



UNICAMP

NÚMERO: 130/2010

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL**

SÉRGIO HENRIQUE VANNUCCHI LEME DE MATTOS

**COMPLEXIDADE DOS PADRÕES ESPACIAIS E ESPECTRAIS DE
FITOFISIONOMIAS DE CERRADO NO ESTADO DE SÃO PAULO**

Tese apresentada ao Instituto de Geociências como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Archimedes Perez Filho

CAMPINAS - SÃO PAULO
agosto - 2010

Catálogo na Publicação elaborada pela Biblioteca do Instituto de Geociências/UNICAMP

M436c Mattos, Sérgio Henrique Vannucchi Leme de.
Complexidade dos padrões espaciais e espectrais de fitofisionomias de Cerrado no estado de São Paulo / Sergio Henrique Vannucchi Leme de Mattos-- Campinas,SP.: [s.n.], 2010.

Orientador: Archimedes Perez Filho.
Tese (doutorado) Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.

1. Cerrados. 2. Complexidade. 3. Fractals. I. Perez Filho, Archimedes II. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. III. Título.

Título em ingles: Complexity of spatial and spectral patterns of Cerrado's phytophysionomies in São Paulo State (Brazil)

Keywords: - Cerrado;
- Complexity;
- Fractal.

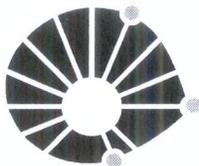
Área de concentração: Análise Ambiental e Dinâmica Territorial

Titulação: Doutor em Ciências.

Banca examinadora: - Archimedes Perez Filho;
- Ailton Luchiari;
- Carlos Roberto Espindola;
- Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto;
- Sueli Ângelo Furlan.

Data da defesa: 27/08/2010

Programa de Pós-graduação em Geografia.



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA DE ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL

AUTOR: Sérgio Henrique Vannucchi Leme de Mattos

“Complexidade dos Padrões Espaciais e Espectrais de Fitofisionomias de Cerrado
no Estado de São Paulo”

ORIENTADOR: Prof. Dr. Archimedes Perez Filho

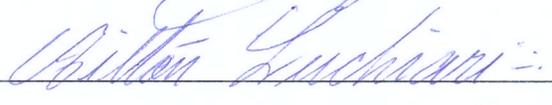
Aprovada em: 27 / 08 / 2010

EXAMINADORES:

Prof. Dr. Archimedes Perez Filho  _____ - Presidente

Profa. Dra. Sueli Ângelo Furlan  _____

Prof. Dr. Carlos Roberto Espindola  _____

Prof. Dr. Ailton Luchiani  _____

Prof. Dr. Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto  _____

Campinas, 27 de agosto de 2010

Dedico esse trabalho

à minha esposa Lilian

"Eu sem você não tenho porquê, eu sem você sou só desamor"

aos meus filhos Davi e João

"Se não os temos, como sabê-los? Que coisa linda que os filhos são"

à minha mãe Miriam

"As cores de abril, os ares de anil, o mundo se abriu em flor"

à Vida

Que incessantemente busca conduzir a dança com sua parceira entropia

“(...)Em o que afundamos num cerrado de mangabal, indo sem volvência, até perto da hora do almoço. Mas o terreno aumentava de soltado. E as árvores iam se abaixando menorzinhas, arregaçavam saia no chão. De vir lá, só algum tatú, por mel e mangaba. Depois, se acabavam as mangabaranas e mangabeirinhas. Ali onde o campo larguêia. Os urubús em vasto espaceavam. Se acabou o capinzal de campim-redondo e paspalho, e paus espinhosos, que mesmo as môitas daquele de prateados fexies, capins assins. Acabava o grameal, naquelas paragens pardas. Aquilo vindo aos poucos, dava um peso extrato, o mundo se envelhecendo, no descampante. Acabou o sapé brabo do chapadão. A gente olhava para trás. Daí, o sol não deixava olhar rumo nenhum. Vi a luz, castigo. Um gavião-andorim: foi o fim de pássaro que a gente divulgou. Achante, pois, se estava naquela coisa – taperão de tudo, fofo ocado, arreverso. Era uma terra diferente, louca, e lagoa de areia. Onde é que seria o sobejo dela, confinante? O sol vertia no chão, com sal, enfaiscava. De longe, capinas mortos; e uns tufos de seca planta – feito cabeleira sem cabeça. Asexualastrava a distância, adiante, um amarelo vapor. E o fogo começou a entrar, com o ar, nos pobres peitos da gente.”

João Guimarães Rosa – “Grande Sertão: Veredas”

(início da 1ª travessia (frustrada) no Liso do Sussuarão)

“A prova de fogo da utilidade da ecologia da paisagem é verificar se podemos encontrar padrões que forneçam habilidade de predição e que sejam aplicáveis a qualquer paisagem.”

Richard Forman & Michel Godron

*Garrafa de vinho com rótulo de um gato (de botas) segurando uma
Garrafa de vinho com rótulo de um gato (de botas) segurando uma
Garrafa de vinho com rótulo de um gato (de botas) segurando uma
Garrafa de vinho com rótulo de um gato (de botas) segurando uma
Garrafa...*



AGRADECIMENTOS

- ao Prof. Dr. Archimedes Perez Filho, pela orientação, apoio e confiança ao longo de todos esses anos;
- à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela bolsa de estudos concedida durante parte do doutorado;
- aos meus pais, irmãos e familiares, que estiveram sempre presentes nas alegrias e etapas difíceis da vida. Gratidões especiais à Tia Beth, Tia Sylvinha e Tio Adipe, por toda preocupação e apoio durante uma dessas etapas;
- aos colegas da Escola Comunitária de Campinas, pela incrível energia a mim transmitida durante essa mesma etapa. Agradecimentos especiais à Maria Ida Testolino e Ângela Rondino, e mais do que especiais à Dalila Figueiredo;
- ao Prof. Dr. José Roberto Castilho Piqueira, por me ajudar a lidar com a complexidade dos dados e da vida;
- ao Luiz Eduardo Vicente, pelas inestimáveis (e incontáveis) ajudas em todas as etapas do trabalho;
- ao Prof. Dr. Carlos Roberto de Souza Filho, pela disponibilização das imagens do ASTER;
- ao Instituto Florestal, na pessoa de seus pesquisadores e funcionários das Estações Ecológicas e/ou Experimentais de Assis, Itirapina e Jataí. Em especial: ao Pq.Cient. Antônio Carlos G. de Mello e ao funcionário João (E.E.Assis); ao Pq.Cient. Paulo Rufino (E.E.Itirapina); ao gestor Edson Montilha, à funcionária Cícera e ao ex-funcionário Sebastião (E.E.Jataí);
- ao Salvador Carpi Júnior, pela companhia e ajuda nos trabalhos de campo;
- aos membros do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia – Sistemas Complexos (INCT-SC), pelas sugestões e trocas de conhecimento durante a “2ª Reunião de Trabalho do INCT-SC”;
- aos Profs. Dr. Ricardo Paulino Marques e Fuad Kassab Júnior (PTC/Poli-USP), pela ajuda no uso do MatLab e FracLab;
- ao Dr. Helder Tedeschi e sua equipe, cuja competência e perícia permitiram que eu prosseguisse na jornada da vida;
- à Elizabete Mergulhão (Sappe-Unicamp), que me ajudou a ter a tranquilidade necessária para acabar a tese sem que ela acabasse comigo.

ÍNDICE

1) INTRODUÇÃO.....	p.1
2) OBJETIVOS.....	p.3
3) EMBASAMENTO TEÓRICO.....	p.5
3.1) Cerrado.....	p.5
3.2) O Cerrado no estado de São Paulo.....	p.10
3.3) O estudo da paisagem.....	p.11
3.4) Origens do paradigma da complexidade.....	p.13
3.5) Métricas da paisagem.....	p.15
3.6) Contribuições do paradigma da complexidade ao estudo da organização e dinâmica do Cerrado.....	p.17
4) MATERIAL E MÉTODOS.....	p.25
4.1) Localidades de estudo.....	p.25
4.2) Análises textural e espectral das imagens.....	p.28
4.3) Relações entre solo, relevo e vegetação.....	p.35
5) RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	p.41
5.1) Medidas de dimensão fractal e complexidade aplicadas às análises textural e espectral das fisionomias do Cerrado.....	p.41
5.2) Correlações entre padrões da vegetação e fatores pedo-geomorfológicos.....	p.109
5.3) Implicações dos resultados na compreensão da organização e dinâmica do Cerrado.....	p.115
5.4) Verificação das hipóteses da pesquisa.....	p.120
6) CONCLUSÕES.....	p.121
7) REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	p.123
8) ANEXOS.....	p.133

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Parâmetros técnicos do sensor ASTER.....	p.29
Tabela 4.2 - Valores atribuídos para as fisionomias em cada cenário.....	p.37
Tabela 5.1 - Médias dos valores de dimensão fractal para imagens das áreas da E.E.Assis.....	p.50
Tabela 5.2 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das dimensões fractais para as imagens das áreas (E.E.Assis).....	p.51
Tabela 5.3 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias dos valores de dimensões fractais obtidas por diferentes métodos para uma mesma área (E.E. Assis).....	p.52
Tabela 5.4 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das dimensões fractais para imagens de diferentes extensões de uma mesma área (E.E.Assis).....	p.53
Tabela 5.5 - Médias dos valores de dimensão fractal para os espectros das áreas (E.E. Assis).....	p.53
Tabela 5.6 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das dimensões fractais para os espectros das áreas (E.E Assis).....	p.54
Tabela 5.7 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das dimensões fractais para espectros de diferentes extensões de uma mesma área (E.E.Assis).....	p.54
Tabela 5.8 - Médias dos valores de complexidade para imagens das áreas da E.E.Assis.....	p.57
Tabela 5.9 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das medidas de complexidade para as imagens das áreas (E.E Assis).....	p.58
Tabela 5.10 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das medidas de complexidade para imagens de diferentes extensões de uma mesma área (E.E.Assis).....	p.58
Tabela 5.11 - Médias dos valores de complexidade para espectros das áreas da E.E.Assis.....	p.61
Tabela 5.12 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das medidas de complexidade para os espectros das áreas (E.E Assis).....	p.62
Tabela 5.13 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das medidas de complexidade para espectros de uma mesma área em diferentes extensões (E.E.Assis).....	p.63
Tabela 5.14 - Médias dos valores de dimensão fractal para imagens das áreas das E.E.Jataí.....	p.70
Tabela 5.15 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das dimensões fractais para as imagens das áreas (E.E Jataí).....	p.71
Tabela 5.16 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias dos valores de dimensões fractais obtidas por diferentes métodos para uma mesma área (E.E. Jataí).....	p.72
Tabela 5.17 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das dimensões fractais para imagens de diferentes extensões de uma mesma área (E.E.Jataí).....	p.73
Tabela 5.18 - Médias dos valores de dimensão fractal para os espectros das áreas (E.E. Jataí).....	p.73
Tabela 5.19 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das dimensões fractais para os espectros das áreas (E.E Jataí).....	p.76
Tabela 5.20 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das dimensões fractais para espectros de diferentes extensões de uma mesma área (E.E.Assis).....	p.76
Tabela 5.21 - Médias dos valores de complexidade para imagens das áreas da E.E.Jataí.....	p.79
Tabela 5.22 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das medidas de complexidade para as imagens das áreas (E.E Jataí).....	p.80
Tabela 5.23 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das medidas de complexidade para imagens de diferentes extensões de uma mesma área (E.E.Jataí).....	p.80
Tabela 5.24 - Médias dos valores de complexidade para espectros das áreas da E.E.Jataí.....	p.81
Tabela 5.25 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das medidas de complexidade para os espectros das áreas (E.E Jataí).....	p.82

LISTA DE TABELAS (continuação)

Tabela 5.26 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das medidas de complexidade para espectros de uma mesma área em diferentes extensões (E.E.Jataí).....	p.82
Tabela 5.27 - Médias dos valores de dimensão fractal para imagens das áreas das E.E.Itirapina.....	p.90
Tabela 5.28 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das dimensões fractais para as imagens das áreas (E.E. Itirapina).....	p.91
Tabela 5.29 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias dos valores de dimensões fractais obtidas por diferentes métodos para uma mesma área (E.E. Itirapina).....	p.92
Tabela 5.30 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das dimensões fractais para imagens de diferentes extensões de uma mesma área (E.E.Itirapina).....	p.93
Tabela 5.31 - Médias dos valores de dimensão fractal para os espectros das áreas (E.E.Itirapina).....	p.93
Tabela 5.32 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das dimensões fractais para os espectros das áreas (E.E. Itirapina).....	p.97
Tabela 5.33 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das dimensões fractais para espectros de diferentes extensões de uma mesma área (E.E.Itirapina).....	p.97
Tabela 5.34 - Médias dos valores de complexidade para imagens das áreas das E.E. de Itirapina.....	p.98
Tabela 5.35 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das medidas de complexidade para as imagens das áreas (E.E Itirapina).....	p.101
Tabela 5.36 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das medidas de complexidade para imagens de diferentes extensões de uma mesma área (E.E.Itirapina).....	p.101
Tabela 5.37 - Médias dos valores de complexidade para espectros das áreas das E.E. de Itirapina.....	p.102
Tabela 5.38 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das medidas de complexidade para espectros de uma mesma área em diferentes extensões (E.E.Itirapina).....	p.103
Tabela 5.39 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das medidas de complexidade para espectros de uma mesma área em diferentes extensões (E.E.Itirapina).....	p.104
Tabela 5.40 - Médias dos valores para medidas de dimensão fractal e complexidade obtidas por uma mesma fisionomia nas diferentes localidades.....	p.104
Tabela 5.41 - Comparação das médias de valores para medidas de dimensão fractal e complexidade obtidas por uma mesma fisionomia nas diferentes localidades.....	p.107
Tabela 5.42 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das medidas para as três extensões nas diferentes localidades – cerrado.....	p.108
Tabela 5.43 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das medidas para as três extensões nas diferentes localidades – Cerrado ss.....	p.109
Tabela 5.44 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das medidas para as três extensões nas diferentes localidades – Campo sujo.....	p.109
Tabela 5.45 - Valores das variáveis para os pontos da E.E.Jataí.....	p.112
Tabela 5.46 - Valores obtidos pelo teste de correlação entre cenários e variáveis pedogeomorfológicas para os pontos da E.E.Jataí.....	p.113
Tabela 5.47 - Valores obtidos pelo teste de correlação entre variáveis pedogeomorfológicas e medidas de dimensão fractal e de complexidade para os pontos da E.E.Jataí.....	p.114

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Distribuição do Cerrado no Brasil.....	p.7
Figura 3.2 – Distribuição das fitofisionomias de Cerrado e áreas de transição de acordo com gradientes de cobertura vegetal.....	p.8
Figura 3.3 – Principais fisionomias presentes no Cerrado e classes de solo a elas associadas.....	p.9
Figura 3.4 – Representação esquemática das inter-relações dos fatores atuantes na configuração das diferentes fisionomias do Cerrado.....	p.21
Figura 4.1 – Localização das unidades de conservação de Assis, Itirapina e Luiz Antônio.....	p.27
Figura 4.2 – Localização dos pontos analisados na E.E. de Jataí.....	p.38
Figura 4.3 – Diferenças entre porte e densidade das fisionomias nos pontos analisados.....	p.39
Figura 5.2 – Localização das áreas analisadas na Estação Ecológica de Assis.....	p.45
Figura 5.3 – Imagens e respectivos espectros das áreas analisadas na E.E. de Assis.....	p.46
Figura 5.4 – Localização das áreas analisadas nas E.E. de Jataí.....	p.64
Figura 5.5 – Imagens e respectivos espectros das áreas analisadas na E.E. de Jataí.....	p.66
Figura 5.6 – Localização das áreas analisadas nas E.E. de Itirapina.....	p.85
Figura 5.7 – Imagens e respectivos espectros das áreas analisadas nas E.E. de Itirapina.....	p.86



UNICAMP

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
Pós-Graduação em Geografia**

**Complexidade dos padrões espaciais e espectrais
de fitofisionomias de Cerrado no estado de São Paulo**

RESUMO

Tese de Doutorado

Sérgio Henrique Vannucchi Leme de Mattos

O Cerrado se constitui em um mosaico de fitofisionomias que se distinguem entre si pelos padrões espaciais que apresentam. Apesar das características e dinâmica do Cerrado apontarem que ele deve ser compreendido como um sistema complexo, o paradigma da complexidade e os métodos dele derivados ainda são pouco aproveitados no estudo do Cerrado. O objetivo geral da presente pesquisa foi avaliar a complexidade dos padrões espaciais (texturais) e espectrais de fitofisionomias de Cerrado a fim de verificar quais propriedades relativas à sua organização e dinâmica tais padrões podem revelar. Para tanto, foram usadas imagens do sensor multi-espectral Aster relativas a unidades de conservação do estado de São Paulo situadas nos municípios de Assis, Itirapina e Luiz Antônio. Medidas de complexidade baseadas na entropia informacional e de dimensão fractal foram aplicadas às imagens e respectivas curvas de respostas espectrais de fisionomias de Cerrado presentes nas localidades estudadas. Uma área-teste foi selecionada para se avaliar as correlações entre fisionomias, seus padrões texturais e espectrais e fatores pedológicos e geomorfológicos. Os resultados obtidos para as análises textural e espectral de imagens do sensor mostram que cada fisionomia apresenta valores estatisticamente iguais nas diferentes extensões avaliadas, revelando a auto-similaridade dos padrões em várias escalas. Houve também uma forte tendência de cada fisionomia obter os mesmos valores em diferentes localidades, o que permite estabelecer intervalos de valores típicos para cada uma, independentemente da área estudada. Por outro lado, nenhuma medida foi totalmente eficiente em distinguir as diferentes fisionomias de Cerrado de uma mesma localidade, principalmente aquelas com padrões mais semelhantes. Quanto às correlações, foram encontradas associações significativas entre fisionomias e fatores pedogeomorfológicos, porém não houve nenhum fator que respondesse exclusivamente pelas características vegetacionais de determinada fisionomia e nem pela configuração de seus padrões, apontando que elas dependem das inter-relações de vários fatores. Pelos resultados alcançados na presente pesquisa, confirma-se que o Cerrado é um sistema dinâmico complexo e que, portanto, o entendimento de sua organização e dinâmica deve-se pautar nos conceitos, modelos e métodos próprios do paradigma da complexidade. Uma característica marcante aqui revelada é a invariância escalar dos padrões, a qual é indicativa de que o Cerrado apresentaria criticidade auto-organizada, sendo algumas de suas fisionomias representativas de estados próximos a pontos críticos. Conforme apontam os resultados, fisionomias intermediárias, como cerrado denso, cerrado ss e campo cerrado, apresentariam esse tipo de organização, enquanto fisionomias situadas próximas aos extremos do gradiente vegetacional do Cerrado (como campo sujo e cerradão) representariam estados mais estáveis do sistema.

Palavras-chave: Cerrado, complexidade, fractal



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
Pós-Graduação em Geografia**

**Complexity of spatial and spectral patterns
of Cerrado's phytophysionomies in São Paulo State (Brazil)**

ABSTRACT

Brazilian Cerrado is characterized as a mosaic of phytophysionomies with different spatial patterns. Despite of its characteristics and dynamics suggest that the Cerrado should be understood as a complex system, the complexity paradigm and methodologies are not widely used in Cerrado studies yet. The general objective of this research has been to evaluate the complexity of spatial (textural) and spectral patterns of Cerrado's phytophysionomies with the purpose of verifying which properties related to organization and dynamic those patterns could show. For this, images from Aster multispectral sensor were used to study Cerrado areas in conservation reserves at São Paulo State (Brazil). Complexity measures based on information entropy and fractal dimension were applied to physiognomies images and to the correspondent spectral response curves. A test-area was selected to evaluate correlations between physiognomies, their textural and spectral patterns, and pedological-geomorphological factors. Textural and spectral image analysis pointed out that each physiognomy presents statistically equal values for different extents considered, showing self-similarity patterns in several scales. There was also a strong tendency that each physiognomy presents the same values at different localities, attributing a typical range of values for each one, independent of its localization. However, no measure was totally efficient to distinguish different Cerrado's physiognomies, especially those with similar patterns. For correlations, significant associations between physiognomies and pedological-geomorphological factors were founded, but here there was no factor responding exclusively for vegetation characteristics of a given physiognomy and for pattern configurations as well, suggesting that they depend on interrelations of many factors. Results obtained in this work confirm that Cerrado is a complex dynamical system and, therefore, comprehension of its organization and dynamics demands concepts, models, and methods related to complexity paradigm. A remarkable characteristic that was revealed here is about scale-invariance of patterns, which indicates that Cerrado presents self-organization criticality. As results show, this type of organization occurs in intermediary physiognomies, while grassland and forest physiognomies are more stable.

Key-words: Cerrado, complexity, fractal

1) INTRODUÇÃO

A identificação de padrões e o entendimento dos processos que os geram constituem buscas permanentes da Ciência. Encontrar um padrão significa descobrir uma unicidade em meio a um emaranhado de elementos e processos diversos.

Ao longo da história da Ciência, teorias e metodologias foram desenvolvidas para explicar os padrões e fenômenos a eles relacionados típicos de cada área específica do conhecimento. Conforme o sucesso no potencial explicativo e preditivo de uma teoria gerada por uma dessas áreas, sua extrapolação para outras áreas é frequente, embora muitas vezes apenas como uma metáfora que permite um novo olhar sobre fenômenos já conhecidos.

Algumas vezes, no entanto, há um processo de convergência entre diferentes áreas do conhecimento: muitas teorias e resultados práticos de uma área coincidem com aqueles originados em outras áreas, permitindo que sejam interpretados a partir de um arcabouço teórico comum. Tal é o caso do paradigma da complexidade, cujas bases originaram-se dos estudos de uma gama variada de fenômenos físicos, biológicos e sociais, muitos deles situados nas interfaces da tradicional divisão da Ciência em áreas e subáreas específicas. O aspecto comum a esses fenômenos é que todos estão relacionados a sistemas complexos, para os quais modelos lineares e deterministas não se aplicam adequadamente para explicar os padrões relacionados à organização e dinâmica desses sistemas.

O estudo da paisagem tem se beneficiado das teorias e ferramentas metodológicas oriundas do paradigma da complexidade, ao mesmo tempo em que contribui para a consolidação das teorias e concepção de novos métodos para o estudo dos sistemas complexos. Padrões complexos presentes na paisagem e seus processos geradores podem agora ser apropriadamente interpretados à luz do paradigma da complexidade. O emprego de métricas associadas a esse paradigma tem sido cada vez mais comum em estudos da paisagem, especialmente naqueles que se utilizam do sensoriamento remoto. A partir dessas métricas, padrões da paisagem podem ser identificados e as dinâmicas a eles subjacentes podem ser explicadas.

Na presente pesquisa, o paradigma da complexidade e algumas métricas dele derivadas são aplicadas ao estudo do Cerrado e suas fisionomias, por meio da análise de seus padrões texturais e espectrais identificados a partir de imagens de um sensor multiespectral. Algumas perguntas que motivam o trabalho são: no que diferem os padrões de cada fisionomia; quais fatores ambientais estão relacionados à configuração de tais padrões; o que eles podem revelar sobre o funcionamento do Cerrado? Com isso, espera-se contribuir para um melhor entendimento da organização e dinâmica do Cerrado, auxiliando principalmente no planejamento e adoção de práticas adequadas para sua conservação e manejo.

2) OBJETIVOS

O objetivo geral da presente pesquisa é avaliar a complexidade dos padrões espaciais e espectrais de fitofisionomias de Cerrado presentes em unidades de conservação do estado de São Paulo.

A hipótese relacionada ao objetivo geral é que esses padrões refletem propriedades importantes relacionadas à organização e dinâmica do Cerrado.

São objetivos específicos do trabalho:

1) Verificar quais fisionomias apresentam padrões mais complexos.

Hipótese: Fisionomias pertencentes a formações savânicas possuem padrões texturais e espectrais de maior complexidade, pois nas imagens orbitais apresentam alta rugosidade e variação elevada na resposta espectral.

2) Identificar e diferenciar as fisionomias de Cerrado a partir de medidas de dimensão fractal e de complexidade aplicadas às análises textural e espectral de imagens do sensor Aster.

Hipótese: As medidas utilizadas são capazes de distinguir padrões texturais e espectrais das diferentes fisionomias, permitindo a definição de intervalos de valores específicos para cada fisionomia.

3) Avaliar se as medidas de dimensão fractal e de complexidade podem ser aplicadas a diferentes escalas sem que haja diferenças significativas nos valores obtidos por cada fisionomia.

Hipótese: Para uma dada fisionomia, os valores de cada medida não se alteram significativamente dentro de uma amplitude restrita de escalas.

4) Analisar a quais fatores pedológicos e geomorfológicos podem estar associadas as fisionomias de Cerrado e seus respectivos padrões texturais e espectrais.

Hipótese: Não há um fator único que condicione a ocorrência de uma dada fisionomia e nem a configuração de seus padrões.

5) Buscar identificar, a partir de fundamentos teórico-conceituais do paradigma da complexidade e dos resultados obtidos na presente pesquisa, características que evidenciem que o Cerrado é um sistema dinâmico complexo.

Hipótese: As análises propostas no presente trabalho são capazes de identificar algumas propriedades da organização e dinâmica do Cerrado que o caracterizam como um sistema complexo.

3) EMBASAMENTO TEÓRICO

3.1) *Cerrado*

O Cerrado¹ abrange uma área de cerca de dois milhões de quilômetros quadrados, correspondentes a aproximadamente 22% do território brasileiro, além de pequenas áreas do leste boliviano e noroeste paraguaio (OLIVEIRA-FILHO & RATTER, 2002). Sua área de maior continuidade espacial situa-se no Brasil Central, abrangendo – total ou parcialmente – os estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul e o Distrito Federal, além de partes ocidentais da Bahia e Minas Gerais e porção sul do Maranhão; porém, manchas periféricas ou isoladas de Cerrado são encontradas, por exemplo, nos domínios amazônicos e da caatinga e nos estados de São Paulo e Paraná (EITEN, 1990; PASSOS, 2003) (Figura 3.1).

A área core do Cerrado corresponde aos planaltos cristalinos e sedimentares do Brasil Central, com altitudes variando entre 300 e 1700m e apresentando duas estações bem definidas, com precipitação anual acima de 1000mm (AB'SABER, 2003; CONTI & FURLAN, 2003; SILVA & BATES, 2002). Em geral, ocorre sobre Latossolos Vermelhos ou Amarelos bem drenados, ácidos e pobres em nutrientes (CONTI & FURLAN, 2003; EITEN, 1990; QUEIROZ NETO, 1982). As mesmas características edáficas normalmente são encontradas nas áreas periféricas de Cerrado, mesmo que em outros tipos de solo (como Neossolo Quartzarênico).

O Cerrado se constitui em um mosaico de fitofisionomias que se distinguem entre si pelo padrão espacial que apresentam. Este mosaico varia em um gradiente que vai desde uma formação totalmente aberta, coberta exclusivamente pelo estrato herbáceo (campo limpo) até uma formação florestal (cerradão), passando por formações intermediárias a estas (campo sujo, campo cerrado e cerrado *stricto sensu*) (RIBEIRO & WALTER, 2008; SEMA, 1997). Como tais fisionomias se distribuem em um continuum, o limite entre duas fisionomias não é preciso, sendo mais plausível para fins classificatórios considerar que há uma zona de transição na qual ocorre mescla de atributos das duas fisionomias (Figura 3.2). Em campo, essas zonas de transição caracterizam-se como ecótonos entre duas ou mais fisionomias. Além dessas

¹ No presente texto, a palavra “Cerrado” com inicial maiúscula é usada para designar o cerrado *lato sensu*, incluindo suas diferentes fisionomias; enquanto o termo “cerrado” com inicial minúscula indica uma fisionomia específica (cerrado *stricto sensu* ou cerrado *ss*).

fisionomias, outras são encontradas no domínio do Cerrado, como vereda, mata seca e mata de galeria (RIBEIRO & WALTER, 2008) (Figura 3.3).

Clima, frequência de fogo e características químicas do solo (como nutrientes e pH), considerados isoladamente ou em associação, são os fatores mais tradicionalmente aventados para explicar a distribuição espacial das diferentes fisionomias do Cerrado (DURIGAN, 2004; EITEN, 1990; OLIVEIRA-FILHO & RATTER, 2002). Mas a questão sobre qual ou quais seriam os fatores condicionantes para tal distribuição ainda é uma discussão em aberto.

Os primeiros estudos mais sistemáticos sobre o Cerrado, feitos por Lund e Warming em Lagoa Santa (MG) na 2ª metade do século XIX, atribuíam ao clima seco as características morfológicas da vegetação do Cerrado, assim como a sucessão de suas fisionomias (GOODLAND, 1971). A partir da década de 1940, a interpretação climática foi colocada em xeque pelas pesquisas lideradas por Rawitscher e Ferri, que mostraram que a água não é um fator limitante para a vegetação (FERNANDES & BEZERRA, 1990; GOODLAND, 1971).

Passou-se, então, a buscar principalmente nos fatores relacionados ao solo a explicação para a distribuição do Cerrado. Embora Warming já apontasse a importância do solo na distribuição do Cerrado (QUEIROZ NETO, 1982), foi somente nesse período do século XX que estudos conduzidos por Waibel e Arens levaram a compreender as características da vegetação como resposta à pobreza de nutrientes dos solos do Cerrado (GOODLAND, 1971). Tal interpretação foi posteriormente complementada por Goodland (1971), que atribuiu papel relevante ao excesso de alumínio no solo como uma das causas do escleromorfismo das plantas de Cerrado e da configuração de sua diferentes fisionomias (GOODLAND, 1971).

À revelia da compreensão ainda incompleta sobre a dinâmica e fragilidade natural do Cerrado, ações antropogênicas provocaram e continuam provocando grandes alterações ambientais, especialmente relacionadas à sua degradação e fragmentação. Extração de madeira para obtenção de lenha e carvão e pecuária extensiva foram as principais atividades econômicas inicialmente responsáveis pela deterioração do Cerrado. Nas últimas quatro décadas, entretanto, sua degradação intensificou-se sobremaneira, fruto de incentivos governamentais e pesquisas científico-tecnológicas

(propiciando o desenvolvimento, por exemplo, de técnicas melhoria da fertilidade do solo e de cultivo e seleção de variedades de plantas adequadas às condições ambientais do Cerrado²) que transformaram sua área core em uma das principais fronteiras agrícolas do Brasil (KLINK & MOREIRA, 2002).

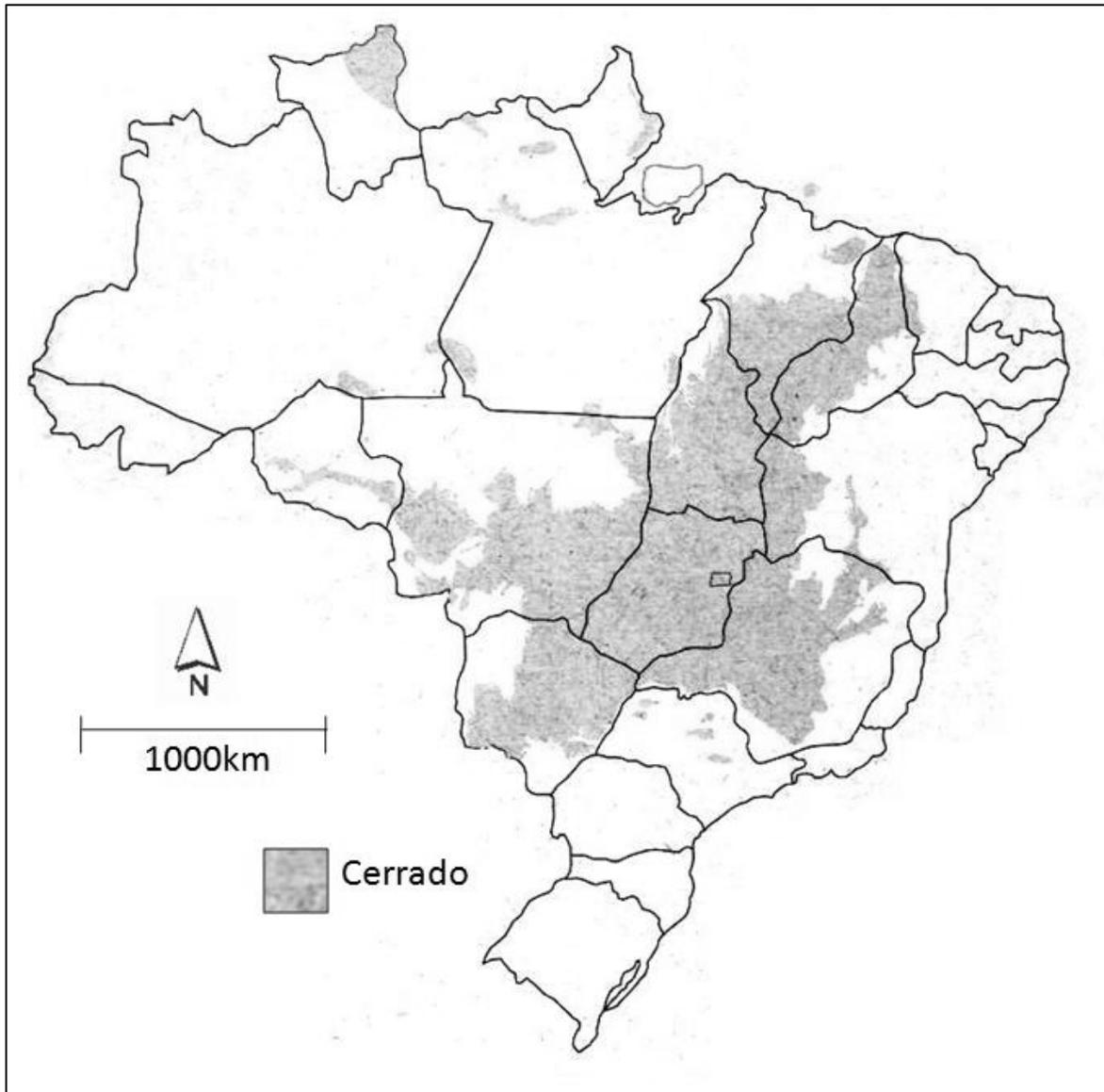


Figura 3.1 – Distribuição do Cerrado no Brasil (em cinza) (modificado de RIBEIRO & WALTER, 2008).

² Ver Lopes (1983).

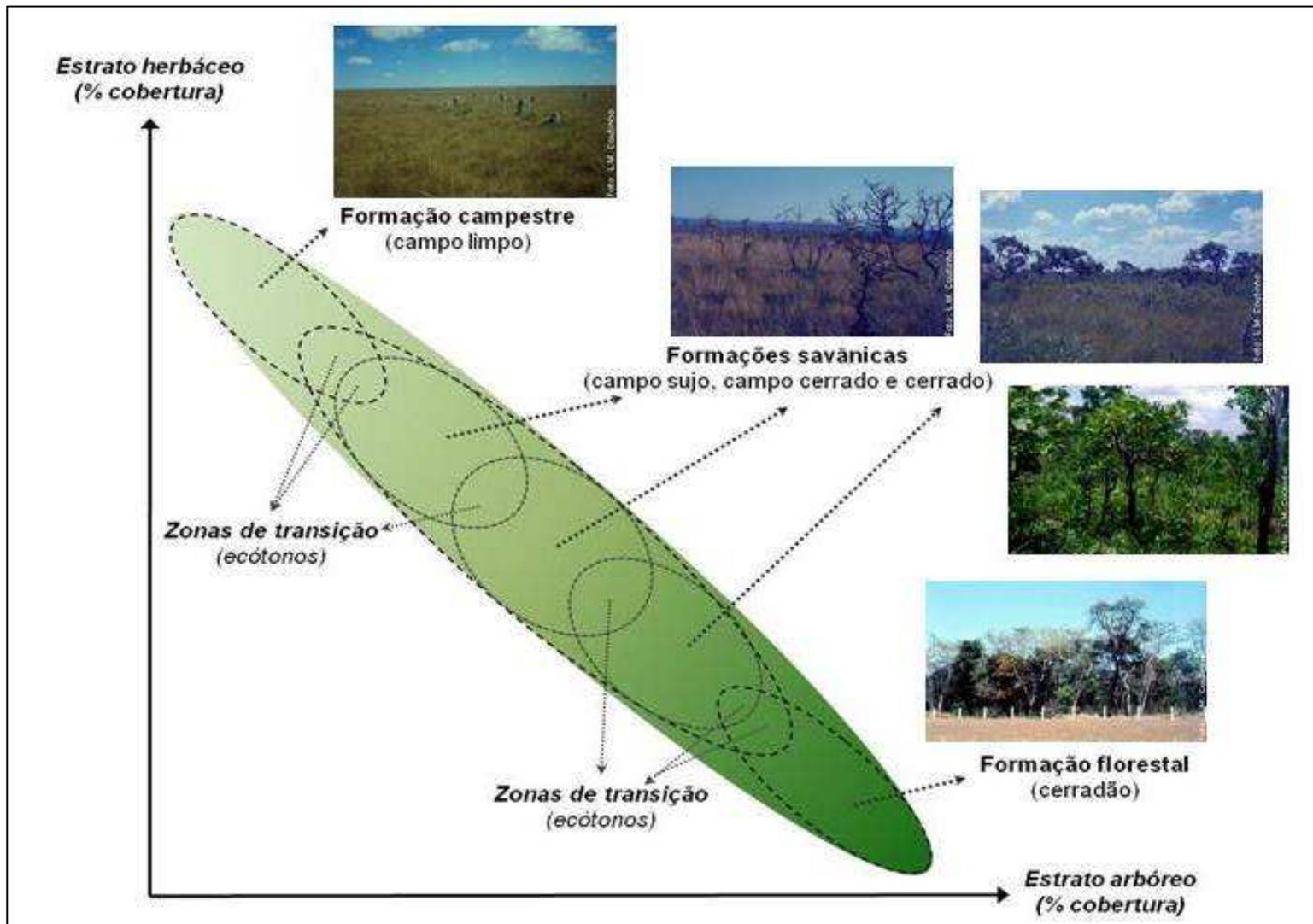


Figura 3.2 - Distribuição das fitofisionomias de Cerrado e áreas de transição de acordo com gradientes de cobertura vegetal (elaborado pelo autor; fotos de L.M.Coutinho, disponíveis em: <http://eco.ib.usp.br/cerrado/>).

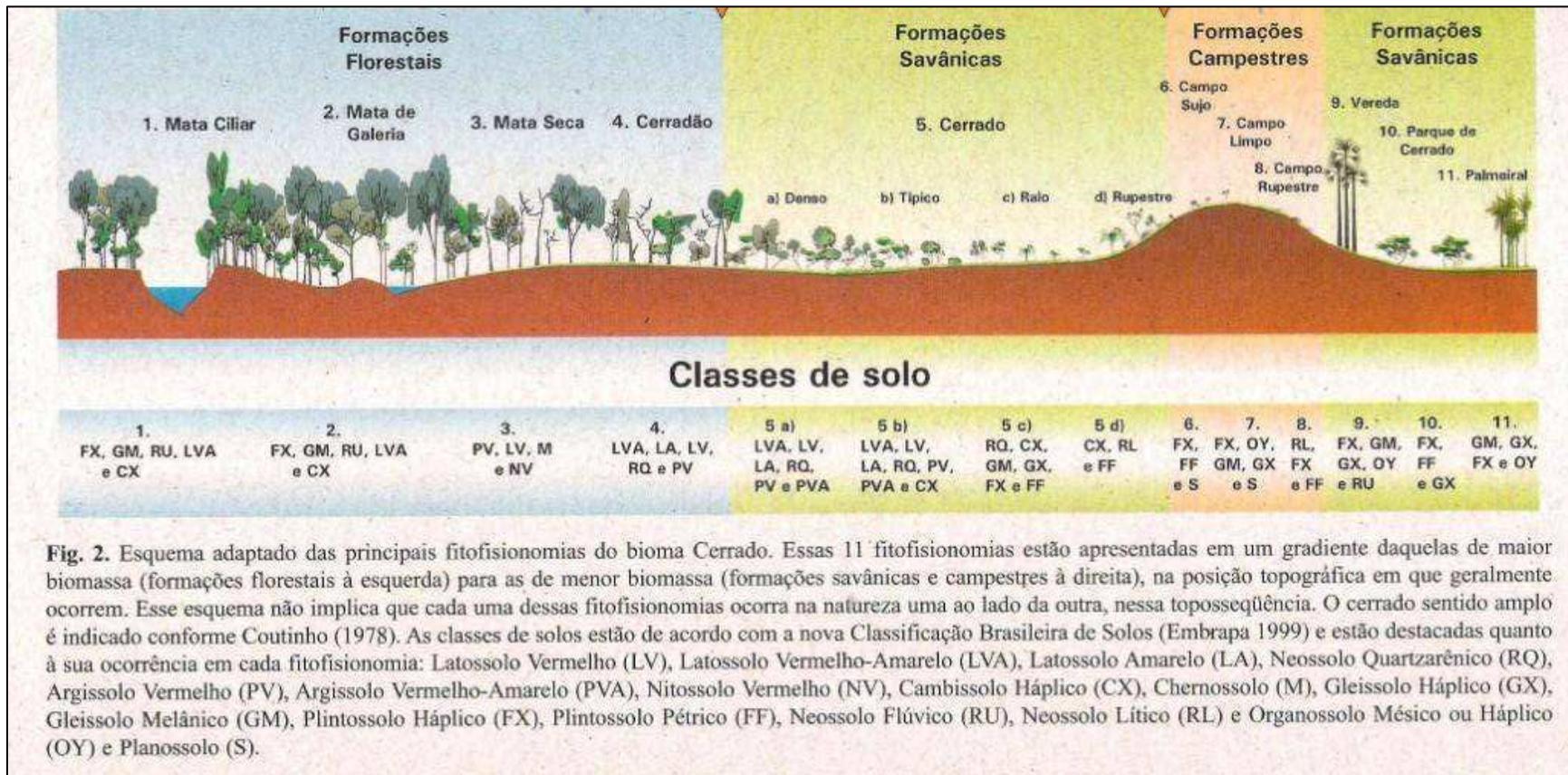


Figura 3.3 – Principais fisionomias presentes no Cerrado e classes de solo a elas associadas (extraído de RIBEIRO & WALTER, 2008).

3.2) O Cerrado no estado de São Paulo

A degradação intensa do Cerrado no Brasil Central é relativamente recente se comparada à do Cerrado paulista. No estado de São Paulo, as áreas de Cerrado têm diminuído drasticamente desde o início do século XX, quando era explorado para culturas diversas (como café), criação de gado e extração de madeira (SEMA, 1997). Ao longo daquele século, outros usos foram sendo incorporados nas áreas originalmente cobertas por Cerrado, destacadamente a silvicultura e a produção de cana-de-açúcar e laranja (DURIGAN, s.d.).

Tais usos ganharam maior vulto nas décadas recentes, de tal modo que levantamentos indicam que as áreas de Cerrado, as quais originalmente cobriam 14% do Estado, perfazem atualmente menos de 1% da área total do território paulista (KRONKA et al., 2005). Comparativamente a outros estados abrangidos por esse domínio, São Paulo apresentou maior redução porcentual de cobertura de Cerrado, conforme apontou levantamento feito pela Embrapa-Cerrado com base em imagens de satélite de 2002 (AGÊNCIA BRASIL, 2007).

Modificações na extensão das áreas ocupadas por Cerrado foram frequentes na sua história evolutiva, porém causadas não por ações antrópicas, mas sim por fatores naturais, especialmente relativos a flutuações climáticas. Expansões e retrações do Cerrado em São Paulo e outros estados brasileiros sucederam-se pelo menos desde o Pleistoceno superior (18 a 13 mil anos atrás) em decorrência das condições de menor ou maior umidade e temperatura (AB'SABER, 2003; RIBEIRO & WALTER, 2008; SIQUEIRA & DURIGAN, 2007; VIADANA, 2002). Os períodos mais secos e frios permitiriam a expansão das caatingas e formações abertas de Cerrado, além de matas secas; enquanto as florestas úmidas se restringiriam às áreas de maior umidade. Nos períodos inter-glaciais, com o retorno das condições úmidas e quentes, as florestas teriam se expandido novamente e as formações campestres e savânicas se retraíam. Tal dinâmica foi fundamental para tornar o Cerrado bastante biodiverso, pois a alternância entre isolamento geográfico e coalescência das áreas de Cerrado garantiu a ocorrência de mecanismos evolutivos variados e complexos.

Esta diversificação é bem observada no território paulista, no qual estão presentes dois grandes padrões fitogeográficos distintos de Cerrado. No oeste do Estado,

predomina o padrão correspondente ao cerrado e ecótono cerrado-floresta, onde se distribui uma flora diferente da presente no restante do Estado e em estados vizinhos. Na porção central para norte-nordeste prevalecem fisionomias abertas de Cerrado, caracterizando um padrão campestre cuja similaridade florística é maior com as áreas de Cerrado do sul de Minas Gerais e do Paraná, em detrimento às áreas do Brasil Central (DURIGAN et al., 2003 apud PINHEIRO, 2008; SASAKI & MELLO-SILVA, 2008).

3.3) O estudo da paisagem

O estudo da paisagem sempre se valeu de uma visão integradora, tanto na busca de como os elementos se relacionam para formar determinada paisagem, como na tentativa de associar diferentes áreas do conhecimento para subsidiar essa busca. Desde os naturalistas dos séculos XVIII e XIX, essa visão esteve presente, inclusive naquele que, segundo Naveh & Lieberman (1993), foi o pioneiro na introdução no conceito de “paisagem” nos estudos científicos: o alemão Alexander von Humboldt, para quem a paisagem representava a característica total de uma região da Terra.

Foi outro alemão, o biogeógrafo Carl Troll, que, no final da década de 1930, cunhou o termo “ecologia da paisagem”, definindo-a como o estudo das inter-relações físico-biológicas que governam as diferentes unidades espaciais de uma região (FORMAN & GODRON, 1986). A partir daí, diversas outras definições de “paisagem” e “ecologia da paisagem” surgiram³, refletindo a formação acadêmica e objetivos de estudo de cada autor. Com o tempo, duas escolas de pensamento foram se definindo: uma de abordagem “geográfica” e outra de abordagem “ecológica” (METZGER, 2001).

A primeira, mais associada aos precursores do estudo da paisagem, desenvolveu-se inicialmente na Europa Oriental e Central. Sua preocupação central é o entendimento da paisagem considerando o ser humano como importante elemento da paisagem e de sua dinâmica (NAVEH & LIEBERMAN, 1993), o que representa uma visão que pode ser denominada “ecologia humana da paisagem” (METZGER, 2001).

Já a escola de abordagem “ecológica” surgiu mais recentemente, entre as décadas de 1970 e 80, tendo como foco principal as áreas naturais mais preservadas

³ Ver exemplos em CHRISTOFOLETTI (1999), FARINA (1998); FORMAN & GODRON (1986); NAVEH & LIEBERMAN (1993).

e a interferência das atividades humanas sobre os processos ecológicos da paisagem (METZGER, 2001). Nessa escola, de origem principalmente norte-americana, atenção especial é dada aos padrões espaciais, pois se pressupõe que tais padrões estejam diretamente relacionados aos processos responsáveis pela dinâmica da paisagem (TURNER & GARDNER, 1990).

Embora os focos originais de cada escola diverjam, congruências e complementaridades foram surgindo entre elas, especialmente no que diz respeito aos conceitos fundamentais do estudo da paisagem, tais como: heterogeneidade, mosaico e escala. A heterogeneidade está relacionada à distribuição não-regular de elementos no espaço e/ou no tempo, o que gera diferentes unidades (manchas ou “patches”) na paisagem, caracterizando-a como um mosaico. Portanto, segundo Farina (1998), a heterogeneidade representa a complexidade espacial do mosaico. Por sua vez, a heterogeneidade depende das escalas espacial e temporal consideradas: uma área que em uma escala espacial maior se apresenta como homogênea, em uma escala de maior detalhe pode revelar diferenças significativas na distribuição de seus elementos.

Assim, a paisagem pode ser entendida como um mosaico heterogêneo de ampla escala espacial composto por unidades interativas. Estas unidades se diferenciam no mosaico como manchas ou fragmentos individualizados, cada qual apresentando padrões espaciais específicos e inter-relações estreitas de fatores físicos, biológicos e antrópicos.

Percebe-se, pela definição acima, que o estudo da paisagem pressupõe uma visão necessariamente sistêmica para que se compreenda sua estrutura e dinâmica. Cada unidade do mosaico se caracteriza como um sistema ambiental, possuidor de propriedades e organização próprias, mas que se relaciona e mantém certa dependência dos sistemas (unidades) adjacentes, cujo conjunto forma um sistema de maior nível hierárquico (o mosaico). Os limites entre as unidades não são evidentes na maioria das vezes, pois há zonas de transição que as entremeiam.

Em uma paisagem, há uma relação direta entre padrões e processos (TURNER & GARDNER, 1990), de tal modo que o arranjo espacial (estrutura) das unidades dentro de um mosaico reflete as funções realizadas pelo sistema. Conseqüentemente, mudanças na estrutura repercutem nas funções e vice-versa. Devido à organização

hierárquica da paisagem, o alcance dessas mudanças depende das escalas espacial e temporal que elas conseguem abranger. Assim, um distúrbio em uma unidade da paisagem pode causar alterações que fiquem restritas àquele subsistema ou que se difundam pelo sistema como um todo (ênfatisa-se, aqui, a importância da escala espacial). Ademais, essas alterações podem provocar desde pequenas flutuações no funcionamento geral do sistema até uma mudança qualitativa na sua dinâmica (destaque, agora, para a relevância da escala temporal no estudo da paisagem). A amplitude de resposta da paisagem ao distúrbio depende da magnitude e frequência do mesmo, da sensibilidade e resiliência do sistema, do grau de interdependência dos subsistemas e do padrão de organização hierárquica estabelecido entre eles.

Por fim, cabe destacar que há bastante tempo o estudo da paisagem utiliza-se do sensoriamento remoto orbital e não-orbital para o mapeamento, análise e monitoramento das paisagens. Um dos precursores da ecologia da paisagem, Carl Troll, já apontava (e se utilizava) a profícua relação entre o uso de fotografias aéreas e o entendimento da paisagem (NAVEH & LIEBERMAN, 1993). O advento dos sensores orbitais e o acesso cada vez mais facilitado às imagens por eles geradas permitiram a aplicação do sensoriamento remoto nos mais diversos campos do conhecimento ligados ao estudo da paisagem, bem como o desenvolvimento de métodos e técnicas apropriados para esse fim.

3.4) Origens do paradigma da complexidade

Teorias e conceitos ligados ao paradigma da complexidade têm contribuído de modo significativo no entendimento dos padrões e processos da paisagem (BOLLIGER et al., 2005; FARINA, 1998; NAVEH & LIEBERMAN, 1993). O paradigma da complexidade surgiu da confluência de ideias e teorias de várias áreas de conhecimento que tinham em comum o estudo de sistemas de comportamento complexo, não-lineares e afastados do equilíbrio termodinâmico. Conforme essas ideias ganhavam corpo e os resultados práticos corroboravam os modelos teóricos de uma área específica, outras áreas passaram a incorporá-los para tentar explicar e prever o comportamento dos seus sistemas de interesse. O êxito alcançado permitiu o estabelecimento de princípios básicos sobre a organização e o funcionamento dos

sistemas complexos, sejam eles sistemas físicos, biológicos ou sociais (MORIN, 1977).

Dentre as teorias e modelos ligados ao paradigma da complexidade que contribuíram de maneira mais significativa no desenvolvimento dos estudos da paisagem, destacam-se: teoria dos sistemas gerais, cibernética, teoria das estruturas dissipativas, teoria da hierarquia, teoria da percolação, criticalidade auto-organizada, teoria da catástrofe e geometria fractal (BAK, 1996; CHRISTOFOLETTI, 1999; FARINA, 1998; LI, 2000; NAVEH & LIEBERMAN, 1993).

Criada pelo biólogo austríaco Ludwig von Bertalanffy, a teoria dos sistemas gerais é uma das bases do paradigma da complexidade (ÉRDI, 2008). Bertalanffy categorizou os sistemas de acordo com suas características intrínsecas e relações com o ambiente externo, além de definir os princípios organizacionais básicos dos sistemas, sejam eles biológicos ou sociais. O rompimento à visão mecanicista-reducionista propiciada pela teoria dos sistemas gerais abriu caminho para outras teorias mais focadas em determinados aspectos da organização e dinâmica dos sistemas.

