

Gráfico de contorno preenchido: solução para a representação sintética de um conjunto de imagens de satélite.

Alfredo José Barreto Luiz - Embrapa Meio Ambiente¹

Antonio Roberto Formaggio – DSR, OBT, INPE

José Carlos Neves Epiphanyo – DSR, OBT, INPE

Resumo: *Imagens de satélite podem ser obtidas sobre extensas áreas da superfície terrestre e têm grande utilidade no monitoramento do uso do solo. Uma região, definida por contornos geopolíticos, pode ser imageada diversas vezes por um mesmo sensor ao longo de um intervalo de tempo, como o ano civil, produzindo um enorme e rico volume de dados, mas cuja interpretação conjunta é complexa. O objetivo do presente trabalho foi o de apresentar uma forma de visualização de dados de sensoriamento remoto, relativamente simples, que permite reunir em um único gráfico de contorno preenchido (“filled contour plot”), informações de diversas imagens obtidas ao longo de um período de tempo sobre uma região. Para ilustrar a técnica proposta, dados do índice de vegetação EVI2 de quatro municípios do Estado de São Paulo, obtidos a partir de 23 imagens MODIS/Terra datadas de 2008, foram analisados. Os resultados permitem afirmar que é possível associar, de maneira lógica, o aspecto do gráfico e o uso predominante do solo, ao se considerar a fenologia e o manejo das principais atividades agrícolas dos municípios estudados. A principal vantagem do método gráfico apresentado é que ele permite resumir, em uma única figura, o comportamento espectral (nesse caso, o EVI2), em uma região geopolítica (município), durante um período de tempo (ano), representado por várias imagens (23). Assim, torna-se possível comparar conjuntos de imagens obtidas durante períodos de duração variada, entre regiões de tamanhos e formas diferentes, como os municípios, utilizando sempre um mesmo padrão gráfico de fácil visualização e interpretação.*

Palavras-chave: *sensoriamento remoto, análise multitemporal, ocupação do solo agrícola, visualização científica.*

1. Introdução

Apesar dos avanços na obtenção e compreensão dos dados de sensoriamento remoto, relativamente poucos estudos foram realizados abordando a identificação de padrões espectrais municipais. Embora os limites municipais não tenham um significado *per se* como alvo para o sensoriamento remoto, muitas atividades humanas que alteram o uso do solo e, portanto, a resposta espectral da superfície terrestre, são influenciadas pela municipalidade. Além disso, muitos outros dados são produzidos e apresentados na escala municipal e para períodos de um ano.

Os métodos visuais de análise de dados têm aplicação em várias áreas do conhecimento, inclusive no sensoriamento remoto. Na busca de representação sintética de dados de sensoriamento remoto para determinados locais e períodos, vários trabalhos usaram análises gráficas ou estatísticas, mas os limites das áreas de estudo não eram definidos pelas fronteiras geopolíticas [2], [5] e [11]. Outros autores focaram no município, mas não de forma a compor um padrão comparável entre municípios [3]. Embora o território municipal seja ocupado por diversas coberturas, que mudam de aspecto ao longo do ano, a hipótese do presente trabalho é que, apesar dessas variações, existe um padrão identificável e, portanto, é possível obter uma representação característica de cada município.

Os gráficos e figuras são instrumentos que permitem compreender a informação quantitativa e, com frequência, são a maneira mais efetiva de descrever, explorar e resumir um conjunto de dados

¹ Contato: alfredo@cnpma.embrapa.br

numéricos - mesmo conjuntos muito grandes [13]. Em exemplo recente, foi usado um único gráfico de contorno preenchido para ilustrar a distribuição geográfica de aproximadamente 800 mil registros de ocorrência de plantas [4]. Mas, muito antes, em 1996, já havia sido descrita uma ferramenta computacional (Ferret), especificamente desenvolvida para análise e visualização de grandes quantidades de dados, inclusive de sensoriamento remoto, que incluía esse tipo de gráfico [8]. Ele tem sido aplicado em diversas áreas, tais como no estudo da distribuição espacial de plantas invasoras numa área de cultivo de feijão [12], da condição ótima para isolamento de substâncias voláteis do maracujá [6], ou do acúmulo de CO₂ sob uma floresta tropical ao longo de um gradiente topográfico [1]. Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o uso do gráfico de contorno preenchido no estudo de dados do EVI2, um índice de vegetação (IV) numérico derivado de dados espectrais do sensor MODIS [9], sobre quatro municípios de São Paulo, durante 2008 e, adicionalmente, promover o uso dos métodos gráficos na análise de imagens de sensoriamento remoto, em escala municipal.

