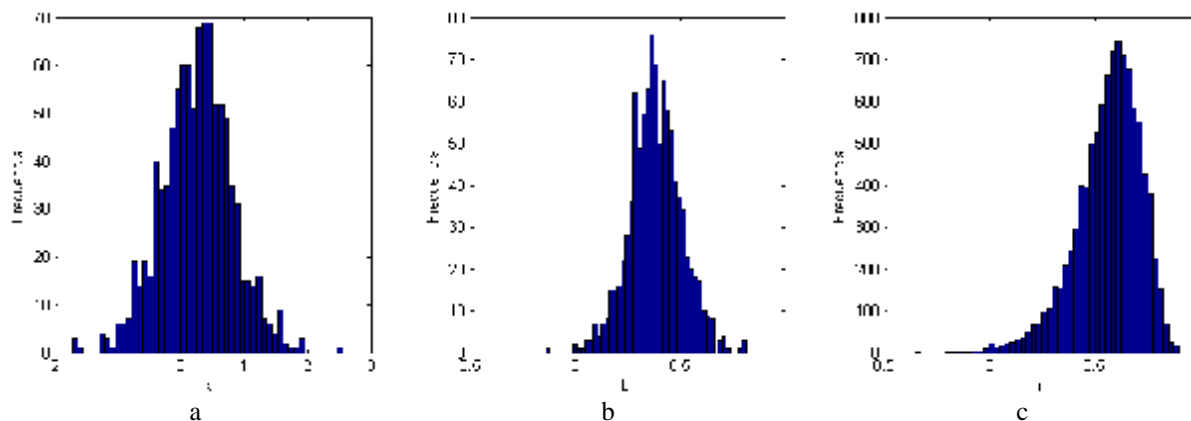


Figura 4.18. Resultado da aplicação da técnica *Bootstrap* para estimar os parâmetros a) intercepto; b) inclinação da reta; c) coeficiente de correlação entre o logaritmo da fitomassa do cerrado *TVI* gerado com dados *QuickBird*.

Apesar do *NDVI* ser um índice de vegetação amplamente utilizado em estudos de sensoriamento remoto, quando calculado com dados *QB* apresentou correlações moderadas com a fitomassa do cerrado *stricto sensu* e fracas ou não significativas com o cerrado ($p > 0,05$) (Tabelas 4.14 e 4.15). Este índice, quando gerado a partir de dados *TM*, resultou em correlações fracas ou não significativas com a fitomassa do cerrado *stricto sensu* e do cerrado (Tabelas 4.14 e 4.15). As diferenças entre as resoluções espaciais dos sensores podem ter determinado estes resultados. Avalia-se que, embora o *NDVI* não considere a influência do solo em seu cálculo, quando obtido com dados *QB*, os quais geram *pixels* mais puros espectralmente, modela de forma mais adequada as feições solo e vegetação no cerrado *stricto sensu*. Além disso, o maior sombreamento no cerrado, mais acentuado na imagem *QB*, também influenciou negativamente as correlações.

Aparentemente, a influência da sombra das copas das árvores, descrita anteriormente, influenciou também os valores dos índices de vegetação. Segundo Asner e Warner (2003), em imagens *Ikonos-II* do cerrado, as sombras exerceram um controle maior sobre a resposta espectral do vermelho em relação ao infravermelho próximo: cerca de 15 a 50% das respostas de vermelho, dependendo da densidade de plantas lenhosas na paisagem. Como os índices de vegetação utilizam essas bandas espectrais, também foram afetados.

Imagens com alta resolução espacial possuem maior influência das sombras do dossel do que imagens com média resolução (WULDER, 1998). Normalmente, imagens com alta resolução possuem *pixels* menores que a copa de uma árvore. Em outras palavras, os objetos de interesse são maiores do que a resolução espacial e então, devido à arquitetura da vegetação, surgem sombras na imagem. Quando o *pixel* é maior do que as copas das árvores, como, por exemplo, em imagens geradas por sensores com média resolução espacial, as imagens resultantes possuem *pixels* que são a mistura integrada de solo, sombra e vegetação, reduzindo a influência da sombra (WULDER et al., 2004).

4.4.2 Componentes principais

As análises por componentes principais resultaram em quatro novas imagens *QB* e seis novas *TM*. As duas primeiras CP resumiram 96,72% e 94,90% da variância dos dados *QB* e *TM*, respectivamente (Tabela 4.16). O APÊNDICE I apresenta em detalhe os resultados das análises por componentes principais da imagens *QB* e *TM*.

Tabela 4.15 - Autovalores e porcentagem da variação associada a cada componente principal, calculados com os dados das imagens QuickBird e TM/Landsat-5, do cerrado na Estação Ecológica de Assis, SP.

	<i>QuickBird</i>		<i>TM/Landsat-5</i>	
	Autovalor	%	Autovalor	%
CP ₁	8228,12	77,6	34613,73	85,53
CP ₂	1941,46	18,33	4300,32	10,63
CP ₃	345,24	3,26	828,14	2,05
CP ₄	78,42	0,74	454,83	1,12
CP ₅	-	-	158,24	0,39
CP ₆	-	-	116,20	0,29

A transformação logarítmica da fitomassa do cerrado *stricto sensu* apresentou as melhores relações com as componentes principais, as quais foram moderadas com a CP₂ das imagens *QB* ($r = -0,59$), e com a CP₂ do *TM* ($r = 0,69$) (Tabela 4.17 e Figura 4.19).

Tabela 4.16 - Relações entre fitomassa aérea do cerrado *stricto sensu* e componentes principais das imagens QuickBird ou TM/Landsat-5, na Estação Ecológica de Assis, SP.

		Cerrado <i>stricto sensu</i>											
		Fitomassa						log Fitomassa					
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r_m</i>	<i>EMQ</i>	<i>p-a</i>	<i>p-b</i>	<i>A</i>	<i>b</i>	<i>r_m</i>	<i>EMQ</i>	<i>p-a</i>	<i>p-b</i>
<i>QuickBird</i>	<i>CP₁</i>	15,76	10,70	0,199	10,839	0,537	0,266	-0,12	10,20	0,266	0,213	0,900	0,165
	<i>CP₂</i>	55,11	11,15	-0,499	8,852	0,005*	0,021*	1,51	13,30	-0,585	0,166	0,000*	0,008*
	<i>CP₃</i>	-57,74	8,00	0,310	7,841	0,018*	0,005*	-0,12	12,20	0,357	0,173	0,331	0,014*
	<i>CP₄</i>	22,61	11,85	-0,247	10,781	0,129	0,364	0,92	10,35	-0,262	0,206	0,007*	0,331
<i>TM/Landsat</i>	<i>CP₁</i>	55,03	11,50	-0,315	10,385	0,157	0,225	3,53	11,00	-0,321	0,201	0,058	0,192
	<i>CP₂</i>	-106,17	9,75	0,594	7,787	0,016*	0,006*	-0,75	9,40	0,686	0,155	0,036*	0,002*
	<i>CP₃</i>	0,68	9,85	0,327	10,883	0,710	0,203	1,18	10,10	0,329	0,204	0,136	0,192
	<i>CP₄</i>	22,99	10,20	-0,413	9,657	0,006*	0,048*	1,13	9,15	-0,446	0,183	0,000*	0,031*
	<i>CP₅</i>	-33,82	11,30	0,269	10,369	0,904	0,274	0,56	10,05	0,276	0,206	0,086	0,277
	<i>CP₆</i>	15,46	10,65	-0,090	10,173	0,011*	0,229	0,93	8,80	-0,133	0,215	0,000*	0,425

Onde, *a* = intercepto; *b* = inclinação da reta; *r_m* = coeficiente de correlação médio estimado pela técnica *Bootstrap* com 10.000 repetições; *EMQ* = Erro médio quadrático; *p-a* = valor-p do intercepto; *p-b* = valor-p da inclinação da reta; *CP* = componente principal. Em negrito as melhores correlações. * Significativo a 5% de probabilidade.

A correlação maior com a CP₂ do *TM* pode estar associada a alguns fatores, a saber: a CP₂ possui menos contraste entre os alvos, devido à ausência de sombreamento (CRÓSTA, 1999). A imagem *TM* também possui menos influência da sombra do que a *QB*, desta forma demonstrando melhor relação com a fitomassa do cerrado *stricto sensu*. A CP₂ também resume as informações de todas as bandas espectrais do *TM*, inclusive as bandas *TM5* e *TM7*, as quais apresentaram melhor relação com a fitomassa (Tabelas 4.12 e 4.17). Além disso, a maior homogeneidade das copas do cerrado *stricto sensu* permite melhores relações entre fitomassa e CP, pois a menor rugosidade também reduz o sombreamento.

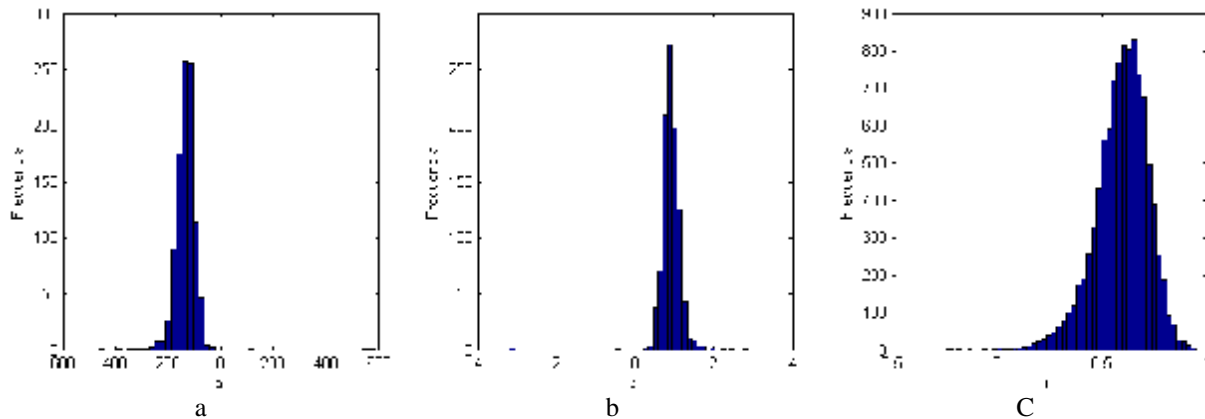


Figura 4.19. Resultado da aplicação da técnica *Bootstrap* para estimar os parâmetros a) intercepto; b) inclinação da reta; c) coeficiente de correlação entre o logaritmo da fitomassa do cerrado *stricto sensu* e segunda componente principal obtida com os dados *TM/Landsat-5*.

Para estimar a fitomassa do cerradão, a melhor correlação foi obtida com a CP_1 do *QB* (Tabela 4.18 e Figura 4.20). A CP_1 contém a maior parte da variância das bandas espectrais (Tabela 4.16). Esta imagem resume a informação de brilho associada às sombras de topografia e reflectância geral das imagens (CRÓSTA, 1999). Deste modo, a CP_1 contém informações importantes para estimar a fitomassa, pois concentra as variâncias das bandas do verde, vermelho e infravermelho próximo, as quais apresentaram correlações moderadas com a fitomassa do cerradão.

As correlações moderadas obtidas entre a fitomassa do cerradão e as CP_3 e CP_4 geradas a partir de dados *TM* podem ser consideradas como ao acaso, já que estas CP concentram pouca informação das bandas originais (Tabela 4.18).

Tabela 4.17 - Relações entre fitomassa aérea do cerradão e componentes principais das imagens QuickBird ou TM/Landsat-5, na Estação Ecológica de Assis, SP.

		Cerradão											
		Fitomassa						log Fitomassa					
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r_m</i>	<i>EMQ</i>	<i>p-a</i>	<i>p-b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r_m</i>	<i>EMQ</i>	<i>p-a</i>	<i>p-b</i>
QuickBird	<i>CP₁</i>	-27,94	10,40	0,601	15,477	0,181	0,008*	0,53	10,05	0,574	0,070	0,000*	0,010*
	<i>CP₂</i>	101,18	11,75	-0,437	17,352	0,003*	0,063	2,05	11,45	-0,424	0,080	0,000*	0,080
	<i>CP₃</i>	-14,79	10,25	0,343	18,638	0,949	0,178	0,88	8,50	0,347	0,086	0,000*	0,194
	<i>CP₄</i>	20,96	12,05	0,050	19,172	0,696	0,550	1,21	10,40	0,058	0,088	0,001*	0,640
TM/Landsat	<i>CP₁</i>	-126,04	7,95	0,471	16,383	0,133	0,040*	0,14	12,75	0,465	0,075	0,485	0,049*
	<i>CP₂</i>	-69,48	10,95	0,427	18,150	0,340	0,089	0,42	9,60	0,397	0,082	0,062	0,113
	<i>CP₃</i>	78,82	9,35	-0,599	16,187	0,000*	0,013*	1,19	10,75	-0,575	0,073	0,000*	0,017*
	<i>CP₄</i>	146,71	10,20	-0,568	16,444	0,000*	0,024*	1,16	9,40	-0,557	0,076	0,000*	0,034*
	<i>CP₅</i>	14,69	10,90	0,279	19,456	0,388	0,319	0,77	9,90	0,259	0,088	0,000*	0,352
	<i>CP₆</i>	18,73	11,60	0,009	19,769	0,001*	0,982	0,87	10,75	0,022	0,089	0,000*	0,983

Onde, *a* = intercepto; *b* = inclinação da reta; *r_m* = coeficiente de correlação médio estimado pela técnica *Bootstrap* com 10.000 repetições; *EMQ* = Erro médio quadrático; *p-a* = valor-p do intercepto; *p-b* = valor-p da inclinação da reta; *CP* = componente principal. Em negrito as melhores correlações. * Significativo a 5% de probabilidade.

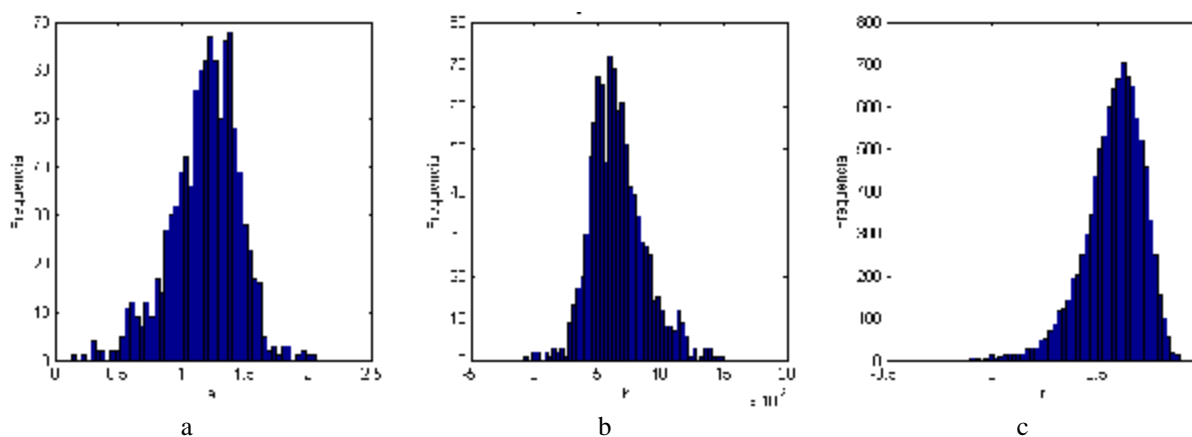


Figura 4.20. Resultado da aplicação da técnica *Bootstrap* para estimar os parâmetros: a) intercepto; b) inclinação da reta; c) coeficiente de correlação entre o logaritmo da fitomassa do cerradão e a primeira componente principal calculada com dados *QuickBird*.

Discussões mais aprofundadas e comparações desses resultados são um tanto quanto difíceis, em consequência da carência de literatura sobre análises de CP para estimar a fitomassa do cerrado, visto que os poucos estudos realizados tratam de florestas.