É o caso da teoria da hierarquia, que surgiu como uma tentativa de explicação da organização dos sistemas de comportamento complexo. Tendo como um de seus precursores o escritor e filósofo húngaro Arthur Koestler, a teoria da hierarquia entende que tais sistemas se organizam de um modo peculiar: um sistema é formado por subsistemas de menor nível hierárquico, ao mesmo tempo em que compõe, junto com outros sistemas, um sistema de maior nível hierárquico. Sendo assim, os sistemas se auto-organizam de modo hierarquicamente aninhado, a partir do qual surgem as chamadas propriedades emergentes: propriedades que aparecem em um nível hierárquico em função das relações dos subsistemas e que, portanto, não podem ser deduzidas a partir da análise dos níveis hierárquicos inferiores (ALLEN & STARR, 1982; ÉRDI, 2008; NAVEH & LIEBERMAN, 1993).

A cibernética também surgiu como um desdobramento da teoria dos sistemas, porém se apropriou de ideias e conceitos originários da teoria da informação. Focada nos mecanismos de retro-alimentação presentes nos sistemas, a cibernética buscava compreender como tais mecanismos influenciam no funcionamento do sistema e na

sua relação com o ambiente externo (ÉRDI, 2008). Como a origem da cibernética está estreitamente ligada ao estudo de sistemas de transmissão e controle de informação, vários de seus princípios e conceitos básicos são oriundos da teoria da informação. A entropia informacional é um desses conceitos fundamentais, permitindo avaliar, a partir da quantidade e redundância da informação, como é a organização do sistema.

O entendimento de como se procede nos sistemas a transição entre diferentes estados se constituiu como denominador comum de diversas teorias surgidas em áreas distintas do conhecimento (ÉRDI, 2008) e que contribuíram de forma relevante para o desenvolvimento e consolidação do paradigma da complexidade. Destacam-se, dentre elas, as teorias das estruturas dissipativas, da catástrofe, da percolação e da criticalidade auto-organizada. De modo geral, essas teorias buscam modelar e explicar a tendência dos sistemas afastados do equilíbrio termodinâmico evoluírem até pontos críticos, instáveis, nos quais podem ocorrer mudanças qualitativas nos sistemas.

3.5) Métricas da paisagem

Além de contribuir conceitualmente para o entendimento da organização e dinâmica da paisagem, as teorias ligadas ao paradigma da complexidade têm fornecido aplicações práticas para avaliar e quantificar padrões, derivando delas várias medidas da paisagem (também chamadas de métricas ou indicadores da paisagem). Caso exemplar é o da geometria fractal, teoria concebida por Benoit Mandelbrot para lidar com os padrões irregulares encontrados na natureza (MANDELBROT, 1983). A geometria fractal é própria para tratar de objetos que não possuem uma forma geométrica exata, ou seja, que não são pontos, nem linhas, nem planos, mas que se situam entre essas formas geométricas com dimensões topológicas representadas por números inteiros (CHRISTOFOLLETTI, 1999; ÉRDI, 2008; MANDELBROT, 1983). A dimensão de um objeto não-regular é, portanto, fracionária, fato que inspirou Mandelbrot a denominá-la de dimensão fractal.

O termo fractal também é associado a objetos ou figuras geométricas que apresentam repetição de formas em diferentes escalas, característica denominada auto-similaridade e que é propriedade essencial dos chamados fractais exatos (CHRISTOFOLLETTI, 1999; MILNE, 1990), tais como o tapete de Sierpinski e a curva

de Koch. Embora dificilmente na natureza seja possível a ocorrência de uma auto-similaridade estrita, ela pode se manifestar a partir da análise estatística de padrões em escalas distintas (STANLEY, 1986 apud MILNE, 1990). Assim, os fractais naturais apresentam uma auto-similaridade estatística, a qual está relacionada com a dependência escalar dos processos (FARINA, 1998).

Nos estudos da paisagem, a dimensão fractal tem sido usada como uma medida para avaliar a heterogeneidade e complexidade dos padrões espaciais e temporais (FARINA, 2008; LI, 2000). Admite-se que quanto maior a heterogeneidade do padrão, maior sua dimensão fractal. Diversos trabalhos têm empregado a dimensão fractal para analisar os padrões texturais ou espectrais de imagens de sensores remotos, com a finalidade de classificar os diferentes elementos da paisagem (BACKES et al., 2007; COSH & BRUTSAERT, 2003; DEKKER, 2003; EMERSON et al., 1999; GHOSH et al., 2008; HOTT et al., 2007; MARTINS et al., 2003; MILNE, 1990; SU et al., 2008; YAMAMURA & OGAWA, 2006; ZHU et al., 2006).

A aplicação da dimensão fractal no estudo da paisagem também permite identificar padrões que se repetem em várias escalas. Esse tipo de auto-similaridade acontece quando os fatores limitantes de determinado processo variam conforme a escala, porém o mecanismo de geração do padrão se mantém em todas as escalas, de modo que os processos podem ampliar características do padrão distintamente de acordo com a escala (MILNE, 1990). Tal invariância escalar pode indicar que a paisagem apresenta criticalidade auto-organizada, isto é, que ela se organiza em estados instáveis, próximos a pontos críticos, nos quais eventos de qualquer magnitude podem levar a uma mudança para um novo estado (BAK, 1997; LI, 2000).

A entropia informacional e outros índices dela derivados também são métricas bastante usadas para quantificar a heterogeneidade/complexidade da paisagem e, a partir delas, avaliar o seu nível de auto-organização (FARINA, 1998; FEAGIN, 2005). O índice de diversidade de Shannon é uma das medidas mais difundidas, mas se enquadra na categoria de medidas que consideram a complexidade como uma função direta da desordem, atribuindo valores mais baixos de complexidade aos estados ordenados e valores elevados a estados desordenados (KANEKO & TSUDA, 2001; SHINER & DAVISON, 1999). Outras medidas invertem a interpretação, associando

maior complexidade com estados mais ordenados (SHINER & DAVISON, 1999). Entretanto, ambos os tipos de medidas podem ser consideradas inadequadas, já que não há complexidade real em situações que apresentam entropia zero ou máxima (KANEKO & TSUDA, 2001).

Conforme aponta Parrott (2005), os sistemas espacialmente mais complexos são aqueles cujo padrão espacial se situa numa zona intermediária entre uma distribuição regular (ordenada) e uma distribuição aleatória. Sendo assim, a complexidade máxima estaria localizada entre essas duas situações extremas, o que pode ser matematicamente expresso a partir de uma função convexa da desordem (SHINER & DAVISON, 1999). Ebeling et al. (2002) propuseram uma medida desse tipo, baseada em uma função convexa da entropia informacional, a qual foi aplicada em estudos de sistemas ecológicos por MATTOS et al. (2009) e PIQUEIRA et al. (2008).

3.6) Contribuições do paradigma da complexidade ao estudo da organização e dinâmica do Cerrado

A discussão sobre quais e processos seriam responsáveis pela dinâmica e organização espacial do Cerrado – em suas diferentes fisionomias – permanece em aberto. A contribuição do paradigma da complexidade nesse debate é ainda pouco aproveitada, apesar de seu grande potencial de explicação e predição já demonstrado em pesquisas sobre os mais diversos sistemas dinâmicos de comportamento complexo, categoria na qual o Cerrado pode ser enquadrado. Em geral, prevalece ainda uma visão reducionista no estudo da dinâmica do Cerrado, a qual é centrada no conceito de equilíbrio e na consideração isolada dos fatores atuantes na sua organização. Por conta disso, é bastante arraigada a ideia de que há uma sucessão unidirecional (climática) de fisionomias mais abertas para a fisionomia florestada (cerradão), bem como se busca explicar a dinâmica e organização espacial das áreas de Cerrado com base em simples relações de causa-efeito.

Assim, o entendimento da distribuição espacial e evolução do Cerrado ainda carece de uma abordagem que leve em consideração a complexidade desse sistema. Tal abordagem, fundamentada no estudo dos sistemas complexos, considera que o equilíbrio se configura como uma situação de exceção, uma vez que os distúrbios são

não apenas inerentes à dinâmica do sistema, como também são fontes de organização e inovação (MATTOS & PEREZ-FILHO, 2004). Além disso, o paradigma da complexidade não se atém à análise isolada de cada uma das variáveis e parâmetros do sistema e nas simples relações de causa-efeito entre eles, mas busca compreender como as interações desses fatores atuam na dinâmica do sistema.

O foco de interesse do paradigma da complexidade é os sistemas dinâmicos de comportamento complexo, sejam eles físicos, biológicos ou sociais (AUYANG, 1998; MORIN, 1977). Um sistema desse tipo é denominado complexo não apenas em virtude da quantidade de elementos (ou subsistemas) que possui, mas também devido à diversidade desses elementos, assim como da quantidade e variedade de relações entre eles (D'OTTAVIANO & BRESCIANNI-FILHO, 2004). Por conta disso, um sistema constituído por poucos elementos pode apresentar um comportamento complexo graças à rede de relações que eles estabelecem entre si, enquanto um sistema com inúmeros elementos pode não ser necessariamente complexo dependendo de como os elementos se inter-relacionam. Além disso, vale lembrar que complexidade não é necessariamente sinônimo de complicação: o comportamento complexo de um sistema pode resultar de regras simples de funcionamento (CADENASSO et al., 2006), conforme evidenciam diversos modelos. Essa complexidade surge, em parte, em função das chamadas propriedades emergentes (ou de sinergia) do sistema, características resultantes das interações dos elementos do sistema que inexistem quando estes se encontram isolados e que fazem com que o sistema seja diferente da mera soma de suas partes (MATTOS & PEREZ-FILHO, 2004).

O caráter dinâmico de um sistema complexo é fruto da dependência do tempo apresentada por pelos menos uma de suas variáveis de estado⁴, ou seja, algumas grandezas que caracterizam os elementos constituintes do sistema variam com o passar do tempo (MONTEIRO, 2002). Uma característica essencial dos sistemas dinâmicos complexos é que essa dependência do tempo se dá de modo não-linear, o que quer dizer que não há uma proporcionalidade entre entrada (causa) e resposta (efeito). A não-linearidade dos sistemas complexos decorre, em grande medida, dos

⁴ Variáveis de estado são variáveis dependentes relativas às propriedades elementares do sistema e cujos valores assumidos em um determinado momento especificam o estado do sistema naquele instante (D'OTTAVIANO & BRESCIANNI-FILHO, 2004; MONTEIRO, 2002).

laços de retro-alimentação estabelecidos entre os elementos do sistema, os quais fazem com que a resposta do sistema a uma dada perturbação do ambiente seja, via de regra, desproporcional à magnitude dessa perturbação. Enquanto os mecanismos de retro-alimentação negativa propiciam uma minimização dos efeitos decorrentes dessa perturbação, os circuitos de retro-alimentação positiva provocam uma amplificação dos efeitos (MATTOS, 2005; MATTOS & PEREZ-FILHO, 2004).

A evolução temporal de um sistema complexo pode ser matematicamente descrita por meio de uma ou mais equações diferenciais. Equações diferenciais não-lineares – as quais descrevem a dinâmica dos sistemas dinâmicos não-lineares – dificilmente apresentam soluções analíticas exatas (isto é, não há um método geral de se obter, para quaisquer valores dos parâmetros⁵ e/ou das condições iniciais, uma solução única que expresse como as variáveis dependentes mudam em função do tempo). No entanto, a partir de um processo de linearização destas equações e do uso da técnica qualitativa de análise, podem-se descrever determinadas propriedades associadas à evolução temporal de um sistema dinâmico, especialmente em relação a sua estabilidade ou não (AUYANG, 1998; MONTEIRO, 2002).

O estudo qualitativo de um sistema dinâmico é realizado pela análise do chamado espaço de fases (ou espaço de estados) (D'OTTAVIANO & BRESCIANNI-FILHO, 2004; MONTEIRO, 2002). Este consiste de um gráfico n-dimensional em que cada eixo representa uma variável de estado. O estado do sistema em certo momento é dado pelos valores das variáveis de estado naquele instante e é representado por um ponto no espaço de fases. No momento seguinte, as variáveis de estado podem ou não ter os mesmos valores do estado anterior. Caso tenha havido mudança no valor de uma ou mais variáveis, o sistema terá se deslocado para outro ponto no espaço de fases; caso contrário, ele ocupará o mesmo local em que estava no momento anterior.

Com o passar do tempo, a sucessão de estados do sistema vai descrevendo uma trajetória ao longo do espaço de fases. Nesse percurso, o sistema pode encontrar determinados pontos existentes no espaço de fases – chamados de pontos de equilíbrio – que representam soluções estacionárias para suas equações. Quando o

⁵ Parâmetros são grandezas que influenciam no comportamento do sistema, mas cujos valores variam de modo muito lento em comparação ao que ocorre com as variáveis (MONTEIRO, 2002).

sistema atinge um ponto de equilíbrio, ele cessa sua trajetória no espaço de fases, permanecendo indefinidamente naquele estado representado por tal ponto.

Um ponto de equilíbrio pode ser classificado como instável ou estável. Se trajetórias iniciadas próximas ao ponto de equilíbrio tendem a se afastar dele, diz-se que o ponto de equilíbrio é instável. Caso essas trajetórias permaneçam próximas ao ponto de equilíbrio, mas sem nunca atingi-lo, classifica-se tal ponto como neutramente estável. Se as trajetórias próximas ao ponto de equilíbrio tendem a convergir para ele com o passar do tempo, considera-se que tal ponto é assintoticamente estável. Nesse caso, o ponto de equilíbrio é denominado de atrator, uma vez que ele “atrai” as trajetórias que estão em sua vizinhança. Chama-se bacia de atração o conjunto de todas as condições que convergem para um atrator.

O conceito de estabilidade descrito acima diz respeito ao comportamento dos pontos de equilíbrio e, conseqüentemente, das soluções frente às perturbações nas condições iniciais. Ou seja, por meio da análise do espaço de fases, é possível verificar se variações nas condições iniciais produzem o mesmo estado final. Caso isso ocorra, o sistema pode ser considerado estável; caso contrário, ele é instável quando submetido a perturbações nas condições iniciais.

Há um outro tipo de estabilidade – denominada estabilidade estrutural – que é ligada não às soluções, mas às equações diferenciais que descrevem a dinâmica do sistema (AUYANG, 1998). Nesse tipo de estabilidade, estuda-se o comportamento do sistema quando tais equações são perturbadas graças a alterações nos valores dos parâmetros das equações (MONTEIRO, 2002). Se as trajetórias formadas a partir da perturbação das equações forem topologicamente idênticas àquelas produzidas originalmente, então o sistema é considerado estruturalmente estável (ou robusto). Por outro lado, se ocorre uma mudança qualitativa nas trajetórias quando a variação em um parâmetro ultrapassa determinado valor crítico, o sistema torna-se estruturalmente instável. Essa mudança na topologia é denominada bifurcação e, quando ela ocorre, pontos de equilíbrio podem ser criados ou destruídos e suas estabilidades alteradas (MONTEIRO, 2002).

Tendo em vista o paradigma da complexidade, ao se considerar o Cerrado como um sistema de comportamento complexo, deve-se entender que a ocorrência de uma

dada fisionomia em determinada área é decorrente das inter-relações de aspectos⁶ (Figura 3.4):

- pedológicos (como textura, profundidade, fertilidade e acidez do solo);
- geomorfológicos (como forma do relevo, declividade e posição topográfica da área);
- hidrológicos (como condições de drenagem do solo e nível da água subsuperficial);
- ecológicos (como polinização, dispersão e resistência das sementes ao fogo e capacidade de rebrota das estruturas vegetais subterrâneas);
- climáticos (como média e distribuição anuais da precipitação);
- paleoclimáticos (responsáveis pela distribuição pretérita das diferentes formações vegetais e, portanto, do estoque florístico inicial da área e de seu entorno);
- relativos à frequência e magnitude de distúrbios naturais e antropogênicos (como fogo e introdução de culturas de interesse comercial).

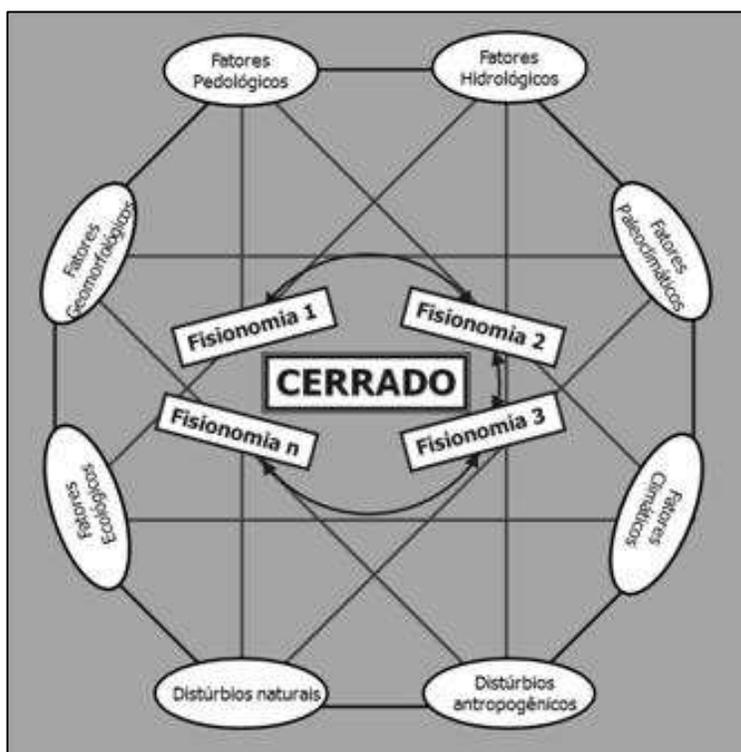


Figura 3.4 – Representação esquemática das inter-relações dos fatores atuantes na configuração das diferentes fisionomias do Cerrado (elaborado pelo autor).

⁶ Baseado em DURIGAN (2004); EITEN (1990); OLIVEIRA-FILHO & RATTER (2002); PASSOS (2003).

Portanto, na modelagem da organização e dinâmica do Cerrado, são esses fatores que devem fornecer as variáveis e parâmetros das equações do sistema, bem como as condições iniciais a serem assumidas. Obviamente que a seleção dos fatores a serem considerados depende do objetivo do modelo e das escalas espacial e temporal consideradas. Assim, na escala de tempo geológica, mudanças climáticas são aventadas como fatores preponderantes na determinação da distribuição espacial das diferentes fisionomias do Cerrado (AB'SABER, 2003), enquanto na escala de tempo histórica (decadal) são os distúrbios de origem antrópica que têm atuado de maneira decisiva nas alterações sofridas pelo Cerrado.

É justamente no entendimento da estabilidade do Cerrado frente aos distúrbios – tanto antropogênicos como naturais – um dos tópicos no qual o paradigma da complexidade tem muito a contribuir para o estudo do Cerrado. A aplicação do conceito de multi-estabilidade (ou estabilidade múltipla) pode ser bastante útil para entender a dinâmica do Cerrado. A ideia de multiestabilidade é usada para sistemas que possuem estados alternativos de estabilidade, podendo oscilar entre eles ao longo do tempo em função de distúrbios que os atingem (SCHEFFER et al., 2001). Pode-se cogitar que as diferentes fisionomias do Cerrado – ou ao menos algumas delas – representam distintos estados que apresentam estabilidade local e, dependendo da resiliência⁷ do sistema, a ocorrência de um distúrbio pode ou não levá-lo a um novo estado (i.e., fisionomia). Dito de outra forma, as fisionomias seriam atratores do sistema. Talvez nem todas as fisionomias de Cerrado representem estados estáveis, podendo algumas delas ser entendidas como estados transitórios entre situações de estabilidade e, portanto, instáveis.

Os distúrbios considerados até aqui dizem respeito a perturbações nas condições iniciais e o respectivo comportamento das soluções estacionárias. Trata-se, portanto, do conceito de estabilidade de um ponto de equilíbrio. Conforme já discutido, a análise desse tipo de estabilidade permite conhecer qual conjunto de condições iniciais resulta em um mesmo estado final, ou seja, pode-se verificar quais valores das variáveis e

⁷ A resiliência (por alguns também chamada de elasticidade) é definida como a capacidade de um sistema que foi perturbado retornar ao estado em que ele se encontrava antes da perturbação ocorrer (Westman, 1978; Christofolletti, 1999). Se pensarmos no estado de estabilidade como sendo representado pelo atrator do sistema, a resiliência pode ser entendida como a capacidade do sistema retornar ao seu atrator após ter sua trajetória desviada dele por uma perturbação.

parâmetros ligados aos fatores listados no início desse item levam o Cerrado a assumir uma dada fisionomia.

A aplicação do conceito de estabilidade estrutural ao estudo da evolução do Cerrado é de grande relevância também porque as ações antropogênicas têm grande potencial de provocar mudanças no sistema, a ponto de poderem desencadear processos que só viriam a se manifestar por conta de distúrbios naturais numa escala de tempo muito mais longa. Tal parece ser o caso da formação de areiais que vem sendo observada em diferentes regiões do Brasil onde o Cerrado ocorre sobre Neossolos Quartzarênicos, de elevada fragilidade e susceptibilidade a processos erosivos. Pode-se conjecturar que a formação de areiais em áreas outrora ocupadas por Cerrado caracteriza-se como uma perda da estabilidade estrutural e consequente bifurcação do sistema devido, sobretudo, a distúrbios antropogênicos (oriundos principalmente da atividade agropecuária), que alteram os valores dos parâmetros do sistema para além de valores críticos e resultam em mudanças qualitativas, e talvez irreversíveis, na evolução do sistema.

Assim, o estudo do Cerrado com base no paradigma da complexidade – especialmente em relação a sua estabilidade – é fundamental para se produzir conhecimentos sobre a dinâmica desse sistema complexo, permitindo conhecer o grau de resiliência de suas diferentes fisionomias frente aos distúrbios e, desse modo, planejar e adotar práticas adequadas de preservação e manejo.

4) MATERIAL E MÉTODOS

4.1) Localidades de estudo

Para atingir os objetivos específicos do presente trabalho, foram estudadas três localidades do estado de São Paulo, correspondentes a unidades estaduais de conservação com ocorrência de diferentes fisionomias de Cerrado. As três localidades estudadas foram:

I) Estação Ecológica de Assis:

A Estação Ecológica de Assis, situada na região sudoeste do estado de São Paulo, no município de mesmo nome (Figura 4.1), foi criada em 1992, embora a proteção da área contra queimadas e pastoreio remonte ao ano de 1959, quando foi adquirida pelo Estado (PINHEIRO & DURIGAN, 2009). Ocupando área de 1.312,18ha, apresenta relevo de colinas amplas, com altitudes entre 500 e 590m (PINHEIRO, 2008). A precipitação média anual de 1.400mm – com chuvas mais concentradas no período de outubro a março – e temperatura média anual de 21,8°C (PINHEIRO, 2008). De acordo com o levantamento pedológico semi-detalhado da região (1:50.000), os solos presentes na área são: Latossolo Vermelho-Escuro álico, textura média; Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, textura média; e Neossolo Quartzarênico álico (BOLOGNA et al., 1990; IF, 2009a).

A vegetação predominante é de Cerrado, em processo de adensamento arbóreo (PINHEIRO, 2008), de modo que as áreas de cerradão ocupam maior extensão da unidade de conservação (IF, 2009a). Também são encontradas áreas de cerrado denso e cerrado stricto sensu, além de formações higrófilas (mata ciliar e brejo) e uma zona de transição entre cerradão e floresta estacional semidecidual.

II) Estações Ecológica e Experimental de Itirapina:

As duas unidades de conservação contíguas ocupam área total de 5.512,81ha (SILVA, 2005), localizada nos municípios de Itirapina e Brotas (SP) (Figura 4.1). O relevo é de colinas amplas, com altitudes de 700 a 830m (IF, 2009b). A precipitação média anual fica acima dos 1.400mm, sendo que cerca de 80% do total de precipitação se concentra no período chuvoso (outubro a março) (IF, 2006; SILVA,

2005). A temperatura média anual é de 21,9°C (IF, 2006; SILVA, 2005). Em relação aos solos, segundo levantamento na escala 1:100.000 (PRADO et al., 1981), há predominância de Neossolos Quartzarênicos, bastante ácidos, seguidos de Latossolos Vermelho-Amarelo e Vermelho, arenosos e areno-argilosos, de baixa fertilidade e ácidos; Gleissolos e Organossolos são encontrados nas planícies fluviais (IF, 2009b, SILVA, 2005). Nas Estações, há presença de várias fitofisionomias de Cerrado, abrangendo as formações campestre, savânica e florestal (IF, 2006).

III) Estação Ecológica de Jataí:

Unidade de conservação com maior área contínua de Cerrado do estado de São Paulo (TOPPA, 2004), a Estação Ecológica de Jataí, localizada no município de Luiz Antônio (SP) (Figura 4.1), possui área de 9.010,7ha (QUARESMA, 2008). Adjacente a ela, encontra-se outra unidade de conservação, a Estação Experimental de Luiz Antônio, com área de 2.021ha (LAPA, 2009). Com altitude média de 600m, o relevo predominante é de colinas amplas, porém também se destaca a planície de inundação do rio Mogi-Guaçu ao sul da Estação (GIMENEZ & GODOY, 2007; TOPPA, 2004). A precipitação anual média é superior a 1.400mm, concentrada nos meses de outubro a março.

Os solos com maior representatividade espacial, na escala 1:100.000, são: Latossolo Vermelho-Escuro e Neossolo Quartzarênico (OLIVEIRA et al., 1982). Em termos de vegetação, há predominância de cerradão, ocupando extensas áreas contínuas, sendo também encontradas áreas restritas de campo sujo e cerrado s.s., além de locais onde a vegetação de Cerrado encontra-se em regeneração (TOPPA, 2004).

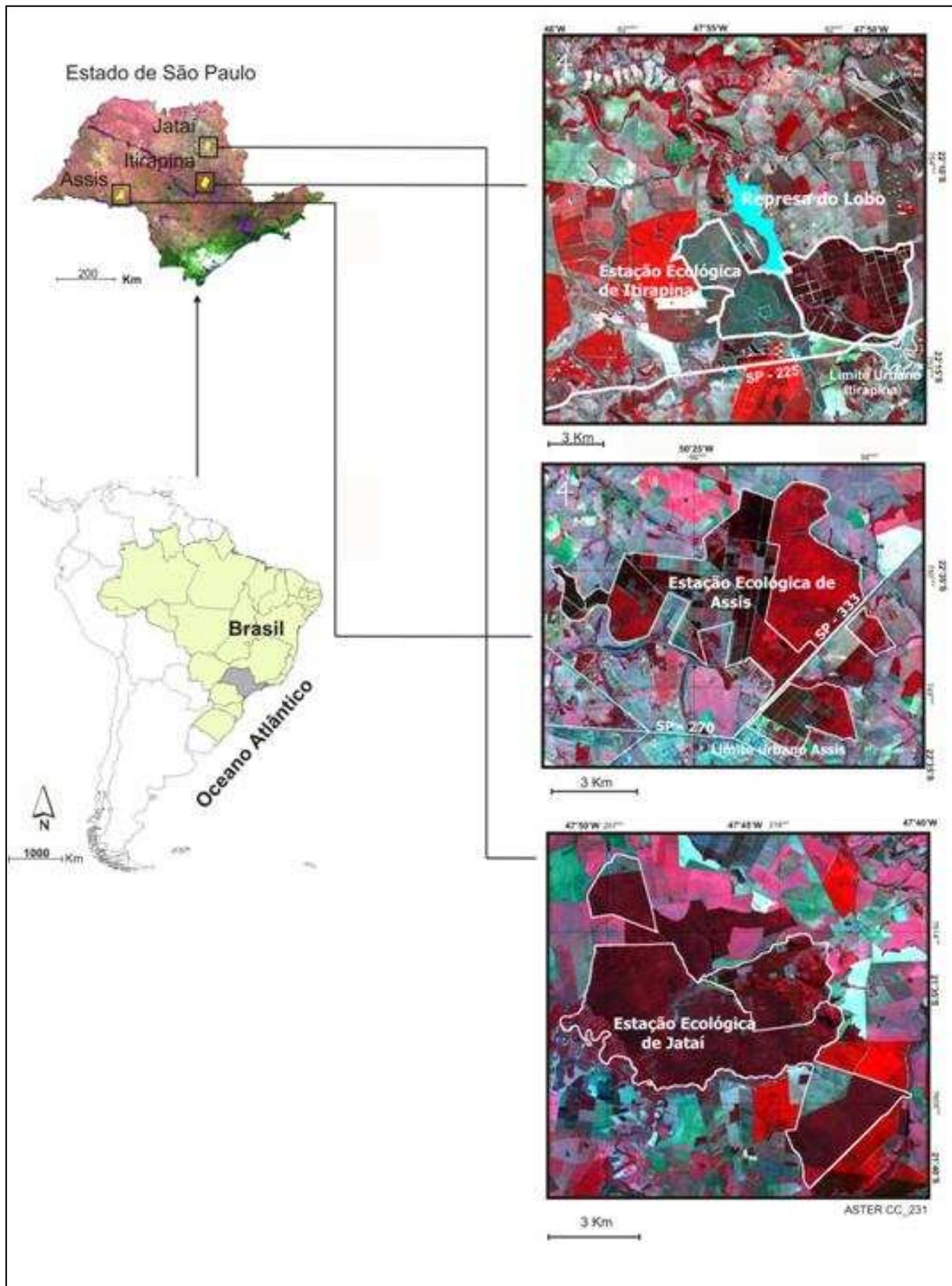


Figura 4.1 - Localização das unidades de conservação em Assis, Itirapina e Luiz Antônio.

4.2) Análises textural e espectral das imagens

A textura de uma imagem diz respeito à variação nos valores de níveis cinza de pixels vizinhos, a qual confere maior ou menor rugosidade à imagem (EMERSON et al., 1999; MUSICK & GROVER, 1990). No caso das imagens orbitais, a textura reflete o padrão espacial da paisagem. Já a análise espectral de uma imagem orbital se baseia na análise da curva de resposta espectral gerada por um gráfico de comprimento de onda X reflectância, a qual representa o comportamento de um alvo em relação às diferentes bandas do espectro eletromagnético (GHOSH et al., 2008).

Para a análise dos padrões texturais e espectrais das fisionomias de Cerrado presentes nas localidades de estudo, foram utilizadas imagens do sensor multiespectral ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer). Tal sensor possui 14 bandas espectrais (Tabela 4.1): 3 bandas que cobrem as faixas espectrais do visível (VIS (“Visible”) - entre 0,52 e 0,69 μm) e do infravermelho próximo (NIR (“Near infrared”) – entre 0,78 e 0,86 μm), com resolução de 15 metros; 6 bandas cobrindo o infravermelho de ondas curtas (SWIR (“Short Wave Infrared”) – entre 1.600 e 2.430 μm), com resolução de 30 metros; e 5 bandas no infravermelho termal (TIR (“Thermal Infrared”) – entre 8.125 e 11.650 μm), com 90 metros de resolução (VICENTE, 2007).

A escolha do ASTER se justifica por várias características do sensor que o tornam apropriado aos objetivos da presente pesquisa. Dentre esses aspectos técnicos (Tabela 4.1), destacam-se: o maior número de bandas que cobrem a região do VNIR (visível e infravermelho próximo), amplamente usada em estudos de vegetação; e pela presença de 6 bandas no SWIR (infravermelho de ondas curtas) que captam compostos bioquímicos da vegetação (ALMEIDA et al., 2007; VICENTE, 2007). Além de suas qualidades técnicas, a escolha do sensor também se deve à inserção da presente pesquisa em um projeto⁸ mais amplo cujo objetivo principal foi o uso do ASTER para mapeamentos de processos de arenização presentes especialmente em áreas de Cerrado.

⁸ “Metodologia para mapeamento de processos de arenização utilizando o infravermelho termal do Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)” (processo CNPQ 475557/2006-9).

Tabela 4.1: Parâmetros técnicos do sensor ASTER (elaborado por Vicente (2007), a partir de Abrams & Hook (2002)).

Subsistemas	Bandas	Abrangência espectral (μm)	Resolução Radiométrica	Acurácia Absoluta (σ)	Resolução Espacial (m)	Níveis de quantização
VNIR	1	0.52-0.60	$E\Delta\rho \leq 0.5\%$	$\leq -4\%$	15	8 bits*
	2	0.63-0.69				
	3N	0.78-0.86				
	3B ***	0.78-0.86				
SWIR	4	1.60-1.70	$NE\Delta\rho \leq 0.5\%$		30	8 bits*
	5	2.145-2.185	$NE\Delta\rho \leq 1.3\%$			
	6	2.185-2.225	$NE\Delta\rho \leq 1.3\%$	$\leq -4\%$		
	7	2.235-2.285	$NE\Delta\rho \leq 1.3\%$			
	8	2.295-2.365	$NE\Delta\rho \leq 1.0\%$			
	9	2.360-2.430	$NE\Delta\rho \leq 1.3\%$			
TIR	10	8.125-8.475			90	12 bits**
	11	8.475-8.825		$\leq 3K$ (200-240 K)		
	12	8.925-9.275	$NE\Delta T \leq 0.3K$	$\leq 2K$ (240-270 K)		
	13	10.25-10.95		$\leq 1K$ (270-340 K)		
	14	10.95-11.65		$\leq 2K$ (340-370 K)		
Altitude: 705 Km. Resolução Temporal: ~ 16 days. Área de cobertura: 60 x 60 Km (α IFOV). Total cobertura no cross-tracking direcionado por ponto: 232 Km			* 256 níveis de cinza. ** 4096 níveis de cinza. *** banda de retrovisada – estéreo-par com 3N.			

As imagens ASTER de Assis, Itirapina e Luís Antônio foram tomadas, respectivamente, em 19/09/2003, 05/09/2003 e 02/11/2002, para as quais foram aplicadas as devidas correções geométricas e radiométricas (detalhadas em VICENTE, 2007; VICENTE et al., 2007). A identificação das fisionomias de Cerrado das localidades de estudo foi feita a partir de classificações realizadas em trabalhos de campo, usando como base a chave de identificação apresentada por Ribeiro & Walter (2008). Essa classificação também se apoiou em trabalhos anteriores realizados nas localidades (BITTENCOURT, 2004; IF, 2006; IF, 2010; KRONKA, F. et al., 1993; PINHEIRO, 2008; TOPPA, 2004).

Para as imagens ASTER de cada localidade estudada, adotou-se a seguinte sequência de procedimentos, utilizando-se o programa ENVI 4.1:

l) em cada área de ocorrência de uma determinada fisionomia de interesse e representativa da localidade, foram selecionadas três amostras distribuídas ao longo do eixo central da área;

II) para cada amostra, foram usadas três extensões⁹ distintas, representando três escalas espaciais: 1) área de 300x300m (totalizando 400 pixels); 2) área de 150x150m (total de 100 pixels); e 3) área de 75x75m (equivalente a 25 pixels) ;

III) para cada extensão, foi criada uma região de interesse¹⁰, a partir da qual foram gerados 2 arquivos digitais: um com a imagem da área (em formato GeoTiff) e outro com os valores de reflectância de cada banda (arquivo em formato txt obtido com a ferramenta “ROIStats”). O primeiro arquivo se prestou às análises texturais da imagem, ou seja, análise de sua rugosidade em relação às variações nos tons ou cores. O segundo arquivo foi usado para as análises espectrais, isto é, para analisar a resposta espectral do alvo para cada banda de interesse.

Essa sequência de procedimentos foi seguida para diferentes composições ou razões de bandas¹¹ de uma mesma cena:

- *bandas 231*: composição RGB falsa-cor;
- *Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)*: obtida a partir das bandas 3 (faixa do infravermelho próximo - NIR) e 2 (faixa do vermelho – RED), utilizando-se a fórmula-padrão para o índice¹²;
- *razão de bandas 3/8*: realça compostos bioquímicos, com ênfase em lignina¹³ e água foliar (BARET, 1999 apud ALMEIDA et al., 2007); e
- *razão de bandas 3/9*: destaca igualmente compostos bioquímicos, enfatizando também lignina e água foliar (BARET, 1999 apud ALMEIDA et al., 2007)¹⁴.

O uso de álgebra de bandas, segundo Almeida et al., (2007), tem a finalidade de realçar as informações espectrais distintas existentes entre as bandas nas quais ela é aplicada, ao mesmo tempo em que suprime as informações comuns. Assim, buscou-se utilizar essas álgebras para verificar se elas conseguiam destacar padrões texturais e espectrais específicos de cada fisionomia analisada.

⁹ Extensão se refere ao tamanho da área de estudo (TURNER & GARDNER, 1990).

¹⁰ As regiões de interesse foram criadas a partir da ferramenta “ROI Tool” do programa Envi.

¹¹ As imagens formadas a partir de razões de bandas foram geradas pela ferramenta “Band Ratios”, no menu “Transform” do programa Envi.

¹² $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$

¹³ Lignina é uma substância que confere resistência aos tecidos vegetais e está presente em grande quantidade nas estruturas lenhosas. Portanto, pode ser usado no sensoriamento remoto como um indicador para diferenciar fisionomias de Cerrado.

¹⁴ As imagens geradas pelo NDVI e pelas razões 3/8 e 3/9 foram posteriormente realçadas usando a ferramenta “Enhance → Gaussian”.

4.2.1) Medidas baseadas na dimensão fractal:

Uma das medidas usadas para analisar os padrões texturais e espectrais das imagens foi a dimensão fractal. Para muitos autores (como FARINA, 1998; MILNE, 1990), a dimensão fractal é uma métrica que exprime a complexidade dos padrões e, portanto, pode descrever a heterogeneidade das unidades (manchas) que compõem o mosaico de uma paisagem.

Para o cálculo da dimensão fractal, foi usada a “caixa de ferramenta” (toolbox) para MatLab denominada FracLab (versão 2.0), desenvolvida pelo Instituto Nacional de Pesquisa em Informática e Automação (INRIA – França).

A dimensão fractal relativa à textura foi calculada a partir do arquivo em formato GeoTiff com a imagem de cada área selecionada, ao qual foram aplicados dois métodos disponíveis no FracLab: “Box Method” e “Variation Method”¹⁵, e, para cada um deles, usados dois estimadores diferentes para ajuste dos dados: mínimos quadrados e máxima verossimilhança. Assim, foram obtidos quatro diferentes valores de dimensão fractal para cada imagem.

O “Box Method” se baseia no procedimento conhecido como contagem de caixas, que consiste em cobrir uma imagem com uma grade de quadrados (caixas) de lado r e verificar o número de quadrados que contém a categoria de interesse A (AZEVEDO, 2003; BACKES & BRUNO, 2005; CHRISTOFOLETTI, 1999), conforme a fórmula:

$$N_r(A) = \mu \cdot r^D$$

onde $N_r(A)$ é o número de quadrados de lado r que contenham parte da categoria A .

A dimensão fractal de Hausdorff (D) é dada por:

$$D = - \lim_{r \rightarrow 0} [\ln(N_r(A)) / \ln r]$$

Repetindo a operação para diferentes valores de r (processo denominado iteração) e calculando-se a respectiva dimensão fractal para cada um deles, pode-se

¹⁵ Optou-se por manter os nomes dos métodos em inglês para padronizar os termos conforme são mais frequentes na literatura, evitando-se a criação de neologismos e a confusão com termos semelhantes, porém metodologicamente distintos.

traçar um gráfico log-log de $Nr(A)$ por r (número de quadrados ocupados X tamanho do lado do quadrado), onde é possível obter uma aproximação de reta com coeficiente angular α , que, conforme BACKES & BRUNO (2005), relaciona-se com a dimensão fractal de A (DA) de tal modo que:

$$DA = -\alpha$$

Para o cálculo de dimensão fractal dos espectros, também foi usado o FracLab, adotando-se o método denominado “Regularization Dimension”, o qual foi aplicado a curva de resposta espectral de cada imagem (fornecida pelo arquivo em formato txt). O método se baseia no comportamento das extensões de versões regularizadas cada vez menores do gráfico original, obtendo-se a dimensão fractal a partir de um gráfico com o valor do parâmetro escalar no eixo horizontal e as extensões dos gráficos regularizados no eixo vertical (INRIA, 2010).

Por esse método se aplicar à análise de gráficos de sinais, a dimensão fractal foi calculada apenas para o gráfico formado pelos valores de reflectância das nove bandas do ASTER. Como as álgebras de bandas não formam gráficos desse tipo, pois geram um ponto único com o valor de reflectância, as imagens NDVI, razão 3/8 e 3/9 não puderam ser analisadas por essa medida.

4.2.2) Medidas baseadas na entropia informacional:

As imagens geradas para cada área amostral também foram analisadas em relação à complexidade dos padrões (no sentido de heterogeneidade de suas texturas e espectro) utilizando-se duas medidas de complexidade baseadas na entropia informacional:

a) H/Hmax:

Essa medida considera que a complexidade aumenta em função do aumento da desordem do sistema (SHINER & DAVISON, 1999). Seu cálculo é relativamente simples: define-se primeiramente o número total de estados possíveis, chamado de extensão do sistema (M). Com base nesse valor, calcula-se a entropia máxima do

sistema, H_{max} , (que é alcançada quando todos os estados são equiprováveis), definida por:

$$H_{max} = \log_2 N$$

Calculando-se a probabilidade de cada estado, p_i , a entropia informacional, H_e , associada à estrutura do sistema, é dada por:

$$H_e = \sum_{i=1}^N p_i \log(1/p_i)$$

Por fim, obtém-se a medida de complexidade dividindo a entropia informacional calculada, H_e , pela entropia máxima, H_{max} :

$$C = H_e / H_{max}$$

Para essa medida, valor alto de complexidade significa que o sistema está mais desordenado. Portanto, ela permite identificar se o sistema se encontra mais próximo da ordem ou da desordem.

b) Função convexa da entropia:

Diferente da anterior, essa medida considera que a maior complexidade está localizada entre a ordem e a desordem, ou seja, a complexidade máxima se situa num estado de heterogeneidade intermediária. Esse pressuposto pode ser matematicamente representado por uma função convexa da entropia (MATTOS et al., 2009; PIQUEIRA et al., 2008; SHINER & DAVISON, 1999). Para a obtenção da medida, inicia-se também calculando extensão do sistema (N), a entropia máxima (H_{max}) e a entropia informacional associada à estrutura do sistema (H_e), conforme as fórmulas já apresentadas. A complexidade dada pela função convexa da entropia é fornecida pela equação:

$$C = [1 - (H_e/H_{\max})(H_e/H_{\max})]$$

Considerando que nem paisagens bem-ordenadas nem completamente desordenadas são complexas, segundo aponta Parrot (2005), essa medida seria mais apropriada para esse fim, pois, conforme afirma Ebeling et al.(2002), combina ordem e desordem em uma função convexa da entropia

Para a análise textural das imagens, o cálculo das medidas de complexidade baseadas na entropia informacional foi feito a partir de uma rotina (“script”) criada no programa MatLab (versão 7.8.0.347/R2009a). O valor atribuído à extensão do sistema (M) foi de 256, que corresponde ao número total de níveis de cinza que podem estar presente nas imagens. A probabilidade de cada estado (p) foi obtida calculando-se a frequência relativa de cada nível de cinza.

Para os espectros, o valor da extensão do sistema (M) foi considerado como correspondente ao intervalo entre os valores mínimo e máximo de reflectância obtidos por cada banda analisada (por exemplo, se os valores mínimo e máximo dos pixels de uma área foram, respectivamente, 2 e 10, o número de estados possíveis do sistema é 9). Já a probabilidade de cada estado (p) foi calculada pela frequência relativa de cada valor de reflectância. O cálculo dessas medidas de complexidade para a análise espectral foi executado no programa Excel 2007.

4.2.3) Análise estatística dos dados

Ao conjunto de dados gerados a partir do cálculo das dimensões fractais e medidas de complexidade de imagens e seus respectivos espectros foi aplicado o teste estatístico ANOVA (análise de variância) para comparações múltiplas, disponível no MatLab (versão 7.8.0.347/R2009a). ANOVA é um teste robusto que permite avaliar se há diferenças significativas entre as médias de diferentes grupos amostrais (ZAR, 1999). A aplicação do teste ANOVA permitiu as seguintes análises para cada medida:

- comparação dos valores obtidos pelas diferentes fisionomias de uma mesma localidade;

- comparação dos valores obtidos por uma mesma fisionomia em diferentes localidades;
- comparação dos valores obtidos para uma mesma área/fisionomia pelos diferentes métodos usados; e
- comparação dos valores obtidos por uma mesma área para diferentes extensões (escalas).

4.3) Relações entre solo, relevo e vegetação:

Para o estudo das relações entre solo, relevo e vegetação, foram escolhidos cinco pontos situados na E.E. de Jataí, três deles situados em área de cerradão (pontos 1, 4 e 8) e dois pontos em área de cerrado ss (pontos 12 e 27)¹⁶ (Figura 4.2). Esses pontos haviam sido estudados por Quaresma (2008), que coletou amostras de solo em três profundidades: 0-20cm, 80-100cm e 180-200cm, e as encaminhou para análises laboratoriais. Foram aproveitados na presente pesquisa os seguintes dados físicos e químicos do solo obtidos por Quaresma (2008): porcentagem de argila, silte e argila, pH, soma de bases, saturação por bases, capacidade de troca catiônica e saturação por alumínio, todos obtidos a partir de amostras compostas das três profundidades citadas. Também foram usados os dados referentes à altitude e declividade, bem como os relativos ao porte e densidade da vegetação.

Os pontos 1, 4 e 8 estão situados em uma vertente da margem direita do córrego Beija-Flor, com presença de Latossolo Vermelho. O ponto 1 fica no topo da vertente, em solo de textura média, onde é encontrado um cerradão com árvores de 10-12m em média, podendo chegar até 17m (Quaresma, 2008) (Figura 4.3). Já no ponto 4, situado na meia-vertente em solo argiloso associado a afloramento de basalto, o cerradão é de menor porte (em média 7m, chegando até 12m), mas a cobertura arbórea é mais densa (Quaresma, 2008) (Figura 4.3). O cerradão do ponto 8, localizado no sopé da vertente, também sobre solo de textura média, possui árvores mais altas (14m em média), porém a cobertura é menos densa (Quaresma, 2008) (Figura 4.3).

¹⁶ Os números dos pontos correspondem aos mesmos números usados por Quaresma (2008).

Os pontos 12 e 27 se situam na outra margem do córrego Beija-Flor, em área de Neossolo Quartzarênico. O ponto 12 fica no sopé dessa outra vertente, onde há presença de células de areiais sobre as quais se desenvolve um cerrado ss de menor porte (árvores até 7m) e menor densidade de cobertura do estrato superior (Quaresma, 2008)) (Figura 4.3). Já no ponto 27, situado na meia-vertente, o cerrado ss possui maior porte (em média 10m, chegando até 12m) e densidade de cobertura em relação ao ponto anterior (Quaresma, 2008)) (Figura 4.3).

Para facilitar a diferenciação das características vegetacionais dos pontos analisados, a vegetação foi classificada em cinco tipos:

- a) Cerradão Tipo 1: presente no ponto 1, com estrato superior de porte intermediário (10-12m) e menor densidade de cobertura;
- b) Cerradão Tipo 2: presente no ponto 4, com estrato superior de porte mais baixo (7m) e maior densidade de cobertura;
- c) Cerradão Tipo 3: presente no ponto 8, com estrato superior de porte mais alto (14m) e menor densidade de cobertura;
- d) Cerrado ss Tipo 1: presente no ponto 12, com estrato superior de porte mais baixo (até 7m) e menor densidade de cobertura; e
- e) Cerrado ss Tipo 2: presente no ponto 27, com estrato superior de porte intermediário (10m) e maior densidade de cobertura.

Usando o programa ENVI 4.1, os pontos foram localizados na imagem ASTER da E.E. de Jataí a partir de suas coordenadas geográficas e, para cada ponto, foi selecionada uma área de 75x75m ao redor dele. Em seguida, foram gerados 2 arquivos: um com a imagem da área (formato GeoTiff) e outro com os valores de reflectância de cada banda (obtido pela ferramenta "ROIStats"), os quais foram utilizados para os cálculos de dimensão fractal e complexidade baseado na entropia.

Na busca de se identificar possíveis relações entre os dados levantados nesses pontos, foi usado o programa BioStat 2009 para o cálculo do coeficiente de correlação de cada par de variáveis e verificado, por meio do teste T-Student com nível de significância de 5%, a hipótese H0 de que as variáveis não estão relacionadas. É

importante lembrar que a rejeição da hipótese evidencia a existência de correlação entre as variáveis, porém não implica necessariamente em relação de causa-efeito.

As análises de correlações entre os tipos vegetacionais e os fatores relativos ao solo e relevo foram feitas considerando três cenários, escolhidos em virtude das variações no porte e densidade das árvores observadas ao longo dos pontos:

a) Cenário 1: a resposta da vegetação do estrato superior às variações nos fatores pedogeomorfológicos se dá unicamente por meio do porte das árvores que formam esse estrato;

b) Cenário 2: a resposta da vegetação do estrato superior às variações nos fatores pedogeomorfológicos se dá unicamente por meio da densidade de cobertura das árvores que formam esse estrato; e

c) Cenário 3: a resposta da vegetação do estrato superior às variações nos fatores pedogeomorfológicos se dá tanto por meio do porte como da densidade de cobertura das árvores que formam esse estrato.

Para cada cenário, foram atribuídos pesos de 1 a 5 para as fisionomias de acordo com a(s) característica(s) vegetal(is) destacada(s) naquele cenário, sendo 5 o valor correspondente à fisionomia onde o(s) atributo(s) selecionado(s) apresentava maior representatividade (Tabela 4.1). A presença de correlações mais significativas em um desses cenários poderia indicar quais fatores estão relacionados à configuração dos padrões vegetacionais existentes nos pontos analisados.

Tabela 4.2 – Valores atribuídos para as fisionomias em cada cenário.

Fisionomia	Cenário 1 (porte)	Cenário 2 (densidade)	Cenário 3 (porte+densidade)
<i>Cerradão Tipo 1</i>	4	4	3
<i>Cerradão Tipo 2</i>	3	5	5
<i>Cerradão Tipo 3</i>	5	3	4
<i>Cerrado ss Tipo 1</i>	1	1	1
<i>Cerrado ss Tipo 2</i>	2	2	2

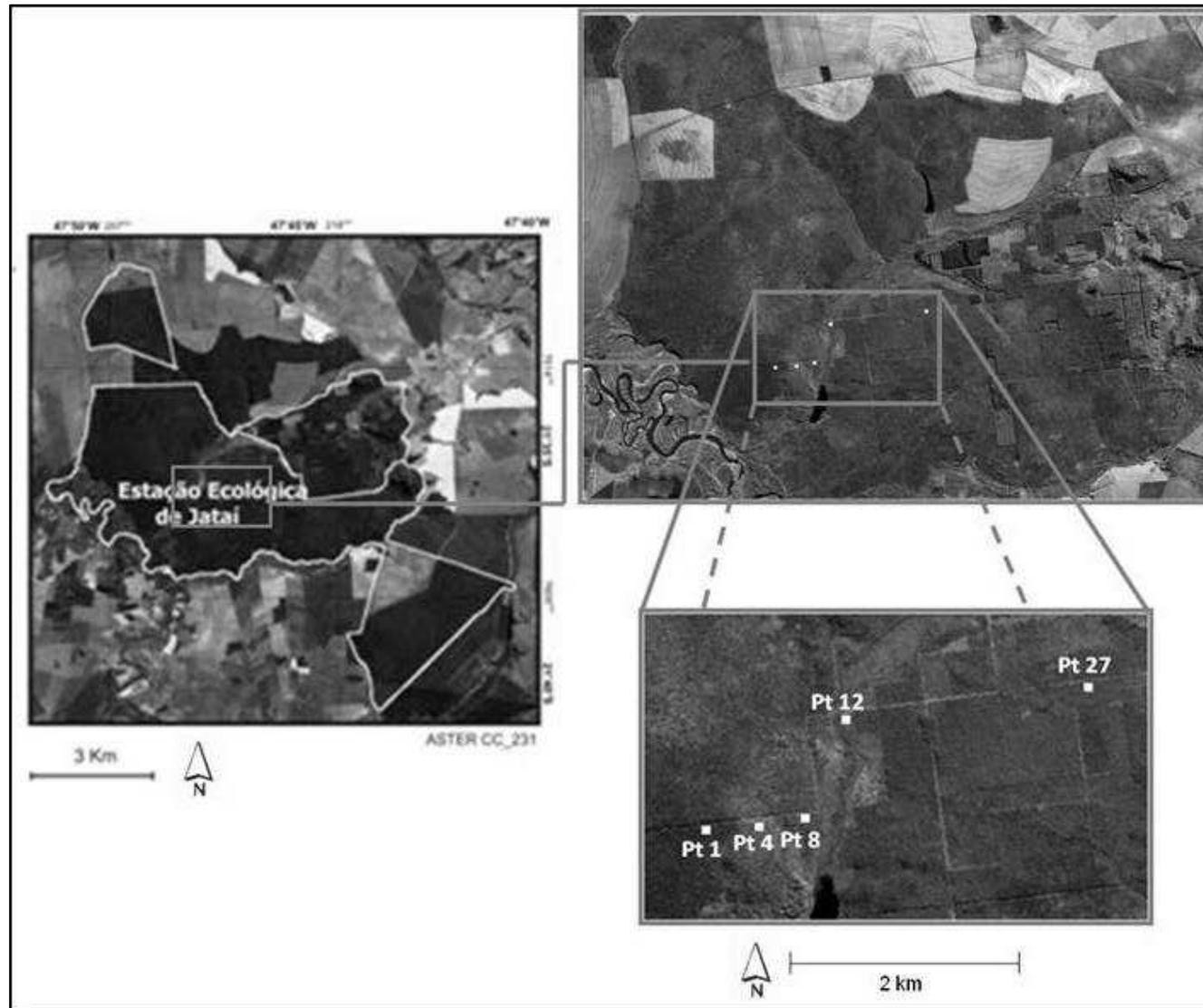


Figura 4.2 – Localização dos pontos analisados na E.E. de Jataí (no detalhe: áreas selecionadas em torno dos pontos de coleta de dados).



