

## Aperfeiçoamento do monitoramento do uso e cobertura do solo com dados MODIS a partir da utilização de um diagrama de transição de estados

Milton Jonathan <sup>1</sup>  
Margareth Simões Penello Meirelles <sup>1</sup>  
Heitor Luiz da Costa Coutinho <sup>1</sup>  
Jean-Paul Berroir <sup>2</sup>  
Isabelle Herlin <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Solos  
R. Jardim Botânico, 1024  
22460-000 - Rio de Janeiro - RJ, Brasil  
{milton, margaret, heitor}@cnps.embrapa.br

<sup>2</sup> Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique - INRIA  
BP105 - 78153 - Le Chesnay - France  
{jean-paul.berroir, isabelle.herlin}@inria.fr

**Abstract.** This paper describes a methodology for the improvement of current capabilities for long-term monitoring of land use. A previously published methodology for the classification of land use and land cover using data from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) is presented, which takes advantage of that sensor's high temporal frequency, extensive coverage, and extremely low costs for data acquisition. Then, a state-transition diagram is proposed in order to enhance that methodology by incorporating extra information in the form of *a priori* knowledge of land use dynamics, thus making it possible for the classification algorithm to take advantage of the temporal context of each point within the region of analysis. Finally, it is argued how such an approach can significantly improve the classification process not only in terms of overall accuracy but also in terms of better describing the land use and land cover classes found within the area of study.

**Palavras-chave:** sensoriamento remoto, processamento de imagens multitemporais, classificação do uso do solo, detecção de mudanças do uso do solo, remote sensing, multitemporal image processing, land use classification, land use change detection, MODIS.

### 1. Introdução

Nos últimos anos, a crescente influência das atividades humanas no funcionamento e equilíbrio dos ecossistemas tem merecido cada vez mais atenção por parte da comunidade científica. Assim, por diversas vezes já se estabeleceram relações entre as ações do Homem e degradações intensivas do solo em diversas regiões, além de perda de biodiversidade, mudanças em regimes hidrológicos e mesmo alterações climáticas. Neste contexto, o uso e cobertura do solo, assim como as suas mudanças de natureza tanto antrópica quanto natural, vem sendo reconhecido já há algum tempo como um fator preponderante para o controle dos ciclos biogeoquímicos de nosso planeta (tais como os ciclos de carbono e de água), e conseqüentemente do próprio funcionamento dos ecossistemas (Meyer e Turner (1994)).

Entretanto, apesar desta importância, o monitoramento contínuo e detalhado do uso e cobertura do solo em escalas regionais, continentais e globais ainda constitui um desafio para a comunidade científica nos dias de hoje. Ao longo das últimas décadas, inúmeros trabalhos demonstraram a eficiência da utilização de imagens de sensoriamento remoto de alta resolução para a classificação do uso e cobertura a nível local. Entretanto, tornou-se claro também que o emprego destas técnicas para levantamentos freqüentes sobre grandes áreas termina por exigir custos proibitivos tanto do ponto de vista financeiro quanto computacional,

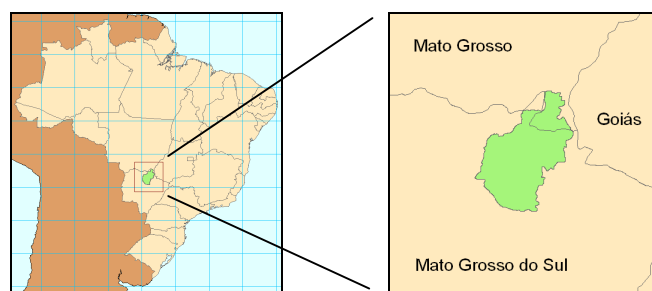
especialmente se considerarmos os limitados recursos disponíveis em regiões menos desenvolvidas do Brasil e do mundo.

