

Mapas de complexidade de fragmentos de Cerrado a partir da variabilidade espacial de dados do sensor Thematic Mapper5

Maristella Cruz de Moraes^{1,2}
Luiz Eduardo Vicente¹
Célia Regina Grego¹
Fernando Antônio de Pádua Paim¹
José Roberto Castilho Piqueira³
Sérgio Henrique Vannucchi Leme de Mattos⁴

¹Embrapa Monitoramento por Satélite
CEP 13070-115- Campinas-SP, Brasil
{luiz.vicente,celia.grego,fernando.paim}@embrapa.br

²Universidade Estadual de Campinas/ Faculdade de Tecnologia
CEP 13484-332 - Limeira-SP, Brasil
maristellacruz@gmail.com

³Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP
CEP 05508-900 - São Paulo- SP, Brasil
piqueira@lac.usp.br

⁴Faculdade de Ciências Humanas
Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD
CEP 79804-970 – Dourados - MS, Brasil
sergiomattos@ufgd.edu.br

Abstract. Creating complexity maps using information extracted from remote sensing images is one of the many possibilities for the application of the so called landscape metrics. Using/adapting robust measures for use in multispectral sensors is not a simple task, but it has high applicability, for example, for: the quantification of complexity areas within different land uses and land covers and its relationship with the states of resilience, detection of degraded areas and ecological fragmentation. In this sense, this work aimed to evaluate the mapping of Cerrado fragments in the State of São Paulo, specifically at the Assis Ecological Station, using complexity values (He/Hmax and SDL) calculated based on Landsat TM-5's images and spatialized using geostatistics. The results were highly satisfactory, and the spatial dependence of the data enabled the creation of a coherent map, thus reinforcing and transporting to the visual field the consistency of the complexity measurements. We were able to observe features and identify the *core* areas and edge effects in the fragments, as well as to measure their dimensions. These preliminary analyses open new possibilities for studies on landscape dynamics using digital image processing, which can be an easy-to-use, reliable tool that may be enhanced for future large-scale use.

Palavras-chave: complexity, geostatistical, fragmentation, edge effect, complexidade, geoestatística, fragmentação, efeito de borda

1.Introdução

As “métricas de paisagem”, provenientes dos estudos das relações entre os elementos físicos da paisagem, são decorrentes dos questionamentos sobre a estrutura e modificações do “mosaico espacial” do ambiente (SIQUEIRA et al., 2011). Essas métricas têm contribuído nos estudos de identificação e diferenciação de padrões, bem como seus processos de formação (Mattos, 2010). A criação de um “mapa de complexidade”, proveniente da análise e estimação dessas inter-relações a partir de informações extraídas de imagens de sensores remotos é mais uma das possibilidades de aplicação de tais métricas. A partir destes mapas, pode-se mensurar a intensidade de tais dinâmicas. Uma destas dinâmicas é o efeito de borda, de processo de modificação da paisagem observada nas áreas limítrofes de um fragmento vegetacional (Ribeiro, 2008), o qual promove alterações nas dinâmicas dos ecossistemas lá existentes. Já a porção central do fragmento, que não chega a ser atingida por tal efeito, preservando sua diversidade ecológica, é denominada área *core* (Smaniotto, 2007).

Em estudos ambientais, a espacialização das dinâmicas mencionadas auxilia no entendimento dos processos de formação e também resoluções de problemas, haja vista algumas questões nas quais está envolvido o aumento das fragmentações dos ecossistemas como observa Vicente (2007):

[...](i) Estruturalmente, fragmentos constituem muitas vezes, importantes focos de biodiversidade e endemismo, principalmente em regiões tropicais (Risser, 1993, Metzger, 1997; Bierregaard et al., 1992); (ii) [...] estados de estabilidade, resistência e resiliência podem ser estimados mediante o estudo integrado de fragmentos com características taxonômicas bem definidas (áreas core) e do estudo de zonas de transição, as quais correspondem a produtos de reações de ecossistemas frente a perturbações antrópicas ou naturais (Laurance et al., 2001, Holling, 1973; Ludwig et al., 1997)”[...]

