

Padrões e tendências das pastagens do Brasil: uma análise a partir de imagens índice de vegetação MODIS e algoritmos de detecção de mudanças

Guilherme Ferreira Arantes Souza^{1,2}

Arielle Elias Arantes^{1,3}

Leandro Leal Parente^{1,4}

Laerte Guimarães Ferreira Junior^{1,5}

¹ Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento da Universidade Federal de Goiás (Lapig - UFG), Campus Samambaia, Cx. Postal 131, Goiânia-GO, 74001-970, Brasil

² guifas3000@gmail.com

³ aearantes@gmail.com

⁴ leandro@lapig.iesa.ufg.br

⁵ laerte@ufg.br

Abstract. A pasture undergoing degradation is characterized by a decrease in vegetative vigor through time, which culminates in different environmental impacts (e.g. soil erosion) and economic losses. As a phenomenon occurring in the temporal domain, the use of satellite vegetation index time series, associated with robust algorithms for detecting land cover change and trend estimations, such as BFAST, can be instrumental in identifying pasture degradation. Thus, the objective of this study was to evaluate the potential and performance of the BFAST algorithm to identify patterns of change (breakpoints), and loss of vegetative vigor (trend) of the Brazilian pasturelands. To this end, MODIS NDVI time-series (2000 to 2016) were analyzed via BFAST, considering both specific pasture points, as well as the entire area of the Rio Vermelho Watershed (BHRV, State of Goiás). BFAST proved capable of detecting major land cover transitions, as well as pasture trends related to the loss of vegetative vigor / degradation. At the landscape scale (i.e. BHRV), even though the processing was done pixel by pixel, the resulting slopes and breakpoints (dates of major changes) showed a spatial consistency, indicating the potential of BFAST to identify spatial patterns for large areas.

Keywords: trend detection, BFAST, land cover change, pasture degradation.

1. Introdução

Cerca de 26% das terras agricultáveis no mundo são destinadas ao pastoreio de bovinos (1.43 bilhões de cabeças), com vistas à produção de leite e carne, sendo que a pecuária contribui para 40% do PIB agrícola mundial e alimenta 800 milhões de pessoas (HERRERO et al., 2013; ROBINSON et al., 2014). Contudo, estima-se que aproximadamente 20% dessas áreas estão degradadas, principalmente pelo uso acima da capacidade de suporte, i.e. sem considerar a carga animal adequada para manter a produtividade e a persistência da pastagem ao longo do tempo (FAO, 2012; ABEL, 1993). Uma pastagem severamente degradada comporta menos de 0,5 UA ha⁻¹, o que acarreta em uma perda econômica na produção de carne de mais de um bilhão de dólares (KLINK & MACHADO, 2005), haja vista que a produtividade animal sobre uma pastagem degradada é de 3 arrobas ha⁻¹ ano⁻¹, se comparada a 16 arrobas ha⁻¹ ano⁻¹ de uma pastagem com bom nível de forragem (ANDRADE et al., 2013). Da mesma forma, o impacto ambiental de uma pastagem degradada é superior ao de uma de boa qualidade, visto que a evapotranspiração diária de uma pastagem degradada é inferior (1,05 mm dia⁻¹) a uma de boa qualidade (1,50 mm dia⁻¹) e a prática da queima do pasto é maior em uma pastagem degradada (ANDRADE et al., 2014; LONGO et al., 2013).

A identificação da degradação das pastagens é uma tarefa complexa, pois o conceito de degradação varia conforme ecólogos, produtores e tomadores de decisão (DAVIDSON et al., 2008). No entanto, de forma geral, todos os conceitos de degradação de pastagens indicam que este é um processo evolutivo de perda de vigor e produtividade ao longo do tempo, o que leva à incapacidade da pastagem de sustentar os níveis de produção e a qualidade exigida pelos animais, culminando, na maioria dos casos, na degradação dos recursos naturais, como os solos (MACEDO & ZIMMER, 1993; MACEDO, 1995; DIAS-FILHO, 2011).