Lu et al. (2004) testaram a análise de componentes principais para relacionar dados *TM* com fitomassa de três áreas de floresta na Amazônia, com distintos graus de alterações. As melhores correlações foram encontradas com a CP_1 , pois, segundo os autores, esta componente resume dados das bandas *TM4* e *TM5*, as quais são adequadas para este propósito. Os autores mencionam também que as melhores correlações são encontradas em formações com maior homogeneidade do dossel.

4.4.3 Modelo Linear de Mistura Espectral

As curvas de reflectância dos *pixels* puros selecionados para gerar as imagens fração (vegetação, solo e sombra) a partir dos dados *QB* e *TM*, respectivamente (Figuras 4.21 e 4.22) demonstram que os MLME foram adequados, pois os alvos apresentam comportamentos espectrais típicos daqueles encontrados na literatura.

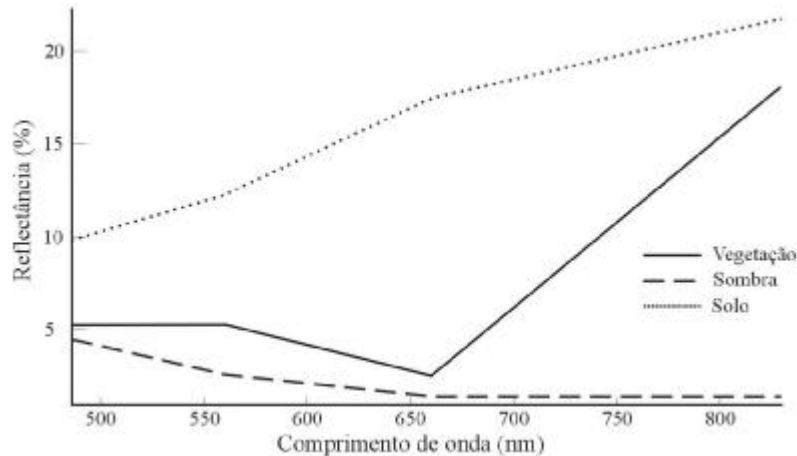


Figura 4.21. Valores de reflectância dos componentes puros (vegetação, solo e sombra), gerados com dados *QuickBird* a partir do modelo linear de mistura espectral, Estação Ecológica de Assis, SP.

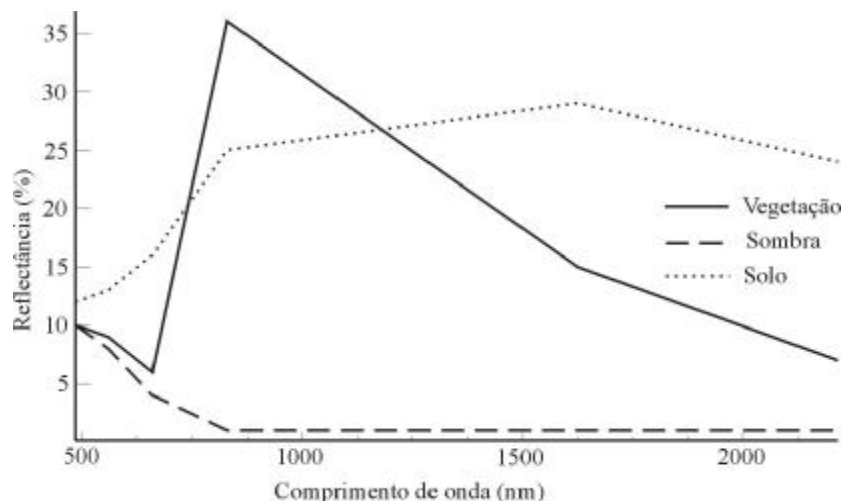
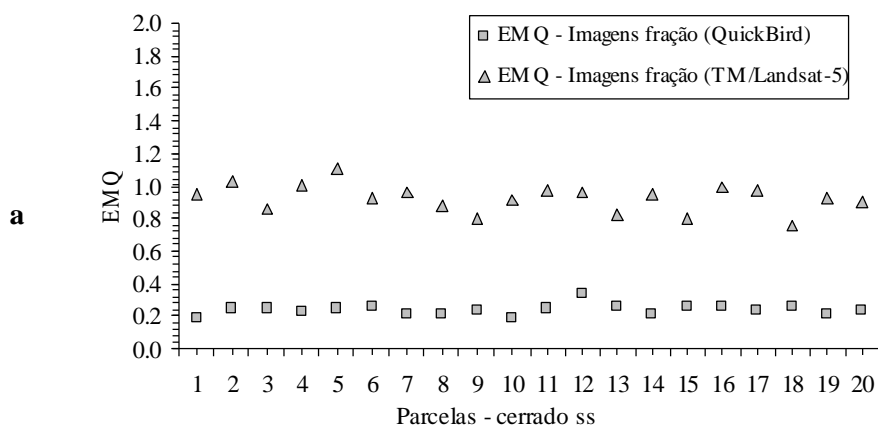


Figura 4.22. Valores de reflectância dos componentes puros (vegetação, solo e sombra), gerados com dados *TM/Landsat-5* a partir do modelo linear de mistura espectral, Estação Ecológica de Assis, SP.

O *EMQ* foi de 0,32 para o MLME gerado com as imagens *QuickBird* e de 0,89 para o MLME calculado com as imagens *TM*. Atribui-se esta diferença de erros à dificuldade em selecionar um *pixel* realmente puro na imagem *TM*. Esses resultados são satisfatórios, pois, de acordo com Smith et al. (1990), o *EMQ* não deve exceder a dois níveis de cinza. A imagem *EMQ* permitiu analisar a distribuição dos erros em cada uma das parcelas de amostragem na EEcA (Figura 4.23).



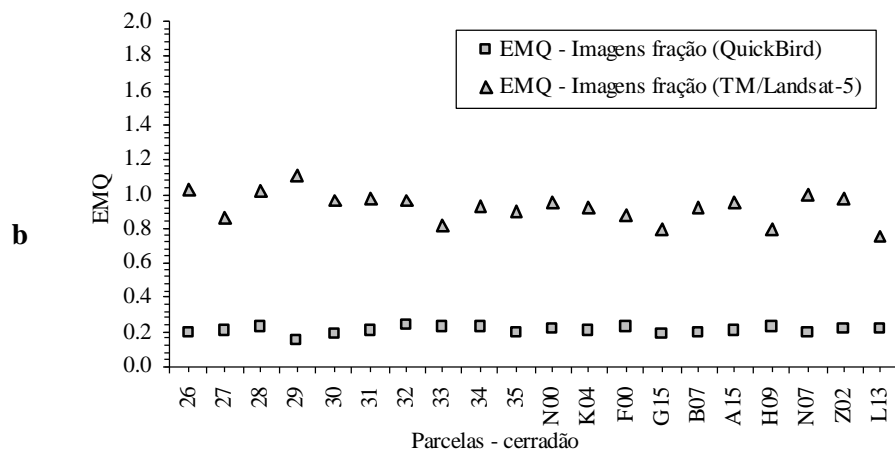


Figura 4.23. Distribuição do erro médio quadrático do modelo linear de mistura espectral, por parcela da vegetação de cerrado na Estação Ecológica de Assis, SP. a) parcelas do cerrado *stricto sensu*; b) parcelas do cerrado.

Nas imagens fração geradas pelo MLME, os tons claros de cinza representam o realce de cada componente: vegetação, solo e sombra (Figura 4.24). A imagem fração da vegetação destacou a área da EEcA, uma vez que esta unidade de conservação representa um grande maciço de vegetação na região de Assis (Figura 4.24). É importante observar, na imagem fração da sombra, os tons médios e claros de cinza, os quais demonstram uma grande influência dessa componente nas formações vegetais da EEcA (Figura 4.24).

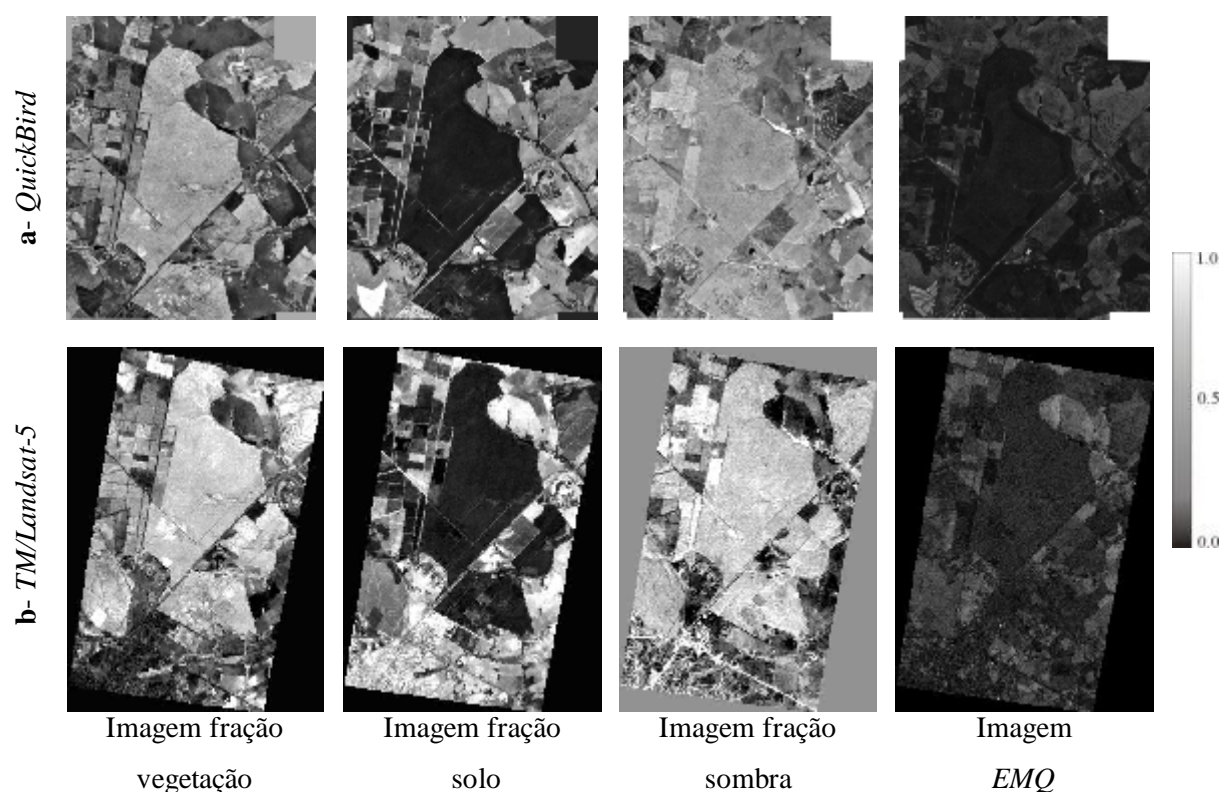


Figura 4.24. Imagens fração (vegetação, solo, sombra e erro) geradas a partir do modelo linear de mistura espectral aplicado aos dados *QuickBird* e *TM/Landsat-5*, da Estação Ecológica de Assis, SP.

A análise das imagens fração da sombra em cada parcela estabelecida na EECa permitiram confirmar o descrito na literatura (WULDER 1998; ASNER; WANER, 2003; WULDER et al., 2004), de que imagens com alta resolução espacial são mais influenciadas pela sombra (Figuras 4.24 e 4.25).

Nas duas fisionomias de cerrado estudadas, a imagem fração da sombra gerada pelo MLME/QB resultou em média dos *pixels* superior à mesma imagem elaborada com dados *TM* (Tabelas 4.19 e 4.20). No entanto, independentemente do sensor utilizado, a diferença entre as médias da imagem fração da sombra do cerrado *stricto sensu* e cerradão foi pequena (Tabelas 4.19, 4.20 e Figura 4.25), podendo ser explicada pela presença do cerrado denso.

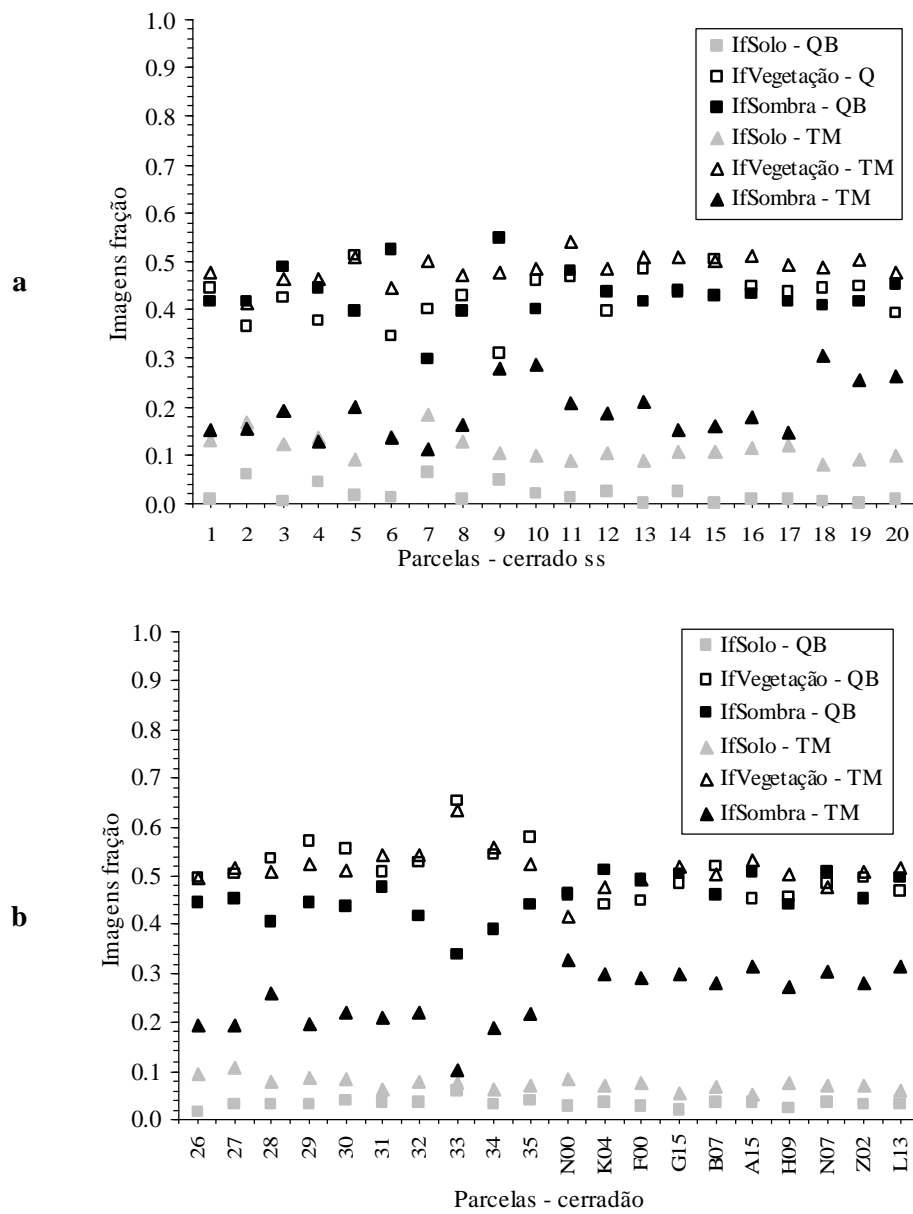


Figura 4.25. Valores médios das imagens fração (vegetação, solo e sombra) geradas pelo modelo linear de mistura espectral por parcela de cerrado na Estação Ecológica de Assis, SP. a) parcelas do cerrado *stricto sensu*; b) parcelas do cerradão. Onde: *If*: Imagem fração.

Tabela 4.18 - Estatística descritiva do modelo linear de mistura espectral aplicado aos dados QuickBird e TM/Landsat-5 para as parcelas de cerrado stricto sensu na Estação Ecológica de Assis, SP.

