

Avaliação de métricas de complexidade aplicadas à análise de padrões espectrais de dados ASTER

Laura Barbosa Vedovato¹
Luiz Eduardo Vicente¹
José Roberto Castilho Piqueira²
Archimedes Perez Filho³
Sérgio Henrique Vannucchi Leme de Mattos³

¹Embrapa Monitoramento por Satélite
13070-115, Campinas –SP, Brasil
{laura,vicente}@cnpm.embrapa.br

² Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle, Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo,
05508-900 São Paulo, SP, Brazil

³Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas –
UNICAMP
13083-970, Campinas-SP, Brasil
{archi, sergiohm}@ige.unicamp.br

Abstract. The remote sensing has great importance as tool for data generation, using regular pixel matrices (picture element) with associated quantitative values, as digital numbers, radiance, reflectance which constitute a measurement of electromagnetic radiation (EMR) values after the interactions with the earth surface. The variation of spectral patterns happen when the EMR is considered along different wavelengths for a same pixel. The objective this paper was to assess the complexity of spectral patterns from the ASTER sensor images over *Cerrado* vegetation. The study area was Jataí Ecological Station (JES), in the city of Luiz Antônio, SP-Brazil. We choose two hillsides with *cerradão* phytophysionomies, and for each hillsides, was analyzed three positions: base, medium and top and each of these position, two spatial scales (150x150m and 75x75m) complexity values to patterns located in an intermediate zone between order and disorder. The measures can be represent two distinct spatial scales. To assess the complexity of spectral patterns, we utilized two metrics based in informational entropy concept, the SDL, in which most complexity values are associated to more disorderly patterns; and the measure LMC, which is represent by convex entropy of function that attributes greater used together to obtain results more completes about complexity of spectral patterns, as it show similar behavior to assign greater and lesser values of complexity to different areas of the same hillside in the same spatial scale.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, padrões espectrais, complexidade, remote sensing, spectral patterns, complexity. ASTER.

1. Introdução

O estudo da paisagem vem recebendo importantes contribuições teóricas e metodológicas do paradigma da complexidade (Bolliger et al. 2005; Farina 1998; Naveh & Lieberman, 1993). A partir delas, padrões complexos presentes na paisagem e seus processos geradores podem ser interpretados. Métricas associadas a esse paradigma, principalmente aquelas aplicadas aos estudos da paisagem por meio de sensoriamento remoto, têm sido cada vez mais utilizadas (Mattos, 2010).

O sensoriamento remoto possui grande importância para geração de dados, fornecendo diversos níveis de usos e ocupações da terra de maneira análoga para grandes áreas. Para isso, utiliza-se de matrizes regulares de pixels com valores quantitativos associados - tais como

números digitais, radiância e reflectância - os quais se constituem em medidas diretas da variação da Radiação Eletromagnética (REM) após interagir com o alvo. As variações dos valores dos pixels podem ser consideradas quanto aos seus padrões texturais, ao considerarmos as relações de vizinhança no pixel, ou espectrais, quando variações da REM são consideradas em diferentes comprimentos de onda para um mesmo pixel (Vicente, 2007).

Para o sensoriamento remoto e, por conseguinte, para os estudos de paisagem, o Cerrado, também chamado de savana brasileira, representa um desafio, já que é difícil a diferenciação de padrões espectrais deste para outros tipos de uso e cobertura da terra, como por exemplo, pastagens, floresta mesófila semidecidual. Ademais, este desafio está diretamente associado à grande variação fitofisionômica do Cerrado, sendo suas principais fisionomias: campo limpo e campo sujo (ou savana gramíneo-lenhosa), campo cerrado (ou savana arborizada), cerrado (ou savana) e cerradão (ou savana florestada) (Eiten, 1983; Veloso et al., 1991).