Figura 4.3 – Diferenças entre porte e densidade das fisionomias nos pontos analisados. (Fotos cedidas por Cristiano C. Quaresma e publicadas em Quaresma (2008)).

5) RESULTADOS E DISCUSSÃO:

5.1) Medidas de dimensão fractal e complexidade aplicadas às análises textural e espectral das fisionomias do Cerrado

São apresentados e discutidos a seguir os resultados obtidos por meio dos cálculos de dimensão fractal e medidas de complexidade para as três localidades estudadas.

a) Estação Ecológica de Assis:

Na Estação Ecológica de Assis foram analisadas imagens e respectivos espectros de quatro áreas distintas, correspondendo a três fisionomias: duas áreas de cerradão, uma de cerrado denso e outra de transição entre cerradão e floresta estacional semidecidual. Em cada área, foram selecionados três pontos amostrais (Figura 5.2), calculando-se as dimensões fractais e medidas de complexidade para as três extensões estudadas.

Nas áreas de cerradão, a cobertura do estrato arbóreo – formada por árvores entre 8 e 15 m – é maior que 90%, formando um dossel fechado (Pinheiro, 2008). Nas imagens de satélite, essa fisionomia apresenta uma maior homogeneidade, tanto na textura como na resposta espectral, quando comparada as outras fisionomias analisadas (Figuras 5.3).

A área de cerrado denso corresponde a uma fisionomia intermediária ao cerrado típico e cerradão, com o estrato superior – formada por vegetação mais baixa e mais aberta do que a do cerradão – cobrindo cerca de 70% da área (Pinheiro, 2008). Portanto, em relação ao cerradão, a área de cerrado denso apresenta uma variação maior em termos de altura das árvores e cobertura do dossel, refletindo em uma maior heterogeneidade das imagens e respectivos espectros (Figuras 5.3).

Na área de transição entre cerradão e floresta estacional semidecidual, há uma mistura entre esses dois tipos vegetacionais, caracterizada por árvores de diferentes alturas que, no entanto, cobrem quase totalmente a área. Sendo assim, essa área apresenta maior heterogeneidade textural e espectral do que o cerradão, porém menor do que a do cerrado denso (Figuras 5.3).

• Dimensão fractal das imagens:

As médias dos valores das dimensões fractais obtidas pela análise das imagens de cada área são apresentados na Tabela 5.1. Conforme se pode visualizar pelos resultados, houve uma grande variação entre os valores de dimensão fractal para uma mesma fisionomia calculada por diferentes métodos e para diferentes bandas. A área de cerrado denso, da qual seriam esperados valores mais altos devido à maior rugosidade apresentada nas imagens, em poucos casos atingiu esse resultado e, muitas vezes, obteve valores mais baixos que as demais fisionomias.

A aplicação do teste estatístico de análise de variância (Anova) mostrou que nenhum método, independente da composição/razão de bandas usadas na imagem, foi totalmente eficiente em distinguir as diferentes fisionomias. O método que atingiu melhor resultado nessa distinção foi o “Box method - máxima verossimilhança” para a imagem gerada pela razão de bandas 3/8 e extensão de 10x, já que por meio dele foi possível considerar significativamente diferente as médias de dimensão fractal do cerradão 2, cerrado denso e transição cerradão/floresta, assim como considerar como sem diferença significativa as médias de dimensão fractal das duas áreas de mesma fisionomia (cerradão 1 e 2) (Tabela 5.2). Porém, esse método não conseguiu diferenciar o cerradão 1 do cerrado denso e da área de transição, pois as médias dessas três fisionomias não apresentaram diferenças significativas (Tabela 5.2). Ainda assim, o uso dessa álgebra de bandas – que realça a presença de lignina e água foliar (Almeida et al., 2007; Perrotta et al., 2008) – conseguiu uma melhor diferenciação da rugosidade das fisionomias quando comparada as outras composições/razões de banda analisadas, inclusive da razão 3/9, que destaca os mesmos componentes (Tabela 5.2).

Em relação aos métodos, os resultados das comparações evidenciam que os valores de dimensão fractal de uma mesma área obtida por diferentes métodos não são, de maneira geral, coincidentes (Tabela 5.3). Tais resultados estão de acordo com outros trabalhos que compararam métodos de cálculo de dimensão fractal e mostraram que, para uma mesma imagem, há uma grande variação nos valores obtidos pelos diferentes métodos (Kojima et al., 2006; Lam et al., 1998; Zhou & Lam, 2005). Somente para a composição de banda 231 e extensão de 20x, as médias dos

valores de dimensão fractal de uma mesma área obtidos pelos quatro diferentes métodos não apresentaram diferenças significativas entre si (Tabela 5.3).

As comparações das médias de dimensão fractal de uma mesma fisionomia obtida para diferentes extensões de áreas mostraram que não houve diferença significativa entre as três extensões de cada área em vários casos: para o “Box method – mínimos quadrados” (bandas 231, NDVI e razão 3/9), “Variation method – mínimos quadrados” (razão 3/8) e para o “Variation method – máxima verossimilhança” (bandas 231, NDVI e razões 3/8 e 3/9) (Tabelas 5.4). Isso significa que, nesses casos, para cada fisionomia avaliada, não há diferença estatística nos valores de dimensão fractal encontrados para as três escalas consideradas na análise.

Essa invariância escalar expressa a auto-similaridade estatística que caracteriza os fractais naturais (Farina, 1998; Janos, 2008; Li, 2000) e tem importantes implicações para o entendimento da organização e dinâmica do Cerrado, conforme será discutido mais adiante¹⁷. Resultados semelhantes foram alcançados por Azevedo (2003) ao analisar a dimensão fractal de matas ciliares em diferentes extensões e por Zhiyuan et al. (2006) ao estudarem os valores fractais de diversas formações vegetais em escalas distintas, mostrando que padrões auto-similares em diferentes escalas são características marcantes de várias comunidades vegetais.

• Dimensão fractal dos espectros:

As médias dos valores de dimensão fractal dos espectros de cada área são apresentadas na Tabela 5.5. Independente da extensão considerada, os maiores valores foram obtidos pelas áreas de cerradão, enquanto a área de cerrado denso teve os menores valores de dimensão fractal. Esse resultado foi oposto ao que era esperado, uma vez que o cerrado denso apresenta um espectro mais heterogêneo do que os demais. Nesse caso, a dimensão fractal se mostrou incapaz de reconhecer essa maior complexidade.

Conforme mostrado na Tabela 5.6, a análise da dimensão fractal dos espectros permitiu diferenciar a área de cerrado denso das áreas de cerradão, porém não da área de transição cerradão/floresta. Também não houve distinção entre as áreas de

¹⁷ Ver item “Implicações dos resultados na compreensão da organização e dinâmica do Cerrado” (p.115)

cerradão e a de transição. Tal padrão se manteve constante para as três extensões analisadas. Isso se explica pelo fato de não terem sido encontradas diferenças significativas entre as médias da dimensão fractal de uma mesma área nas diferentes escalas (Tabela 5.7). Esse resultado, que já havia aparecido na análise das imagens, evidencia novamente a invariância escalar das fisionomias, mostrando que seus padrões espectrais também são estatisticamente auto-similares.

• Comparação entre aplicações da dimensão fractal: análise textural X espectral

Para o caso da Estação Ecológica de Assis, a análise da dimensão fractal do espectro foi, de modo geral, mais eficiente em diferenciar as fisionomias. A exceção foi a análise da textura feita pelo “Box method - máxima verossimilhança” para a imagem gerada pela razão de bandas 3/8 e extensão de 10x, a qual conseguiu maior diferenciação do que aquelas feitas a partir da análise do espectro. Nesse caso, o realce de componentes da vegetação (lignina e água foliar) parece ter proporcionado maior distinção dos padrões de rugosidade das fisionomias.

Em ambas as análises (textural e espectral), no entanto, não houve uma distinção total das fisionomias. Deve contribuir para isso o fato de todas as fisionomias analisadas serem formações florestais, apresentando padrões texturais e comportamentos espectrais muito semelhantes.

Por outro lado, as duas análises revelaram a auto-similaridade estatística característica dos fractais naturais ao mostrarem a inexistência de diferenças significativas nas médias da dimensão fractal de cada fisionomia nas três extensões avaliadas. A presença de padrões espaciais e espectrais recursivos é um resultado bastante importante para se compreender a organização do Cerrado, conforme discussão que será desenvolvida mais adiante¹⁸.

Em resumo, para o caso de Assis, a dimensão fractal se mostrou uma medida capaz de caracterizar determinada fisionomia independente da escala considerada, porém não foi totalmente eficaz na distinção entre diferentes fisionomias.

¹⁸ Ver item “Implicações dos resultados na compreensão da organização e dinâmica do Cerrado” (p.115)

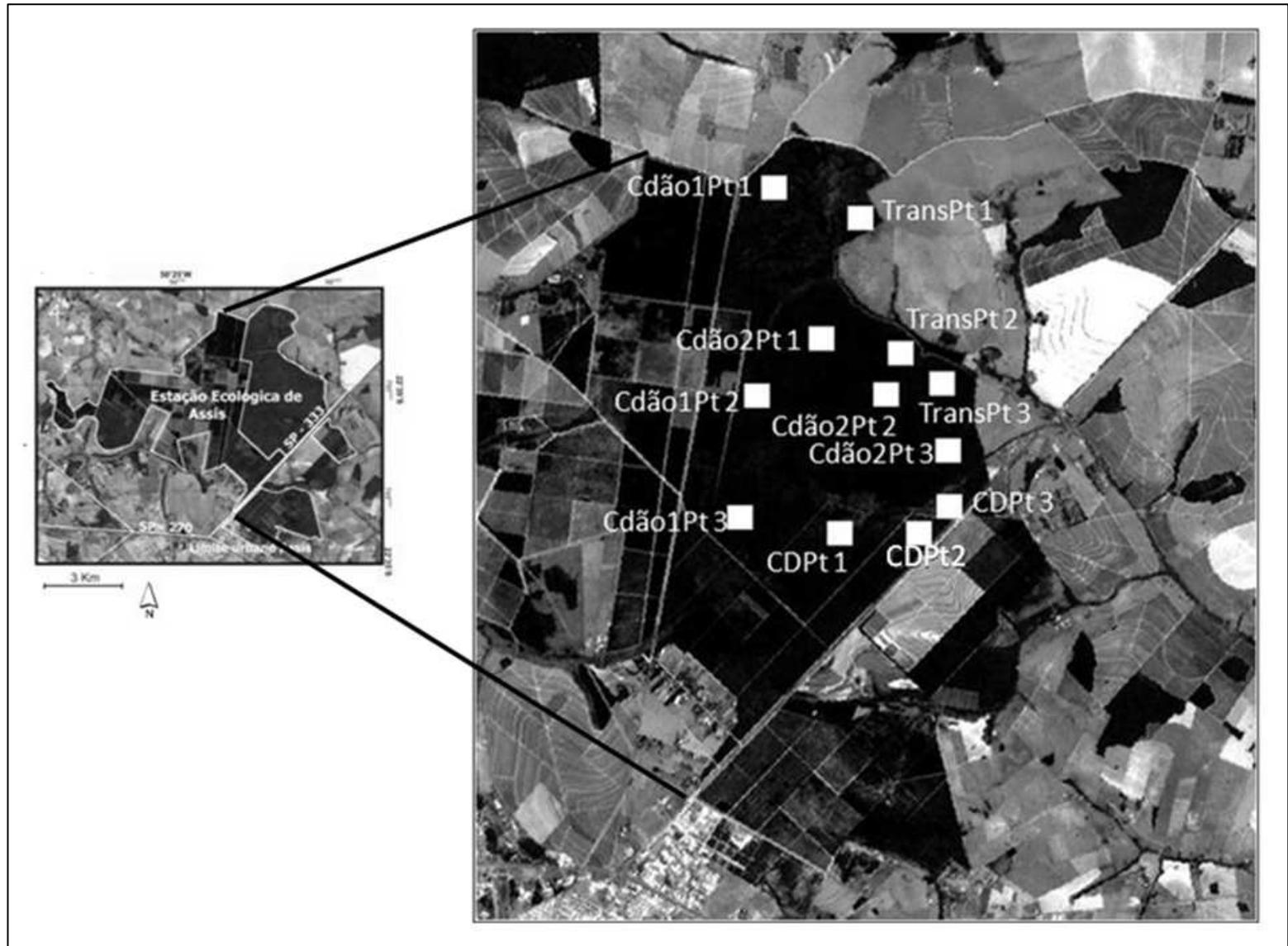


Figura 5.2 - Localização das áreas analisadas na Estação Ecológica de Assis. (Legenda: CD = cerrado denso; Cdão = cerradão; Trans = transição cerradão/floresta estacional; Pt = ponto).

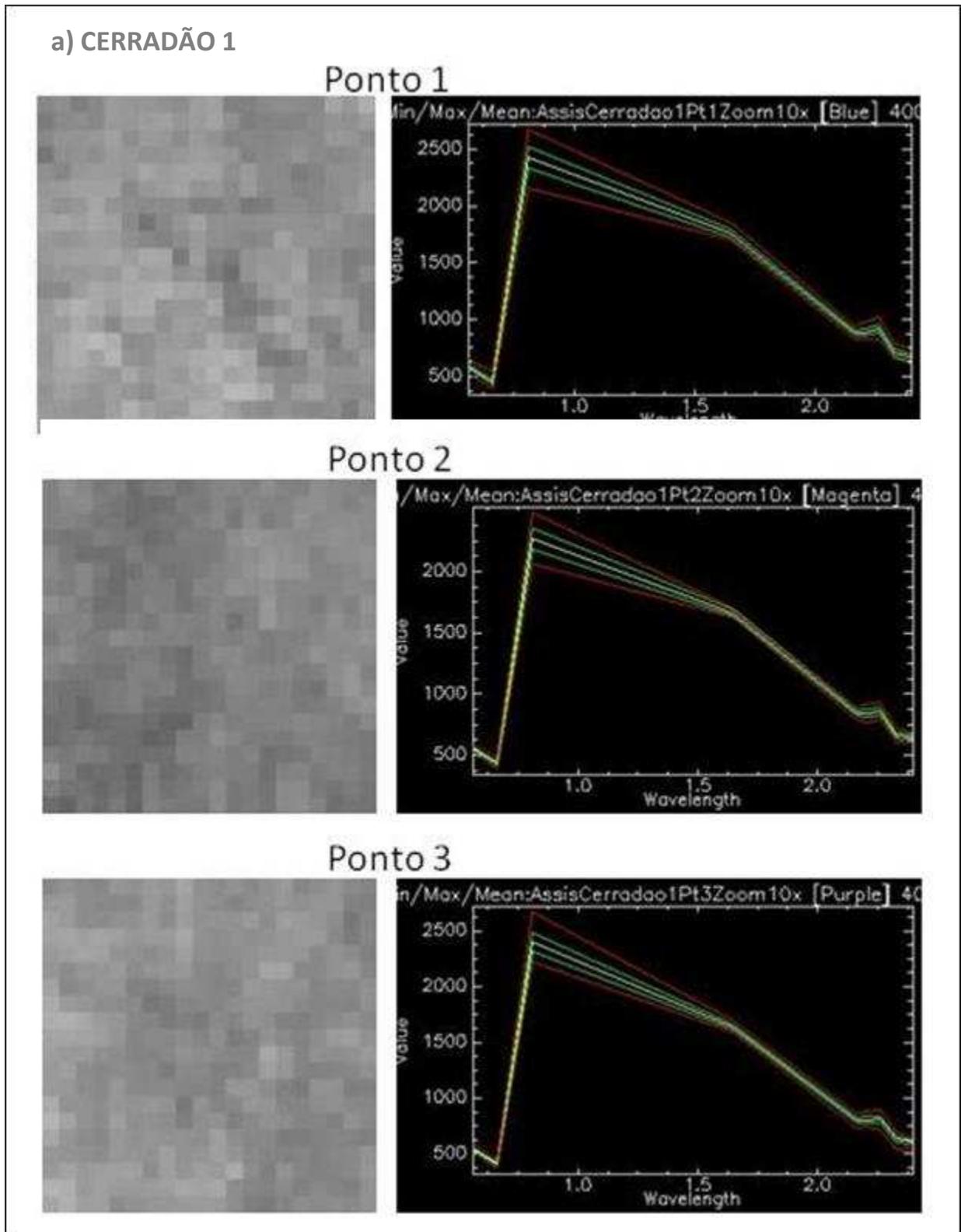


Figura 5.3 – Imagens e respectivos espectros das áreas analisadas na E.E. de Assis (bandas 231; extensão de 400 pixels): **a) Cerradão 1**; b) Cerradão 2; c) Cerrado denso; d) Transição.

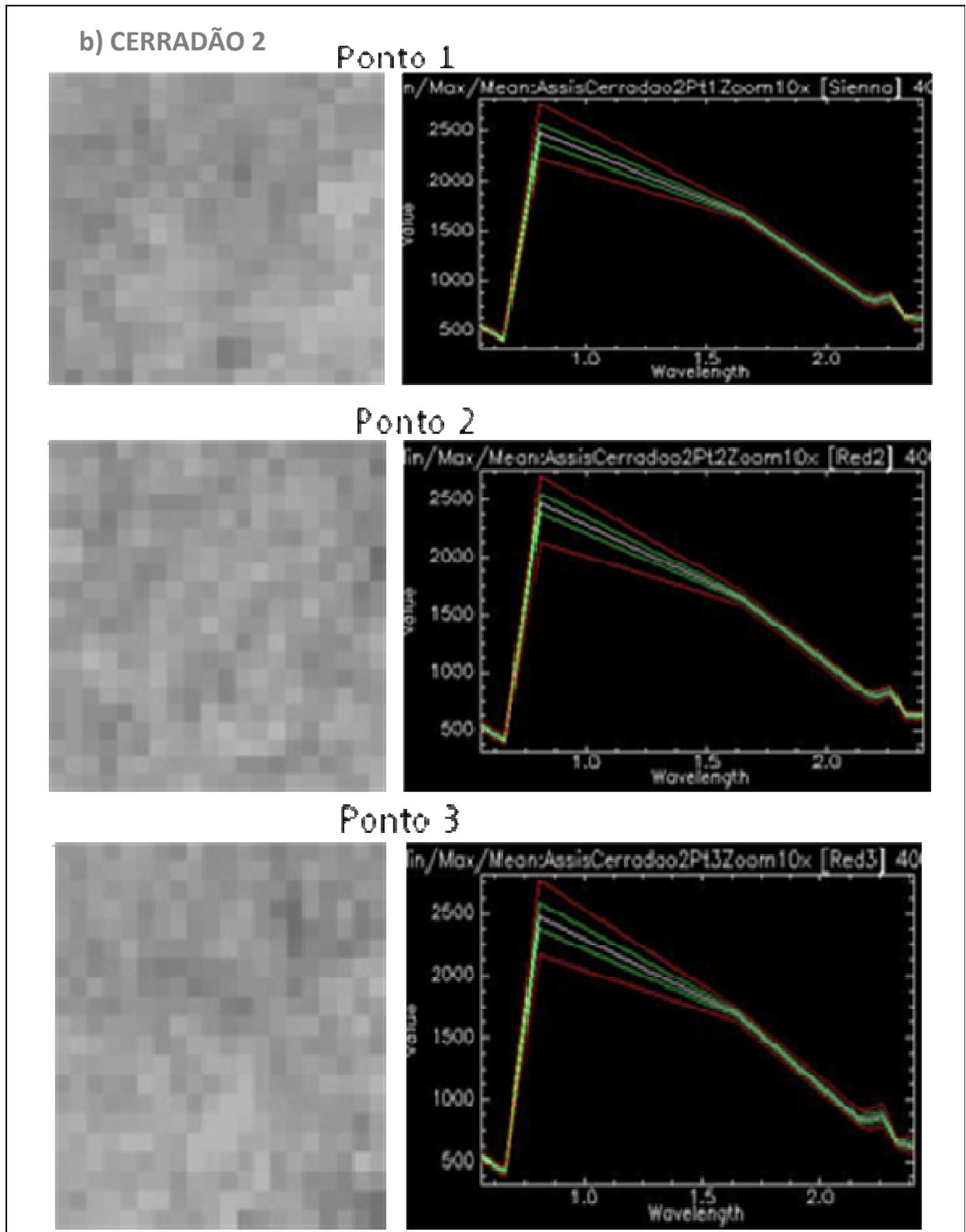
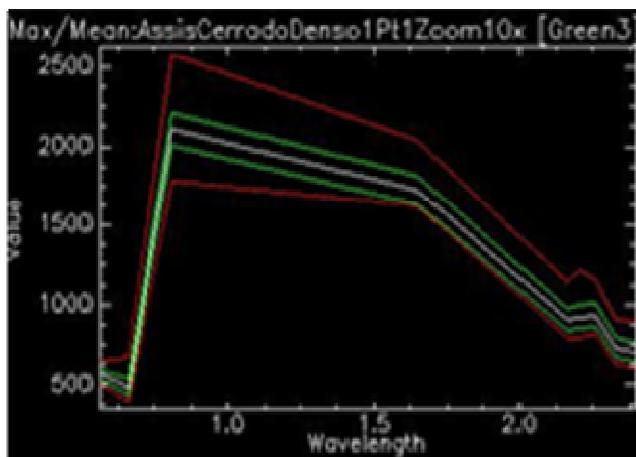
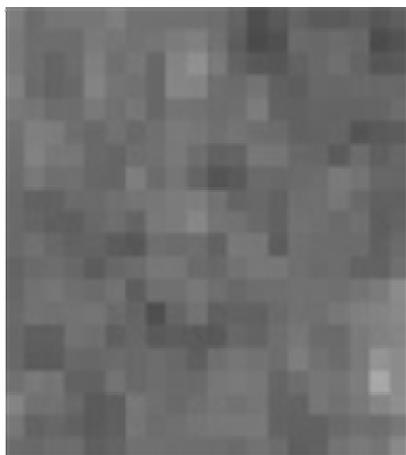


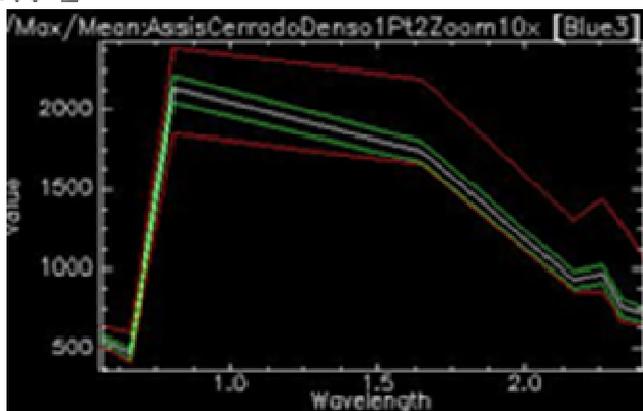
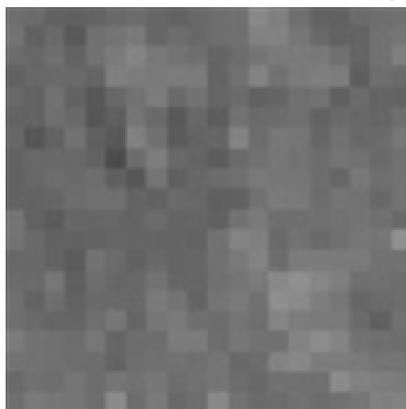
Figura 5.3 (cont.) – Imagens e respectivos espectros das áreas analisadas na E.E. de Assis (bandas 231; extensão de 400 pixels): a) Cerradão 1; **b) Cerradão 2**; c) Cerrado denso; d) Transição.

c) CERRADO DENSO

Ponto 1



Ponto 2



Ponto 3

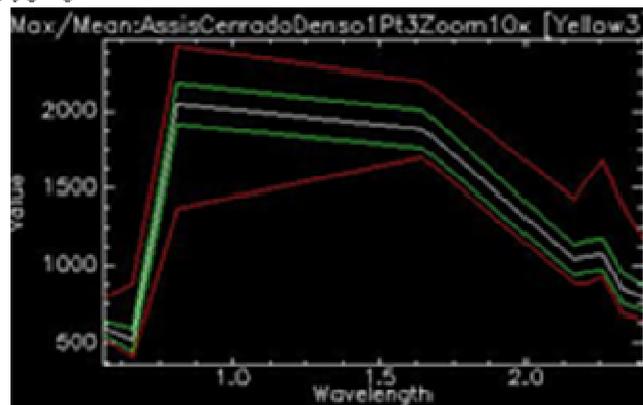
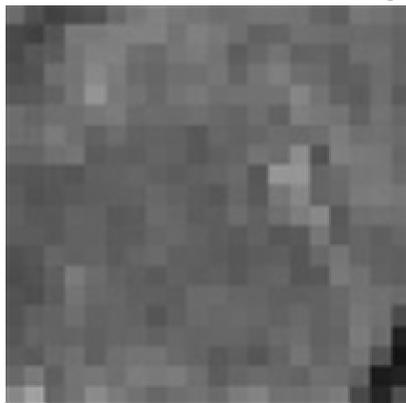
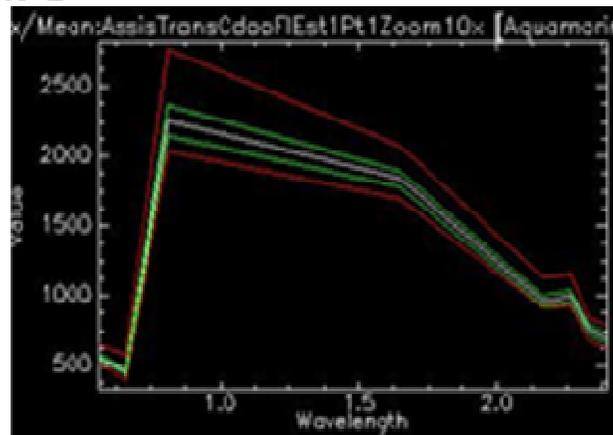
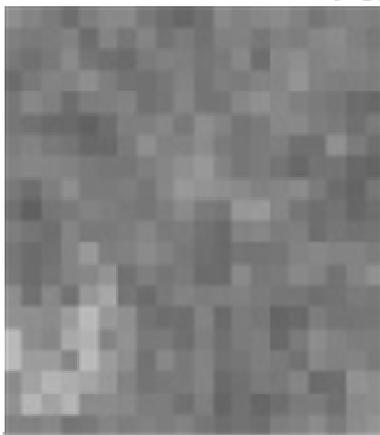


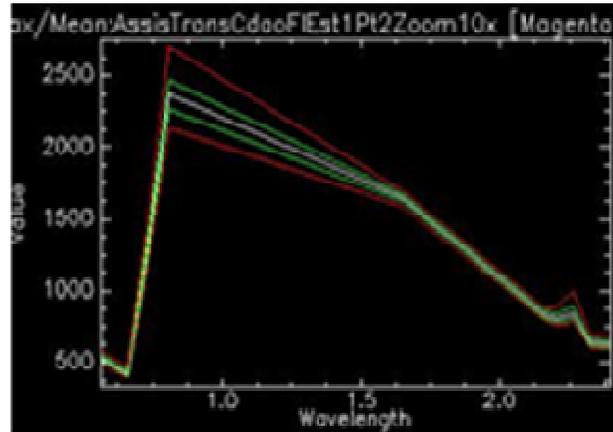
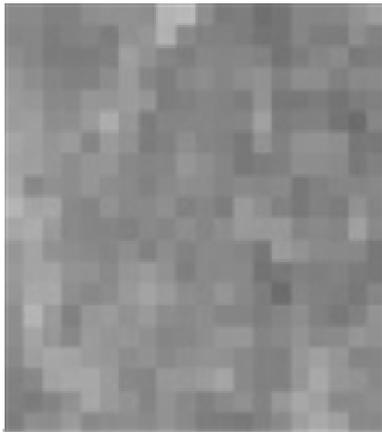
Figura 5.3 – Imagens e respectivos espectros das áreas analisadas na E.E. de Assis (bandas 231; extensão de 400 pixels): a) Cerradão 1; b) Cerradão 2; c) **Cerrado denso**; d) Transição.

d) TRANSIÇÃO CERRADÃO/FLORESTA ESTACIONAL

Ponto 1



Ponto 2



Ponto 3

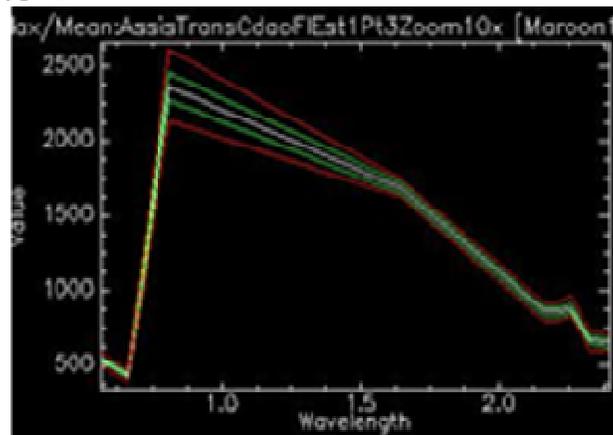
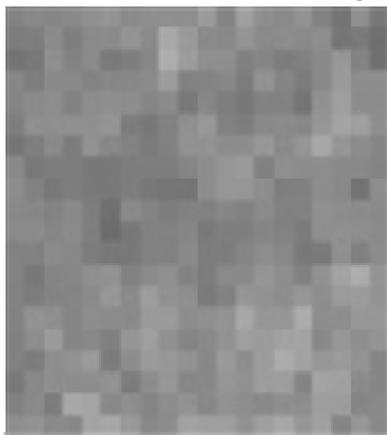


Figura 5.3 (cont.) – Imagens e respectivos espectros das áreas analisadas na E.E. de Assis (bandas 231; extensão de 400 pixels): a) Cerradão 1; b) Cerradão 2; c) Cerrado denso; **d) Transição.**

Tabela 5.1: Médias dos valores de dimensão fractal para imagens das áreas da E.E.Assis.

Fisionomias	Bandas	Valores	10X (400 pixels)				20X (100 pixels)				40X (25 pixels)			
			Box method		Variation method		Box method		Variation method		Box method		Variation method	
			MinQd	MaxSem	MinQd	MaxSem	MinQd	MaxSem	MinQd	MaxSem	MinQd	MaxSem	MinQd	MaxSem
Cerradão 1	231	Média	1,6427	1,8046	1,7029	1,7619	1,6410	1,6715	1,5705	1,7271	1,6323	1,5259	1,4793	1,7397
		dp	0,0289	0,0171	0,0428	0,0545	0,0202	0,0247	0,1182	0,0723	0,0173	0,0228	0,0293	0,0518
Cerradão 2	231	Média	1,6401	1,8305	1,7217	1,7813	1,6279	1,6622	1,5402	1,6889	1,6510	1,5628	1,4861	1,8052
		dp	0,0142	0,0284	0,0629	0,0537	0,0244	0,0171	0,0707	0,1009	0,0230	0,0276	0,1711	0,1108
Cerrado Denso	231	Média	1,6383	1,7647	1,6777	1,7597	1,6225	1,6374	1,5782	1,7259	1,6341	1,5464	1,5327	1,8144
		dp	0,0304	0,0236	0,0562	0,0561	0,0015	0,0188	0,0963	0,0775	0,0330	0,0738	0,0616	0,0228
Transição	231	Média	1,6373	1,8032	1,6282	1,7227	1,6345	1,6584	1,4714	1,6464	1,6366	1,5307	1,4865	1,6851
		dp	0,0112	0,0096	0,0586	0,0455	0,0089	0,0280	0,0997	0,1818	0,0083	0,0260	0,1331	0,1349
Cerradão 1	NDVI	Média	1,6443	1,8252	1,6933	1,7687	1,6330	1,6538	1,5754	1,7268	1,6535	1,5541	1,5125	1,7326
		dp	0,0122	0,0212	0,0236	0,0427	0,0310	0,0487	0,1342	0,1878	0,0073	0,0084	0,0255	0,0779
Cerradão 2	NDVI	Média	1,6292	1,8339	1,7900	1,8500	1,6242	1,6636	1,5828	1,6890	1,6355	1,5429	1,4814	1,7337
		dp	0,0036	0,0257	0,0402	0,0580	0,0333	0,0349	0,0708	0,0758	0,0078	0,0085	0,1279	0,1008
Cerrado Denso	NDVI	Média	1,6678	1,8195	1,6186	1,6967	1,6412	1,6549	1,4892	1,6082	1,6399	1,5394	1,5540	1,7657
		dp	0,0403	0,0298	0,0923	0,1031	0,0459	0,0549	0,0674	0,0857	0,0211	0,0533	0,0298	0,0412
Transição	NDVI	Média	1,6446	1,7952	1,6079	1,6884	1,6428	1,6607	1,4576	1,5723	1,6452	1,5490	1,5019	1,7052
		dp	0,0369	0,0601	0,1004	0,1099	0,0408	0,0513	0,0457	0,0695	0,0281	0,0584	0,0666	0,0459
Cerradão 1	Razão 3:8	Média	1,5860	1,7068	1,5326	1,5814	1,6045	1,6049	1,5924	1,7959	1,6232	1,4805	1,4519	1,7480
		dp	0,0338	0,0760	0,1200	0,1364	0,0316	0,0670	0,0726	0,0722	0,0142	0,0496	0,1319	0,0384
Cerradão 2	Razão 3:8	Média	1,6131	1,5973	1,6077	1,6909	1,6474	1,5168	1,5418	1,6565	1,6714	1,5291	1,5029	1,8972
		dp	0,0194	0,0211	0,1804	0,2235	0,0050	0,0959	0,1591	0,1965	0,0034	0,1009	0,1934	0,0624
Cerrado Denso	Razão 3:8	Média	1,6654	1,7649	1,4898	1,5865	1,6521	1,6483	1,4856	1,6130	1,6714	1,6033	1,4901	1,6286
		dp	0,0141	0,0239	0,0981	0,1686	0,0281	0,0476	0,1039	0,1549	0,0499	0,1532	0,1556	0,0469
Transição	Razão 3:8	Média	1,6197	1,7544	1,6120	1,6734	1,6111	1,6073	1,5559	1,7147	1,6450	1,5647	1,6070	1,8075
		dp	0,0384	0,0763	0,1041	0,0996	0,0182	0,0385	0,0534	0,0739	0,0187	0,0224	0,0947	0,1353
Cerradão 1	Razão 3:9	Média	1,6485	1,8223	1,6875	1,7779	1,6386	1,6591	1,5946	1,7612	1,6613	1,5695	1,4924	1,7826
		dp	0,0170	0,0268	0,0849	0,0855	0,0346	0,0345	0,0530	0,0396	0,0318	0,0610	0,1114	0,0712
Cerradão 2	Razão 3:9	Média	1,6156	1,7977	1,6583	1,7346	1,6200	1,6414	1,5302	1,6580	1,6601	1,5881	1,5127	1,7690
		dp	0,0051	0,0056	0,0891	0,1024	0,0108	0,0071	0,1007	0,0937	0,0315	0,0755	0,1159	0,0966
Cerrado Denso	Razão 3:9	Média	1,6943	1,7728	1,4727	1,5574	1,6699	1,6651	1,4558	1,6221	1,6565	1,5581	1,3904	1,7178
		dp	0,0353	0,0313	0,1168	0,1693	0,0209	0,0049	0,0219	0,0295	0,0328	0,0780	0,0928	0,1143
Transição	Razão 3:9	Média	1,6651	1,8304	1,5932	1,7603	1,6510	1,6858	1,4547	1,6213	1,6957	1,6216	1,3865	1,6459
		dp	0,0392	0,0279	0,0587	0,1245	0,0051	0,0254	0,0345	0,1014	0,0580	0,0970	0,0773	0,0523

Legenda: n^o = 1º maior valor; n^o = 2º maior valor; n^o = 3º maior valor; n^o = 4º maior valor; dp = desvio-padrão.

Tabela 5.2 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das dimensões fractais para as imagens das áreas (E.E Assis).

Método	Extensão	Fisionomia	Bandas 231				Razão 3/8				Razão 3/9				NDVI					
			Cerradão 1	Cerradão 2	Cerrado Denso	Transição	Cerradão 1	Cerradão 2	Cerrado Denso	Transição	Cerradão 1	Cerradão 2	Cerrado Denso	Transição	Cerradão 1	Cerradão 2	Cerrado Denso	Transição		
B O X M E T H O D	Q d M i n	Zoom 10x	Cerradão 1	=	=	=	=	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
			Cerradão 2	=	=	=	=	=	=	=	=	=	≠	≠	=	=	=	=	=	
			Cerrado Denso	=	=	=	=	≠	=	=	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	=
			Transição	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
		Zoom 20x	Cerradão 1	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
			Cerradão 2	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
			Cerrado Denso	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
			Transição	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
		Zoom 40x	Cerradão 1	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
			Cerradão 2	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
			Cerrado Denso	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
			Transição	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
	M a x S e m	Zoom 10x	Cerradão 1	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
			Cerradão 2	=	=	≠	=	=	=	≠	≠	≠	=	=	=	=	=	=	=	=
			Cerrado Denso	=	≠	=	=	=	=	≠	≠	≠	=	=	=	=	=	=	=	=
			Transição	=	=	=	=	=	=	≠	≠	≠	=	=	=	=	=	=	=	=
		Zoom 20x	Cerradão 1	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
			Cerradão 2	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
			Cerrado Denso	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
			Transição	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
		Zoom 40x	Cerradão 1	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
			Cerradão 2	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
			Cerrado Denso	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
			Transição	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
V A R I A T I O N M E T H O D	Q d M i n	Zoom 10x	Cerradão 1	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
			Cerradão 2	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
			Cerrado Denso	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
			Transição	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
		Zoom 20x	Cerradão 1	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
			Cerradão 2	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
			Cerrado Denso	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
			Transição	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
		Zoom 40x	Cerradão 1	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
			Cerradão 2	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
			Cerrado Denso	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
			Transição	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
	M a x S e m	Zoom 10x	Cerradão 1	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
			Cerradão 2	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
			Cerrado Denso	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
			Transição	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
		Zoom 20x	Cerradão 1	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
			Cerradão 2	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
			Cerrado Denso	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
			Transição	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
		Zoom 40x	Cerradão 1	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
			Cerradão 2	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
			Cerrado Denso	=	=	=	=	=	=	≠	≠	=	=	=	=	=	=	=	=	=
			Transição	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=

Legenda: = : sem diferença significativa entre as duas médias comparadas ≠ : há diferença significativa entre as duas médias comparadas

Tabela 5.3 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias dos valores de dimensões fractais obtidas por diferentes métodos para uma mesma área (E.E. Assis).

Bandas	Extensão	Método	CERRADÃO 1				CERRADÃO 2				CERRADO DENSO				TRANSIÇÃO					
			Box Method		Variation Method		Box Method		Variation Method		Box Method		Variation Method		Box Method		Variation Method			
			QdMin	MaxSem	QdMin	MaxSem	QdMin	MaxSem	QdMin	MaxSem	QdMin	MaxSem	QdMin	MaxSem	QdMin	MaxSem	QdMin	MaxSem		
Bandas 231	Zoom 10x	Box	QdMin	≠	=	≠	≠	≠	=	≠	≠	≠	=	≠	≠	≠	=	=		
		Method	MaxSem	≠	≠	≠	≠	≠	=	≠	≠	≠	=	≠	≠	≠	≠	=	=	
		Variation	QdMin	=	≠	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	≠	≠	≠	=	=
		Method	MaxSem	≠	=	=	=	≠	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	=	=	=
	Zoom 20x	Box	QdMin	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
		Method	MaxSem	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
		Variation	QdMin	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
		Method	MaxSem	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
	Zoom 40x	Box	QdMin	≠	≠	≠	≠	=	=	=	=	=	=	≠	=	=	=	=	=	
		Method	MaxSem	≠	=	=	=	=	=	=	=	=	=	≠	=	=	=	=	=	
		Variation	QdMin	≠	=	=	=	=	=	≠	≠	=	=	≠	=	=	=	=	=	
		Method	MaxSem	≠	=	=	=	=	=	≠	≠	≠	≠	≠	=	=	=	=	=	
Razão 3/8	Zoom 10x	Box	QdMin	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=		
		Method	MaxSem	=	=	=	=	=	=	=	=	≠	≠	=	=	=	=	=		
		Variation	QdMin	=	=	=	=	=	=	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	=	
		Method	MaxSem	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
	Zoom 20x	Box	QdMin	=	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
		Method	MaxSem	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
		Variation	QdMin	=	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	≠	≠	
		Method	MaxSem	≠	≠	≠	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	≠	≠	=	
	Zoom 40x	Box	QdMin	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
		Method	MaxSem	=	=	=	≠	=	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	=	≠	
		Variation	QdMin	=	=	=	≠	=	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	=	≠	
		Method	MaxSem	=	≠	≠	=	=	=	≠	≠	=	=	=	=	≠	=	=	=	
Razão 3/9	Zoom 10x	Box	QdMin	≠	=	=	≠	≠	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=		
		Method	MaxSem	≠	=	=	≠	≠	=	=	=	≠	≠	=	=	=	=	=		
		Variation	QdMin	=	=	=	=	=	=	=	=	≠	≠	=	=	=	≠	≠		
		Method	MaxSem	≠	=	≠	=	=	=	=	=	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	
	Zoom 20x	Box	QdMin	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
		Method	MaxSem	=	=	=	≠	=	=	=	=	=	≠	=	=	=	=	≠	≠	
		Variation	QdMin	=	=	=	≠	=	=	=	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	
		Method	MaxSem	≠	=	≠	=	=	=	=	=	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	
	Zoom 40x	Box	QdMin	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
		Method	MaxSem	=	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	≠	≠	
		Variation	QdMin	=	=	=	≠	=	=	=	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	
		Method	MaxSem	=	≠	≠	=	=	=	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	
NDVI	Zoom 10x	Box	QdMin	≠	=	≠	≠	≠	≠	≠	=	=	=	=	=	=	=	=		
		Method	MaxSem	≠	=	≠	≠	≠	=	=	=	≠	≠	=	=	=	=	=		
		Variation	QdMin	=	≠	≠	≠	≠	=	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	=	
		Method	MaxSem	≠	=	≠	≠	≠	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
	Zoom 20x	Box	QdMin	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	≠	=	=	=	
		Method	MaxSem	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
		Variation	QdMin	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
		Method	MaxSem	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
	Zoom 40x	Box	QdMin	=	=	≠	=	=	=	=	=	≠	≠	=	≠	=	=	≠	≠	
		Method	MaxSem	=	=	=	≠	=	=	=	=	≠	≠	=	≠	=	=	=	≠	
		Variation	QdMin	≠	=	≠	≠	=	=	=	≠	=	=	≠	≠	≠	=	=	≠	
		Method	MaxSem	=	≠	≠	=	=	=	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	

Legenda: : sem diferença significativa entre as duas médias comparadas : há diferença significativa entre as duas médias comparadas

Tabela 5.4 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das dimensões fractais para imagens de diferentes extensões de uma mesma área (E.E.Assis).

Bandas	Fisionomia	Box method - QdMin			Box method - Max Sem			Variation method - QdMin			Variation method - Max Sem		
		Extensões comparadas*			Extensões comparadas*			Extensões comparadas*			Extensões comparadas*		
		1 e 2	1 e 3	2 e 3	1 e 2	1 e 3	2 e 3	1 e 2	1 e 3	2 e 3	1 e 2	1 e 3	2 e 3
Bandas 231	Cerradão 1	=	=	=	≠	≠	≠	=	≠	=	=	=	=
	Cerradão 2	=	=	=	≠	≠	≠	=	=	=	=	=	=
	Cerrado denso	=	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	=	=
	Transição	=	=	=	≠	≠	≠	=	=	=	=	=	=
Razão 3/8	Cerradão 1	=	=	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	=
	Cerradão 2	≠	≠	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
	Cerrado denso	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
	Transição	=	=	=	≠	≠	=	=	=	=	=	=	=
Razão 3/9	Cerradão 1	=	=	=	≠	≠	=	=	=	=	=	=	=
	Cerradão 2	=	=	=	≠	≠	=	=	=	=	=	=	=
	Cerrado denso	=	=	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	=
	Transição	=	=	=	=	≠	=	=	≠	=	=	=	=
NDVI	Cerradão 1	=	=	=	≠	≠	≠	=	=	=	=	=	=
	Cerradão 2	=	=	=	≠	≠	≠	=	≠	=	=	=	=
	Cerrado denso	=	=	=	≠	≠	=	=	=	=	=	=	=
	Transição	=	=	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	=

Legenda: = : sem diferença significativa entre as duas médias comparadas ≠ : há diferença significativa entre as duas médias comparadas

* Extensão 1 = 300 x 300 metros (400 pixels); Extensão 2 = 150 x 150 metros (100 pixels); Extensão 3 = 75 x 75 metros (25 pixels)

Tabela 5.5 - Médias dos valores de dimensão fractal para os espectros das áreas (E.E. Assis).

Bandas	Fisionomia	Valores	Regularization dimension - Qd Min		
			10X (400 pixels)	20X (100 pixels)	40X (25 pixels)
231	Cerradão 1	média	1,7583	1,7579	1,7535
		dp	0,0156	0,0162	0,0178
	Cerradão 2	média	1,7737	1,7766	1,7745
		dp	0,0084	0,0094	0,0056
	Cerrado Denso	média	1,6743	1,6732	1,6695
		dp	0,0337	0,0356	0,0411
	Transição	média	1,7339	1,7333	1,7339
		dp	0,0390	0,0389	0,0385

Legenda:

n^o = 1º maior valor
n^o = 2º maior valor
n^o = 3º maior valor
n^o = 4º maior valor
dp = desvio-padrão

Tabela 5.6 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das dimensões fractais para os espectros das áreas (E.E Assis).

Bandas	Fisionomia	Regularization method - QdMin											
		Zoom10x				Zoom20x				Zoom49x			
		Cerradão 1	Cerradão 2	Cerrado Denso	Transição	Cerradão 1	Cerradão 2	Cerrado Denso	Transição	Cerradão 1	Cerradão 2	Cerrado Denso	Transição
Bandas 231	Cerradão 1	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	=	=	=
	Cerradão 2	=	=	≠	=	=	≠	=	=	=	≠	=	=
	Cerrado denso	≠	≠	=	=	≠	≠	=	≠	≠	=	=	=
	Transição	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=

Legenda: = : sem diferença significativa entre as duas médias comparadas

≠ : há diferença significativa entre as duas médias comparadas

Tabela 5.7 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das dimensões fractais para espectros de diferentes extensões de uma mesma área (E.E.Assis).

Bandas	Fisionomia	Regularization method - QdMin		
		Extensões comparadas*		
		1 e 2	1 e 3	2 e 3
Bandas 231	Cerradão 1	=	=	=
	Cerradão 2	=	=	=
	Cerrado denso	=	=	=
	Transição	=	=	=

Legenda: = : sem diferença significativa entre as duas médias comparadas

≠ : há diferença significativa entre as duas médias comparadas

* Extensão 1 = 300 x 300 metros (400 pixels); Extensão 2 = 150 x 150 metros (100 pixels); Extensão 3 = 75 x 75 metros (25 pixels)

• Medidas de complexidade das imagens:

As médias dos valores das medidas de complexidade calculados para as imagens de Assis são mostrados na Tabela 5.8. Conforme esperado, devido à maior heterogeneidade da fisionomia, a área de cerrado denso foi a que obteve maiores valores de complexidade para as imagens com composição de bandas 231, NDVI e razão 3/8, com exceção dos valores da função convexa da entropia para as imagens NDVI e razão 3/8 na extensão de 400 pixels.

As duas razões de banda utilizadas mostraram eficiências diferentes: enquanto a razão 3/8 atingiu o resultado citado acima, para as imagens de razão de bandas 3/9 os maiores valores de complexidade variaram entre as áreas de cerrado denso e cerradão. Dessa forma, como também foi observado para o uso da dimensão fractal na análise textural, a razão 3/8 permitiu realçar mais a rugosidade da fisionomia de maior heterogeneidade.

Um aspecto interessante a se observar é que, para todas as imagens geradas por álgebras de bandas usadas (NDVI e razões 3/8 e 3/9), as fisionomias apresentam maiores valores de complexidade do que para a composição 231. Dado que as medidas se baseiam na quantidade de informação, esses resultados comprovam que a utilização dessas álgebras garante a adição de mais informação à imagem, a qual permite maior distinção dos padrões texturais nela presentes.

Contudo, mesmo para as imagens geradas por álgebras de bandas, ambas as medidas de complexidade não foram totalmente eficientes em separar as fisionomias (Tabela 5.9). Os melhores resultados foram obtidos pela função complexa da entropia para as imagens NDVI/extensão de 400 pixels e composição de bandas 231/extensão de 100 pixels, nas quais foi possível diferenciar o cerrado denso das outras três áreas e não diferenciou as áreas de mesma fisionomia (cerradão), porém não distinguiu as áreas de cerradão da transição cerradão/floresta. Ainda assim, considerando os melhores resultados de cada métrica usada, a função complexa da entropia foi mais eficiente do que a dimensão fractal e a medida H/H_{max} em diferenciar as fisionomias.

Porém, diferente da dimensão fractal, as médias da função complexa de entropia de cada área apresentaram, na maioria dos casos, diferenças significativas entre as três extensões analisadas, o mesmo ocorrendo com a medida H/H_{max} (Tabela 5.10).

Como se pode observar na Tabela 5.8, os valores de complexidade diminuem conforme a extensão da área fica menor. Isso ocorre porque, para calcular a entropia máxima presente na fórmula de ambas as medidas, é preciso definir o número total de possíveis estados do sistema, que no caso das imagens corresponde aos 256 níveis de cinza possíveis. Esse valor se mantém nas três escalas analisadas, porém o número de estados alcançados diminui muito conforme se passa de uma escala espacial maior para uma menor: enquanto na extensão de 400 pixels todos os valores de níveis de cinza têm chance de estarem representados, nas outras extensões somente uma fração desses valores está presente (no máximo 100 na extensão de 100 pixels e 25 na extensão de 25 pixels). Por conta disso, a aplicação dessas medidas se mostra mais eficiente nas análises espaciais de áreas de maior extensão, onde o número de pixels seja igual ou superior a 256.

Para essas extensões maiores, as medidas de complexidade podem revelar importantes propriedades do sistema. No caso de Assis, isso é comprovado ao se comparar os valores das medidas de complexidade obtidas para a extensão de 400 pixels (Tabela 5.10): para todas as composições/razões de banda, as fisionomias apresentam, em geral, valores altos para função convexa da entropia (cujo valor máximo possível é de 0,25), indicando um alto grau de complexidade dessas fisionomias. Por sua vez, para essa mesma extensão, a medida H/H_{max} mostra que o cerrado denso é a fisionomia que atinge maior valor em todas as situações, indicando que está mais próxima ao estado de máxima desordem que as demais fisionomias.