	<i>QuickBird</i> – Imagens fração			<i>TM/Landsat-5</i> – Imagens fração		
	solo	vegetação	sombra	solo	vegetação	sombra
Média	0,018	0,426	0,433	0,115	0,485	0,193
Desvio padrão	0,020	0,052	0,052	0,026	0,027	0,057
Mínimo	0,001	0,309	0,300	0,079	0,413	0,109
Máximo	0,065	0,513	0,549	0,181	0,539	0,304

Tabela 4.19 - Estatística descritiva do modelo linear de mistura espectral aplicado aos dados QuickBird e TM/Landsat-5 para as parcelas de cerradão na Estação Ecológica de Assis, SP.

	<i>QuickBird</i> – Imagens fração			<i>TM/Landsat-5</i> – Imagens fração		
	solo	vegetação	sombra	solo	vegetação	sombra
Média	0,033	0,509	0,454	0,073	0,515	0,249
Desvio padrão	0,008	0,053	0,044	0,013	0,041	0,059
Mínimo	0,017	0,442	0,338	0,049	0,418	0,103
Máximo	0,057	0,654	0,511	0,105	0,635	0,326

A imagem fração do solo obtida com o MLME/*TM* demonstrou a melhor correlação ($r = -0,65$ e $EMQ = 0,166 \text{ Mg.ha}^{-1}$) com o logaritmo da fitomassa do cerrado *stricto sensu* (Tabela 4.21). Esta correlação negativa representa uma alta consistência do ponto de vista das relações físicas entre fitomassa e dados espectrais, principalmente para o cerrado *stricto sensu*, que possui maior influência do solo.

Para estimar a fitomassa aérea do cerradão, o modelo linear de mistura espectral não obteve resultados superiores aos encontrados pelos índices de vegetação ou componentes principais, independentemente do sensor utilizado para gerar o MLME (Tabelas 4.15, 4.18 e 4.22).

Tabela 4.20 - Relações entre fitomassa aérea do cerrado stricto sensu e imagens fração geradas com o modelo linear de mistura espectral, aplicado aos dados QuickBird e TM/Landsat-5, na Estação Ecológica de Assis, SP.

		Cerrado stricto sensu											
		Fitomassa						log Fitomassa					
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r_m</i>	<i>EMQ</i>	<i>p-a</i>	<i>p-b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r_m</i>	<i>EMQ</i>	<i>p-a</i>	<i>p-b</i>
QuickBird	<i>IfSl</i>	-61,99	10,80	-0,387	10,308	0,000*	0,126	-0,59	11,50	-0,425	0,183	0,000*	0,055
	<i>IfV</i>	34,27	9,20	0,491	8,240	0,158	0,010*	1,05	11,45	0,579	0,160	0,284	0,005*
	<i>IfSo</i>	-5,97	9,35	-0,060	11,103	0,188	0,763	0,59	8,15	-0,121	0,216	0,002*	0,604
TM/Landsat	<i>IfSl</i>	-147,31	10,90	-0,586	8,762	0,000*	0,013*	-1,39	11,10	-0,650	0,166	0,000*	0,005*
	<i>IfV</i>	46,35	8,40	0,480	7,234	0,034*	0,008*	2,07	9,70	0,573	0,161	0,224	0,004*
	<i>IfSo</i>	37,58	9,75	0,327	10,526	0,208	0,173	1,07	13,10	0,354	0,209	0,000*	0,159

Onde, *a* = intercepto; *b* = inclinação da reta; *r_m* = coeficiente de correlação médio estimado pela técnica *Bootstrap* com 10.000 repetições; *EMQ* = Erro médio quadrático; *p-a* = valor-p do intercepto; *p-b* = valor-p da inclinação da reta; *IfSl*: imagem fração solo; *IfV*: imagem fração vegetação; *IfSo*: imagem fração sombra; Em negrito as melhores correlações. * Significativo a 5% de probabilidade.

Embora as imagens fração da sombra geradas a partir do MLME/QB ou MLME/TM tenham apresentado correlações moderadas e negativas com a fitomassa do cerradão (Tabela 4.22), avalia-se que as correlações negativas não possuem consistência física do ponto de vista do comportamento espectral da vegetação. Estes resultados também divergem daqueles obtidos em outras pesquisas. Araújo (1999) encontrou correlação moderada e positiva entre fitomassa de savanas e imagem fração sombra ($r = 0,48$). Nessa pesquisa a autora também identificou uma correlação forte e positiva entre essa imagem e a fitomassa florestal ($r = 0,88$). Maciel et al. (2003) obtiveram correlação de 0,84 entre a fitomassa de uma floresta primária na Amazônia e a imagem fração sombra.

Tabela 4.21 - Relações entre fitomassa aérea do cerrado e imagens fração, geradas com o modelo linear de mistura espectral, aplicado aos dados QuickBird e TM/Landsat-5, na Estação Ecológica de Assis, SP.

		Cerradão											
		Fitomassa						log Fitomassa					
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r_m</i>	<i>EMQ</i>	<i>p-a</i>	<i>p-b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r_m</i>	<i>EMQ</i>	<i>p-a</i>	<i>p-b</i>
QuickBird	<i>IfSl</i>	193,02	9,05	0,079	19,655	0,000*	0,640	-1,25	13,10	0,065	0,089	0,000*	0,683
	<i>IfV</i>	74,87	10,30	0,455	17,261	0,630	0,054	1,25	10,60	0,442	0,079	0,000*	0,067
	<i>IfSo</i>	-4,76	9,55	-0,640	14,606	0,000*	0,003*	0,62	11,75	-0,607	0,065	0,000*	0,004*
TM/Landsat	<i>IfSl</i>	66,56	12,60	0,085	19,126	0,004*	0,572	1,45	8,75	0,110	0,087	0,000*	0,587
	<i>IfV</i>	89,86	12,10	0,494	17,451	0,866	0,048*	1,24	9,75	0,468	0,079	0,000*	0,064
	<i>IfSo</i>	-4,59	9,85	-0,606	15,762	0,000*	0,012*	0,51	11,55	-0,591	0,071	0,000*	0,015*

Onde, *a* = intercepto; *b* = inclinação da reta; *r_m* = coeficiente de correlação médio estimado pela técnica *Bootstrap* com 10.000 repetições; *EMQ* = Erro médio quadrático; *p-a* = valor-p do intercepto; *p-b* = valor-p da inclinação da reta; *IfSl*: imagem fração solo; *IfV*: imagem fração vegetação; *IfSo*: imagem fração sombra; Em negrito as melhores correlações. * Significativo a 5% de probabilidade.

Na tentativa de explicar as correlações negativas obtidas entre a imagem fração sombra e a fitomassa do cerrado, é importante destacar dois aspectos relativos a esta fitofisionomia. O primeiro trata-se da saturação de seu IAF, descrito anteriormente. O segundo está associado ao processo histórico de evolução do cerrado na Estação Ecológica de Assis (Capítulo 2 deste estudo).

A vegetação da unidade de conservação vem sofrendo um importante processo de regeneração, sendo que nos 44 anos analisados observou-se notável expansão das áreas de cerrado. Na EEcA, esta fitofisionomia representa um tipo de vegetação ecotonal entre o cerrado típico e a floresta estacional semidecidual, que está se expandindo sobre fisionomias abertas de cerrado, evoluindo estruturalmente para menor densidade e maior fitomassa, com tendência à diminuição da densidade relativa de espécies exclusivas do cerrado (GIAMPIETRO, 2005).

Ainda que o cerrado tenha maior sombreamento que o cerrado *stricto sensu*, avalia-se que o aumento das sombras não explica o acréscimo de fitomassa, como observado em

florestas. A grande complexidade estrutural do cerrado e a possível saturação do IAF podem ter gerado distorções nos valores dos coeficientes de correlação entre essas variáveis.

As pesquisas relacionadas à estimativa de fitomassa de formações vegetais com dados de sensoriamento remoto, sobretudo em áreas de cerrado, ainda precisam ser aprimoradas para obter previsões confiáveis. Uma nova perspectiva para pesquisas com esta temática é a combinação de dados de laser (*Light Detection and Ranging* - LIDAR) com sensores eletro-ópticos. A tecnologia LIDAR permite coletar dados de altura do dossel, o que representa um parâmetro importante da estrutura da vegetação e, conseqüentemente, pode contribuir para melhorar as estimativas de fitomassa (LINGNAU et al., 2007).

5 CONCLUSÕES

A Estação Ecológica de Assis possui valores de fitomassa média do cerrado *stricto sensu* próximos aos descritos na literatura para o Cerrado do Brasil Central e superiores aos descritos para cerrados do norte do Brasil (Roraima). Os valores médios de fitomassa do cerrado na unidade de conservação são próximos aos descritos para florestas estacionais.

De forma geral, as bandas espectrais dos sensores *QuickBird* ou *TM/Landsat-5*, quando utilizadas individualmente, apresentam correlações fracas a moderadas na estimativa da fitomassa aérea do cerrado *lato sensu*. Contudo, algumas correlações foram altamente significativas a 5% de probabilidade, demonstrando que há associação entre as variáveis analisadas. A principal dificuldade para estimar a fitomassa a partir das imagens de satélite é decorrente da complexidade da estrutura da vegetação analisada. Além disso, fatores como sombreamento, iluminação, interferência do solo e de material não fotossinteticamente ativo alteraram os valores de reflectância e comprometeram as relações com a fitomassa do cerrado na EECA.

As melhores estimativas da fitomassa aérea do cerrado *stricto sensu* são obtidas quando se utiliza a banda do infravermelho médio do satélite *TM/Landsat-5* como variável independente. Para a fitomassa aérea do cerradão, a melhor estimativa é obtida com a banda do infravermelho próximo do *QuickBird*.

As transformações espectrais (índices de vegetação, componentes principais e modelo linear de mistura espectral), quando comparadas com as bandas espectrais individuais, melhoram, em geral, a predição da fitomassa aérea do cerrado; contudo, as correlações ainda permanecem fracas a moderadas.

Para estimar a fitomassa aérea do cerrado *stricto sensu*, os índices de vegetação gerados a partir das imagens *QuickBird* são superiores aos calculados com as imagens *TM/Landsat-5*.

Para estimar a fitomassa aérea do cerradão, de forma geral, os melhores resultados foram obtidos a partir dos índices de vegetação gerados com imagens *TM/Landsat-5*. Entretanto, a relação entre o *TVI* calculado com dados *QuickBird* e o logaritmo da fitomassa aérea do cerradão foi levemente superior e com o erro médio quadrático menor.

A transformação por componentes principais apresenta, em geral, correlações superiores com a fitomassa aérea do cerrado e o erro médio quadrático menor, quando comparada com outras transformações espectrais. Para estimar a fitomassa aérea do cerrado *stricto sensu*, a melhor correlação, entre todas as transformações espectrais avaliadas, é obtida com a segunda componente principal calculada com as imagens *TM*. Para estimar a fitomassa do cerradão, a melhor correlação é obtida com a primeira componente principal gerada com dados do *QuickBird*.

O modelo linear de mistura espectral, quando comparado com as outras transformações espectrais das imagens, não apresentou resultados superiores na predição da fitomassa aérea do cerrado, na EEcA. A complexidade de selecionar um *pixel* realmente puro representa a maior limitação para calcular o MLME e, como consequência, para estimar a fitomassa do

cerrado com alta confiabilidade. Uma vez que outras transformações espectrais mais simples de serem executadas, sobretudo as análises por componentes principais, demonstraram melhores correlações com a fitomassa do cerrado, recomenda-se o uso destas técnicas como opção ao MLME.

O comprometimento da sustentabilidade de florestas e com a redução das emissões de gases do efeito estufa, em âmbito nacional e internacional tem aumentado o interesse em estimativas e mapeamentos precisos de fitomassa. Ainda que imagens de sensores eletro-ópticos orbitais possuam limitações para estimar a fitomassa de fitofisionomias do cerrado, dados do satélite *Landsat* podem subsidiar estes estudos por permitirem a classificação e estratificação da paisagem de áreas extensas, auxiliando em inventários florestais. Por outro lado, dados do satélite *QuickBird* possibilitam mapear áreas menores, com grande detalhe, permitindo muitas vezes identificar copas de árvores ou pequenas alterações na vegetação, como corte seletivo, árvores caídas, etc.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 160 p.
- ABDALA, G.C., CALDAS, L.S., HARIDASAN, M., EITEN, G. Above and belowground organic mater and root: shoot ratio in a cerrado in Central. **Brazilian Journal of Ecology**, Rio Claro, v. 2, p. 11-23, 1998.
- ACCIOLY, L.J.O.; PACHECO, A.; COSTA, T.C.C.; LOPES, O.F.; OLIVEIRA, M.A.J. Relações empíricas entre a estrutura da vegetação ação e dados do sensor TM/LANDSAT. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.3, p. 492-498, 2002.
- ADLER-GOLDEN, S.M.; MATTHEW, M.W.; BERNSTEIN, L.S.; LEVINE, R.Y.; BERK, A.; RICHTSMEIER, S.C.; ACHARYA, P.K.; ANDERSON, G.P.; FELDE, G.; GARDNER, J.; HOKE, J.M.; JEONG, L.S.; PUKALL, B.; MELLO, J.; RATKOWSKI, A. BURKE, H. **Atmospheric correction for short-wave spectral imagery based on MODTRAN4**. In: Proceeding, Imaging Spectrometry (SPIE), 5, 1999, Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, 1999. 10 p.
- AGUIAR, L.M.S.; MACHADO, R.B.; MARINHO-FINHO. A diversidade biológica do Cerrado. In: AGUIAR, L.M.S; CAMARGO, A.J.A. **Cerrado: ecologia e caracterização**. Planaltina. Embrapa Cerrados; Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. Capítulo 1. p.17-40.
- ALGER, K.; LIMA, A. Políticas públicas e a fragmentação de ecossistemas. In: RAMBALDI, D.M.; OLIVEIRA, D.A.S. **Fragmentação de ecossistemas: causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2003. Seção IV, Capítulo 16. p. 390-420.
- ARAGÃO, L.E.O. **Modelagem dos padrões temporal e espacial da produtividade primária bruta na região do Tapajós: uma análise multi-escala**. 2004. 284 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos: INPE-11423-TSI/951, 2004.
- ARAÚJO, L.S. **Análise da cobertura vegetal e de biomassa em áreas de contato floresta/savana a partir de dados TM/LANDSAT e JERS-1**. 1999. 129 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos: INPE-7253-TDI/696, 1999.

- ARCHER, S.; SCIFRES, C.; BASSHAN, C.R. Autogenic succession in a subtropical Savanna: Conversion of grassland to thorn woodland. **Ecological Monographs**, v. 58, n. 2, p. 111-127, jun. 1988.
- ASNER, G.P.; WARNER, A.S. Canopy shadow in Ikonos satellite observations of tropical forest and savanas. **Remote Sensing of Environment**, v. 87, p. 521-533, 2003.
- ASTOLA, H.; BOUNSAYTHIP, C.; AHOLA, J.; HÄME, T.; PARMES, E.; SIRRO, L.; VEIKKANEN, B. **Highforest - forest parameter estimation from high resolution remote sensing data**. In: Proc. 20th ISPRS Congress, 2004. Disponível em:< <http://www.isprs.org/istanbul2004/comm7/papers/65.pdf>.> Acessado em: out. 2007.
- AYRES, M.; AYRES, M. Jr.; AYRES, D.L. SANTOS, A.S. **Bioestat 4.0: Aplicações estatísticas nas áreas das ciências biomédicas**. Belém: Sociedade Civil Mamirauá; Brasília: CNPq. 2005. 334 p.
- BAPTISTA, G.M.M. Validação da modelagem de sequestro de carbono para ambientes tropicais de Cerrado, por meio de dados AVIRIS e HYPERION. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 1037-1044.
- BARBETTA, P.A.; REIS, M.M.; BORNIA, A.C. **Estatística para curso de engenharia e informática**. São Paulo: Atlas, 2004. 414 p.
- BARBOSA, R.I.; FEARNSIDE, P.M. Above-ground biomass and the fate of carbon after burning in the savannas of Roraima, Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 216, p. 295–316, 2005.
- BATALHA, M.A. Análise da vegetação da ARIE cerrado Pé-de-Gigante (Santa Rita do Passa Quatro, SP. 1997. 179f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) Universidade de São Paulo. 1997.
- BECERRA, J.A.B.; SHIMABUKURO, Y.E.; ALVALÁ, R.C.S. Relação do padrão sazonal da vegetação com a precipitação na região do cerrado usando índices espectrais de vegetação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis, **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 3747-3754.
- BEHLING, H. South and southeast Brazilian grasslands during Late Quaternary times: a synthesis. **Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 177, p. 19-27, 2002.