2. Metodologia de Trabalho

Foram escolhidos quatro municípios bem distintos quanto ao uso agrícola predominante e que apresentam forte predominância de um determinado uso (cana-de-açúcar, culturas anuais, culturas perenes, pastagens), calculada em termos de área ocupada em relação à área total. As informações sobre o uso do solo foram obtidas de dados do Censo de 2006 para o Estado de São Paulo [10], recolhidos antes da coleta dos dados espectrais. Os dados utilizados do índice EVI2, de 2008, que correspondem a uma imagem MODIS composta a cada 16 dias, foram obtidos conforme descrito em outro artigo [7]. Como em um ano estão disponíveis 23 imagens, foram criadas 23 faixas equiespaçadas dos valores de EVI2. Para cada imagem foram calculadas as frequências relativas de *pixels* em cada uma das 23 faixas de valores do EVI2. Então, os dados compuseram um gráfico de contorno preenchido, com dimensões constantes para qualquer tamanho de município, permitindo a comparação do padrão anual entre municípios de formatos e áreas diferentes.

Os municípios escolhidos foram: 1) Conchal - o município, com 18.383 ha de área total (ou 3.198 *pixels* MODIS) apresentou o segundo maior percentual de área ocupada por culturas agrícolas perenes, ficando em primeiro entre aqueles com mais de 10 mil hectares dedicados a tais culturas; 2) Riversul - o município tem área total de 38.620 ha (6.787 *pixels*) e apresentou o terceiro maior percentual de área do município com pastagens (92%), sendo o primeiro com mais de 10 mil hectares; 3) Santa Lúcia - possui 15.231 ha de área (2.643 *pixels*), com predomínio da cultura da cana-de-açúcar (90,6% de área ocupada pela cultura); e 4) Pedrinhas Paulista - tendo área total de 15.217 ha (2.661 *pixels*), é caracterizado pelo plantio de milho e soja, apresentando o maior percentual do território ocupado por culturas anuais (130%, o que indica mais de uma colheita por ano em parte das terras).

No programa Excel[®] foram confeccionados os gráficos municipais e obtidas algumas estatísticas simples (média, variância, assimetria e curtose) para todas as imagens de cada município (Figura 1). Havia uma planilha por município, cada uma com 23 colunas (col), uma para cada imagem, e tantas linhas (lin) quantos fossem os *pixels* do município. Nas células ficavam os valores de EVI2 correspondentes a cada *pixel*. Da forma como foram obtidos, os valores de EVI2 estavam representados por números inteiros que poderiam variar de 0 a 25.000. Esses 25 mil valores conferem uma resolução de 0,00004 para a escala de medida do EVI2 quando transformados para valores entre zero e um, escala normalmente adotada para representação dos índices de vegetação, na qual o valor máximo está associado à presença de vegetação abundante e exuberante na área imageada. As 23 faixas de EVI2 foram criadas estabelecendo-se intervalos de tamanho igual a 25.000/23 (o tamanho do intervalo foi aproximado para 1.087). Então, foi calculada para cada imagem a frequência absoluta de *pixels* em cada faixa de EVI2. O comando matricial do Excel[®] para realizar isso foi:

$$\{=FREQUÊNCIA('col i' : 'lin j' : 'col i' : 'lin j+(n-1)'; '$col r' : '$lin s' : '$col r' : '$lin s+21')\}$$