Pensando na dinâmica do Cerrado, em que áreas de cerrado denso muitas vezes representam transições entre cerrado ss e cerradão (DURIGAN et al., 2004 apud PINHEIRO, 2008); RIBEIRO & WALTER, 2008, os resultados expostos no parágrafo anterior apontam que as transições no Cerrado, sejam elas espaciais ou temporais, são representadas por estados de alta complexidade situados próximos à desordem máxima. Esse tipo de comportamento é observado em vários sistemas naturais, cuja evolução tende ao que se convencionou chamar de “margem do caos”.

Tabela 5.8 - Médias dos valores de complexidade para imagens das áreas da E.E.Assis.

Fisionomia	Bandas	Valores	10X (400 pixels)		20X (100 pixels)		40X (25 pixels)	
			Fç Conv	H/Hmax	Fç Conv	H/Hmax	Fç Conv	H/Hmax
Cerradão 1	231	média	0,1513	0,2013	0,1239	0,1460	0,0569	0,0606
		dp	0,0730	0,1193	0,0250	0,0359	0,0082	0,0093
Cerradão 2	231	média	0,1188	0,1385	0,1113	0,1276	0,0525	0,0556
		dp	0,0207	0,0288	0,0080	0,0106	0,0016	0,0018
Cerrado Denso	231	média	0,2437	0,5093	0,1670	0,2123	0,0675	0,0728
		dp	0,0048	0,0962	0,0104	0,0178	0,0050	0,0058
Transição	231	média	0,1617	0,2079	0,1216	0,1418	0,0564	0,0600
		dp	0,0374	0,0663	0,0081	0,0115	0,0030	0,0033
Cerradão 1	NDVI	média	0,2236	0,6594	0,1855	0,2462	0,0718	0,0779
		dp	0,0112	0,0377	0,0062	0,0120	0,0024	0,0028
Cerradão 2	NDVI	média	0,2289	0,6425	0,1855	0,2462	0,0725	0,0775
		dp	0,0095	0,0344	0,0052	0,0103	0,0036	0,0026
Cerrado Denso	NDVI	média	0,1394	0,8295	0,2021	0,2811	0,0775	0,0844
		dp	0,0351	0,0550	0,0015	0,0034	0,0010	0,0017
Transição	NDVI	média	0,2020	0,7136	0,1940	0,2637	0,0765	0,0836
		dp	0,0250	0,0604	0,0078	0,0162	0,0029	0,0035
Cerradão 1	Rz 3/8	média	0,2174	0,5711	0,1834	0,2430	0,0735	0,0799
		dp	0,0072	0,2031	0,0141	0,0270	0,0020	0,0024
Cerradão 2	Rz 3/8	média	0,1699	0,2476	0,1261	0,1504	0,0667	0,0720
		dp	0,0711	0,1567	0,0354	0,0509	0,0122	0,0143
Cerrado Denso	Rz 3/8	média	0,0958	0,8904	0,2063	0,2911	0,0750	0,0817
		dp	0,0399	0,0524	0,0027	0,0063	0,0016	0,0020
Transição	Rz 3/8	média	0,2195	0,6356	0,1789	0,2340	0,0725	0,0787
		dp	0,0370	0,1348	0,0119	0,0219	0,0034	0,0040
Cerradão 1	Rz 3/9	média	0,1734	0,7752	0,1944	0,2645	0,0733	0,0797
		dp	0,0205	0,0362	0,0071	0,0154	0,0027	0,0031
Cerradão 2	Rz 3/9	média	0,1342	0,8368	0,2057	0,2898	0,0774	0,0846
		dp	0,0403	0,0592	0,0044	0,0105	0,0020	0,0024
Cerrado Denso	Rz 3/9	média	0,1245	0,8509	0,2054	0,2889	0,0774	0,0846
		dp	0,0400	0,0589	0,0019	0,0046	0,0013	0,0015
Transição	Rz 3/9	média	0,1512	0,8135	0,1992	0,2746	0,0759	0,0828
		dp	0,0170	0,0276	0,0018	0,0041	0,0050	0,0060

Legenda: n^o = 1^o maior valor; n^o = 2^o maior valor; n^o = 3^o maior valor; n^o = 4^o maior valor; dp = desvio-padrão.

Tabela 5.9 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das medidas de complexidade para as imagens das áreas (E.E Assis).

Medida	Extensão	Fisionomia	Bandas 231				Razão 3/8				Razão 3/9				NDVI			
			Cerradão 1	Cerradão 2	Cerrado Denso	Transição	Cerradão 1	Cerradão 2	Cerrado Denso	Transição	Cerradão 1	Cerradão 2	Cerrado Denso	Transição	Cerradão 1	Cerradão 2	Cerrado Denso	Transição
Função convexa da entropia	Zoom 10x	Cerradão 1	=	=	≠	=	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	≠	=	
		Cerradão 2	=	≠	≠	=	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	≠	≠	
		Cerrado Denso	=	≠	≠	=	≠	=	≠	=	=	=	=	≠	≠	≠	≠	
		Transição	=	=	=	=	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	≠	=	
	Zoom 20x	Cerradão 1	=	=	≠	=	=	≠	≠	=	=	=	=	=	=	≠	≠	
		Cerradão 2	=	≠	≠	=	≠	≠	≠	=	=	=	=	=	=	≠	≠	
		Cerrado Denso	≠	≠	≠	≠	=	≠	≠	=	=	=	=	≠	≠	≠	≠	
		Transição	=	=	=	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
	Zoom 40x	Cerradão 1	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
		Cerradão 2	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
		Cerrado Denso	=	≠	≠	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
		Transição	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
H/Hmax	Zoom 10x	Cerradão 1	=	=	≠	=	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	≠	=	
		Cerradão 2	=	≠	≠	=	=	≠	≠	=	=	=	=	=	=	≠	≠	
		Cerrado Denso	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	=	=	=	=	≠	≠	≠	≠	
		Transição	=	=	≠	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	=	≠	=	
	Zoom 20x	Cerradão 1	=	=	≠	=	=	≠	≠	=	=	=	=	=	=	≠	≠	
		Cerradão 2	=	≠	≠	=	≠	≠	≠	=	=	=	=	=	=	≠	≠	
		Cerrado Denso	≠	≠	≠	≠	=	≠	≠	=	=	=	=	≠	≠	≠	≠	
		Transição	=	=	≠	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
	Zoom 40x	Cerradão 1	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
		Cerradão 2	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
		Cerrado Denso	=	≠	≠	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
		Transição	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	

Legenda: = : sem diferença significativa entre as duas médias comparadas ≠ : há diferença significativa entre as duas médias comparadas

Tabela 5.10 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das medidas de complexidade para imagens de diferentes extensões de uma mesma área (E.E.Assis).

Medida	Fisionomia	Bd231			NDVI			Rz3/8			Rz3/9		
		Extensões comparadas*			Extensões comparadas*			Extensões comparadas*			Extensões comparadas*		
		1 e 2	1 e 3	2 e 3	1 e 2	1 e 3	2 e 3	1 e 2	1 e 3	2 e 3	1 e 2	1 e 3	2 e 3
Função convexa da entropia	Cerradão 1	=	=	=	≠	≠	≠	≠	≠	≠	=	≠	≠
	Cerradão 2	=	≠	≠	≠	≠	≠	=	=	=	≠	=	≠
	Cerrado Denso	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	=	≠	≠	=	≠
	Transição	=	≠	≠	=	≠	≠	=	≠	≠	≠	≠	≠
H/Hmax	Cerradão 1	=	=	=	≠	≠	≠	≠	≠	=	≠	≠	≠
	Cerradão 2	=	≠	≠	≠	≠	≠	=	=	=	≠	≠	≠
	Cerrado Denso	≠	≠	=	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠
	Transição	=	≠	=	≠	≠	≠	≠	≠	=	≠	≠	≠

Legenda: = : sem diferença significativa entre as duas médias comparadas ≠ : há diferença significativa entre as duas médias comparadas

* Extensão 1 = 300 x 300 metros (400 pixels); Extensão 2 = 150 x 150 metros (100 pixels); Extensão 3 = 75 x 75 metros (25 pixels)

• Medidas de complexidade dos espectros:

Assim como na análise das imagens, a área de cerrado denso foi a que obteve mais frequentemente os maiores valores para as medidas de complexidade dos espectros Tabela 5.11. As exceções foram para a função convexa da complexidade para a razão $3/8$ e para a medida H/H_{max} na extensão de 25 pixels para a banda 8, nas quais a área “cerradão 2” foi a de maior valor. Como os dois casos envolvem a banda 8, pode-se pensar que a maior concentração de lignina (componente bioquímico ressaltado por essa banda) no cerradão seja responsável por esse comportamento das medidas.

Para a função convexa da entropia, todas as fisionomias apresentaram valores altos, muitos deles próximos ao valor máximo de complexidade permitido pela medida (0,25). Admitindo-se que esses padrões espectrais de alta complexidade refletem propriedades do sistema, pode-se inferir que essas fisionomias se organizam em estados intermediários à ordem e desordem máximas. Agregando a essa ideia os resultados obtidos para a medida H/H_{max} , pode-se entender que esses estados intermediários estão mais próximos a estados ordenados do que aos desordenados, uma vez que os valores para essa medida foram, em geral, bem abaixo do valor máximo (que é de 1,0, representado pelo estado de maior desordem). É interessante notar ainda que as fisionomias com maiores valores de desordem (H/H_{max}) são justamente aquelas que representam áreas de transição: cerrado denso e transição cerradão/floresta. Esse resultado reforça a interpretação feita para a análise textural da complexidade de que essas áreas de transição se organizam na zona chamada de “margem do caos”.

Na distinção das fisionomias, comparativamente à dimensão fractal, o melhor desempenho das medidas de complexidade para os espectros também foi semelhante ao alcançado para as imagens: na análise do espectro da banda 8 na extensão de 400 pixels, tanto pela função convexa como pela medida H/H_{max} , foi possível diferenciar o cerrado denso das outras duas fisionomias e considerar como iguais as áreas de cerradão (Tabela 5.12). Também nesse caso apenas não se conseguiu diferenciar a área de transição cerradão/floresta das áreas de cerradão. Desse modo, considerando os melhores resultados de cada métrica para a análise espectral, as medidas função

convexa da entropia e H/H_{max} foram mais eficazes em diferenciar as fisionomias da Estação Ecológica de Assis do que a dimensão fractal.

Em relação à comparação das medidas nas diferentes extensões analisadas, apenas para o espectro da banda 8 surgiram diferenças entre as médias das três escalas (Tabela 5.13). Para os espectros das bandas 9 e razão 3/8, não houve, para qualquer fisionomia, diferenças significativas entre as médias das extensões. Esse resultado mostra que, diferentemente do que ocorre nas análises da imagem, não há perda relevante de informação na resposta espectral das fisionomias quando se passa de uma escala espacial para outra. Em alguns casos, inclusive, maiores valores de complexidade foram obtidos pelas extensões menores (Tabela 5.11). Essa diferença no comportamento das medidas nas análises textural e espectral se deve, conforme já explicado, a como é estabelecido o número de estados possíveis do sistema: enquanto na análise dos pixels esse valor é de 256 (níveis de cinza), na análise do espectro esse valor corresponde ao intervalo entre os valores mínimo e máximo de reflectância alcançados pela banda analisada. Sendo assim, a tendência de redução na variação de valores de reflectância conforme se passa de uma escala espacial maior para uma menor é acompanhada de uma tendência à diminuição do número de estados possíveis nessa mesma passagem de escala. Como essas reduções são relativamente proporcionais, não há uma diferença significativa nos valores obtidos para extensões distintas. Assim, da mesma forma que a dimensão fractal, as medidas da função convexa da entropia e H/H_{max} também foram capazes de detectar padrões espectrais que se repetem em diferentes escalas.

• Comparação entre aplicações das medidas de complexidade: análise textural X espectral:

Nos dois tipos de análise (textural e espectral), ambas as medidas foram precisas em atribuir maiores valores à fisionomia de cerrado denso, que possui a maior heterogeneidade entre as fisionomias avaliadas. Mais do que isso, elas se mostraram como medidas que se complementam, uma vez que permitem situar em que posição no gradiente ordem/desordem uma dada fisionomia se encontra.

Tabela 5.11 - Médias dos valores de complexidade para espectros das áreas da E.E.Assis.

Fisionomia	Bandas	Valores	10X (400 pixels)		20X (100 pixels)		40X (25 pixels)	
			Fç Conv	H/Hmax	Fç Conv	H/Hmax	Fç Conv	H/Hmax
Cerradão 1	8	média	0,1927	0,2610	0,1963	0,2695	0,1257	0,1478
		dp	0,0094	0,0193	0,0144	0,0302	0,0159	0,0222
Cerradão 2	8	média	0,1803	0,2368	0,1790	0,2336	0,1363	0,1629
		dp	0,0120	0,0225	0,0044	0,0083	0,0083	0,0122
Cerrado Denso	8	média	0,2298	0,3575	0,2186	0,3253	0,3865	0,1179
		dp	0,0024	0,0091	0,0130	0,0353	0,4917	0,0303
Transição	8	média	0,1961	0,2686	0,1818	0,2402	0,1231	0,1444
		dp	0,0109	0,0242	0,0175	0,0325	0,0183	0,0260
Cerradão 1	9	média	0,1792	0,2359	0,1725	0,2230	0,1480	0,1846
		dp	0,0221	0,0403	0,0190	0,0357	0,0301	0,0478
Cerradão 2	9	média	0,1874	0,2508	0,1910	0,2575	0,1718	0,2214
		dp	0,0129	0,0268	0,0070	0,0141	0,0161	0,0289
Cerrado Denso	9	média	0,2188	0,3274	0,2155	0,3165	0,1877	0,2542
		dp	0,0169	0,0468	0,0123	0,0343	0,0243	0,0524
Transição	9	média	0,1970	0,2702	0,1833	0,2420	0,1658	0,2135
		dp	0,0076	0,0166	0,0072	0,0140	0,0309	0,0566
Cerradão 1	Rz 3/8	média	0,2025	0,7006	0,1867	0,5847	0,2093	0,6960
		dp	0,0358	0,1049	0,0060	0,2899	0,0210	0,0585
Cerradão 2	Rz 3/8	média	0,2332	0,4277	0,2382	0,4491	0,2448	0,5531
		dp	0,0195	0,1317	0,0069	0,1177	0,0077	0,0599
Cerrado Denso	Rz 3/8	média	0,1631	0,7934	0,1664	0,7884	0,1992	0,7052
		dp	0,0216	0,0356	0,0148	0,0263	0,0488	0,1139
Transição	Rz 3/8	média	0,1968	0,7235	0,1985	0,7228	0,2107	0,6981
		dp	0,0290	0,0698	0,0242	0,0530	0,0050	0,0125

Legenda: n^o = 1^o maior valor; n^o = 2^o maior valor; n^o = 3^o maior valor; n^o = 4^o maior valor; dp = desvio-padrão.

Tabela 5.12 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das medidas de complexidade para os espectros das áreas (E.E Assis).

Medida	Extensão	Fisionomia	Banda 8				Banda 9				Razão 3/8				
			Cerradão 1	Cerradão 2	Cerrado Denso	Transição	Cerradão 1	Cerradão 2	Cerrado Denso	Transição	Cerradão 1	Cerradão 2	Cerrado Denso	Transição	
Função convexa da entropia	Zoom 10x	Cerradão 1	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
		Cerradão 2	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
		Cerrado Denso	≠	≠	=	≠	=	=	=	=	=	=	=	=	=
		Transição	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
	Zoom 20x	Cerradão 1	=	=	=	=	=	=	≠	=	=	≠	=	=	
		Cerradão 2	=	=	≠	=	=	=	=	=	≠	≠	≠	≠	
		Cerrado Denso	=	≠	=	≠	≠	=	=	=	=	≠	=	=	
		Transição	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	≠	=	=	
	Zoom 40x	Cerradão 1	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
		Cerradão 2	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
		Cerrado Denso	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
		Transição	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
H/Hmax	Zoom 10x	Cerradão 1	=	=	≠	=	=	=	≠	=	=	≠	=	=	
		Cerradão 2	=	=	≠	=	=	=	=	≠	≠	≠	≠		
		Cerrado Denso	≠	≠	=	≠	≠	=	=	=	=	≠	=	=	
		Transição	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	≠	=	=	
	Zoom 20x	Cerradão 1	=	=	≠	=	=	=	≠	=	=	=	=	=	
		Cerradão 2	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
		Cerrado Denso	=	≠	=	≠	≠	=	=	≠	=	=	=	=	
		Transição	=	=	≠	=	=	=	≠	=	=	=	=	=	
	Zoom 40x	Cerradão 1	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
		Cerradão 2	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
		Cerrado Denso	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
		Transição	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	

Legenda: = : sem diferença significativa entre as duas médias comparadas ≠ : há diferença significativa entre as duas médias comparadas

Tabela 5.13 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das medidas de complexidade para espectros de uma mesma área em diferentes extensões (E.E.Assis).

Medida	Fisionomia	Banda 8			Banda 9			Rz3/8		
		Extensões comparadas*			Extensões comparadas*			Extensões comparadas*		
		1 e 2	1 e 3	2 e 3	1 e 2	1 e 3	2 e 3	1 e 2	1 e 3	2 e 3
Função convexa da entropia	Cerradão 1	=	≠	≠	=	=	=	=	=	=
	Cerradão 2	=	≠	≠	=	=	=	=	=	=
	Cerrado Denso	=	=	=	=	=	=	=	=	=
	Transição	=	≠	≠	=	=	=	=	=	=
H/Hmax	Cerradão 1	=	≠	≠	=	=	=	=	=	=
	Cerradão 2	=	≠	≠	=	=	=	=	=	=
	Cerrado Denso	=	≠	≠	=	=	=	=	=	=
	Transição	=	≠	≠	=	=	=	=	=	=

Legenda: = : sem diferença significativa entre as duas médias comparadas ≠ : há diferença significativa entre as duas médias comparadas

* Extensão 1 = 300 x 300 metros (400 pixels); Extensão 2 = 150 x 150 metros (100 pixels); Extensão 3 = 75 x 75 metros (25 pixels)

As duas medidas também foram capazes de identificar padrões recursivos nas diferentes escalas, porém apenas na análise espectral. Pelas razões expostas anteriormente, a aplicação dessas medidas para análise textural objetivando a detecção desses padrões deve ficar restrita à comparação de áreas de maior extensão, nas quais não haja perda significativa de informação ao se passar de uma escala a outra.

b) Estação Ecológica de Jataí (Luiz Antônio):

Nessa Estação, foram selecionadas quatro áreas: duas com a fisionomia cerradão, uma de cerrado stricto sensu e outra de campo sujo. Os três pontos amostrais de cada área são mostrados na Figura 5.4.



Figura 5.4 – Localização das áreas analisadas nas E.E. de Jataí. (Legenda: Pt = ponto).

O cerradão é a fisionomia predominante na Estação, tendo como características relevantes para o presente trabalho aquelas já apresentadas anteriormente: estrato

superior formado por árvores de 8 a 15 metros de altura, compondo um dossel quase contínuo que cobre mais de 90% da superfície. Nas imagens de satélite, aparece como uma área com pouca variação textural e espectral (Figura 5.5).

A área de campo sujo também é bastante homogênea em termos de textura e espectro nas imagens orbitais (Figura 5.5), uma vez que há um predomínio do estrato inferior (formado principalmente por gramíneas), com alguns arbustos e árvores bem espaçadas.

A área de cerrado *ss* se caracteriza como a de maior heterogeneidade textural e espectral (Figura 5.5), pois como a cobertura do seu estrato superior está entre 20 a 50% (Ribeiro & Walter, 1998), é possível detectar nas imagens os estratos médio (formado por arbustos mais densos) e inferior (composto principalmente por gramíneas).

Para as fisionomias cerrado *ss* e campo sujo, não há áreas no interior da Estação Ecológica que correspondam a maior extensão usada nessa pesquisa (300x300m). Sendo assim, apenas as outras duas extensões foram analisadas para essas áreas.

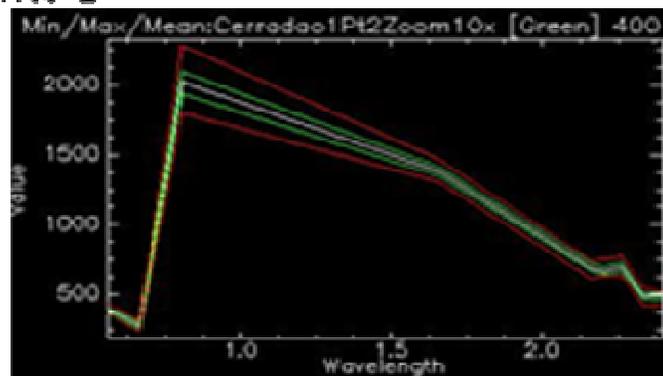
• Dimensão fractal das imagens:

Na Tabela 5.14, são apresentadas as médias dos valores das dimensões fractais obtidas pela análise das imagens de cada área da Estação Ecológica de Jataí. Como pode se constatar pelos resultados, houve uma variação considerável entre a média dos valores de dimensão fractal de uma mesma área, conforme o método e composição/razão de bandas empregados. Ainda assim, a área de maior rugosidade – o cerrado *ss* – obteve em várias ocasiões os valores mais elevados de dimensão fractal.

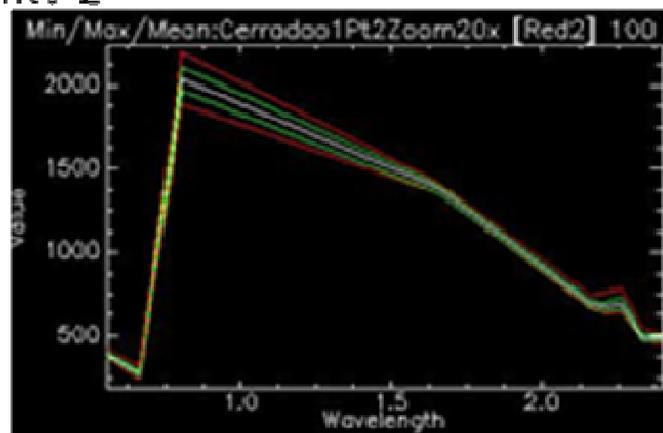
Porém, nenhum método de cálculo de dimensão fractal foi totalmente eficiente na distinção das fisionomias (Tabela 5.15). O melhor resultado foi alcançado pelo “Variation method – mínimos quadrados”, para a imagem NDVI e extensão de 150x150m, na qual se conseguiu diferenciar a área de campo sujo das demais. Novamente, o uso de uma álgebra de bandas permitiu uma maior diferenciação dos padrões de rugosidade de cada fisionomia. Porém, essa distinção não foi significativa para as áreas de cerradão e cerrado *ss*, já que não houve separação dessas duas fisionomias (Tabela 5.15), as quais representam formações vegetais distintas: a florestal (cerradão) e a savânica (cerrado *ss*), que apresentam padrões espaciais bem distintos.

a) CERRADÃO 1

Ponto 1



Ponto 2



Ponto 3

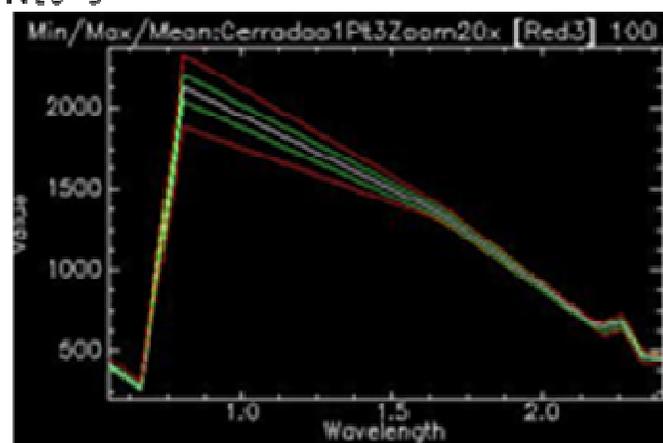
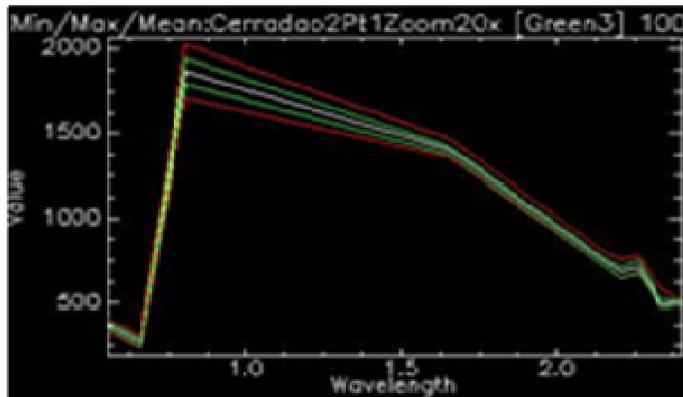


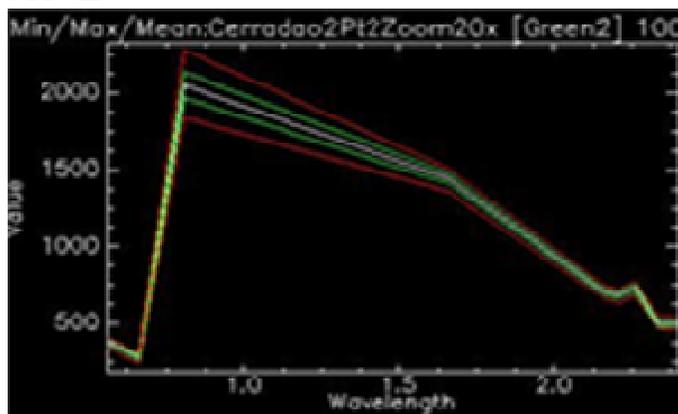
Figura 5.5 – Imagens e respectivos espectros das áreas analisadas na E.E. de Jataí (bandas 231; extensão de 400 pixels): a) **Cerradão 1**; b) Cerradão 2; c) Cerrado ss; d) Campo sujo.

b) CERRADÃO 2

Ponto 1



Ponto 2



Ponto 3

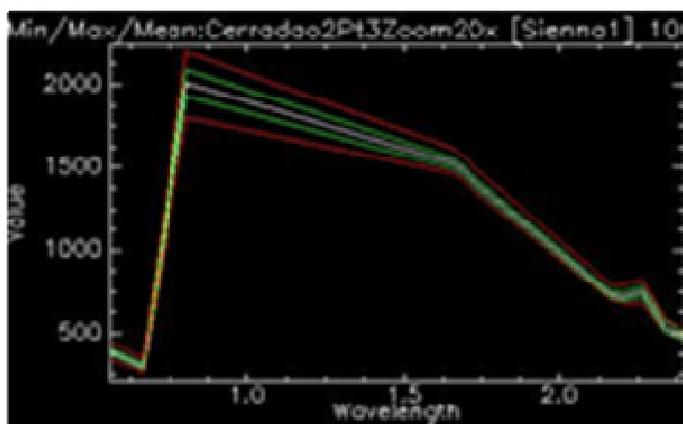
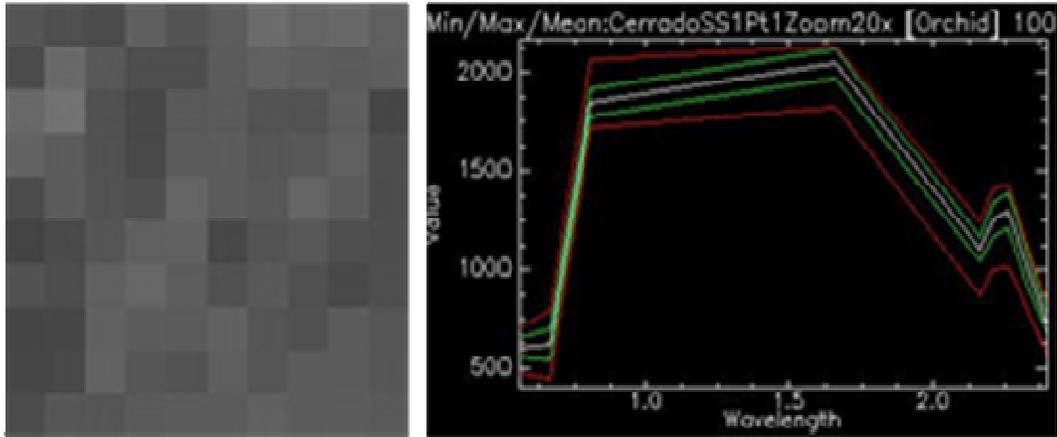


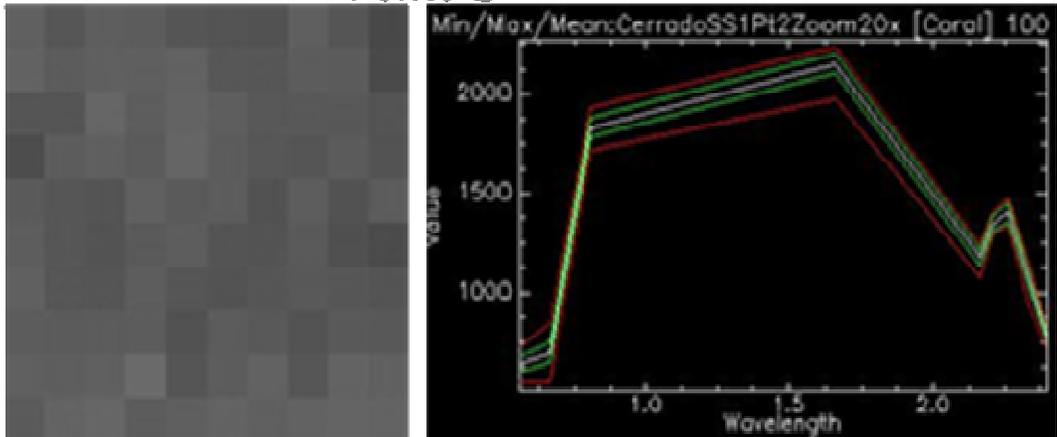
Figura 5.5 (cont.) – Imagens e respectivos espectros das áreas analisadas na E.E. de Jataí (bandas 231; extensão de 400 pixels): a) Cerradão 1; **b) Cerradão 2**; c) Cerrado ss; d) Campo sujo.

c) CERRADO SS

Ponto 1



Ponto 2



Ponto 3

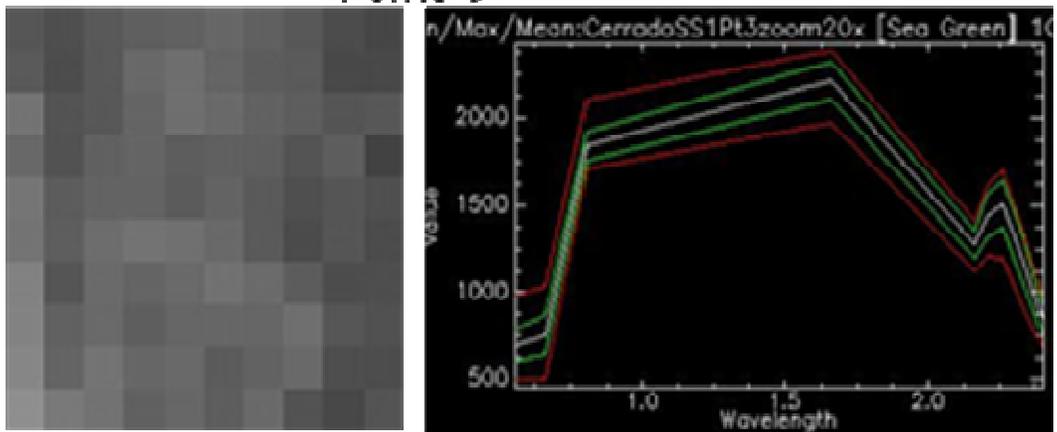
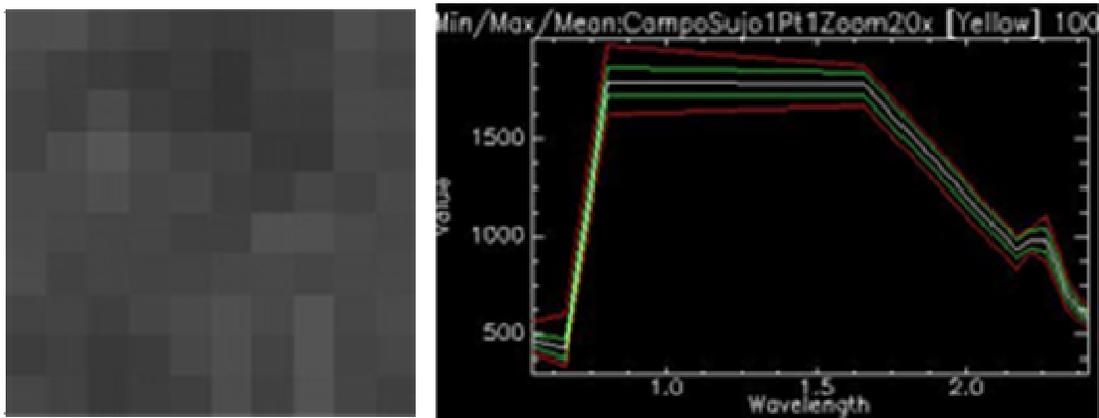


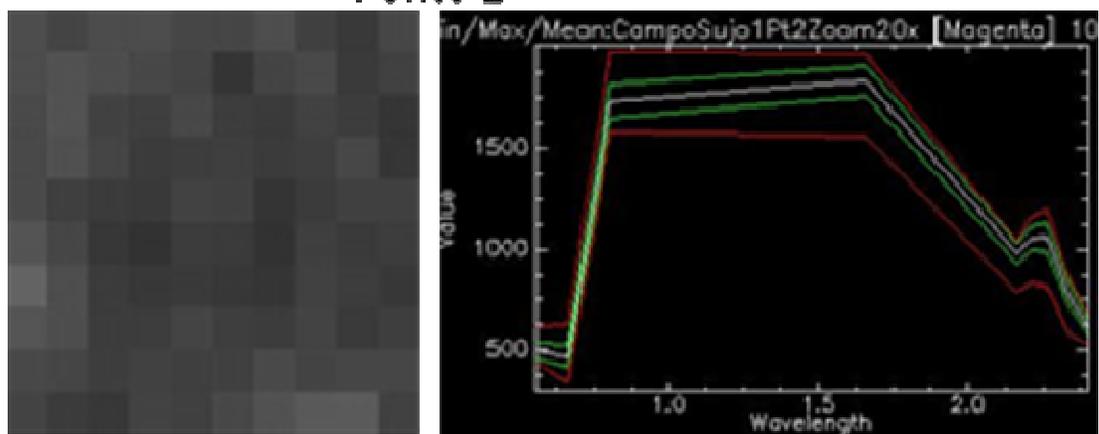
Figura 5.5 (cont.) – Imagens e respectivos espectros das áreas analisadas na E.E. de Jataí (bandas 231; extensão de 400 pixels): a) Cerradão 1; b) Cerradão 2; c) **Cerrado ss**; d) Campo sujo.

d) CAMPO SUJO

Ponto 1



Ponto 2



Ponto 3

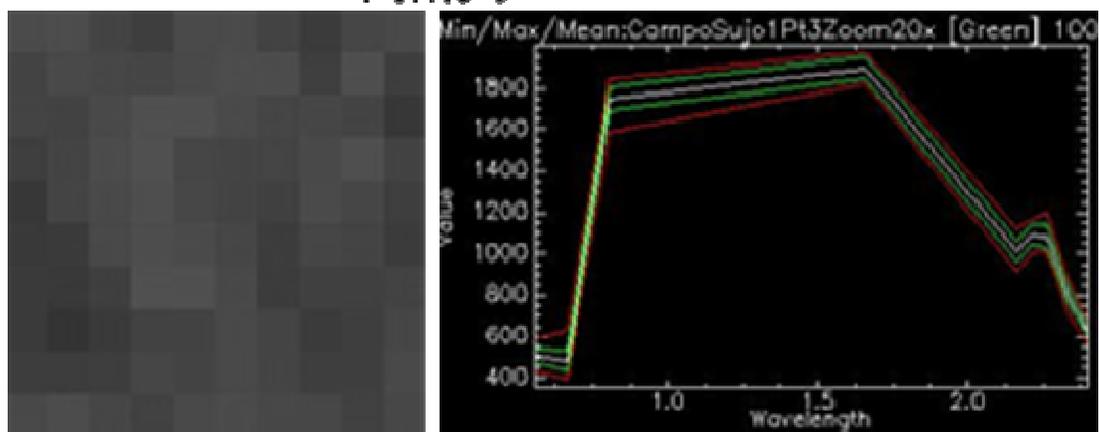


Figura 5.5 (cont.) – Imagens e respectivos espectros das áreas analisadas na E.E. de Jataí (bandas 231; extensão de 400 pixels): a) Cerradão 1; b) Cerradão 2; c) Cerrado ss; **d) Campo sujo.**

Tabela 5.14 - Médias dos valores de dimensão fractal para imagens das áreas das E.E.Jataí.

Fisionomias	Bandas	Valores	10X (400 pixels)				20X (100 pixels)				40X (25 pixels)			
			Box method		Variation method		Box method		Variation method		Box method		Variation method	
			MinQd	MaxSem	MinQd	MaxSem	MinQd	MaxSem	MinQd	MaxSem	MinQd	MaxSem	MinQd	MaxSem
Cerradão 1	231	Média	1,6373	1,7873	1,6613	1,7321	1,6209	1,6460	1,6415	1,7481	1,6564	1,5725	1,5456	1,8133
		dp	0,0241	0,0243	0,0543	0,0730	0,0028	0,0106	0,0231	0,0362	0,0142	0,0412	0,0419	0,0608
Cerradão 2	231	Média	1,6205	1,8096	1,7662	1,8321	1,6113	1,6339	1,6007	1,7608	1,6475	1,5657	1,4957	1,7595
		dp	0,0092	0,0025	0,0210	0,0252	0,0179	0,0149	0,0240	0,0253	0,0108	0,0215	0,1143	0,0481
Cerrado SS	231	Média	-	-	-	-	1,6380	1,6742	1,5600	1,6811	1,6655	1,6149	1,4970	1,7832
		dp	-	-	-	-	0,0195	0,0169	0,0773	0,0977	0,0285	0,0277	0,1638	0,0625
Campo sujo	231	Média	-	-	-	-	1,6677	1,7284	1,5095	1,6997	1,6374	1,5471	1,4758	1,7552
		dp	-	-	-	-	0,0214	0,0421	0,0440	0,1273	0,0142	0,0436	0,1759	0,1190
Cerradão 1	NDVI	Média	1,6186	1,8043	1,6488	1,7048	1,6123	1,6322	1,6569	1,7410	1,6310	1,5230	1,4691	1,7219
		dp	0,0089	0,0206	0,0898	0,1206	0,0185	0,0148	0,0710	0,0687	0,0251	0,0203	0,1158	0,1061
Cerradão 2	NDVI	Média	1,6210	1,7841	1,6869	1,7463	1,6363	1,6781	1,6574	1,7950	1,6446	1,5417	1,4836	1,8102
		dp	0,0103	0,0071	0,0113	0,0201	0,0386	0,0541	0,0219	0,0523	0,0113	0,0106	0,1660	0,0821
Cerrado SS	NDVI	Média	-	-	-	-	1,6516	1,6829	1,6644	1,7743	1,6580	1,5759	1,4446	1,6616
		dp	-	-	-	-	0,0111	0,0263	0,0482	0,0570	0,0102	0,0020	0,0905	0,0860
Campo sujo	NDVI	Média	-	-	-	-	1,6520	1,6708	1,5192	1,6374	1,6449	1,5611	1,4900	1,7170
		dp	-	-	-	-	0,0230	0,0377	0,0272	0,0614	0,0065	0,0209	0,1353	0,1004
Cerradão 1	Razão 3:8	Média	1,6288	1,7763	1,6834	1,7767	1,6217	1,6304	1,6090	1,6970	1,6533	1,5518	1,5352	1,8141
		dp	0,0171	0,0204	0,1391	0,0885	0,0290	0,0337	0,0379	0,0599	0,0245	0,1105	0,0193	0,0679
Cerradão 2	Razão 3:8	Média	1,6115	1,7767	1,7128	1,8202	1,6254	1,6433	1,6417	1,8046	1,6489	1,5409	1,4342	1,7103
		dp	0,0214	0,0285	0,0792	0,0651	0,0054	0,0265	0,0382	0,0415	0,0246	0,0648	0,1166	0,1016
Cerrado SS	Razão 3:8	Média	-	-	-	-	1,6696	1,6929	1,5807	1,6623	1,6605	1,5601	1,5376	1,7764
		dp	-	-	-	-	0,0499	0,0945	0,0469	0,0374	0,0138	0,0078	0,0534	0,1188
Campo sujo	Razão 3:8	Média	-	-	-	-	1,6418	1,6272	1,5153	1,7534	1,6621	1,5599	1,4963	1,7783
		dp	-	-	-	-	0,0281	0,0322	0,0584	0,0516	0,0257	0,0625	0,1233	0,1840
Cerradão 1	Razão 3:9	Média	1,6151	1,7716	1,6646	1,7492	1,6108	1,6101	1,5757	1,7130	1,6563	1,5725	1,5658	1,8614
		dp	0,0072	0,0251	0,1354	0,1467	0,0124	0,0179	0,0463	0,0268	0,0212	0,0518	0,0498	0,1332
Cerradão 2	Razão 3:9	Média	1,6087	1,7893	1,6510	1,7483	1,6271	1,6491	1,5673	1,7401	1,6495	1,5692	1,4971	1,7679
		dp	0,0150	0,0204	0,0209	0,0287	0,0067	0,0243	0,0951	0,1325	0,0262	0,0617	0,1215	0,0836
Cerrado SS	Razão 3:9	Média	-	-	-	-	1,6846	1,7032	1,5371	1,6497	1,6445	1,5135	1,5316	1,8233
		dp	-	-	-	-	0,0719	0,1094	0,0859	0,0487	0,0165	0,0564	0,0375	0,0845
Campo sujo	Razão 3:9	Média	-	-	-	-	1,6301	1,6181	1,5526	1,7644	1,6301	1,4930	1,4610	1,6661
		dp	-	-	-	-	0,0535	0,0727	0,0494	0,0604	0,0032	0,0366	0,0735	0,0528

Legenda: n^o = 1º maior valor; n^o = 2º maior valor; n^o = 3º maior valor; n^o = 4º maior valor; dp = desvio-padrão.

Tabela 5.15 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das dimensões fractais para as imagens das áreas (E.E Jataí).

Método	Extensão	Fisionomia	Bandas 231				Razão 3/8				Razão 3/9				NDVI				
			Cerradão 1	Cerradão 2	Cerrado ss	Campo sujo	Cerradão 1	Cerradão 2	Cerrado ss	Campo sujo	Cerradão 1	Cerradão 2	Cerrado ss	Campo sujo	Cerradão 1	Cerradão 2	Cerrado ss	Campo sujo	
B O X M E T H O D	Q d M i n	Zoom 10x	Cerradão 1	=	=														
			Cerradão 2	=															
			Cerrado ss																
			Campo sujo																
		Zoom 20x	Cerradão 1		=	=	≠		=	=	=		=	=	=		=	=	=
			Cerradão 2	=			≠		=	=	=		=	=	=		=	=	=
			Cerrado ss		=				=	=	=		=	=	=		=	=	=
			Campo sujo	≠	≠				=	=	=		=	=	=		=	=	=
		Zoom 40x	Cerradão 1		=	=	=		=	=	=		=	=	=		=	=	=
			Cerradão 2	=			=		=	=	=		=	=	=		=	=	=
			Cerrado ss	=	=				=	=	=		=	=	=		=	=	=
			Campo sujo	=	=	=			=	=	=		=	=	=		=	=	=
	M a x S e m	Zoom 10x	Cerradão 1		=				=				=						
			Cerradão 2	=					=				=						
			Cerrado ss																
			Campo sujo																
		Zoom 20x	Cerradão 1		=	=	≠		=	=	=		=	=	=		=	=	=
			Cerradão 2	=			≠		=	=	=		=	=	=		=	=	=
			Cerrado ss		=				=	=	=		=	=	=		=	=	=
			Campo sujo	≠	≠				=	=	=		=	=	=		=	=	=
		Zoom 40x	Cerradão 1		=	=	=		=	=	=		=	=	=		=	≠	=
			Cerradão 2	=			=		=	=	=		=	=	=		=		=
			Cerrado ss	=	=				=	=	=		=	=	=		=		=
			Campo sujo	=	=	=			=	=	=		=	=	=		=	=	=
V A R I A T I O N M E T H O D	Q d M i n	Zoom 10x	Cerradão 1		≠														
			Cerradão 2	≠															
			Cerrado ss																
			Campo sujo																
		Zoom 20x	Cerradão 1		=	=	≠		=	=	=		=	=	=		=	=	≠
			Cerradão 2	=					=	=	≠		=	=	=		=	=	≠
			Cerrado ss		=				=	=	=		=	=	=		=	=	≠
			Campo sujo	≠					=	≠			=	=	=		≠	≠	≠
		Zoom 40x	Cerradão 1		=	=	=		=	=	=		=	=	=		=	=	=
			Cerradão 2	=			=		=	=	=		=	=	=		=	=	=
			Cerrado ss	=	=				=	=	=		=	=	=		=	=	=
			Campo sujo	=	=	=			=	=	=		=	=	=		=	=	=
	M a x S e m	Zoom 10x	Cerradão 1		=				=				=						
			Cerradão 2	=					=				=						
			Cerrado ss																
			Campo sujo																
		Zoom 20x	Cerradão 1		=	=	=		=	=	=		=	=	=		=	=	≠
			Cerradão 2	=					=	≠			=	=	=		=	=	≠
			Cerrado ss		=				=	≠			=	=	=		≠		
			Campo sujo	=	=	=			=	=	=		=	=	=		=	=	=
		Zoom 40x	Cerradão 1		=	=	=		=	=	=		=	=	=		=	=	=
			Cerradão 2	=			=		=	=	=		=	=	=		=	=	=
			Cerrado ss	=	=				=	=	=		=	=	=		=	=	=
			Campo sujo	=	=	=			=	=	=		=	=	=		=	=	=

Legenda: = : sem diferença significativa entre as duas médias comparadas ≠ : há diferença significativa entre as duas médias comparadas

Tabela 5.16 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias dos valores de dimensões fractais obtidas por diferentes métodos para uma mesma área (E.E. Jataí).

Bandas	Extensão	Método		CERRADÃO 1				CERRADÃO 2				CERRADO DENSO				TRANSIÇÃO			
				Box Method		Variation Method		Box Method		Variation Method		Box Method		Variation Method		Box Method		Variation Method	
				QdMin	MaxSem	QdMin	MaxSem	QdMin	MaxSem	QdMin	MaxSem	QdMin	MaxSem	QdMin	MaxSem	QdMin	MaxSem	QdMin	MaxSem
Bandas 231	Zoom 10x	Box	QdMin	≠	=	=	=	≠	≠	≠	≠								
		Method	MaxSem	≠	=	=	=	≠	≠	=	≠								
		Variation	QdMin	=	=	=	=	≠	≠	=	≠								
		Method	MaxSem	=	=	=	=	≠	≠	≠	≠								
	Zoom 20x	Box	QdMin	=	=	=	≠	=	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	=	
		Method	MaxSem	=	=	=	≠	=	=	=	≠	=	=	=	=	≠	≠	≠	
		Variation	QdMin	=	=	=	≠	=	=	=	≠	=	=	=	=	≠	≠	≠	
		Method	MaxSem	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	=	=	=	=	≠	≠	≠	
	Zoom 40x	Box	QdMin	=	=	=	≠	=	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	=	
		Method	MaxSem	=	=	=	≠	=	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	=	
		Variation	QdMin	=	=	=	≠	=	=	=	≠	=	=	≠	=	=	=	=	
		Method	MaxSem	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	=	=	≠	=	=	=	=	
Razão 3/8	Zoom 10x	Box	QdMin	=	=	=	=	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	=		
		Method	MaxSem	=	=	=	=	≠	≠	=	≠								
		Variation	QdMin	=	=	=	=	=	=	=	=								
		Method	MaxSem	=	=	=	=	≠	≠	=	≠								
	Zoom 20x	Box	QdMin	=	=	=	=	=	=	=	≠	=	=	=	=	=	≠	=	
		Method	MaxSem	=	=	=	=	=	=	=	≠	=	=	=	=	=	≠	≠	
		Variation	QdMin	=	=	=	=	=	=	=	≠	=	=	=	≠	≠	≠	≠	
		Method	MaxSem	=	=	=	=	≠	≠	≠	≠	=	=	=	=	≠	≠	≠	
	Zoom 40x	Box	QdMin	=	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
		Method	MaxSem	=	=	=	≠	=	=	=	≠	=	=	=	≠	≠	≠	≠	
		Variation	QdMin	=	=	=	≠	=	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	=	
		Method	MaxSem	=	≠	≠	≠	=	=	=	≠	=	≠	≠	=	=	=	=	
Razão 3/9	Zoom 10x	Box	QdMin	=	=	=	=	=	=	≠	≠	≠	≠						
		Method	MaxSem	=	=	=	=	≠	≠	≠	≠								
		Variation	QdMin	=	=	=	=	=	=	=	≠	≠	≠	≠					
		Method	MaxSem	=	=	=	=	≠	≠	≠	≠								
	Zoom 20x	Box	QdMin	=	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
		Method	MaxSem	=	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	≠	
		Variation	QdMin	=	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	≠	
		Method	MaxSem	≠	≠	≠	≠	=	=	=	=	=	=	=	=	=	≠	≠	
	Zoom 40x	Box	QdMin	=	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	=	≠	≠	≠	≠	
		Method	MaxSem	=	=	=	≠	=	=	=	≠	=	=	=	≠	≠	≠	≠	
		Variation	QdMin	=	=	=	≠	=	=	=	≠	=	=	=	≠	≠	≠	≠	
		Method	MaxSem	≠	≠	≠	≠	=	=	=	≠	≠	≠	≠	=	≠	≠	≠	
NDVI	Zoom 10x	Box	QdMin	=	=	=	=	=	=	≠	≠	≠	≠						
		Method	MaxSem	=	=	=	=	≠	≠	≠	≠								
		Variation	QdMin	=	=	=	=	=	=	=	≠	≠	≠	≠					
		Method	MaxSem	=	=	=	=	≠	≠	≠	≠								
	Zoom 20x	Box	QdMin	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	≠	≠	≠	≠	
		Method	MaxSem	=	=	=	=	=	=	=	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	
		Variation	QdMin	=	=	=	=	=	=	=	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	
		Method	MaxSem	=	=	=	=	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	
	Zoom 40x	Box	QdMin	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	≠	≠	≠	≠	
		Method	MaxSem	=	=	=	=	=	=	=	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	
		Variation	QdMin	=	=	=	≠	=	=	=	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	
		Method	MaxSem	=	=	≠	≠	=	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	

Legenda: = : sem diferença significativa entre as duas médias comparadas ≠ : há diferença significativa entre as duas médias comparadas

Tabela 5.17 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das dimensões fractais para imagens de diferentes extensões de uma mesma área (E.E.Jataí).

Bandas	Fisionomia	Box method - QdMin			Box method - Max Sem			Variation method - QdMin			Variation method - Max Sem		
		Extensões comparadas*			Extensões comparadas*			Extensões comparadas*			Extensões comparadas*		
		1 e 2	1 e 3	2 e 3	1 e 2	1 e 3	2 e 3	1 e 2	1 e 3	2 e 3	1 e 2	1 e 3	2 e 3
Bandas 231	Cerradão 1	=	=	=	≠	≠	≠	=	≠	=	=	=	=
	Cerradão 2	=	=	≠	≠	≠	≠	=	≠	=	=	=	=
	Cerrado ss			=			≠			=			=
	Campo sujo			=			≠			=			=
Razão 3/8	Cerradão 1	=	≠	≠	≠	≠	=	=	=	=	=	=	=
	Cerradão 2	=	=	=	≠	≠	=	=	=	=	=	=	=
	Cerrado ss			=			=			=			≠
	Campo sujo			=			=			=			=
Razão 3/9	Cerradão 1	=	=	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	=
	Cerradão 2	=	=	=	≠	≠	=	=	≠	=	=	=	=
	Cerrado ss			=			=			=			=
	Campo sujo			=			=			=			=
NDVI	Cerradão 1	=	=	=	≠	≠	≠	=	=	=	=	=	=
	Cerradão 2	=	=	=	≠	≠	≠	=	=	=	=	=	=
	Cerrado ss			=			≠			≠			=
	Campo sujo			=			≠			=			=

Legenda: = : sem diferença significativa entre as duas médias comparadas ≠ : há diferença significativa entre as duas médias comparadas

* Extensão 1 = 300 x 300 metros (400 pixels); Extensão 2 = 150 x 150 metros (100 pixels); Extensão 3 = 75 x 75 metros (25 pixels)

Tabela 5.18 - Médias dos valores de dimensão fractal para os espectros das áreas (E.E. Jataí).

