



Análise da produtividade e degradação das pastagens do Brasil por meio de séries temporais MODIS GPP

Claudinei Oliveira Santos ¹
Arielle Elias Arantes ¹
Ana Carolina do Couto Andrade ¹
Leandro Leal Parente ¹
Guilherme Ferreira Arantes Souza ¹
Laerte Guimarães Ferreira ¹

¹Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (Lapig)
Universidade Federal de Goiás
Campus II – Samambaia
CEP 74001-970 - Goiânia, GO, Brasil
www.lapig.iesa.ufg.br
{claudineisantosnx, aearantes}@gmail.com, carol.goiana@hotmail.com ,
leandro@lapig.iesa.ufg.br, {guifas3000, lapig.ufg}@gmail.com

Abstract. Pasturelands constitute the dominant land use form in Brazil, encompassing about 170 Mha of land and feeding the second largest commercial cattle livestock in the world. Therefore, pastures simultaneously represent a large source of greenhouse gases (GHG) and a major mitigation potential. As a significant part of these emissions are related to degradation processes, assessing how the vegetative vigor of these pastures vary along time is of great importance in support of public policies targeting a more productive and environmentally sustainable cattle ranching practice in the country. Within this context, in this study we evaluated, based on MODIS GPP values (MOD17A2H), the productivity trends of the Brazilian pasturelands. Our results suggest that approximately 9% of the pasture areas in Brazil are undergoing biomass loss, while circa of 32% present a positive trend. In spite the fact that these results need to be considered on a very preliminary basis, due to the many assumptions and errors involved, the model presented in this work should be seen as a feasible alternative for mapping the productivity and degradation trends of pastures in Brazil.

Palavras-chave: degraded pastures, pasture productivity, MODIS GPP, brazilian pasturelands

1. Introdução

Com a população humana superando os sete bilhões de pessoas e apresentando um consumo de recursos nunca visto antes, os impactos ambientais causados aos ecossistemas ao longo do mundo por ações antrópicas atingiram níveis igualmente nunca visto (Nepstad et al., 2013). Atualmente, temas como segurança alimentar e aquecimento global estão entre as maiores preocupações da humanidade, e ambos têm provocado mobilizações e acordos internacionais, principalmente voltados a reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GHG), que são os maiores responsáveis pelo aquecimento global (Cordeiro et al., 2011). Um dos grandes desafios do agronegócio atualmente é atender à crescente demanda por produção de alimentos em um planeta com disponibilidade de terras agricultáveis cada vez menor, e ao mesmo tempo, reduzir as emissões de GHG (Fao, 2009; Lambin et al., 2013; Nepstad et al., 2013).

O agronegócio no Brasil representa uma fração considerável do PIB (23%), com 7% do PIB diretamente vinculado à atividade pecuária (CEPEA, 2015). Em fato, as pastagens constituem a principal forma de uso da terra, englobando aproximadamente 170 milhões de hectares, abrigando o segundo maior rebanho de gado de corte do mundo, criado

predominantemente pela prática de pecuária extensiva. Dada essas dimensões, o sistema pecuário brasileiro como um todo, contribui com cerca de 50% das emissões de GHG no país (Bustamante et al., 2012), principalmente por três processos: (1) desmatamento de áreas nativas (cerca de 80% dos desmatamentos recentes resultaram em áreas de pastagens), (2) emissão de metano (CH₄) pelos rebanhos ruminantes e (3) por meio da degradação das pastagens (Andrade et al., 2013). O lado positivo desse cenário, é que a pecuária, como um todo, tem grande potencial para contribuir com a redução dessas emissões.

Especificamente no que diz respeito às emissões de GHG relacionadas à degradação das pastagens ao longo do tempo, estas podem ocorrer de (1) forma direta, por meio da perda de produtividade, o que conseqüentemente reduz a quantidade de carbono sequestrado, ou de (2) forma indireta, pelo maior tempo de permanência do gado de corte no pasto e, conseqüentemente, maior emissão de metano por quilograma de carne produzida (Cardoso et al., 2016). Uma das metas do Brasil para reduzir as emissões de GHG é recuperar 15 milhões de hectares de pastagens degradadas até 2020 (Cordeiro et al., 2011). Assim, é urgente para o país localizar e identificar o nível de degradação dessas pastagens, tarefa que precisa considerar as enormes dimensões territoriais e complexidades envolvidas.