- _____. Late Quaternary vegetational and climatic changes in Brazil. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 99, n.2, p. 143-156, 1998.
- _____. A high resolution Holocene pollen record from lago do Pires, SE Brazil: Vegetation, climate and fire history. **Journal of Paleolimnology**, v. 14, p. 253-268, 1995.
- BEHLING, H.; LICHTER, M. Evidence of dry and cold climatic conditions at glacial times in tropical southeastern Brazil. **Quaternary Research**, v. 48, p. 348–358, 1997.
- BELBIN, L.; MCDONALD, C. Comparing three classification strategies for use in ecology. **Journal of Vegetation Science**, v. 4, p. 341-348, 1993.
- BELINATO, T. A.; MATOS, D. M.S. O impacto de *Pteridium aquilinum* var. *arachnoideum*, *Pteridophyta*, na germinação e morfologia de espécies arbóreas da Mata Atlântica. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 6., 2003, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Trabalhos Completos, 2003. p. 381-383.
- BENSUSAN, N. **Conservação da biodiversidade em áreas protegidas**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2006. 176 p.
- BERK, A.; ANDERSON, G.P.; BERNSTEIN, L.S.; ACHARYA, P.K.; DOTHE, H.; MATTHEW, M.W.; ADLER-GOLDEN, S.M.; CHETWYND, J.H.; RICHTSMEIER, S.C.; PUKALL, B.; ALLRED, C.L.; JEONG, L.S.; HOKE, M.L. MODTRAN4 radiative transfer modeling for atmospheric correction. In: OPTICAL SPECTROSCOPIC TECHNIQUES AND INSTRUMENTATION FOR ATMOSPHERIC AND SPACE RESEARCH, 3., 1999, **Proceeding...** Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, 1999. 10 p.
- BIRTH, G.S., MCVEY, G.R. Measuring the color of growing turf with a reflectance spectrophotometer. **Agronomy Journal**, v. 60, p. 640–643, 1968.
- BOARDMAN, J.W.; KRUSE, F.A. Automated spectral analysis: a geologic example using AVIRIS data, north Grapevine Mountains, Nevada. In: CONFERENCE ON GEOLOGIC REMOTE SENSING, ENVIRONMENTAL RESEARCH INSTITUTE OF MICHIGAN, 10., Ann Arbor, **Proceedings...** MI, I. 1994, p. 407-418.
- BOGNOLA, I.A.; JOAQUIM, A.C.; PRADO, H.; LEPSCH, I.F. Levantamento pedológico semidetalhado da região do governo de Assis. Escala 1:50.000. Convênio IAC/CIERGA/IGC. 1990.
- BOWMAN, D.M.J.S.; WALSH, A.; MILNE, D.J. Forest expansion and grassland contraction within a *Eucalyptus* savanna matrix between 1941 and 1994 at Litchfield National Park

- in the Australian monsoon tropics. **Global Ecology & Biogeography**, v. 10, p. 535-548, 2001.
- BRANDO, P.M.; DURIGAN, G. Changes in cerrado vegetation after disturbance by frost (São Paulo State, Brazil). **Plant Ecology**, v. 17, p. 205-215, 2004.
- BRASIL. **Comunicado Nacional Inicial do Brasil à Convenção-Quatro das Nações Unidas sobre mudança do Clima**. Coordenação-Geral de Mudanças Globais. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2004. 274 p.
- BRASIL. Decreto nº 89.817, de 20 de Junho de 1984. Dispõe sobre as normas técnicas da cartografia nacional. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 22 jun 1984.
- BROWN, S. **Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer**. United Nations Rome: Food and Agriculture Organization (FAO). Forestry Paper – 134. 1997, 82p.
- 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, p. 881-902, 1989.
- BURGER, D.M.; DELITTI, W.B.C. Fitomassa epigéia da mata ciliar do rio Mogi-Guaçu, Itapira – SP. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 22, n. 3, p. 429-435, 1999.
- CANAVESI, V.; KIRCHNER, F.F. Estimativa de macronutrientes em floresta ombrófila mista montana utilizando dados de campo e dados obtidos a partir de imagens do satélite Ikonos II. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 1443-1449.
- CARMEL, Y.; KADMON, R. Effects of grazing and topography on long-term vegetation changes in a Mediterranean ecosystem in Israel. **Plant Ecology**, v. 145, p. 243-254, 1999.
- CASTRO, E.A. de.; KAUFFMAN, J.B. Ecosystem structure in the brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. **Journal of Tropical Ecology**, v. 14, p. 263-283, 1998.
- CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 41, n. 11, p. 2674-2677, 2003.
- CHAVE, J.; ANDALO, C.; BROWN, S.; CAIRNS, M.A.; CHAMBERS, J.Q.; EAMUS, D.; FÖLSTER, H.; FROMARD, F.; HIGUCHI, N.; KIRA, T.; LESCURE, J.P. NELSON,

- B.W.; OGAWA,H.; PUIG, H.; RIÉRA, B.; YAMAKURA. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forest. **Oecologia**, v. 145, p. 87-99, 2005.
- CHIARINI, J.V.; COELHO, A.G.S. Cobertura vegetal natural e áreas reflorestadas do estado de São Paulo. **Instituto Agrônômico, Boletim 193**. Campinas, Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, 1969.
- CLARK, D.B. READ, J.M.; CLARK, M.L.; CRUZ, A.M.; DOTTE, M.F.; CLARK, D. Application of 1-m and 4-m resolution satellite data to ecological studies of tropical rain forests. **Ecological Applications**, v. 14, n. 1, p. 61-74, 2004.
- COHEN, W.B.; MAIERSPERGERB, T.K.; GOWER, S.T.; TURNER, D.P. An improved strategy for regression of biophysical variables and Landsat ETM⁺ data. **Remote Sensing of Environment**, v. 84, p. 561-571, 2003.
- COUTINHO, L.M. Fire in the ecology of the Brazilian Cerrado. In: GOLDAMMER. J.G. **Fire in the tropical biota: ecosystem processes and global challenges**. Berlin, Springer-Verlag, 1990. p. 82-103.
- COUTINHO, L.M. O conceito de cerrado. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 1, p. 17-24, 1978.
- CRÓSTA, A.P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: IG/UNICAMP, 1999. 170 p.
- CUNHA, U.S.; MACHADO, S.A.; FIGUEIREDO FILHO, A. Uso de análise exploratória de dados e de regressão robusta na avaliação do crescimento de espécies comerciais de terra firme da Amazônia. **Revista Árvore**, v. 26, n. 4, p. 391-402, 2002.
- DEAN, W. **A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira**. São Paulo: Companhia das Letras, 5^a. Reimpressão, 2004. 484 p.
- DEERING, D.W.; ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A. Measurement forage production of grazing units from Landsat MSS data. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING ENVIRONMENT, 10. Ann Arbor, 1975. **Proceedings...** Ann Arbor, ERIM, 1975. v.2, p. 1169-1178.
- DELITTI, W.B.C.; PAUSAS, J.P.; BURGER, D.M. Belowground biomass seasonal variation in two Neotropical savannahs (Brazilian Cerrados) with different fire histories. **Sciences**, v. 58, p. 713–721, 2001.

- DIXON, R.K.; BROWN, S.; HOUGHTON, R.A.; SOLOMON, A.M.; TREXLER, M.C.; WISNIEWSKI, J. Carbon pool and flux of global forest ecosystems. **Science**, v. 263, p. 185-190, 1994.
- DURIGAN, G. Observations on the southern cerrados and their relationship with the core are. In: PENNINGTON, T.; LEWIS, G.P.; RATTER, J.A. **Neotropical savannas and seasonally dry forests: plant diversity, biogeography and conservation**. Taylor & Francis, 2006. Capítulo 3. p. 67-77.
- DURIGAN, G._____. Métodos para análise de vegetação arbórea. In: CULLEN JR.L.; R. RUDRAN, R.; PADUA-VALLADARES, C. **Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre**. Ed. da UFPR; Fundação o Boticário de Proteção à Natureza. Curitiba, PR, 2004. Capítulo 17. p. 455-479.
- DURIGAN, G., SARAIVA, I.R., GARRIDO, M.A.O., GARRIDO, L.M.A.G.; PECHE FILHO, A. Fitossociologia e evolução da densidade da vegetação de cerrado em Assis, SP. **Boletim Técnico do Instituto Florestal**, v. 41, p. 59-78, 1987.
- DURIGAN, G.; BACIC, M.C.; FRANCO, G.A.D.C.; SIQUEIRA, M.F. Inventário florístico do cerrado na Estação Ecológica de Assis, SP. **Hoehnea**, v. 26, p. 149-172, 1999.
- DURIGAN, G.; FRANCO, G.A.D.C.; PASTORE, J.A.; AGUIAR, O.T. Regeneração natural da vegetação de cerrado sob floresta de *Eucalyptus citriodora*. **Revista do Instituto Florestal**, v. 9, n. 1, p. 19-36, 1997.
- DURIGAN, G.; FRANCO, G.A.D.C.; SIQUEIRA, M.F. A vegetação dos remanescentes de cerrado no estado de São Paulo. In: BITENCOURT, M.D.; MENDONÇA, R.R. **Viabilidade de conservação dos remanescentes de cerrado no estado de São Paulo**. São Paulo: Annablume; FAPESP. 2004. Capítulo 2. p. 29-56.
- DURIGAN, G.; NISHIKAWA, D.L.L.; ROCHA, E.; SILVEIRA, E.R.; PULITANO, F.M.; REGALADO, L.B.; CARVALHAES, M.A.; PARANAGUÁ, P.A.; RANIERI, V.E.L. Caracterização de dois estrados da vegetação em uma área de cerrado no município de Brotas, SP, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 16, n.3, p. 251-262, 2002.
- DURIGAN, G.; RATTER, J.A. Successional changes in Cerrado and Cerrado/Forest ecotonal vegetation in western São Paulo State, Brazil, 1962-2000. **Edinburgh Journal of Botany**, v. 63, n. 1, p. 119-130, 2006.

- DURIGAN, G.; RATTER, J.A.; BRIDGEWATER, S.; SIQUEIRA, M.F.; FRANCO, G.A.D.C. Padrões fitogeográficos do cerrado paulista sob uma perspectiva regional. **Hoehnea**, v. 30, n. 1, p. 39-51, 2003b.
- DURIGAN, G.; SIQUEIRA, M.F.; FRANCO, G.A.D.C.; BRIDGEWATER, S.; RATTER, J. A. The vegetation of priority areas for cerrado conservation in São Paulo State, Brazil. **Edinburgh Journal of Botany**, v. 60, n. 2, p. 217-241, 2003a.
- DURIGAN, G.; SIQUEIRA, M.F.; FRANCO, G.A.D.C.; CONTIER, W.A. A flora arbustiva-arbórea do Médio Paranapanema: base para a restauração dos ecossistemas naturais. In: BOAS, O.V.; DURIGAN, G. **Pesquisas em conservação e recuperação ambiental no oeste paulista: resultados da cooperação Brasil/Japão**. São Paulo: Páginas & Letras, 2004. Capítulo 13. p. 199-239.
- DURIGAN, G.; SIQUEIRA, M.F.; FRANCO, G.A.D.C.; RATTER, J.A. Seleção de fragmentos prioritários para a criação de unidades de conservação do cerrado no estado de São Paulo. **Revista do Instituto Florestal**. São Paulo, v. 18, p. 23-37, 2006.
- EFRON, B. **The Jackknife, the Bootstrap and other resampling plans**. Society for industrial and applied mathematics, 1982. 92 p.
- EITEN, G. The cerrado vegetation of Brazil. **Botanical Review**, v. 38, n. 2, p. 201-341, 1972.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 1999. 412 p.
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, INC. (ESRI). **ArcMap**. Version 9.1 [S.I.]: 2004.
- FAIRCHILD, T.R. A Terra: passado, presente e futuro. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M.; FAIRCHILD, T.R.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. Oficina de Textos. 2ª. Reimpressão. São Paulo, 2003. Capítulo 23. p. 493-516.
- FARIA, A.J.; CONTIERI, W.A.; KAWABATA, M.; BERTO, E.A. Monitoramento micrometeorológico em cinco ambientes com cobertura vegetal distinta. In: BOAS, O.V.; DURIGAN, G. **Pesquisas em conservação e recuperação ambiental no oeste paulista: resultados da cooperação Brasil/Japão**. São Paulo: Páginas & Letras, 2004. Capítulo 6. p. 93-108.
- FEARNSIDE, P.M. **A floresta amazônica nas mudanças globais**. Manaus: INPA, 2003. 134 p.

- FEDOROV, D.; FONSECA, L.M.G.; KENNEY, C.; MANJUNATH, B.S. Automatic registration and mosaicking. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 317-324.
- FELFILI, J.M.; FILGUEIRAS, T.S.; HARIDASAN, M.; SILVA JÚNIOR, M.C.; MENDONÇA, R.; REZENDE, A.V. **Projeto biogeografia do bioma cerrado: vegetação e solos.** Caderno de Geociências do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Brasília, DF, v. 12, p. 75-166, 1994.
- FERREIRA, M.E.; FERREIRA, L.G.; SANO, E.E.; SHIMABUKURO, Y.E. Uso de modelo linear de mistura espectral para mapeamento sistemático e operacional do Bioma Cerrado: possibilidades, implicações e procedimentos metodológicos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 657-664. CD ROOM.
- FERREIRA, M.E.; PECCININI, A.A.; FERREIRA, L.G.; HUETE, A.R. Análise da sazonalidade de paisagens antrópicas e nativas do bioma Cerrado através dos produtos MODIS índices de vegetação, área foliar e atividade fotossintética. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia, **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 505-512.
- FIDELIS, A.T.; GODOY, S.A.P. Estrutura de um cerrado *stricto sensu* na gleba cerrado Pé-de-Gigante, Santa Rita do Passa Quatro, SP. **Acta Botanica Brasilica**, v. 17, n. 4, p. 531-539, 2003.
- FIEDLER, N.C.; AZEVEDO, I.N.C.; REZENDE, A.V.; MEDEIROS, M.B.; VENTUROILI, F. Efeito de incêndios florestais na estrutura e composição florística de uma área de cerrado *sensu stricto* na Fazenda Água Limpa-DF. **Revista Árvore**, v. 28, p. 129-138, 2004.
- FOODY, G.M., BOYD, D.S.; CUTLER, M.E.J. Predictive relations of tropical forest biomass from Landsat *TM* data and their transferability between regions. **Remote Sensing of Environment**, v. 85, p. 463-474, 2003.
- FOODY, G.M., PALUBINSKAS, G., LUCAS, R.M., CURRAN, P.M., HONZAK, M. Identifying terrestrial carbon sinks: classification of successional stages in regenerating tropical forest from Landsat *TM* data. **Remote Sensing of Environment**, v. 55. p. 205-216, 1996.