Bandas	Fisionomia	Valores	Regularization dimension - Qd Min		
			10X (400 pixels)	20X (100 pixels)	40X (25 pixels)
231	Cerradão 1	média	1,7492	1,7550	1,7560
		dp	0,0127	0,0175	0,0152
	Cerradão 2	média	1,7162	1,7181	1,7342
		dp	0,0211	0,0216	0,0273
	Cerrado ss	média	-	1,6027	1,6052
		dp	0,0337	0,0112	0,0089
	Campo sujo	média	-	1,5905	1,5770
		dp	0,0390	0,0048	0,0030

Legenda:
nº = 1º maior valor
nº = 2º maior valor
nº = 3º maior valor
nº = 4º maior valor
dp = desvio-padrão

Na comparação dos métodos utilizados, também não houve uma correspondência total entre as médias de valores de dimensão fractal obtidas por dois métodos distintos (Tabela 5.16), corroborando mais uma vez o fato de que diferentes métodos resultam em valores diferentes de dimensão fractal (Kojima et al., 2006; Lam et al., 1998; Zhou & Lam, 2005).

O principal mérito da aplicação da dimensão fractal para as imagens foi, outra vez, o de evidenciar a inexistência de diferenças significativas entre as médias de valores obtidas para diferentes extensões da mesma área. Esse resultado apareceu em vários casos: para os cálculos feitos pelo “Box method – mínimos quadrados” para imagens NDVI e razão de bandas 3/8, pelo “Variation method – mínimos quadrados” para imagem da razão de banda 3/9 e pelo “Variation method – máxima verossimilhança” para imagens das bandas 231, NDVI e razão 3/8 (Tabela 5.17). Percebe-se, novamente, a prevalência de melhores resultados para imagens formadas a partir de álgebra de bandas. Além disso, assim como para as imagens da E.E. de Assis, esses métodos de dimensão fractal conseguiram detectar padrões que se repetem em diferentes escalas, caracterizando a auto-similaridade estatística dos fractais naturais. Reforça-se, portanto, a conjectura de que essa invariância escalar pode representar processos multiescalares que estão atuando na configuração de padrões espaciais das fisionomias de Cerrado¹⁹.

• Dimensão fractal dos espectros:

Em relação à análise dos espectros das áreas da E.E. Jataí, do mesmo modo que já havia ocorrido na E.E. de Assis, o cerrado foi a fisionomia que obteve maiores médias dos valores de dimensão fractal (Tabela 5.18). Mais uma vez, essa medida aplicada à análise do espectro falhou ao não conferir à área de maior diversidade espectral (cerrado ss) os maiores valores de dimensão fractal. O único resultado não-contraditório foi para o campo sujo, cuja menor variabilidade espectral foi correspondida com os valores mais baixos de dimensão fractal (Tabela 5.18).

Esses dois tipos fisionômicos mais distintos – cerrado e campo sujo – foram diferenciados pela dimensão fractal dos espectros (Tabela 5.19); porém, essa medida

¹⁹ Um aprofundamento dessa ideia é apresentado mais adiante, no item “Implicações dos resultados na compreensão da organização e dinâmica do Cerrado” (p.115).

não conseguiu separar as duas formações savânicas presentes na E.E. Jataí: cerrado ss e campo sujo, mostrando que a dimensão fractal não foi capaz de distinguir padrões espectrais de fisionomias mais próximas.

Na comparação das extensões, as áreas de cerradão e cerrado ss não apresentaram diferenças significativas entre as médias de dimensão fractal das três escalas analisadas (Tabela 5.20). O resultado se constitui como mais uma prova de que padrões auto-similares são uma marca característica da organização do Cerrado.

Somente na área de campo sujo as dimensões fractais das extensões foram diferentes (Tabela 5.20). Uma possível explicação para esse resultado é de que essa área, onde o estrato herbáceo é dominante, representa um estado do sistema de maior estabilidade do que as demais, já que a invariância escalar é uma propriedade de estados que estão próximos a pontos críticos e, portanto, são estados mais instáveis. Essa interpretação é plausível se considerarmos que o campo sujo é uma fisionomia que apresenta uma longa permanência sem muitas mudanças significativas na aparência da vegetação em áreas, por exemplo, que antes foram usadas como pasto e/ou cujos solos apresentam baixa fertilidade.

• Comparação entre aplicações da dimensão fractal: análise textural X espectral:

No caso da E.E.Jataí, a eficácia da dimensão fractal em separar fisionomias distintas também foi ligeiramente superior na análise espectral – na qual não houve distinção apenas entre cerrado ss e campo sujo – do que a análise textural, que diferenciou somente a área de campo sujo das demais (Tabelas 5.15 e 5.19). Em ambos os casos, nota-se que a dimensão fractal não é uma medida refinada a ponto de diferenciar fisionomias que possuem maior semelhança de padrões.

A análise textural da dimensão fractal, por sua vez, foi mais bem sucedida em detectar os padrões que se repetem em diferentes escalas, captando o caráter de invariância escalar das fisionomias do Cerrado. No caso da análise do espectro, houve diferença nas médias das extensões para a área de campo sujo, mas, conforme discutido anteriormente, esse resultado permite a interpretação de que essa fisionomia pode apresentar maior estabilidade em relação às outras.

Tabela 5.19 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das dimensões fractais para os espectros das áreas (E.E Jataí).

Composição de bandas	Fisionomia	Regularization method - QdMin											
		Zoom 10x				Zoom 20x				Zoom 40x			
		Cerradão 1	Cerradão 2	Cerrado ss	Campo sujo	Cerradão 1	Cerradão 2	Cerrado ss	Campo sujo	Cerradão 1	Cerradão 2	Cerrado ss	Campo sujo
Bandas 231	Cerradão 1		=				=	≠	≠		=	≠	≠
	Cerradão 2	=				=		≠	≠	=		≠	≠
	Cerrado ss					≠	≠		=	≠	≠		=
	Campo sujo					≠	≠	=		≠	≠	=	

Legenda: = : sem diferença significativa entre as duas médias comparadas ≠ : há diferença significativa entre as duas médias comparadas

Tabela 5.20 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das dimensões fractais para espectros de diferentes extensões de uma mesma área (E.E.Assis).

Composição de bandas	Fisionomia	Regularization method - QdMin		
		Extensões comparadas		
		1 e 2	1 e 3	2 e 3
Bandas 231	Cerradão 1	=	=	=
	Cerradão 2	=	=	=
	Cerrado ss			=
	Campo sujo			≠

Legenda: = : sem diferença significativa entre as duas médias comparadas ≠ : há diferença significativa entre as duas médias comparadas
 * Extensão 1 = 300 x 300 metros (400 pixels); Extensão 2 = 150 x 150 metros (100 pixels); Extensão 3 = 75 x 75 metros (25 pixels)

Assim, como já observado para a E.E. de Assis, a dimensão fractal se mostrou uma medida mais eficiente para reconhecer padrões que se repetem em diferentes escalas do que para distinguir as fisionomias do Cerrado da E.E. Jataí.

• Medidas de complexidade das imagens:

As médias dos valores obtidos pelos cálculos da função convexa da entropia e de H/H_{max} são apresentados na Tabela 5.21. Para a composição de bandas 231, as imagens da área de cerrado ss foram as que apresentaram maior complexidade e, portanto, as medidas usadas refletiram fielmente a maior heterogeneidade espacial dessa fisionomia em relação às outras analisadas.

Essa fidelidade é perdida para as demais composições/razões de banda (NDVI, 3/8 e 3/9), nas quais as áreas de cerradão obtêm os maiores valores, embora com diferenças geralmente muito pequenas em relação aos valores das áreas de cerrado ss e campo sujo. Percebe-se, portanto, que ao realçar determinados aspectos da vegetação nas imagens, essas álgebras de bandas são melhores sucedidas em produzir maior heterogeneidade em áreas relativamente mais homogêneas do que em aumentar a heterogeneidade em áreas já mais diversificadas. Isso pode ser constatado analisando a Tabela 5.21, na qual nota-se que há um aumento significativo nos valores de complexidade das áreas de cerradão e campo sujo nas imagens de álgebras de bandas em comparação aos valores obtidos para a composição 231, enquanto para o cerrado ss esse aumento é pouco expressivo ou até pode haver redução no valor (caso da razão 3/9, na extensão de 25 pixels).

As diferenças entre os valores de complexidade das fisionomias somente são um pouco maiores para a imagem NDVI na extensão de 100 pixels, na qual inclusive foi possível diferenciar a área “cerradão 1” das de cerrado ss e campo sujo, e a área “cerradão 2” da área de campo sujo (Tabela 5.22). A melhor distinção entre as fisionomias, entretanto, foi obtida por ambas as medidas para a análise da imagem de composição de bandas 231 nas extensões de 100 e 25 pixels: as áreas de cerradão tiveram médias diferentes das áreas de cerrado ss e campo sujo, porém não houve diferenciação dessas duas últimas áreas (Tabela 5.22).

Em relação aos valores de complexidade de uma mesma área nas três extensões analisadas, a grande maioria das comparações entre duas médias mostrou diferença significativa entre elas (Tabela 5.23). Da mesma maneira que ocorreu para o caso da E.E. de Assis, essas diferenças se devem à perda de informação (representada pela menor variação nos valores dos pixels) quando se passa de uma escala espacial maior para uma menor.

• Medidas de complexidade dos espectros:

Assim como na análise textural, as duas métricas empregadas mostraram que, no caso da banda 8, a área de cerrado ss é a que possui maior complexidade quando são comparadas todas as áreas estudadas na E.E. Jataí (Tabela 5.24), indicando que tanto a função complexa da entropia como a medida H/Hmax foram acuradas em reconhecer a maior diversidade espectral dessa fisionomia. Para a banda 9 e razão 3/8, essa eficiência não se repetiu, já que os maiores valores de complexidade variaram em função da medida e extensão considerada (Tabela 5.24).

O melhor resultado alcançado pela análise da banda 8 é confirmado na comparação das médias obtidas pelas fisionomias: ambas as medidas conseguiram separar, na extensão de 100 pixels, as áreas de cerrado da área de cerrado ss, assim como distinguir a área “cerrado 1” da de campo sujo (Tabela 5.25). Portanto, conforme já havia acontecido para a E.E. de Assis, a banda 8 se mostrou mais adequada para essa finalidade do que a análise espectral da banda 9 e razão 3/8.

Por outro lado, na comparação das diferentes escalas analisadas, a razão 3/8 foi a única em que não houve diferenças significativas entre as médias das três extensões de uma mesma área. Nesse aspecto, a eficiência da medida H/Hmax foi ligeiramente superior a outra medida de complexidade, pois apresentou apenas uma ocorrência de diferença significativa contra duas ocorrências da função convexa da entropia (Tabela 5.26). Essa baixa frequência de diferenças significativas evidencia novamente que o melhor desempenho dessas medidas na comparação das extensões ocorre na análise do espectro, na qual a variação na quantidade de informação na passagem de uma escala a outra é insignificante se comparada à análise textural.

Tabela 5.21 - Médias dos valores de complexidade para imagens das áreas da E.E.Jataí.

Fisionomia	Bandas	Valores	10X (400 pixels)		20X (100 pixels)		40X (25 pixels)	
			Fç Conv	H/Hmax	Fç Conv	H/Hmax	Fç Conv	H/Hmax
Cerradão 1	231	média	0,1298	0,1541	0,1133	0,1302	0,0538	0,0571
		dp	0,0182	0,0263	0,0032	0,0043	0,0023	0,0026
Cerradão 2	231	média	0,1419	0,1738	0,1192	0,1384	0,0550	0,0584
		dp	0,0322	0,0506	0,0053	0,0074	0,0009	0,0010
Cerrado ss	231	média	-	-	0,1802	0,2329	0,0700	0,0757
		dp	-	-	0,0152	0,0268	0,0028	0,0033
Campo sujo	231	média	-	-	0,1638	0,2064	0,0644	0,0693
		dp	-	-	0,0026	0,0044	0,0056	0,0065
Cerradão 1	NDVI	média	0,2319	0,6322	0,1824	0,2400	0,0738	0,0803
		dp	0,0087	0,0319	0,0034	0,0065	0,0013	0,0015
Cerradão 2	NDVI	média	0,2343	0,6200	0,1862	0,2475	0,0746	0,0812
		dp	0,0114	0,0441	0,0061	0,0121	0,0033	0,0040
Cerrado ss	NDVI	média	-	-	0,2023	0,2822	0,0777	0,0849
		dp	-	-	0,0093	0,0212	0,0029	0,0035
Campo sujo	NDVI	média	-	-	0,2030	0,2833	0,0772	0,0843
		dp	-	-	0,0040	0,0092	0,0043	0,0052
Cerradão 1	Rz 3/8	média	0,2075	0,7042	0,1896	0,2544	0,0753	0,0820
		dp	0,0135	0,0339	0,0055	0,0113	0,0054	0,0065
Cerradão 2	Rz 3/8	média	0,2235	0,6615	0,1906	0,2563	0,0765	0,0835
		dp	0,0079	0,0258	0,0049	0,0099	0,0030	0,0036
Cerrado ss	Rz 3/8	média	-	-	0,1890	0,2534	0,0707	0,0765
		dp	-	-	0,0085	0,0169	0,0021	0,0025
Campo sujo	Rz 3/8	média	-	-	0,1826	0,2404	0,0698	0,0755
		dp	-	-	0,0053	0,0101	0,0026	0,0031
Cerradão 1	Rz 3/9	média	0,2110	0,6940	0,1890	0,2531	0,0741	0,0807
		dp	0,0187	0,0452	0,0021	0,0042	0,0049	0,0058
Cerradão 2	Rz 3/9	média	0,2368	0,6125	0,1827	0,2405	0,0711	0,0771
		dp	0,0068	0,0293	0,0038	0,0074	0,0010	0,0012
Cerrado ss	Rz 3/9	média	-	-	0,1815	0,2387	0,0681	0,0735
		dp	-	-	0,0084	0,0159	0,0028	0,0032
Campo sujo	Rz 3/9	média	-	-	0,1764	0,2288	0,0684	0,0739
		dp	-	-	0,0040	0,0074	0,0033	0,0039

Legenda: n^o = 1^o maior valor; n^o = 2^o maior valor; n^o = 3^o maior valor; n^o = 4^o maior valor; dp = desvio-padrão.

Tabela 5.22 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das medidas de complexidade para as imagens das áreas (E.E Jataí).

Medida	Extensão	Fisionomia	Bandas 231				Razão 3/8				Razão 3/9				NDVI			
			Cerradão 1	Cerradão 2	Cerrado ss	Campo sujo	Cerradão 1	Cerradão 2	Cerrado ss	Campo sujo	Cerradão 1	Cerradão 2	Cerrado ss	Campo sujo	Cerradão 1	Cerradão 2	Cerrado ss	Campo sujo
Função convexa da entropia	Zoom 10x	Cerradão 1	=	=			=	=			=	=			=	=		
		Cerradão 2	=				=				=				=			
		Cerrado ss																
		Campo sujo																
	Zoom 20x	Cerradão 1		=	≠	≠		=	=	=		=	=	=		=	≠	≠
		Cerradão 2	=				=				=				=			
		Cerrado ss	≠	≠		=									≠			
		Campo sujo	≠	≠	=										≠	≠		
	Zoom 40x	Cerradão 1		=	≠	≠		=	=	=		=	=	=		=		
		Cerradão 2	=				=				=				=			
		Cerrado ss	≠	≠		=									≠			
		Campo sujo	≠	≠	=										≠	≠		
H/Hmax	Zoom 10x	Cerradão 1		=	≠	≠		=	=	=		=	=	=		=	≠	≠
		Cerradão 2	=				=				=				=			
		Cerrado ss																
		Campo sujo																
	Zoom 20x	Cerradão 1		=	≠	≠		=	=	=		=	=	=		=	≠	≠
		Cerradão 2	=				=				=				=			
		Cerrado ss	≠	≠		=									≠	≠		
		Campo sujo	≠	≠	=										≠	≠		
	Zoom 40x	Cerradão 1		=	≠	≠		=	=	=		=	=	=		=		
		Cerradão 2	=				=				=				=			
		Cerrado ss	≠	≠		=									≠			
		Campo sujo	≠	≠	=										≠	≠		

Legenda: = : sem diferença significativa entre as duas médias comparadas ≠ : há diferença significativa entre as duas médias comparadas

Tabela 5.23 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das medidas de complexidade para imagens de diferentes extensões de uma mesma área (E.E.Jataí).

Medida	Fisionomia	Bd231			NDVI			Rz3/8			Rz3/9		
		Extensões comparadas*			Extensões comparadas*			Extensões comparadas*			Extensões comparadas*		
		1 e 2	1 e 3	2 e 3	1 e 2	1 e 3	2 e 3	1 e 2	1 e 3	2 e 3	1 e 2	1 e 3	2 e 3
Função convexa da entropia	Cerradão 1	=	≠	≠	≠	≠	≠	=	≠	≠	=	≠	≠
	Cerradão 2	=	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠
	Cerrado ss			≠			≠			≠			≠
	Campo sujo			≠			≠			≠			≠
H/Hmax	Cerradão 1	=	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠
	Cerradão 2	=	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠
	Cerrado ss			≠			≠			≠			≠
	Campo sujo			≠			≠			≠			≠

Legenda: = : sem diferença significativa entre as duas médias comparadas ≠ : há diferença significativa entre as duas médias comparadas

* Extensão 1 = 300 x 300 metros (400 pixels); Extensão 2 = 150 x 150 metros (100 pixels); Extensão 3 = 75 x 75 metros (25 pixels)

Tabela 5.24 - Médias dos valores de complexidade para espectros das áreas da E.E.Jataí.

Fisionomia	Bandas	Valores	10X (400 pixels)		20X (100 pixels)		40X (25 pixels)	
			Fç Conv	H/Hmax	Fç Conv	H/Hmax	Fç Conv	H/Hmax
Cerradão 1	8	média	0,1447	0,1770	0,1558	0,1933	0,1535	0,1919
		dp	0,0073	0,0122	0,0088	0,0141	0,0309	0,0480
Cerradão 2	8	média	0,1640	0,2076	0,1616	0,2047	0,1625	0,2059
		dp	0,0157	0,0264	0,0235	0,0411	0,0226	0,0399
Cerrado ss	8	média	-	-	0,2207	0,3322	0,1905	0,2574
		dp	-	-	0,0144	0,0414	0,0150	0,0310
Campo sujo	8	média	-	-	0,1985	0,2731	0,1808	0,2371
		dp	-	-	0,0028	0,0063	0,0051	0,0096
Cerradão 1	9	média	0,1722	0,2212	0,1697	0,2177	0,1737	0,2240
		dp	0,0057	0,0105	0,0175	0,0318	0,0056	0,0102
Cerradão 2	9	média	0,1662	0,2108	0,1581	0,1968	0,1327	0,1584
		dp	0,0091	0,0156	0,0044	0,0073	0,0204	0,0306
Cerrado ss	9	média	-	-	0,1994	0,2808	0,1622	0,2064
		dp	-	-	0,0274	0,0622	0,0277	0,0496
Campo sujo	9	média	-	-	0,1717	0,2213	0,1617	0,2041
		dp	-	-	0,0180	0,0313	0,0190	0,0329
Cerradão 1	Rz 3/8	média	0,2217	0,6668	0,2260	0,6536	0,2370	0,6078
		dp	0,0087	0,0268	0,0079	0,0254	0,0109	0,0457
Cerradão 2	Rz 3/8	média	0,2237	0,6622	0,2190	0,6728	0,2300	0,6406
		dp	0,0010	0,0030	0,0138	0,0411	0,0050	0,0178
Cerrado ss	Rz 3/8	média	-	-	0,1704	0,7800	0,1980	0,7261
		dp	-	-	0,0252	0,0432	0,0170	0,0359
Campo sujo	Rz 3/8	média	-	-	0,1856	0,7442	0,1703	0,7716
		dp	-	-	0,0375	0,0842	0,0460	0,0941

Legenda: n^o = 1^o maior valor; n^o = 2^o maior valor; n^o = 3^o maior valor; n^o = 4^o maior valor; dp = desvio-padrão.

Tabela 5.25 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das medidas de complexidade para os espectros das áreas (E.E Jataí).

Medida	Extensão	Fisionomia	Banda 8				Banda 9				Razão 3/8			
			Cerradão 1	Cerradão 2	Cerrado Denso	Transição	Cerradão 1	Cerradão 2	Cerrado Denso	Transição	Cerradão 1	Cerradão 2	Cerrado Denso	Transição
Função convexa da entropia	Zoom 10x	Cerradão 1	=	=			=	=			=	=		
		Cerradão 2	=				=				=			
		Cerrado ss												
		Campo sujo												
	Zoom 20x	Cerradão 1		=	≠	≠		=	=	=		=	=	=
		Cerradão 2	=		≠		=		=	=	=		=	=
		Cerrado ss	≠	≠		=	=	=	=	=	=		=	=
		Campo sujo	≠		=		=	=	=	=	=		=	=
	Zoom 40x	Cerradão 1		=		=	=	=	=	=	=	=	=	≠
		Cerradão 2	=			=	=	=	=	=	=	=	=	
		Cerrado ss	=	=		=	=	=	=	=	=		=	=
		Campo sujo	=	=		=	=	=	=	=	≠	=	=	=
H/Hmax	Zoom 10x	Cerradão 1		=				=				=		
		Cerradão 2	=				=				=			
		Cerrado ss												
		Campo sujo												
	Zoom 20x	Cerradão 1		=	≠	≠		=	=	=		=	=	=
		Cerradão 2	=		≠		=		=	=	=		=	=
		Cerrado ss	≠	≠		=	=	=	=	=	=		=	=
		Campo sujo	≠		=		=	=	=	=	=		=	=
	Zoom 40x	Cerradão 1		=		=	=	=	=	=	=	=	=	≠
		Cerradão 2	=			=	=	=	=	=	=	=	=	
		Cerrado ss	=	=		=	=	=	=	=	=		=	=
		Campo sujo	=	=	=		=	=	=	=	≠	=	=	=

Legenda: = : sem diferença significativa entre as duas médias comparadas ≠ : há diferença significativa entre as duas médias comparadas

Tabela 5.26 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das medidas de complexidade para espectros de uma mesma área em diferentes extensões (E.E.Jataí).

Medida	Fisionomia	Banda 8			Banda 9			Rz3/8		
		Extensões comparadas*			Extensões comparadas*			Extensões comparadas*		
		1 e 2	1 e 3	2 e 3	1 e 2	1 e 3	2 e 3	1 e 2	1 e 3	2 e 3
Função convexa da entropia	Cerradão 1	=	=	=	=		=	=	=	=
	Cerradão 2	=	=		=	≠	=	=	=	=
	Cerrado ss			=			=			=
	Campo sujo			≠			=			=
H/Hmax	Cerradão 1	=	=	=	=		=	=	=	=
	Cerradão 2	=	=		=	≠	=	=	=	=
	Cerrado ss			=			=			=
	Campo sujo			=			=			=

Legenda: = : sem diferença significativa entre as duas médias comparadas ≠ : há diferença significativa entre as duas médias comparadas

* Extensão 1 = 300 x 300 metros (400 pixels); Extensão 2 = 150 x 150 metros (100 pixels); Extensão 3 = 75 x 75 metros (25 pixels)

Os casos em que a invariância escalar não apareceu merecem atenção especial. Um deles foi para o campo sujo, na banda 8 e para a medida da função convexa da entropia (Tabela 5.26). Vale lembrar que esse resultado também foi encontrado no cálculo de dimensão fractal do espectro, dando mais consistência à conjectura de que a invariância escalar não está presente no campo sujo por ela ser uma fisionomia de maior estabilidade.

Ainda nessa linha de pensamento, é interessante destacar que a outra área que não apresentou invariância escalar possui a fisionomia cerradão (área “cerradão 2” para a banda 9), a qual se caracteriza por uma maior homogeneidade na cobertura vegetal devido ao predomínio do estrato arbóreo. De modo semelhante ao que se propôs para o campo sujo, a preponderância de um estrato e a ausência da invariância escalar podem ser indicativas de que o cerradão também representa um estado de maior estabilidade do sistema. Sendo assim, as duas fisionomias que ocupam posições mais extremas no gradiente seriam estados mais estáveis do sistema Cerrado, enquanto as fisionomias que se situam em posições intermediárias representariam estados mais complexos, porém instáveis, caracterizados pela invariância escalar e criticalidade auto-organizada.

• Comparação entre aplicações das medidas de complexidade: análise textural X espectral:

Comparando os melhores resultados de cada tipo de análise, verifica-se que as medidas de complexidade aplicadas à análise textural foram ligeiramente mais eficientes em diferenciar as fisionomias do que quando usadas na análise espectral. Ainda assim, em ambas as análises, as medidas conseguiram atribuir maiores valores ao cerrado ss, que é das fisionomias da E.E. de Jataí a mais heterogênea em termos de rugosidade e resposta espectral.

Quanto à invariância escalar, novamente apenas na análise espectral é que ela foi detectada pelas medidas de complexidade, mostrando que os padrões espectrais das fisionomias do Cerrado são auto-similares nas diferentes escalas analisadas. Esse resultado não se repetiu na análise textural, reforçando a limitação das medidas baseadas na entropia para essa finalidade, devido à perda de informação que ocorre

nas escalas espaciais menores decorrente da menor variação nos valores de níveis de cinza dos pixels.

c) Estações Ecológica e Experimental de Itirapina:

Para esses locais, foram selecionadas quatro áreas, cada qual correspondendo a um tipo diferente de fisionomia: cerrado, cerrado ss, campo cerrado e campo sujo. As duas primeiras áreas se situam na Estação Experimental de Itirapina e as outras duas na Estação Ecológica. As três amostras de cada área onde foram analisadas as imagens e respectivos espectros são apresentadas na Figura 5.6.

A área de campo cerrado é o único tipo fisionômico que não havia sido analisado nas duas outras áreas estudadas. Ele se caracteriza pelo predomínio de um estrato herbáceo-subarbustivo e pela presença de um estrato arbóreo de porte médio, muito esparsos e, portanto, formando cobertura bastante descontínua (IF, 2006). Assim, a diversidade do campo cerrado em relação aos aspectos vegetacionais e cobertura do solo é maior que a do campo sujo e menor que a do cerrado ss, o que se reflete nas imagens de satélite em uma heterogeneidade textural e espectral intermediária a essas duas fisionomias (Figura 5.7).

• Dimensão fractal das imagens:

A Tabela 5.27 mostra as médias dos valores da dimensão fractal obtidos pela análise das imagens das áreas de Cerrado das E.E. de Itirapina. Novamente, assim como ocorreu nas E.E. de Assis e Jataí, houve uma variação grande nos valores dessa medida de acordo com o método, a extensão e a composição/razão de bandas utilizadas, bem como na posição das áreas em relação aos maiores e menores valores calculados. Em várias situações, as áreas de maior rugosidade – cerrado ss e campo cerrado – apresentaram maiores valores de dimensão fractal, porém esses resultados não foram consistentes ao ponto de se conseguir extrair algum padrão de comportamento dessa medida.

Em relação à distinção das fisionomias, a análise das áreas da E.E. de Itirapina foi a que teve pior resultado, pois conseguiu separar no máximo duas fisionomias (Tabela 5.28). Curiosamente, muitas destas distinções foram feitas para fisionomias mais semelhantes, diferentemente do que foi observado nas outras duas localidades estudadas.

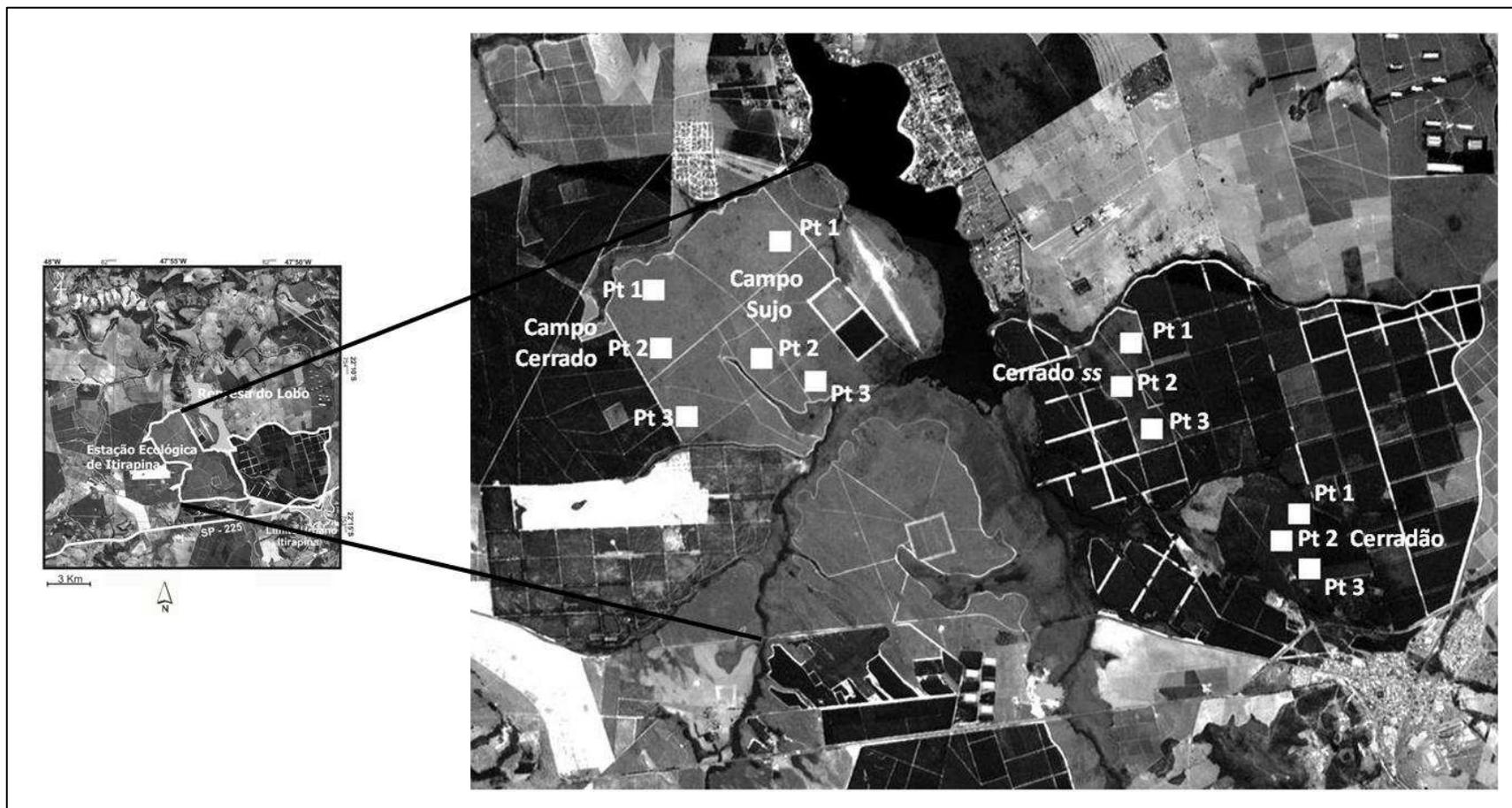
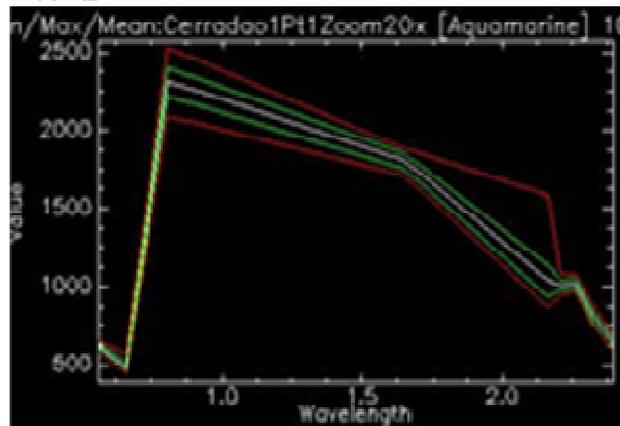
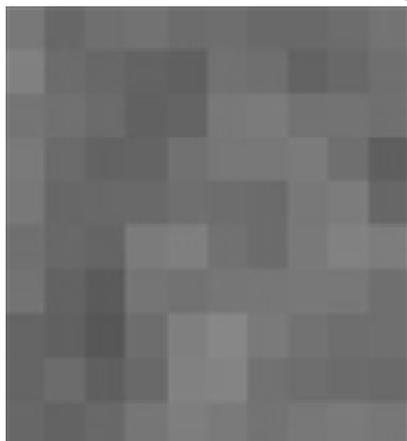


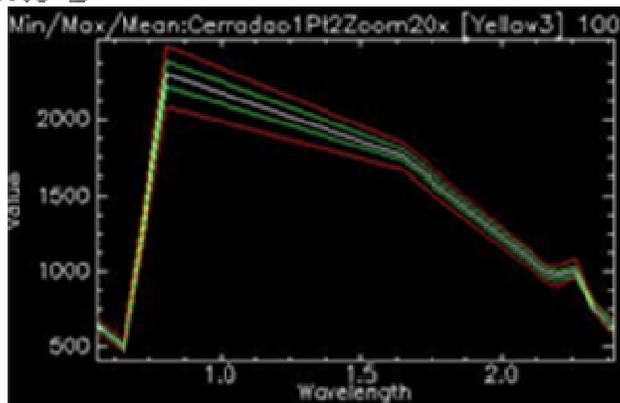
Figura 5.6 – Localização das áreas analisadas nas E.E. de Itirapina. (Legenda: Pt = ponto).

a) CERRADÃO

Ponto 1



Ponto 2



Ponto 3

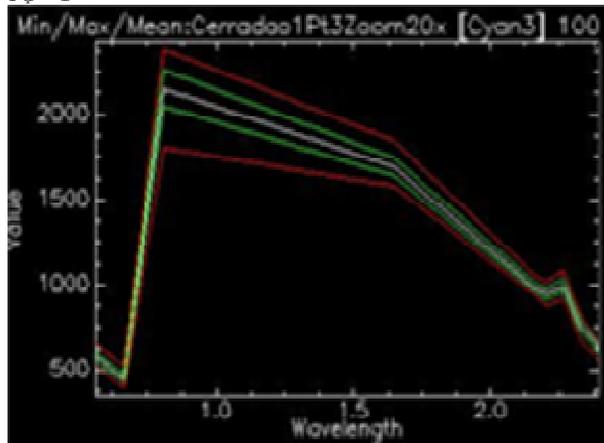
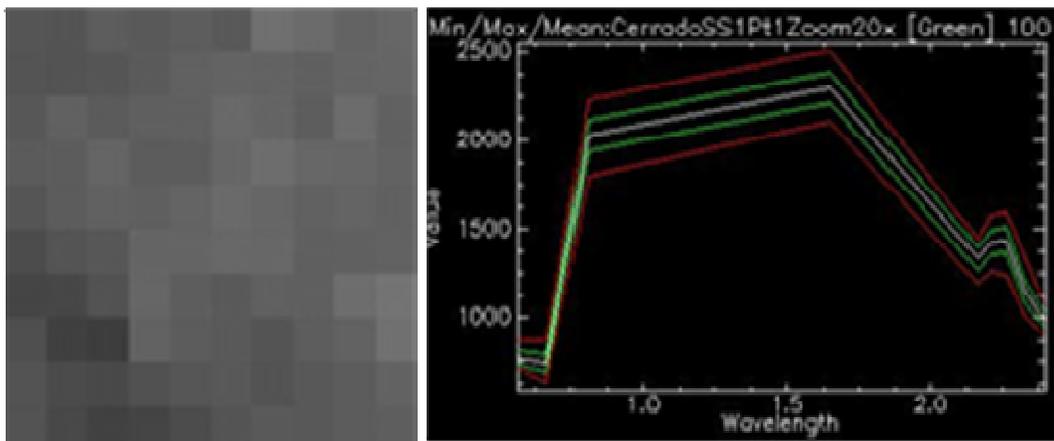


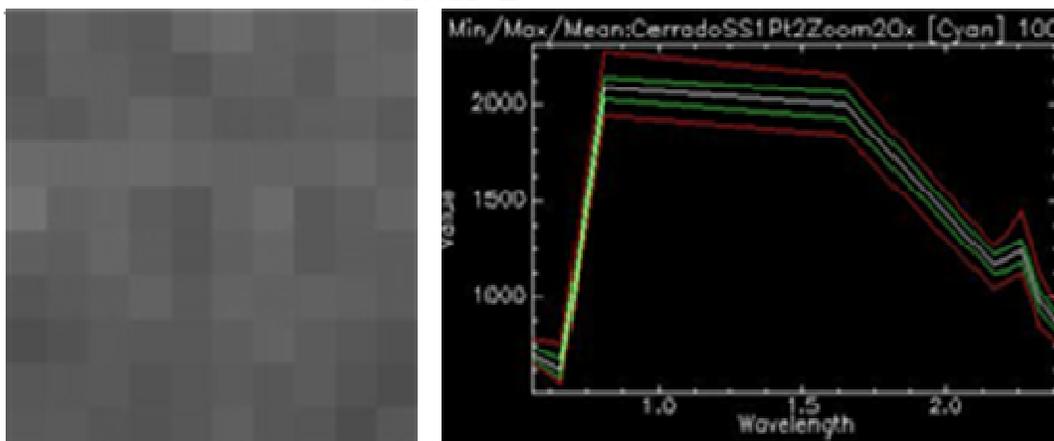
Figura 5.7 – Imagens e respectivos espectros das áreas analisadas na E.E. de Itirapina (bandas 231; extensão de 400 pixels): a) Cerradão; b) Cerrado ss; c) Campo cerrado; d) Campo sujo.

b) CERRADO SS

Ponto 1



Ponto 2



Ponto 3

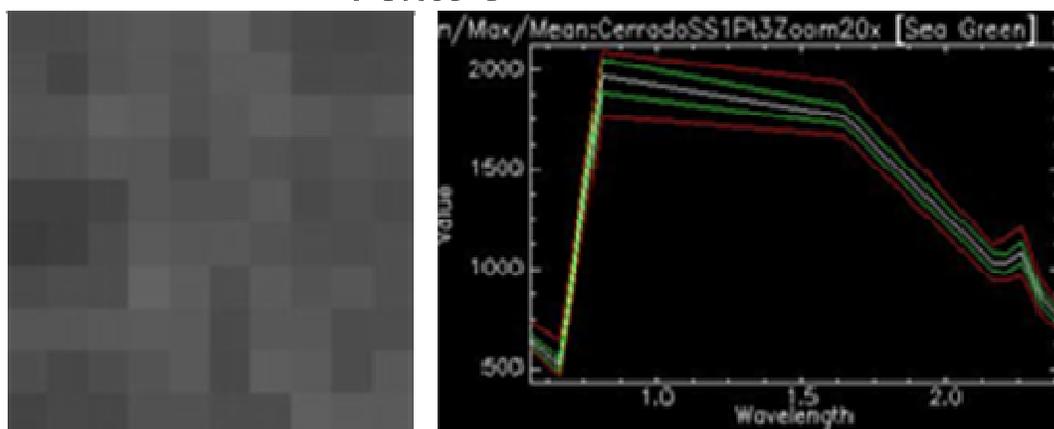
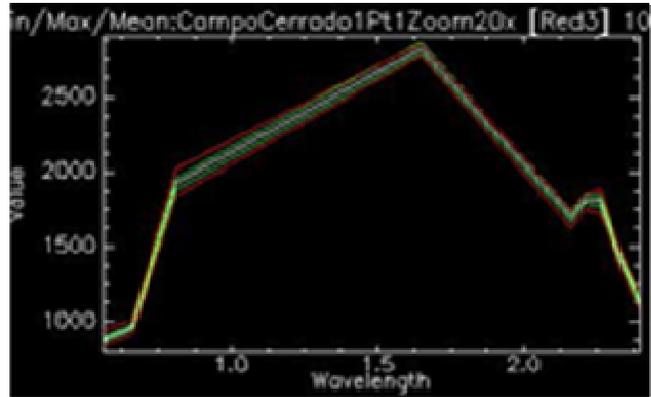


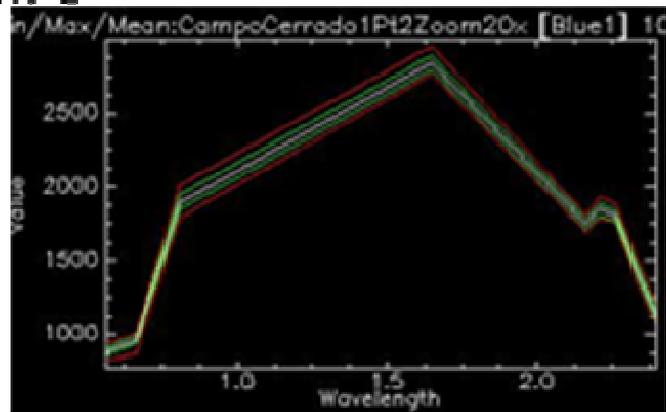
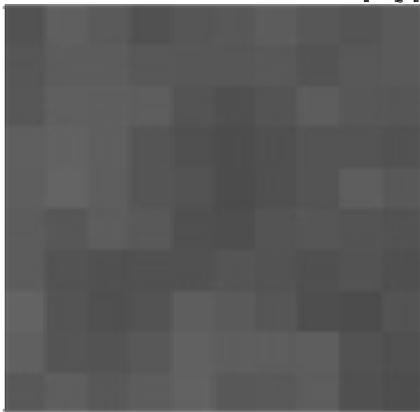
Figura 5.7 (cont.) – Imagens e respectivos espectros das áreas analisadas na E.E. de Itirapina (bandas 231; extensão de 400 pixels): a) Cerradão; b) **Cerrado ss**; c) Campo cerrado; d) Campo sujo.

c) CAMPO CERRADO

Ponto 1



Ponto 2



Ponto 3

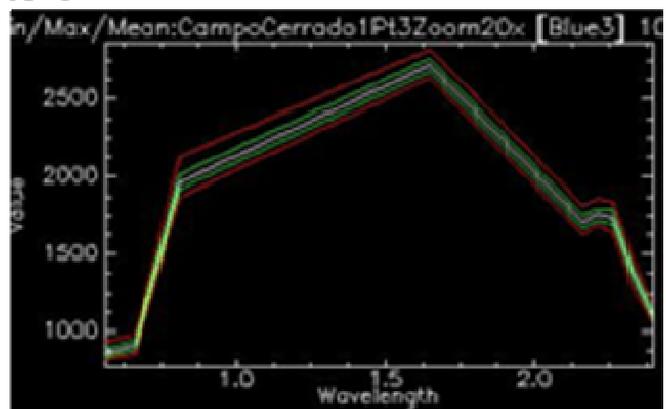
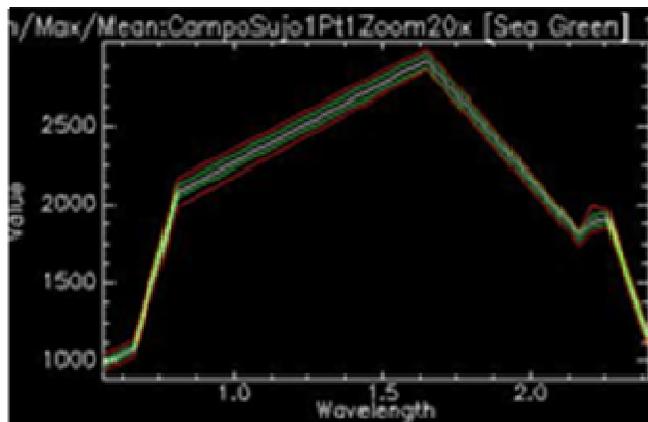


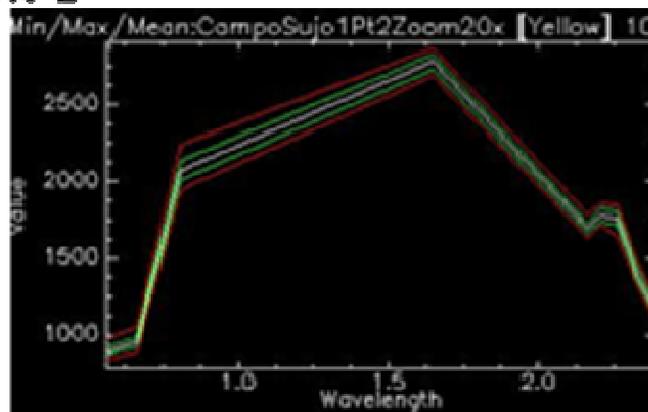
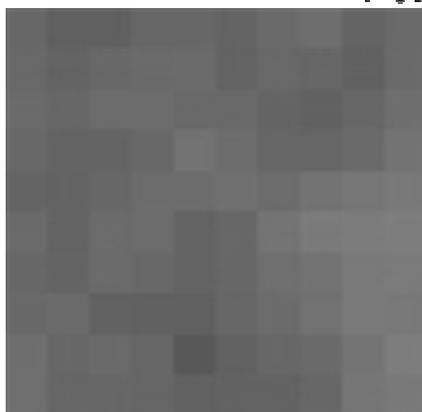
Figura 5.7 (cont.) – Imagens e respectivos espectros das áreas analisadas na E.E. de Itirapina (bandas 231; extensão de 400 pixels): a) Cerradão; b) Cerrado ss; c) **Campo cerrado**; d) Campo sujo.

d) CAMPO SUJO

Ponto 1



Ponto 2



Ponto 3

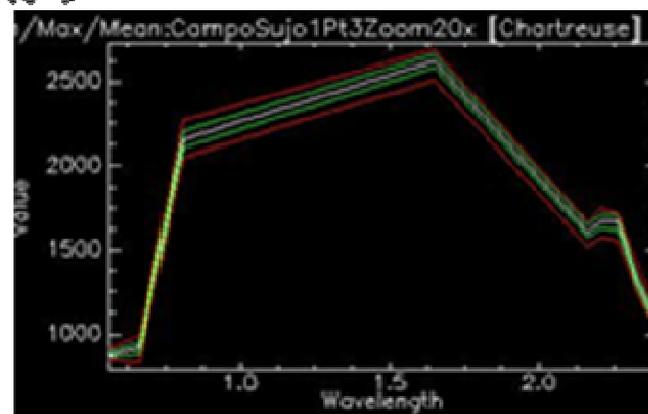


Figura 5.7 (cont.) – Imagens e respectivos espectros das áreas analisadas na E.E. de Itirapina (bandas 231; extensão de 400 pixels): a) Cerradão; b) Cerrado ss; c) Campo cerrado; d) Campo sujo.

Tabela 5.27 - Médias dos valores de dimensão fractal para imagens das áreas das E.E.Itirapina.

Fisionomias	Bandas	Valores	10X (400 pixels)				20X (100 pixels)				40X (25 pixels)			
			Box method		Variation method		Box method		Variation method		Box method		Variation method	
			MinQd	MaxSem	MinQd	MaxSem	MinQd	MaxSem	MinQd	MaxSem	MinQd	MaxSem	MinQd	MaxSem
Cerradão	231	Média	1,6436	1,8067	1,6772	1,7606	1,6174	1,6327	1,5409	1,6537	1,6372	1,5308	1,5691	1,8986
		dp	0,0290	0,0215	0,0026	0,0261	0,0232	0,0484	0,1071	0,1202	0,0259	0,0093	0,0129	0,0327
Cerrado SS	231	Média	1,6544	1,8015	1,6420	1,7034	1,6519	1,7145	1,5853	1,7588	1,6602	1,5663	1,5321	1,7910
		dp	0,0174	0,0063	0,0514	0,0436	0,0251	0,0901	0,0952	0,1029	0,0243	0,0473	0,0708	0,0584
Campo cerrado	231	Média	1,6405	1,8117	1,6203	1,6960	1,6320	1,6731	1,6220	1,7547	1,6495	1,5440	1,4160	1,6860
		dp	0,0149	0,0228	0,0452	0,0413	0,0192	0,0265	0,0911	0,0913	0,0294	0,0666	0,0717	0,0369
Campo sujo	231	Média	1,6464	1,7807	1,6471	1,7181	1,6411	1,6619	1,5919	1,6862	1,6447	1,5508	1,4995	1,7969
		dp	0,0142	0,0234	0,0158	0,0317	0,0187	0,0096	0,0760	0,0665	0,0108	0,0501	0,0734	0,1094
Cerradão	NDVI	Média	1,6429	1,8027	1,6472	1,7281	1,6207	1,6392	1,6055	1,7760	1,6376	1,5320	1,4574	1,7582
		dp	0,0307	0,0156	0,0425	0,0594	0,0164	0,0118	0,0810	0,0541	0,0172	0,0458	0,1397	0,1606
Cerrado SS	NDVI	Média	1,6620	1,7851	1,4890	1,5747	1,6592	1,6839	1,6000	1,7420	1,6556	1,5720	1,4643	1,7077
		dp	0,0084	0,0127	0,0817	0,0824	0,0122	0,0198	0,0490	0,0819	0,0232	0,0666	0,1038	0,0556
Campo cerrado	NDVI	Média	1,6435	1,7812	1,6941	1,7560	1,6150	1,6396	1,5938	1,6977	1,6320	1,5011	1,5363	1,8002
		dp	0,0353	0,0153	0,1223	0,1217	0,0092	0,0360	0,0906	0,1306	0,0184	0,0983	0,0752	0,0211
Campo sujo	NDVI	Média	1,6202	1,7428	1,7100	1,7902	1,6283	1,6492	1,6147	1,7248	1,6605	1,5858	1,4974	1,7478
		dp	0,0043	0,0171	0,0456	0,0324	0,0157	0,0244	0,0625	0,0737	0,0357	0,0538	0,0874	0,0585
Cerradão	Razão 3:8	Média	1,6501	1,8150	1,6154	1,6862	1,6370	1,6684	1,5823	1,7014	1,6350	1,5236	1,4729	1,7482
		dp	0,0352	0,0112	0,0420	0,0553	0,0250	0,0320	0,0737	0,1318	0,0301	0,0747	0,1166	0,0614
Cerrado SS	Razão 3:8	Média	1,6577	1,7449	1,4562	1,5254	1,6427	1,6525	1,5186	1,6676	1,6585	1,5797	1,3392	1,6819
		dp	0,0164	0,0177	0,0979	0,1085	0,0168	0,0394	0,0495	0,0841	0,0273	0,0357	0,0325	0,0650
Campo cerrado	Razão 3:8	Média	1,6345	1,7999	1,7301	1,8374	1,6167	1,6397	1,6074	1,7418	1,6377	1,5179	1,5555	1,8808
		dp	0,0296	0,0211	0,0784	0,0654	0,0157	0,0160	0,0864	0,1310	0,0095	0,0502	0,0473	0,1008
Campo sujo	Razão 3:8	Média	1,6323	1,7831	1,5640	1,6376	1,6192	1,6223	1,5382	1,6374	1,6234	1,4886	1,4650	1,7235
		dp	0,0324	0,0540	0,0516	0,0936	0,0149	0,0267	0,0618	0,0944	0,0073	0,0212	0,0312	0,0816
Cerradão	Razão 3:9	Média	1,6091	1,7731	1,6577	1,7216	1,6199	1,6342	1,5157	1,6206	1,6527	1,5471	1,4157	1,7111
		dp	0,0125	0,0178	0,0946	0,1287	0,0241	0,0212	0,0391	0,0428	0,0127	0,0234	0,0466	0,0765
Cerrado SS	Razão 3:9	Média	1,6556	1,7876	1,4684	1,5487	1,6324	1,6426	1,5531	1,7171	1,6699	1,5846	1,4648	1,7091
		dp	0,0085	0,0586	0,1117	0,1289	0,0211	0,0434	0,0109	0,0450	0,0345	0,0601	0,1430	0,1262
Campo cerrado	Razão 3:9	Média	1,6363	1,7998	1,6591	1,7415	1,6355	1,6818	1,6099	1,7404	1,6358	1,5106	1,4054	1,7284
		dp	0,0101	0,0067	0,1592	0,1624	0,0245	0,0104	0,0824	0,1053	0,0342	0,0664	0,1071	0,0644
Campo sujo	Razão 3:9	Média	1,5975	1,7420	1,6063	1,6697	1,6036	1,6105	1,5889	1,7135	1,6582	1,5654	1,5403	1,8760
		dp	0,0438	0,0513	0,0334	0,0604	0,0165	0,0287	0,0511	0,0428	0,0149	0,0097	0,0016	0,0023

Legenda: n^o = 1º maior valor; n^o = 2º maior valor; n^o = 3º maior valor; n^o = 4º maior valor; dp = desvio-padrão.