Por estas razões, ao longo dos anos também se exploraram as possibilidades de levantamento do uso e cobertura do solo a partir de imagens de baixo custo, alta resolução temporal, e baixa ou moderada resolução espacial (Holben and Shimabukuro (1993); Bouzidi et al. (2000); Meirelles et al. (2004)). Tradicionalmente, muitas destas abordagens fizeram uso de dados do sensor NOAA/AVHRR (1.1 km de resolução), mas hoje em dia encontram-se disponíveis dados provenientes do sensor MODIS a bordo dos satélites Terra e Aqua da NASA, apresentando melhor resolução espacial (até 250m), e padrões superiores de calibração, georreferenciamento e correção atmosférica, além de informações detalhadas a respeito da qualidade de seus dados. Desta forma, um grande número de pesquisadores começou a fazer uso de dados deste sensor para o levantamento do uso e cobertura do solo, com grande sucesso (Strahler et al. (1999); Lobell e Asner (2004); Wessels et al. (2004)). Entretanto, o atual estágio de desenvolvimento destas técnicas ainda não permite a utilização deste tipo de abordagem para monitoramentos regionais rotineiros com baixo custo e alta confiabilidade, de modo que maiores avanços ainda são necessários nesse sentido.

## 2. Área de Estudos

A área de estudos utilizada neste trabalho corresponde à Bacia do Alto Taquari, a qual é praticamente inteiramente contida no estado do Mato Grosso do Sul, na região Centro-Oeste do Brasil. Uma pequena porção da parcela nordeste da bacia está localizada no estado do Mato Grosso (**Figura 1**).

De acordo com a definição dada por Silva (2003), a Bacia do Alto Taquari está limitada pelos pontos de coordenadas (17°10'S, 53°10'W) e (19°45'S, 55°10'W), abrangendo uma área total de 28.046 km<sup>2</sup>.



**Figura 1** Localização da Bacia do Alto Taquari, MS, a área de estudos deste trabalho.

## 3. Metodologia

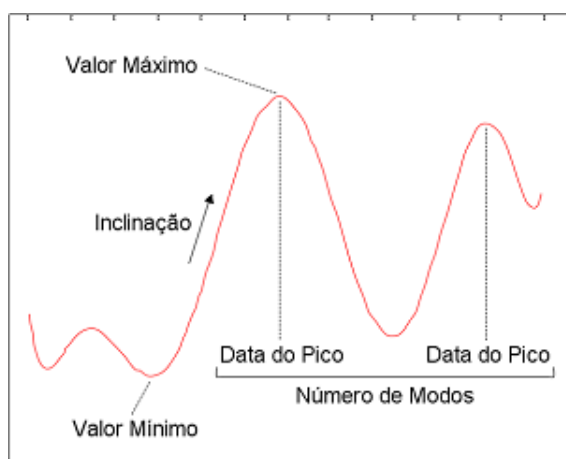
### 3.1 Trabalhos anteriores

Em Jonathan (2005) e Jonathan et al. (2006), é descrita uma metodologia para a classificação sistemática do uso e cobertura do solo a partir de perfis temporais MODIS. Essencialmente, esta metodologia se baseia nos seguintes dois conjuntos de dados:

- Uma seqüência temporal de dados MODIS para a região em estudo, com informações de NDVI, vermelho e infra-vermelho próximo cobrindo um período de 1 ano, de modo a capturar o ciclo vegetativo apropriadamente.
- Uma classificação confiável do uso e cobertura do solo para o mesmo ano, para servir de dado de referência na fase de treinamento da metodologia. Esta classificação deve

cobrir ao menos uma parcela da região em estudo, devendo descrever as classes de interesse de maneira representativa.

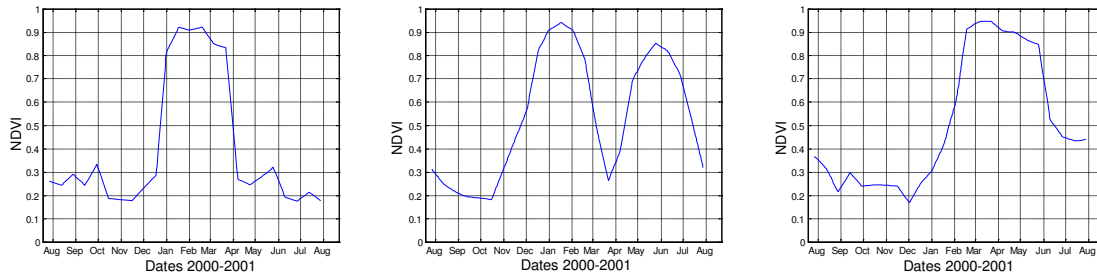
Uma vez coletados todos os dados, um passo importante da metodologia consiste no processamento do sinal temporal original observado pelo MODIS para cada ponto da área de estudos. Esse passo tem como objetivo simplificar os dados temporais brutos e redundantes adquiridos seqüencialmente ao longo do ano, de maneira a se obter uma descrição mais compacta e significativa do comportamento temporal em cada ponto. Neste sentido, os perfis temporais são primeiro ajustados a uma curva suave, para que então se calcule uma série de *métricas* ou *atributos temporais*, os quais proporcionam informações mais compactas e inteligentes de cada perfil (**Figura 2**).