Onde, na coluna i tem-se os valores de EVI2 para todos os n pixels da imagem i e na coluna r , da linha s à linha $s+21$, devem ser preenchidos os 22 valores dos limites superiores das faixas de EVI2 (1.087, 2.074, ..., 25.000). Esse comando deve ser repetido em 23 células da planilha, de forma a permitir o cálculo das frequências de cada intervalo de EVI2 naquela i -ésima imagem. O procedimento se repete para cada uma das demais imagens, mudando apenas o valor da coluna i , e assim por diante até a coluna $i+22$. O resultado é uma matriz com 23 linhas (intervalos de EVI2 equiespaçados) e 23 colunas (imagens MODIS), na qual as células contêm a frequência absoluta de pixels que, numa certa imagem, apresentaram valores de EVI2 dentro de determinado intervalo. Como cada município possui área de tamanho diferente e, portanto, número total de pixels diferente também, a frequência absoluta não é comparável entre municípios e, então, faz-se necessário calcular a frequência relativa, dividindo-se a absoluta pelo número total de pixels. Dessa forma, é obtida uma nova matriz 23 x 23, em cujas células têm-se valores da frequência relativa com que cada faixa de EVI2 ocorreu naquele município e naquele intervalo de tempo. O valor, multiplicado por 100, expressa o percentual da área do município que, em certa data, apresentava determinados valores de EVI2. A partir dessa matriz é construído um gráfico do tipo “Superfície” nas opções do Excel®, para o qual existe a possibilidade de rebatimento até a obtenção de uma projeção plana, equivalente ao que é conhecido como gráfico de contorno preenchido. Para alcançar essa forma, depois de construído o gráfico de Superfície, deve-se escolher a opção “Exibição 3D” e nela especificar: elevação=90, rotação=0, perspectiva=0 e altura=(qualquer valor entre 5 e 500).

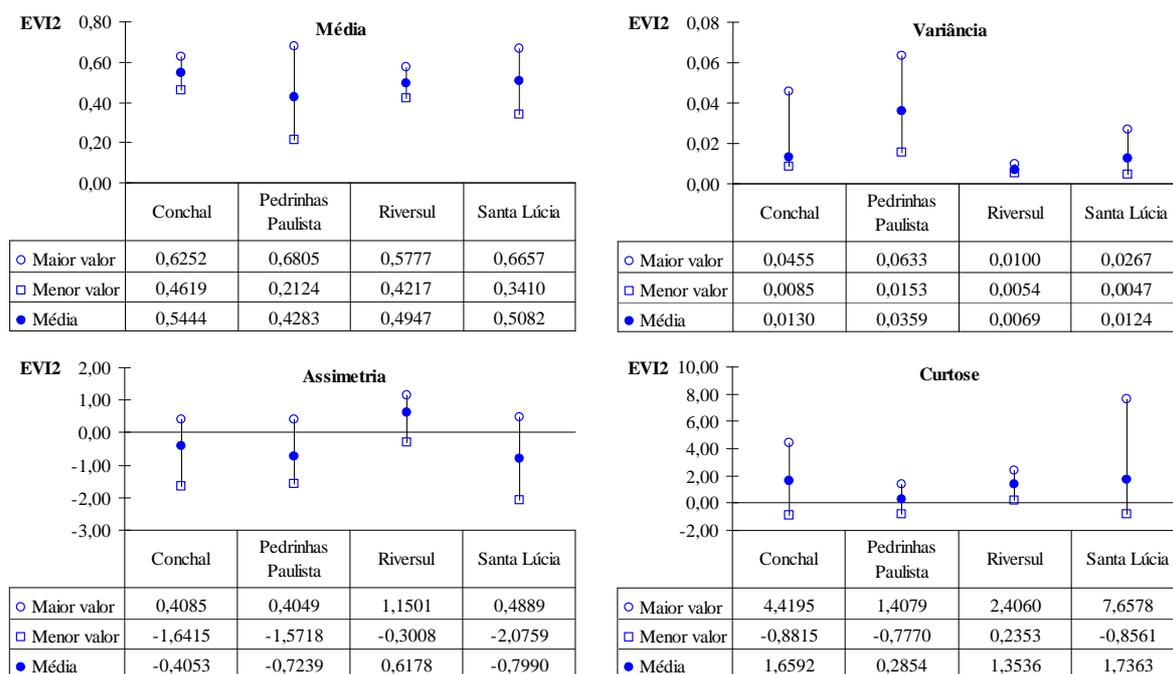


Figura 1. Valores calculados, em 23 imagens MODIS de 2008, para algumas estatísticas dos conjuntos de dados de EVI2, em quatro municípios paulistas.

3. Resultados e Discussão

Na Figura 1, ao comparar as estatísticas simples, nota-se que elas sozinhas são pouco explicativas da complexidade do comportamento espectral de um município ao longo do ano e, dentro do conjunto de imagens de um ano, a variabilidade das medidas não permite diferenciar os municípios.