Tabela 5.28 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das dimensões fractais para as imagens das áreas (E.E. Itirapina).

Método	Extensão	Fisionomia	Bandas 231				Razão 3/8				Razão 3/9				NDVI					
			Cerradão	Cerrado ss	Campo cerrado	Campo sujo	Cerradão	Cerrado ss	Campo cerrado	Campo sujo	Cerradão	Cerrado ss	Campo cerrado	Campo sujo	Cerradão	Cerrado ss	Campo cerrado	Campo sujo		
BO X M E T H O D	Q d	Zoom 10x	Cerradão	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
			Cerrado SS	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
			Campo Cerrado	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
		Zoom 20x	Campo Sujo	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
			Cerradão	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	≠	=	
			Cerrado SS	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	≠	≠	≠	=	
		Zoom 40x	Campo Cerrado	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
			Campo Sujo	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
			Cerradão	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
	M a x S e m	Zoom 10x	Cerrado SS	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	≠	
			Campo Cerrado	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	≠	
			Campo Sujo	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	≠	≠	=	=	
		Zoom 20x	Cerradão	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
			Cerrado SS	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
			Campo Cerrado	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
		Zoom 40x	Campo Sujo	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
			Cerradão	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
			Cerrado SS	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
	V A R I A T I O N M E T H O D	Q d	Zoom 10x	Campo Cerrado	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
				Campo Sujo	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
				Cerradão	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
			Zoom 20x	Cerrado SS	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
				Campo Cerrado	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
				Campo Sujo	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
Zoom 40x			Cerradão	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
			Cerrado SS	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
			Campo Cerrado	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
M a x S e m		Zoom 10x	Campo Sujo	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
			Cerradão	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
			Cerrado SS	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
		Zoom 20x	Campo Cerrado	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
			Campo Sujo	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
			Cerradão	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
		Zoom 40x	Cerrado SS	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
			Campo Cerrado	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
			Campo Sujo	≠	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	

Legenda: = : sem diferença significativa entre as duas médias comparadas ≠ : há diferença significativa entre as duas médias comparadas

Tabela 5.29 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias dos valores de dimensões fractais obtidas por diferentes métodos para uma mesma área (E.E. Itirapina).

Bandas	Extensão	Método		CERRADÃO				CERRADO SS				CAMPO CERRADO				CAMPO SUJO			
				Box Method		Variation Method		Box Method		Variation Method		Box Method		Variation Method		Box Method		Variation Method	
				QdMin	MaxSem	QdMin	MaxSem	QdMin	MaxSem	QdMin	MaxSem	QdMin	MaxSem	QdMin	MaxSem	QdMin	MaxSem	QdMin	MaxSem
Bandas 231	Zoom 10x	Box Method	QdMin	#	#	=	#	#	#	=	#	#	#	#	#	#	#	#	
			MaxSem	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
		Variation Method	QdMin	=	#	#	#	=	#	#	=	#	#	=	#	#	#	#	#
			MaxSem	#	=	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
	Zoom 20x	Box Method	QdMin	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
			MaxSem	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
		Variation Method	QdMin	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
			MaxSem	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
	Zoom 40x	Box Method	QdMin	#	#	#	#	=	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
			MaxSem	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
		Variation Method	QdMin	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
			MaxSem	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
Razão 3/8	Zoom 10x	Box Method	QdMin	#	#	=	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	
			MaxSem	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	
		Variation Method	QdMin	=	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
			MaxSem	=	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
	Zoom 20x	Box Method	QdMin	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
			MaxSem	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
		Variation Method	QdMin	=	=	=	=	=	#	#	=	#	#	=	#	#	=	#	#
			MaxSem	=	=	=	=	=	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
	Zoom 40x	Box Method	QdMin	=	=	=	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
			MaxSem	=	=	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
		Variation Method	QdMin	=	=	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
			MaxSem	=	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
Razão 3/9	Zoom 10x	Box Method	QdMin	=	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	
			MaxSem	=	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	
		Variation Method	QdMin	=	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
			MaxSem	=	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
	Zoom 20x	Box Method	QdMin	=	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
			MaxSem	=	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
		Variation Method	QdMin	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
			MaxSem	=	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
	Zoom 40x	Box Method	QdMin	=	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
			MaxSem	=	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
		Variation Method	QdMin	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
			MaxSem	=	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
NDVI	Zoom 10x	Box Method	QdMin	=	=	=	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	
			MaxSem	=	=	=	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	
		Variation Method	QdMin	=	=	=	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
			MaxSem	=	=	=	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
	Zoom 20x	Box Method	QdMin	=	=	=	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
			MaxSem	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
		Variation Method	QdMin	=	=	=	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
			MaxSem	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
	Zoom 40x	Box Method	QdMin	=	=	=	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
			MaxSem	=	=	=	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
		Variation Method	QdMin	=	=	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
			MaxSem	=	=	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#

Legenda:  : sem diferença significativa entre as duas médias comparadas  : há diferença significativa entre as duas médias comparadas

Tabela 5.30 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das dimensões fractais para imagens de diferentes extensões de uma mesma área (E.E.Itirapina).

Bandas	Fisionomia	Box method - QdMin			Box method - Max Sem			Variation method - QdMin			Variation method - Max Sem		
		Extensões comparadas*			Extensões comparadas*			Extensões comparadas*			Extensões comparadas*		
		1 e 2	1 e 3	2 e 3	1 e 2	1 e 3	2 e 3	1 e 2	1 e 3	2 e 3	1 e 2	1 e 3	2 e 3
Bandas 231	Cerradão	=	=	=	≠	≠	≠	=	=	=	=	=	≠
	Cerrado ss	=	=	=	=	≠	≠	=	=	=	=	=	=
	Campo cerrado	=	=	=	≠	≠	≠	=	≠	≠	=	=	=
	Campo sujo	=	=	=	≠	≠	≠	≠	≠	≠	=	=	=
Razão 3/8	Cerradão	=	=	=	≠	≠	≠	=	=	=	=	=	=
	Cerrado ss	=	=	=	≠	≠	=	=	=	≠	=	=	=
	Campo cerrado	=	=	=	≠	≠	≠	=	=	=	=	=	=
	Campo sujo	=	=	=	≠	≠	≠	=	=	=	=	=	=
Razão 3/9	Cerradão	=	≠	=	≠	≠	≠	=	≠	=	=	=	=
	Cerrado ss	=	=	=	≠	≠	=	=	=	=	=	=	=
	Campo cerrado	=	=	=	≠	≠	≠	=	=	=	=	=	=
	Campo sujo	=	=	=	≠	≠	=	=	=	=	=	≠	≠
NDVI	Cerradão	=	=	=	≠	≠	≠	=	=	=	=	=	=
	Cerrado ss	=	=	=	=	≠	≠	=	=	=	=	=	=
	Campo cerrado	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
	Campo sujo	=	=	=	≠	≠	=	=	≠	=	=	=	=

Legenda: = : sem diferença significativa entre as duas médias comparadas ≠ : há diferença significativa entre as duas médias comparadas
 * Extensão 1 = 300 x 300 metros (400 pixels); Extensão 2 = 150 x 150 metros (100 pixels); Extensão 3 = 75 x 75 metros (25 pixels)

Tabela 5.31 - Médias dos valores de dimensão fractal para os espectros das áreas (E.E.Itirapina).

Bandas	Fisionomia	Valores	Regularization dimension - MinQd		
			10X (400 pixels)	20X (100 pixels)	40X (25 pixels)
231	Cerradão	média	1,6713	1,6762	1,6832
		dp	0,0224	0,0105	0,0122
	Cerrado ss	média	1,6252	1,6234	1,6302
		dp	0,0183	0,0217	0,0350
	Campo cerrado	média	1,4720	1,4734	1,4707
		dp	0,0162	0,0210	0,0181
	Campo sujo	média	1,5046	1,5060	1,5038
		dp	0,0136	0,0163	0,0180

Legenda:
 n^o = 1^o maior valor
 n^o = 2^o maior valor
 n^o = 3^o maior valor
 n^o = 4^o maior valor
 dp = desvio-padrão

Também houve uma incongruência elevada em relação aos valores obtidos por cada método (Tabela 5.29), conforme já havia sido verificado nas outras localidades e também por outros pesquisadores (Kojima et al., 2006; Lam et al., 1998; Zhou & Lam, 2005).

Ainda assim, a principal virtude da dimensão fractal constatada nas outras localidades – a capacidade de seus valores se manterem relativamente constantes nas diferentes escalas – também foi alcançada em várias situações para as E.E. de Itirapina (Tabela 5.30). Mais do que confirmar a utilidade da medida para esse fim, esses resultados mostram que a invariância escalar parece ser uma característica “universal” de várias fisionomias do Cerrado, já que nas três localidades analisadas na presente pesquisa essa propriedade foi detectada.

Outro resultado que se repetiu foi em relação a quais fisionomias essa invariância escalar não esteve presente. Analisando mais uma vez a Tabela 5.30 e desconsiderando o “Box method – máxima verossimilhança” (no qual as diferenças entre as escalas foi generalizada) , percebe-se que a maioria dos casos onde houve diferença de valores entre as escalas ocorreu para as fisionomias cerradão e campo sujo. Essa ausência de auto-similaridade dos padrões espaciais dessas fisionomias observada nesses casos pode novamente ser explicada pela maior estabilidade que elas apresentariam, já que a invariância escalar é uma característica que pode ser associada a estados criticamente auto-organizados e, portanto, mais instáveis.

• Dimensão fractal dos espectros:

O uso da dimensão fractal para a análise espectral das áreas da E.E. de Itirapina revelou que os valores obtidos foram mais coerentes quando comparados à análise textural, uma vez que a posição de cada área em relação aos maiores e menores valores se manteve a mesma para as três extensões e a variação nos valores entre as escalas também foi pequena (Tabela 5.31). Contudo, foi o cerradão quem obteve os maiores valores de dimensão fractal, e não o cerrado ss, conforme seria esperado devido ao fato de apresentar maior variabilidade espectral.

A aplicação da dimensão fractal à análise espectral se mostrou mais eficiente para a distinção das fisionomias do que a análise textural, uma vez que deixou de distinguir

apenas o campo cerrado do campo sujo, na extensão de 100 pixels (Tabela 5.32). Nas outras duas extensões, além da não-diferenciação dessas duas fisionomias, não foi possível separar a área de cerrado da de cerrado ss (Tabela 5.32). Nota-se, mais uma vez, que o uso da dimensão fractal não permitiu uma classificação refinada ao ponto de diferenciar fisionomias mais próximas.

Em relação às extensões, não houve diferença significativa na média dos valores de dimensão fractal entre as três extensões de cada área (Tabela 5.33), evidenciando, mais uma vez, que, assim como o padrão textural, o padrão espectral de uma fisionomia se repete nas diferentes escalas, ou seja, apresenta a auto-similaridade característica dos fractais naturais.

• Comparação entre aplicações da dimensão fractal: análise textural X espectral

No caso das E.E. de Itirapina, a dimensão fractal se mostrou incapaz de detectar as fisionomias com padrões de textura e espectro mais heterogêneos (cerrado ss e campo cerrado), conferindo, em muitos casos, maiores valores a uma área mais homogênea (cerrado).

A dimensão fractal aplicada à análise espectral se mostrou bem mais eficiente em distinguir as fisionomias de Cerrado do que quando empregada na análise textural. Ainda assim, em ambas foi frequente a dificuldade de não diferenciar fisionomias mais próximas. Esses resultados – também constatados nas outras localidades – mostram que, ao menos para o sensor utilizado na pesquisa, a dimensão fractal é capaz de diferenciar padrões mais díspares, porém não atinge um refinamento que permita diferenciar padrões semelhantes. Seria interessante verificar se esse comportamento se repete ou não para outros sensores de maior resolução espacial e/ou espectral. Assim, poderia se diagnosticar se a dimensão fractal é mesmo uma medida que não permite a distinção das fisionomias de Cerrado ou se essa é uma limitação causada pelas características da informação gerada pelo sensor Aster.

A principal aplicação da dimensão fractal parece ser mesmo no emprego da detecção de padrões que se repetem em diferentes extensões de uma mesma área, já

que nos dois tipos de análises a medida captou a auto-similaridade das fisionomias de Cerrado das E.E. de Itirapina.

• ***Medidas de complexidade das imagens:***

Na Tabela 5.34 são apresentadas as médias dos valores de complexidade das áreas estudadas nas E.E. de Itirapina. Para a composição de bandas 231, o cerrado ss foi a fisionomia que alcançou maiores valores para ambas as medidas usadas, seguido do campo cerrado e campo sujo, respectivamente (com exceção da extensão de 100 pixels, onde houve troca na posição dessas duas áreas). A área de cerradão obteve os valores mais baixos em todas as extensões para essa composição de bandas.

Porém, quando se emprega alguma matemática de bandas (NDVI e razões 3/8 e 3/9), ocorre, na maioria dos casos, uma inversão nesse comportamento: o cerradão passa a ser a área com valor mais alto de complexidade, enquanto o cerrado ss tende a ocupar posições intermediárias na comparação dos valores das áreas (Tabela 5.34). Conforme já havia acontecido nas outras localidades, o uso de álgebras de bandas se mostrou mais eficaz em gerar mais rugosidade em áreas relativamente homogêneas do que em aumentar a heterogeneidade em áreas já mais rugosas.

As medidas de complexidade tiveram eficiência semelhante na distinção das fisionomias (Tabela 5.35) e foram muito mais bem-sucedidas para essa finalidade do que a dimensão fractal também aplicada à análise textural das imagens (Tabela 5.28). Os melhores resultados foram obtidos pelas duas medidas para a imagem de razão de bandas 3/8 e extensão de 400 pixels, e pela medida da função complexa da entropia para a razão 3/9 e extensão de 400 pixels, nas quais houve diferenciação das áreas de campo cerrado e campo sujo em relação às áreas de cerradão e cerrado ss (Tabela 5.35). No entanto, não houve distinção entre os dois pares de fisionomias mais semelhantes (cerradão/cerrado ss e campo cerrado/campo sujo), mostrando também que, assim como a dimensão fractal, essas medidas não atingem um refinamento ao ponto de diferenciarem padrões parecidos. Novamente cabe a indagação se essa é uma limitação das medidas empregadas ou do sensor utilizado, pergunta que só poderá ser respondida aplicando-se essas métricas às imagens de outros sensores.

Tabela 5.32 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das dimensões fractais para os espectros das áreas (E.E. Itirapina).

Composição de bandas	Fisionomia	Regularization method - QdMin											
		Zoom 10x				Zoom 20x				Zoom 40x			
		Cerradão	Cerrado ss	Campo cerrado	Campo sujo	Cerradão	Cerrado ss	Campo cerrado	Campo sujo	Cerradão	Cerrado ss	Campo cerrado	Campo sujo
Bandas 231	Cerradão		=	≠	≠		≠	≠	≠		=	≠	≠
	Cerrado ss	=		≠	≠	≠		≠	≠	=		≠	≠
	Campo cerrado	≠	≠		=	≠	≠		=	≠	≠		=
	Campo sujo	≠	≠	=		≠	≠	=		≠	≠	=	

Legenda: = : sem diferença significativa entre as duas médias comparadas ≠ : há diferença significativa entre as duas médias comparadas

Tabela 5.33 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das dimensões fractais para espectros de diferentes extensões de uma mesma área (E.E. Itirapina).

Composição de bandas	Fisionomia	Regularization method - QdMin		
		Extensões comparadas		
		1 e 2	1 e 3	2 e 3
Bandas 231	Cerradão	=	=	=
	Cerrado SS	=	=	=
	Campo cerrado	=	=	=
	Campo sujo	=	=	=

Legenda: = : sem diferença significativa entre as duas médias comparadas ≠ : há diferença significativa entre as duas médias comparadas

* Extensão 1 = 300 x 300 metros (400 pixels); Extensão 2 = 150 x 150 metros (100 pixels); Extensão 3 = 75 x 75 metros (25 pixels)

Tabela 5.34 - Médias dos valores de complexidade para imagens das áreas das E.E. de Itirapina.

Fisionomia	Bandas	Valores	10X (400 pixels)		20X (100 pixels)		40X (25 pixels)	
			Fç Conv	H/Hmax	Fç Conv	H/Hmax	Fç Conv	H/Hmax
Cerradão	231	média	0,2057	0,2927	0,1404	0,1691	0,0619	0,0663
		dp	0,0193	0,0438	0,0070	0,0105	0,0043	0,0050
Cerrado ss	231	média	0,2473	0,5143	0,1635	0,2063	0,0663	0,0713
		dp	0,0028	0,0617	0,0113	0,0190	0,0031	0,0036
Campo cerrado	231	média	0,2357	0,4221	0,1435	0,1738	0,0631	0,0677
		dp	0,0226	0,1113	0,0096	0,0146	0,0034	0,0039
Campo sujo	231	média	0,2325	0,3745	0,1497	0,1834	0,0622	0,0666
		dp	0,0126	0,0516	0,0085	0,0133	0,0016	0,0017
Cerradão	NDVI	média	0,2197	0,6706	0,1873	0,2498	0,0718	0,0780
		dp	0,0144	0,0418	0,0067	0,0134	0,0038	0,0045
Cerrado ss	NDVI	média	0,2169	0,6777	0,1830	0,2412	0,0719	0,0780
		dp	0,0184	0,0483	0,0046	0,0089	0,0052	0,0061
Campo cerrado	NDVI	média	0,2409	0,5727	0,1748	0,2263	0,0691	0,0748
		dp	0,0095	0,0764	0,0115	0,0206	0,0074	0,0087
Campo sujo	NDVI	média	0,2441	0,5742	0,1755	0,2271	0,0687	0,0742
		dp	0,0035	0,0218	0,0018	0,0033	0,0026	0,0030
Cerradão	Rz 3/8	média	0,1075	0,8768	0,2083	0,2891	0,0779	0,0851
		dp	0,0220	0,0297	0,0121	0,0196	0,0037	0,0044
Cerrado ss	Rz 3/8	média	0,1370	0,8295	0,1986	0,2735	0,0747	0,0813
		dp	0,0558	0,0819	0,0068	0,0152	0,0017	0,0020
Campo cerrado	Rz 3/8	média	0,2397	0,5773	0,1745	0,2258	0,0692	0,0748
		dp	0,0151	0,0802	0,0112	0,0205	0,0033	0,0039
Campo sujo	Rz 3/8	média	0,2290	0,6033	0,1786	0,2335	0,0701	0,0759
		dp	0,0180	0,1244	0,0132	0,0242	0,0056	0,0065
Cerradão	Rz 3/9	média	0,1127	0,8705	0,2062	0,2907	0,0790	0,0865
		dp	0,0041	0,0055	0,0023	0,0053	0,0023	0,0027
Cerrado ss	Rz 3/9	média	0,1353	0,8341	0,1963	0,2685	0,0770	0,0841
		dp	0,0473	0,0677	0,0064	0,0135	0,0041	0,0050
Campo cerrado	Rz 3/9	média	0,2332	0,6130	0,1825	0,2404	0,0719	0,0768
		dp	0,0182	0,0776	0,0067	0,0127	0,0033	0,0061
Campo sujo	Rz 3/9	média	0,2157	0,6744	0,1898	0,2548	0,0740	0,0805
		dp	0,0254	0,0756	0,0029	0,0061	0,0005	0,0006

Legenda: n^o = 1^o maior valor; n^o = 2^o maior valor; n^o = 3^o maior valor; n^o = 4^o maior valor; dp = desvio-padrão.

A limitação óbvia dessas medidas, já identificada para as outras localidades estudadas, diz respeito à incapacidade de elas detectarem padrões texturais que se repetem nas diferentes escalas (Tabela 5.36). Mais uma vez, a razão dessa limitação é a perda de informação que acontece quando se passa de uma escala espacial maior para uma menor, já que a diminuição na variação dos valores dos pixels se reflete em maior homogeneidade (e, portanto, em menor complexidade) da imagem de escala inferior.

• ***Medidas de complexidade dos espectros:***

Pela Tabela 5.37, pode se constatar que o cerrado ss é a fisionomia que apresenta maior complexidade espectral, resultado que já havia sido verificado tanto na análise textural das imagens das E.E. de Itirapina (Tabela 5.34) como nas análises textural e espectral da E.E. Jataí (Tabelas 5.21 e 5.24), onde essa fisionomia também está presente. Desse modo, as medidas de complexidade foram mais eficientes em detectar padrões de maior complexidade se comparadas à medida de dimensão fractal.

Nas áreas das E.E de Itirapina, as duas medidas de complexidade apresentaram resultados idênticos quando consideradas as posições relativas das fisionomias em função dos valores de complexidade obtidos. De maneira geral, há uma tendência da área de cerradão apresentar menores valores de complexidade, seguida de campo cerrado e campo sujo, respectivamente (Tabela 5.37).

Em termos de distinção de fisionomias e considerando os melhores resultados de cada medida, ambas tiveram igual eficiência: para a banda 8, na extensão de 400 pixels (zoom 10x), a área de cerrado ss foi diferenciada das demais (Tabela 5.38). Outras fisionomias de padrões espectrais bem distintos, como cerradão e campo sujo, não foram distinguidas. Assim, nas E.E. de Itirapina, diferentemente do que ocorreu para as outras localidades, a dimensão fractal aplicada à análise espectral mostrou melhor eficiência do que as medidas de complexidade em diferenciar as fisionomias.

Resultados iguais entre as duas medidas de complexidade também foram obtidos na comparação das diferentes extensões de cada área: houve diferença significativa apenas na comparação das extensões de 400 e 25 pixels do cerrado ss na banda 8

(Tabela 5.39). Nas demais comparações, a função complexa da entropia e a medida H/H_{max} mostraram que os padrões espectrais das fisionomias se repetem nas várias escalas (Tabela 5.39). Sendo assim, reforça-se o que já havia sido constatado nas outras duas localidades estudadas: enquanto na análise textural ocorre uma perda significativa de informação ao se passar de uma escala a outra, na análise espectral isso não acontece e o caráter auto-similiar dos padrões das fisionomias é evidenciado.

Quanto à ideia proposta anteriormente de que as fisionomias situadas mais próximas às extremidades do gradiente vegetacional do Cerrado, os resultados das medidas de complexidade foram contraditórios. Por um lado, a ideia ganha força pelo fato do cerradão ter ficado sempre com valores comparativamente mais baixos do que o cerrado ss e campo cerrado, embora a diferença entre os valores seja geralmente pequena. Assim, o cerradão se mostra como um estado de menor complexidade no sistema (medida pela função convexa da entropia) e mais organizado do que os outros dois (interpretação que pode ser dada aos valores baixos obtidos pela medida H/H_{max}).

Por outro lado, o mesmo não ocorreu com o campo sujo: embora ele tenha obtido valores sempre menores que o cerrado ss, na maioria das ocasiões seus valores foram superiores aos do campo cerrado, indicando menor complexidade e maior estabilidade para uma fisionomia (campo cerrado) que ocupa posição intermediária – embora adjacente ao campo sujo – no gradiente do Cerrado.

Além disso, a única “quebra” da invariância escalar aconteceu para o cerrado ss, também uma fisionomia intermediária (Tabela 5.39), da qual se esperaria a ocorrência da auto-similaridade dos padrões conforme já havia sido observado na E.E.Jataí. Fatores locais poderiam ser responsáveis por esse comportamento, interferindo ou sobrepujando os processos que condicionam a formação dos padrões recursivos. Porém, como esse resultado apareceu para a análise da banda 8, mas não para a banda 9 – onde a invariância escalar foi detectada – não é possível concluir se essa ausência de auto-similaridade é própria dessa área ou se então é devida a aspectos técnicos relativos ao sensor, como excesso de ruídos na banda 8. A análise de outras bandas diagnósticas pode dar mais peso a uma ou outra explicação.

Tabela 5.35 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das medidas de complexidade para as imagens das áreas (E.E Itirapina).

Medida	Extensão	Fisionomia	Bandas 231				Razão 3/8				Razão 3/9				NDVI			
			Cerradão	Cerrado ss	Campo cerrado	Campo sujo	Cerradão	Cerrado ss	Campo cerrado	Campo sujo	Cerradão	Cerrado ss	Campo cerrado	Campo sujo	Cerradão	Cerrado ss	Campo cerrado	Campo sujo
Função convexa da entropia	Zoom 10x	Cerradão	=	=	=	=	=	=	≠	≠	=	=	≠	≠	=	=	=	=
		Cerrado ss	=	=	=	=	=	=	≠	≠	=	=	≠	≠	=	=	=	=
		Campo cerrado	=	=	=	=	≠	≠	=	=	≠	≠	=	=	=	=	=	=
		Campo sujo	=	=	=	=	≠	≠	=	=	≠	≠	=	=	=	=	=	=
	Zoom 20x	Cerradão	=	=	=	=	=	=	≠	≠	=	=	≠	≠	=	=	=	=
		Cerrado ss	=	=	=	=	=	=	≠	≠	=	=	≠	≠	=	=	=	=
		Campo cerrado	=	=	=	=	≠	≠	=	=	≠	≠	=	=	=	=	=	=
		Campo sujo	=	=	=	=	≠	≠	=	=	≠	≠	=	=	=	=	=	=
	Zoom 40x	Cerradão	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
		Cerrado ss	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
		Campo cerrado	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
		Campo sujo	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
H/Hmax	Zoom 10x	Cerradão	≠	≠	=	=	=	=	≠	≠	=	=	≠	≠	=	=	=	=
		Cerrado ss	≠	≠	=	=	=	=	≠	≠	=	=	≠	≠	=	=	=	=
		Campo cerrado	=	=	=	=	≠	≠	=	=	≠	≠	=	=	=	=	=	=
		Campo sujo	=	=	=	=	≠	≠	=	=	≠	≠	=	=	=	=	=	=
	Zoom 20x	Cerradão	=	=	=	=	=	=	≠	≠	=	=	≠	≠	=	=	=	=
		Cerrado ss	=	=	=	=	=	=	≠	≠	=	=	≠	≠	=	=	=	=
		Campo cerrado	=	=	=	=	≠	≠	=	=	≠	≠	=	=	=	=	=	=
		Campo sujo	=	=	=	=	≠	≠	=	=	≠	≠	=	=	=	=	=	=
	Zoom 40x	Cerradão	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
		Cerrado ss	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
		Campo cerrado	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
		Campo sujo	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=

Legenda: = : sem diferença significativa entre as duas médias comparadas ≠ : há diferença significativa entre as duas médias comparadas

Tabela 5.36 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das medidas de complexidade para imagens de diferentes extensões de uma mesma área (E.E. Itirapina).

Medida	Fisionomia	Bd231			NDVI			Rz3/8			Rz3/9		
		Extensões comparadas*			Extensões comparadas*			Extensões comparadas*			Extensões comparadas*		
		1 e 2	1 e 3	2 e 3	1 e 2	1 e 3	2 e 3	1 e 2	1 e 3	2 e 3	1 e 2	1 e 3	2 e 3
Função convexa da entropia	Cerradão	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	=	≠	≠	≠	≠
	Cerrado ss	≠	≠	≠	≠	≠	≠	=	=	≠	=	=	≠
	Campo cerrado	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠
	Campo sujo	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	=	≠	≠
H/Hmax	Cerradão	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠
	Cerrado ss	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠
	Campo cerrado	=	=	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠
	Campo sujo	≠	≠	≠	≠	≠	≠	=	=	≠	≠	≠	≠

Legenda: = : sem diferença significativa entre as duas médias comparadas ≠ : há diferença significativa entre as duas médias comparadas

* Extensão 1 = 300 x 300 metros (400 pixels); Extensão 2 = 150 x 150 metros (100 pixels); Extensão 3 = 75 x 75 metros (25 pixels)

Tabela 5.37 - Médias dos valores de complexidade para espectros das áreas das E.E.de Itirapina.

Fisionomia	Bandas	Valores	10X (400 pixels)		20X (100 pixels)		40X (25 pixels)	
			Fç Conv	H/Hmax	Fç Conv	H/Hmax	Fç Conv	H/Hmax
Cerradão	8	média	0,2004	0,2781	0,1915	0,2590	0,1774	0,2309
		dp	0,0106	0,0232	0,0119	0,0245	0,0082	0,0153
Cerrado ss	8	média	0,2281	0,3530	0,2169	0,3198	0,2012	0,2822
		dp	0,0067	0,0220	0,0119	0,0316	0,0036	0,0034
Campo cerrado	8	média	0,2015	0,2805	0,1957	0,2686	0,1862	0,2516
		dp	0,0091	0,0202	0,0165	0,0346	0,0286	0,0566
Campo sujo	8	média	0,1988	0,2747	0,2014	0,2798	0,1934	0,2630
		dp	0,0107	0,0235	0,0098	0,0235	0,0120	0,0255
Cerradão	9	média	0,1969	0,2697	0,1888	0,2526	0,1912	0,2583
		dp	0,0044	0,0096	0,0031	0,0061	0,0120	0,0256
Cerrado ss	9	média	0,2194	0,3260	0,2110	0,3045	0,2060	0,2904
		dp	0,0071	0,0208	0,0129	0,0343	0,0023	0,0055
Campo cerrado	9	média	0,2044	0,2881	0,2021	0,2815	0,1977	0,2732
		dp	0,0140	0,0320	0,0069	0,0155	0,0163	0,0369
Campo sujo	9	média	0,2011	0,2789	0,2049	0,2880	0,1987	0,2740
		dp	0,0030	0,0068	0,0065	0,0151	0,0086	0,0190

Legenda: n^o = 1^o maior valor; n^o = 2^o maior valor; n^o = 3^o maior valor; n^o = 4^o maior valor; dp = desvio-padrão.

Tabela 5.38 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das medidas de complexidade para espectros de uma mesma área em diferentes extensões (E.E.Itirapina).

Medida	Extensão	Fisionomia	Bandas 8				Banda 9			
			Cerradão	Cerrado ss	Campo cerrado	Campo sujo	Cerradão	Cerrado ss	Campo cerrado	Campo sujo
Função convexa da entropia	Zoom 10x	Cerradão		≠	=	=		≠	=	=
		Cerrado ss	≠		≠	≠	≠		=	=
		Campo cerrado	=	≠		=	=	=		=
		Campo sujo	=	≠	=		=	=	=	
	Zoom 20x	Cerradão		=	=	=		≠	=	=
		Cerrado ss	=		=	=	≠		=	=
		Campo cerrado	=	=		=	=	=		=
		Campo sujo	=	=	=		=	=	=	
	Zoom 40x	Cerradão		=	=	=		=	=	=
		Cerrado ss	=		=	=	=		=	=
		Campo cerrado	=	=		=	=	=		=
		Campo sujo	=	=	=		=	=	=	
H/Hmax	Zoom 10x	Cerradão		≠	=	=		≠	=	=
		Cerrado ss	≠		≠	≠	≠		=	=
		Campo cerrado	=	≠		=	=	=		=
		Campo sujo	=	≠	=		=	=	=	
	Zoom 20x	Cerradão		=	=	=		=	=	=
		Cerrado ss	=		=	=	=		=	=
		Campo cerrado	=	=		=	=	=		=
		Campo sujo	=	=	=		=	=	=	
	Zoom 40x	Cerradão		=	=	=		=	=	=
		Cerrado ss	=		=	=	=		=	=
		Campo cerrado	=	=		=	=	=		=
		Campo sujo	=	=	=		=	=	=	

Legenda: = : sem diferença significativa entre as duas médias comparadas ≠ : há diferença significativa entre as duas médias comparadas

Tabela 5.39 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das medidas de complexidade para espectros de uma mesma área em diferentes extensões (E.E.Itirapina).

Medida	Fisionomia	Banda 8			Banda 9		
		Extensões comparadas*			Extensões comparadas*		
		1 e 2	1 e 3	2 e 3	1 e 2	1 e 3	2 e 3
Função convexa da entropia	Cerradão	=	=	=	=	=	=
	Cerrado ss	=	≠	=	=	=	=
	Campo cerrado	=	=	=	=	=	=
	Campo sujo	=	=	=	=	=	=
H/Hmax	Cerradão	=	=	=	=	=	=
	Cerrado ss	=	≠	=	=	=	=
	Campo cerrado	=	=	=	=	=	=
	Campo sujo	=	=	=	=	=	=

Legenda: = : sem diferença significativa entre as duas médias comparadas ≠ : há diferença significativa entre as duas médias comparadas

* Extensão 1 = 300 x 300 metros (400 pixels); Extensão 2 = 150 x 150 metros (100 pixels); Extensão 3 = 75 x 75 metros (25 pixels)

Tabela 5.40 - Médias dos valores para medidas de dimensão fractal e complexidade obtidas por uma mesma fisionomia nas diferentes localidades.

Medidas	Análises	Métodos	Fisionomias	10X (400 pixels)				20X (100 pixels)				40X (25 pixels)			
				Média	dp	min	max	Média	dp	min	max	Média	dp	min	max
Dimensão Fractal	Textural	Box Method MinQd (Bd231)	Cerradão	1,6368	0,0210	1,6107	1,6741	1,6237	0,0195	1,5941	1,6564	1,6449	0,0185	1,6119	1,6710
			Cerrado SS	1,6544	0,0174	1,6359	1,6703	1,6450	0,0215	1,6225	1,6809	1,6629	0,0239	1,6337	1,6886
			Campo sujo	1,6464	0,0142	1,6302	1,6565	1,6544	0,0231	1,6216	1,6802	1,6410	0,0120	1,6225	1,6526
	Espectral	Regularization Method (Bd231)	Cerradão	1,7337	0,0403	1,6470	1,7801	1,7367	0,0393	1,6701	1,7845	1,7403	0,0355	1,6707	1,7788
			Cerrado SS	1,6252	0,0183	1,6043	1,6383	1,6131	0,0191	1,5903	1,6442	1,6177	0,0266	1,5955	1,6661
			Campo sujo	1,5046	0,0136	1,4930	1,5195	1,5483	0,0476	1,4917	1,5942	1,5404	0,0417	1,4857	1,5789
Complexidade	Textural	Função Convexa da Entropia (Bd231)	Cerradão	0,1495	0,0452	0,0724	0,2177	0,1216	0,0151	0,1021	0,1514	0,0560	0,0050	0,0493	0,0657
			Cerrado SS	0,2473	0,0028	0,2443	0,2498	0,1718	0,0151	0,1506	0,1915	0,0681	0,0033	0,0644	0,0721
			Campo sujo	0,2325	0,0126	0,2198	0,2449	0,1567	0,0096	0,1405	0,1665	0,0633	0,0039	0,0580	0,0685
	Espectral	Função Convexa da Entropia (Bd8)	Cerradão	0,2377	0,0295	0,1898	0,2814	0,2295	0,0303	0,1908	0,2664	0,2093	0,0444	0,1306	0,2878
			Cerrado SS	0,3260	0,0208	0,3072	0,3483	0,2926	0,0467	0,2183	0,3435	0,2484	0,0558	0,1749	0,2942
			Campo sujo	0,2789	0,0068	0,2718	0,2853	0,2547	0,0427	0,1853	0,2974	0,2391	0,0452	0,1782	0,2940

Legenda: dp = desvio-padrão; min = valor mínimo; max = valor máximo

• Comparação entre aplicações das medidas de complexidade: análise textural X espectral:

Conforme já havia ocorrido para a E.E. de Jataí, o melhor desempenho das medidas de complexidade na distinção das fisionomias foi alcançado na análise textural, na qual não se conseguiu apenas diferenciar os padrões das fisionomias mais semelhantes. Nesse caso, ambas as medidas de complexidade baseadas na entropia informacional tiveram mesma eficiência.

Em contra-partida, a análise espectral se mostrou mais uma vez apropriada para identificar padrões auto-similares das diferentes fisionomias, capacidade essa que não é repetida na análise textural em função da perda de informação na passagem de escalas, conforme já discutido anteriormente.

d) Comparação dos resultados para fisionomias presentes em mais de uma localidade:

Visando avaliar se as medidas usadas na presente pesquisa apresentam resultados semelhantes para determinada fisionomia de Cerrado, independentemente do local considerado, foram selecionadas as fisionomias que aparecem em mais de uma localidade estudada, a saber: cerradão, cerrado ss e campo sujo. As escolhas das composições/razões de banda, extensões de áreas e métodos que seriam analisadas se basearam nos melhores resultados obtidos por cada tipo de análise (textural e espectral) e cada medida usada (dimensão fractal e medidas de complexidade baseadas na entropia), sendo elas:

a) Análise Textural:

- dimensão fractal: composição de bandas 231; extensão 100 pixels; “Box method – mínimos quadrados”;
- complexidade: composição de bandas 231; extensão 100 pixels; função convexa da entropia;

b) Análise Espectral:

- dimensão fractal: composição de bandas 231; extensão 100 pixels; “Regularization method”;
- complexidade: banda 8; extensão 100 pixels; função convexa da entropia.

As médias dos valores de cada fisionomia para as quatro situações descritas acima são apresentadas na Tabela 5.40²⁰. Nota-se que, tanto para a análise textural como para a espectral, a função convexa da entropia foi mais eficiente do que a dimensão fractal em atribuir maiores valores à fisionomia de maior heterogeneidade cerrado ss.

Em relação à comparação dos valores obtidos por uma mesma fisionomia nas diferentes localidades, as análises texturais mostraram que não há diferenças significativas entre os padrões de rugosidade de cada fisionomia nas diferentes localidades (Tabela 5.41). Embora o mesmo resultado não tenha sido observado para a análise espectral, vale destacar que, para a função convexa da entropia, houve diferença significativa somente em um caso (comparação entre cerradões das E.E. de Assis e Jataí) (Tabela 5.41). Já para a dimensão fractal, os casos de diferenças significativas entre valores de uma mesma fisionomia foram bastante frequentes (Tabela 5.41). Sendo assim, a medida da função convexa da entropia mostrou melhor eficiência em identificar os padrões texturais e espectrais típicos de cada fisionomia.

As comparações dos valores de cada fisionomia para todas as extensões são apresentadas nas Tabelas 5.42 a 5.44²¹. Comparando os dois tipos de análises, a dimensão fractal aplicada à análise textural foi a medida que alcançou melhores resultados em relação à detecção de padrões auto-similares, havendo só um caso onde isso não ocorreu (Tabela 5.43). Já considerando apenas a análise espectral, percebe-se claramente pelas Tabelas 5.42 a 5.44 que a função complexa da entropia obteve resultados bem melhores do que a dimensão fractal, já que foram relativamente pouco frequentes os casos onde aquela medida não conseguiu detectar a invariância escalar nos padrões espectrais de cada fisionomia.

²⁰ Foram incluídos na tabela os valores das outras extensões, pois elas foram usadas para comparação das diferentes escalas.

²¹ A medida função convexa da entropia aplicada à análise textural foi excluída dessas comparações pelo fato de ela ser inapropriada para comparação de diferentes escalas, conforme foi constatado pelos resultados anteriormente apresentados.

Tabela 5.41 - Comparação das médias de valores para medidas de dimensão fractal e complexidade obtidas por uma mesma fisionomia nas diferentes localidades.

Medidas	Fisionomias	Cerradão			Cerrado ss		Campo sujo	
	Localidades	Assis	Itirapina	Jataí	Itirapina	Jataí	Itirapina	Jataí
Dimensão Fractal Imagem	Assis	=	=	=	=	=	=	=
	Itirapina	=	=	=	=	=	=	=
	Jataí	=	=	=	=	=	=	=
Dimensão Fractal Espectro	Assis	=	≠	=	=	≠	=	=
	Itirapina	≠	≠	≠	=	=	≠	≠
	Jataí	=	≠	=	=	=	≠	=
Função Convexa Imagem	Assis	=	=	=	=	=	=	=
	Itirapina	=	=	=	=	=	=	=
	Jataí	=	=	=	=	=	=	=
Função Convexa Espectro	Assis	=	=	≠	=	=	=	=
	Itirapina	=	=	=	=	=	=	=
	Jataí	≠	=	=	=	=	=	=

Legenda: = : sem diferença significativa entre as duas médias comparadas ≠ : há diferença significativa entre as duas médias comparadas

Tabela 5.42 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das medidas para as três extensões nas diferentes localidades – cerradão.

Medidas	Localidades	Área	Extensões	Cerradão																
				Assis						Itirapina			Jataí							
				Cerradão 1			Cerradão 2			Cerradão			Cerradão 1			Cerradão 2				
Ext 1	Ext 2	Ext 3	Ext 1	Ext 2	Ext 3	Ext 1	Ext 2	Ext 3	Ext 1	Ext 2	Ext 3	Ext 1	Ext 2	Ext 3	Ext 1	Ext 2	Ext 3			
Dimensão Fractal Imagem	Assis	Cerradão 1	Ext 1	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=		
			Ext 2	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
			Ext 3	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
		Cerradão 2	Ext 1	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
			Ext 2	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
			Ext 3	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
	Itirapina	Cerradão	Ext 1	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
			Ext 2	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
			Ext 3	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
	Jataí	Cerradão 1	Ext 1	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
			Ext 2	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
			Ext 3	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
Cerradão 2		Ext 1	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
		Ext 2	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
		Ext 3	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
Dimensão Fractal espectro	Assis	Cerradão 1	Ext 1	=	=	=	=	=	=	≠	≠	≠	=	=	=	=	=	=		
			Ext 2	=	=	=	=	=	=	=	≠	≠	≠	=	=	=	=	=		
			Ext 3	=	=	=	=	=	=	=	=	≠	≠	≠	=	=	=	=	=	
		Cerradão 2	Ext 1	=	=	=	=	=	=	=	=	≠	≠	≠	=	=	=	≠	≠	
			Ext 2	=	=	=	=	=	=	=	=	≠	≠	≠	=	=	=	≠	≠	
			Ext 3	=	=	=	=	=	=	=	=	≠	≠	≠	=	=	=	≠	≠	
	Itirapina	Cerradão	Ext 1	≠	≠	≠	≠	≠	≠	=	=	=	≠	≠	≠	=	=	=	≠	
			Ext 2	≠	≠	≠	≠	≠	≠	=	=	=	≠	≠	≠	=	=	=	≠	
			Ext 3	≠	≠	≠	≠	≠	≠	=	=	=	≠	≠	≠	=	=	=	≠	
	Jataí	Cerradão 1	Ext 1	=	=	=	=	=	=	=	≠	≠	≠	=	=	=	=	=	=	
			Ext 2	=	=	=	=	=	=	=	=	≠	≠	≠	=	=	=	=	=	
			Ext 3	=	=	=	=	=	=	=	=	≠	≠	≠	=	=	=	=	=	
Cerradão 2		Ext 1	=	=	=	≠	≠	≠	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
		Ext 2	=	=	=	≠	≠	≠	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
		Ext 3	=	=	=	=	=	=	=	≠	≠	≠	=	=	=	=	=	=	=	
Função Convexa Espectro	Assis	Cerradão 1	Ext 1	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=		
			Ext 2	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=		
			Ext 3	=	=	=	≠	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
		Cerradão 2	Ext 1	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
			Ext 2	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
			Ext 3	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
	Itirapina	Cerradão	Ext 1	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=		
			Ext 2	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=		
			Ext 3	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=		
		Jataí	Cerradão 1	Ext 1	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
				Ext 2	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
				Ext 3	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
Cerradão 2	Ext 1	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=			
	Ext 2	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=			
	Ext 3	≠	=	=	≠	≠	=	≠	≠	≠	≠	=	=	=	=	=	=			

Legenda: = : sem diferença significativa entre as duas médias comparadas ≠ : há diferença significativa entre as duas médias comparadas

Tabela 5.43 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das medidas para as três extensões nas diferentes localidades – Cerrado ss.

Medidas	Localidades	Área	Extensões	Itirapina			Jataí		
				Cerrado ss			Cerrado ss		
				Ext 1	Ext 2	Ext 3	Ext 1	Ext 2	Ext 3
Dimensão Fractal Imagem	Itirapina	Cerrado ss	Ext 1		=	=	≠	=	=
			Ext 2	=		=	=	=	=
			Ext 3	=	=		=	=	=
	Jataí	Cerrado ss	Ext 1	≠	=	=		=	=
			Ext 2	=	=	=	=		=
			Ext 3	=	=	=	=	=	
Dimensão Fractal espectro	Itirapina	Cerrado ss	Ext 1		=	=	=	=	=
			Ext 2	=		=	=	=	=
			Ext 3	=	=		=	=	=
	Jataí	Cerrado ss	Ext 1	=	=	=		=	=
			Ext 2	=	=	=	=		=
			Ext 3	=	=	=	=	=	
Função Convexa Espectro	Itirapina	Cerrado ss	Ext 1		=	=	=	≠	=
			Ext 2	=		=	=	=	=
			Ext 3	=	=		=	=	=
	Jataí	Cerrado ss	Ext 1	=	=	=		=	=
			Ext 2	≠	=	=	=		=
			Ext 3	=	=	=	=	=	

Legenda: = : sem diferença significativa entre as duas médias comparadas
 ≠ : há diferença significativa entre as duas médias comparadas

Tabela 5.44 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das medidas para as três extensões nas diferentes localidades – Campo sujo.

Medidas	Localidades	Área	Extensões	Itirapina			Jataí		
				Campo sujo			Campo sujo		
				Ext 1	Ext 2	Ext 3	Ext 1	Ext 2	Ext 3
Dimensão Fractal Imagem	Itirapina	Campo sujo	Ext 1		=	=	=	=	=
			Ext 2	=		=	=	=	=
			Ext 3	=	=		=	=	=
	Jataí	Campo sujo	Ext 1	=	=	=		=	=
			Ext 2	=	=	=	=		=
			Ext 3	=	=	=	=	=	
Dimensão Fractal espectro	Itirapina	Campo sujo	Ext 1		=	=	≠	≠	=
			Ext 2	=		=	≠	≠	=
			Ext 3	=	=		≠	≠	=
	Jataí	Campo sujo	Ext 1	≠	≠	≠		=	=
			Ext 2	≠	≠	≠	=		=
			Ext 3	=	=	=	=	=	
Função Convexa Espectro	Itirapina	Campo sujo	Ext 1		=	=	=	≠	=
			Ext 2	=		=	=	≠	=
			Ext 3	=	=		=	≠	=
	Jataí	Campo sujo	Ext 1	=	=	=		=	=
			Ext 2	≠	≠	≠	=		=
			Ext 3	=	=	=	=	=	

Legenda: = : sem diferença significativa entre as duas médias comparadas
 ≠ : há diferença significativa entre as duas médias comparadas

Um resultado que merece atenção especial diz respeito a quais fisionomias foram mais frequentes a ausência de invariância escalar. Analisando-se as Tabelas 5.42 a 5.44, nota-se que, independente do tipo de análise e método empregado, a “quebra” da invariância escalar ocorre bem mais frequentemente nas fisionomias cerradão e campo sujo do que no cerrado ss. Esse resultado repete o que já havia ocorrido para as análises isoladas de cada localidade, garantindo ainda mais consistência à ideia de que a ausência de auto-similaridade nos padrões dessas duas fisionomias, situadas mais próximas aos extremos do gradiente vegetacional do Cerrado, indicam que elas apresentariam maior estabilidade e não se situariam em estados criticamente auto-organizados, diferente das fisionomias intermediárias (nesse caso, cerrado ss), que apresentariam a propriedade de invariância escalar dos padrões como um reflexo da proximidade a pontos críticos, sujeitos a instabilidades.

5.2) Correlações entre padrões da vegetação e fatores pedogeomorfológicos

Na Tabela 5.45 são apresentados os valores de dimensão fractal, complexidade e fatores pedogeomorfológicos para cada ponto analisado na E.E.Jataí. Os dados pedológicos mostram que as amostras de solo contêm grande quantidade de areia (com exceção do ponto 4, no qual a porcentagem elevada de argila está associada ao afloramento de basalto), possuem baixos valores de pH e bases, e apresentam alta porcentagem de alumínio (Tabela 5.45), confirmando o que já é admitido há bastante tempo de que a vegetação de Cerrado se desenvolve em solos oligotróficos, ácidos e com teor elevado de alumínio (HARIDASAN, 1990; RANZANI, 1971; QUEIROZ NETO, 1982). Nota-se pelos dados apresentados que essas características são, de modo geral, mais acentuadas nas áreas de ocorrência de cerrado ss do que nas de cerradão (Tabela 5.45), o que também ratifica o fato de que as variações fisionômicas do Cerrado estão associadas, entre outros fatores, a mudanças nos gradientes de fertilidade, acidez e teor de alumínio do solo.

A análise de correlações entre tipos vegetacionais e fatores relativos ao solo e relevo evidenciaram estatisticamente a relevância de algumas dessas relações (Tabela 5.46). Contudo, para o cenário 1 (fatores físicos influenciando unicamente o porte da vegetação), não houve nenhuma correlação significativa entre as variáveis

(Tabela 5.46). De fato, como as árvores do Cerrado alocam boa parte de sua energia e recursos para o crescimento de seus órgãos subterrâneos, considerar que a resposta da vegetação às variáveis pedogeomorfológicas se dá unicamente pelo aumento de porte da parte aérea torna esse cenário pouco plausível.

Já para os cenários 2 e 3, apareceram algumas correlações classificadas como “fortes” e “muito fortes”, permitindo algumas inferências a respeito das relações entre tipos vegetacionais e fatores pedogeomorfológicos. Em ambos os cenários, apareceram correlações significativas entre tipos de Cerrado e variáveis granulométricas do solo, sendo elas positivas para argila e silte e negativas para areia (Tabela 5.46). Portanto, maior densidade (cenário 2) e maiores porte e densidade (cenário 3) podem ser associados a solos com maiores teores de argila e silte e menor teor de areia, conforme o esperado. É interessante notar que para essas correlações significativas, os valores dos coeficientes de correlação foram maiores para o cenário 3 do que para o 2, sugerindo a maior razoabilidade em considerar que a resposta da vegetação a esses fatores se dá tanto pelo aumento de porte como de densidade da cobertura.

Ainda em relação aos fatores pedológicos, houve correlação fortemente negativa (porém não significativa) para saturação por alumínio nos cenários 2 e 3 (Tabela 5.46), confirmando, também como esperado, a atuação do alumínio como fator limitante ao desenvolvimento da vegetação de Cerrado. Desse modo, os resultados apontam que, em uma escala local, os atributos do solo têm papel relevante na dinâmica do Cerrado, influenciando os atributos vegetacionais de suas fisionomias.

Quanto aos fatores geomorfológicos, não houve nenhuma correlação significativa para os três cenários (Tabela 5.46). Nos cenários 2 e 3, porém, os valores das correlações foram todos positivos e variaram entre “moderados” a “fortes” (Tabela 5.46). Sendo assim, para a área e escala consideradas, os resultados sugerem que a declividade e a posição na vertente (dada pela altitude) também podem estar associadas aos padrões vegetacionais do Cerrado, embora de uma maneira menos decisiva do que os fatores pedológicos. Chama a atenção o fato de essas correlações serem positivas, mostrando que maior densidade de árvores estaria associada a posições mais elevadas nas vertentes (cenário 2) e que maior porte e densidade do estrato arbóreo estaria relacionado a declividades maiores (cenário 3).

Tabela 5.45 - Valores das variáveis para os pontos da E.E.Jataí.