- FRANCO, A. Biodiversidade de forma e função: implicações ecofisiológicas das estratégias de utilização de água e luz em plantas lenhosas do Cerrado. In: SCARIOT, A.; SOUZA-SILVA, J.C.; FELFILI, J.M. **Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília. 2005. Capítulo 10. p 179-196.
- FURLEY, P.A; RATTER, J.A. Soil resources and plant e communities of the central Brazilian cerrado and their development. **Journal of Biogeography**, v. 15, p. 97-108, 1988.
- GARRIDO, M.A.O. et al. s.d. A pesquisa e a experimentação na Estação Experimental de Assis. SMA/Instituto Florestal. **Série Manejo florestal**. 35 p.
- GIAMPIETRO, R. **Modificações na estrutura e composição florística de matas ciliares na região do Médio Paranapanema (1992-2004)**. 2005 118f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.
- GOMES, B.Z.; MARTINS, F.R.; TAMASHIRO, J.Y. Estrutura do cerradão e da transição entre cerradão e floresta paludícola num fragmento da International Paper do Brasil Ltda., Brotas, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 27, p. 249-262, 2004.
- GOODLAND, R.A.; FERRI, M.G. **Ecologia do Cerrado**. Belo Horizonte: Editora Itatiaia/São Paulo: EDUSP, 1979. 139 p.
- GRACE, J.; JOSÉ, J.S.; MEIR, P.; MIRANDA, H.S.; MONTES, R.A. Productivity and carbon fluxes of tropical savannas. **Journal of Biogeography**, v. 33, p. 387-400, 2006.
- GUARINO, E.S.G.; MEDEIROS, M.B. Levantamento da fitomassa dos estratos arbóreo e herbáceo-arbustivo da área de influência direta do aproveitamento hidrelétrico Corumbá IV (GO). **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, jul. 2005, 20 p.
- HAFFER, J.; PRANCE, G.T. Impulsos climáticos da evolução na Amazônia durante o Cenozóico: sobre a teoria dos Refúgios da diferenciação biótica. **Estudos Avançados**, v. 16, n. 46, p. 175-206, 2002.
- HAMMEN, T. van der; HOOGHMSTRA, H. Neogene and Quaternary history of vegetation, climate, and plant diversity in Amazonia. **Quaternary Science Reviews**, v. 19, p. 725-742, 2000.
- HEISKANEN, J. Estimating aboveground tree biomass and leaf area index in a mountain birch forest using ASTER satellite data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 6, p. 1135-1158, 2006.

- HENRIQUES, R.P.B. Influência da história, solo e fogo na distribuição e dinâmica das fitofisionomias no bioma do Cerrado. In: SCARIOT, A.; SOUZA-SILVA, J.C. E FELFILI, J.M. **Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. Capítulo 3. p. 73-92.
- HIGUCHI, N.; CARVALHO, J.A. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQÜESTRO DE CO₂. 1994, Rio de Janeiro: **Anais...** Rio de Janeiro: CVRD, 1994. p. 125-153.
- HIGUCHI, N.; CHAMBERS, J.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R.J.; PINTO, A.C.M.; SILVA, R. P.; ROCHA, R.M.; TRIBUZY, E.S. Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária da Amazônia central. **Floresta**, v. 34, n. 3, p. 295-304, 2004.
- HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R.J.; MINETTE, L.; BIOT, Y. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firma da Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, v. 28, n. 2, p. 153-166, 1998.
- HOFFMANN, W.A. Post-burn reproduction of woody plants in a neotropical savanna: the relative importance of sexual and vegetative reproduction. **Journal of Applied Ecology**, v. 35, p. 422-433, 1998.
- HOUGHTON, R.A.; LAWRENCE, K.T.; HACKLER, J.L.; BROWN, S. The spatial distribution of forest biomass in the Brazilian Amazon: a comparison of estimates. **Global Change Biology**, v. 7, p. 731-746, 2001.
- HUETE, A.R.A. Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988.
- HUETE, A.R.A.; LIU, H.Q.; BATCHILY, K.; van LEEUWEN, W. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, n. 3, p. 440-451, 1997.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual técnico da vegetação brasileira**. Manuais Técnicos em Geociências, n. 1, Rio de Janeiro, 1992, 92 p.
- INSTITUTO FLORESTAL DE SÃO PAULO (IF/SP). Estação Experimental de Assis: Histórico. Disponível em: <http://www.iflorestsp.br/dfee/e_exp_as.htm>. Acesso em: mar de 07.

- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Mudança do clima 2007: a base das ciências físicas**. Paris, 2007. 25 p. (Relatório técnico). Disponível em: www.mct.gov.br/clima/ Acessado em: jul de 2007.
- ISLAM, S.T.; DONOGHUE, D.N.M. An evaluation of Quickbird data for assessing woodland resource in deciduous Sal Forests in Bangladesh. In: REMOTE SENSING AND PHOTOGRAMMETRY SOCIETY ANNUAL CONFERENCE. 2004. Disponível em: http://www.macaulay.ac.uk/workshop/remotesensing2004/ST_Full_paper.pdf.> Acessado em: out. 2007.
- JAMES, F.C.; MCCULLOCH, C.E. Multivariate analysis in ecology and systematics: Panacea or Pandora's box? **Annual Review Ecology and Systematics**, v. 21, p. 129-166, 1990.
- JORDAN, C.F. Derivation of leaf área index from quality of light on the forest floor. **Ecology**, v. 50, p. 663-666, 1969.
- JUSTICE, C.O.; VERMOTE, E.; TOWNSHEND, J.R.G.; DEFRIES, R.; ROY, P.D; HALL, D.K, SALOMONSON, V.; PRIVETTE, J.L.; RIGGS, G.; STRAHLER, A.; LUCHT, W.; MYNENI, B; KNYAZIKHIN, Y.; RUNNING, W.S.; NEMANI, R.R.; WAN, Z.; HUETE, A.R.; LEEUWEN, W.V.; WOLFE, R.E.; GIGLIO, L.; MULLER, J.P; LEWIS, P.; BARNSLEY, M. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 36, n. 4, p. 1228-1247, 1998.
- KADMON, R.; HARARI-KREMER, R. Studying long-term vegetation dynamics using digital processing of historical aerial photographs. **Remote Sensing Environment**, v. 68, p. 164-176, 1999.
- KAYITAKIRE, F.; HAMEL, C.; DEFOURNY, P. Retrieving forest structure variables based on image texture analysis and Ikonos II imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 102, p. 390-401, 2006.
- KLINK, C.A.; MACHADO, R.B.A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 147-155, 2005.
- KLINK, C.A.; MIRANDA, H.; GONZALES, I.; VICENTINNI, K. O bioma Cerrado - Site 3. In: SEELIGER, U.; CORDAZZO, C.; BARBOSA, F. Os Sites e o Programa Brasileiro de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração. Porto Alegre: Fundação da Universidade do Rio Grande do Sul. 2002, v. 1, p. 51-68.

- KRAUSE, K. **Radiance conversion of QuickBird data..** Colorado, USA. DigitalGlobe, 2003. 4 p. (Technical note). Disponível em:<<http://www.digitalglobe.com>> Acessado em: 7 jun. 2004.
- KRONKA, F.J.N.; NALON, M.A.; MATSUKUMA, C.K.; KANASHIRO, M.M.; YWANE, M.S.S.Y.; LIMA, L.M.P.R.; GUILLAUMON, J.R.G.; BARRADAS, A.M.F.B.; PAVÃO, M.; MANETTI, L.A.; BORGGO, S.C. Monitoramento da vegetação natural e do reflorestamento no estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia, **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 1569-1576.
- KUNTSCHIK, G.; BITTENCOURT, M.D. Quantificação de fitomassa florestal aérea de cerrado e cerrado através de imagens orbitais SAR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2003. p. 2201-2208.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal.** São Carlos: RIMA, 2004, 531 p.
- LATORRE, M.; CARVALHO JÚNIOR, O.A.; CARVALHO, A.P.F.; SHIMABUKURO, Y.E. Correção atmosférica: Conceitos e fundamentos. **Espaço & Geografia**, v. 5, n. 1, p. 153-178, 2002.
- LEBOEUF, A; BEAUDOIN, A.; FOURNIER, R.A.; GUINDON, L.; LUTHER, J.E.; LAMBERT, M.C. A shadow fraction method for mapping biomass of northern boreal black spruce forests using QuickBird imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 110, p. 488–500, 2007.
- LEDRU, M.P. Late Quaternary environmental and climatic changes in central Brazil, **Quaternary Research**, v. 39, p. 90-98, 1993.
- LEITÃO FILHO, H.F. A flora arbórea dos cerrados do estado de São Paulo. **Hoehmea**, v. 19, p. 151-163, 1992.
- LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W. **Remote sensing and image interpretation.** 4 ed. New York: John Wiley & Sons. 2000. 721 p.
- LINGNAU, C.; NAKAJIMA, N.Y.; DAMAS, B.; SANTOS, D.S.; VINHAL, L.A. Obtenção de parâmetros florestais através de laser terrestre – Novas perspectivas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 3661-3663.

- LU, D.; BATISTELLA, M. Exploring TM image texture and its relationships with biomass estimation in Rondônia, Brazilian Amazon. **Acta Amazonica**, v. 35, n. 2, p. 249-257, 2005.
- LU, D.; BATISTELLA, M.; MORAN, E. Satellite estimation of aboveground biomass and impacts of forest stand structure. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 71, n. 8, p. 967-974, 2005.
- LU, D.; MAUSEL, P.; BRONDÍZIO, E.; MORAN, E. Relationships between forest stand parameters and Landsat *TM* spectral responses in the Brazilian Amazon Basin. **Forest Ecology and Management**, v. 198, p. 149-167, 2004.
- MACHADO, R.B.; RAMOS NETO, M.B.; PEREIRA, P.G.P.; CALDAS, E.F.; GONÇALVEZ, D.A.; SANTOS, N.S.; TABOR, K.; STEININGER, M. **Estimativas de perda de área de Cerrado brasileiro**. Brasília: Conservação Internacional, 2004. 23 p. (Relatório técnico não publicado).
- MACIEL, M.N.M.; LINGNAU, G.; SANQUETTA, C.R.; NETTO, S.P. Relação entre variáveis digitais de imagem Landsat e variáveis biométricas de uma floresta primária na Amazônia Oriental. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 2791-2798.
- MAJOR, D.J., BARET, F., GUYOT, G. A ratio vegetation index adjusted for soil brightness. **International Journal of Remote Sensing**, v. 11, p. 727-740, 1990.
- MARIMON JUNIOR, B.H.; HARIDASAN, M. Comparação da vegetação arbórea e características edáficas de um cerradão e um cerrado *sensu stricto* em áreas adjacentes sobre solo distrófico no leste de Mato Grosso, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, n. 4, p. 913-926, 2005.
- MARIMON, B.S.; LIMA, E.S.; DUARTE, T.G.; CHIEREGATTO, L.C. & RATTER, J.A. 2006. Observations on the vegetation of northeastern Mato Grosso, Brazil. IV. An analysis of the Cerrado-Amazonian Forest Ecotone. *Edinburgh Journal of botany* 63: 323-341.
- MARKHAM, B.L.; BARKER, J.L. **Landsat MSS and TM postcalibration on dynamic ranges of exoatmospheric reflectances and at-satellite temperatures**. Lanham: EOSAT, 1986. 21 p. (Landsat Technical notes n.1).

- MARRS, R.H.; DUC, M.G.; MITCKELL, R.J.; GODDARD, D.; PATERSON, S. PAKEMAN, R.J. The ecology of bracken: its role in succession and implications for control. **Annals of Botany**. v. 85 (supplement B), p. 3-15, 2000.
- MARTINS, F.R.; SANTOS, F.A.M. Técnicas usuais de estimativa da biodiversidade. **Revista Holos**, v. 1, p. 236-267, 1999.
- MAURO, G. **High resolution satellite imagery for forestry studies: the beechwood of the Pordenone mountains (Italy)**. In: Proc. 20th ISPRS Congress, 2004. Disponível em: <<http://www.isprs.org/istanbul2004/comm4/papers/502.pdf>> Acessado em: nov. 2006.
- MAX, J.C.M. et al. Plano de desenvolvimento sustentável para o entorno da Estação Ecológica de Assis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO, 4., 2004, Curitiba. **Anais...** Curitiba, Fundação O Boticário/Rede Nacional Pró Unidades de Conservação, 2004. p. 560-569.
- MCGLONE, C. Sensor modeling in image registration. In: American Society for photogrammetry and remote sensing (ASPRS). **Digital photogrammetry: an addendum to the manual of photogrammetry**. United States of American. 1996. Capítulo 5. p. 115- 123.
- MELO, A.C.G.; DURIGAN, G. Fixação de carbono em reflorestamentos de matas ciliares no Vale do Paranapanema, SP, Brasil. **Scientia Forestalis**, v. 71, p. 149-154, 2006.
- MELO, A.C.G.; et al. **Resultados dos ajustes dos modelos de biomassa para cerrado e cerrado ss**. Piracicaba: IF-ESALQ-USP, 2007. 58 p. (Relatório técnico não publicado).
- MELO, A.C.G.; WATZLAWICK, L.F.; DURIGAN, G. Distribuição da biomassa entre os diferentes compartimentos das árvores do cerrado. Curitiba. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 56., 2005, Curitiba. **Anais...** São Paulo: SBB, 2005. Resumos.
- MENDONÇA, R.C.; FELFILI, J.M.; WALTER, B.M.T.; SILVA Jr.M.C.; REZENDE, A.V.; FILGUEIRAS, T.S.; NOGUEIRA, P.E. Flora vascular do Cerrado. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P. **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: EMBRAPA – CPAC, 1998. Capítulo 7. p. 289-556.
- MENDONÇA, R.R. A história da ocupação do interior do estado de São Paulo. In: BITENCOURT, M.D.; MENDONÇA, R.R. **Viabilidade de conservação dos**

- remanescentes de cerrado no estado de São Paulo.** São Paulo: Annablume; FAPESP, 2004. Capítulo 3. p. 57-75.
- MESQUITA JUNIOR; H.N. **Análise temporal com sensor orbital de unidades fisionômicas de cerrado na Gleba Pé-de-Gigante (Parque Estadual de Vassununga - SP).** Dissertação (Mestrado em Ecologia). 1998, 118f. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- MIRANDA, A.C.; MIRANDA, H.S.; LLOYD, J.; GRACE, J.; FRANCEY, R.J.; MCINTYRE, J.A.; MEIR, P.; RIGGAN, P.; LOCKWOOD, R.; BRASS, J. Fluxes of carbon, water and energy over Brazilian cerrado: an analysis using eddy covariance and stable isotopes. **Plant, Cell & Environment.** v. 20, p. 315-328, 1997.
- MIRANDA, H.S.; SATO, M.N. Efeitos do fogo na vegetação lenhosa do Cerrado. In: SCARIOT, A.; SOUZA-SILVA, J.C. E FELFILI, J.M. **Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. Capítulo 4. p. 92-104.
- MIRANDA, H.S.; SATO, M.N.; ANDRADE, S.M.A.; HARIDASAN, M.; MORAIS, H.C. Queimadas de Cerrado: caracterização e impactos. In: AGUIAR, L.M.S.; CAMARGO, A.J.A. **Cerrado: ecologia e caracterização.** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, Brasília, 2004. Capítulo 3. p. 69-123.
- MOREIRA, A.G. Effects of fire protection on savanna structure in Central Brazil. **Journal of Biogeography,** v. 27, p. 1021-1029, 2000.
- MOREIRA, M.A. **Fundamentos de sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** 3ª. ed. Viçosa: Ed. UFV. 2005. 320 p.
- MÜLLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. **Aims and methods in vegetation ecology.** New York, John Wiley and Sons. 1974. 547 p.
- MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTERMEIER, C.G.; FONSECA, G.A.B.; KENTS, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature,** v. 403, p. 853-858, 2000.
- NEEFF, T.; GRAÇA, P.M.A.; DUTRA, L.V.; FREITAS, C.C. Carbon budget estimation in Central Amazonia: Successional Forest modeling from remote sensing data. **Remote Sensing of Environment,** v. 94, p. 508-522, 2005.
- NETER, J.; WASSERMAN, W; KUTNER, M.H. **Applied linear regression models.** Boston, 2 ed. 1989. 667 p.