Importantes fatores de transição como o nível de nutrientes, tipos de solos, áreas queimadas, conformação lito-estrutural, influência climática e paleoclimática estão associadas a essas variações fitofisionômicas (Eiten, 1990; Goodland & Pollard, 1973). Estes atributos também servem como indicadores de vulnerabilidade do Cerrado em relação a processos de erosão, arenização e desertificação, principalmente porque essa vegetação ocupa com frequência solos extremamente frágeis (Goedert, 1985; Rodrigues et al., 1986).

2. Objetivos

O objetivo desse trabalho foi avaliar a complexidade dos padrões espectrais de imagem da vegetação de Cerrado obtida pelo sensor ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*).

3. Metodologia de Trabalho

Para análise dos padrões espectrais, foi escolhida uma área de Cerrado pertencente à Estação Ecológica de Jataí (EEJ), localizada no município de Luiz Antônio, no estado de São Paulo – Brasil (Figura 1) tendo como coordenada central $-21^{\circ} 36' 51''$ S e $-47^{\circ} 44' 29''$ W. Foi utilizada imagem de 14/06/2002 do sensor ASTER, o qual possui 14 bandas espectrais sendo que 3 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 que cobrem 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 (Hook et al. 1999).

O ASTER está preparado para cobrir as principais características espectrais da vegetação na região do VNIR, entre 0.52 e 0.86 μm , como clorofila, carotenóides e antocianina. Como diferencial encontra-se a ainda pouco explorada em sensores orbitais, região do SWIR, que possui 6 bandas (1.600 e 2.430 μm) associadas a variação de compostos bioquímicos genéricos da vegetação (e.g. lignina, celulose, amido) (Vicente, 2007; Perrotta, 2008) e água foliar (Serrano et al. 2000; Nagler et al. 2003).

Dessa forma, foram utilizadas neste estudo as bandas 8 para ênfase principalmente em lignino/celulose e a banda 9, para associação a variação de conteúdo de água foliar. Em hipótese, tais elementos apresentam maior presença e variabilidade nas diferentes fisionomias de cerrado, fornecendo uma melhor capacidade de discriminação entre os alvos (Vicente et

al., 2007). Na EEJ, a fisionomia de Cerrado predominante é o cerradão, havendo presença também de campo sujo e cerrado *stricto sensu*, além de outras formações vegetacionais.

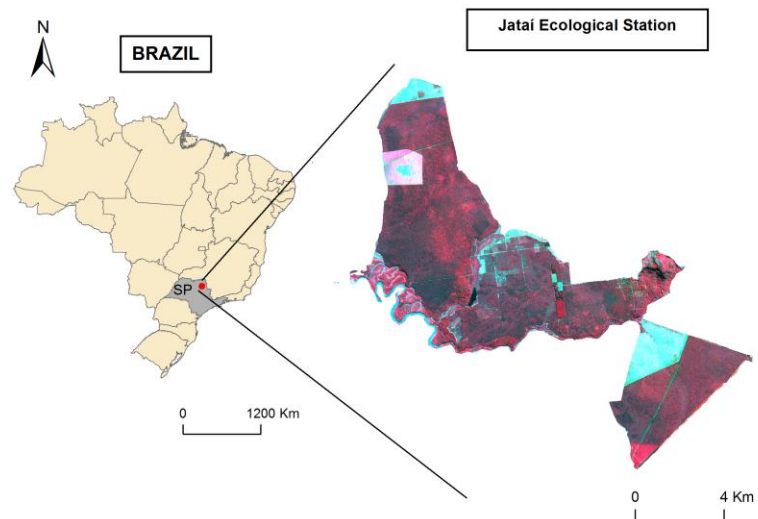


Figura 1. Área de estudo. Imagem ASTER, composição colorida 321

Para o estudo, foram escolhidas duas vertentes cobertas com fitofisionomia cerradão (Figura 2), sendo que em cada uma delas foram analisadas três áreas: topo, meio e base da vertente. Para cada área, extraíram-se dados para duas extensões: 150x150m e 75x75m, caracterizando duas escalas espaciais de estudo distintas.