Ponto	Fisionomia*	Bandas 231				Banda 9				Variáveis pedológicas**								Variáveis geomorfológicas**	
		Dimensão Fractal (Imagens)				Complexidade (Imagens)		Complexidade (Espectros)		Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	pH	Soma de Bases (mEq/1000ml)	Saturação por bases (%)	CTC (mEq/1000ml)	Saturação por Alumínio (%)	Declividade (%)	Altitude (m)
		Box method		Variation method		Fç Conv	H/Hmax	Fç Conv	H/Hmax										
		QdMin	MaxSem	QdMin	MaxSem														
1	Cerradão Tipo 1	1,7018	1,6529	1,4566	1,6621	0,0494	0,0522	0,1583	0,1971	20,1	6,3	73,6	5	0,5	15,2	3,2	27,8	0-3	590
4	Cerradão Tipo 2	1,6385	1,5504	1,6245	1,8477	0,0545	0,0579	0,1538	0,1899	45,8	15,7	38,5	5,3	0,8	19,5	3,8	15,6	12-20	580
8	Cerradão Tipo 3	1,7407	1,7522	1,2995	1,5940	0,0576	0,0613	0,1642	0,2070	29,7	9,2	61,1	5,3	0,4	12,9	3,5	31,5	6-12	544
12	Cerrado ss Tipo 1	1,6543	1,5443	1,3253	1,7498	0,0732	0,0795	0,1452	0,1763	1,8	1,5	96,7	5,1	0,4	18,6	2,8	30,7	3-6	530
27	Cerrado ss Tipo 2	1,6128	1,4922	1,3795	1,5572	0,0547	0,0581	0,1685	0,2146	10,4	3	86,6	4,6	0,6	5,8	10,8	38,9	0-3	557

***Cerradão Tipo 1** = estrato superior de porte intermediário (10-12m)/menor densidade de cobertura/Latossolo Vermelho textura média

Cerradão Tipo 2 = estrato superior de porte mais baixo (7m)/maior densidade de cobertura/Latossolo Vermelho argiloso

Cerradão Tipo 3 = estrato superior de porte mais alto (14m)/menor densidade de cobertura/Latossolo Vermelho textura média

Cerrado ss Tipo 1 = estrato superior de porte mais baixo (até 7m)/menor densidade de cobertura/Célula de areia sobre Neossolo Quartzarênico

Cerrado ss Tipo 2 = estrato superior de porte mais alto (até 10m)/maior densidade de cobertura/Neossolo Quartzarênico

** Dados fornecidos por Cristiano C. Quaresma e publicados em Quaresma (2008). Os números dos pontos na tabela correspondem aos pontos de Quaresma (2008).

Tabela 5.46 - Valores obtidos pelo teste de correlação entre cenários e variáveis pedogeomorfológicas para os pontos da E.E.Jataí.

Cenário 1 (Porte)			Cenário 2 (Densidade)			Cenário 3 (Porte e Densidade)		
Variáveis	Medidas	Fisionomia	Variáveis	Medidas	Fisionomia	Variáveis	Medidas	Fisionomia
argila	<i>r</i>	0,6053	argila	<i>r</i>	0,9029	argila	<i>r</i>	0,9916
	<i>p</i>	<i>p</i> >5%		<i>p</i>	<i>p</i> <5%		<i>p</i>	<i>p</i> <5%
silte	<i>r</i>	0,5244	silte	<i>r</i>	0,8889	silte	<i>r</i>	0,9702
	<i>p</i>	<i>p</i> >5%		<i>p</i>	<i>p</i> <5%		<i>p</i>	<i>p</i> <5%
areia	<i>r</i>	-0,586	areia	<i>r</i>	-0,9006	areia	<i>r</i>	-0,9876
	<i>p</i>	<i>p</i> >5%		<i>p</i>	<i>p</i> <5%		<i>p</i>	<i>p</i> <5%
pH	<i>r</i>	0,4391	pH	<i>r</i>	0,4391	pH	<i>r</i>	0,6037
	<i>p</i>	<i>p</i> >5%		<i>p</i>	<i>p</i> >5%		<i>p</i>	<i>p</i> >5%
soma de bases	<i>r</i>	-0,0945	soma de bases	<i>r</i>	0,6614	soma de bases	<i>r</i>	0,5669
	<i>p</i>	<i>p</i> >5%		<i>p</i>	<i>p</i> >5%		<i>p</i>	<i>p</i> >5%
saturação por bases	<i>r</i>	-0,0576	saturação por bases	<i>r</i>	0,3226	saturação por bases	<i>r</i>	0,2564
	<i>p</i>	<i>p</i> >5%		<i>p</i>	<i>p</i> >5%		<i>p</i>	<i>p</i> >5%
CTC	<i>r</i>	-0,2915	CTC	<i>r</i>	-0,2633	CTC	<i>r</i>	-0,2492
	<i>p</i>	<i>p</i> >5%		<i>p</i>	<i>p</i> >5%		<i>p</i>	<i>p</i> >5%
saturação por alumínio	<i>r</i>	-0,177	saturação por alumínio	<i>r</i>	-0,7694	saturação por alumínio	<i>r</i>	-0,7005
	<i>p</i>	<i>p</i> >5%		<i>p</i>	<i>p</i> >5%		<i>p</i>	<i>p</i> >5%
declividade	<i>r</i>	0,2614	declividade	<i>r</i>	0,6098	declividade	<i>r</i>	0,8059
	<i>p</i>	<i>p</i> >5%		<i>p</i>	<i>p</i> >5%		<i>p</i>	<i>p</i> >5%
altitude	<i>r</i>	0,3885	altitude	<i>r</i>	0,8472	altitude	<i>r</i>	0,5542
	<i>p</i>	<i>p</i> >5%		<i>p</i>	<i>p</i> >5%		<i>p</i>	<i>p</i> >5%

Legenda: *r* = coeficiente de correlação *p* = nível de significância

Valor de <i>r</i> (-/+)	Tipo de correlação
0,90 a 1,00	muito forte
0,70 a 0,89	forte
0,40 a 0,69	moderada
0,20 a 0,39	fraca
0,00 a 0,19	bem fraca

Tabela 5.47 - Valores obtidos pelo teste de correlação entre variáveis pedogeomorfológicas e medidas de dimensão fractal e de complexidade para os pontos da E.E.Jataí.

Variáveis	Medidas	BoxMet MinQd	BoxMet MaxSem	VarMet MinQd	VarMet MxSem	Fç Conv Imagem	H/Hmax Imagem	Fç Conv Espectro	H/Hmax Espectro
argila	<i>r</i>	0,2035	0,3184	0,6987	0,4186	-0,5469	-0,5512	0,135	0,1194
	<i>p</i>	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%
silte	<i>r</i>	0,151	0,2583	0,7377	0,5212	-0,4681	-0,472	0,0258	0,0108
	<i>p</i>	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%
areia	<i>r</i>	-0,1907	-0,3039	-0,7093	-0,4446	0,5281	0,5323	-0,1081	-0,0926
	<i>p</i>	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%
pH	<i>r</i>	-0,6	-0,5034	0,9082	0,4962	-0,4677	-0,468	0,074	0,0706
	<i>p</i>	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> <5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%
soma de bases	<i>r</i>	0,5615	0,575	0,2179	0,5877	0,1634	0,1602	-0,466	-0,4794
	<i>p</i>	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%
saturação por bases	<i>r</i>	0,1641	0,1115	0,4197	0,8946	0,3424	0,3451	-0,8749	-0,8845
	<i>p</i>	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> <5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> <5%
CTC	<i>r</i>	-0,6132	-0,5498	-0,0909	-0,569	-0,2659	-0,2677	0,6893	0,7029
	<i>p</i>	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%
saturação por alumínio	<i>r</i>	-0,0187	-0,0514	-0,8229	-0,8823	0,1604	0,1597	0,498	0,512
	<i>p</i>	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> <5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%
declividade	<i>r</i>	0,0435	0,1346	0,5781	0,6485	-0,0533	-0,0587	-0,2047	-0,2131
	<i>p</i>	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%
altitude	<i>r</i>	-0,0323	0,0151	0,7773	0,2103	-0,8534	-0,8494	0,1976	0,1819
	<i>p</i>	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%	<i>p</i> >5%

Legenda: *r* = coeficiente de correlação *p* = nível de significância

Valor de <i>r</i> (-/+)	Tipo de correlação
0,90 a 1,00	muito forte
0,70 a 0,89	forte
0,40 a 0,69	moderada
0,20 a 0,39	fraca
0,00 a 0,19	bem fraca

Para o primeiro caso, a explicação para a associação maior altitude/menor densidade pode ser buscada na relação entre posição na vertente e drenagem do solo: a melhor drenagem do solo nas partes altas da vertente favoreceria a maior densidade da vegetação arbórea, ao contrário das partes baixas, mais sujeitas ao encharcamento do solo devido à proximidade do lençol freático. Os resultados obtidos por Quaresma (2008) para teste de infiltração nas áreas aqui analisadas corroboram essa explicação, já que os pontos situados em posições mais elevadas nas vertentes tiveram maior velocidade de infiltração do que os pontos localizados no sopé das vertentes.

Também poderia ser essa uma explicação para a associação entre maior declividade/menor porte e densidade das árvores encontrada no cenário 3: nas áreas de maior declividade, os escoamentos superficial e subsuperficial seriam mais eficientes, favorecendo melhor drenagem do solo. Porém isso poderia levar a uma perda excessiva de nutrientes, tornando o solo mais pobre e desfavorável ao desenvolvimento da vegetação de maior porte e densidade, contrariando o resultado encontrado no cenário 3. A explicação, nesse caso, deve-se a uma peculiaridade da área estudada: os pontos com maiores declividades (pontos 4 e 8) ocorrem justamente em uma área sobre intrusão de basalto, o que garante maiores porcentagens de argila e bases no solo (Tabela 5.45) e, portanto, favorece o desenvolvimento de um cerradão de maior densidade no ponto 4 (“cerradão tipo 2”) e de maior porte no ponto 8 (“cerradão tipo 3”). Assim sendo, o resultado obtido nessa área não pode, obviamente, ser considerado como um comportamento generalizado do Cerrado.

Quanto à análise dos padrões texturais das áreas ao redor dos pontos de coleta de dados pedogeomorfológicos, as áreas de cerradão obtiveram os maiores valores de dimensão fractal: para o “box method”, o cerradão tipo 3 foi o que alcançou valores mais altos; enquanto para o “variation method”, foi o cerradão tipo 2 que obteve os maiores valores (Tabela 5.45). Para a análise textural das medidas de complexidade, a área de cerrado ss tipo 1 foi a que obteve maior valor de complexidade tanto para a função convexa da entropia como para a medida H/Hmax, evidenciando a maior instabilidade dessa área sob processo de arenização (Tabela 5.45). Na análise

espectral não se alcançou o mesmo resultado, pois foi a área com o outro tipo de cerrado ss (tipo 2) que apresentou valores mais altos para as medidas de complexidade (Tabela 5.45).

As correlações entre as métricas de paisagem e fatores pedogeomorfológicos variaram, em sua maioria, entre “bem fracas” a “moderadas” (Tabela 5.47). Correlações significativas apareceram em apenas quatro das oitenta correlações analisadas, não sendo possível associar de maneira categórica qualquer fator pedogeomorfológico aos padrões texturais e espectrais da vegetação. Além disso, como o teste de correlação não permite identificar que tipo de relação existe entre as variáveis, essas poucas correlações significativas podem se dever não a relações causa-efeito, mas sim a variações proporcionais entre duas variáveis em função de outro fator qualquer. Sendo assim, os resultados dessas correlações permitem concluir que não há nenhum fator pedogeomorfológico preponderantemente associado aos padrões texturais e espectrais das fisionomias do Cerrado, sugerindo que a configuração de tais padrões depende da atuação de diversos fatores inter-relacionados. O uso de ferramentas estatísticas de análise multivariada, como análise de principais componentes e análise canônica, pode auxiliar no propósito de identificar quais seriam os fatores mais relevantes em cada escala e aqueles que teriam atuação em diversas escalas e, portanto, candidatos mais prováveis de estarem relacionados aos padrões auto-similares encontrados na presente pesquisa.

5.3) Implicações dos resultados na compreensão da organização e dinâmica do Cerrado:

Boa parte dos resultados práticos do presente trabalho permite subsidiar a visão do Cerrado como um sistema dinâmico complexo e ajuda a entender como é sua organização e dinâmica de funcionamento.

O fato de todas as fisionomias, nas três áreas estudadas e para todas as medidas usadas, apresentarem em diversas ocasiões a ocorrência de padrões texturais e espectrais que se repetem em diferentes escalas indica a possível atuação de fenômenos multiescalares na determinação das fisionomias de Cerrado. Essa suposição se baseia em um dos principais pressupostos do estudo da paisagem: o de

que padrões refletem os processos atuantes no sistema (TURNER & GARDNER, 1990).

Conforme aponta Milne (1990), a partir da auto-similaridade é possível quantificar a dinâmica da paisagem em diferentes escalas, o que representa um grande avanço na busca de se compreender os processos atuantes no sistema. Segundo Li (2000), o significado da invariância escalar é que as escalas são ecologicamente equivalentes e que, portanto, as mesmas conclusões ecológicas podem ser obtidas estatisticamente em qualquer escala. Isso ocorre porque há padrões estruturais e funcionais que perpassam os diferentes níveis hierárquicos e que são responsáveis pela auto-organização do sistema. Deve-se lembrar, no entanto, que essa invariância escalar não é infinita, já que para os fractais naturais, diferente dos fractais exatos, ela se limita a algumas escalas.

A ocorrência de padrões recursivos em diferentes escalas pode ser entendida como uma consequência do tipo de organização hierárquica dos sistemas complexos, especialmente da paisagem. Essa organização apresenta um aninhamento hierárquico, onde um sistema de determinado nível hierárquico é formado por sistemas de níveis inferiores (subsistemas), ao mesmo tempo em que integra sistemas de níveis hierárquicos superiores (MATTOS & PEREZ-FILHO, 2004). Cada entidade (sistema) que compõe um nível hierárquico é chamada de “holon” e, portanto, esse tipo de organização pode ser denominada “holárquica” (ALLEN & STARR, 1982; NAVEH & LIBERMAN, 1994). Os resultados alcançados no presente trabalho indicam que o Cerrado apresenta essa organização holárquica, uma vez que a repetição de padrões em diferentes escalas foi detectada em todas as fisionomias e localidades estudadas.

A principal implicação desses resultados diz respeito às inferências sobre a dinâmica do Cerrado. A invariância escalar é uma característica marcante de sistemas que se desenvolvem longe do equilíbrio (LI, 2000). Mais do que isso, é um grande indicativo de que o sistema apresenta criticalidade auto-organizada (BAK, 1996; MURRAY & FONSTAD, 2007), embora nem sempre isso seja verdade (LI, 2000; LI, 2002)).

O conceito de criticalidade auto-organizada, criado por Bak (1996), é aplicado a sistemas complexos afastados do equilíbrio termodinâmico que evoluem para um estado crítico caracterizado pela invariância escalar espacial e/ou temporal. Nesse estado, pequenas perturbações são mais frequentes que perturbações maiores, mas a transição de um estado para outro pode ocorrer devido a um evento de qualquer magnitude. Esse estado crítico é um atrator do sistema e seu limiar de sensibilidade às perturbações (representado pela dimensão de sua bacia de atração) determina sua estabilidade e, portanto, sua sensibilidade à ocorrência ou não de uma mudança de estado. Assim, a criticalidade auto-organizada se liga a outro conceito importante relativos aos sistemas dinâmicos complexos: o de transição de fases.

Conforme já discutido anteriormente²², o estado de fase é um estado do sistema que possui características qualitativamente distintas daquelas de outros estados do mesmo sistema (LI, 2000). Ainda segundo esse autor, a transição de fases é a passagem de um estado (fase) para outro e que pode ser provocada por uma perturbação, representada pela alteração em um parâmetro de ordem do sistema. Essa transição pode ser de dois tipos:

- 1) contínua: quando a transição de fases é acompanhada por uma mudança contínua de estado;
- 2) descontínua: quando a transição é acompanhada por uma mudança abrupta de estado, também chamada de catástrofe.

Segundo Li (2000), a aplicação do conceito de transição de fases é bastante útil para se compreender as mudanças que ocorrem em uma paisagem. Para ele, as fisionomias da vegetação podem ser consideradas estados do sistema e grandes mudanças na dinâmica do ecossistema podem ser causadas por respostas não-lineares a mudanças nos gradientes do ambiente físico. Ainda que tenha dúvidas sobre a existência de relação entre a teoria criticalidade auto-organizada e a de transição de fases, esse mesmo autor (citando inclusive trabalhos anteriores de sua autoria) afirma que a criticalidade auto-organizada pode explicar a dinâmica da

²² Ver item “Contribuições do paradigma da complexidade ao estudo da organização e dinâmica do Cerrado” (p.17).

paisagem, a qual evoluiria naturalmente para um estado crítico que apresenta invariância escalar (temporal e espacial) (LI, 2000)²³.

Interpretando os resultados obtidos na presente pesquisa à luz do paradigma da complexidade e das teorias expostas acima, muitas ideias relativas à organização e dinâmica do Cerrado apresentadas anteriormente no plano teórico²⁴ ganham consistência e confirmação pelos dados alcançados nas análises práticas.

Reforça-se, por exemplo, a afirmação de que as fisionomias do Cerrado representam atratores do sistema. Para muitas delas, esse atrator é criticamente auto-organizado, o que explica a invariância escalar apresentada pelas fisionomias. Como consequência dessa organização próxima a um ponto crítico, perturbações de qualquer magnitude podem levar à perda de estabilidade do sistema e consequente transição de estado.

Na escala temporal, essa a transição pode ser exemplificada pelo processo natural de sucessão ecológica das fisionomias, caso seja do tipo contínua; ou, no caso de uma transição catastrófica, pelo processo de arenização decorrente de alterações no uso da terra. Em relação à escala espacial, a transição contínua pode ser representada pela mudança de fisionomias ao longo de um gradiente de variações pedológicas e/ou geomorfológicas, enquanto uma transição descontínua pode ser exemplificada por manchas, associadas a afloramentos de basalto, de Floresta Estacional em meio ao Cerrado.

O fogo no Cerrado, por sua vez, pode ser indutor desses dois tipos de transição de fases: é bastante conhecida a importância do fogo de origem natural (p.ex., raios) para a dinâmica do Cerrado, que nesse caso seria responsável por uma transição de fases contínua. Por outro lado, o fogo de origem antrópica, devido à sua magnitude e frequência, pode provocar mudanças abruptas (e, em muitos casos, catastróficas) no sistema.

Os resultados atingidos pela presente pesquisa também permitem pensar que a criticalidade auto-organizada pode estar restrita a fisionomias situadas em posições

²³ "(...) *we could approach criticality of patch dynamics since certain extended dissipative dynamical systems naturally evolve into a critical state, with no characteristic time and space scales (Li and Forsythe, 1992).*" (LI, 2000)

²⁴ Ver item "Contribuições do paradigma da complexidade ao estudo da organização e dinâmica do Cerrado" (p.17).

intermediárias do gradiente vegetacional do Cerrado. As fisionomias desse tipo aqui estudadas – cerrado denso, cerrado ss e campo cerrado – apresentaram, comparativamente, maiores valores de complexidade para as duas medidas, indicando que elas se organizam próximas ao “limite do caos” e são, portanto, mais instáveis. Por outro lado, os resultados apontaram que as fisionomias situadas mais nas extremidades do gradiente – cerradão e campo sujo – apresentam, em geral, menores valores de complexidade e maior proximidade a estados ordenados, representando, assim, estados mais estáveis.

Por sua vez, os resultados das análises de correlação das variáveis ajudam a complementar a compreensão da dinâmica do Cerrado e a organização de seus padrões. Embora fatores pedogeomorfológicos tenham papel relevante, não se pode atribuir a nenhum deles a exclusividade de ser responsável pela definição das fisionomias e seus padrões. Na verdade, como é próprio dos sistemas complexos, diversas variáveis estão inter-relacionadas, formando uma rede de fatores condicionantes que configuram uma ou outra fisionomia. Além disso, como muitas fisionomias se auto-organizam em estados críticos do sistema, a formação de uma ou outra fisionomia pode depender de uma pequena variação em um desses fatores, já que nessa condição alterações mínimas podem levar a estados distintos.

Como se pode perceber, essas características do Cerrado reveladas pela presente pesquisa se contrapõem àquelas tradicionalmente aceitas para explicar sua distribuição espacial e sucessão ecológica. Ao invés de uma sucessão climática, o Cerrado se caracterizaria como um sistema complexo afastado do equilíbrio, em que estados mais estáveis seriam representados por fisionomias mais abertas (campo limpo e campo sujo, por exemplo) e mais fechadas (formações florestais, tais como: cerradão e mata seca), enquanto fisionomias intermediárias (incluindo diversas formações savânicas, como: cerrado denso, cerrado ss e campo cerrado) se auto-organizariam em estados críticos, afastados do equilíbrio e sujeitos a eventos de qualquer magnitude que podem levá-los a outro estado. E, por ser um sistema complexo, a configuração de cada estado seria condicionada por vários fatores inter-relacionados, alguns inclusive com atuação em diferentes escalas e responsáveis pela formação de padrões auto-similares que caracterizam as fisionomias do Cerrado.

5.4) Verificação das hipóteses da pesquisa:

Tendo em vista os objetivos específicos e respectivas hipóteses levantadas pela presente pesquisa, os resultados apontam que:

a) as fisionomias aqui estudadas que se situam na zona intermediária do gradiente vegetacional do Cerrado – cerrado ss, cerrado denso e campo cerrado – apresentaram, em boa parte dos casos, padrões texturais e espectrais de maior complexidade, confirmando a hipótese formulada a respeito desse tema;

b) as medidas de dimensão fractal e de complexidade baseadas na entropia não foram totalmente eficientes em diferenciar as fisionomias, especialmente as de maior proximidade entre si, que possuem padrões texturais e espectrais semelhantes. Dessa forma, a hipótese de que essas medidas seriam capazes de distinguir as fisionomias do Cerrado foi apenas parcialmente comprovada;

c) a hipótese de que as medidas empregadas para uma mesma fisionomia não apresentariam diferenças significativas em diferentes escalas foi confirmada, indicando a auto-similaridade dos padrões textural e espectral de cada fisionomia;

d) as correlações entre características da vegetação e variáveis pedológicas e geomorfológicas indicam que, para uma escala local, fatores relativos à textura e teor de alumínio no solo estão fortemente associados às variações vegetacionais. Quanto aos padrões texturais e espectrais da vegetação, as correlações não apontam nenhum fator preponderante associados a eles. Assim, confirma-se a hipótese que não há um fator único que seja determinante para a conformação de uma dada fisionomia e seus padrões;

e) características típicas de sistemas complexos foram identificadas a partir das análises efetuadas, confirmando a hipótese específica de que o Cerrado é um sistema complexo e comprovando também a hipótese geral de que os padrões texturais e espectrais refletem propriedades importantes da organização e dinâmica do Cerrado.

6) CONCLUSÕES

A partir dos resultados alcançados pela presente pesquisa, pode-se chegar às seguintes conclusões e recomendações:

I) Em comparação à dimensão fractal, as medidas de complexidade baseadas na entropia informacional tiveram, em geral, melhores desempenhos e em diferenciar as fisionomias e em atribuir maior complexidade às fisionomias com padrões texturais e espectrais mais heterogêneos.

II) Em contra-partida, a dimensão fractal aplicada à análise textural foi capaz de detectar padrões que se repetem em diferentes escalas, o que não foi alcançado pelas medidas de complexidade.

III) Na análise espectral, as medidas de complexidade baseadas na entropia e de dimensão fractal apresentaram desempenhos semelhantes, evidenciando padrões auto-similares das fisionomias do Cerrado.

IV) As medidas aplicadas tanto para análise textural como espectral de imagens do sensor Aster não foram totalmente eficientes em distinguir as fisionomias de Cerrado de uma mesma localidade, principalmente aquelas mais semelhantes. Por outro lado, foram pouco frequentes as diferenças significativas entre os valores obtidos por uma mesma fisionomia em diferentes localidades, mostrando que podem ser estabelecidos intervalos de valores típicos de cada fisionomia, independente da área estudada.

V) A utilização dessas medidas para imagens das mesmas localidades obtidas por outros sensores multiespectrais e também hiperespectrais podem indicar se a limitação em distinguir fisionomias se deve as medidas em si ou ao sensor usado nessa pesquisa.

VI) Com adaptações nas equações das medidas, permitindo maior refinamento na distinção de padrões texturais e espectrais semelhantes, a dimensão fractal e as medidas de complexidade poderiam ser empregadas em algoritmos classificatórios (baseados, por exemplo, em redes neurais). Além de permitir identificar as fisionomias a partir dos seus intervalos de valores, esses algoritmos se beneficiariam da

capacidade dessas medidas não apresentarem variações significativas em seus valores nas diferentes escalas.

VII) A auto-similaridade dos padrões das fisionomias em diferentes escalas detectada no presente trabalho indica que a invariância escalar é uma propriedade relevante na organização e dinâmica do Cerrado e que pode estar associada a fenômenos multiescalares responsáveis por esses padrões.

VIII) A invariância escalar também é indicativa de que o Cerrado apresentaria criticalidade auto-organizada, sendo algumas de suas fisionomias representativas de estados próximos a pontos críticos. Os resultados da presente pesquisa apontam que fisionomias intermediárias, como cerrado denso, cerrado ss e campo cerrado, apresentariam esse tipo de organização, enquanto fisionomias situadas próximas aos extremos do gradiente vegetacional do Cerrado (como campo sujo e cerradão) representariam estados mais estáveis.

IX) Fatores geomorfológicos e pedológicos (especialmente granulometria e teor de alumínio) são relevantes na organização e dinâmica do Cerrado, porém não há um fator ambiental que seja resposta exclusivamente pelo estabelecimento de determinada fisionomia e nem pela configuração de seus padrões. A dinâmica do Cerrado depende de diversos fatores que atuam de maneira integrada, alguns com ação em várias escalas. Pequenas variações nesses fatores podem levar a uma fisionomia ou outra, especialmente naquelas que se auto-organizam criticamente.

X) Os resultados obtidos na presente pesquisa confirmam que o Cerrado é um sistema dinâmico complexo e que, portanto, o entendimento de sua organização e dinâmica deve-se pautar nos conceitos, modelos e métodos próprios do paradigma da complexidade.

7) REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A. **O domínio dos cerrados**. In: ___. *Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas*. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. p.115-135.
- AGÊNCIA BRASIL. **São Paulo é o estado que mais desmatou cerrado, conclui mapeamento**. 2007. Disponível em: <<http://www.agenciabrasil.gov.br/noticias/2007/02/16/materia.2007-02-16.8704054871/>>. Acesso em 02 agosto 2009.
- ALLEN, T.F.H. & STARR, T.B. **Hierarchy: perspectives for ecological complexity**. Chicago: University of Chicago Press, 1982. 310p.
- ALMEIDA, T.I.R. et al. **Geobotânica por sensoriamento remoto no mapeamento geológico de região recoberta por floresta amazônica de terra firme: uma avaliação metodológica na região do Vale do Guaporé (RO)**. *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Florianópolis, 21-26 abril 2007, INPE, p. 1951-1958.
- AU YANG, S.Y. **Foundations of complex-system theories: in economics, evolutionary biology, and statistical physics**. Cambridge: Cambridge University Press, 1998. 404p.
- AZEVEDO, T.S. **Análise espaço temporal da dimensão fractal de matas ciliares na alta bacia do rio Passa Cinco – centro leste do estado de São Paulo**. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (Unesp - Rio Claro), 2003. 161p.
- BACKES, A.R. & BRUNO, O.M. **Técnicas de estimativa da dimensão fractal: um estudo comparativo**. *Infocomp – Journal of Computer Science*, v.4, n.3, 2005, p.50-58.
- BACKES, A.R. et al. **Análise da complexidade de texturas em imagens urbanas utilizando dimensão fractal**. *Anais IX Simpósio Brasileiro de GeoInformática*. Campos de Jordão-SP, 25-28 novembro 2007, INPE, p. 215-220.
- BAK, P. **How nature works: the science of self-organized criticality**. New York: Springer-Verlag, 1997. 212p.

- BITTENCOURT, M.D. **Diagnóstico cartográfico dos remanescentes de Cerrado em São Paulo.** In: BITTENCOURT, M.D. & MENDONÇA, R.R. *Viabilidade de conservação de remanescentes de Cerrado.* São Paulo: Annablume, 204. p.17-28.
- BOGNOLA, I.A. et al. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: quadrícula de Assis.** Escala 1:100.000. 1990.
- BOLLIGER, J. et al. **Simulating the spatial and temporal dynamics of landscapes using generic and complex models.** *Ecological Complexity*, v.2, 2005, p.107-116.
- CADENASSO, M.L. et al. **Dimensions of ecosystem complexity: heterogeneity, connectivity, and history.** *Ecological Complexity*, v.3, p.1-12, 2006.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais.** São Paulo: Edgar Blücher, 1999. 236p.
- CONTI, J.B. & FURLAN, S.A. **Geoecologia: o clima, os solos e a biota.** In: Ross, J.S. (org.). *Geografia do Brasil.* São Paulo: Edusp, 2003. p.67-207.
- COSH, M.H. & BRUTSAERT, W. **Microscale structural aspects of vegetation density variability.** *Journal of Hydrology*, v.276, 2003. p.128-136.
- DEKKER, R.J. **Texture analysis and classification of ERS SAR images for map updating of urban areas in the Netherlands.** *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v.41, n.9, 2003. 1950-1958.
- D'OTTAVIANO, I.M.L. & BRESCIANNI-FILHO, E. **Auto-organização e criação.** *MultiCiência*, v.3, p.1-23, 2004. Disponível em: <http://www.multiciencia.unicamp.br/artigos_03/rede_02_.pdf>. Acesso em 05 julho 2010.
- DURIGAN, G. Projeto: **Viabilidade da conservação dos remanescentes de Cerrado do estado de São Paulo.** Disponível em: <<http://galileu.globo.com/edic/135/durigan.pdf>>. Acesso em 07 julho 2010.
- DURIGAN, G. **O cerrado como formação vegetal e bases para a sua sustentabilidade.** In: Uieda, W. & Paleari, L.M. (org.). *Flora e fauna: um dossiê ambiental.* São Paulo: UNESP, 2004. p. 173-177.
- EBELING, W., KURTHS, J. & SCHWARZ, U. **Entropy, complexity, predicability and data analysis of time series and letter sequences.** In: BUNDE, A., KROPP, J. &

- SCHELLNHUBER, H.J. *The science of disasters*. Berlim: Springer Verlag, 2002. p.3-23.
- EITEN, G. **Vegetação**. In: Pinto, M.N. (org.). *Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas*. Brasília: UNB, 1990. p.9-65.
 - EMERSON, C.W. et al. **Multi-scale fractal analysis of image texture and pattern**. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v.65, n.1, 1999. p.51-61.
 - ÉRDI, P. **Complexity explained**. Berlin: Springer-Verlag, 2008. 397p.
 - FARINA, A. **Principles and methods in landscape ecology**. Londres: Chapman & Hall, 1998. 235p.
 - FEAGIN, R.A. **Heterogeneity versus homogeneity: a conceptual and mathematical theory in terms of scale-invariant and scale-covariant distributions**. *Ecological Complexity*, v.2, p.339–356, 2005.
 - FERNANDES, A. & BEZERRA, P. **Estudo fitogeográfico do Brasil**. Fortaleza: Stylus, 1990. 205p.
 - FORMAN, R.T.T. & GODRON, M. **Landscape ecology**. New York: John Wiley & Sons, 1986. 619p.
 - GIMENEZ, V.M.M. & GODOY, S.A.P. **Diversidade da vegetação regenerante de um cerrado após plantio de exóticas em Luiz Antônio (SP)**. *Revista Brasileira de Biociências*, v. 5, supl.2, p.729-731, 2007.
 - GOODLAND, R. **Oligotrofismo e alumínio no Cerrado**. In: FERRI, M.G. (coord.). *III Simpósio sobre o Cerrado*. São Paulo: Edusp, 1971. p. 44-60.
 - GOSH, J.K. et al. **Fractal feature for classification of hyperspectral images of Moffit Field, USA**. *Current Science*, v.94, n.3, 2008. p.356-358.
 - HARIDANSAN, M. Solos. In: Pinto, M.N. (org.). **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. Brasília: UNB, 1990. p.309-330.
 - HOTT, M.C. et al. **Segmentação de imagens orbitais pela geração de bacias usando operador de textura fractal pelo método box-counting**. *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Florianópolis, 21-26 abril 2007, INPE, p. 5827-5829.
 - INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE EN INFORMATIQUE ET EN AUTOMATIQUE (INRIA). **Regularization method**. Disponível em: <

<http://regularity.saclay.inria.fr/theory/tools-for-measuring-the-local-regularity/regularization-dimension>>. Acesso em 07 julho 2010.

- INSTITUTO FLORESTAL (IF). **Plano de manejo integrado das Estações Ecológica e Experimental de Itirapina**. São Paulo: Instituto Florestal, 2006. 318p.
- INSTITUTO FLORESTAL (IF). **Sistema de informações florestais do estado de São Paulo**. Disponível em: <<http://www.iflorestal.sp.gov.br/sifesp/>>. Acesso em 12 abril 2010.
- INSTITUTO FLORESTAL (IF). **Estação Ecológica de Assis**. Disponível em: <http://www.iflorestal.sp.gov.br/unidades_conservacao/index.asp>. Acesso em 02 julho 2010.
- INSTITUTO FLORESTAL (IF). **Estação Ecológica de Itirapina**. Disponível em: <http://www.iflorestal.sp.gov.br/unidades_conservacao/index.asp>. Acesso em 02 julho 2010.
- JANOS, M. **Geometria fractal**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008. 100p.
- KANEKO, K., TSUDA, I. **Complex Systems: chaos and beyond**. Berlim: Springer Verlag, 2001. 257p.
- KLINK, C.A. & MOREIRA, A.G. **Past and current human occupation, and land use**. In: Oliveira, P.S. & Marquis, R.J. *The cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna*. New York: Columbia University, 2002. p.69-88.
- KOJIMA, n. et al. **Causes of the apparent scale independence of fractal indices associated with forest fragmentation in Bolivia**. *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, v.61, p.84–94, 2006.
- KRONKA, F.J.N. et al. **Inventário florestal do estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto Florestal, 1993. 199p.
- KRONKA, F.J.N. et al. **Monitoramento da vegetação natural e do reflorestamento no Estado de São Paulo**. *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Goiânia, 16-21 abril 2005, INPE, p. 1569-1576. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.01.10.06/doc/1569.pdf>>. Acesso em 02 julho 2010.
- LAPA – Laboratório de Análise e Planejamento Ambiental (UFSCAR). **Mapa da Estação Ecológica de Jataí (Luiz Antônio) após o decreto de sua ampliação**.

Disponível em: <http://www.lapa.ufscar.br/portugues/nova_eej.htm>. Acesso em 05 julho 2010.

- LAM, N. S.-N. et al. **An evaluation of fractal surface measurement methods using ICAMS (Image Characterization And Modeling System)**. *Technical Papers, ACSM/ASPRS Annual Convention*, v. 5, p.377-386, 1997.
- LI, B.L. **Fractal geometry applications in description and analysis of patch patterns and patch dynamics**. *Ecological Modelling*, v.132, 2000. p.33-50.
- LI, B.L. **A theoretical framework of ecological phase transitions for characterizing tree-grass dynamics**. *Acta Biotheoretica*, v.50, 2002, p.141–154.
- LOPES, A.S. **Solos sob Cerrado**. Piracicaba: Potafos, 1983.162p.
- MANDELBROT, B.B. **The fractal geometry of nature**. New York: Freeman, 1983. 468p.
- MARTINS, M. H. A. et al. **Emprego da dimensão fractal para separar classes de textura presentes numa aerofoto da cidade de Porto Alegre**. *Boletim Paranaense de Geociências*, n.52, p.7-18, 2003.
- MATTOS, S.H.V.L. & PEREZ-FILHO, A. **Complexidade e estabilidade em sistemas geomorfológicos**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, ano 5, n.1, 2004.
- MATTOS, S.H.V.L. **Avaliação da qualidade ambiental da bacia hidrográfica do córrego do Piçarrão (Campinas-SP)**. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 2005. 120p.
- MATTOS, S.H.V.L. et al. **Measuring complexity in three-trophic level systems**. *Ecological Modelling*, v.220, 2009. p.266-271.
- METZGER, J.P. **O que é ecologia da paisagem?**. *Biota Neotropica*, v.1, n.1/2, 2001, p.1-9. Disponível em: <<http://www.biotaneotropica.org.br/v1n12/pt/fullpaper?bn00701122001+pt>>. Acesso em 02 julho 2010.
- MILNE, B.T. **Fractals models**. In: Turner, M.G. & Gardner, R.H. *Quantitative methods in landscape ecology*. New York: Springer Verlag, 1990. p.199-235.
- MONTEIRO, L.H.A. **Sistemas dinâmicos**. São Paulo: Livraria da Física, 2002. 527p.
- MORIN, E. **O método I: a natureza da natureza**. Mem Martins: Europa América, 1977.

- MURRAY, B. & FONSTAD, M.A. **Complexity (and simplicity) in landscapes.** *Geomorphology*, v.91, p.173–177, 2007.
- MUSICK, H.B. & GROVER, H.D. **Image textural measures as indices of landscape pattern.** In: Turner, M.G. & Gardner, R.H. *Quantitative methods in landscape ecology*. New York: Springer Verlag, 1990. p.77-103.
- NAVEH, Z. & LIEBERMAN, A. **Landscape ecology.** New York: Springer Verlag, 1994. 360p.
- OLIVEIRA, J.B. et al. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: quadrícula de Descalvado.** Escala 1:100.000. 1982.
- 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. p.91-120.
- PARROT, L. **Quantifying the complexity of simulated spatiotemporal population dynamics.** *Ecological Complexity*, v.2, 2005, p.175-184.
- PASSOS, M.M. **Biogeografia e paisagem.** Maringá: [s.n.], 2003. 264p.
- PERROTTA, M.M et al. **Geobotânica por sensoriamento remoto e aerogamaespectrometria aplicados ao mapeamento geológico da Amazônia: um estudo comparativo no vale do Guaporé (MT).** *Revista Brasileira de Geociências*, v.38, n.1, p.153-166, 2008.
- PINHEIRO, E.S. **Análises ecológicas e sensoriamento remoto aplicados à estimativa de fitomassa de Cerrado na Estação Ecológica de Assis.** Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, 2008. 192p.
- PINHEIRO, E.S. & DURIGAN, G. **Geotecnologias aplicadas à análise da dinâmica do cerrado na Estação Ecológica de Assis, SP.** *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Natal, 25-30 abril 2009, INPE, p. 2905-2912.
- PIQUEIRA, J.R.C. et al. **Measuring biological complexity in three-trophic level systems.** *VII Brazilian Conference on Dynamics, Control and Applications*. Presidente Prudente, 7-9 maio 2008, Unesp, p.600-603.

- PRADO, H.; et al. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: quadrícula de São Carlos.** Escala 1:100.000. 1981.
- QUARESMA, C.C. **Organizações espaciais físico/naturais e fragilidades de terras sob cerrado: abordagem sistêmica aplicada à escala local.** Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, 2008. 138p.
- QUEIROZ NETO, J.P. **Solos da região dos cerrados e suas interpretações.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.6, 1982, p.1-12.
- RANZANI, G. **Solos do Cerrado no Brasil.** In: Ferri, M.G. (coord.). *III Simpósio sobre o Cerrado.* São Paulo: Edusp, 1971. p. 26-43.
- RIBEIRO, J.F.; WALTER B.M.T. **Fitofisionomias do bioma Cerrado.** In: Sano, S.M. et al.(eds). *Cerrado: ambiente e flora.* Planaltina: EMBRAPA, 2008. p.151-212.
- SASAKI, D. & MELLO-SILVA, R. **Levantamento florístico no cerrado de Pedregulho, SP, Brasil.** *Acta Botanica Brasilica*, v.22, n.1, 2008, p.187-202.
- SCHEFFER, M. et al. **Catastrophic shifts in ecosystems.** *Nature*, v.413, 2001, p.591-596.
- SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO (SEMA). **Cerrado: bases para conservação e uso sustentável das áreas de cerrado do estado de São Paulo.** São Paulo: SEMA, 1997. 184p.
- SHINER, J.S. & DAVISON, M. **Simple measure of complexity.** *Physical Review E*, v.59, n.2, p.1459-1464, 1999.
- SILVA, D.A. **Levantamento do meio físico das Estações Ecológica e Experimental de Itirapina, São Paulo, Brasil.** *Revista Instituto Florestal*, v. 17, n. 1, p.113-128, 2005.
- SILVA, J.M.C. & BATES, J.M. **Biogeographic patterns and conservation in the South American cerrado: a tropical savanna hotspot.** *BioScience*, v.52, 2002, p.225-233.
- SIQUEIRA, M.F. & DURIGAN, G. **Modelagem da distribuição geográfica de espécies lenhosas de cerrado no estado de São Paulo.** *Revista Brasileira de Botânica*, v.30, n.2, 2007, p.233-243.

- SU, H. et al. **A new band selection algorithm for hyperspectral data based on fractal dimension.** *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.* v.37, p.279-284, 2008.
- TOPPA, R.H. **Estrutura e diversidade florística das diferentes fisionomias de Cerrado e suas correlações com o solo na Estação Ecológica de Jataí, Luiz Antônio, SP.** Tese (Doutorado) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, 2004. 127p.
- TURNER, M.G. & GARDNER, R.H. **Quantitative methods in landscape ecology: an introduction.** In: *Quantitative methods in landscape ecology.* New York: Springer Verlag, 1990. p.3-14.
- VIADANA, A.G. **A Teoria dos refúgios florestais aplicada ao estado de São Paulo.** Rio Claro: A.G.Viadana, 2002. 76p.
- VICENTE, L.E. **Caracterização de sistemas ambientais tropicais complexos utilizando análise sistêmica e classificação hiperespectral de dados do sensor ASTER.** Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 2007. 192p.
- VICENTE, L.E. et al. **O uso do infravermelho de ondas curtas (SWIR) no mapeamento de fitofisionomias em ambiente tropical por meio de classificação hiperespectral de dados do sensor ASTER.** *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto.* Florianópolis, 21-26 abril 2007, INPE, p. 1915-1922.
- WESTMAN, W.E. **Measuring the inertia and resilience of ecosystems.** *BioScience,* v.28, n.11, 1978, p.705-710.
- YAMAMURA, Y. & OGAWA, S. **Fractal analysis for hyper-spectrum in remote sensing.** *Proceedings of Asian Association on Remote Sensing,* 2006. Disponível em: <http://www.a-a-r-s.org/acrs/proceeding/ACRS2006/Papers/I-1_I5.pdf>. Acesso em 02 julho 2010.
- ZAR, J.H. **Biostatistical analysis.** Upper Saddle River: Prentice-Hall, 1999. 718p.
- ZHIYUAN, S. et al. **Fractals in Spatial Patterns of Vegetation Formations.** *Tsinghua Science and Technology,* v.11, n4, p.462-469, 2006.

- ZHOU, G. & LAM, N.S.N. **A comparison of fractal dimension estimators based on multiple surface generation algorithms.** *Computers & Geosciences*, v.31, p.1260–1269, 2005.
- ZHU, J. et al. **An approach to extracting fractal in remote sensing image.** *Wuhan University Journal of Natural Sciences*, v.11, n.3, p.606-610, 2006.

ANEXO I

TABELAS COM VALORES DAS MEDIDAS DE CADA PONTO

Tabela 1 – Valores de dimensão fractal para imagens das áreas da E.E.Assis

Local	Fisionomia	Bandas	Ponto	10X (400 pixels)				20X (100 pixels)				40X (25 pixels)			
				Box Dimension				Box Dimension				Box Dimension			
				Box method		Variation method		Box method		Variation method		Box method		Variation method	
Least Sq	Max Sem	Least Sq	Max Sem	Least Sq	Max Sem	Least Sq	Max Sem	Least Sq	Max Sem	Least Sq	Max Sem				
A S S I S	Cerradão 1	231	Pt 1	1,6366	1,7912	1,7044	1,7754	1,6486	1,6954	1,462	1,6793	1,6344	1,5518	1,4953	1,6988
			Pt 2	1,6173	1,7986	1,7449	1,8083	1,6564	1,6731	1,553	1,6917	1,6484	1,5171	1,4455	1,7223
			Pt 3	1,6741	1,8239	1,6593	1,7019	1,6181	1,6461	1,6965	1,8102	1,614	1,5089	1,497	1,7979
	Cerradão 2	231	Pt 1	1,6377	1,8245	1,6616	1,7212	1,6505	1,6819	1,6121	1,781	1,671	1,571	1,304	1,7432
			Pt 2	1,6553	1,8614	1,7871	1,8246	1,602	1,6507	1,5378	1,7047	1,6259	1,532	1,6434	1,9331
			Pt 3	1,6272	1,8055	1,7163	1,7981	1,6313	1,654	1,4707	1,581	1,6561	1,5853	1,511	1,7393
	Cerrado Denso	231	Pt 1	1,6285	1,7918	1,7067	1,8082	1,6243	1,6492	1,6795	1,8132	1,5977	1,4651	1,5851	1,7987
			Pt 2	1,614	1,7485	1,7135	1,7727	1,6218	1,6473	1,4877	1,6992	1,662	1,6091	1,5483	1,8405
			Pt 3	1,6724	1,7537	1,6129	1,6983	1,6215	1,6157	1,5675	1,6653	1,6425	1,5651	1,4648	1,804
	TransCidãoFleEst	231	Pt 1	1,6484	1,8143	1,6083	1,6959	1,642	1,6868	1,3799	1,4916	1,6451	1,5533	1,5504	1,7388
			Pt 2	1,6374	1,7974	1,5821	1,697	1,6368	1,6576	1,4566	1,601	1,6286	1,5366	1,5757	1,7849
			Pt 3	1,6261	1,798	1,6941	1,7752	1,6246	1,6309	1,5776	1,8466	1,6362	1,5023	1,3335	1,5317
A S S I S	Cerradão 1	NDVI	Pt 1	1,6348	1,832	1,6801	1,7319	1,6448	1,6996	1,6752	1,833	1,6566	1,5613	1,4852	1,6503
			Pt 2	1,6581	1,8014	1,6793	1,7587	1,6563	1,6592	1,6281	1,8375	1,6587	1,556	1,5164	1,7423
			Pt 3	1,6399	1,8421	1,7206	1,8156	1,5978	1,6026	1,4228	1,51	1,6452	1,5449	1,5358	1,8052
	Cerradão 2	NDVI	Pt 1	1,6283	1,8113	1,7686	1,7977	1,6167	1,6459	1,66	1,7765	1,6418	1,5478	1,5096	1,6763
			Pt 2	1,6261	1,8618	1,765	1,8399	1,5952	1,6411	1,5674	1,6428	1,6267	1,5331	1,5929	1,8501
			Pt 3	1,6332	1,8287	1,8364	1,9124	1,6606	1,7038	1,5209	1,6476	1,6379	1,5479	1,3418	1,6748
	Cerrado Denso	NDVI	Pt 1	1,714	1,8307	1,5942	1,641	1,6364	1,6499	1,5576	1,6676	1,6166	1,4836	1,5884	1,7689
			Pt 2	1,6494	1,7858	1,5409	1,6334	1,6893	1,7121	1,4871	1,6471	1,6578	1,5898	1,5379	1,723
			Pt 3	1,6399	1,8421	1,7206	1,8156	1,5978	1,6026	1,4228	1,51	1,6452	1,5449	1,5358	1,8052
	TransCidãoFleEst	NDVI	Pt 1	1,6789	1,8594	1,5595	1,6169	1,6258	1,6604	1,405	1,5098	1,6649	1,5751	1,5428	1,7395
			Pt 2	1,6494	1,7858	1,5409	1,6334	1,6893	1,7121	1,4871	1,6471	1,6578	1,5898	1,5379	1,723
			Pt 3	1,6055	1,7403	1,7234	1,815	1,6133	1,6095	1,4807	1,5601	1,613	1,4821	1,425	1,6531
A S S I S	Cerradão 1	Razão 3:8	Pt 1	1,5573	1,7145	1,5034	1,578	1,622	1,6543	1,5468	1,7156	1,6087	1,4281	1,5573	1,7872
			Pt 2	1,6232	1,7786	1,6645	1,7195	1,6235	1,6319	1,5543	1,8169	1,637	1,5266	1,4945	1,7105
			Pt 3	1,5774	1,6272	1,4299	1,4468	1,568	1,5286	1,6761	1,8553	1,6238	1,4868	1,304	1,7464
	Cerradão 2	Razão 3:8	Pt 1	1,6097	1,5742	1,7159	1,7879	1,6527	1,5558	1,7236	1,8834	1,672	1,4184	1,3074	1,9588
			Pt 2	1,634	1,6021	1,3994	1,4353	1,6427	1,4075	1,4736	1,5468	1,6677	1,6158	1,507	1,8341
			Pt 3	1,5956	1,6155	1,7078	1,8495	1,6469	1,5871	1,4282	1,5393	1,6744	1,5531	1,6942	1,8987
	Cerrado Denso	Razão 3:8	Pt 1	1,6533	1,7793	1,5906	1,7758	1,6736	1,6987	1,3754	1,4342	1,7223	1,7687	1,3887	1,651
			Pt 2	1,662	1,7782	1,3946	1,4524	1,6203	1,6041	1,5817	1,7059	1,6693	1,5747	1,6693	1,5747
			Pt 3	1,6809	1,7373	1,4841	1,5313	1,6625	1,6421	1,4996	1,6989	1,6225	1,4664	1,4124	1,66
	TransCidãoFleEst	Razão 3:8	Pt 1	1,6606	1,8423	1,5437	1,6096	1,6303	1,6507	1,5223	1,6482	1,6387	1,5509	1,5599	1,7176
			Pt 2	1,6142	1,7053	1,5605	1,6225	1,6089	1,5772	1,5279	1,7018	1,666	1,5905	1,5452	1,7419
			Pt 3	1,5844	1,7157	1,7318	1,7882	1,594	1,5941	1,6174	1,7942	1,6302	1,5527	1,716	1,9631
A S S I S	Cerradão 1	Razão 3:9	Pt 1	1,6666	1,8532	1,601	1,6802	1,6026	1,6227	1,6133	1,7835	1,6613	1,5751	1,5865	1,8254
			Pt 2	1,6459	1,8044	1,6907	1,8147	1,6715	1,6914	1,5347	1,7154	1,6295	1,5058	1,3694	1,7004
			Pt 3	1,6329	1,8094	1,7708	1,8389	1,6418	1,6632	1,6357	1,7846	1,6931	1,6275	1,5213	1,8221
	Cerradão 2	Razão 3:9	Pt 1	1,6128	1,7913	1,5605	1,6163	1,6216	1,649	1,5574	1,6826	1,6323	1,5146	1,3794	1,6719
			Pt 2	1,6214	1,8014	1,7348	1,7959	1,6084	1,6351	1,6145	1,7369	1,6537	1,5842	1,5899	1,865
			Pt 3	1,6125	1,8005	1,6796	1,7915	1,6299	1,64	1,4186	1,5545	1,6944	1,6655	1,5689	1,7702
	Cerrado Denso	Razão 3:9	Pt 1	1,7111	1,7917	1,6075	1,7527	1,6466	1,6697	1,481	1,5882	1,6819	1,6243	1,3754	1,6369
			Pt 2	1,6538	1,7367	1,4074	1,4687	1,6868	1,66	1,4449	1,6419	1,6682	1,578	1,4898	1,668
			Pt 3	1,7181	1,79	1,4032	1,4509	1,6764	1,6656	1,4416	1,6362	1,6195	1,4721	1,306	1,8486
	TransCidãoFleEst	Razão 3:9	Pt 1	1,7099	1,861	1,5624	1,6168	1,6476	1,7112	1,4199	1,5233	1,6589	1,6154	1,4547	1,6621
			Pt 2	1,6376	1,8064	1,5563	1,8396	1,6485	1,6857	1,4554	1,6148	1,6656	1,5278	1,4023	1,5874
			Pt 3	1,6477	1,8239	1,6608	1,8244	1,6569	1,6604	1,4889	1,7257	1,7626	1,7216	1,3025	1,6881

Tabela 2 – Valores de dimensão fractal para espectros das áreas da E.E.Assis

Local	Fisionomia	Bandas	Ponto	10X (400 pixels)	20X (100 pixels)	40X (25 pixels)
				Regularization dimension	Regularization dimension	Regularization dimension
				Least Sq	Least Sq	Least Sq
A S S I S	Cerradão 1	231	Pt 1	1,7518	1,7454	1,7371
			Pt 2	1,7469	1,7522	1,751
			Pt 3	1,7761	1,7762	1,7725
	Cerradão 2	231	Pt 1	1,7801	1,7845	1,7766
			Pt 2	1,7768	1,7791	1,7788
			Pt 3	1,7641	1,7662	1,7682
	Cerrado Denso	231	Pt 1	1,6936	1,6966	1,705
			Pt 2	1,6938	1,6908	1,679
			Pt 3	1,6354	1,6323	1,6245
	TransCidãoFIest	231	Pt 1	1,6895	1,6889	1,6907
			Pt 2	1,7626	1,7616	1,7646
			Pt 3	1,7497	1,7494	1,7464

Tabela 3 – Valores de medidas de complexidade para imagens das áreas da E.E.Assis.