No caso dos Cerrados o estudo de fragmentos é de suma importância, visto que seu processo de alteração sob pressão antrópica é elevado, sobretudo em áreas de expansão agrícola (Mattos, 2010). No estado de São Paulo resta apenas 1% de Cerrado dos 14% iniciais (Mendonça e Bitencourt, 2004), os quais são apresentadas toda uma gama de espécies endêmicas e farmacoterápicas.

Partindo das informações existentes em uma imagem, a visão computacional em auxílio à interpretação e resolução de problemas de complexidade elevada vem simular a percepção humana e suas respectivas habilidades (Pedrini e Schwartz, 2008). Como exemplo, pode ser citado o programa *CompPlexus*¹ (Vedovato et al., 2013), o qual utiliza duas métricas fundamentadas na entropia informacional para o cálculo da complexidade de padrões espectrais de imagens de sensores remotos. Ainda em aprimoramento, o programa vem demonstrando coerência em suas aplicações de avaliação de complexidade de tais padrões e trabalhos como os de Vedovato et al. (2013) e Moraes et al. (2014) demonstram isso. Outro exemplo de visão computacional já utilizada na área de Geoprocessamento, como no estudo de Grego et al., (2013) é a Geoestatística, ferramenta que considera a variabilidade espacial e

¹ Maiores detalhes disponíveis em <<http://mapas.cnpem.embrapa.br/labspec/complexus/app.html>>

que no contexto do presente trabalho permitirá a espacialização dos valores de complexidade em uma superfície.

No estudo em questão, o programa *CompPlexus* tem seu potencial e eficiência explorada no que tange ao efeito de borda e, de forma geral, à dinâmica ecológica de uma área previamente estudada. Assim, o objetivo aqui buscado é o de mapear os fragmentos de Cerrado a partir do cálculo de valores de complexidade dos padrões obtidos de imagem orbital e subsequentemente a aplicação de Geoestatística para interpolação dos dados.

2. Área de Estudo

A Estação Ecológica do município de Assis-SP, com área de 1.760,64 ha e anexa à floresta estadual da cidade, é um importante remanescente do Cerrado no oeste do estado, apresentando as fisionomias de cerrado e cerradão (Max et al., 2007). Por ser uma área de proteção ambiental, presume-se que a dinâmica vegetacional da área interna da reserva seja de baixa complexidade (considerando aqui complexidade como sinônimo de heterogeneidade espacial), em contraposição aos limites do fragmento (regiões de borda) que formam a transição entre a paisagem ‘natural’ e modificada. Partindo da ideia de que se pode mapear o efeito de borda, bem como a área *core* da região, a partir de valores de complexidade e aplicação da Geoestatística, o recorte da cena Landsat-5 TM utilizada (Figura 1) nesta pesquisa corresponde a um exemplo de fragmentação do Cerrado, com a presença de padrões homogêneos e heterogêneos, justificando assim sua escolha. Um recorte da área estudada com as grades de regiões de interesse é ilustrado na Figura 1.