O uso de séries temporais de imagens de satélite, que medem o vigor e a produtividade das pastagens ao longo do tempo, associado a métodos de análise de tendência ou de detecção de mudanças, podem auxiliar na compreensão do processo de degradação das pastagens. Por exemplo, Andrade et al. (2014), por meio de uma análise de regressão linear com dados de evapotranspiração, indicou áreas potencialmente degradadas, a partir da magnitude da inclinação da reta. Jong et al. (2011), utilizando dados NDVI de 1981-2006 do NOAA AVHRR compararam três métodos de análise de tendência: um modelo de regressão linear, o teste de Mann-Kendall, o qual analisa a consistência de aumento ou redução ao longo do tempo, e o método do Seasonal Mann-Kendall, indicando uma boa consistência entre eles.

Apesar destes métodos considerarem o comportamento temporal das pastagens, a tendência calculada por eles pode estar contaminada com outras coberturas da terra que não a pastagem, por não serem capazes de detectar mudanças abruptas na paisagem. Um mapa anual de pastagens com uma série histórica de tamanho razoável seria necessário para que os métodos atuais pudessem ajustar suas análises apenas às áreas de pastagem, nos períodos em que são pastagens. Infelizmente, tal série de mapas não existe para uma área como o Brasil. Devido à essa ausência de mapeamentos recorrentes e atualizados, bem como a ocorrência de mudanças de cobertura da terra ao longo dos anos no Brasil (BEUCHLE et al., 2015; BARONA et al., 2010), precisamos de um método capaz de identificar quebras (*breakpoints*) nas séries temporais, associadas a tais mudanças, enquanto mede a tendência da cobertura vegetal de interesse (no caso, as áreas de pastagens).

Existem diversos algoritmos que estimam tendências em séries temporais levando em conta *breakpoints*. Forkel et al. (2013) avaliaram alguns dos mais atuais, utilizando séries temporais NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index* (TUCKER, 1979). Todos os modelos testados neste estudo utilizam o mesmo algoritmo de detecção de *breakpoints* implementado por Bai e Perron (2003). Um dos melhores métodos foi o STM - *Season-Trend Model* implementado no pacote BFAST - *Breaks For Additive Season and Trend* (VERBESSELT et al., 2010; VERBESSELT; ZEILEIS; HEROLD, 2012), tendo desempenho pouco menor do que o modelo AAT - *Annual Aggregated Time Series* (Forkel et al., 2013), em relação à falsos positivos. Porém, o modelo AAT possui uma maior quantidade de falsos-negativos, i.e.: deixa de detectar *breakpoints* existentes, e a falha em identificar potenciais mudanças de cobertura pode gerar períodos temporais contaminados com diferentes coberturas. Adicionalmente, o modelo AAT tem o intuito de, por meio da agregação de observações e consequente redução da resolução temporal, lidar com valores faltantes ou de má qualidade (contaminados por nuvens, etc). Neste trabalho optamos por utilizar o BFAST, que não deixa de detectar *breakpoints* existentes, buscando avaliar o seu potencial e *performance* quanto à identificação de padrões de mudanças (*breakpoints*) e perda de vigor vegetativo (tendência) das pastagens brasileiras.

2. Dados e Métodos

O algoritmo BFAST foi desenvolvido com o intuito de detectar mudanças, ou pontos de quebra, ao mesmo tempo em que estima a tendência de cada segmento de séries temporais. Existem dois tipos principais de mudanças: as mudanças abruptas e as mudanças graduais (HEROLD, 2012). O BFAST utiliza um modelo de decomposição aditiva, onde a série temporal é decomposta nos componentes sazonal (S_t),

tendência (T_t) e ruído (e_t), para uma observação no tempo (t), de forma que a soma destes componentes resulta na série original (Equação 1):

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

Este algoritmo possui diversos parâmetros que podem ser utilizados para ajustar de maneira mais granular o resultado final, sendo que os parâmetros *season* e *h* são aqueles que realmente possuem grande influência, correspondendo ao modelo a ser usado no componente sazonal e ao tamanho de segmento mínimo entre *breakpoints*, respectivamente (VERBESSELT et al., 2010). Neste trabalho, todas as análises utilizaram o valor “*harmonic*” para o parâmetro *season*, pois como nosso objeto de estudo são pastagens e estas apresentam componentes sazonais em forma de senóides, este é o modelo que se mostrou mais apropriado.