Entre as várias abordagens possíveis, destaca-se o uso de séries temporais satelitárias, as quais, conforme vários estudos recentes, apresentam grande potencial quanto ao monitoramento de processos de degradação em pastagens, às escalas da paisagem e/ou regional (Andrade et al., 2013; Ferreira et al., 2013; Xu & Guo, 2015). E, em que pese a grande variedade de dados disponíveis, provenientes de diversos sistemas sensores, do ponto de vista operacional, os dados gerados por meio do sensor Terra MODIS ainda se constituem na opção mais viável e de maior acurácia e precisão (Running & Zhao, 2015). Em particular, destacamos os dados de produtividade primária bruta (GPP) gerados no âmbito do produto MOD17A2H, os quais são uma medida direta da quantidade de C fixado no processo fotossintético.

De forma inédita, este trabalho propõe e avalia um modelo para identificar a tendência (de perda e ganho de vigor vegetativo) das pastagens no Brasil, tendo por referência dados de produtividade da vegetação obtidos por meio do sensor MODIS. Essas informações são de fundamental importância para a elaboração de políticas públicas voltadas ao desenvolvimento de uma pecuária mais eficiente, mais produtiva e com menor custo ambiental.

2. Material e métodos

A área de abrangência deste estudo foi a totalidade das áreas das pastagens do Brasil (~ 170 milhões de hectares), conforme a máscara-síntese de pastagens elaborada pelo Lapig - UFG (<http://maps.lapig.iesa.ufg.br/>). Esta máscara, um produto em constante evolução, envolve tanto a compilação de vários mapeamentos de pastagens disponíveis (ex. TerraClass Amazônia), quanto a classificação e interpretação visual de imagens Landsat 8 (por exemplo, para toda a extensão dos biomas Mata Atlântica e Caatinga) (para informações mais detalhadas sobre a máscara-síntese de pastagens, ver o trabalho de Araújo, *et. al.* submetido ao XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto).

Como medida de produtividade, optamos por utilizar os dados de GPP acumulado durante o período de crescimento. Mais especificamente, utilizamos os dados do produto MOD17A2H (coleção 6), com resolução espacial de 500m e resolução temporal de oito dias, considerando o período de 2000 a 2015. Para calcular o GPP acumulado durante o período de crescimento, foi necessário considerar os diferentes padrões de precipitação compreendidos pelo território brasileiro. Assim, foram utilizados os dados de precipitação mensal do satélite TRMM (*Tropical Rainfall Measurement Mission*), para o período de 1998-2015, para gerar uma máscara do período de crescimento, considerando o início e final da estação chuvosa em cada pixel (figura 1) (para informações mais detalhadas sobre a máscara de crescimento, ver

o trabalho de Arantes, *et. al.* submetido ao XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto).