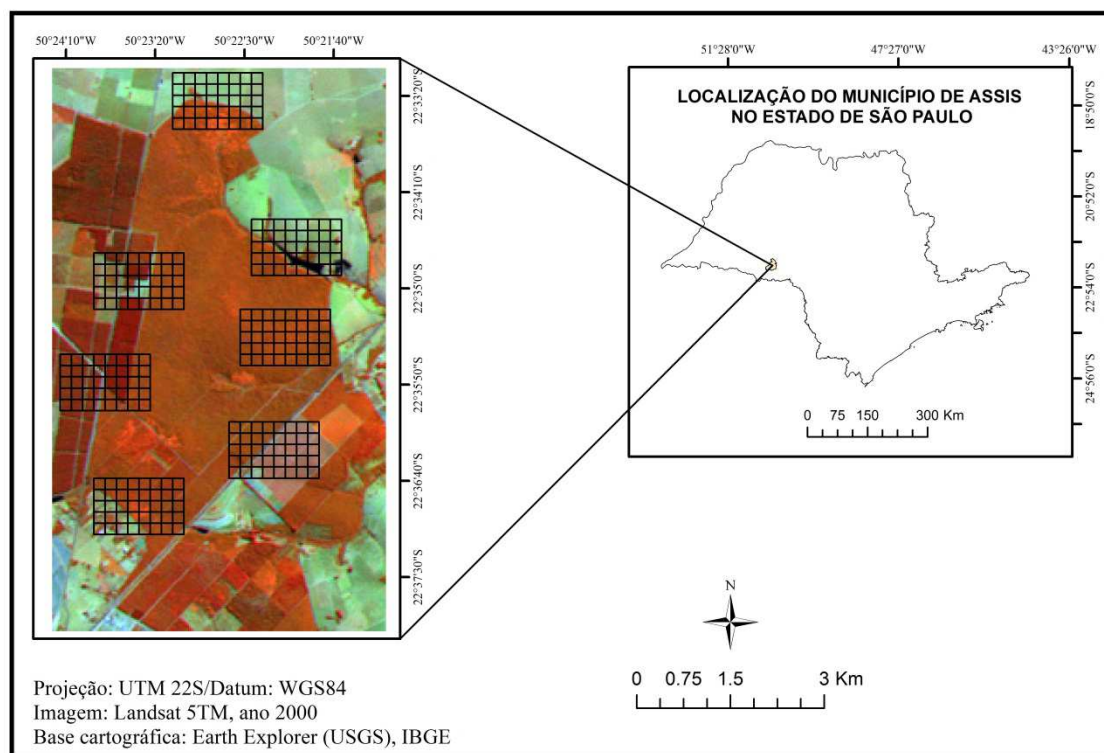


Figura 1: Imagem Landsat TM/5 em composição R(4)G(5)B(3) com suas 7 grades de regiões de interesse

3. Metodologia

Para este trabalho foi utilizada uma imagem Landsat-5 TM datada de 14/06/2000, Órbita 222 Ponto 76. O sensor TM (*Thematic Mapper*) com resolução de 30 metros possui 7 bandas espectrais das quais 6 foram utilizadas, deixando a banda do Infravermelho Termal fora da análise em questão.

A cena passou pelo procedimento de correção atmosférica e conversão para valores de reflectância de superfície considerando parâmetros locais da atmosfera com base em dados MODIS (Gomes et al, 2013, SCCAM, 2014), reduzindo, assim, as influências dos componentes atmosféricos da dinâmica de absorção e espalhamento da radiação eletromagnética que podem causar modificações nas de feições espectrais de absorção (Vicente, 2007), permitindo uma interpretação espectral mais fidedigna dos dados.

Através das 7 grades regulares com 40 regiões de interesse em cada, foram extraídas as amostras em pontos estratégicos da imagem, totalizando 280 dados (conforme mostrado na Figura 1) espalhados em áreas de borda (heterogêneas) e áreas totalmente cobertas pela vegetação (relativamente mais homogêneas que as anteriores, embora apresentando certo grau de heterogeneidade interna). A dimensão escolhida para cada região de interesse é de 6x6 pixels, correspondendo a uma área total de 1080m², haja vista que estudos anteriores como os de Moraes et al. (2014) mostraram resultados satisfatórios nesta dimensão. Conforme procedimento metodológico apresentado por Vedovato et al., (2013), no software ENVI[®] foram extraídas as estatísticas de bandas das regiões em relatórios ASCII e exportadas para o software *CompPlexus* para a realização dos cálculos dos valores de complexidade pertinentes à cada amostra. Para a avaliação da complexidade dos padrões dos alvos, o programa utiliza duas métricas embasadas em entropia informacional:

- Medida de Variabilidade ou He/Hmax:

