

A zona de transição entre a Amazônia e o Cerrado no estado do Maranhão. Parte II: Caracterização preliminar dos dados de área queimada (Produto MODIS MCD45A1)

Celso Henrique Leite Silva Junior ^{1,2}
Ana Talita Galvão Freire ³
Liana Oighenstein Anderson ^{4,5,1}
Luiz Eduardo Oliveira e Cruz de Aragão ¹
Fabrício Brito Silva ³
Jonas Jansen Mendes ³

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Avenida dos Astronautas, 1758 – 12227-010 – São José dos Campos – SP, Brasil
celsohlsj@gmail.com; laragao@dsr.inpe.br

²Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais - PUC Minas
Av. Trinta e Um de Março, nº 1020, Dom Cabral - 30535-000 - Belo Horizonte - MG, Brasil
celsohlsj@gmail.com

³Laboratório de Geotecnologias, Universidade CEUMA - UniCEUMA
Rua Josué Montello, nº 1, Renascença II - 65075-120 – São Luís - MA, Brasil
{talita.freire22, fabricioagro}@gmail.com; jjonasjansenn@hotmail.com

⁴Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais - CEMADEN
Parque Tecnológico de São José dos Campos, Estrada Doutor Altino Bondensan, 500, São
José dos Campos - São Paulo, 12247-016.
liana.anderson@cemaden.gov.br

⁵Universidade de Oxford
Environmental Change Institute, University of Oxford, Oxford, OX1 3QY, UK 7
liana.anderson@ouce.ox.ac.uk

Abstract. The fire dynamics in Amazonian-Savanna transition region is very studied, however, in Maranhão state is less investigated than other regions in Brazil. This work evaluated the climatic and temporal aspects of fire dynamics as well as the relationship between fire occurrence and deforestation in Maranhão. Were used fire data product from MODIS sensor, deforestation data form the PRODES project and precipitation data from meteorological stations belong to National Institute of Meteorology of Brazil. The results showed that fire occurrence in Amazonian Forest region is more strongly modulated by climatic conditions than Maranhão Savanna. In both biomes, Amazonian forest and Maranhão Savanna the drought occurrence increase the fire events during studied period.

Palavras-chave: mudanças climáticas, fogo, nordeste do Brasil, desmatamento, secas, climate change, fire, northeastern Brazil, deforestation, droughts.

1. Introdução

As emissões acumuladas globais de CO₂ resultantes de atividades florestais e de uso da terra desde 1750 aumentou de 490±180 Gt CO₂, na década de 70 para 680±300 Gt CO₂ em 2010. Entre 1990 e 2010, as emissões resultantes de mudanças no uso e cobertura da terra representaram 12.5% das emissões antropogênicas (IPCC, 2014). Nesse contexto, as queimadas representam um papel central nas emissões de carbono nos trópicos e afetam diretamente o ciclo do carbono, pois perturbam a química atmosférica global através da liberação de gases de efeito estufa e aerossóis (Anderson et al., 2005).

A queima da biomassa ocorre tanto por meio de processos naturais quanto a partir de causas antrópicas, relacionadas aos processos de mudanças na cobertura da terra, como também ao seu manejo. O uso do fogo na agricultura é altamente prejudicial à terra, pois provoca a desertificação (como ocorreu no nordeste brasileiro). A queima da biomassa vegetal constitui uma prática de manejo utilizada em diferentes culturas, na manutenção de pastos para criação de gado e na expansão da fronteira agrícola no Brasil. Estas queimadas são amplamente utilizadas no processo produtivo da Amazônia e do Cerrado brasileiro, e é um fator que impulsiona a expansão agropecuária nestas regiões (Piromal et al., 2008). O Brasil, por exemplo, tem sua estratégia de desenvolvimento baseada no setor agrícola, com o objetivo de crescimento econômico, o que é uma escolha natural dada a área territorial do país, boa distribuição de chuvas ao longo do ano, temperatura do ar adequada para a agricultura na maior parte do país, e disponibilidade de mão de obra barata (Martinelli et al., 2010).

Contudo, apesar da necessidade de desenvolvimento, o controle de queimadas de ser considerado seriamente, já que estas queimadas colaboram com as alterações climáticas, diminuem a biodiversidade e, pela falta de proteção para as nascentes e mananciais, ocasionam alterações no ciclo hidrológico (Gigante et al., 2007). As queimadas também têm impactos negativos e significativos na saúde da população, principalmente durante a estação seca, devido a concentrações elevadas de particulados e aerossóis na atmosfera (Ignotti et al., 2010). Na Amazônia, por exemplo, durante anos de secas extremas pode-se observar o aumento de mais de 30% na ocorrência de incêndios que tendem a levar para a atmosfera partículas finas. Essas são extremamente perigosas para a saúde humana, já que, quando inaladas, podem atingir partes profundas nos pulmões causando irritação na garganta, pulmões e olhos (Smith et al., 2014)

O problema, abordado acima, afeta diretamente o Estado do Maranhão. Este apresenta uma população de 6.574.789 de habitantes, com cerca de 63% (4.147.149) da população total domiciliada em áreas urbanas e 37% (2.427.640) domiciliada em áreas rurais. No entanto, a maioria desses indivíduos economicamente ativos tem suas atividades vinculadas à agricultura e pecuária em áreas rurais (IBGE, 2010). É possível observar que além das áreas naturais e produtivas, o fogo no estado atinge até mesmo as Unidades de Conservação. Este fato é crítico. Já que estas áreas são legalmente utilizadas para a proteção e conservação de ecossistemas únicos. Entre 2008 e 2012, foram registrados 19.048 focos de queimadas nessas áreas, correspondendo a 19,5% de todos os focos identificados no período para todo o Maranhão (Gerude, 2013).

