

ANÁLISE DA DINÂMICA DA COBERTURA VEGETAL DA PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO DO ALTO CURSO RIO PARANÁ BASEADA EM DADOS MULTIFONTE

Nilton Nobuhiro Imai
Tiago Matsuo Samizava
Fernanda Sayuri Watanabe
Paulo Cesar Rocha

Universidade Estadual Paulista - Unesp
Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT, Presidente Prudente – SP
Programa de Pós-graduação em Ciências Cartográficas
Programa de Pós-graduação em Geografia
{nmimai,pcrocha}@fct.unesp.br

ABSTRACT - This work attempts to contribute for the understanding of the temporal behavior of the spatial distribution of the vegetation cover of floodplain Paraná River. This spatial distribution might have been affected by the implantation of a group of dams. Those mapping were accomplished by the multi-source data that includes the multispectral images of sensor TM/Landsat and CCD/Cbers, integrated with topographic data, texture and vegetation index (NDVI) extracted from the multispectral images. The approach adopted was based on supervised multi-layer neural networks classification, since that it is more robustness to deal with a group of non parametric attributes. To the temporal analysis it was necessary a several of radiometric transformations: estimation of the apparent reflectance factor; atmospheric correction of the reference scene with the model based on radiative transfer theory (5S) through the software SCORADIS; and radiometric normalization of the other scenes by the Multivariate Alteration Detection (MAD) method. As a preliminary result it was noticed that there were alterations in the vegetable covering in the time and that the multi-source approach allows to obtain more robust results. The classifications will be refined with the acquisition of multispectral images of high spatial resolution.

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho pretende contribuir para o entendimento do comportamento temporal da hidrodinâmica do sistema rio-planície do Alto curso do Rio Paraná, que pode ter sido afetada pela implantação de um conjunto de barragens à montante dessa região, sendo que a última é a usina hidroelétrica de Porto Primavera, que entrou em operação em 1998.

A regulação do fluxo do rio Paraná a jusante das barragens tem provocado alterações hidrológicas dos níveis hidrométricos (ROCHA, 2002). A redução dos picos de máximas tem ocasionado a diminuição da intensidade e frequência dos pulsos de inundação. Tais pulsos, segundo Junk, Bayley e Sparks (1989), promovem a interação dos componentes físico-químicos na planície de inundação, que proporciona alta produtividade primária e biodiversidade de espécies.

Nesse sentido, partindo-se da hipótese de que a distribuição espacial da cobertura vegetal pode indicar o grau de alteração dos padrões ecológicos da planície por

conta da redução dos pulsos de inundação, realizou-se a análise da variação da cobertura vegetal da planície de 1985 e 2007 a fim de procurar alguma indicação de alterações provocadas pela redução dos picos de máximas. Para isso foram integrados dados multiespectrais do TM/Landsat e CCD/CBERS, com dados de variação altimétrica oriundas da missão SRTM, além da textura e do índice de vegetação NDVI extraídos das imagens multiespectrais. Essa análise de dados multifonte integrados foi feita com uma abordagem baseada em classificação supervisionada por redes neurais multicamadas, devido a sua maior robustez para lidar com um conjunto de atributos de natureza não paramétrica. Também se busca avaliar se os resultados da classificação da cobertura vegetal com as imagens CCD/Cbers e com as TM/Landsat são equivalentes.

A área de estudo é a planície do alto rio Paraná, que compreende a região da foz do rio Paranapanema até Porto Guaíra. A área foi definida pelas coordenadas UTM/WGS84 aproximadas: canto superior esquerdo:

173.900 E; 7.525.700 N; canto inferior direito: 322.300 E; 7.346.300 N.

2. MATERIAL E MÉTODO

2.1 Materiais

Foram utilizados os seguintes materiais para realização deste trabalho:

- MDE interferométrico do SRTM, adquirido gratuitamente em <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>;

- Imagens multiespectrais orbitais do sensor TM/Landsat e CCD/Cbers, adquiridas gratuitamente no banco de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, em <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>;

- Mosaico Geocover de 2000, adquirida gratuitamente em <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/mrsid.pl>.

2.2 Metodologia

A seguir são discutidos os procedimentos necessários para o desenvolvimento do presente trabalho.

2.2.1 Pré-processamentos das imagens multiespectrais

2.2.1.1 Correção geométrica

A correção geométrica das imagens foi realizada no software ENVI, utilizando dados do Mosaico Geocover, do ano de 2000, como imagem de referência devido à falta de uma base cartográfica mais confiável na área de estudos. O mosaico geocover possui resolução espacial de 15 m, com erro médio quadrático de 50 m. Para fins do trabalho, considerou-se um erro associado aceitável.