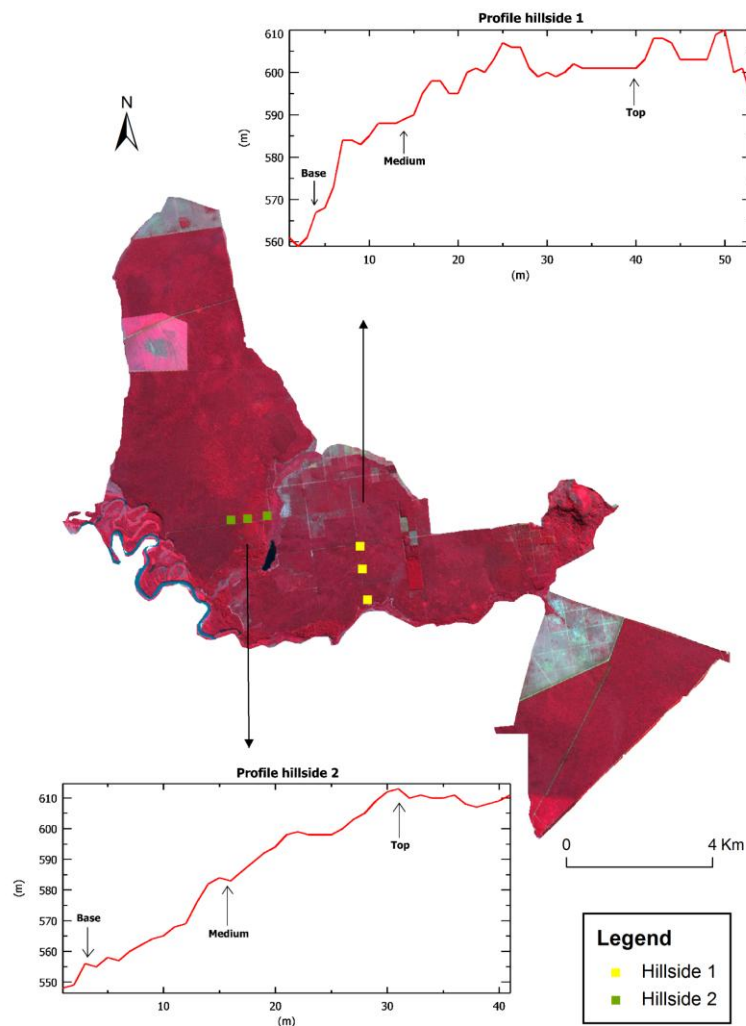


Figura 2. Localização das vertentes e seus respectivos perfis

Para avaliar a complexidade dos padrões espectrais das áreas seleccionadas, foram utilizadas duas métricas baseadas no conceito de entropia informacional:

3.1 Medida SDL:

Considera que a complexidade aumenta em função do aumento da desordem do sistema (Shiner & Davison, 1999). Para calculá-la, é necessário definir inicialmente o número total de estados possíveis do sistema, chamado de extensão do sistema (N). No caso do presente estudo, o valor da extensão do sistema (N) corresponde ao intervalo entre os valores mínimo e máximo de reflectância obtidos em cada banda analisada.

Por meio deste valor, pode-se calcular a entropia máxima do sistema H_{max} (a qual é alcançada quando todos os estados são equiprováveis), definida pela seguinte equação (Equação 1):

$$H_{max} = \log_2 N \quad (1)$$

Calculando-se a probabilidade de cada estado, p_i , a entropia informacional, H_e , associada à estrutura do sistema, é dada por (Equação 2):

$$H_e = \sum_{i=1}^N p_i \log (1/p_i) \quad (2)$$

Nesta pesquisa, a probabilidade de cada estado (p_i) foi considerada como equivalente à frequência relativa de cada valor de reflectância.

