

Estudo comparativo entre o desempenho dos algoritmos BFAST e DBEST para detecção de mudanças de regime, utilizando imagens MODIS/NDVI

Ana Carolina do Couto Andrade¹ - *carol.goiana@hotmail.com* - UFG

Claudinei Oliveira dos Santos² - *claudineisantosnx@gmail.com* - UFG

Leandro Leal Parente² - *leal.parente@gmail.com* - UFG

Laerte Guimarães Ferreira³ - *lapig.ufg@gmail.com* - UFG

Resumo. Diante da crescente necessidade de mitigar os impactos ambientais causados pelo usos antrópico, reduzir as emissões de gases de efeito estufa, recuperar áreas degradadas e, em contrapartida, aumentar a produção de alimentos, faz-se necessário o constante monitoramento do uso e transformações da superfície terrestre. Séries temporais de dados de sensoriamento remoto são fundamentais para acompanhar as mudanças ocorridas na superfície ao longo do tempo e em largas escalas, e são necessários métodos automatizados para acompanhar as diferentes mudanças de uso da terra. Neste estudo foram avaliados a eficiência de dois desses métodos, BFAST (Breaks For Additive Seasonal and Trend) e o DBEST (Detecting Breakpoints and Estimating Segments in Trend), em detectar diferentes mudanças de regime em séries temporais de NDVI/MODIS. Os resultados sugerem que os métodos são eficazes em detectar mudanças de maior magnitude, como desmatamentos, e apresentam muita incertezas em mudanças de menor magnitude, como conversão de pastagem para soja ou soja para soja e milho. Sugere-se que novos estudos testando diferentes parâmetros dos métodos sejam conduzidos.

1 Introdução

O manejo adequado do uso da terra fomenta um cenário profícuo relativo a sustentabilidade, uma vez que possibilita a redução da emissão de gases de efeito estufa (GEE) [Bustamante et al., 2012]. Isto posto, o Brasil edificou a Política Nacional sobre a Mudança do Clima (PNMC), em que, através da Lei nº 12.187/2009, se compromete a adotar ações de mitigação para reduzir as emissões destes gases [Federal et al., 2008, MCTI, 2013]. Lado a lado, o Plano ABC é uma política pública que, através de recursos disponibilizados via crédito rural, corrobora com os compromissos assumidos pelo país [de Brasil, 2012].

Neste cenário, torna-se fundamental a elaboração e instalação de mecanismos capazes de discernir os diferentes usos do solo, bem como identificar as transformações ocorridas ao longo do tempo [Maus et al., 2016]. Para tal, as análises multi-temporais, como o monitoramento das variações nos valores de reflectância ou radiância ao longo do tempo, surgem como uma oportunidade de verificar mudanças no uso e cobertura da terra [Ferreira et al., 2004], permitindo, por exemplo, a fiscalização e monitoramento remoto de áreas de interesse.

¹Graduanda em Estatística

²Doutorando em Ciências Ambientais

³PHD em Ciências do Solo Sensoriamento Remoto

Em meio a isso, surgem algumas pesquisas relacionadas ao desenvolvimento de algoritmos capazes de decompor séries temporais em suas três principais constituintes: tendência, sazonalidade e ruído. Dentre os inúmeros algoritmos já desenvolvidos, destacam-se, por simples implementação e alta robustez, o BFAST [Verbesselt et al., 2010], e o DBEST [Jamali et al., 2015]. Ambos, através do procedimento STL - Seasonal-Trend e LOESS- Locally Weighted Regresion Smoother, possibilitam a identificação de mudanças de regime na série temporal e incluem medidas de direção e magnitude das mudanças; apesar de desenvolvidos para serem algoritmos genéricos, foram bem avaliados para mudanças de regimes resultantes do desmatamento de florestas.

Neste trabalho o objetivo foi avaliar a eficácia dos algoritmos BFAST e DBEST, para detectar mudanças de regimes em séries temporais, de índice de vegetação, resultantes de diferentes mudanças de uso do solo, (exemplo: floresta - pastagem, pastagem - soja, soja - soja e milho, soja - seringa), na Mesoregião nordeste Mato-Grossense.

2 Material e Métodos

2.1 Área de Estudo

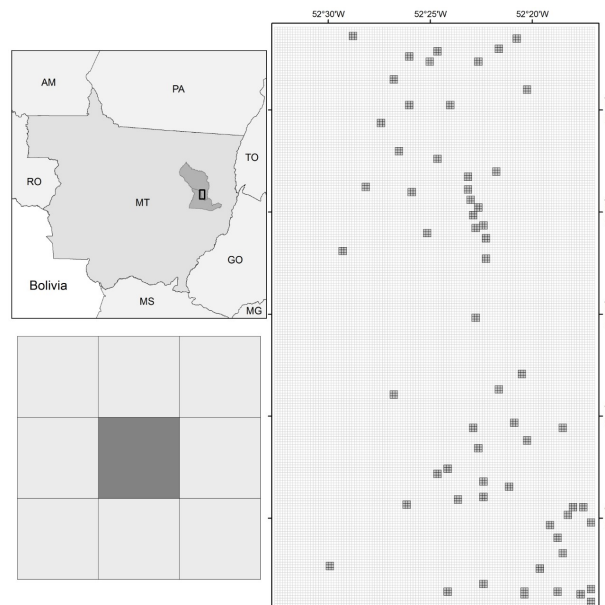


Figura 1: Área de estudo, localizada na Mesoregião nordeste do estado de Mato-Grosso (a), com destaque para as amostras selecionadas em diferentes classes de uso do solo (b). Em cada amostra foram selecionados 9 pixels de NDVI (MOD13Q1) do Sensor MODIS(c).