- OLIVEIRA, J.M.; PILLAR, V.D. Vegetation dynamics on mosaics of campos and *Araucaria* forest between 1974 and 1999 in Southern Brazil. **Community Ecology**, v. 5, n. 2, p. 197-202, 2004.
- OLIVEIRA, P.E. Fenologia e biologia reprodutiva das espécies de cerrado. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P. **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina/DF: EMBRAPA-CPAC, 1998. Capítulo 4. p. 169-192.
- OLIVEIRA-FILHO, A.T.; RATTER, J.A. Vegetation physiognomies and woody flora of the Cerrado biome. In: OLIVEIRA, P.S.; MARQUIS, R.J. **The cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna**. New York: Columbia University, 2002. Capítulo 6. p. 91-120.
- PEREIRA-SILVA, E.F.L.; SANTOS, J.E.; KAGEYAMA, P.Y.; HARDT, E. Florística e fitossociologia dos estratos arbustivo e arbóreo de um remanescente de cerradão em uma Unidade de Conservação do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 27, p. 533-544, 2004.
- PINHEIRO, M.H.O. **Composição e estrutura de uma comunidade savânica em gradiente topográfico no município de Corumbataí (SP, Brasil)**. 2006. 119 f. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) - Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", Rio Claro, 2006.
- PINHEIRO, T.F.; SOARES, J.V.; RENNÓ, C.D.; PIC, A. Análise da variação espacial da biomassa por imagens SAR simuladas para o MAPSAR (Multi-Application Purpose SAR) em uma floresta de terra-firme da Amazônia Central. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 1809-1816.
- PINTO, C.M.D.; RENNÓ, C.D.; KUX, H.J.H. Avaliação de técnicas de fusão aplicadas à imagem *Quickbird*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p. 4225-4232.
- PIVELLO, V.R. Manejo de fragmentos de Cerrado: princípios para a conservação da biodiversidade. In: SCARIOT, A.; SOUZA-SILVA, J.C.; FELFILI, J.M. (orgs.) **Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília. 2005, Capítulo 24, p 401-413.
- PONZONI, F.J. Comportamento espectral da vegetação. In: MENESES, P.R.; NETTO, J.S.M. **Sensoriamento Remoto: reflectância dos alvos naturais**. UNB. Brasília; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. Capítulo 5. p. 157-199.

- PONZONI, F.J.; SHIMABUKURU, Y.E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos, SP. Editora Parêntese. 2007. 127 p.
- PONZONI, F.J.; ZULLO JUNIOR, J. LAMPARELLI, R.A.C. **Calibração absoluta de sensores orbitais**. São José dos Campos, SP. Editora Parêntese. 2007. 65 p.
- PRADO, H. **Os solos do estado de São Paulo**. Piracicaba, 1997. 170 p.
- QI, J., CHEHBOUNI, A., HUETE, A.R., KERR, Y.H., SOROOSHIAN, S. A modified soil adjusted vegetation index. **Remote Sensing of Environment**, v. 48, p. 119-126, 1994.
- RAMOS-NETO, M.B.; PIVELLO, V.R.. Lightning fires in a Brazilian savanna national park: rethinking management strategies. *Environmental Management* 26: 675-684, 2000.
- RATTER, J.A. Transitions between cerrado and Forest vegetation in Brazil. In: FURLEY, P.A.; PROCTOR J.; RATTER, J.A. (eds). **Nature and dynamics of Forest-Savanna boundaries**. London: Chapman & Hall. 1992, p.417-430.
- RATTER, J.A.; BRIDGEWATER, S.; RIBEIRO, F. Biodiversity patterns of the woody vegetation of the Brazilian Cerrado. In: PENNINGTON; R.T.; LEWIS, G.P.; J.A. RATTER, J.A. **Neotropical savannas and seasonally dry forests: plant diversity, biogeography and conservation**. Taylor & Francis, 2006. Capítulo 2. p. 31-65.
- RATTER, J.A.; RIBEIRO, J.F.; BRIDGEWATER, S. The Brazilian Cerrado vegetation and threats to its biodiversity. **Annal of Botany Company**, v. 80, p. 223-230, 1997.
- REATTO, A. CORREIA, J.R.; SPERA, S.T. Solos do bioma cerrado; aspectos pedológicos. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P. **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: EMBRAPA – CPAC, 1998. Capítulo 2. p. 45-86.
- RESEARCH SYSTEMS, INC (RSI). **ENVI user's guide: research systems project for ENVI (Environment for visualizing Images)**. Version 4.3. Boulder: RSI, 2006a. CD-ROM.
- RESEARCH SYSTEMS, INC (RSI). **FLAASH user's guide: ENVI FLAASH**. Version 4.3. Boulder: RSI, 2006b. 42 p.
- REZENDE, A.V.; VALE, A.T.; SANQUETTA, C.R.; FIGUEIREDO FILHO, A.; FELFILI, J.M. Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado *sensu stricto* em Brasília, DF. **Scientia Forestalis**, v. 71, p. 65-76, 2006.
- RIBEIRO, J.R.; SILVA, J.C.S.; BATMANIAN, G.J. Fitossociologia de tipos fisionômicos de cerrado em Planaltina, DF. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 8, p. 131-142, 1985.

- RIBEIRO, J.R.; WALTER, B.M.T. Fitofisionomia do Bioma Cerrado. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P. **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina/DF: EMBRAPA-CPAC, 1998. Capítulo 3. p. 89-166.
- RIZZINI, C.T. **Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos**. 2ª.ed. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural Edições Ltda. 1997. 746 p.
- ROCHA, R.M.; HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; NAKAMURA, S.; SILVA, R.P.; PINTO, A.C.M.; TRIBUZY, E.S. Taxas de recrutamento e mortalidade e mudanças de estoque de fitomassa da floresta primária na região de Manaus-AM. In: HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; SAMPAIO, P.T.B.; MARENCO, R.A.; FERRAZ, J.; SALES, P.C.; SAITO, M.; MATSUMOTO, S. **Projeto Jacarandá – fase 2: pesquisas florestais na Amazônia central**. INPA, Manaus, 2003. Capítulo 4. p. 43-68.
- ROCHA-CAMPOS, A.C.; SANTOS, P.R. Ação geológica do gelo. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M.; FAIRCHILD, T.R.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. Oficina de Textos. 2ª. Reimpressão. São Paulo, 2003. Capítulo 11. p. 215-246.
- RODRIGUES, R.R.; et al. **Dinâmica, diversidade e conservação em florestas do Estado de São Paulo: 40ha parcelas permanentes**. Piracicaba: ESALQ-USP, 2002. 126 p. (Relatório Científico I - FAPESP 1999/09635-0). Disponível em: <<http://www.lerf.esalq.usp.br/parcelas/>>. Acessado em: 04/12/2005.
- RODRIGUES, R.R.; et al. **Dinâmica, diversidade e conservação em florestas do Estado de São Paulo: 40ha parcelas permanentes**. Piracicaba: ESALQ-USP, 2004. 327 p. (Relatório Científico III - FAPESP 1999/09635-0). Disponível em: <<http://www.lerf.esalq.usp.br/parcelas/>>. Acessado em: 15/12/2005.
- ROLIM, S.G.; JESUS, R.M.; NASCIMENTO, H.E.M.; COUTO, H.T.Z.; CHAMBERS, J. Q. Biomass change in an Atlantic tropical moist forest: the ENSO effect in permanent sample plots over a 22-year period. **Oecologia**, v. 142, p. 238–246, 2005.
- RONDEAUX, G., STEVEN, M., BARET, F. Optimisation of soil-adjusted vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 55, p. 95–107, 1996.
- ROSENQVIST, A.; MILNE, A.; LUCAS, R.; IMHOFF, M.; DOBSON, C. A review of remote sensing technology in support of the Kyoto Protocol. **Environmental Science & Policy**, v. 6, p. 441-455, 2003.

- ROSSATO, D.R.; TONIATO, M.T.Z.; DURIGAN, G. Flora fanerogâmica não-arbórea do cerrado na Estação Ecológica de Assis, Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Botânica** (*no prelo*).
- ROUJEAN, J.L., BREON, F.M. Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements. **Remote Sensing of Environment**, v. 51, p. 375-384, 1995.
- ROUSE, Jr. W.; HASS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: THIRD EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3., Washington, 1973. **Proceedings**. Washington: NASA, 1974. v.1, p. 309-317.
- SABINS, F.F. **Remote sensing: principles and interpretation**. São Francisco. W.F. Freeman. 1978. 426 p.
- SAITO, M.; DURIGAN, G.; BAITELLO, J.B.; FRANCO, G.A.D.C.; PASTORE, J.A.; AGUIAR, O.T.; NAKATA, H. Ocorrência de espécies vegetais em diferentes condições de habitat e etapas do processo sucessional na região de Assis, SP. In: BÔAS, O.V.; DURIGAN, G. **Pesquisas em conservação e recuperação ambiental no oeste paulista**. São Paulo: Paginas & Letras, 2004. Capítulo 14. p. 242-264.
- SALGADO-LABOURIAU, M.L. Alguns aspectos sobre a paleoecologia dos Cerrados. In: SCARIOT, A.; SOUZA-SILVA, J.C.; FELFILI, J.M. **Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. 2005. Capítulo 5. p 107-118.
- SALGADO-LABOURIAU, M.L.; CASSETI, V.; FERRAZ-VICENTINI, K.R.; MARTIN, L.; SOUBIÈS, F.; SUGUIO, K.; TURCQ, B. Late Quaternary vegetational and climatic changes in cerrado and palm swamp from Central Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 128, p. 215-226, 1997.
- SALIS, S.M.; ASSIS, M.A.; MATTOS, P.P.; PIÃO, A.C.S. Estimating the aboveground biomass and wood volume of savanna woodlands in Brazil's Pantanal wetlands based on allometric correlations. **Forest Ecology and Management**, v. 228, p. 61-68, 2006.
- SALOMÃO, R.P.; NEPSTAD, D.C.; VIEIRA, I.C. Biomassa e estoque de carbono de florestas tropicais primárias e secundárias. In: GASCON, C.; MOUTINHO, P. **Floresta Amazônica: dinâmica, regeneração e manejo**. INPA, Manaus, 1998. Capítulo 6. p. 99-119.

- SANKARAN, M.; HANAN, N.P.; SCHOLES, R.J.; RATNAM, J.; AUGUSTINE, D.J.; CADE, B.S.; GIGNOUX, J.; HIGGINS, S.I.; ROUX, X.L.; LUGWIG, F.; ARDO, J.; BANYIKWA, F.; BRONN, A.; BUCINI, G.; CAYLOR, K.K.; COUGHENOUR, M.B.; DIOUF, A.; EKAYA, W.; FERAL, C.J.; FEBRUARY, E.C.; FROST, P.G.H.; HIERNAUX, P.; HRABAR, H.; METZGER, K.; PRINS, H.H.T.; RINGROSE, S.; SEA, W.; TEWS, J.; WORDEN, J.; ZAMBATIS, N. Determinants of woody cover in African savannas. **Nature**, v. 438, n. 8, p. 846-849, 2005.
- SANQUETA, C.R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETA, C.R.; WATZLAWICK, L.F.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M.A.; GOMES, F.S. **As florestas e o carbono**. UFPR, Curitiba, 2002. Capítulo 6. p. 119-140.
- SANTOS, J.; NETO, F.P.; HIGUCHI, N.; LEITE, H.G.; SOUZA, A.L.; VALE, A.B. Modelos estatísticos para estimar a fitomassa acima do nível do solo da floresta tropical úmida da Amazônia central. **Revista Árvore**, v. 25, n. 4, p. 445-454, 2001.
- SANTOS, J.R. **Biomassa aérea da vegetação de cerrado: estimativa e correlação com dados do sensor *Thematic Mapper* do satélite Landsat**. 1988. 156 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.
- SANTOS, J.R. O desenvolvimento de pesquisas com dados LIDAR e de microondas (Bandas X, L e P) em estudos florestais. In: DISPERATI, A.A.; SANTOS, J.R. **Sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas aplicados à engenharia florestal**. Anais 5º Seminário de atualização. Curitiba, 2002. p. 47-54.
- SANTOS, J.R.; FREITAS, C.C.; ARAÚJO, L.S.; DUTRA, L.V.; MURA, J.C.; GAMA, F.F.; SOLER, L.S.; SANT'ANNA, S.J.S. Airborne P-band SAR applied to the aboveground biomass studies in the Brazilian tropical rainforest. **Remote Sensing of Environment**, v. 87, p. 482-493, 2003.
- SCHOWENGERDT, R.A. **Remote sensing: models and methods for processing**. 2nd.ed. New York: Academic Press, 1997. 522 p.
- SERRA FILHO, R.; CAVALLI, A.C.; GUILLAUMON, J.R.; CHIARINI, J.V.; NOGUEIRA, F.P.; IVANCKO, C.M.A.M.; BARBIERI, J.L.; DONZELLI, P.L.; COELHO, A.G.S.; BITTENCOURT, L. Levantamento da cobertura natural e do reflorestamento no estado de São Paulo. **Boletim Técnico do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 11, p 1-56, 1974.
- SETZER, R. **Atlas climático e ecológico do Estado de São Paulo**. São Paulo. Comissão Interestadual da Bacia do Paraná-Uruguaí, 1966, 186 p.

- SHIMABUKURO, Y.E.; SMITH, J.A. The least-square mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing**, New York, v. 29, p. 6-20, 1991.
- SLATER, P.N. **Remote sensing: optics and optical systems**. Reading, MA: Addison-Wesley Publishing, 1980. 575 p.
- SMITH, M.O.; USTIN, S.L.; ADAMS, J.B.; GILLESPIE, A.R. Vegetation in deserts: a regional measure of abundance from multispectral images. **Remote Sensing of Environment**, v. 31, n. 1, p. 1-26, 1990.
- SØRENSEN, T. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content. **Det Kgl Danske Vidensk Selsk Biol Skr**, v. 5, p.1-34, 1948.
- SWAIN, P.H.; DAVIS, S.M. **Remote sensing: the quantitative approach**. New York: McGraw-Hill, 1978. 396 p.
- TAO, V.; HU, Y. A comprehensive study of the rational function model for photogrammetric processing. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 67, 12, p.1347-1357, 2001.
- TEIXEIRA, M.I.J.G.; ARAÚJO A.R.B.; VALERI, S.V.; RODRIGUES, R.R. Florística e fitossociologia de área de cerrado s.s no município de Patrocínio Paulista, nordeste do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 63, p. 1-11, 2004.
- TOPPA, R.H. 2004. **Estrutura e diversidade florística das diferentes fisionomias de Cerrado e suas correlações com o solo na Estação Ecológica de Jataí, Luiz Antônio, SP**. 2004 127 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal do São Carlos, São Carlos, 2004.
- TOUTIN, T.; CHENG, P. QuickBird: a milestone for high resolution mapping. **Earth Observation Magazine**, v. 11, n. 4, p. 14-18, 2002.
- TUCKER, C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, v. 8, p. 127-150, 1979.
- VALE; A.T.; FELFILI. J.M. Dry biomass distribution in a cerrado *sensu stricto* site in Brazil central. **Revista Árvore**, v. 29, n. 5, p. 661-669, 2005.
- WALTER, B.M.T. **Fitofisionomias do Bioma Cerrado: síntese terminológica e relações florísticas**. 2006. 373f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

- WALTER, H. **Vegetação e zonas climáticas: tratado de ecologia global**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universidade Ltda. 1986. 325 p.
- WATZLAWICK, L.F. **Estimativa de biomassa e carbono em floresta ombrófila mista e plantações florestais a partir de dados de imagens do satélite Ikonos II**. 2003. 130f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.
- WILLMOTT, C.J.; DAVIS, R.E.; FEDDEMA, J.J.; KLINK, K.M.; LEGATES, D.R.; ROWE, C.M.; ACKLESON, S.G.; O'DONNELL, J. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, v. 90, n. 12, p. 8995-9005, 1985.
- WOLF, P.R. **Elements of photogrammetry, with air photo interpretation and remote sensing**. 2 ed. New York: McGraw-Hill, 1983, 628 p.
- WULDER, M. Optical remote-sensing techniques for the assessment of forest inventory and biophysical parameters. **Progress in Physical Geography**, v. 22, n. 4, p. 449-476, 1998.
- WULDER, M.A.; HALL, R.J.; COOPS, N.C.; FRANKLIN, S.E. High spatial resolution remotely sensed data for ecosystem characterization. **BioScience**, v. 54, n. 6, p. 511-521, 2004.
- ZHENG, D.; RADEMACHER, J.; CHEN, J.; CROW, T.; BRESEE, M.; LE MOINE, J.; RYU, S. Estimating aboveground biomass using Landsat 7 ETM⁺ data across a managed landscape in northern Wisconsin, USA. **Remote Sensing of Environment**, v. 93, p. 402-411, 2004.