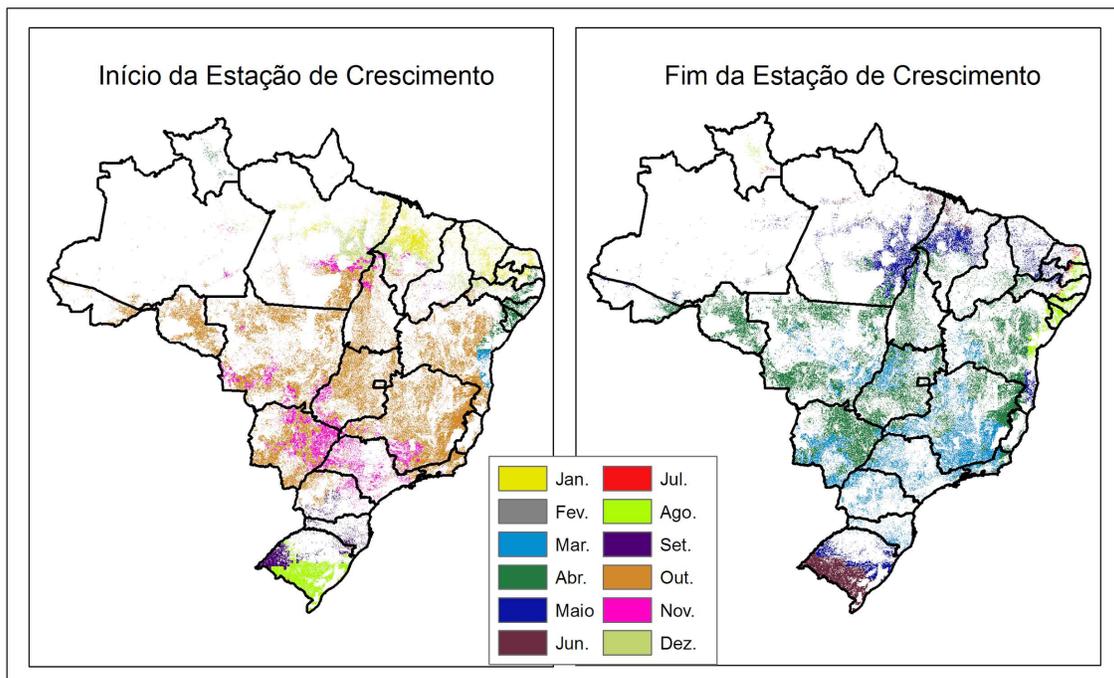


Figura 1. Início e final da estação chuvosa para as áreas de pastagem do Brasil, conforme análise de séries temporais do sistema TRMM (Tropical Rainfall Measurement Mission)

O modelo proposto assume que sendo o GPP uma medida direta do vigor vegetativo, as variações e tendências no GPP representam, de forma direta, as variações e tendências de produtividade dessa vegetação. Portanto, em áreas de pastagens, tendências negativas no GPP indicam pastagens em processo de degradação, enquanto tendências positivas indicam pastagens aumentando a capacidade de produzir biomassa. Ressalta-se que este modelo se baseia em três pressupostos principais: 1) o valor de GPP do produto MOD17A2H é uma medida direta da biomassa real acumulada por uma determinada área de pastagem, 2) as máscaras de pastagem e crescimento retratam com precisão a ocorrência das pastagens e as respectivas variações espaço-temporais na distribuição das chuvas e 3) as áreas de pastagem não sofreram conversões durante o período analisado, i.e. já eram pastagens em 2000 e continuaram assim até 2015.

Assim, para cada ano do período analisado foi calculado o GPP acumulado, obtendo assim um valor de GPP, pixel à pixel, referente ao período de crescimento anual das pastagens. Para testar se os dados apresentam tendência ao longo do tempo (i.e. estabilidade, aumento ou diminuição quanto à capacidade de produção de biomassa), foi utilizado o teste de Mann-Kendall, um teste não paramétrico e, portanto, não afetado pela distribuição dos dados (Kendall & Gibbons, 1990; Mann, 1945).

3. Resultados e Discussões

Os resultados do modelo mostram consistência espacial, em concordância com os grandes padrões conhecidos da pastagem brasileira (figura 2). De forma geral, os nossos resultados indicam que 9.2% ($p \leq 0.1$) das pastagens brasileiras apresentam tendências de perda de produtividade, sugerindo que se encontram em processo de degradação. Estas áreas identificadas como possuindo tendência de degradação estão distribuídas ao longo do país, principalmente no norte e nordeste. Por outro lado, as pastagens identificadas como

apresentando tendência de aumento em produtividade somaram 31.9% ($p \leq 0.1$) do total, estando localizadas principalmente nas regiões sul e centro-oeste, predominantemente no pantanal. E aproximadamente 59% das pastagens brasileiras foram identificadas como não apresentando tendência de perda ou ganho de produtividade ($p \leq 0.1$), distribuídas ao longo do território.