Com o objetivo de avaliar a capacidade do BFAST de identificar quebras estruturais condizentes com mudanças de cobertura e eventos de manejo e clima, o BFAST foi aplicado a diversos pontos no Brasil. Nessa avaliação foram utilizadas séries temporais de índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) do sensor MODIS, produto MOD13Q1, com 250 m de resolução espacial, no período de 2000 a 2016. Essas séries foram obtidas por meio da ferramenta de análise de séries temporais disponível dentro da ferramenta “mapa interativo” do portal Pastagem.org (SILVA et al., 2015).

Dos pontos analisados, optamos por mostrar um ponto localizado nas coordenadas (long -52,2764, lat -12,7874) ao sul da cidade de Querência-MT (Ponto 1), o qual é representativo da capacidade do BFAST de detectar *breakpoints* coincidentes com as mudanças de cobertura da terra e de estimar a tendência para cada segmento de cobertura da terra, cujo sinal e magnitude da inclinação da reta (*slope*) concordam com o que é observado na série temporal NDVI. Para este ponto foi utilizado um $h = 0.092$, o qual corresponde a um tempo mínimo de um ano e meio entre *breakpoints*. Para avaliar o componente de tendência estimado pelo BFAST, que é um indicativo da perda de vigor da vegetação ao longo do tempo, a inclinação da reta (*slope*) foi calculada para cada segmento entre *breakpoints* da série temporal (Equação 2).

$$m = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} \quad (2)$$

Isto posto, o *slope* do último segmento do componente tendência parece ser um bom indicador do estado atual do pasto em questão, visto que os *breakpoints* removem possíveis mudanças de cobertura, reformas e eventos meteorológicos deste último segmento que poderiam corromper a estimativa de tendência. Portanto, uma área pode ser classificada como degradada ou não baseando-se no *slope* do último segmento. Por meio de sua magnitude, o *slope* pode também mostrar o quanto um pasto está degradado, pois este é um reflexo direto da resistência e vigor da vegetação, i.e., quanto maior ou mais íngreme a queda, menor a resistência/vigor da vegetação e, conseqüentemente, maior o nível de degradação.

Para validar e verificar a viabilidade do BFAST em detectar mudanças de cobertura da terra e a perda de vigor de grandes áreas territoriais, como o Brasil, optou-se por rodar o BFAST para um piloto: as áreas de pastagem da Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho (BHRV). A BHRV está inserida na região hidrográfica do Tocantins-Araguaia, na porção oeste do estado de Goiás, com área de aproximadamente 11.000 km² (cerca de 3% da área do estado de Goiás), compreendendo onze municípios. As áreas de pastagem foram identificadas por meio do mapa de áreas de pastagem
nto descrito acima foi executado para todos os
pixels de pastagem da BHRV, levando em conta apenas o cálculo da inclinação da reta (*slope*) para

o último segmento (entre os dois últimos *breakpoints*) da série temporal, com o uso do valor de $h = 0,125$, correspondente a um período de dois anos. Com isto, foi gerado dois mapas: um mapa de *slopes* para a última cobertura vegetal de um dado *pixel* e um mapa de datas correspondentes ao momento no tempo estimado de ocorrência do último *breakpoint*.