A área de estudo está localizada na zona de transição entre os biomas Cerrado e Amazônia, na Mesoregião nordeste Mato-Grossense (Figura 1). Essa região está inserida em uma das fronteiras agrícolas mais intensas do mundo atualmente, conhecida como arco do desmatamento .

Para as análises, foram selecionadas amostras em áreas de florestas, agricultura (soja e soja e milho), pastagem e silvicultura (seringal), para as quais tem-se o histórico de transições do uso. O número de amostras para cada classe foi limitado pela disponibilidade de área com a respectiva classe de uso na região do presente estudo, e variou entre 8 e 18. Cada amostra consistiu em uma área de 750 x 750 metros, compreendendo uma matriz de 3 x 3 pixel de 250 x 250 metros (Figura 1), que corresponde a um pixel do produto MOD13Q1, do sensor MODIS.

2.2 Imagens MODIS/NDVI

No presente estudo foram utilizadas séries temporais de dados de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), produto MOD13Q1 do sensor MODIS, que possuem resolução espacial de 250 metros, e resolução temporal de 16 dias. Os dados utilizados compreendem o período de janeiro de 2001 a dezembro de 2016, com 23 registros por ano.

A fim de dimensionar a capacidade dos algoritmos, BFAST e DBEST, em discernir os diferentes usos do solo, 63 pixels foram selecionados. A posteriori, aplicou-se um filtro *passa-baixa* de média 3x3, produzindo uma homogeneização geral da cena. Matematicamente, o resultado para um pixel (i, j) qualquer da imagem será

$$g(i, j) = \frac{1}{9} \sum_{m=1}^3 \sum_{n=1}^3 f(m, n)$$

onde $f(m, n)$ representa o valor de NDVI para o pixel de posição (m, n) na máscara 3x3.

2.3 Teste Qui-Quadrado de homogeneidade

Em um teste Qui-Quadrado de homogeneidade, pode-se testar a afirmação de que diferentes populações têm a mesma proporção de indivíduos com alguma característica, isto é, são geradas por Bernoullis de iguais parâmetros.

$$\begin{cases} H_0 : \text{“não há diferença significativa entre os grupos”} \\ H_1 : \text{“há diferença significativa entre os grupos”} \end{cases}$$

A estatística do teste será

$$Q_{obs}^2 = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^c \frac{(O_{ij} - E_{j|i})^2}{E_{j|i}} \sim \chi_{\alpha; (r-1)(c-1)}^2$$

Assim, dado um nível de significância α , o p-valor é determinado por

$$\text{p-valor} = P[Q_{obs}^2 > \chi_{\alpha; (r-1)(c-1)}^2 | H_0]$$

2.4 BFAST e DBEST

O BFAST, um dos algoritmos avaliados no presente estudo, foi desenvolvido por [Verbesselt et al., 2010], como uma abordagem genérica para detectar múltiplas mudanças nos componentes sazonalidade e tendências de séries temporais. Este algoritmo decompõe a série temporal, em três componentes: tendência, sazonalidade e ruído, e pode ser expressado na seguinte fórmula:

$$Y_t = T_t + S_t + e_t, \quad t = 1, \dots, n \quad (1)$$

onde: Y_t são os dados observados no tempo t , T_t é o componente de tendência, S_t é o componente sazonal, e e_t é o restante do componente ou ruído. Utilizando o intercepto e slope, o algoritmo calcula a magnitude e direção da mudança de regime na série temporal, que é derivada da diferença entre T_t em t_{j-1}^* e t_j^* , assim magnitude é igual:

$$Magnitude = (\alpha_{j-1} - \alpha_j) + (\beta_{j-1} - \beta_j)$$

Similarmente, o DBEST surge como uma nova abordagem para segmentar e analisar mudanças de tendência em séries temporais, fornecendo tanto os segmentos de tendência generalizados quanto as estimativas das características de eventos abruptos e processos de longo prazo [Jamali et al., 2015].