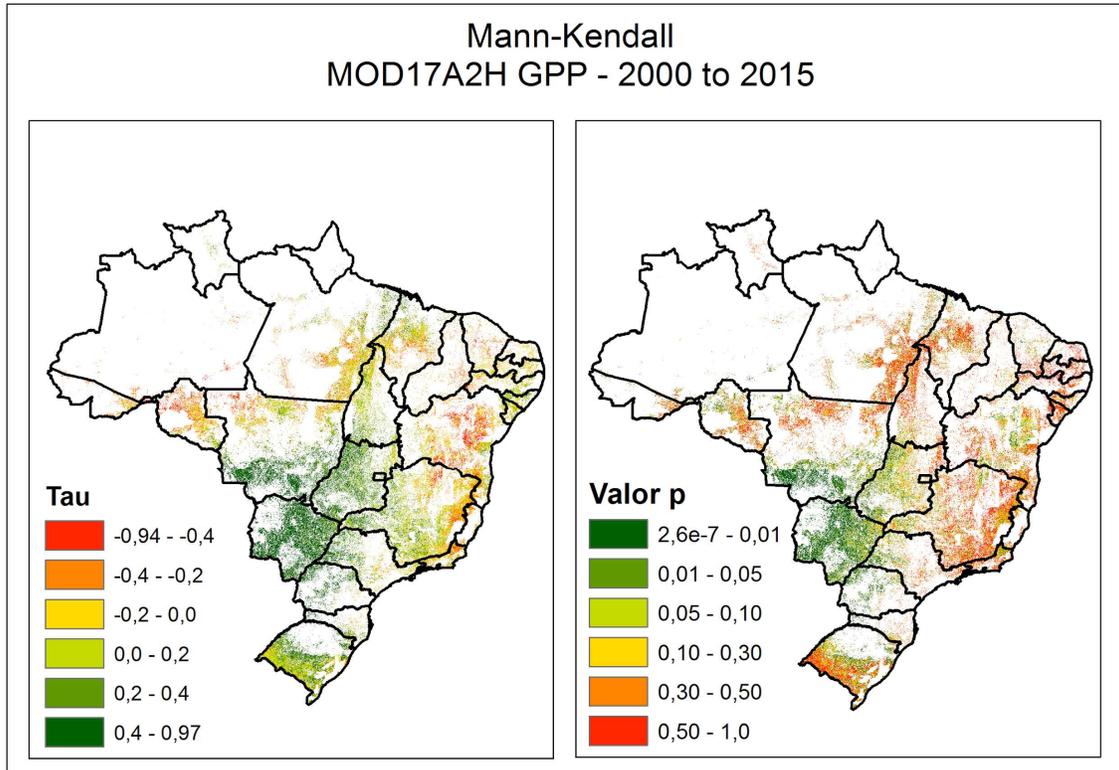


Figura 2. Análise de Mann-Kendall para as áreas de pastagem do Brasil, considerando uma série temporal de valores GPP (MOD17A2H) de 2000 a 2015. Valores de "tau" negativos (manchas em tons amarelo-avermelhados no mapa da esquerda) sugerem perda de produtividade, enquanto valores positivos (manchas em tons de verde no mapa da esquerda) indicam possíveis áreas com tendências à ganhos de biomassa

3.1 Considerações sobre as limitações do modelo

Em sua forma atual, o modelo proposto neste trabalho incorpora várias limitações, listadas abaixo, principalmente se os pressupostos não forem atendidos.

1) *A máscara de pastagens do Lapig é absoluta.* Ao considerar que a máscara de pastagem é absoluta, erros de classificação quanto ao que é ou não área de pastagens são incorporados no modelo. Mesmo sendo esta a melhor e mais precisa máscara de pastagens já elaborada para o Brasil, ela possui certo grau de incerteza associado. 2) *As áreas de pastagens são estáticas.* Considera-se que as áreas analisadas já eram pastagens no início do período analisado (ano 2000) e que não sofreram alterações quanto ao uso até o final desse período (ano 2015). Ao aplicar o modelo proposto sem considerar (incorporar) a data de conversão, e certificar-se que durante o período analisado a área não teve outras formas de uso, pode-se incorrer em vários erros. Ex.: Áreas de florestas que foram convertidas recentemente para lavoura seriam classificadas como pastagens em processo de degradação, quando, na verdade, estão sinalizando a conversão de áreas de vegetação nativas, com valor de GPP alto, para áreas de pastagens (com GPP mais baixo). Essa é uma limitação que pode ser resolvida

incluindo no modelo, pixel à pixel, a data de conversão para pastagens (durante o período analisado).

3) *As pastagens não estão classificadas quanto ao estágio inicial de degradação.* O modelo não incorpora a informação sobre o estado inicial da pastagem, indicando apenas a tendência das pastagens ao longo do período analisado. Assim, pode ser que pastagens com tendência de perda de produtividade estejam com melhor qualidade que as pastagens que não apresentam tendência, ou que apresentam tendência de aumento. Principalmente, há que se considerar que a produtividade depende de fatores regionais, como clima, solo, luz e precipitação.

4) *O GPP retrata fielmente a produtividade das pastagens.* O modelo considera o GPP como sendo um dado que fielmente retrata a produtividade das pastagens. Entretanto o dado de GPP que utilizamos (MOD17A2H) apresenta algumas limitações, apesar de ser o melhor dado disponível e operacionalmente utilizável para a finalidade e escala em que aplicamos essa prova de conceito. A principal limitação deste dado de GPP é que ele é gerado a partir de um modelo que utiliza dados constantes da eficiência de uso da luz para os principais biomas do mundo, neste sentido a classe de gramíneas engloba todas as áreas de gramíneas do mundo, desconsiderando as variações entre as espécies. A acurácia do dado de cobertura da terra (MOD12Q1 da coleção 4) utilizada no algoritmo do GPP apresenta muita generalização e confusão entre classes de cobertura espectralmente semelhantes (Propastin, Kappas, Herrmann, & Tucker, 2012) O GPP também utiliza dados meteorológicos de reanálises do GMAO (*Global Meteorological Assimilation Office*), cuja resolução espacial equivale a 1° x 1°, bastante inferior à resolução espacial do dado de entrada FPAR (*Fraction of Photosynthetically Active Radiation*) de 1 km, reduzindo a variabilidade espacial do GPP (Garbulsky et al., 2010).