3. Resultados e Discussões

Na figura 1 temos a série temporal para o ponto 1, com os *breakpoints* e tendência estimadas pelo BFAST. Este ponto, até a primeira metade de 2002 tinha uma cobertura de mata nativa (NDVI médio acima de 0,8), seguido pelo desmatamento desta e uma mudança de cobertura para pastagem (NDVI médio de 0,5), a qual permaneceu assim até fins de 2010, quando foi trocada por algum tipo de agricultura (NDVI médio de 0,58), como indicado pela dupla variação sazonal, as quais correspondem aos períodos de safra e safrinha (WEIER; HERRING, 2000).

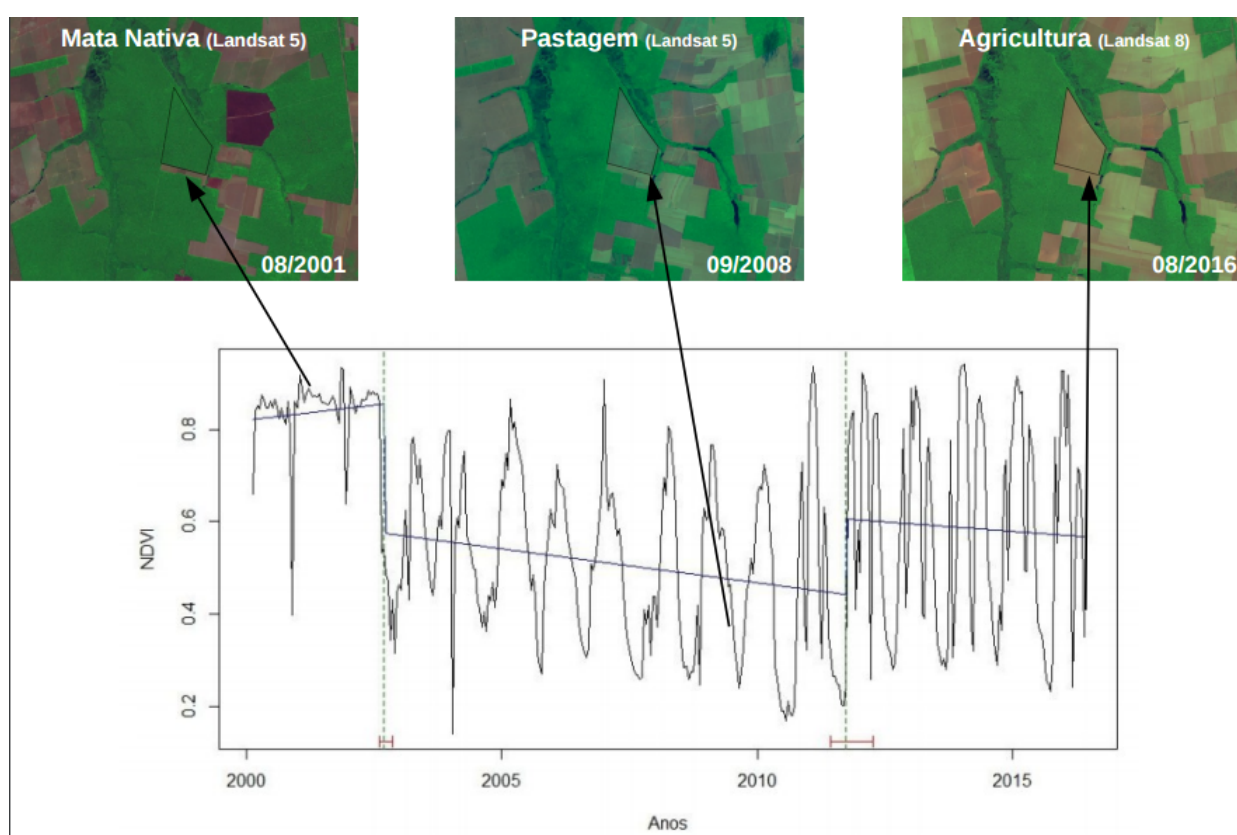


Figura 1: Tendência com *breakpoints* (com respectivos intervalos de confiança) para a série temporal MODIS NDVI (2000 à 2016) de um ponto em Querência, Mato Grosso. Conforme pode ser observado nas imagens Landsat, este ponto passou de floresta para pastagem (em 2002) e de pastagem para agricultura de grãos (em 2010).