No processo de georreferenciamento da cena, adotou-se um mínimo de 10 pontos de controle, com erro médio quadrático máximo de 0,5 pixels. A transformação utilizada foi uma função de primeiro grau, com amostragem dos pixels pelo método vizinho mais próximo. As imagens Landsat, originalmente na projeção UTM e sistema de referência SAD/69, foram convertidas para o sistema de referência WGS/84 no processo de georreferenciamento.

2.2.1.2 Correção atmosférica

A correção atmosférica foi realizada utilizando o modelo de transferência radiativa 5S (*Simulation the Satellite Signal in the Solar Spectrum*) (TANRÉ et al., 1990), implementado no aplicativo SCORADIS (ZULLO JUNIOR, 1994). As imagens a serem corrigidas devem coincidir com a passagem do satélite TERRA, sendo possível obter os parâmetros atmosféricos das imagens do sensor MODIS.

A recuperação dos parâmetros atmosféricos foi realizada com os produtos MOD04 (Produto de aerossol)

e MOD07 (Perfil atmosférico) (MERCANTE, 2007). Os parâmetros obtidos foram: espessura óptica de aerossóis, concentração de vapor d'água e de ozônio.

A cena corrigida durante a correção atmosférica apresenta-se em reflectância de superfície.

2.2.1.3 Normalização radiométrica

A normalização radiométrica foi utilizada para realizar a correção relativa das imagens TM/Landsat do passado. A correção absoluta (correção atmosférica) foi realizada na cena de referência (27/09/2007) e para as outras cenas aplicou-se uma transformação baseada na imagem de referência.

Para tanto, foi utilizado o método *Multivariate Alteration Detection* (MAD), desenvolvido por Nielsen (1998), utilizando algoritmos implementados em IDL/ENVI por Canty, Nielsen e Schmidt (2004) e Canty e Nielsen (2008). Nesse método, a função de transformação linear é ajustada automaticamente por regressão ortogonal a partir dos pixels pseudo-invariantes selecionados por meio de análise de correlação canônica.

As cenas a serem normalizadas radiometricamente foram, primeiramente, convertidas para radiância aparente e, posteriormente, reflectância aparente. Essa conversão é necessária uma vez que a transformação para reflectância aparente não é linear, ou seja, não é possível realizar através da normalização radiométrica.

A partir da cena de referência foi aplicada a normalização radiométrica nas cenas a serem corrigidas. Dessa forma, ao mesmo tempo em que é realizado o ajuste radiométrico, as outras cenas são convertidas para reflectância de superfície.

2.2.1.4 Geração dos índices de vegetação e textura a partir das imagens multiespectrais

Foram gerados os índices de vegetação e de fragmentação da paisagem buscando realçar as características biofísicas e captar a variabilidade espacial da cobertura vegetal na planície, respectivamente. Essas informações podem auxiliar no processo de classificação da cobertura vegetal no tempo.

O índice de vegetação gerado foi o NDVI, dada pela equação abaixo:

$$NDVI = (\rho_{ivp} - \rho_v) / (\rho_{ivp} + \rho_v) \quad (1)$$

em que:

ρ_{ivp} : reflectância no infravermelho-próximo

ρ_v : reflectância no vermelho

Para a classificação da cobertura vegetal foi utilizado apenas as informações contidas no intervalo 0 a 1.

A imagem textura foi gerada a partir do cálculo do índice de fragmentação, implementado no Idrisi, a partir da equação:

$$F = (n-1)/(c-1) \quad (2)$$

em que, n é o número de pixels com diferentes atributos (valores radiométricos atribuídos aos pixels) presentes em uma janela quadrada de número de pixels c (9,25, 49,...).

O índice de fragmentação foi computado sobre a banda espectral relativa ao infravermelho próximo, com faixa espectral de 0,76 a 0,90 μm , uma vez que, segundo Galo (2000), essa região apresenta superioridade em representar a variabilidade espacial da vegetação. Adotando os mesmos critérios de Galo (2000), utilizou-se a janela de 3x3 para cálculo do operador de contexto.

2.2.2 Processamento de dados do SRTM

O modelo digital de elevação (DEM) do SRTM disponível gratuitamente possui resolução espacial de 90m e apresenta uma série de ruídos. Nesse sentido, existe a necessidade de uma correção dos dados e reamostragem dos pixels para uma resolução espacial compatível com as imagens multiespectrais para realizar a classificação da cobertura vegetal.