Para representar de forma mais compreensível os dados, os gráficos de contorno preenchido, apresentados na Figura 2, mostram-se mais adequados. Nesta figura é possível analisar as mesmas

características já expressas pelas estatísticas, mas com uma sensibilidade maior, pois nos gráficos de cada município estão representados entre 60 e 150 mil valores de EVI2. A concentração de valores altos de EVI2 está associada à presença de área coberta por vegetação verde com alto índice de área foliar. Baixos valores de EVI2 estão ligados a pouca ou nenhuma cobertura vegetal verde (e.g. água).

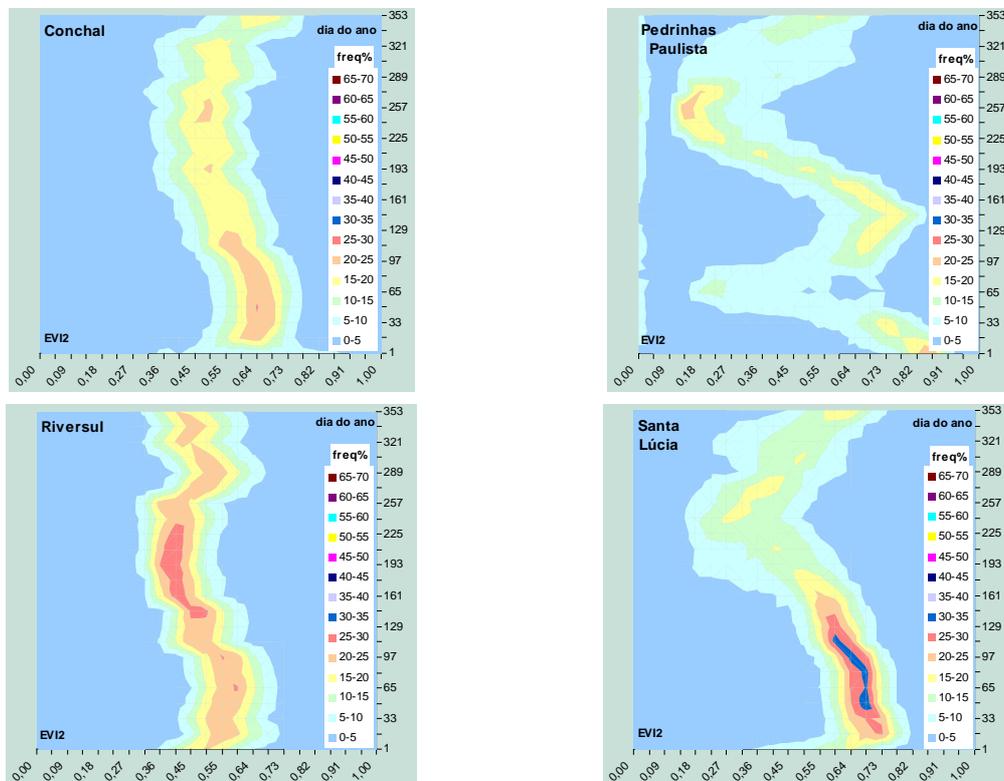


Figura 2. Frequência percentual de *pixels* segundo época do ano e faixa de valores de EVI2 do MODIS, em quatro municípios paulistas analisados no ano de 2008.

Conchal e Riversul apresentam gráficos de formas semelhantes, mas diferem quanto às regiões com as maiores frequências, sendo que no primeiro município, onde predominam as culturas perenes, a concentração se dá em valores mais altos de EVI2 e nos meses de verão, enquanto no segundo, ocupado por pastagens, a concentração é em valores mais baixos de EVI2 e nos meses de inverno. Isso é totalmente compatível com a fenologia e o manejo dos usos agrícolas predominantes em cada caso.

Em Pedrinhas Paulista, de forma muito característica, as regiões de maior concentração de frequência variaram tanto no tempo como nos valores de EVI2. O resultado é explicado pelo manejo, em especial da soja cultivada no verão e do milho no outono (safrinha), pois nesse município há predominância de culturas anuais e existem indícios de mais de um cultivo no ano. A faixa de valores baixos de EVI2 se deve ao sinal do lago de uma represa que recobre parte do município.

Em Santa Lúcia há uma concentração de frequência, muito maior que nos demais municípios, em altos valores de EVI2 nos meses de verão e apenas uma época de baixos valores no final do inverno. Isso está de acordo com o manejo da cana-de-açúcar, predominante no município, pois ela permanece verde na maior parte do ano, com o máximo vigor no verão, e é colhida no inverno (período seco).