Parte do pressuposto que a complexidade aumenta de acordo com o aumento da desordem de um sistema (Shiner et al., 1999). Para o cálculo são consideradas a extensão do sistema (N), a entropia máxima (Hmax) e a entropia informacional (He). A razão entre a entropia máxima e a informacional será a medida de complexidade, como comentam Piqueira e Mattos (2011):

$$C = \frac{He}{Hmax}$$

- Medida SDL (Shiner, Davison e Landsberg)

Neste caso, a maior complexidade se situa num ponto de heterogeneidade intermediária, entre o heterogêneo e homogêneo, sendo assim representada por uma função convexa da entropia. Os elementos utilizados no cálculo são os mesmos que os da medida He/Hmax, dispostos da forma descrita por Piqueira et al., (2009):

$$C = [1 - (\frac{He}{Hmax} \cdot \frac{He}{Hmax})]$$

Após a obtenção dos valores de complexidade para ambas as medidas, os valores foram submetidos à análise estatística descritiva a fim de caracterizar as posições centrais e a dispersão dos dados e à Geoestatística, que objetiva a verificação de dependência espacial, ou

seja, uma continuidade espacial, partindo do princípio de que vizinhos mais próximos são mais semelhantes aos mais distantes (Vieira, 2000).

Inicialmente foram calculadas as semivariâncias para construção e ajuste dos semivariogramas (Figura 2). Com o exame dos semivariogramas foi revelada a dependência espacial existente entre as amostras para as duas medidas de complexidade. Os semivariogramas expressam a dependência espacial com a obtenção dos parâmetros efeito pepita (C_0) variância da estrutura (C_1) e alcance de distância (A) que por sua vez serão utilizados na krigagem (ou krigeagem), um interpolador que se caracteriza pela não tendenciosidade e variância mínima. Observando os semivariogramas na figura 2, deve-se considerar também o comportamento complementar das duas medidas (Vedovato et al., 2013). Para a realização dos estudos, utilizou-se o pacote computacional GEOSTAT (Vieira et al., 1983).

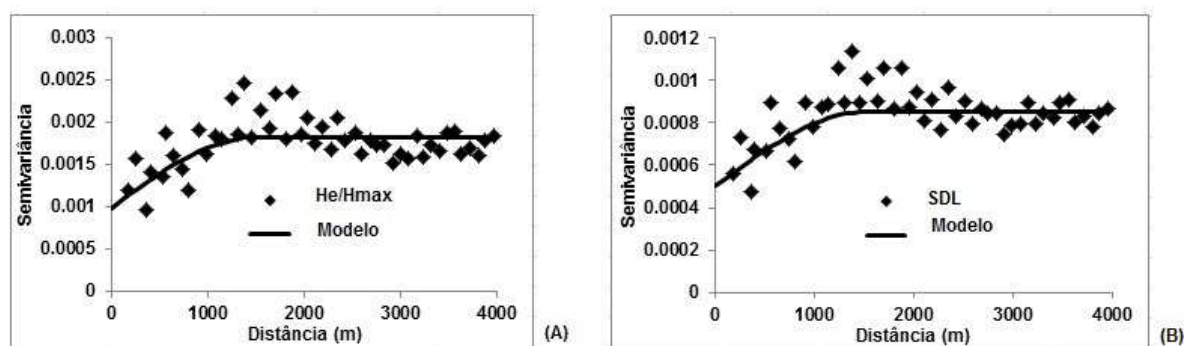


Figura 2: Semivariogramas dos dados para as medidas de complexidade He/Hmax(A) ajustados pelo modelo esférico com parâmetros Efeito pepita (C_0): 0.00099, Variância estrutural (C_1): 0.00083 e alcance (A): 1.500m e SDL (B) com C_0 : 0.00050, C_1 : 0.00035 e A :1.500m.