APÊNDICE A - Pontos de controle utilizados na ortorretificação da imagem *QuickBird* pancromática e fusão.

PONTO	E (m)	N (m)	h (m)	Erro E (m)	Erro N (m)	EMQ (m)
1	562277,1	7497523,6	591,1	-0,1	1,1	1,1
2	562210,3	7497306,0	592,8	1,3	-0,6	1,4
3	561502,7	7498128,2	568,5	-0,2	0,9	0,9
4	562747,6	7498286,3	582,7	1,3	0,7	1,4
5	562730,8	7498532,5	582,5	0,0	-3,8	3,8
6	561755,7	7499408,4	547,2	-1,3	-1,0	1,6
7	563551,8	7499465,3	579,0	-0,3	-0,9	1,0
8	565298,1	7497650,5	563,8	-0,4	-1,8	1,9
9	566119,3	7496924,0	560,7	-1,5	2,5	2,9
10	567968,8	7499882,6	500,9	0,5	-0,3	0,6
11	566253,9	7500762,0	540,4	3,9	0,9	4,0
12	565182,5	7500432,1	543,8	0,3	0,3	0,5
13	562376,2	7500597,2	574,0	-0,6	-2,5	2,5
14	562038,6	7501057,3	569,0	0,6	3,5	3,6
15	560335,5	7502761,8	543,1	0,5	1,4	1,5
16	561095,0	7501975,8	540,0	0,9	2,7	2,8
17	560971,0	7503301,3	542,7	-1,0	-0,2	1,0
18	562464,3	7503373,6	580,6	-4,3	-0,6	4,4
19	561462,5	7504584,4	566,6	2,5	-0,1	2,5
20	562714,5	7504823,6	593,8	-0,9	0,5	1,0
22	565924,8	7502924,5	548,2	-0,7	5,1	5,1
24	565848,0	7501241,3	530,5	-1,6	-3,7	4,1
25	561569,8	7505297,3	565,1	-0,1	-1,5	1,5
26	563323,6	7505461,1	590,2	2,9	-1,6	3,3
27	564616,7	7504991,1	592,5	-1,7	-1,0	1,9

EMQ: Erro médio quadrado; E: Leste; N: Norte; h: Altitude. Projeção: UTM; Zona: 22 S; Datum: SAD 69.

APÊNDICE B - Parâmetros fitossociológicos das espécies arbóreas ($DAP \geq 5\text{cm}$) do cerrado típico da Estação Ecológica de Assis, em ordem decrescente de **IVI** (índice do valor de importância), **n** (número de indivíduos), **DA** (densidade absoluta - n.ha^{-1}), **DR** (densidade relativa - %), **FR** (frequência relativa - %), **DoA** (dominância absoluta - $\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$) e **DoR** (dominância relativa - %).

Espécie	n	DA	DR	FR	DoA	DoR	IVI
<i>Ocotea corymbosa</i>	186	186	20,7	5,0	1,5	19,0	44,8
<i>Vochysia tucanorum</i>	125	125	13,9	5,0	1,9	24,5	43,5
<i>Copaifera langsdorffii</i>	110	110	12,3	5,0	1,0	12,6	29,9
<i>Gochnatia polymorpha</i>	49	49	5,5	4,0	0,9	11,5	21,0
<i>Stryphnodendron obovatum</i>	73	73	8,1	5,0	0,3	3,8	16,9
<i>Eriotheca gracilipes</i>	60	60	6,7	4,5	0,4	5,2	16,4
<i>Machaerium acutifolium</i>	29	29	3,2	4,5	0,2	3,0	10,7
<i>Qualea cordata</i>	38	38	4,2	2,5	0,2	2,0	8,7
<i>Dimorphandra mollis</i>	23	23	2,6	4,5	0,1	1,6	8,7
<i>Myrcia lingua</i>	12	12	1,3	3,5	0,2	2,0	6,8
<i>Qualea grandiflora</i>	16	16	1,8	2,5	0,1	1,6	5,9
<i>Ouratea spectabilis</i>	12	12	1,3	3,5	0,1	0,9	5,7
<i>Myrcia guianensis</i>	14	14	1,6	3,0	0,1	1,0	5,6
<i>Acosmium subelegans</i>	14	14	1,6	3,0	0,1	1,0	5,6
<i>Myrcia bella Cambess</i>	11	11	1,2	3,0	0,1	1,3	5,5
<i>Tabebuia ochracea</i>	14	14	1,6	3,0	0,0	0,6	5,2
<i>Annona crassiflora</i>	10	10	1,1	2,5	0,1	1,0	4,6
<i>Platypodium elegans</i>	10	10	1,1	2,0	0,1	1,1	4,2
<i>Myrcia multiflora</i>	11	11	1,2	2,0	0,1	0,8	4,0
<i>Eugenia aurata</i>	8	8	0,9	2,0	0,0	0,4	3,3
<i>Piptocarpha rotundifolia</i>	6	6	0,7	2,0	0,0	0,5	3,2
<i>Rapanea umbellata</i>	5	5	0,6	2,0	0,0	0,2	2,8
<i>Anadenanthera falcata</i>	7	7	0,8	1,5	0,0	0,5	2,8
<i>Xylopia aromatica</i>	5	5	0,6	2,0	0,0	0,2	2,7
<i>Austroplenkia populnea</i>	3	3	0,3	1,5	0,1	0,7	2,6
<i>Myrcia venulosa</i>	4	4	0,4	1,5	0,0	0,2	2,2
<i>Scheffera vinosa</i>	3	3	0,3	1,5	0,0	0,2	2,1
<i>Myrciaria delicatula</i>	3	3	0,3	1,5	0,0	0,1	2,0
<i>Psidium pohlianum</i>	3	3	0,3	1,5	0,0	0,1	1,9
<i>Tapirira guianensis</i>	3	3	0,3	1,5	0,0	0,1	1,9
<i>Erythroxylum suberosum</i>	4	4	0,4	1,0	0,0	0,2	1,6
<i>Pouteria ramiflora</i>	2	2	0,2	1,0	0,0	0,2	1,5
<i>Aspidosperma tomentosum</i>	2	2	0,2	1,0	0,0	0,2	1,4
<i>Caryocar brasiliense</i>	2	2	0,2	1,0	0,0	0,2	1,4
<i>Plathymenia reticulata</i>	2	2	0,2	1,0	0,0	0,1	1,3
<i>Prunus myrtifolia</i>	2	2	0,2	1,0	0,0	0,1	1,3
<i>Luehea grandiflora</i>	1	1	0,1	0,5	0,0	0,3	1,0
<i>Diospyros hispida</i>	2	2	0,2	0,5	0,0	0,1	0,8
<i>Tabebuia aurea</i>	1	1	0,1	0,5	0,0	0,2	0,8
<i>Lafoensia pacari</i>	2	2	0,2	0,5	0,0	0,1	0,8
<i>Machaerium brasiliense</i>	1	1	0,1	0,5	0,0	0,1	0,7
<i>Kielmeyera coriacea</i>	1	1	0,1	0,5	0,0	0,1	0,7
<i>Myrcia prunifolia</i>	1	1	0,1	0,5	0,0	0,1	0,7
<i>Annona coriacea</i>	1	1	0,1	0,5	0,0	0,0	0,7
<i>Matayba elaeagnoides</i>	1	1	0,1	0,5	0,0	0,0	0,7
<i>Myrcia cf lingua</i>	1	1	0,1	0,5	0,0	0,0	0,7

continua

							conclusão
<i>Connarus suberosus</i>	1	1	0,1	0,5	0,0	0,0	0,6
<i>Casearia lasiophylla</i>	1	1	0,1	0,5	0,0	0,0	0,6
<i>Eugenia livida</i>	1	1	0,1	0,5	0,0	0,0	0,6
<i>Pera obovata</i>	1	1	0,1	0,5	0,0	0,0	0,6
Cerrado típico Total	897	897	100,0	100,0	7,8	100,0	300,0

APÊNDICE C - Parâmetros fitossociológicos das espécies arbóreas (DAP \geq 5cm) do cerrado denso da Estação Ecológica de Assis, em ordem decrescente de **IVI** (índice do valor de importância). **n** (número de indivíduos), **DA** (densidade absoluta - n.ha⁻¹), **DR** (densidade relativa - %), **FR** (frequência relativa - %), **DoA** (dominância absoluta - m².ha⁻¹) e **DoR** (dominância relativa - %).

Espécie	ni	DA	DR	FR	DoA	DoR	IVI
<i>Vochysia tucanorum</i>	288	288	25,2	4,9	3,7	32,0	62,1
<i>Ocotea corymbosa</i>	250	250	21,9	4,9	2,7	23,0	49,8
<i>Copaifera langsdorffii</i>	68	68	5,9	4,9	0,7	5,8	16,6
<i>Anadenanthera falcata</i>	60	60	5,2	2,4	0,9	7,8	15,5
<i>Machaerium acutifolium</i>	44	44	3,8	4,4	0,5	4,1	12,4
<i>Stryphnodendron obovatum</i>	54	54	4,7	4,4	0,2	1,9	11,1
<i>Gochmatia polymorpha</i>	24	24	2,1	3,4	0,4	3,3	8,8
<i>Myrcia bella</i>	21	21	1,8	4,4	0,3	2,2	8,4
<i>Dimorphandra mollis</i>	19	19	1,7	3,9	0,2	1,9	7,5
<i>Eriotheca gracilipes</i>	28	28	2,4	3,4	0,2	1,5	7,4
<i>Rapanea umbellata</i>	21	21	1,8	4,9	0,1	0,5	7,2
<i>Annona crassiflora</i>	18	18	1,6	3,9	0,2	1,6	7,1
<i>Acosmium subelegans</i>	27	27	2,4	3,4	0,1	1,1	6,9
<i>Xylopia aromatica</i>	33	33	2,9	2,4	0,1	1,3	6,6
<i>Myrcia guianensis</i>	27	27	2,4	2,4	0,1	1,0	5,8
<i>Qualea cordata</i>	20	20	1,7	2,9	0,1	1,0	5,7
<i>Tabebuia ochracea</i>	18	18	1,6	2,4	0,1	0,7	4,8
<i>Myrcia multiflora</i>	11	11	1,0	2,9	0,0	0,4	4,2
<i>Tapirira guianensis</i>	12	12	1,0	2,4	0,1	0,8	4,2
<i>Ouratea spectabilis</i>	12	12	1,0	2,4	0,1	0,6	4,1
<i>Qualea grandiflora</i>	6	6	0,5	1,5	0,2	1,9	3,9
<i>Byrsonima laxiflora</i>	13	13	1,1	1,0	0,1	0,9	3,1
<i>Pera obovata</i>	7	7	0,6	2,0	0,0	0,2	2,8
<i>Miconia ligustroides</i>	6	6	0,5	2,0	0,0	0,2	2,7
<i>Piptocarpha rotundifolia</i>	4	4	0,3	2,0	0,0	0,3	2,6
<i>Eugenia aurata</i>	4	4	0,3	2,0	0,0	0,2	2,5
<i>Plathymenia reticulata</i>	4	4	0,3	1,0	0,1	0,5	1,9
<i>Myrcia venulosa</i>	4	4	0,3	1,0	0,0	0,2	1,5
<i>Myrcia lingua</i>	2	2	0,2	1,0	0,0	0,2	1,3
<i>Syagrus romanzoffiana</i>	2	2	0,2	1,0	0,0	0,1	1,3
<i>Myrcia cf lingua</i>	2	2	0,2	1,0	0,0	0,1	1,3
<i>Byrsonima basiloba</i>	2	2	0,2	1,0	0,0	0,1	1,3
<i>Diospyros hispida</i>	2	2	0,2	1,0	0,0	0,1	1,2
<i>Erythroxylum tortuosum</i>	2	2	0,2	1,0	0,0	0,1	1,2
<i>Styrax ferrugineus</i>	2	2	0,2	1,0	0,0	0,1	1,2
<i>Eugenia pluriflora</i>	2	2	0,2	1,0	0,0	0,0	1,2
<i>Pouteria ramiflora</i>	4	4	0,3	0,5	0,0	0,3	1,1
<i>Terminalia glabrescens</i>	2	2	0,2	0,5	0,0	0,4	1,0
<i>Licania humilis</i>	1	1	0,1	0,5	0,0	0,4	1,0
<i>Eugenia livida</i>	2	2	0,2	0,5	0,0	0,2	0,8
<i>Machaerium brasiliense</i>	1	1	0,1	0,5	0,0	0,2	0,7
<i>Caryocar brasiliense</i>	2	2	0,2	0,5	0,0	0,1	0,7
<i>Aspidosperma tomentosum</i>	1	1	0,1	0,5	0,0	0,1	0,7
<i>Persea wildenovii</i>	1	1	0,1	0,5	0,0	0,1	0,6
<i>Byrsonima intermedia</i>	1	1	0,1	0,5	0,0	0,0	0,6

continua

							conclusão
<i>Guapira noxia</i>	1	1	0,1	0,5	0,0	0,0	0,6
<i>Symplocos mosenii</i>	1	1	0,1	0,5	0,0	0,0	0,6
<i>Daphnopsis fasciculata</i>	1	1	0,1	0,5	0,0	0,0	0,6
<i>Qualea multiflora</i>	1	1	0,1	0,5	0,0	0,0	0,6
<i>Maprounea guianensis</i>	1	1	0,1	0,5	0,0	0,0	0,6
<i>Miconia sellowiana</i>	1	1	0,1	0,5	0,0	0,0	0,6
<i>Lafoensia pacari</i>	1	1	0,1	0,5	0,0	0,0	0,6
<i>Rapanea ferruginea</i>	1	1	0,1	0,5	0,0	0,0	0,6
<i>Gochmatia barrosii</i>	1	1	0,1	0,5	0,0	0,0	0,6
Cerrado denso Total	1143	1143	100,0	100,0	11,5	100,0	300,0

APÊNDICE D - Parâmetros fitossociológicos das espécies arbóreas ($DAP \geq 5\text{cm}$) do cerrado da Estação Ecológica de Assis, em ordem decrescente de **IVI** (índice do valor de importância). **n** (número de indivíduos), **DA** (densidade absoluta - n.ha^{-1}), **DR** (densidade relativa - %), **FR** (frequência relativa - %), **DoA** (dominância absoluta - $\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$) e **DoR** (dominância relativa - %).