Este exemplo demonstra a capacidade do algoritmo de detectar mudanças abruptas na cobertura da terra. O tempo de ocorrência da quebra, porém, apresenta certa imprecisão, principalmente em relação à mudança de pastagem para agricultura (por volta de 2010). Este é um *breakpoint* de mais difícil identificação, quando comparado à mudança de floresta para pastagem, que possui uma mudança de maior magnitude, característica de um desmatamento. Isto pode ser também observado no intervalo de confiança (na figura 1, em vermelho), que mostra o período provável em que o *breakpoint* ocorreu com 95% de probabilidade. Este último apresenta um intervalo maior, abrangendo por volta de um ano, em relação ao intervalo da primeira quebra.

_uindo o comportamento geral da série temporal NDVI. Em particular, no período entre 2002 e 2010, quando a cobertura da terra era pastagem, a

tendência apresenta um *slope* negativo. Isto é um indicativo da perda de vigor da vegetação ao longo do tempo, que pode ser verificada por meio dos valores máximos e mínimos do NDVI, que decaem ao longo dos anos até o momento em que há a mudança de cobertura.

Para a BHRV, obtivemos um mapa de *slopes* (figura 2), como um indicativo da perda de vigor vegetativo, e um mapa de datas (Figura 3), denotando a data de ocorrência do último *breakpoint* (i.e. mudança na cobertura) por pixel. Apesar de cada *pixel* ser processado de maneira totalmente independente, os *slopes* resultantes apresentaram uma consistência espacial bastante acentuada (figura 2), sendo que as áreas que apresentaram *slopes* mais significativos foram as que tiveram as mudanças mais recentes (figura 3).

