

CRITICALIDADE AUTO-ORGANIZADA NO CERRADO? INVARIÂNCIA ESCALAR DOS PADRÕES TEXTURAIS E ESPECTRAIS DE FITOFISIONOMIAS DO CERRADO PAULISTA

Sérgio Henrique Vannucchi Leme de Mattos
Universidade Estadual de Campinas –
sergiohm@ige.unicamp.br

José Roberto Castilho Piqueira
Universidade de São Paulo

Luiz Eduardo Vicente
Embrapa – Monitoramento por Satélite

Archimedes Perez Filho
Universidade Estadual de Campinas

EIXO TEMÁTICO: BIOGEOGRAFIA E BIODIVERSIDADE

RESUMO: *Introdução e Justificativa:* Padrões presentes em uma paisagem podem estar associados importantes processos relativos à organização e dinâmica do sistema. ***Objetivo:*** O objetivo do presente trabalho foi avaliar, a partir de algumas métricas derivadas do paradigma da complexidade, a complexidade dos padrões texturais e espectrais de fisionomias do Cerrado paulista a fim de verificar quais propriedades relativas à sua organização e dinâmica tais padrões podem revelar. ***Metodologia:*** Para tanto, imagens do sensor Aster de três unidades de conservação do estado de São Paulo foram analisadas, utilizando-se dois tipos de medidas (dimensão fractal e medidas baseadas na entropia informacional) para avaliar a complexidade dos padrões texturais e espectrais das fisionomias. ***Resultados e discussão:*** Todas as fisionomias, nas três localidades estudadas e para todas as medidas usadas, apresentarem em diversas ocasiões a ocorrência de padrões texturais e espectrais que se repetem em diferentes escalas. 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. Mais do que isso, é um grande indicativo de que o sistema pode apresentar criticalidade auto-organizada.

Palavras-chave: Cerrado, complexidade, criticalidade auto-organizada, fisionomia, padrão.

ABSTRACT: *Introduction and Justification:* Landscape patterns might be associated with important processes related to organization and dynamics of a system. ***Objective:*** The objective of present paper was to evaluate – using some metrics derivated from paradigm of complexity – the complexity of textural and spectral patterns of Cerrado physiognomies as a way to verify which properties related to organization and dynamics of Cerrado those patterns can reveal. ***Methodology:*** For this, images from Aster sensor of three conservation reserves at State of São Paulo (Brazil) were analyzed, using two types of metrics (fractal dimension and measures based on informational entropy), to evaluate complexity of physiognomies' textural and spectral patterns. ***Results and discussion:*** All physiognomies – at the three studied localities and for all measures used – had showed in many occasions the presence of textural and spectral patterns which repeat themselves in different scales. The major implication of these results is related to inferences about Cerrado's dynamics: scalar invariance is a remarkable characteristic of systems which develop far of equilibrium. More than this, is a great indicative that system could present self-organized criticality (SOC).

Key-words: *Cerrado*, complexity, self-organized criticality, physiognomy, pattern.

JUSTIFICATIVA E PROBLEMÁTICA:

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 foram 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.