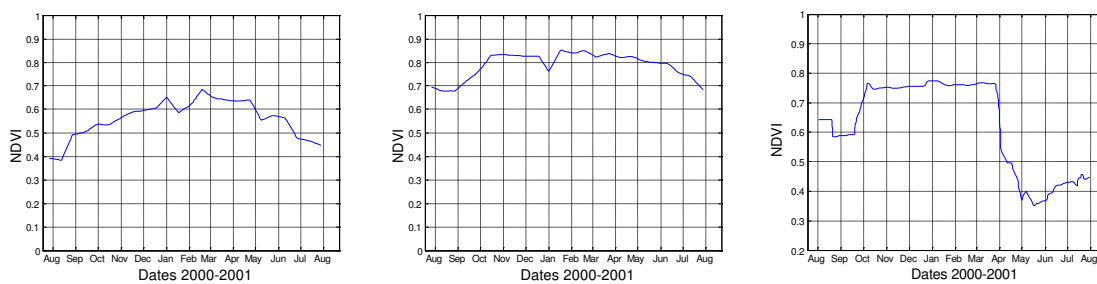
**Figura 2** Exemplos de atributos temporais calculados para um perfil temporal de um ano de duração, obtido a partir de dados NDVI do MODIS. Comparados aos dados brutos originais, o uso de atributos temporais como estes proporciona uma informação muito mais relevante e compacta acerca do comportamento temporal observado em cada ponto.

Uma vez processados os dados, executa-se então o processo de classificação supervisionada. Para isso, analisam-se os atributos temporais computados em áreas pertencentes ao conjunto de treinamento, estabelecendo-se padrões temporais típicos para cada classe de uso e cobertura do solo. Então, estes padrões temporais aprendidos são utilizados pelo algoritmo de classificação para o restante da área de estudos.

A implementação desta metodologia de classificação na área de estudos (a Bacia do Alto Taquari) demonstrou ser possível distinguir 6 tipos diferentes de perfis temporais nessa região a partir dos dados MODIS. Dentre estes tipos, encontram-se 3 perfis distintos de prática agrícola (**Figura 3**), correspondendo ao comportamento observado para culturas de verão (e.g., soja), cultura de verão seguido de cultura de inverno (e.g., soja seguida de milho de safrinha), e cultura de inverno (e.g., trigo ou sorgo). Além disso, foi também possível discriminar áreas de pastagem, áreas de cerrado, e áreas nas quais se verificou um processo de desflorestamento (**Figura 4**).



**Figura 3** Perfis temporais de NDVI correspondentes a práticas agrícolas distintas, identificados pela metodologia a partir de um ano de observações feitas pelo sensor MODIS.



**Figura 4** Perfis temporais de NDVI correspondentes a áreas de *pastagem* (à esquerda), *cerrado* (centro) e *desflorestamento* (à direita), identificados pela metodologia a partir de um ano de observações feitas pelo sensor MODIS.

De fato, a aplicação da metodologia demonstrou ser possível realizar um levantamento bastante acurado da região a partir de um treinamento adequado. Entretanto, ainda assim pode-se perceber um certo nível de dificuldade na discriminação entre classes específicas de uso e cobertura do solo, notadamente entre áreas de *pastagem* e *cerrado*. Este fenômeno se dá devido ao fato de que não há diferenças notáveis em termos da forma do perfil temporal típico destas classes, havendo inclusive casos específicos onde esta discriminação se torna virtualmente impossível, como nos casos de *pasto sujo* (cujo perfil temporal se assemelha ao do cerrado) e de *cerrado aberto*, particularmente em anos mais secos (o que faz com que o perfil temporal observado se assemelhe ao de uma área de pastagem).