4. Conclusões

A principal vantagem do gráfico de contorno preenchido é que ele permite resumir, em uma única figura, o comportamento espectral (nesse caso, do EVI2), de toda uma região (um município), durante um determinado período de tempo (um ano), que pode englobar inúmeras imagens (foram 23). Dessa maneira, é possível comparar o comportamento espectral, em qualquer banda, em regiões de tamanhos

e formas diferentes, durante períodos de duração variada, utilizando sempre um mesmo padrão gráfico de fácil visualização e interpretação.

Foi possível distinguir os padrões anuais do IV dos municípios escolhidos por meio da representação gráfica, mas não pelo uso de medidas estatísticas simples. Especificamente, foi possível caracterizar os municípios avaliados, pois os gráficos são diferentes entre os municípios e guardam uma coerência lógica entre a ocupação predominante do solo e o comportamento espectral observado.

Referências

- [1] ARAÚJO, A.C.; KRUIJT, B. NOBRE, A.D.; DOLMAN, A.J.; WATERLOO, M.J.; MOORS, E.J.; SOUZA, J.S. Nocturnal accumulation of CO₂ underneath a tropical forest canopy along a topographical gradient. **Ecological Applications**, v. 18, n. 6, p. 1406–1419, 2008.
- [2] CLARK, M.L.; AIDE, T.M.; GRAU, H.R.; RINER, G. A scalable approach to mapping annual land cover at 250 m using MODIS time series data: A case study in the Dry Chaco ecoregion of South America. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, p. 2816–2832, 2010.
- [3] ELLIS, E.A.; BAERENKLAU, K.A.; MARCOS-MARTINEZ, R.; CHÁVEZ, E. Land use/land cover change dynamics and drivers in a low-grade marginal coffee growing region of Veracruz, México. **Agroforestry Systems**, v. 80, n. 1, p. 61–84, 2010.
- [4] FEELEY, K.J.; SILMAN, M.R. The data void in modeling current and future distributions of tropical species. **Global Change Biology**, v. 17, p. 626–630, 2011. doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02239.x
- [5] EVRENDILEK, F.; GULBEYAZ, O. Deriving vegetation dynamics of natural terrestrial ecosystems from MODIS NDVI/EVI data over Turkey. **Sensors**, v. 8, n. 9, p. 5270–5302, 2008.
- [6] JALES, K.A.; MAIA, G.A.; GARRUTI, D.S.; SOUZA NETO, M.A.; AZEREDO, H.M.C.; BRITO, E.S. Otimização das condições de isolamento dos voláteis do headspace do maracujá amarelo por concentração a vácuo em PorapakQ*. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v.17, n.2, p.189-195, 2006.
- [7] LUIZ, A.J.B.; FORMAGGIO, A.R.; EPIPHANIO, J.C.N. Proposta de representação gráfica sintética da resposta espectral anual por município: o caso do EVI2 do MODIS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15., Curitiba. **Anais... INPE**, 2011. <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/>
- [8] HANKIN, S.; HARRISON, D.E.; OSBORNE, J.; DAVISON, J.; O'BRIEN, K. A strategy and a tool, Ferret, for closely integrated visualization and analysis. **The Journal of Visualization and Computer Animation**, v. 7, p. 149–157, 1996.
- [9] HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E.P.; GAO, X.; FERREIRA, L.G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. (Special Issue) **Remote Sensing of Environment**, v.83, p.195-213, 2002.
- [10] IBGE - Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric/default.asp?z=t&o=11&i=P>>. Acesso em: 18.ago.2010.
- [11] RUNNING, S.W.; NEMANI, R.R. Relating seasonal patterns of the AVHRR vegetation index to simulated photosynthesis and transpiration of forests in different climates. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, n. 2, p. 347–367, 1988.
- [12] STÄHELIN, D.; VERÍSSIMO, M.A.A.; MORAIS, P.P.P.; COAN, M.M.D.; COIMBRA, J.L.M.; GUIDOLIN, A.F. Distribuição espacial do banco de sementes de plantas daninhas em área de monocultura de feijão. **Biotemas**, v. 22, n. 4, p. 15–24, dezembro de 2009.
- [13] TUFTE, E.R. **The visual display of quantitative information**. (2 ed.). USA: Graphics Press, 2001. 197 p.