5) *A máscara de crescimento representa o real período de crescimento das pastagens.* O modelo pressupõe que a máscara de crescimento representa fielmente o período de crescimento. A máscara de crescimento utilizada no modelo, em sua quarta versão, ainda apresenta várias incertezas. Assim, erros podem estar sendo incorporados ao modelo, devido ao GPP acumulado estar sendo subestimado ou superestimado em algumas regiões.

6) Ao trabalhar em escala de pixel, o modelo está incorporando erros dos pixels individuais. Ao contrário, o ideal é trabalhar em uma escala menor (Ottobacias), usando como medida o valor médio ou acumulado de GPP. Outra possibilidade é utilizar o teste de Mann-Kendall contextual, que leva em consideração a alta correlação entre pixels vizinhos, reduzindo a detecção de tendências espúrias e amplificando a significância das tendências quando estas estão presentes (Neeti & Eastman, 2011).

7) O modelo não considera a presença de espécies invasoras (que tem baixo potencial de pastejo), que é um dos indicadores de degradação, e que vão influenciar o valor de GPP. Se a pastagem for dominada por espécies invasoras, em dado momento o GPP dessas invasoras pode vir a ser maior que o GPP da própria pastagem. Nesse caso, seria identificada uma tendência ganho de produtividade, que na verdade indicaria pastagens em processo avançado de degradação.

4. Conclusões e Considerações Finais

Neste estudo, tendo por referência uma série temporal (2000 a 2015) de valores GPP (produto MOD17A2H), apresentamos um modelo preliminar para avaliar a tendência de produtividade das áreas de pastagens em todo o território nacional. Os nossos resultados sugerem que aproximadamente 9% das pastagens brasileiras apresentaram diminuição de



biomassa durante este período, enquanto cerca de 32% destas pastagens apresentaram, ao contrário, tendência de aumento de biomassa.

Estes resultados, obviamente, precisam ser vistos com cautela, haja vista os vários pressupostos sobre os quais se assentam o modelo em questão (e em relação aos quais o mesmo foi demonstrado). Além de todas as fontes de incertezas envolvidas (e discutidas detalhadamente ao longo deste artigo), o próprio significado das tendências detectadas precisa ser melhor avaliado. Em outras palavras, tendências negativas sugerem áreas em processo de degradação (não necessariamente degradadas / severamente degradadas), enquanto tendências positivas podem estar associadas à predominância de espécies "invasoras" e/ou crescimento de vegetação secundária.

À curto prazo, antecipamos uma melhoria significativa nos nossos resultados, em função de melhorias em curso sendo realizadas na máscara de pastagens e máscara de crescimento utilizadas. Da mesma forma, uma redução na escala de análise, por meio de unidades espaciais maiores (ex. Ottobacias), para as quais os valores de GPP e respectivas tendências sejam tomadas como a média de vários pixels, deve resultar em padrões e tendências mais precisas e acuradas. À médio prazo, temos a expectativa de melhor parametrizar e calibrar o modelo com base em dados de campo. Esforços neste sentido já estão sendo conduzidas em diferentes áreas do bioma Cerrado.

Os resultados aqui apresentados têm o propósito fundamental de demonstrar conceitos, bem como o potencial dos dados de sensoriamento remoto para o monitoramento das pastagens brasileiras. À medida que estes resultados se tornem mais robustos, os mesmos deverão se constituir em importantes subsídios à formulação de políticas públicas voltadas à promoção de uma atividade pecuária mais produtiva e ambientalmente mais sustentável.

5. 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 primeiro e sexto autores também agradecem à FAPEG e ao CNPq pelas bolsas de doutorado e produtividade em pesquisa, respectivamente.