### 3.2 Uso de um diagrama de transição de estados

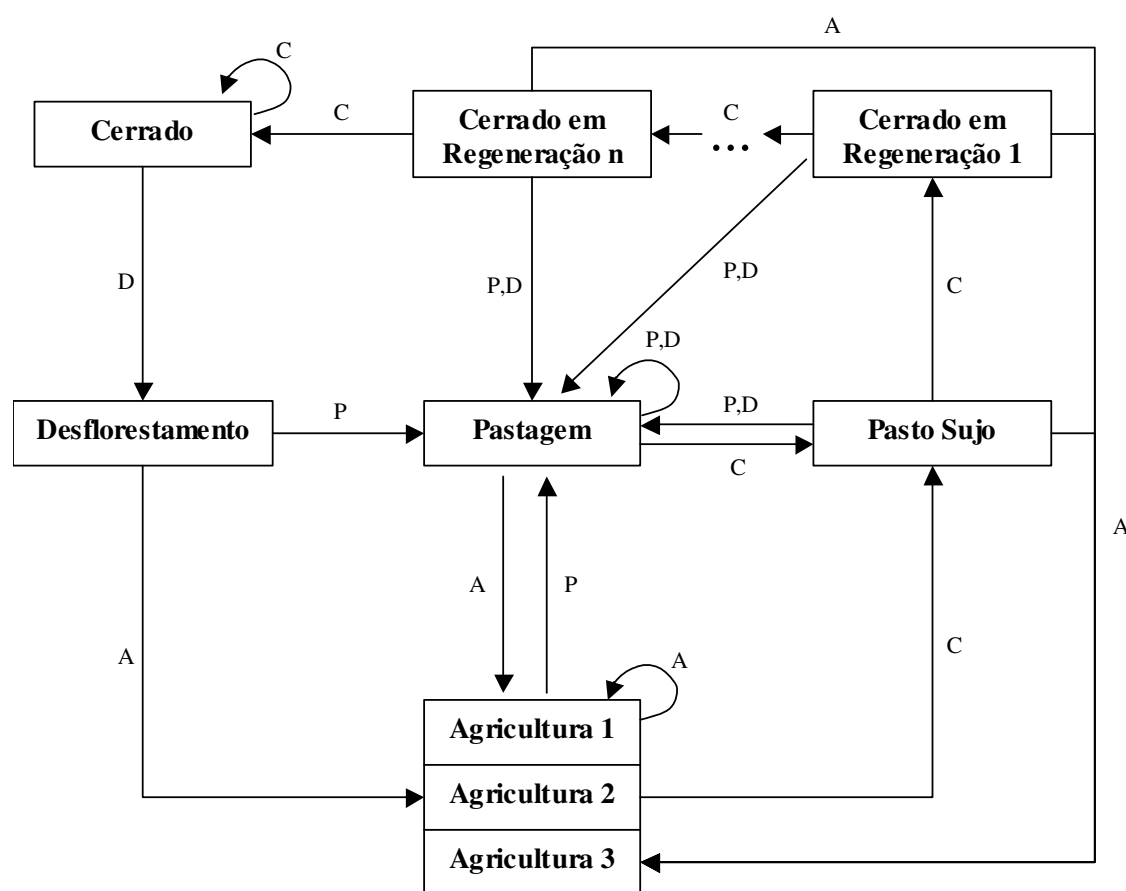
Uma vez realizadas estas observações, a idéia que se propõe neste artigo é o de se usar um *diagrama de transição de estados* (STD, *state-transition diagram*) para codificar o conhecimento da dinâmica do uso e cobertura do solo ao longo do tempo. Assim, a partir de uma classificação inicial num tempo zero, este diagrama tornaria possível aproveitar toda a informação acerca do histórico de uso e cobertura do solo em cada ponto, de forma a guiar e facilitar um processo subsequente de monitoramento contínuo ao longo dos anos.