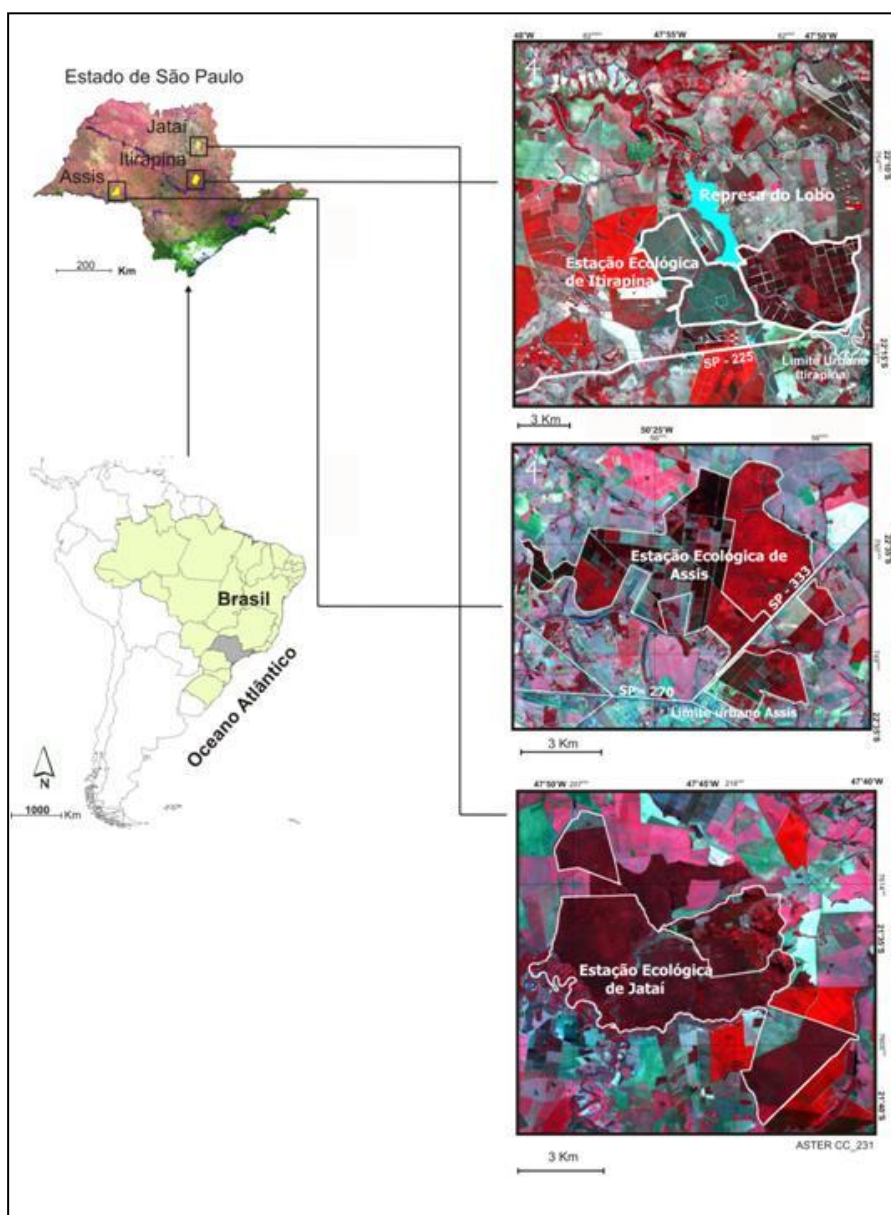
OBJETIVO:

Avaliar a complexidade dos padrões texturais e espectrais de imagens do sensor Aster de fisionomias do Cerrado paulista a fim de verificar quais propriedades relativas à sua organização e dinâmica tais padrões podem revelar.

MATERIAL E MÉTODOS:

Localidades de estudo:

Para atingir o objetivo 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: Estação Ecológica de Assis, E.E. de Itirapina e E.E de Jataí (Figura1).



1:
das

Figura
Localização
unidades de
conservação

de Assis, Itirapina e Luiz Antônio

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: 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).

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:

I) 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 extensões 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 interesse , 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 bandas de uma mesma cena: bandas 231, Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), razões de bandas 3/8 e 3/9.

Medidas de complexidade:

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).

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/H_{max} :

Essa medida considera que a complexidade aumenta em função do aumento da desordem do sistema (SHINER & DAVISON, 1999). 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).

Análise estatística dos dados:

Ao conjunto de dados gerados a partir do cálculo das dimensões fractais e medidas baseadas na entropia informacional 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).

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/fisionomia para diferentes extensões (escalas).

Em virtude do espaço limitado para redação do presente trabalho, serão apresentados somente os resultados diretamente relacionados à última análise citada – comparação entre padrões de diferentes extensões de uma mesma área/fisionomia – pois esses permitiram elaborar conjecturas interessantes a respeito da dinâmica do Cerrado¹.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

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, calculando-se as dimensões fractais e medidas baseadas na entropia informacional para as três extensões estudadas.