Local	Fisionomia	Bandas	Ponto	10X (400 pixels)			20X (100 pixels)			40X (25 pixels)		
				Entropia (H)	Complexidade (C)	H/Hmax	Entropia (H)	Complexidade (C)	H/Hmax	Entropia (H)	Complexidade (C)	H/Hmax
A S S I S	Cerradão 1	231	Pt 1	2,5348	0,2165	0,3169	1,4870	0,1514	0,1859	0,5644	0,0656	0,0706
			Pt 2	1,667	0,165	0,2084	1,0876	0,1175	0,1360	0,4741	0,0558	0,0593
			Pt 3	0,6282	0,0724	0,0785	0,9297	0,1027	0,1162	0,4161	0,0493	0,0520
	Cerradão 2	231	Pt 1	1,0819	0,1169	0,1352	1,0596	0,1149	0,1325	0,4409	0,0521	0,0551
			Pt 2	0,8919	0,0991	0,1115	0,9234	0,1021	0,1154	0,4331	0,0512	0,0541
			Pt 3	1,3505	0,1403	0,1688	1,0798	0,1168	0,1350	0,4607	0,0543	0,0576
	Cerrado Denso	231	Pt 1	4,2041	0,2493	0,5255	1,7281	0,1694	0,2160	0,5766	0,0669	0,0721
			Pt 2	3,2487	0,2412	0,4061	1,5433	0,1557	0,1929	0,5389	0,0628	0,0674
			Pt 3	4,7711	0,2407	0,5964	1,8237	0,1760	0,2280	0,6318	0,0727	0,0790
	TransCdaóFleEst	231	Pt 1	2,2419	0,2017	0,2802	1,2405	0,1310	0,1551	0,5092	0,0596	0,0637
			Pt 2	1,2015	0,1276	0,1502	1,0827	0,1170	0,1353	0,4741	0,0557	0,0593
			Pt 3	1,5459	0,1559	0,1932	1,0798	0,1168	0,1350	0,4567	0,0538	0,0571
A S S I S	Cerradão 1	Razão 3:8	Pt 1	5,6110	0,2094	0,7014	2,1388	0,1959	0,2674	0,6523	0,0749	0,0815
			Pt 2	5,3987	0,2194	0,6748	1,9816	0,1863	0,2477	0,6474	0,0744	0,0809
			Pt 3	2,6961	0,2234	0,3370	1,7112	0,1681	0,2139	0,6173	0,0712	0,0772
	Cerradão 2	Razão 3:8	Pt 1	1,6571	0,1642	0,2071	1,1762	0,1254	0,1470	0,4756	0,0559	0,0595
			Pt 2	0,9208	0,1019	0,1151	0,8108	0,0911	0,1014	0,7002	0,0799	0,0875
			Pt 3	3,3640	0,2437	0,4205	1,6236	0,1618	0,2030	0,5513	0,0642	0,0689
	Cerrado Denso	Razão 3:8	Pt 1	7,2361	0,0864	0,9045	2,3856	0,2093	0,2982	0,6396	0,0736	0,0800
			Pt 2	6,6589	0,1395	0,8324	2,2882	0,2042	0,2860	0,6708	0,0768	0,0839
			Pt 3	7,4745	0,0614	0,9343	2,3133	0,2055	0,2892	0,6493	0,0746	0,0812
	TransCdaóFleEst	Razão 3:8	Pt 1	6,1401	0,1784	0,7675	1,9997	0,1875	0,2500	0,6626	0,076	0,0828
			Pt 2	3,9845	0,2500	0,4981	1,6724	0,1653	0,2091	0,5989	0,0693	0,0749
			Pt 3	5,1297	0,2301	0,6412	1,9431	0,1839	0,2429	0,6269	0,0722	0,0784
A S S I S	Cerradão 1	Razão 3:9	Pt 1	6,5244	0,1504	0,8156	2,2548	0,2024	0,2819	0,6625	0,076	0,0828
			Pt 2	6,1151	0,1801	0,7644	2,0205	0,1888	0,2526	0,6366	0,0732	0,0796
			Pt 3	5,9648	0,1897	0,7456	2,0720	0,1919	0,2590	0,6127	0,0707	0,0766
	Cerradão 2	Razão 3:9	Pt 1	6,6602	0,1394	0,8325	2,2903	0,2043	0,2863	0,6548	0,0752	0,0819
			Pt 2	6,2393	0,1717	0,7799	2,2517	0,2022	0,2815	0,6846	0,0782	0,0856
			Pt 3	7,1839	0,0916	0,8980	2,4120	0,2106	0,3015	0,6913	0,0789	0,0864
	Cerrado Denso	Razão 3:9	Pt 1	6,9438	0,1146	0,8680	2,2987	0,2048	0,2873	0,6865	0,0784	0,0858
			Pt 2	6,2832	0,1685	0,7854	2,2823	0,2039	0,2853	0,6816	0,0779	0,0852
			Pt 3	7,1956	0,0904	0,8995	2,3521	0,2076	0,2940	0,663	0,076	0,0829
	TransCdaóFleEst	Razão 3:9	Pt 1	6,2628	0,1700	0,7829	2,1681	0,1976	0,2710	0,7129	0,0812	0,0891
			Pt 2	6,6906	0,1369	0,8363	2,1901	0,1988	0,2738	0,6171	0,0712	0,0771
			Pt 3	6,5706	0,1468	0,8213	2,2322	0,2012	0,2790	0,6567	0,0754	0,0821
A S S I S	Cerradão 1	NDVI	Pt 1	5,4187	0,2186	0,6773	2,0398	0,1900	0,2550	0,6421	0,0738	0,0803
			Pt 2	5,4787	0,2158	0,6848	2,0097	0,1881	0,2512	0,6284	0,0724	0,0786
			Pt 3	4,9285	0,2365	0,6161	1,8604	0,1785	0,2326	0,5983	0,0692	0,0748
	Cerradão 2	NDVI	Pt 1	4,8397	0,2390	0,6050	1,9352	0,1834	0,2419	0,5958	0,0689	0,0745
			Pt 2	5,1997	0,2275	0,6500	1,9100	0,1817	0,2388	0,6300	0,0725	0,0788
			Pt 3	5,3811	0,2202	0,6726	2,0638	0,1914	0,2580	0,6330	0,0760	0,0791
	Cerrado Denso	NDVI	Pt 1	6,7663	0,1304	0,8458	2,2800	0,2038	0,2850	0,6600	0,0763	0,0825
			Pt 2	6,1453	0,1781	0,7682	2,2321	0,2012	0,2790	0,6846	0,0782	0,0856
			Pt 3	6,9965	0,1097	0,8746	2,2344	0,2013	0,2793	0,6812	0,0779	0,0852
	TransCdaóFleEst	NDVI	Pt 1	5,7914	0,1999	0,7239	2,1249	0,1951	0,2656	0,6846	0,0782	0,0856
			Pt 2	6,1453	0,1781	0,7682	2,2311	0,2012	0,2789	0,6846	0,0782	0,0856
			Pt 3	5,1903	0,2279	0,6488	1,9735	0,1858	0,2467	0,6363	0,0732	0,0795

Tabela 4 – Valores de medidas de complexidade para espectros das áreas da E.E.Assis.

Local	Fisionomia	Banda	Ponto	10X (400 pixels)			20X (100 pixels)			40X (25 pixels)		
				Entropia (H)	Complexidade (C)	H/Hmax	Entropia (H)	Complexidade (C)	H/Hmax	Entropia (H)	Complexidade (C)	H/Hmax
A S S I S	Cerradão 1	8	Pt 1	1,9083	0,1989	0,2739	2,0216	0,2060	0,2902	1,0403	0,1333	0,1583
			Pt 2	1,6604	0,1818	0,2388	1,5173	0,1797	0,2349	0,9585	0,1364	0,1629
			Pt 3	1,9464	0,1973	0,2704	1,8306	0,2031	0,2834	0,7901	0,1074	0,1223
	Cerradão 2	8	Pt 1	1,4146	0,1826	0,2405	1,3562	0,1774	0,2306	0,9950	0,1405	0,1691
			Pt 2	1,3765	0,1674	0,2126	1,3367	0,1756	0,2272	0,8753	0,1267	0,1488
			Pt 3	1,6612	0,1910	0,2572	1,5695	0,1839	0,2430	1,0048	0,1416	0,1708
	Cerrado Denso	8	Pt 1	2,9088	0,2300	0,3585	2,5680	0,2249	0,3417	0,6088	0,0798	0,0874
			Pt 2	2,4480	0,2274	0,3479	1,9834	0,2037	0,2847	0,9585	0,1261	0,1480
			Pt 3	3,4599	0,2321	0,3661	2,8865	0,2273	0,3494	6,9658	0,9536	0,1182
	TransCidãoFleEst	8	Pt 1	2,1514	0,2084	0,2961	1,7947	0,1913	0,2576	1,0202	0,1429	0,1727
			Pt 2	1,6741	0,1920	0,2592	1,5321	0,1926	0,2604	0,7145	0,1067	0,1215
			Pt 3	1,7421	0,1878	0,2505	1,3091	0,1616	0,2027	0,8175	0,1197	0,1390
A S S I S	Cerradão 1	9	Pt 1	1,8404	0,1946	0,2646	1,7384	0,1943	0,2640	1,3109	0,1694	0,2216
			Pt 2	1,6670	0,1891	0,2532	1,3587	0,1638	0,2063	0,9896	0,1610	0,2017
			Pt 3	1,2198	0,1538	0,1898	1,2778	0,1593	0,1988	0,6343	0,1135	0,1306
	Cerradão 2	9	Pt 1	1,7338	0,1818	0,2389	1,5605	0,1954	0,2664	1,4692	0,1879	0,2508
			Pt 2	1,3589	0,1782	0,2320	1,4130	0,1830	0,2412	1,1313	0,1558	0,1931
			Pt 3	2,0393	0,2022	0,2814	1,7440	0,1947	0,2649	1,2906	0,1718	0,2203
	Cerrado Denso	9	Pt 1	2,7367	0,2237	0,3377	2,2429	0,2137	0,3095	1,6663	0,1770	0,2299
			Pt 2	2,4125	0,2000	0,2763	1,9907	0,2043	0,2863	1,2733	0,1706	0,2183
			Pt 3	3,3213	0,2326	0,3681	2,8484	0,2286	0,3538	2,1819	0,2155	0,3143
	TransCidãoFleEst	9	Pt 1	2,1584	0,2050	0,2878	1,7005	0,1916	0,2582	1,8286	0,2006	0,2777
			Pt 2	1,6779	0,1899	0,2548	1,3661	0,1788	0,2332	0,9427	0,1552	0,1921
			Pt 3	1,8641	0,1962	0,2681	1,5457	0,1796	0,2347	1,1239	0,1415	0,1707
A S S I S	Cerradão 1	Rz3:8	Pt 1	4,2349	0,1789	0,7667	4,1191	0,1804	0,7639	3,3231	0,2334	0,6287
			Pt 2	4,0990	0,1848	0,7554	3,7168	0,1874	0,2502	3,2733	0,1952	0,7340
			Pt 3	2,3694	0,2437	0,5797	3,0246	0,1924	0,7400	2,9649	0,1992	0,7254
	Cerradão 2	Rz3:8	Pt 1	1,7044	0,2431	0,4170	1,6549	0,2410	0,4049	1,5142	0,2485	0,5394
			Pt 2	1,2332	0,2107	0,3017	0,7196	0,2303	0,3598	0,7943	0,2500	0,5012
			Pt 3	2,7698	0,2458	0,5645	2,8002	0,2432	0,5825	2,2894	0,2359	0,6187
	Cerrado Denso	Rz3:8	Pt 1	5,2749	0,1382	0,8344	4,7510	0,1594	0,8011	3,1933	0,2408	0,5960
			Pt 2	4,9056	0,1762	0,7716	4,5018	0,1563	0,8060	3,5133	0,2114	0,6965
			Pt 3	5,4275	0,1749	0,7741	4,5659	0,1834	0,7582	3,2929	0,1455	0,8232
	TransCidãoFleEst	Rz3:8	Pt 1	4,5735	0,1730	0,7775	3,7630	0,2198	0,6738	3,4293	0,2155	0,6859
			Pt 2	3,1940	0,2291	0,6447	2,9252	0,2035	0,7156	2,7770	0,2056	0,7108
			Pt 3	3,9269	0,1884	0,7483	3,6182	0,1721	0,7791	3,0635	0,2110	0,6975

Tabela 5 – Valores de dimensão fractal para imagens das áreas da E.E.Jataí.

Local	Fisionomia	Bandas	Ponto	10X (400 pixels)				20X (100 pixels)				40X (25 pixels)			
				Box Dimension				Box Dimension				Box Dimension			
				Box method		Variation method		Box method		Variation method		Box method		Variation method	
				Least Sq	Max Sem	Least Sq	Max Sem	Least Sq	Max Sem						
L U I Z A N T Ô N I O	Cerradão 1	231	Pt 1	1,636	1,8153	1,7166	1,8146	1,6214	1,6355	1,6561	1,7762	1,6558	1,5485	1,5042	1,8252
			Pt 2	1,6139	1,7751	1,6592	1,7061	1,6179	1,6458	1,6536	1,7608	1,6426	1,5489	1,5879	1,8672
			Pt 3	1,6621	1,7715	1,608	1,6757	1,6234	1,6567	1,6149	1,7073	1,6709	1,6201	1,5447	1,7474
	Cerradão 2	231	Pt 1	1,6243	1,8097	1,7424	1,8359	1,5941	1,618	1,5732	1,7514	1,6368	1,556	1,6047	1,8009
			Pt 2	1,61	1,8121	1,7741	1,8053	1,61	1,6475	1,6172	1,7416	1,6583	1,5903	1,3767	1,7067
			Pt 3	1,6272	1,8071	1,782	1,8552	1,6299	1,6361	1,6116	1,7895	1,6473	1,5507	1,5056	1,7709
	Cerrado SS	231	Pt 1	-	-	-	-	1,6225	1,6572	1,5881	1,6986	1,6337	1,5871	1,3103	1,7152
			Pt 2	-	-	-	-	1,6315	1,691	1,6193	1,7689	1,6886	1,6425	1,6169	1,8381
			Pt 3	-	-	-	-	1,6599	1,6743	1,4726	1,5759	1,6742	1,615	1,5637	1,7962
	Campo Sujo	231	Pt 1	-	-	-	-	1,68	1,7691	1,459	1,5527	1,6225	1,5012	1,4615	1,7045
			Pt 2	-	-	-	-	1,6802	1,7312	1,54	1,7759	1,6387	1,5522	1,6584	1,8912
			Pt 3	-	-	-	-	1,643	1,685	1,5295	1,7704	1,6509	1,588	1,3074	1,67
L U I Z A N T Ô N I O	Cerradão 1	NDVI	Pt 1	1,617	1,8046	1,7524	1,8417	1,6132	1,6391	1,7345	1,8135	1,6258	1,525	1,6004	1,8439
			Pt 2	1,6281	1,8248	1,6015	1,6142	1,6303	1,6423	1,5952	1,6769	1,6583	1,5422	1,3814	1,6509
			Pt 3	1,6106	1,7836	1,5925	1,6584	1,5933	1,6152	1,6411	1,7327	1,6089	1,5017	1,4256	1,671
	Cerradão 2	NDVI	Pt 1	1,6292	1,7835	1,6789	1,7588	1,6737	1,7316	1,6498	1,7899	1,6507	1,5346	1,6313	1,9029
			Pt 2	1,6245	1,7914	1,6998	1,7571	1,5966	1,6234	1,6821	1,8496	1,6316	1,5539	1,304	1,7464
			Pt 3	1,6094	1,7773	1,6819	1,7231	1,6385	1,6794	1,6404	1,7454	1,6515	1,5367	1,5156	1,7814
	Cerrado SS	NDVI	Pt 1	-	-	-	-	1,6392	1,6568	1,6146	1,7135	1,652	1,5782	1,3696	1,5817
			Pt 2	-	-	-	-	1,6547	1,6827	1,6679	1,7831	1,6697	1,5753	1,5451	1,7527
			Pt 3	-	-	-	-	1,6608	1,7093	1,7108	1,8264	1,6522	1,5743	1,4192	1,6505
	Campo Sujo	NDVI	Pt 1	-	-	-	-	1,6287	1,6284	1,5158	1,6365	1,6396	1,537	1,4048	1,668
			Pt 2	-	-	-	-	1,6747	1,7004	1,5479	1,6993	1,6429	1,5721	1,646	1,8325
			Pt 3	-	-	-	-	1,6525	1,6837	1,4939	1,5765	1,6522	1,5743	1,4192	1,6505
L U I Z A N T Ô N I O	Cerradão 1	Razão 3:9	Pt 1	1,6094	1,7865	1,7325	1,8362	1,6131	1,6191	1,6278	1,7413	1,6419	1,5754	1,5971	1,8929
			Pt 2	1,6127	1,7857	1,7526	1,8316	1,5975	1,5895	1,56	1,7098	1,6463	1,5193	1,5919	1,976
			Pt 3	1,6231	1,7427	1,5086	1,5798	1,6219	1,6216	1,5392	1,6879	1,6807	1,6228	1,5084	1,7153
	Cerradão 2	Razão 3:9	Pt 1	1,6214	1,8091	1,6665	1,7793	1,6198	1,6453	1,5486	1,7873	1,6317	1,5106	1,6221	1,8248
			Pt 2	1,5922	1,7683	1,6592	1,7428	1,6283	1,6751	1,4829	1,5905	1,6372	1,5634	1,4899	1,8071
			Pt 3	1,6124	1,7906	1,6272	1,7227	1,6331	1,627	1,6704	1,8425	1,6795	1,6335	1,3794	1,6719
	Cerrado SS	Razão 3:9	Pt 1	-	-	-	-	1,7623	1,788	1,4469	1,6066	1,6254	1,4517	1,5124	1,837
			Pt 2	-	-	-	-	1,6204	1,5797	1,5464	1,6401	1,6543	1,5621	1,5075	1,7328
			Pt 3	-	-	-	-	1,671	1,7419	1,618	1,7025	1,6537	1,5268	1,5748	1,9002
	Campo Sujo	Razão 3:9	Pt 1	-	-	-	-	1,5886	1,5549	1,6082	1,7391	1,6266	1,4822	1,5379	1,723
			Pt 2	-	-	-	-	1,6905	1,6975	1,5138	1,7207	1,631	1,4631	1,3914	1,6567
			Pt 3	-	-	-	-	1,6113	1,602	1,5359	1,8333	1,6328	1,5338	1,4538	1,6186
L U I Z A N T Ô N I O	Cerradão 1	Razão 3:8	Pt 1	1,6175	1,7992	1,7511	1,8106	1,6366	1,6518	1,6421	1,751	1,6704	1,6454	1,5426	1,8925
			Pt 2	1,6204	1,77	1,7756	1,8433	1,5883	1,5916	1,5677	1,6326	1,6252	1,4299	1,5498	1,773
			Pt 3	1,6485	1,7598	1,5234	1,6763	1,6402	1,6479	1,6172	1,7075	1,6644	1,5801	1,5133	1,7768
	Cerradão 2	Razão 3:8	Pt 1	1,6287	1,7952	1,7896	1,8752	1,6282	1,6419	1,6003	1,7855	1,6215	1,4661	1,5032	1,7836
			Pt 2	1,6184	1,791	1,7173	1,8371	1,6288	1,6704	1,6491	1,7762	1,6691	1,5787	1,2995	1,5943
			Pt 3	1,5875	1,7438	1,6314	1,7483	1,6192	1,6175	1,6756	1,8522	1,6561	1,5779	1,4998	1,7531
	Cerrado SS	Razão 3:8	Pt 1	-	-	-	-	1,7153	1,7749	1,5277	1,6407	1,6605	1,564	1,5622	1,7703
			Pt 2	-	-	-	-	1,6163	1,5895	1,6167	1,7054	1,6467	1,5651	1,4764	1,6607
			Pt 3	-	-	-	-	1,6773	1,7142	1,5976	1,6407	1,6742	1,5511	1,5743	1,8981
	Campo Sujo	Razão 3:8	Pt 1	-	-	-	-	1,6437	1,6542	1,5502	1,7817	1,6564	1,5336	1,5935	1,9836
			Pt 2	-	-	-	-	1,6689	1,6357	1,5477	1,7847	1,6397	1,5149	1,3576	1,6283
			Pt 3	-	-	-	-	1,6127	1,5916	1,4479	1,6938	1,6902	1,6312	1,5379	1,723

Tabela 6 – Valores de dimensão fractal para espectros das áreas da E.E.Jataí.

Local	Fisionomia	Bandas	Ponto	10X (400 pixels)	20X (100 pixels)	40X (25 pixels)
				Regularization dimension	Regularization dimension	Regularization dimension
				Least Sq	Least Sq	Least Sq
L U I Z A N T Ô N I O	Cerradão 1	231	Pt 1	1,7385	1,7390	1,7390
			Pt 2	1,7459	1,7522	1,7607
			Pt 3	1,7632	1,7737	1,7682
	Cerradão 2	231	Pt 1	1,7002	1,7088	1,7401
			Pt 2	1,7401	1,7427	1,7581
			Pt 3	1,7082	1,7027	1,7045
	Cerrado SS	231	Pt 1	-	1,6119	1,6071
			Pt 2	-	1,6060	1,6131
			Pt 3	-	1,5903	1,5955
	Campo sujo	231	Pt 1	-	1,5942	1,5789
			Pt 2	-	1,5923	1,5786
			Pt 3	-	1,5851	1,5735

Tabela 7 – Valores de medidas de complexidade para imagens das áreas da E.E.Jataí.

Local	Fisionomia	Bandas	Ponto	10X (400 pixels)			20X (100 pixels)			40X (25 pixels)		
				Entropia (H)	Complexidade (C)	H/Hmax	Entropia (H)	Complexidade (C)	H/Hmax	Entropia (H)	Complexidade (C)	H/Hmax
L U I Z A N T Ô N I O	Cerradão 1	231	Pt 1	1,0168	0,1109	0,1271	1,0745	0,1163	0,1343	0,4722	0,0555	0,0590
			Pt 2	1,2443	0,1313	0,1555	1,0063	0,1100	0,1258	0,4331	0,0512	0,0541
			Pt 3	1,4363	0,1473	0,1795	1,0451	0,1136	0,1306	0,4654	0,0548	0,0582
	Cerradão 2	231	Pt 1	1,8362	0,1768	0,2295	1,1755	0,1253	0,1469	0,4605	0,0542	0,0576
			Pt 2	1,0444	0,1135	0,1306	1,0734	0,1162	0,1342	0,4761	0,056	0,0595
			Pt 3	1,2911	0,1353	0,1614	1,0726	0,1161	0,1341	0,4646	0,0547	0,0581
	Cerrado SS	231	Pt 1				1,8847	0,1861	0,2356	0,6151	0,071	0,0769
			Pt 2				1,6385	0,1629	0,2048	0,5755	0,0668	0,0719
			Pt 3				2,0653	0,1915	0,2582	0,6255	0,0721	0,0782
	Campo sujo	231	Pt 1				1,6181	0,1613	0,2023	0,575	0,0667	0,0719
			Pt 2				1,6884	0,1665	0,2111	0,4948	0,058	0,0619
			Pt 3				1,6481	0,1636	0,2060	0,5922	0,0685	0,0740
L U I Z A N T Ô N I O	Cerradão 1	Razão 3:8	Pt 1	5,7012	0,2048	0,7127	2,1289	0,1953	0,2661	0,7021	0,0801	0,0878
			Pt 2	5,3353	0,2221	0,6669	1,9488	0,1843	0,2436	0,6002	0,0694	0,0750
			Pt 3	5,8654	0,1956	0,7332	2,0275	0,1892	0,2534	0,666	0,0763	0,0833
	Cerradão 2	Razão 3:8	Pt 1	5,3935	0,2197	0,6742	1,9591	0,1849	0,2449	0,6366	0,0732	0,0796
			Pt 2	5,4275	0,2182	0,6784	2,0982	0,1935	0,2623	0,6924	0,0791	0,0866
			Pt 3	5,0546	0,2326	0,6318	2,0946	0,1933	0,2618	0,6738	0,0771	0,0842
	Cerrado SS	Razão 3:8	Pt 1				2,1065	0,1940	0,2633	0,6265	0,0722	0,0783
			Pt 2				1,8707	0,1792	0,2338	0,5898	0,0683	0,0737
			Pt 3				2,1043	0,1938	0,2630	0,6206	0,0716	0,0776
	Campo sujo	Razão 3:8	Pt 1				1,9550	0,1847	0,2444	0,6288	0,0724	0,0786
			Pt 2				1,9835	0,1865	0,2479	0,5795	0,0672	0,0724
			Pt 3				1,8320	0,1766	0,2290	0,6044	0,0698	0,0756
L U I Z A N T Ô N I O	Cerradão 1	Razão 3:9	Pt 1	5,3440	0,2218	0,6680	2,0419	0,1901	0,2552	0,6578	0,0755	0,0822
			Pt 2	5,3425	0,2218	0,6678	1,9861	0,1866	0,2483	0,5936	0,0687	0,0742
			Pt 3	5,9689	0,1894	0,7461	2,0473	0,1904	0,2559	0,6846	0,0782	0,0856
	Cerradão 2	Razão 3:9	Pt 1	4,8659	0,2383	0,6082	1,8692	0,1791	0,2337	0,6127	0,0707	0,0766
			Pt 2	4,6849	0,2427	0,5856	1,9165	0,1822	0,2396	0,628	0,0723	0,0785
			Pt 3	5,1501	0,2293	0,6438	1,9872	0,1867	0,2484	0,6099	0,0704	0,0762
	Cerrado SS	Razão 3:9	Pt 1				1,9236	0,1826	0,2405	0,5875	0,068	0,0734
			Pt 2				1,7754	0,1727	0,2219	0,563	0,0654	0,0704
			Pt 3				2,0294	0,1893	0,2537	0,6146	0,0709	0,0768
	Campo sujo	Razão 3:9	Pt 1				1,8586	0,1783	0,2323	0,624	0,0719	0,0780
			Pt 2				1,8701	0,1791	0,2338	0,5863	0,0679	0,0733
			Pt 3				1,7623	0,1718	0,2203	0,5623	0,0654	0,0703
L U I Z A N T Ô N I O	Cerradão 1	NDVI	Pt 1	4,8236	0,2394	0,6030	1,9433	0,1839	0,2429	0,6474	0,0744	0,0809
			Pt 2	5,0189	0,2338	0,6274	1,8606	0,1785	0,2326	0,6284	0,0724	0,0786
			Pt 3	5,3292	0,2224	0,6662	1,9569	0,1848	0,2446	0,6504	0,0747	0,0813
	Cerradão 2	NDVI	Pt 1	5,3511	0,2215	0,6689	2,0668	0,1916	0,2584	0,6206	0,0716	0,0776
			Pt 2	4,8631	0,2384	0,6079	1,9980	0,1874	0,2498	0,6846	0,0782	0,0856
			Pt 3	4,6663	0,2431	0,5833	1,8761	0,1795	0,2345	0,6441	0,0740	0,0805
	Cerrado SS	NDVI	Pt 1				2,2801	0,2038	0,2850	0,6943	0,0793	0,0868
			Pt 2				2,0787	0,1923	0,2598	0,6470	0,0743	0,0809
			Pt 3				2,4150	0,2107	0,3019	0,6968	0,0795	0,0871
	Campo sujo	NDVI	Pt 1				2,3329	0,2066	0,2916	0,7002	0,0799	0,0875
			Pt 2				2,2800	0,2038	0,2850	0,6270	0,0722	0,0784
			Pt 3				2,1873	0,1987	0,2734	0,6968	0,0795	0,0871

Tabela 8 – Valores de medidas de complexidade para espectros das áreas da E.E.Jataí.

Local	Fisionomia	Banda	Ponto	Entropia (H)	Complexidade (C)	H/Hmax	Entropia (H)	Complexidade (C)	H/Hmax	Entropia (H)	Complexidade (C)	H/Hmax
L U I Z A N T Ô N I O	Cerradão 1	8	Pt 1	1,2613	0,1479	0,1845	1,4337	0,1631	0,2051	1,3593	0,1695	0,2163
			Pt 2	1,2830	0,1499	0,1836	1,1167	0,1461	0,1777	0,7219	0,1179	0,1366
			Pt 3	1,2499	0,1364	0,1629	1,2733	0,1583	0,1971	1,4396	0,1732	0,2229
	Cerradão 2	8	Pt 1	1,6893	0,1767	0,2293	1,1830	0,1427	0,1725	0,9896	0,1522	0,1872
			Pt 2	1,2222	0,1465	0,1782	1,1972	0,1542	0,1905	1,1239	0,1468	0,1788
			Pt 3	1,3531	0,1689	0,2153	1,5778	0,1880	0,2510	1,5827	0,1884	0,2518
	Cerrado SS	8	Pt 1	-	-	-	2,8245	0,2244	0,3400	1,7596	0,1905	0,2561
			Pt 2	-	-	-	2,1844	0,2048	0,2874	1,4270	0,1755	0,2270
			Pt 3	-	-	-	3,2445	0,2329	0,3691	2,2170	0,2055	0,2890
	Campo sujo	8	Pt 1	-	-	-	2,0025	0,1979	0,2718	1,4729	0,1760	0,2280
			Pt 2	-	-	-	2,1766	0,1960	0,2676	1,6212	0,1803	0,2360
	L U I Z A N T Ô N I O	Cerradão 1	9	Pt 1	1,3188	0,1693	0,2159	1,2622	0,1639	0,2066	1,3593	0,1730
Pt 2				1,5629	0,1788	0,2333	1,5490	0,1893	0,2536	1,3109	0,1685	0,2146
Pt 3				1,5244	0,1685	0,2144	1,1830	0,1558	0,1930	1,4396	0,1797	0,2349
Cerradão 2		9	Pt 1	1,4821	0,1725	0,2217	0,9988	0,1568	0,1947	0,7219	0,1209	0,1407
			Pt 2	1,2908	0,1558	0,1930	1,3706	0,1630	0,2050	0,7219	0,1209	0,1407
			Pt 3	1,3687	0,1703	0,2178	1,1656	0,1544	0,1908	1,1830	0,1562	0,1937
Cerrado SS		9	Pt 1	-	-	-	2,2632	0,2023	0,2815	0,9044	0,1443	0,1749
			Pt 2	-	-	-	1,4946	0,1707	0,2183	0,9988	0,1481	0,1808
			Pt 3	-	-	-	2,7942	0,2252	0,3426	1,9027	0,1941	0,2636
Campo sujo		9	Pt 1	-	-	-	1,2688	0,1510	0,1853	0,9896	0,1464	0,1782
			Pt 2	-	-	-	1,7031	0,1803	0,2359	1,2244	0,1558	0,1931
			Pt 3	-	-	-	1,6605	0,1837	0,2426	1,4729	0,1830	0,2411
L U I Z A N T Ô N I O	Cerradão 1	Rz3:8	Pt 1	4,3016	0,2137	0,6906	4,1978	0,2175	0,6804	3,9133	0,2245	0,6598
			Pt 2	4,0662	0,2310	0,6378	3,6329	0,2274	0,6505	2,7903	0,2445	0,5744
			Pt 3	4,4249	0,2204	0,6720	3,8892	0,2331	0,6299	3,5737	0,2421	0,5891
	Cerradão 2	Rz3:8	Pt 1	4,1188	0,2233	0,6633	3,7429	0,2335	0,6286	3,1631	0,2352	0,6217
			Pt 2	4,0998	0,2229	0,6645	3,9667	0,2176	0,6801	3,7337	0,2296	0,6429
			Pt 3	3,8426	0,2248	0,6588	4,0060	0,2060	0,7098	3,5435	0,2253	0,6571
	Cerrado SS	Rz3:8	Pt 1	-	-	-	3,7899	0,1868	0,7513	2,9991	0,1784	0,7676
			Pt 2	-	-	-	3,4328	0,1830	0,7589	2,6831	0,2081	0,7047
			Pt 3	-	-	-	4,0308	0,1413	0,8297	2,9991	0,2076	0,7060
	Campo sujo	Rz3:8	Pt 1	-	-	-	3,7043	0,1721	0,7790	2,9991	0,2234	0,6630
			Pt 2	-	-	-	3,7129	0,2280	0,6482	3,0449	0,1458	0,8228
			Pt 3	-	-	-	3,2922	0,1567	0,8054	2,8676	0,1418	0,8289

Tabela 9 – Valores de dimensão fractal para imagens das áreas das E.E.Itirapina.

Local	Fisionomia	Bandas	Ponto	10X (400 pixels)				20X (100 pixels)				40X (25 pixels)			
				Box Dimension				Box Dimension				Box Dimension			
				Box method		Variation method		Box method		Variation method		Box method		Variation method	
Least Sq	Max Sem	Least Sq	Max Sem	Least Sq	Max Sem	Least Sq	Max Sem	Least Sq	Max Sem	Least Sq	Max Sem				
I T I R A P I N A	Cerradão 1	231	Pt 1	1,6657	1,8194	1,675	1,7547	1,6176	1,6487	1,4236	1,5152	1,6362	1,5207	1,567	1,8773
			Pt 2	1,6107	1,7819	1,6801	1,738	1,6405	1,671	1,6336	1,7308	1,6636	1,5389	1,5829	1,9362
			Pt 3	1,6544	1,8189	1,6764	1,7892	1,5941	1,5783	1,5655	1,715	1,6119	1,5329	1,5573	1,8823
	CerradoSS	231	Pt 1	1,6703	1,807	1,6729	1,7194	1,6809	1,7102	1,6413	1,8291	1,6881	1,6051	1,5562	1,843
			Pt 2	1,6359	1,7947	1,5827	1,6541	1,6392	1,8067	1,6392	1,8067	1,6494	1,5803	1,5877	1,8021
			Pt 3	1,6571	1,8029	1,6704	1,7367	1,6357	1,6266	1,4754	1,6407	1,6432	1,5136	1,4524	1,7278
	Campo cerrado	231	Pt 1	1,6284	1,8376	1,6078	1,6973	1,6139	1,6425	1,6894	1,8098	1,6324	1,5314	1,4832	1,7267
			Pt 2	1,6359	1,7947	1,5827	1,6541	1,6301	1,6881	1,5183	1,6493	1,6326	1,4846	1,3406	1,6549
			Pt 3	1,6571	1,8029	1,6704	1,7367	1,6521	1,6887	1,6582	1,8049	1,6835	1,616	1,4243	1,6764
	Campo sujo	231	Pt 1	1,6302	1,8029	1,6546	1,7467	1,643	1,6682	1,6677	1,7568	1,6491	1,5887	1,5151	1,8304
			Pt 2	1,6525	1,7562	1,6578	1,7236	1,6588	1,6508	1,5157	1,6248	1,6324	1,494	1,4195	1,6747
			Pt 3	1,6565	1,7829	1,6289	1,6841	1,6216	1,6666	1,5922	1,6769	1,6526	1,5698	1,5638	1,8856
I T I R A P I N A	Cerradão 1	NDVI	Pt 1	1,6776	1,8177	1,6756	1,7844	1,6375	1,6461	1,6884	1,8046	1,657	1,5512	1,3273	1,6564
			Pt 2	1,6192	1,7865	1,6676	1,7338	1,6199	1,6256	1,5265	1,8098	1,6242	1,4797	1,4398	1,6749
			Pt 3	1,632	1,8038	1,5984	1,6661	1,6047	1,6459	1,6015	1,7136	1,6315	1,565	1,6051	1,9434
	CerradoSS	NDVI	Pt 1	1,6709	1,7965	1,4078	1,485	1,6454	1,6611	1,5443	1,6575	1,6681	1,6149	1,3554	1,6639
			Pt 2	1,6543	1,7714	1,5712	1,647	1,6687	1,6964	1,6365	1,821	1,6288	1,4953	1,4753	1,689
			Pt 3	1,6609	1,7875	1,4879	1,592	1,6636	1,6941	1,6193	1,7474	1,6698	1,6059	1,5622	1,7703
	Campo cerrado	NDVI	Pt 1	1,608	1,7637	1,835	1,8951	1,6252	1,6794	1,4995	1,5599	1,6173	1,4139	1,4951	1,8092
			Pt 2	1,6438	1,7919	1,6325	1,6694	1,6074	1,6301	1,6803	1,8196	1,626	1,4817	1,6231	1,8152
			Pt 3	1,6786	1,7881	1,6148	1,7034	1,6125	1,6093	1,6015	1,7136	1,6526	1,6077	1,4908	1,7761
	Campo sujo	NDVI	Pt 1	1,6242	1,7605	1,6849	1,7759	1,6141	1,6212	1,5859	1,6972	1,6414	1,5391	1,4834	1,7498
			Pt 2	1,6157	1,7264	1,7627	1,8273	1,6452	1,6663	1,5719	1,6689	1,7016	1,6446	1,4179	1,6883
			Pt 3	1,6206	1,7416	1,6825	1,7673	1,6257	1,66	1,6864	1,8083	1,6384	1,5736	1,591	1,8052
I T I R A P I N A	Cerradão 1	Razão 3:9	Pt 1	1,5989	1,7536	1,7626	1,8571	1,6477	1,6548	1,5605	1,668	1,662	1,5211	1,4266	1,7492
			Pt 2	1,623	1,7885	1,5787	1,6009	1,6076	1,6353	1,4882	1,5849	1,658	1,5665	1,4559	1,7611
			Pt 3	1,6053	1,7773	1,6319	1,7069	1,6044	1,6124	1,4984	1,6089	1,6382	1,5538	1,3647	1,6231
	CerradoSS	Razão 3:9	Pt 1	1,6458	1,7273	1,3805	1,4387	1,6094	1,5936	1,5656	1,6664	1,6949	1,6035	1,3975	1,6255
			Pt 2	1,6614	1,7911	1,5941	1,6905	1,6369	1,6581	1,5486	1,7524	1,6306	1,5173	1,6291	1,8542
			Pt 3	1,6595	1,8444	1,4307	1,517	1,6508	1,6761	1,5452	1,7324	1,6842	1,6329	1,3679	1,6475
	Campo cerrado	Razão 3:9	Pt 1	1,6255	1,8059	1,8245	1,9161	1,614	1,6711	1,5175	1,6193	1,6623	1,5764	1,3036	1,728
			Pt 2	1,6377	1,8008	1,5069	1,5949	1,6302	1,6919	1,6361	1,8105	1,5972	1,4436	1,3954	1,6642
			Pt 3	1,6456	1,7927	1,6459	1,7135	1,6622	1,6824	1,676	1,7915	1,648	1,5118	1,5171	1,793
	Campo sujo	Razão 3:9	Pt 1	1,5722	1,7124	1,6256	1,7046	1,5941	1,5939	1,6184	1,7382	1,667	1,5598	1,5412	1,8773
			Pt 2	1,648	1,8012	1,5678	1,6	1,6226	1,6436	1,5299	1,6641	1,641	1,5766	1,5384	1,8733
			Pt 3	1,5722	1,7124	1,6256	1,7046	1,5941	1,5939	1,6184	1,7382	1,6667	1,5598	1,5412	1,8773
I T I R A P I N A	Cerradão 1	Razão 3:8	Pt 1	1,6907	1,8254	1,6462	1,7398	1,6659	1,6996	1,5582	1,6529	1,6237	1,4581	1,3436	1,6787
			Pt 2	1,6309	1,8164	1,6325	1,6896	1,623	1,6356	1,5237	1,6007	1,6691	1,605	1,5702	1,7951
			Pt 3	1,6286	1,8032	1,5675	1,6293	1,6222	1,6699	1,665	1,8505	1,6121	1,5076	1,5048	1,7708
	CerradoSS	Razão 3:8	Pt 1	1,6667	1,7338	1,3544	1,4136	1,64	1,6744	1,4627	1,5735	1,636	1,5497	1,304	1,7464
			Pt 2	1,6388	1,7355	1,4646	1,5322	1,6274	1,607	1,5359	1,7353	1,6505	1,5703	1,3681	1,6165
			Pt 3	1,6677	1,7653	1,5496	1,6303	1,6606	1,6762	1,5571	1,6941	1,6889	1,6192	1,3455	1,6828
	Campo cerrado	Razão 3:8	Pt 1	1,605	1,7941	1,8174	1,91	1,6044	1,6309	1,664	1,8768	1,6458	1,5702	1,5926	1,9792
			Pt 2	1,6642	1,8233	1,7072	1,8192	1,6113	1,63	1,508	1,6152	1,6272	1,4702	1,5716	1,8854
			Pt 3	1,6342	1,7823	1,6657	1,7831	1,6343	1,6581	1,6502	1,7335	1,64	1,5133	1,5023	1,7777
	Campo sujo	Razão 3:8	Pt 1	1,6071	1,7411	1,5106	1,542	1,6067	1,5924	1,4669	1,5331	1,6221	1,4672	1,4965	1,8176
			Pt 2	1,621	1,7642	1,6135	1,7291	1,6357	1,6437	1,5775	1,7169	1,6168	1,4891	1,4645	1,6719
			Pt 3	1,6689	1,844	1,5679	1,6418	1,6153	1,6307	1,5701	1,6621	1,6313	1,5096	1,4341	1,681

Tabela 10 – Valores de dimensão fractal para espectros das áreas das E.E.Itirapina.

Local	Fisionomia	Bandas	Ponto	10X (400 pixels)	20X (100 pixels)	40X (25 pixels)
				Regularization dimension	Regularization dimension	Regularization dimension
				Least Sq	Least Sq	Least Sq
A S S I S	Cerradão 1	231	Pt 1	1,647	1,6701	1,6837
			Pt 2	1,691	1,6883	1,6951
			Pt 3	1,676	1,6701	1,6707
	CerradoSS	231	Pt 1	1,6043	1,6009	1,5962
			Pt 2	1,6329	1,6251	1,6282
			Pt 3	1,6383	1,6442	1,6661
	Campo cerrado	231	Pt 1	1,4897	1,4954	1,4887
			Pt 2	1,458	1,4535	1,4525
			Pt 3	1,4683	1,4713	1,471
	Campo sujo	231	Pt 1	1,493	1,4917	1,4857
			Pt 2	1,5012	1,5024	1,504
			Pt 3	1,5195	1,5238	1,5217

Tabela 11 – Valores de medidas de complexidade para imagens das áreas das E.E.Itirapina.

Local	Fisionomia	Bandas	Ponto	10X (400 pixels)			20X (100 pixels)			40X (25 pixels)		
				Entropia (H)	Complexidade (C)	H/Hmax	Entropia (H)	Complexidade (C)	H/Hmax	Entropia (H)	Complexidade (C)	H/Hmax
I T I R A P I N A	Cerradão 1	231	Pt 1	2,5623	0,2177	0,3203	1,4262	0,1465	0,1783	0,5658	0,0657	0,0707
			Pt 2	1,9374	0,1835	0,2422	1,2617	0,1328	0,1577	0,4874	0,0572	0,0609
			Pt 3	2,524	0,216	0,3155	1,3709	0,1420	0,1714	0,5376	0,0627	0,0672
	Cerrado SS	231	Pt 1	4,6033	0,2443	0,5754	1,7637	0,1719	0,2205	0,6036	0,0698	0,0755
			Pt 2	4,123	0,2498	0,5154	1,7093	0,1680	0,2137	0,5552	0,0646	0,0694
			Pt 3	3,6168	0,2477	0,4521	1,4777	0,1506	0,1847	0,5532	0,0644	0,0692
	Campo Cerrado	231	Pt 1	2,3914	0,2096	0,2989	1,2631	0,1330	0,1579	0,5105	0,0597	0,0638
			Pt 2	4,123	0,2498	0,5154	1,4149	0,1456	0,1769	0,5423	0,0632	0,0678
			Pt 3	3,6168	0,2477	0,4521	1,4934	0,1518	0,1867	0,5722	0,0664	0,0715
	Campo sujo	231	Pt 1	2,6089	0,2198	0,3261	1,3521	0,1405	0,1690	0,5187	0,0606	0,0648
			Pt 2	2,9489	0,2327	0,3686	1,5629	0,1572	0,1954	0,5466	0,0637	0,0683
			Pt 3	3,4303	0,2449	0,4288	1,4870	0,1513	0,1859	0,5341	0,0623	0,0668
I T I R A P I N A	Cerradão 1	Razão 3:8	Pt 1	7,2041	0,0896	0,9005	2,4102	0,2195	0,3013	0,6816	0,0779	0,0852
			Pt 2	6,7475	0,1321	0,8434	2,1322	0,1955	0,2665	0,6455	0,0742	0,0807
			Pt 3	7,0906	0,1008	0,8863	2,3960	0,2098	0,2995	0,7158	0,0815	0,0895
	Cerrado SS	Razão 3:8	Pt 1	7,34	0,0757	0,9175	2,3251	0,2062	0,2906	0,6675	0,0765	0,0834
			Pt 2	6,5252	0,1504	0,8157	2,0944	0,1933	0,2618	0,6366	0,0732	0,0796
			Pt 3	6,0433	0,1848	0,7554	2,1444	0,1962	0,2681	0,6474	0,0744	0,0809
	Campo Cerrado	Razão 3:8	Pt 1	4,0796	0,2499	0,5100	1,6621	0,1646	0,2078	0,5693	0,0661	0,0712
			Pt 2	4,4465	0,2469	0,5558	1,7713	0,1724	0,2214	0,5941	0,0687	0,0743
			Pt 3	5,3282	0,2224	0,6660	1,9851	0,1866	0,2481	0,6314	0,0727	0,0789
	Campo sujo	Razão 3:8	Pt 1	3,6901	0,2485	0,4613	1,6451	0,1633	0,2056	0,5513	0,0642	0,0689
			Pt 2	5,2499	0,2256	0,6562	1,9891	0,1868	0,2486	0,6158	0,071	0,0770
			Pt 3	5,5397	0,213	0,6925	1,9700	0,1856	0,2463	0,6548	0,0752	0,0819
I T I R A P I N A	Cerradão 1	Razão 3:9	Pt 1	7,0145	0,108	0,8768	2,3433	0,2071	0,2929	0,6865	0,0784	0,0858
			Pt 2	6,9462	0,1144	0,8683	2,2769	0,2036	0,2846	0,6734	0,0771	0,0842
			Pt 3	6,9313	0,1157	0,8664	2,3567	0,2078	0,2946	0,7158	0,0815	0,0895
	Cerrado SS	Razão 3:9	Pt 1	7,2808	0,0818	0,9101	2,2332	0,2012	0,2792	0,6538	0,075	0,0817
			Pt 2	6,4953	0,1527	0,8119	2,0265	0,1891	0,2533	0,6469	0,0743	0,0809
			Pt 3	6,2425	0,1714	0,7803	2,1839	0,1985	0,2730	0,7188	0,0818	0,0899
	Campo Cerrado	Razão 3:9	Pt 1	4,2926	0,2487	0,5366	1,8063	0,1748	0,2258	0,5583	0,0681	0,0698
			Pt 2	4,8864	0,2377	0,6108	1,9732	0,1858	0,2467	0,6366	0,0732	0,0796
			Pt 3	5,534	0,2132	0,6918	1,9912	0,1869	0,2489	0,6474	0,0744	0,0809
	Campo sujo	Razão 3:9	Pt 1	4,7526	0,2411	0,5941	1,9977	0,1874	0,2497	0,6485	0,0745	0,0811
			Pt 2	5,479	0,2158	0,6849	2,0248	0,1890	0,2531	0,6392	0,0735	0,0799
			Pt 3	5,954	0,1903	0,7443	2,0921	0,1931	0,2615	0,6441	0,074	0,0805
I T I R A P I N A	Cerradão 1	NDVI	Pt 1	5,7031	0,2047	0,7129	2,1083	0,1941	0,2635	0,6515	0,0748	0,0814
			Pt 2	5,0345	0,2333	0,6293	1,8950	0,1808	0,2369	0,5828	0,0675	0,0729
			Pt 3	5,3568	0,2212	0,6696	1,9908	0,1869	0,2489	0,6366	0,0732	0,0796
	Cerrado SS	NDVI	Pt 1	5,8621	0,1958	0,7328	2,0084	0,1880	0,2511	0,647	0,0743	0,0809
			Pt 2	5,2624	0,2251	0,6578	1,8691	0,1791	0,2336	0,5672	0,0659	0,0709
			Pt 3	5,141	0,2297	0,6426	1,9124	0,1819	0,2391	0,6567	0,0754	0,0821
	Campo Cerrado	NDVI	Pt 1	3,9098	0,2499	0,4887	1,6217	0,1616	0,2027	0,5187	0,0606	0,0648
			Pt 2	4,7307	0,2417	0,5913	1,9261	0,1828	0,2408	0,6304	0,0726	0,0788
			Pt 3	5,1039	0,231	0,6380	1,8843	0,1801	0,2355	0,646	0,0742	0,0808
	Campo sujo	NDVI	Pt 1	4,5103	0,2459	0,5638	1,7940	0,1740	0,2243	0,5801	0,0673	0,0725
			Pt 2	4,4767	0,2464	0,5596	1,8458	0,1775	0,2307	0,5796	0,0672	0,0725
			Pt 3	4,7943	0,2401	0,5993	1,8099	0,1751	0,2262	0,6221	0,0717	0,0778

Tabela 12 – Valores de medidas de complexidade para espectros das áreas das E.E.Itirapina.

Local	Fisionomia	Banda	Ponto	Entropia (H)	Complexidade (C)	H/Hmax	Entropia (H)	Complexidade (C)	H/Hmax	Entropia (H)	Complexidade (C)	H/Hmax
A S S I S	Cerradão 1	8	Pt 1	2,3152	0,2074	0,2935	2,0093	0,2026	0,2822	1,4717	0,1707	0,2183
			Pt 2	1,7920	0,1882	0,2514	1,4487	0,1789	0,2333	1,4057	0,1751	0,2264
			Pt 3	2,2198	0,2056	0,2893	1,8610	0,1931	0,2614	1,4987	0,1865	0,2479
	CerradoSS	8	Pt 1	3,3628	0,2322	0,3666	2,8657	0,2249	0,3416	2,1231	0,2042	0,2859
			Pt 2	3,0599	0,2317	0,3648	2,6981	0,2225	0,3343	2,0049	0,2023	0,2816
			Pt 3	2,6584	0,2203	0,3276	2,1062	0,2032	0,2836	1,7913	0,1972	0,2792
	Campo cerrado	8	Pt 1	1,9746	0,1911	0,2574	1,5488	0,1770	0,2297	1,1975	0,1553	0,1922
			Pt 2	2,2840	0,2057	0,2895	2,1990	0,2084	0,2961	2,1739	0,2119	0,3049
			Pt 3	2,3778	0,2078	0,2946	2,1476	0,2016	0,2799	1,7370	0,1913	0,2577
	Campo sujo	8	Pt 1	1,8501	0,1872	0,2494	1,8806	0,1959	0,2654	1,5830	0,1818	0,2388
			Pt 2	2,3340	0,2083	0,2959	2,2793	0,2127	0,3069	1,7566	0,1927	0,2606
			Pt 3	2,3743	0,2010	0,2787	1,9829	0,1957	0,2670	2,1503	0,2057	0,2896
A S S I S	Cerradão 1	9	Pt 1	1,9278	0,2014	0,2796	1,6785	0,1911	0,2573	1,6027	0,1853	0,2457
			Pt 2	1,7956	0,1926	0,2604	1,7573	0,1899	0,2549	1,9846	0,2050	0,2878
			Pt 3	1,8560	0,1967	0,2692	1,5987	0,1853	0,2457	1,5713	0,1832	0,2415
	CerradoSS	9	Pt 1	2,9732	0,2270	0,3483	2,5538	0,2255	0,3435	2,1773	0,2071	0,2929
			Pt 2	2,6361	0,2185	0,3225	2,0712	0,2011	0,2789	2,0849	0,2076	0,2942
			Pt 3	2,2815	0,2128	0,3072	2,0026	0,2063	0,2910	1,9553	0,2034	0,2841
	Campo cerrado	9	Pt 1	1,8133	0,1886	0,2522	1,8182	0,1942	0,2637	1,4396	0,1824	0,2399
			Pt 2	2,2170	0,2093	0,2982	2,0968	0,2066	0,2916	2,1526	0,2149	0,3128
			Pt 3	2,3333	0,2153	0,3138	1,9946	0,2056	0,2893	1,7411	0,1957	0,2669
	Campo sujo	9	Pt 1	1,9515	0,1979	0,2718	2,0376	0,2084	0,2961	2,0325	0,2076	0,2940
			Pt 2	2,0779	0,2014	0,2795	1,8660	0,1974	0,2706	1,7739	0,1980	0,2719
			Pt 3	2,2794	0,2039	0,2853	1,8958	0,2089	0,2974	1,6329	0,1905	0,2561