Na prática, um STD corresponde primeiramente a um conjunto de *estados*, os quais representam as diferentes etapas que podem ocorrer no processo de evolução do uso e cobertura do solo num ponto qualquer da região em estudo. Além disso, para cada estado estão definidas também as suas diferentes *transições* possíveis, estabelecendo-se assim os tipos de mudança de uso e cobertura do solo que podem ser reconhecidas com base no histórico ou contexto temporal de cada ponto.

Neste trabalho, cada estado do STD está sempre associado a alguma das classes de uso e cobertura do solo mapeadas na região. Além disso, para cada estado o diagrama deve

determinar o estado resultante com base na observação de um perfil temporal de um ano. Neste sentido, tipos diferentes de perfis (e.g., perfil agrícola, de pastagem, etc) podem definir transições diferentes, levando a estados distintos. Portanto, no diagrama diposto na **Figura 5** abaixo, cada caixa corresponde a um estado e assim indica também uma classe, enquanto cada transição entre estados é determinado pelo tipo de perfil observado no ano subsequente. Os tipos de perfil atualmente discriminados pela metodologia são os seguintes:

- A – perfil de agricultura (classes Agricultura 1, 2 ou 3)
- C – perfil de cerrado
- P – perfil de pastagem
- D – perfil de desflorestamento



**Figura 5** Diagrama de transição de estados proposto. Cada estado explicita uma classe de uso e cobertura do solo e um contexto temporal, sendo que a transição entre estados é definida através da discriminação do tipo de perfil temporal observado no ponto em questão durante o ano subsequente. Os tipos possíveis de perfil temporal são A (agricultura 1, 2 ou 3), P (pastagem), C (cerrado) e D (desflorestamento).

Assim, observando-se a **Figura 5** acima, para o estado *pastagem*, por exemplo, a observação de um perfil semelhante ao de um cerrado durante um ano levaria a um estado de *pasto sujo*, ao passo que o mesmo perfil observado para uma área de cerrado deve manter o estado *cerrado*.

#### 4. Discussão

Antes de mais nada, deve-se notar que a utilidade da aplicação de um STD para fins de monitoramento apresenta dois benefícios de natureza distinta.

Em primeiro lugar, o diagrama proporciona uma definição das transições possíveis para cada área, dado o seu histórico de uso. Desta forma, espera-se atingir um aumento na acurácia geral da classificação, uma vez que se tornará possível descartar erros grosseiros, ou seja, erros correspondentes a casos inverossímeis segundo o conhecimento da dinâmica do uso do solo na região em questão. Nesse sentido, por exemplo, confusões entre áreas de cerrado e de pastagem poderiam ser bastante minimizadas, pois uma área sabidamente de pastagem não deveria poder se tornar cerrado repentinamente, ao mesmo tempo em que uma área de cerrado só deve poder se tornar pastagem após um processo de desflorestamento. De forma semelhante, ocorrências de aparente desflorestamento detectadas em áreas de pastagem também devem ser descartadas, podendo-se nestes casos interpretar o evento como uma simples prática de manejo do pasto.

Já sob um segundo ponto de vista, a aplicação de um STD também permite que se reconheçam algumas classes mais específicas de uso e cobertura do solo, a partir da incorporação da informação relativa ao contexto temporal ou histórico de cada ponto analisado. Nesse aspecto, poderia-se por exemplo levar em consideração o histórico de regeneração de uma determinada área, identificando-se assim estágios sucessionais de regeneração de cerrado. De forma semelhante, este tipo de informação contextual no tempo pode ser aproveitada para se detectar áreas de rodízio de culturas, bem como os diferentes sistemas de rodízio utilizados, ou ainda áreas de integração lavoura-pecuária (ILP).

## **5. Conclusões**

Neste trabalho, foi apresentada uma metodologia de classificação do uso e cobertura do solo a partir de dados temporais do sensor MODIS, discutindo-se então de que formas esta metodologia pode ter seu desempenho e capacidade aperfeiçoados através da utilização de um diagrama de transição de estados.