As comparações das médias de dimensão fractal de uma mesma fisionomia da E.E. Assis obtida para diferentes extensões de áreas mostraram que não houve diferença significativa entre as três extensões de cada área em vários casos, tanto em relação à análise textural como à espectral. 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. Esses resultados evidenciam a invariância escalar das fisionomias, mostrando que os padrões texturais e espectrais, avaliados a partir da dimensão fractal, são estatisticamente auto-similares.

No caso das medidas baseadas na entropia informacional aplicadas às fisionomias da E.E. Assis, as duas medidas também foram capazes de identificar padrões recursivos nas diferentes escalas, porém apenas na análise espectral. Isso ocorre pois, na análise textural, há perda significativa de informação ao se passar de uma escala a outra, devido à menor variação nos valores de níveis de cinza dos pixels.

Na Estação Ecológica de Jataí foram selecionadas quatro áreas para análise: duas com a fisionomia cerradão, uma de cerrado *stricto sensu* e outra de campo sujo. A análise textural da dimensão fractal 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.

¹ Todos os resultados da pesquisa podem ser encontrados na tese de MATTOS (2010) (disponível em: <http://cutter.unicamp.br/document/?code=000778175>)

Quanto às medidas baseadas na entropia informacional, também na E.E. Jataí apenas na análise espectral é que a invariância escalar foi detectada pelas medidas, 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 nesse tipo de análise.

Para Itirapina, foram selecionadas quatro áreas, cada qual correspondendo a um tipo diferente de fisionomia: cerradão, 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. Mais uma vez, as medidas de dimensão fractal aplicadas tanto à análise textural como à espectral captaram a auto-similaridade das fisionomias de Cerrado das E.E. de Itirapina.

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

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 comparações dos valores de cada fisionomia para todas as extensões são apresentadas nas Tabelas 1 a 3².

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 2). Já considerando apenas a análise espectral, percebe-se claramente pelas Tabelas 1 a 3 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.

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

O fato de todas as fisionomias, nas três localidades 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

² 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.

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.

Um resultado que merece atenção especial diz respeito a quais fisionomias foram mais frequentes a ausência de invariância escalar. Analisando-se as Tabelas 1 a 3, nota-se que, independente do tipo de

análise e método empregado, a “quebra” da invariância escalar ocorre bem mais frequentemente nas fisionomias cerrado e campo sujo do que no cerrado *ss*. Esse resultado repete o que já havia ocorrido para as análises isoladas de cada localidade, garantindo 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.

Tabela 1 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das medidas para as três extensões nas

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

diferentes localidades – cerrado.

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


CONCLUSÃO:

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. 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.

Tabela 2 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das medidas para as três extensões nas diferentes

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

localidades – cerrado *ss*.

Legenda:  : sem diferença significativa entre as duas médias comparadas


 : há diferença significativa entre as duas médias comparadas

Tabela 3 - Resultados do teste ANOVA para comparação entre médias das medidas para as três extensões nas

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	=	=	=	=	=	=

diferentes localidades – Campo sujo.

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

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ALLEN, T.F.H. & STARR, T.B. **Hierarchy: perspectives for ecological complexity**. Chicago: University of Chicago Press, 1982. 310p.
- 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.
- 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.
- FARINA, A. **Principles and methods in landscape ecology**. Londres: Chapman & Hall, 1998. 235p.
- 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.
- 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.
- KRONKA, F.J.N. et al. **Inventário florestal do estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto Florestal, 1993. 199p.
- 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.
- MATTOS, S.H.V.L. **Complexidade dos padrões espaciais e espectrais de fitofisionomias de Cerrado do estado de São Paulo**. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 2010.
- 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. et al. **Measuring complexity in three-trophic level systems**. *Ecological Modelling*, v.220, 2009. p.266-271.
- 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.
- 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.
- PIQUEIRA, J.R.C. et al. **Note on LMC complexity measure**. *Ecological Modelling*, v.222, 2011. p.3603-3604.
- 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.
- SHINER, J.S. & DAVISON, M. **Simple measure of complexity**. *Physical Review E*, v.59, n.2, p.1459-1464, 1999.

- 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.
- 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.