Deste modo, pode-se conseguir a medida de complexidade SDL dividindo-se a entropia informacional calculada, H_e , pela entropia máxima, H_{max} (Equação 3):

$$C = H_e/H_{max} \quad (3)$$

Nesta medida, valores altos de complexidade estão relacionados a estados desordenados, permitindo identificar se o sistema se encontra mais próximo à ordem ou à desordem.

3.2 Medida LMC:

Esta medida considera que a maior complexidade se encontra em uma região intermediária entre ordem e desordem, ou seja, a maior complexidade se encontra em um estado de heterogeneidade intermediária. Para obter essa medida, também se inicia calculando a extensão do sistema (N), a entropia máxima (H_{max}) e a entropia informacional associada à estrutura do sistema (H_e).

A complexidade dada pela medida LMC é dada por (Equação 4):

$$C = [1 - (H_e/H_{max})(H_e/H_{max})] \quad (4)$$

Como aponta Parrot (2005), paisagens complexas não são aquelas bem ordenadas e nem aquelas completamente desordenadas. Portanto, a medida LMC seria mais apropriada para medir a complexidade desses sistemas.

Essas medidas foram aplicadas aos valores obtidos a partir da curva de resposta espectral gerada pelo gráfico de comprimento de onda X reflectância, representando o comportamento do alvo em relação às diferentes bandas do espectro eletromagnético.

4. Resultados e Discussão

Nas tabelas 1 e 2, são apresentados os valores obtidos para as duas medidas usadas para avaliar a complexidade dos padrões espectrais da vegetação presente nas vertentes escolhidas.

Tabela 1: Valores de complexidades obtidos para as duas medidas, nas diferentes bandas e localizações da vertente 1.

		<i>150x150m</i>		<i>75x75m</i>		
		SDL	LMC	SDL	LMC	
Vertente 1	Banda 8	Topo	0.1882	0.1527	0.4552	0.0434
		Média	0.1378	0.1188	0.1699	0.141
		Base	0.2297	0.1769	0.227	0.1754
	Banda 9	Topo	0.193	0.1557	0.2293	0.1767
		Média	0.2356	0.1801	0.1929	0.1557
		Base	0.1993	0.1596	0.1899	0.1538

Tabela 2: Valores de complexidades obtidos para as duas medidas, nas diferentes bandas e localizações da vertente 2.

		<i>150x150m</i>		<i>75x75m</i>		
		SDL	LMC	SDL	LMC	
Vertente 2	Banda 8	Topo	0.1627	0.1362	0.1418	0.1217
		Média	0.2029	0.1617	0.1872	0.1521
		Base	0.2428	0.1838	0.2412	0.183
	Banda 9	Topo	0.2373	0.181	0.2385	0.1816
		Média	0.2055	0.1632	0.1749	0.1443
		Base	0.155	0.1309	0.1763	0.1452

Legenda			
■	Maior valor	■	Menor valor
■	Valor intermediário		

Para a extensão de 150x150m, considerando cada banda e vertente isoladamente, as duas medidas tiveram comportamentos iguais, atribuindo maiores e menores valores de complexidade para as mesmas áreas. Já na extensão de 75x75m, houve algumas diferenças entre as medidas, como por exemplo:

- na vertente 1, para a banda 8, para a medida SDL, o maior valor de complexidade se encontra no topo; no entanto, para a medida LMC, o maior valor se encontra na base;
- também nessa vertente e para a mesma banda, o menor valor de complexidade para a medida SDL está na área da média-vertente; para a medida LMC, o menor valor se encontra no topo.

Na vertente 2, os valores de complexidade para a extensão de 150x150m correspondem a quase todos os valores de complexidade da extensão de 75x75m.

Comparando os valores, houve os seguintes resultados:

- para os maiores valores de complexidade para diferentes áreas, na banda 8 a base da vertente apresentou maior complexidade para ambas as medidas e extensões, mas na banda 9 a maior complexidade está no topo da vertente.