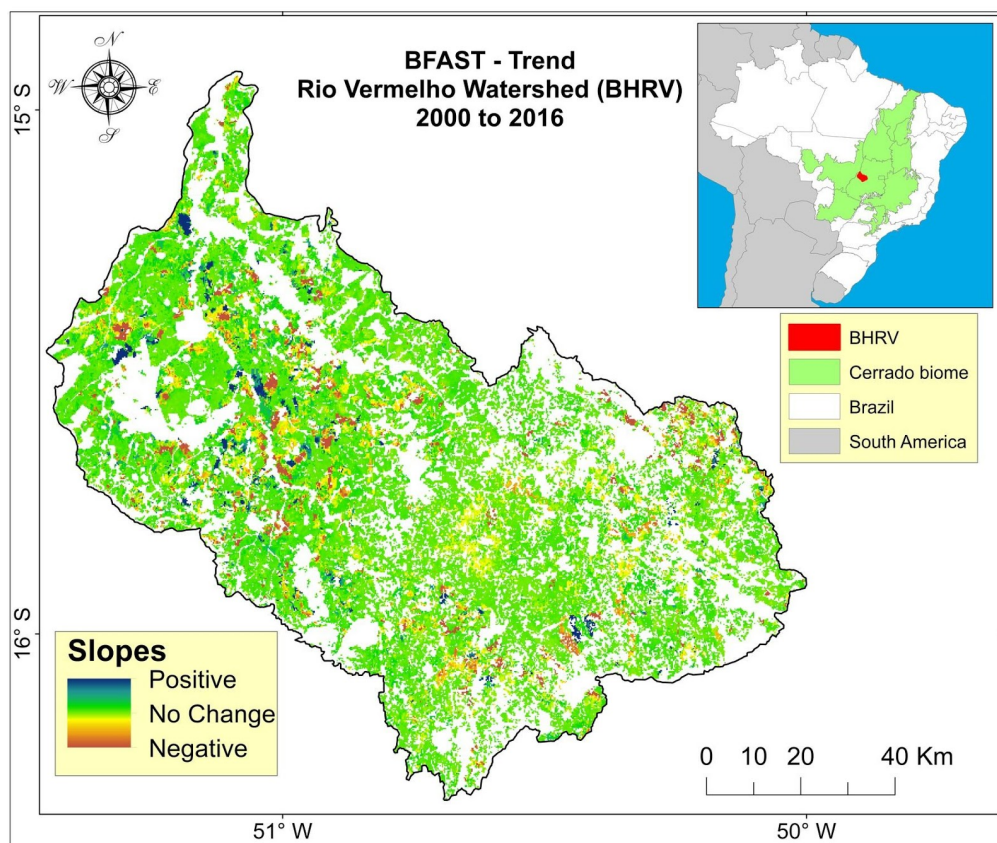


Figura 2: Resultado do BFAST para áreas de pastagens da Bacia do Rio Vermelho (BHRV) com *Slopes* (*per-pixel*) do último segmento do componente tendência.

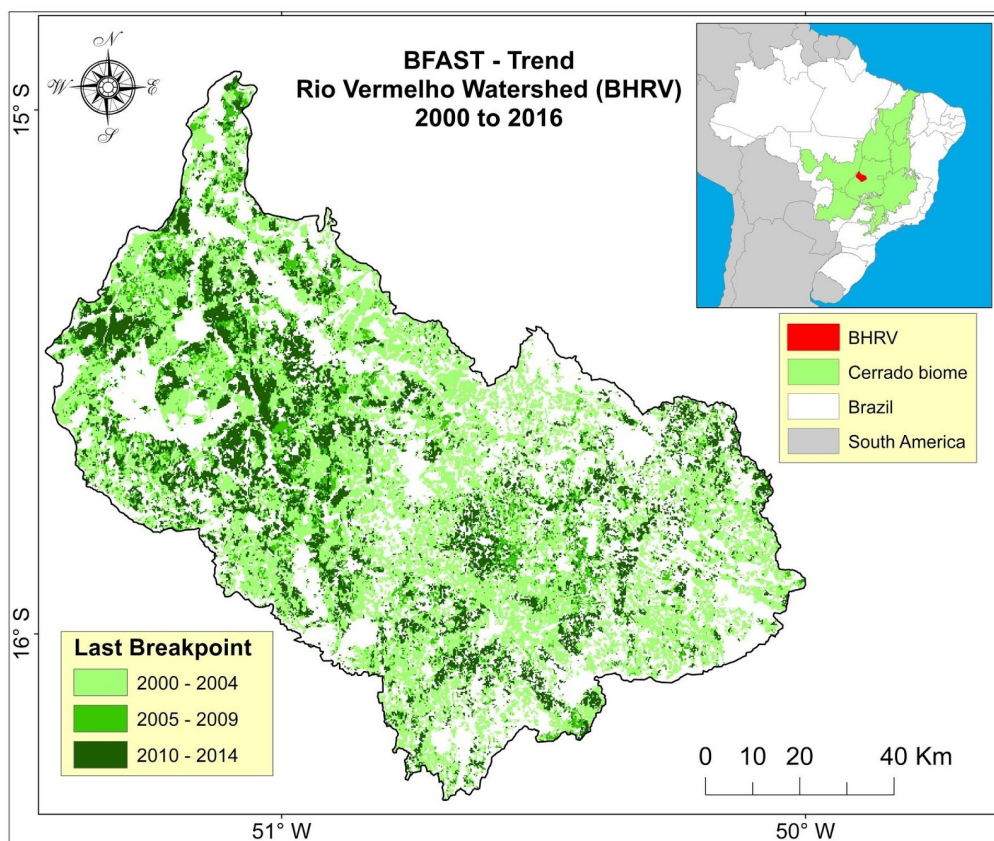


Figura 3: Resultado do BFAST para áreas de pastagens da Bacia do Rio Vermelho (BHRV) com, com datas de ocorrência (*per-pixel*) do último *breakpoint* (com 95% de confiança).