Com o resultado afirmativo para a dependência espacial, foram estimados valores para áreas não amostradas no estudo através da krigagem ordinária, interpolação que parte do pressuposto de que a posição geográfica dos dados influi na similaridade dos mesmos (Jakob, 2002). Método “não-viciado”, a krigagem ordinária busca um erro próximo de 0, sendo uma forma confiável de se estimar valores (Isaaks e Srivastava, 1989). Em ambiente ArcMap®, os dados inicialmente coletados em valores de complexidade, juntamente com os interpolados, provenientes da krigagem, foram inseridos para a construção do mapa de isolinhas que, dividido em 6 classes através de quantis e delimitado por um *buffer* gerado a partir da área de contorno da estação ecológica, permite a espacialização e visualização dos limites de cada classe de complexidade a qual os dados pertencem diferenciada em colorações que podem ser escolhidas pelo operador.

4. Resultados e Discussões

Nos mapas de isolinhas gerados para a medida de complexidade He/Hmax (Figura 3a), pode-se observar uma complexidade elevada em regiões de borda, que apresentam padrões mais heterogêneos, ou seja, desordenados. Valores intermediários de complexidade são encontrados em regiões de transição entre a borda e a porção mais central do fragmento, enquanto uma complexidade mais baixa é observada em áreas como as zonas centrais do fragmento, as quais representam um padrão menos heterogêneo, ou seja, menos ordenado, em função da menor quantidade de informação presente nestas regiões da imagem. Sendo assim,

para as colorações do mapa de complexidade He/Hmax (Figura 3a), tons mais claros de vermelho sugerem uma área com baixa ou quase nula influência da área de borda, podendo ser entendida e mensurada como a área *core* da região. Da mesma forma, tons mais escuros demonstram o efeito de borda e a mudança nas tonalidades de vermelho da borda para o centro sugere uma diminuição da variação na quantidade de informação de acordo com a proximidade da porção central do fragmento. Ou seja, uma área de transição entre onde existe uma influência predominante da borda e onde não há tal influência.

Já para a medida SDL, de acordo com seu pressuposto de que a complexidade máxima é encontrada em uma zona de heterogeneidade intermediária, o mapa também se comportou de forma condizente. Os tons escuros de verde indicam menores valores de complexidade, representando padrões mais desordenados (como atesta a medida He/Hmax). Os mais claros indicam maior valor de complexidade, dessa forma, padrões mais próximos da heterogeneidade intermediária (áreas *core*). Desta forma, as bordas e regiões de transição estariam mais distantes da heterogeneidade intermediária (complexidade máxima para a medida SDL).