- o valor intermediário de complexidade para as duas bandas, para as duas métricas de complexidade e as duas extensões encontra-se na média vertente.

- os menores valores de complexidade desta vertente, variaram entre as extensões, sendo que em 150x150m na banda 8 e para ambas as medidas se encontra no topo e já para a banda 9 e ambas medidas se localiza na base. O mesmo padrão ocorre para a extensão de 75x75m, porém na banda 9 houve uma diferença pois, o menor valor de complexidade se encontra na média vertente.

5. Conclusão

Esses resultados nos mostram que as medidas se comportam de forma complementar, demonstrando a partir da medida LMC o grau de heterogeneidade dos padrões espectrais analisados e a partir da medida SDL, as respectivas localizações dos estados mais ordenados (e, portanto mais homogêneos) e do outro lado estados mais desordenados ao longo do da vertente. Assim, elas podem ser usadas em conjunto para obter resultados mais completos sobre complexidade dos padrões espectrais associadas às diferentes fisionomias de Cerrado.

6. Referências bibliográficas

Bolliger, J. et al. Simulating the spatial and temporal dynamics of landscapes using generic and complex models. **Ecological Complexity**, v.2, p.107-116, 2005

Eiten, G. A vegetação do Cerrado. In: Pinto, M.L.N. (Org) **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. Brasília: Editora da Universidade de Brasília, 1990. 657p.

Eiten, G. **Caracterização da vegetação do Brasil**. Brasília: CNPQ, 1983. 305p.

Farina, A. **Principles and methods in landscape ecology**. Londres: Chapman & Hall, 1998. 235p.

Goedert, W. J. **Solos dos Cerrados: tecnologia e estratégias de manejo**. EMBRAPA/CPAC, Brasília, 1985. 422 p.

Goodland, R., & Pollard, R. The Brazilian cerrado vegetation: a fertility gradient. **Journal of Ecology**, v. 61, p. 219-224, 1973.

Hook, S. J.; Abbot, E. A.; Grove, C.; Kahle, A. B., & Palluconi, F. D. (1999). Use of multispectral thermal infrared data in geological studies. In: A. N. Rencz (Ed.). **Remote sensing of earth sciences: Manual of remote sensing**. . New York: John Wiley and Sons.1999. v.3. (3rd ed.), p. 59-110.

Mattos, S. H. V. L., **Complexidade dos padrões espaciais e espectrais de fitofisionomias de Cerrado no estado de São Paulo**. 2010. Tese de Doutorado. Inst. de Geociências. Universidade Estadual de Campinas. 2010.

Naveh, Z. & Lieberman, A. **Landscape ecology**. New York: Springer Verlag, 1994. 360p.

Parrot, L. Quantifying the complexity of simulated spatiotemporal population dynamics. **Ecological Complexity**, v.2, p.175-184, 2005.

Perrotta, M. M. et al. Geobotânica por sensoriamento remoto e aerogamaespectrometria aplicados ao mapeamento geológico da Amazônia: um estudo comparativo no vale Guaporé (MT). **Revista Brasileira de Geociências**. v. 38 (1). p. 153-166. 2008.

Rodrigues, V.; Matallo Junior, H.; Lima, M. G.; Fonteles, M. M.; Almeida, A. J., & Ferreira, D. G. Situação da desertificação no Estado Piauí. In: **Seminário sobre desertificação no Nordeste**, Sema, Brasília, 1986. 30-57.

Shiner, J.S. & Davison, M. **Simple measure of complexity**. **Physical Review E**, v.59, n.2, p.1459-1464, 1999.

Veloso, H. P.; Rangel Filho, A. L. R., & Lima, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 1991.

Vicente, L.E. **Caracterização de sistemas ambientais tropicais complexos utilizando análise sistêmica e classificação hiperespectral de dados do sensor ASTER**. 2007.192 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas. 2007.

Vicente, L.E.; Souza Filho, C.R. & Perez filho, A. **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, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 1915-1922.