Segundo Valeriano (2004), a interpolação por krigagem pode melhorar a qualidade desses dados, o que motivou a utilização desse procedimento. Para tanto, foram realizados os procedimentos de geração dos semivariogramas e ajuste de uma função teórica isotrópica. Foi utilizada a interpolação por krigagem ordinária.

Contudo, devido à extensão da área geográfica, constatou-se uma tendência regional relacionada com a linha de declividade do rio principal. Essa tendência regional não foi captada na modelagem geoestatística, uma vez que ele considera principalmente as variações locais. Assim, ajustou-se uma superfície plana, de primeiro grau, para eliminar essa tendência regional na representação gerada pela krigagem. A representação altimétrica obtida desses processamentos foi normalizada para o intervalo de 0 a 1 para ser inserida na classificação da cobertura vegetal.

2.2.3 Classificação da cobertura vegetal por meio de Redes Neurais Artificiais

Para a inferência por redes neurais utilizou-se o software IDRISI, que apresenta implementado em seu sistema o algoritmo *backpropagation*, com a inserção do termo *momentum* para minimizar os efeitos de mínimos locais.

Foram testadas diversas arquiteturas. Para as classificações realizadas a partir das imagens multiespectrais TM/Landsat foi adotado 9 nós na camada de entrada, referente às 6 bandas espectrais, o NDVI, textura e relevo. Na classificação com base nas imagens CCD/Cbers o número de nós na camada de entrada foi definida por 7 nós, referentes às 4 bandas espectrais, o NDVI, a textura e o relevo. A camada de saída da RNA

foi definida por seis nós para ambas as abordagens, que se referem às classes da imagem a ser classificada.

As classes de informação de interesse foram: fundo (representam a área adjacente a planície), água, vegetação higrófila, vegetação de herbácea, vegetação arbórea e solo exposto.

No processo de treinamento foram coletados elementos amostrais nas imagens de 2007. Durante o treinamento adotou-se uma taxa de aprendizado de 0,01 e fator momentum de 0,5. Dentre os critérios de parada, o erro médio quadrático (EMQ) e a taxa de acurácia foram utilizados para avaliar o melhor resultado, com relação à arquitetura e número de ciclos de treinamento. A partir dessa estrutura e encerrado o treinamento os pesos das conexões da rede são salvos para aplicação da classificação no conjunto de dados de interesse.

Dessa forma, os pesos são utilizados para a classificação das imagens atuais e do passado. Parte-se do pressuposto que o conhecimento adquirido pela rede neural na fase de treinamento pode ser aplicado para o mesmo período sazonal de outros anos.

3. RESULTADOS PARCIAIS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A amostragem de treinamento foi realizada com informações de trabalhos anteriores na planície, bem como o registro fotográfico disponibilizado por Andrade (2008). Outra fonte de informações são as imagens disponibilizadas pelo software Google Earth, pelo qual é possível visualizar imagens de alguns trechos da planície com alta resolução espacial.

Nas estatísticas, referentes à média e variâncias dos elementos amostrais das classes de informação em cada plano de entrada de 2007, nota-se que existe grande similaridade nos valores médios das classes da vegetação arbórea, da higrófila e da herbácea nas bandas espectrais do TM e CCD. A diferença entre as classes de informação da cobertura vegetal é melhor representada pelos valores de NDVI e de textura, embora a imagem textura apresente as maiores variâncias. Os dados do SRTM, aparentemente, destacam as classes da vegetação arbórea. Em geral, a variância dos pixels das amostras de treinamento apresenta-se pequena.

Verificou-se que o número de ciclos de treinamento para atingir uma alta taxa de acurácia é, aparentemente, proporcional à complexidade da arquitetura adotada. Arquiteturas com duas camadas escondidas convergem mais rapidamente. Outro fato que chama atenção é que depois que o algoritmo atinge uma taxa de acurácia em torno de 95% a convergência parece estabilizar-se, sem grandes ganhos na acurácia com as iterações.

Preliminarmente os resultados das classificações da cobertura vegetal (fig.1) na planície de inundação utilizando dados multifonte foram mais adequados do que quando utilizado apenas as bandas espectrais. Outra constatação é que os padrões de cobertura vegetal

apresentaram alterações no tempo. Na figura 2 são mostrados detalhes das classificações da cena nas duas datas, na qual percebe-se a ocorrência de mudanças. Também se notou maior dificuldade na classificação das imagens CCD/Cbers em relação às TM/Landsat, porém essa avaliação carece maiores estudos. Nesse sentido, será realizado um sobrevôo sobre a área de estudos com imagens multiespectrais de alta resolução espacial que possibilitará o refinamento e validação da classificação.