4. Conclusões e Considerações Finais

O algoritmo BFAST mostrou-se capaz de detectar mudanças de cobertura da terra e de indicar a perda de vigor de uma determinada cobertura vegetal ao longo do tempo para pontos isolados. Adicionalmente, com base em um amplo e inédito levantamento de campo conduzido recentemente na BHRV, onde o estado de pastos foi avaliado visualmente por pesquisadores treinados e um questionário foi aplicado compreendendo questões de aspectos socioeconômicos, do sistema de produção e do manejo, temos 60 pontos para melhor entender a performance e calibrar o BFAST (estudo em andamento).

Com relação ao piloto da BHRV, observou-se um padrão espacial de aglomeração de valores de *slope* e *breakpoints*, e considerando que o processamento foi realizado pixel a pixel, estes resultados corroboram o potencial do BFAST para ser utilizado em extensas áreas territoriais, como o Brasil. Entretanto, para executar este método para toda a extensão do Brasil, surgem obstáculos computacionais. O BFAST leva por volta de 1.5s para cada *pixel* e para rodar este algoritmo para as áreas de pastagem do Brasil (31 milhões de *pixels* de pastagem), utilizando 64 processadores (capacidade atualmente disponível nos servidores do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento da Universidade Federal de Goiás), seriam necessários de 3 a 4 meses. Portanto tal procedimento não é trivial, sendo necessário um maior poder computacional que torne este tempo mais viável e utilização de técnicas de processamento em paralelo

Os resultados do BFAST podem ser ainda melhorados por meio do aumento da resolução espacial dos dados de entrada, visto que a resolução espacial dos dados NDVI do sensor MODIS (250 m) incluem diferentes tipos de misturas (e.g. estradas, água, florestas). Em particular, estamos utilizando o satélite LANDSAT, ainda que alguns obstáculos precisem ser superados. Entre outros, e além da enorme demanda computacional envolvida, estas

séries apresentam muitas inconsistências temporais. Neste sentido, está sendo estudada a maneira de se criar de um “Landsat-Like Data Cube”, o qual será um produto que combina dados de diversas fontes (e.g. CBERS, Sentinel, ResourceSat) com resolução próxima à 30 m, com o objetivo de gerar uma série temporal para o Brasil de boa qualidade e alta resolução espacial.

Agradecimentos

Esse trabalho é parte dos esforços coordenados pelo Lapig (Laboratório de processamento de imagens e geoprocessamento - UFG) para mapear e caracterizar as áreas de pastagens no Brasil. Reconhecemos e agradecemos o apoio da Gordon and Betty Moore Foundation e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG / PRONEX, processo 201200766130154, chamada pública nº 007/2012). O quarto autor também agradece ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa.