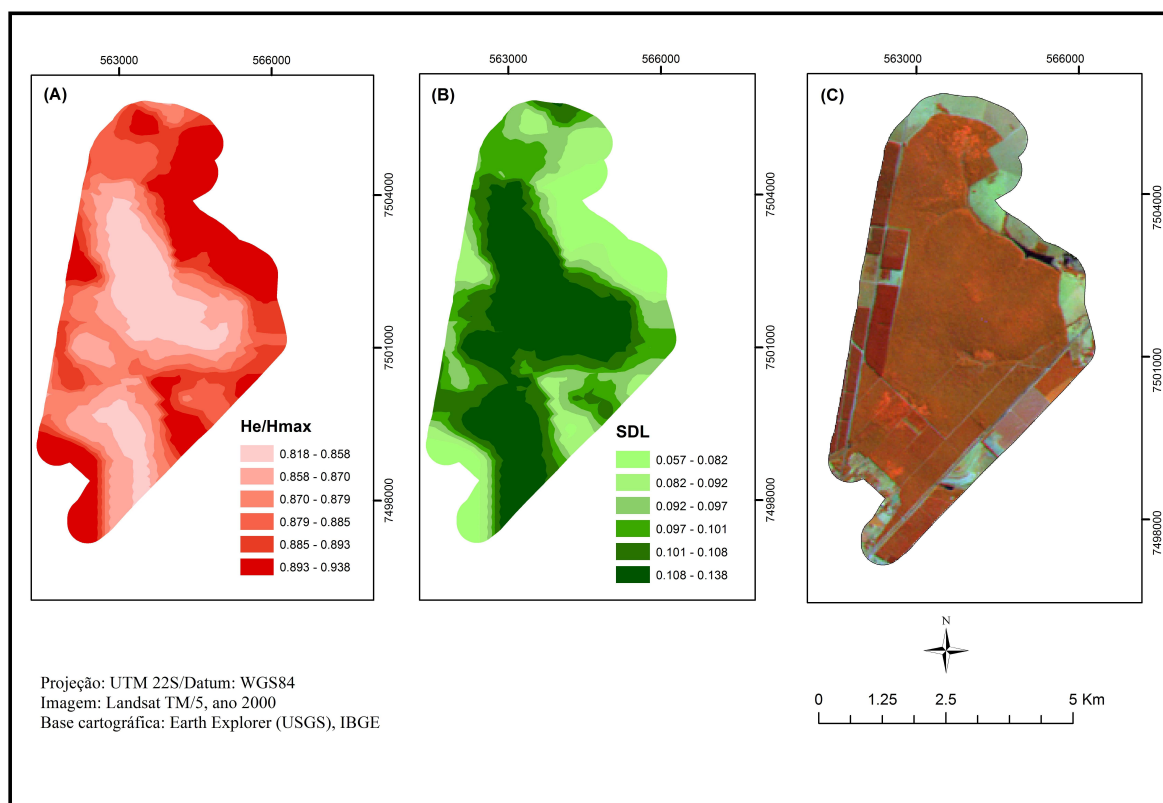


Figura 3: Mapas de isolinhas das complexidades He/Hmax (A),SDL (B) e a imagem original (C) em composição R(4) G(5) B(3).

Os resultados representados nos mapas da Figura 3 reforçam a coerência do embasamento teórico nas quais as métricas se apoiam e, transportam para o campo visual a espacialização do que até então era observado apenas através dos valores de complexidade exibidos em tabelas.

5. Conclusões

A associação entre Geoestatística e métricas de complexidade funcionou de forma eficiente, podendo auxiliar no mapeamento de áreas de interesse como o Cerrado brasileiro. Ao considerar a variabilidade espacial, foi possível mapear a área de interesse de forma alternativa no que diz respeito ao efeito de borda, podendo ser útil também em estudos de fragmentação de biomas, capacidade de resiliência de sistemas ambientais, em futuros estudos multitemporais, bem como suas aplicações em larga escala. Os resultados permitem também reforçar a robustez e estabilidade das métricas utilizadas, transportando os valores de complexidade para o campo visual, possibilitando até mesmo uma interpretação empírica dos dados.

A partir dos resultados obtidos, abrem-se novas possibilidades para aplicações em Geotecnologias, análise de paisagens e suas dinâmicas.

6. Agradecimentos

À equipe de pesquisa e desenvolvimento do projeto Agspec da Embrapa Monitoramento por Satélite e respectivos parceiros do Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle da Escola Politécnica da USP e Universidade da Grande Dourados, pela orientação e apoio as atividades desenvolvidas nesse trabalho.