Os resultados obtidos do aperfeiçoamento dessas classificações devem indicar, com maior acurácia, a dimensão e a localização das alterações. Entretanto, pode-se afirmar que houve alteração da cobertura vegetal. Ainda será necessário aprofundar o entendimento do fenômeno para permitir relacioná-lo com mudanças da hidrodinâmica do sistema ou com a alteração da ação antrópica na área de estudo ou mesmo devido a combinação de ambas razões.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem ao CNPq pelo suporte financeiro decorrente do projeto CT-Hidro/CNPq “Hidrodinâmica, ritmo climático e zoneamento de áreas alagáveis na planície fluvial do alto Rio Paraná, Centro-Sul do Brasil”, processo nº 555608/2006-9, à CAPES pelo auxílio do projeto vinculado ao Programa Nacional de Cooperação Acadêmica - PROCAD/CAPES, intitulado “Desenvolvimento de estudos e métodos para análise das características da água no contexto espaço-temporal”, nº processo 0258059, à FAPESP pela bolsa de mestrado processo 2007/01863-1, ao PIBIC/CNPq pela bolsa de iniciação científica e à UNESP que, através do Programa de Pós-graduação em Ciências Cartográficas e do Departamento de Cartografia forneceram o suporte físico necessário ao desenvolvimento do trabalho.

REFERÊNCIAS

CANTY, M. J.; NIELSEN, A. A.; SCHMIDT, M. Automatic radiometric normalization of multitemporal satellite imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 91(3-4), p. 441-451, 2004.

CANTY, M. J.; NIELSEN, A. A. Automatic radiometric normalization of multitemporal satellite imagery with the iteratively re-weighted MAD transformation. **Remote**

Sensing of Environment, v. 112(3-4), p. 1025-1036, 2008.

GALO, M. L. T. **Aplicação de redes neurais artificiais e sensoriamento remoto na caracterização ambiental do parque estadual morro do diabo**. 2000. 197f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

JUNK, W.J.; BAYLEY, P.B.; SPARKS, R.E. The Flood Pulse Concept in River-Floodplain Systems. In: **D.P. Dodge (Ed) Proceedings of the International Large River Symposium. Can. Spec. Public. Fish. Aquat. Sci.**, 106. p.110-127, 1989.

MERCANTE, E. **Dinâmica espectral da cultura da soja ao longo do ciclo vegetativo e sua relação com a produtividade na região oeste do Paraná**. 2007. 221f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

NIELSEN, A. A.; CONRADSEN, K.; SIMPSON, J. J. Multivariate alteration detection (MAD) and MAF post-processing in multispectral, bitemporal image data: new approaches to change detection studies. **Remote Sensing of Environment**, v.64, p.1-19, 1998.

NIELSEN, A. A. The regularized iteratively reweighted MAD method for change detection in multi- and hyperspectral data. **IEEE Transactions on Image Processing**, v.16(2), p. 463-478, 2007.

TANRÉ, D. et al. Description of a computer code to simulate the satellite signal in the solar spectrum: the 5S code. **International Journal of Remote Sensing**, v.11, p.659-668, 1990.

VALERIANO, M. M. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul**. (Boletim).São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004, 72p.

ZULLO JUNIOR, J. **Correção atmosférica de imagens de satélite e aplicações**. 1994. 190f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