6. Referências Bibliográficas

Andrade, R. G.; Aparecida, C.; Rodrigues, G.; Sanches, I. D.; Torresan, F. E.; Quartaroli, C. F. Uso de técnicas de sensoriamento remoto na detecção de processos de degradação de pastagens. **Engenharia Na Agricultura**, v. 21(3), p. 234–243, 2013.

Bustamante, M. M. C.; Nobre, C. A.; Smeraldi, R.; Aguiar, A. P. D.; Barioni, L. G.; Ferreira, L. G.; Longo, K.; May, P.; Pinto, A.; Ometto, J. P. H. B. Estimating greenhouse gas emissions from cattle raising in Brazil. **Climate Change**, v. 115, p.559–577, 2012.

Cardoso, A. S.; Berndt, A.; Leytem, A.; Alves, B. J. R.; Carvalho, I. N. O.; Soares, L. H. B.; Urquiaga, S.; Boddey, R. M. Impact of the intensification of beef production in Brazil on greenhouse gas emissions and land use. **Agricultural Systems**, v. 143, p. 86–96, 2016.

Cordeiro, L. A. M.; Assad, E. D.; Franchini, J. C.; Sá, J. C. M., Landers, J. N.; Amado, T. J. C.; Rodrigues, R. D. A. R.; Roloff, G.; Bley Júnior, C.; Almeida, H. G.; Mozzer, G. B.; Balbino, L. C.; Galerani, P. R.; Evangelista, B. A.; Pellegrino, G. Q.; Mendes, T. A.; Amaral, D. D.; Ramos, E.; Mello, I.; Ralisch, R. **O aquecimento global e a agricultura de baixa emissão de carbono.**, Brasília: MAPA/ EMBRAPA/ FEBRAPDP, p. 75, 2011.



FAO. **The state of food and agriculture: Livestock in balance**. Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome ,2009.

Ferreira, L. G.; Fernandez, L. E.; Sano, E. E.; Field, C.; Sousa, S. B.; Arantes, A. E.; Araújo, F. M. Biophysical properties of cultivated pastures in the Brazilian savanna biome: An analysis in the spatial-temporal domains based on ground and satellite data. **Remote Sensing**, v. 5, p. 307–326, 2013.

Garbulsky, M. F.; Peñuelas, J.; Papale, D.; Ardö, J.; Goulden, M. L.; Kiely, G.; Richardson, A. D.; Rotenberg, E.; Veenendaal, E. M.; Filella, I. Patterns and controls of the variability of radiation use efficiency and primary productivity across terrestrial ecosystems. **Global Ecology and Biogeography**, v. 19(2), p. 253–267, 2010.

Kendall, M. G. & Gibbons, J. D. Rank Correlation Methods. **Science Forum** v. 3, p. 272, 1990.

Lambin, E. F.; Gibbs, H. K.; Ferreira, L.; Grau, R.; Mayaux, P.; Meyfroidt, P.; Pasteur, P. L. Estimating the world 's potentially available cropland using a bottom-up approach. **Global Environmental Change**, v. 23(5), p. 892-901, 2013.

Mann, H. B. Nonparametric Tests Against Trend. **Econometrica**, v. 13(3), p. 245–259, 1945.

Neeti, N., & Eastman, J. R. A Contextual Mann-Kendall Approach for the Assessment of Trend Significance in Image Time Series. **Transactions in GIS**, v. 15(5), p. 599–611, 2011.

Nepstad, D.; Irawan, S.; Bezerra, T.; Boyd, W.; Stickler, C.; Shimada, J.; Azevedo, A. More food , more forests, fewer emissions, better livelihoods: linking REDD +, sustainable supply chains and domestic policy in Brazil, Indonesia and Colombia, **Policy Focus**, v. 4(6) p. 639–658, 2013.

Propastin, P. A.; Kappas, M. W.; Herrmann, S. M.; Tucker, C. J. Modified light use efficiency model for assessment of carbon sequestration in grasslands of Kazakhstan: combining ground biomass data and remote-sensing. **International Journal of Remote Sensing**, v. 33(5), p. 1465–1487, 2012.

Running, S. W. & Zhao, M. User's Guide Daily GPP and Annual NPP (MOD17A2/A3) products NASA Earth Observing System MODIS Land Algorithm - User's guide V3. Disponível em:
<http://www.ntsg.umd.edu/sites/ntsg.umd.edu/files/modis/MOD17UsersGuide2015_v3.pdf> Acesso em: 10.nov.2016.

Xu, D., & Guo, X. (2015). Some insights on grassland health assessment based on remote sensing. **Sensors**, v. 15(2), p. 3070-3089, 2015.