7. Referências Bibliográficas

- Gomes, D., Vicente, L. E., Da Silva, R. F. B., Carvalho, S., Maçorano, R. P., Victoria, D., Batistella, M. Uso de dados MODIS e AIRS para obtenção de parâmetros de correção atmosférica. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR). **Anais...** Foz do Iguaçu/PR. 2013.
- Grego, C. R.; Long, R. M.; Vicente, L. E.; Loebmann, D. G. S. W.; Vedovato, L. B.; Oliveira, B. P.; Leivas, J. F.; Victoria, D.C. Otimização de modelo digital de elevação - ASTER utilizando análise Geoestatística. **Anais**, In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR). **Anais...** Foz do Iguaçu/PR. 2013
- Isaaks, E. H.; Srivastava, R.M. An Introduction to Applied Geostatistics. NY: Oxford University Press, Inc., p.278 1989.
- Jakob, A. A. E. A Krigagem Como Método De Análise De Dados Demográficos, Xiii Encontro Da Associação Brasileira De Estudos Populacionais. Ouro Preto-MG, Brasil. 2002.
- 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.
- Max, J. C. M.; Melo, A.C.G.; Bertolucci, C.A.; Honda, E A.; Dias, H. S.; Cardoso M.M.; Garrido, M. A. O.; Vilas Bôas, O.; Martinho, P. R. R.; Contiéri, W. A. Plano para o desenvolvimento sustentável do entorno da Estação Ecológica de Assis. IF Sér. Reg., São Paulo, n. 32, p. 1-48, set. 2007
- Mendonça, R. R.; Bitencourt, M. D. Viabilidade de Conservação dos Remanescentes de Cerrado. A sustentabilidade do Cerrado paulista, Editora ANNABLUME. 2004. Cap. 6 pág 117-118.
- Moraes, M. C.; Loebmann, D. G. S. W.; Paim, F. A. P., Mattos, S. H. V. L., Vicente, L. E. Avaliação de imagens multiespectrais Landsat/tm5 em radiância e reflectância de superfície na utilização do software CompPlexus. 8º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2014. **Anais...** Campinas – SP. 2014, Disponível em <<http://www.iac.sp.gov.br/areadoinstituto/ciiciac/resumo2014/RE14510.pdf>> acesso em 28 out 2014.
- Pedrini, H.; Schwartz, W.R. Análise de Imagens Digitais: Princípios, Algoritmos e Aplicações. Editora Thomson Learning. P.45, 2008.
- Piqueira, J. R. C., Borges, Y. C. C., “Extending SDL and LMC complexity measures to quantum states” . *Physica A* – v.392, 2013, p. 5255-5259.
- Piqueira, J. R. C., Mattos, S. H. V. L., Vasconcelos-Neto, J. “Measuring complexity in three-trophic level systems”, *Ecological Modelling* v220. P. 266-271. 2009.
- Ribeiro, M. S. L. Efeitos de borda sobre a vegetação e estruturação populacional em fragmentos de Cerradão no Sudoeste Goiano, Brasil. *Acta Botânica Brasilica* 22(2): 535-545. 2008
- SCCAM. Sistema de Calibração Radiométrica e Correção Atmosférica Multisensor. Disponível em <<http://mapas.cnpm.embrapa.br/labspec/scamm/app.html>>.

- Shiner, J. S.; Davison, M.; Landsberg P. T. Simple measure of complexity. *Physical Review E*, v. 59, n. 2, p. 1459-1464, 1999
- Siqueira, M. N.; Castro, S. S.; Nunes, E. D. Análise da Fragmentação da Paisagem na sub-bacia do Rio Garças (Mato Grosso) entre os anos de 1985 e 2010 com o uso de geotecnologias. VIII Congresso de Pesquisa, Ensino e Extensão – Conpeex 2011
- Smaniotto, M. Análise ambiental de Bacias Hidrográficas com base na fragmentação da paisagem: município de Getúlio Vargas (RS). 116 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais). Universidade Federal de São Carlos. São Paulo. 2007
- Vedovato, L.B, Vicente, L. E., Paim, F. A. P., Piqueira, J. R. C., Mattos, S. H. V. L., CompPlexus: programa para avaliação de complexidade de padrões em imagens multiespectrais de sensores remotos. Anais, XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2013.
- Vicente, L. E. Caracterização de Sistemas Ambientais Tropicais Complexos utilizando análise Sistêmica e Classificação Hiperespectral de dados do sensor ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer). 2007. 192 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Vieira, S.R.; Hatfield, J.L.; Nielsen, D.R.; Biggar, J.W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*, Berkeley, v.51, n.3, p.1-75, 1983.
- Vieira, S.R. Geostatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: Novais, R.F.; Alvarez V., V.H. & Schaefer, G.R. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.1-54. 2000.