Espécie	n	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	IVI
<i>Copaifera langsdorffii</i>	296	296	16.6	90,0	3,4	5,2	24,2	44,2
<i>Protium heptaphyllum</i>	184	184	10.3	90,0	3,4	1,4	6,7	20,4
<i>Ocotea corymbosa</i>	112	112	6.3	100,0	3,7	2,1	9,9	19,9
<i>Pera obovata</i>	71	71	4.0	100,0	3,7	1,6	7,7	15,4
<i>Faramea montevidensis</i>	150	150	8.4	80,0	3,0	0,8	4,0	15,4
<i>Xylopia aromatica</i>	132	132	7.4	100,0	3,7	0,6	2,8	14,0
<i>Vochysia tucanorum</i>	51	51	2.9	70,0	2,6	1,0	4,8	10,3
<i>Tapirira guianensis</i>	51	51	2.9	90,0	3,4	0,8	3,5	9,7
<i>Nectandra cuspidata</i>	71	71	4.0	80,0	3,0	0,5	2,4	9,4
<i>Byrsonima laxiflora</i>	50	50	2.8	80,0	3,0	0,7	3,3	9,1
<i>Persea wildenovii</i>	31	31	1.7	90,0	3,4	0,8	3,9	9,0
<i>Mabea fistulifera</i>	62	62	3.5	30,0	1,1	0,9	4,1	8,7
<i>Amaioua intermedia</i>	54	54	3.0	90,0	3,4	0,4	1,7	8,1
<i>Siparuna guianensis</i>	61	61	3.4	90,0	3,4	0,2	0,8	7,6
<i>Machaerium acutifolium</i>	31	31	1.7	100,0	3,7	0,3	1,6	7,1
<i>Terminalia glabrescens</i>	28	28	1.6	70,0	2,6	0,5	2,2	6,4
<i>Myrcia multiflora</i>	40	40	2.2	80,0	3,0	0,1	0,6	5,9
<i>Pouteria ramiflora</i>	25	25	1.4	70,0	2,6	0,3	1,3	5,3
<i>Maprounea guianensis</i>	18	18	1.0	60,0	2,2	0,1	0,6	3,9
<i>Rapanea umbellata</i>	15	15	0.8	70,0	2,6	0,1	0,3	3,8
<i>Sclerobium paniculatum</i>	5	5	0.3	30,0	1,1	0,5	2,3	3,7
<i>Rapanea ferruginea</i>	15	15	0.8	60,0	2,2	0,1	0,4	3,5
<i>Qualea grandiflora</i>	12	12	0.7	50,0	1,9	0,2	0,9	3,5
<i>Platypodium elegans</i>	32	32	1.8	10,0	0,4	0,3	1,3	3,5
<i>Qualea cordata</i>	17	17	1.0	40,0	1,5	0,2	0,8	3,3
<i>Myrcia guianensis</i>	12	12	0.7	60,0	2,2	0,0	0,2	3,1
<i>Anadenanthera falcata</i>	9	9	0.5	40,0	1,5	0,2	1,1	3,1
<i>Myrcia venulosa</i>	14	14	0.8	50,0	1,9	0,1	0,3	3,0
<i>Bowdichia virgilioides</i>	6	6	0.3	50,0	1,9	0,2	0,8	3,0
<i>Syagrus romanzoffiana</i>	10	10	0.6	50,0	1,9	0,1	0,5	3,0
<i>Pseudolmedia laevigata</i>	14	14	0.8	40,0	1,5	0,1	0,3	2,5
<i>Daphnopsis fasciculata</i>	14	14	0.8	30,0	1,1	0,1	0,4	2,4
<i>Gochnatia polymorpha</i>	5	5	0.3	30,0	1,1	0,1	0,6	2,0
<i>Styrax camporum</i>	4	4	0.2	40,0	1,5	0,0	0,2	1,9
<i>Symplocos mosenii</i>	4	4	0.2	20,0	0,7	0,1	0,5	1,4
<i>Machaerium brasiliense</i>	3	3	0.2	20,0	0,7	0,1	0,4	1,3
<i>Andira anthelmia</i>	3	3	0.2	20,0	0,7	0,0	0,1	1,0
<i>Gomidesia lindeniana</i>	3	3	0.2	20,0	0,7	0,0	0,1	1,0
<i>Eugenia aurata</i>	3	3	0.2	20,0	0,7	0,0	0,1	1,0
<i>Myrcia fallax</i>	3	3	0.2	20,0	0,7	0,0	0,1	1,0
<i>Myrcia bella</i>	2	2	0.1	20,0	0,7	0,0	0,1	1,0
<i>Miconia ligustroides</i>	4	4	0.2	20,0	0,7	0,0	0,0	1,0
<i>Styrax pohlilii</i>	2	2	0.1	20,0	0,7	0,0	0,1	1,0
<i>Byrsonima sp2</i>	6	6	0.3	10,0	0,4	0,0	0,2	0,9
<i>Eugenia pluriflora</i>	7	7	0.4	10,0	0,4	0,0	0,1	0,9
<i>Ocotea velloziana</i>	3	3	0.2	10,0	0,4	0,0	0,1	0,7

continua

							conclusão	
<i>Croton floribundus</i>	2	2	0.1	10,0	0,4	0,0	0,2	0,6
<i>Tabebuia ochracea</i>	2	2	0.1	10,0	0,4	0,0	0,1	0,6
<i>Plathymenia reticulata</i>	3	3	0.2	10,0	0,4	0,0	0,1	0,6
<i>Maytenus robusta</i>	3	3	0.2	10,0	0,4	0,0	0,0	0,6
<i>Alchornea triplinervia</i>	2	2	0.1	10,0	0,4	0,0	0,1	0,6
<i>Qualea multiflora</i>	2	2	0.1	10,0	0,4	0,0	0,1	0,6
<i>Xylopia brasiliensis</i>	1	1	0.1	10,0	0,4	0,0	0,1	0,5
<i>Nectandra lanceolata</i>	1	1	0.1	10,0	0,4	0,0	0,1	0,5
<i>Eriotheca gracilipes</i>	1	1	0.1	10,0	0,4	0,0	0,1	0,5
<i>Ocotea velutina</i>	2	2	0.1	10,0	0,4	0,0	0,0	0,5
<i>Guapira opposita</i>	1	1	0.1	10,0	0,4	0,0	0,1	0,5
<i>Pouteria sp</i>	1	1	0.1	10,0	0,4	0,0	0,1	0,5
<i>Ficus guaranitica</i>	1	1	0.1	10,0	0,4	0,0	0,1	0,5
<i>Dalbergia miscolobium</i>	1	1	0.1	10,0	0,4	0,0	0,1	0,5
<i>Miconia sellowiana</i>	1	1	0.1	10,0	0,4	0,0	0,1	0,5
<i>Acosmium subelegans</i>	1	1	0.1	10,0	0,4	0,0	0,1	0,5
<i>Clethra scabra</i>	1	1	0.1	10,0	0,4	0,0	0,0	0,5
<i>Byrsonima basiloba</i>	1	1	0.1	10,0	0,4	0,0	0,0	0,5
<i>Couepia grandiflora</i>	1	1	0.1	10,0	0,4	0,0	0,0	0,5
<i>Roupala montana</i>	1	1	0.1	10,0	0,4	0,0	0,0	0,5
<i>Guapira noxia</i>	1	1	0.1	10,0	0,4	0,0	0,0	0,5
<i>Piptocarpha axillaris</i>	1	1	0.1	10,0	0,4	0,0	0,0	0,4
<i>Myrcia rostrata</i>	1	1	0.1	10,0	0,4	0,0	0,0	0,4
<i>Luehea grandiflora</i>	1	1	0.1	10,0	0,4	0,0	0,0	0,4
<i>Ilex paraguariensis</i>	1	1	0.1	10,0	0,4	0,0	0,0	0,4
Cerradão Total	1779	1779	100.0	2670,0	100,0	21,4	100,0	300,0

APÊNDICE E - Monitoramento climatológico: Assis, SP no período de 01/06/2006 até 30/07/2006.

Período	Temp. max. abs	Temp. min. abs	Média temp. max.	Média temp. min.	Temp. Média	Evapo-transpiração Potencial	Chuva	Chuva Acumulada Mensal	Dias Com Chuva no Mês
	(°C)					(mm)			
01/06/2006 a 04/06/2006	27,8	10,8	25,3	11,8	18,6	7	0	0	0
05/06/2006 a 07/06/2006	28,2	11,2	27,1	12,3	19,7	5	4,2	4,2	2
08/06/2006 a 11/06/2006	28	8,4	27,2	9,6	18,4	7	0	4,2	2
12/06/2006 a 14/06/2006	28,6	9	27,1	10,3	18,7	5	0	4,2	2
15/06/2006 a 18/06/2006	28	8,2	25,7	10,1	17,9	7	0	4,2	2
19/06/2006 a 21/06/2006	28,2	9,4	27,6	10,5	19,1	5	0	4,2	2
22/06/2006 a 25/06/2006	28,6	10,8	27,1	11,9	19,5	7	0	4,2	2
26/06/2006 a 28/06/2006	25	5,2	21,8	7	14,4	4	12,2	16,4	3
29/06/2006 a 02/07/2006	21	8	19,7	10,5	15,1	6	0	0	0
03/07/2006 a 05/07/2006	27	8,8	26	10,3	18,1	5	8	8	1
06/07/2006 a 09/07/2006	30,4	11	27,9	12,2	20	8	0	8	1
10/07/2006 a 12/07/2006	29	8,8	28,1	10,7	19,4	6	0	8	1
13/07/2006 a 16/07/2006	29,2	8	26,7	10,3	18,5	7	0	8	1
17/07/2006 a 19/07/2006	27,6	8,4	26,9	10,1	18,5	5	0	8	1
20/07/2006 a 23/07/2006	31,6	11,8	26,8	12,2	19,5	7	0	8	1
24/07/2006 a 26/07/2006	32,2	9,6	31,7	10,2	20,9	6	0	8	1
27/07/2006 a 30/07/2006	33,5	11,2	33	12,7	22,9	9	0	8	1

Fonte: CIIAGRO ONLine - <http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/>

APÊNDICE F - Parâmetros utilizados para a correção atmosférica da imagem *QuickBird* da Estação Ecológica de Assis, SP.

FLAASH Atmospheric Correction Model - MODTRAN 4⁺

Scene center location: -22,59079933; -50,37540054

Sensor type: QuickBird

Sensor altitude (km): 450

Ground elevation (km): 0,553

Pixel size (m): 2,4

Flight date: July 04 2006

Flight time GMT (HH:MM:SS): 13: 58: 13

Atmospheric model: Mid-Latitude Summer

Water column multiplier: 1,0

Aerosol model: Rural

Aerosol retrieval: None

Initial visibility (km): 35

FLAASH Advanced settings

Aerosol scale height (km): 2,0

CO₂ mixing ratio (ppm): 390

Use square slit function: No

Use adjacency correction: Yes

Reuse MODTRAN calculations: No

MODTRAN resolution: 15 cm⁻¹

MODTRAN multiscatter model: Scaled Disort

Number of Disort streams: 8

For non-nadir looking instruments

Zenith angle: 172,00

Azimuth angle: 26,00

Use tiled processing: Yes

Tile size (Mb): 100

Radiance image: Full scene

Re-define scale factor for radiance image

Output reflectance scale factor: 10

Automatically save template file: Yes

Output diagnostic file: No

APÊNDICE G - Parâmetros utilizados para correção atmosférica da imagem *TM/Landsat* da Estação Ecológica de Assis, SP.

FLAASH Atmospheric Correction Model - MODTRAN 4⁺

Scene center location: -22,59079933; -50,37540054

Sensor type: LANDSAT TM5

Sensor altitude (km): 705

Ground elevation (km): 0,553

Pixel size (m): 30

Flight date: Jun 24 2006

Flight time GMT (HH:MM:SS): 13: 09: 40

Atmospheric model: Mid-Latitude Summer

Water column multiplier: 1,0

Aerosol model: Rural

Aerosol retrieval: None

Initial visibility (km): 35

FLAASH Advanced settings

Aerosol scale height (km): 2,0

CO₂ mixing ratio (ppm): 390

Use square slit function: No

Use adjacency correction: Yes

Reuse MODTRAN calculations: No

MODTRAN resolution: 15 cm⁻¹

MODTRAN multiscatter model: Scaled Disort

Number of Disort streams: 8

For non-nadir looking instruments

Zenith angle: 180

Azimuth angle: 35,7992

Use tiled processing: Yes

Tile size (Mb): 100

Radiance image: Full scene

Re-define scale factor for radiance image

Output reflectance scale factor: 10

Automatically save template file: Yes

Output diagnostic file: No

APÊNDICE H - Programa desenvolvido no Matlab para analisar as relações entre a fitomassa aérea de cerrado e os dados de sensoriamento remoto.

```

% -----
% Início do programa
% -----

close

all % fecha todas as figuras
clear all % fecha todos os arquivos

format

long % define o formato do número
zzz=1 % índice para gravar os dados
ind={
'c_kb', 'cg_kb', 'c_tm', 'cg_tm' ;
'Cerrado x QuickBird', 'Cerradão x QuickBird', 'Cerrado x TM', 'Cerradão x TM'}; % Matriz com o nome das
planilhas
for
x=1:2:8 % Ler o arquivo do excel
[dados colunas]=xlsread(
'F:\eduardo\corrigido.xls',ind{x});
for i =1:2 % aplicar o bootstrap para a regressão e correlação e gravar os dados
for j=3:length(dados)
[a b]=bootstrp(1000,
'robustfit',dados(:,j),dados(:,i));
ccf=bootstrp(10000,
'corrcoef',dados(:,j),dados(:,i));
[e f]=robustfit(dados(:,j),dados(:,i));
ss = {ind{x+1};[ colunas{i} ' e ' colunas{j}]}];
res(zzz,:)= [mean(a(1,:)) min(a(:,1)) max(a(:,1)) mean(b(:,1)) min(b(:,1)) max(b(:,1)) mean(ccf(:,2)) min(ccf(:,2))
max(ccf(:,2)) f.robust_s f.p(1) f.p(2) ];
qq(zzz,:)=ss;
zzz=1+zzz
end
end
end
% -----
% Fim do programa
% -----

```


APÊNDICE I – Resultados das análises por componentes principais das imagens *QuickBird* e *TM/Landsat-5*.

a) Imagem QuickBird

	Média	Variância
B1	191,98	2047,49
B2	162,76	2496,6
B3	117,65	3373,16
B4	158,16	2675,99

	Auto-valor	Porcentagem
P1	8228,12	77,6
P2	1941,46	18,3
P3	345,24	3,2
P4	78,42	0,7

Matriz de covariância				
	B1	B2	B3	B4
B1	2496,6	1510,76	2657,82	2097,81
B2	1510,76	2675,99	1057,65	1385,09
B3	2657,82	1057,65	3373,16	2128,8
B4	2097,81	1385,09	2128,8	2047,49

Matriz de correlação				
	B1	B2	B3	B4
B1	1,000	0,584	0,916	0,928
B2	0,584	1,000	0,352	0,592
B3	0,916	0,352	1,000	0,81
B4	0,928	0,592	0,81	1,000

Matriz de Auto-vetores				
	P1	P2	P3	P4
P1	0,54	0,38	0,59	0,47
P2	-0,09	0,87	-0,48	0,00
P3	0,09	-0,28	-0,53	0,79
P4	0,83	-0,12	-0,38	-0,39

b) Imagem TM/Landsat

	Média	Variância
B1	129,60	8217,74
B2	106,67	6912,45
B3	90,15	6752,60
B4	94,45	5608,30
B5	85,72	6328,66
B7	82,39	6651,71

	Auto-valor	Porcentagem
P1	34613,73	85,53
P2	4300,32	10,63
P3	828,14	2,05
P4	454,83	1,12
P5	158,24	0,39
P6	116,20	0,29

Matriz de covariância						
	B1	B2	B3	B4	B5	B7
B1	6752,60	3203,96	6136,61	6494,60	6330,84	6720,82
B2	3203,96	5608,30	3198,39	4301,08	2390,30	4805,16
B3	6136,61	3198,39	6328,66	5945,58	6231,67	6267,69
B4	6494,60	4301,08	5945,58	6912,45	5865,47	7168,31
B5	6330,84	2390,30	6231,67	5865,47	6651,71	6188,40
B7	6720,82	4805,16	6267,69	7168,31	6188,40	8217,74

Matriz de correlação						
	B1	B2	B3	B4	B5	B7
B1	1,000	0,521	0,939	0,951	0,945	0,902
B2	0,521	1,000	0,537	0,691	0,391	0,708
B3	0,939	0,537	1,000	0,899	0,960	0,869
B4	0,951	0,691	0,899	1,000	0,865	0,951
B5	0,945	0,391	0,960	0,865	1,000	0,837
B7	0,902	0,708	0,869	0,951	0,837	1,000

Matriz de Auto-vetores						
	P1	P2	P3	P4	P5	P7
P1	0,43	0,41	0,41	0,27	0,44	0,47
P2	-0,21	-0,21	-0,42	0,83	0,1	0,18
P3	0,15	-0,56	-0,29	-0,41	0,3	0,56
P4	-0,52	0,18	0,2	-0,07	-0,5	0,64
P5	-0,37	0,59	-0,51	-0,25	0,43	0,01
P7	-0,59	-0,3	0,52	0,01	0,52	-0,15

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)