O diagrama proposto aqui demonstra ser possível codificar de forma relativamente simples e conveniente o conhecimento existente dos padrões de dinâmica do uso e cobertura do solo na região de estudos. Desta forma, espera-se poder atingir significativos benefícios em termos de aumento da acurácia da classificação, uma vez que se torna possível evitar erros de classificação provenientes de casos inverossímeis do ponto de vista de evolução do uso da terra. Em particular, com relação à área de estudos e ao bioma Cerrado em geral, espera-se poder desta forma melhorar o potencial de discriminação entre áreas de cerrado e pastagem a partir de dados MODIS. Adicionalmente, observa-se ainda que o uso deste tipo de diagrama também torna possível aumentar o potencial de discriminação de classes de uso do solo, uma vez que o processo de classificação passa a ter acesso a nuances da evolução do uso da terra, como nos casos de regeneração de cerrados.

Neste sentido, pode-se concluir que este trabalho contribui para que se torne viável monitorar o uso e cobertura do solo em grandes regiões a partir de dados de baixo custo e com um alto nível de automação.

## **Agradecimentos**

Este trabalho conta com o apoio do CNPq (através do projeto *ENVIAR* no contexto de parceria CNPq-INRIA), e do IAI (InterAmerican Institute for Global Change Research) no contexto do projeto “*Land use change in the Rio de la Prata Basin : linking biophysical and human factors to predict trends, assess impacts and support viable strategies for the future*”

## Referências

- Bouzidi, S.; Lahoche, F.; Herlin, I. Land use classification at meso-scale using remotely sensed data. In: **Proceedings of 19th ISPRS Congress and Exhibition, geoinformation for all**, Amsterdam, Netherlands, 2000.
- Holben, B. N.; Shimabukuro, Y. E. Linear mixing applied to coarse spatial resolution data from multispectral satellite sensors. **International Journal of Remote Sensing**, v. 14, n. 11, p. 2231-2240, 1993.
- Jonathan, M. **Classificação do uso e cobertura do solo em escala regional a partir de seqüências temporais de dados MODIS**. 2005. 147 p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Computação – Área de Concentração Geomática, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. 2005. Disponível em <http://www.geomatica.eng.uerj.br/teses/miltonj.tar.gz>. Acesso em: 25 set. 2006
- Jonathan, M.; Meirelles, M. S. P. ; Berroir, J.-P. ; Herlin, I., 2006. Regional scale land use/land cover classification using temporal series of MODIS data. In: **Proceedings of ISPRS Mid-term Symposium 2006** “Remote Sensing: From Pixels to Processes”, Enschede, Netherlands.
- Lobell, D. B.; Asner, G. P. Cropland distributions from temporal unmixing of MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, v. 93, n. 3, p. 412-422, 2004.
- Meirelles, M. S. P.; Costa, G. A. O. P. da; Singh, D.; Berroir, J.-P.; Herlin, I.; Silva, E. F. da; Coutinho, H. L. da C. A methodology to support the analysis of environmental degradation using NOAA/AVHRR data. In: **Proceedings of 20th ISPRS Congress**, p. 534-540. Istanbul, Turkey, 2004.
- Meyer, W. B.; Turner, B. L. II. **Changes in land use and land cover: a global perspective**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994. 549 p.
- Silva, J. dos S. V. da. **Análise multivariada em zoneamento para planejamento ambiental - Estudo de caso: bacia hidrográfica do alto rio Taquari, MS/MT**. 2003. 307 p. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil. 2003.
- Strahler, A. H.; Muchoney, D.; Borak, J. S.; Friedl, M.; Gopal, S.; Lambin, E.; Moody, A. **MODIS land cover and land cover change**. 1999. 66 p. Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD), v. 5.0, GSFC, NASA, USA. 1999. Disponível em [http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd\\_mod12.pdf](http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod12.pdf). Acesso em: 25 set. 2006
- Wessels, K. J.; DeFries, R. S.; Dempewolf, J.; Anderson, L.O.; Hansen, A.J.; Powell, S.L.; Moran, E.F. Mapping regional land cover with MODIS data for biological conservation: examples from the Greater Yellowstone Ecosystem, USA and Pará State, Brazil. **Remote Sensing of Environment**, v. 92, n. 1, p. 67-83, 2004.