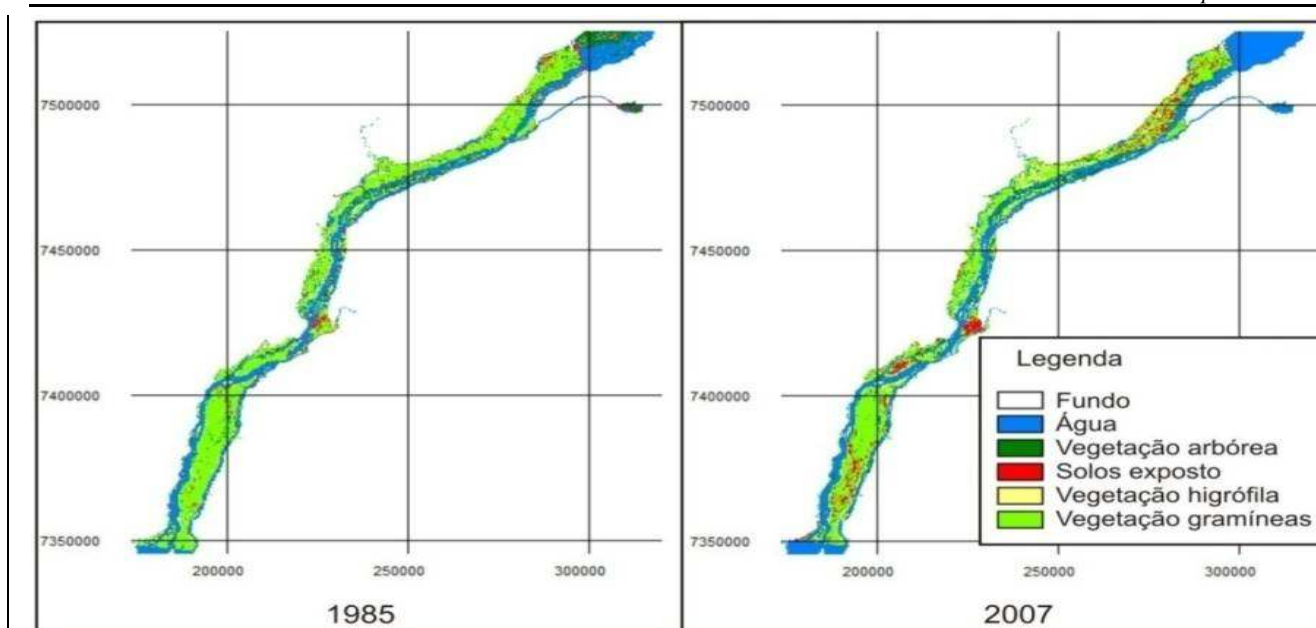


Figura 1 - Classificação da cobertura vegetal no complexo Rio Paraná-Invinheima-Baía

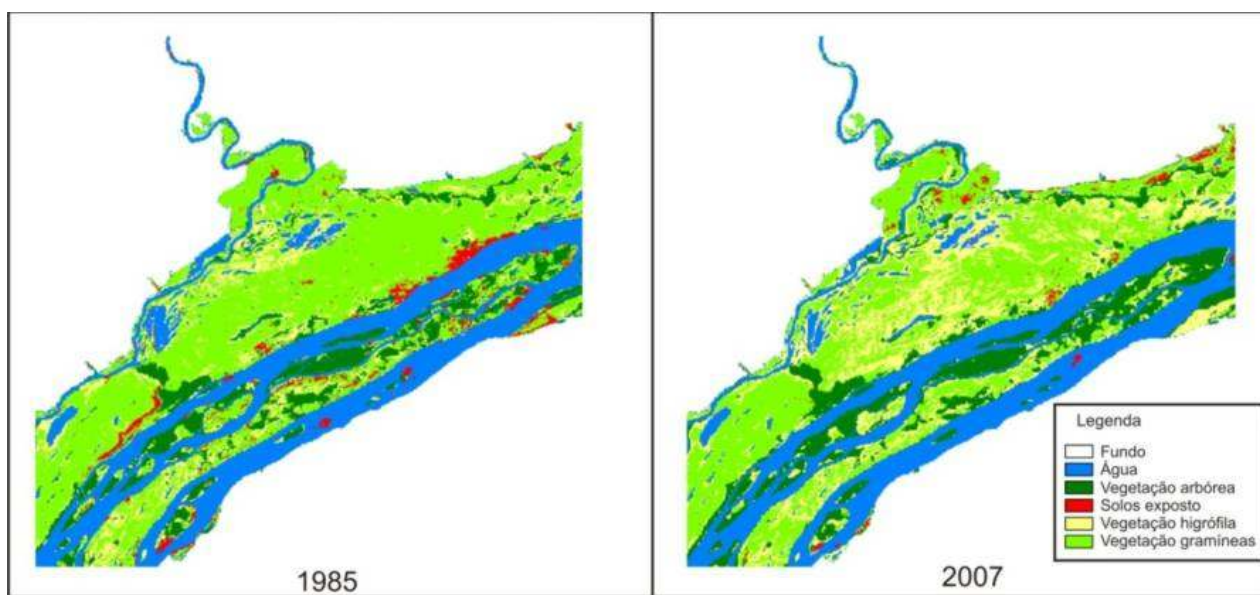


Figura 2 - Detalhe da classificação da cobertura vegetal no complexo rio Paraná-Invinheima-Baía.