5. Referências

- ABEL, N. Carrying capacity, rangeland degradation and livestock development for the communal rangelands of botswana. Pastoral Development Network, ODI, 12 1993. Disponível em: <<http://www.odi.org.uk/pdn/papers/paper35c.html>>.
- ANDRADE, R. G. et al. Uso de técnicas de sensoriamento remoto na detecção de processos de degradação de pastagens. *Engenharia na Agricultura*, v. 21, n. 3, p. 234–243, 5 2013. Viçosa - MG.
- ANDRADE, R. G. et al. Pasture evapotranspiration as indicators of degradation in the brazilian savanna: a case study for alto tocantins watershed. In: . [s.n.], 2014. v. 9239, p. 92391Z–92391Z–7. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1117/12.2067225>>.
- BAI, J.; PERRON, P. Computation and analysis of multiple structural change models. *Journal of Applied Econometrics*, John Wiley & Sons, Ltd., v. 18, n. 1, p. 1–22, 2003. ISSN 1099-1255. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/jae.659>>.
- BARONA, E. et al. The role of pasture and soybean in deforestation of the brazilian amazon. *Environmental Research Letters*, v. 5, n. 2, p. 024002, 2010. Disponível em: <<http://stacks.iop.org/1748-9326/5/i=2/a=024002>>.
- BEUCHLE, R. et al. Land cover changes in the brazilian cerrado and caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. *Applied Geography*, v. 58, p. 116 – 127, 2015. ISSN 0143-6228. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143622815000284>>.
- DAVIDSON, E. A. et al. Objective indicators of pasture degradation from spectral mixture analysis of landsat imagery. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, v. 113, n. G1, p. n/a–n/a, 2008. ISSN 2156-2202. G00B03. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1029/2007JG000622>>.
- DIAS-FILHO, M. B. *Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação*. 4. ed. Belém, PA: Moacyr Bernardino Dias-Filho, 2011. Edição do autor. ISBN 978-85-911831-0-4.
- FAO. *Livestock and Landscapes*. 2012. Disponível em: <www.fao.org/nr/sustainability/sustainability-and-livestock>. Acesso em: 2016-11-10.
- FORKEL, M. et al. Trend change detection in ndvi time series: Effects of inter-annual variability and methodology. *Remote Sensing*, v. 5, n. 5, p. 2113, 2013. ISSN 2072-4292. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2072-4292/5/5/2113>>.
- HERRERO, M. et al. Biomass use, production, feed efficiencies, and greenhouse gas emissions from global livestock systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 110, n. 52, p. 20888–20893, 2013. Disponível em: <<http://www.pnas.org/content/110/52/20888.abstract>>.
- JONG, R. de et al. Analysis of monotonic greening and browning trends from global {NDVI} time-series. - 702, 2011. ISSN 0034-4257. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425710003160>>.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Conservation of the brazilian cerrado. *Conservation Biology*, Blackwell Science Inc, v. 19, n. 3, p. 707–713, 2005. ISSN 1523-1739. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00702.x>>.

LONGO, K. M. et al. Biomass burning in amazonia: Emissions, long-range transport of smoke and its regional and remote impacts. In: KELLER, M. et al. (Ed.). *Amazonia and Global Change*. American Geophysical Union, 2013, (Geophysical Monograph Series). p. 207–232. ISBN 9781118670347. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1029/2008GM000717>>.

MACEDO, M. *Pastagens no ecossistema do cerrado: pesquisas para o desenvolvimento sustentável*. Brasília, 1995.

MACEDO, M.; ZIMMER, A. *Sistema pasto-lavoura e seus efeitos na produtividade agropecuária*. Jaboticabal: Fundação de Estudos e Pesquisas em Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia, 12 1993. 216-245 p.

PASTAGEM.ORG. Mapa de Áreas de Pastagens do Brasil - 2015. Disponível em: <<https://pastagem.org/index.php/pt-br/>>. Acesso em: 2016-10-19.

SILVA, W. C.; PARENTE, L. L.; SOUSA, S. B. DE; SILVA, D. P. DE; FERREIRA, L. G. Pastagem.org: um portal de dados e informações georeferenciadas para uma pecuária mais produtiva e ambientalmente sustentável. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 25 a 29 de abril de 2015, João Pessoa. Anais... São José dos Campos: INPE, 2015. Artigos, p. 2521-2528.

ROBINSON, T. P. et al. Mapping the global distribution of livestock. *PLOS ONE*, Public Library of Science, v. 9, n. 5, p. 1–13, 05 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0096084>>.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, v. 8, n. 2, p. 127 – 150, 1979. ISSN 0034-4257. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0034425779900130>>.

VERBESSELT, J. et al. Phenological change detection while accounting for abrupt and gradual trends in satellite image time series. *Remote Sensing of Environment*, v. 114, n. 12, p. 2970 – 2980, 2010. ISSN 0034-4257. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425710002336>>.

VERBESSELT, J.; ZEILEIS, A.; HEROLD, M. Near real-time disturbance detection using satellite image time series. *Remote Sensing of Environment*, v. 123, p. 98 – 108, 2012. ISSN 0034-4257. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425712001150>>.

WEIER, J.; HERRING, D. *Measuring Vegetation (NDVI & EVI)*. August 2000. Disponível em: <<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/>>. Acesso em: 2016-11-11.