3 Resultados e discussão

Foram realizados testes Qui-Quadrado de homogeneidade para testar as seguintes hipóteses:

$H_0^{(1)}$: “A probabilidade de acertos dos algoritmos, BFAST e DBEST, são iguais”

$H_0^{(2)}$: “A probabilidade de acertos dos algoritmos para análise pixel a pixel é igual a probabilidade de acertos para análise por região”

$H_0^{(3)}$: “A probabilidade de acertos dos algoritmos não está associada a mudança de uso do solo ocorrida”

Encontrou-se associação (p -valor $< 2.984e-12$) apenas entre a mudança de uso do solo e a quantidade de acertos dos algoritmos, isto é, tanto o BFAST quanto o DBEST tendem a ter mais dificuldades em detectar algumas transições, quando comparadas com outras. Como pode ser observado na Figura 2, onde ambos os métodos detectaram a mudança de floresta para pastagem (2004), e ambos não detectaram a mudança de pastagem para soja (2013), sugerindo que estes métodos são mais eficazes em detectar mudanças de regime que representem maior magnitude.

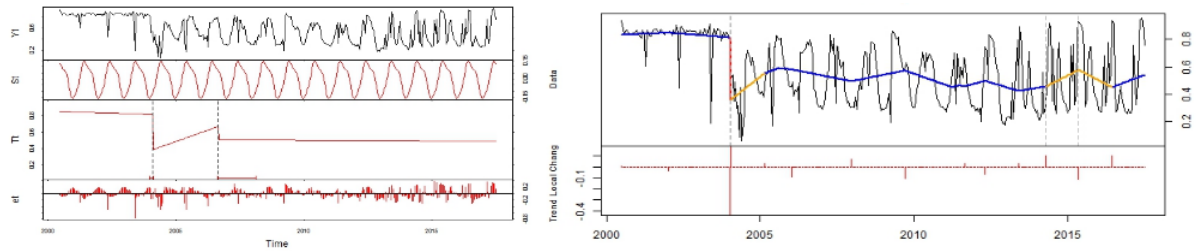


Figura 2: Saídas do BFAST (a) e DBEST (b) para um pixel de floresta, convertido em pastagem (2004) e soja (2013).

Nota-se, através da Tabela 1, a discrepância de acertos entre as classes de uso do solo. Ambos os algoritmos obtiveram sucesso em detectar mudanças ocorridas em áreas originalmente de floresta. Entretanto, há uma nítida dificuldade em identificar a transição pastagem-soja, por exemplo.

Tabela 1: Quantidade de acertos e erros por algoritmo e transição (pixel a pixel)

Transição	BFAST		DBEST	
	Acertos	Erros	Acertos	Erros
Floresta - Floresta	15	0	15	0
Soja - Soja e Milho	4	14	2	16
Pastagem - Soja	4	30	10	24
Soja - Seringa	2	2	3	1
Floresta - Pastagem	10	4	8	6
Seringa - Seringa	2	4	6	0
TOTAL	37	54	44	47

4 Conclusões

Não há evidências estatísticas suficientes para classificar um dos algoritmos, BFAST ou DBEST, como superior em relação ao outro, em termos de capacidade para detectar mudanças do uso do solo. Bem como, a classificação pixel a pixel revelou-se estatisticamente equivalente a classificação por região. Por outro lado, encontrou-se forte associação entre a probabilidade de acerto dos algoritmos e a mudança de regime presente, que sugere uma maior eficiência para detectar mudanças de regime que representem maior magnitude, como desmatamentos. Nesse sentido, maiores investigações com novas parametrizações dos métodos são necessárias.

Referências

- [Bustamante et al., 2012] Bustamante, M. M., Nobre, C. A., Smeraldi, R., Aguiar, A. P., Barioni, L. G., Ferreira, L. G., Longo, K., May, P., Pinto, A. S., and Ometto, J. P. (2012). Estimating greenhouse gas emissions from cattle raising in brazil. *Climatic change*, 115(3-4):559–577.
- [de Brasil, 2012] de Brasil, G. (2012). Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura. *Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono)*. Coordenado por Casa Civil da Presidência da República, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA). Versão final-13/01.
- [Federal et al., 2008] Federal, G. et al. (2008). Plano nacional sobre mudança do clima-pnmc-brasil.
- [Ferreira et al., 2004] Ferreira, L., Yoshioka, H., Huete, A., and Sano, E. (2004). Optical characterization of the brazilian savanna physiognomies for improved land cover monitoring of the cerrado biome: preliminary assessments from an airborne campaign over an lba core site. *Journal of Arid Environments*, 56(3):425–447.
- [Jamali et al., 2015] Jamali, S., Jönsson, P., Eklundh, L., Ardö, J., and Seaquist, J. (2015). Detecting changes in vegetation trends using time series segmentation. *Remote Sensing of Environment*, 156:182–195.
- [Maus et al., 2016] Maus, V., Câmara, G., Cartaxo, R., Sanchez, A., Ramos, F. M., and de Queiroz, G. R. (2016). A time-weighted dynamic time warping method for land-use and land-cover mapping. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9(8):3729–3739.
- [MCTI, 2013] MCTI, M. (2013). Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no brasil.
- [Verbesselt et al., 2010] Verbesselt, J., Hyndman, R., Newnham, G., and Culvenor, D. (2010). Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series. *Remote sensing of Environment*, 114(1):106–115.
-