No Maranhão, poucos são os estudos relacionados à dinâmica do fogo, apesar desse estado apresentar uma importância nacional no sentido ecológico (zona de transição entre a Amazônia e o Cerrado) e no seu potencial agrícola. Assim, o presente trabalho tem como objetivo evidenciar a dinâmica do fogo no estado através da análise das áreas queimadas registradas entre os anos de 2001 à 2013, respondendo às seguintes perguntas: quando ocorrem as queimadas no estado? Qual a sua relação com o desmatamento e o clima? Como as secas afetam os padrões de queimada que normalmente são observados?

2. Área de Estudo

O Estado do Maranhão possui uma área superficial da ordem de 331.983,29 Km², sendo o oitavo maior Estado brasileiro e o segundo do Nordeste em extensão territorial (IBGE, 2014).

Está localizado entre os paralelos 1°01' e 10°21' sul e os meridianos 41°48' e 48°50' oeste. Ao norte limita-se com o Oceano Atlântico (639,5 km), ao sul e sudoeste com o Tocantins (1.060 km), a oeste com o Pará (798 km) e a leste e sudeste limita-se com o Piauí (1.365 km) (Maranhão, 2011).

O território do Maranhão é composto pelos biomas Amazônia, Cerrado e Caatinga, conforme pode ser observado na figura 1, o que lhe atribui grande diversidade morfológica e ambiental (Maranhão, 2011).

O estado apresenta quatro tipos climáticos, os quais variam desde o clima subúmido seco, que predomina no Sudeste, até o úmido, que predomina no extremo Noroeste. A região Noroeste do Estado tem os maiores registros de totais pluviométricos anuais, em especial o município de Santa Helena, com aproximadamente 2.784 mm. Por outro lado, os menores registros pluviométricos anuais são verificados nos municípios de Barra do Corda, Loreto e Grajaú, com aproximadamente 700,4, 878,5 e 905,9 mm, respectivamente (Maranhão, 2011).

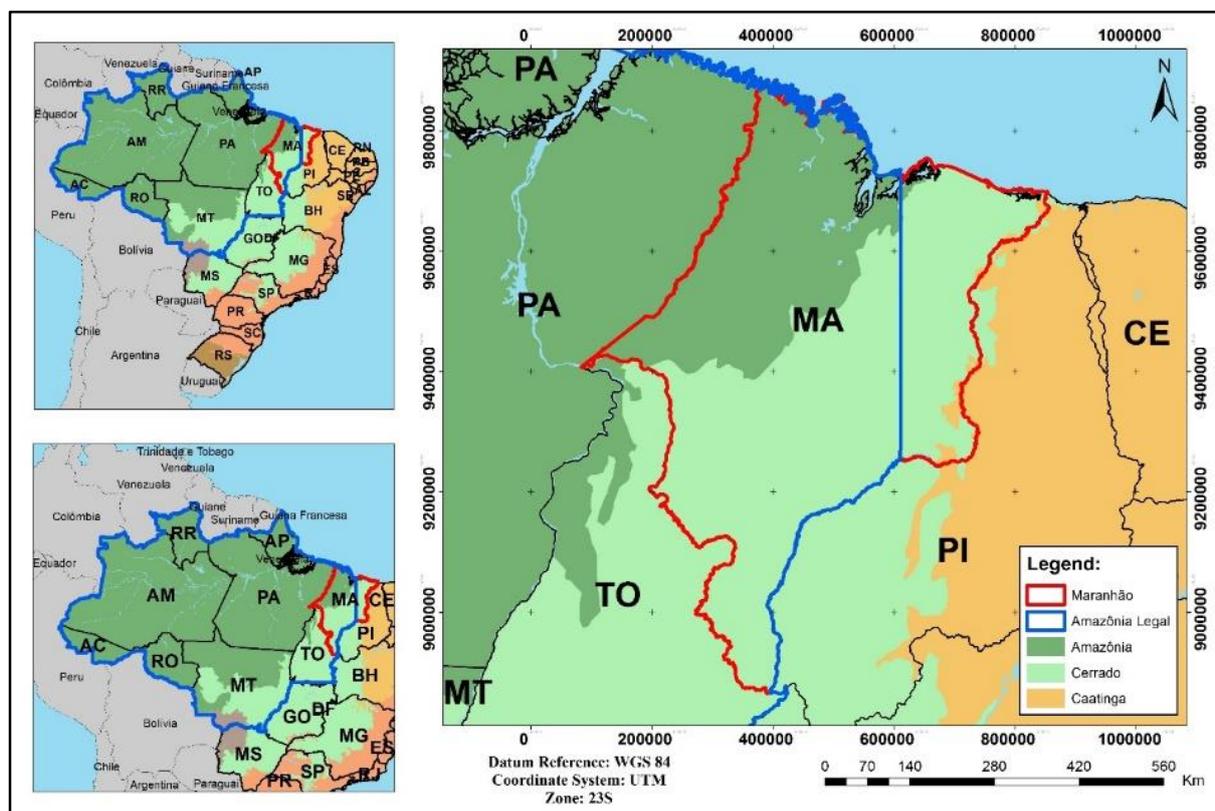


Figura 1. Localização do Estado do Maranhão.

3. Materiais e Métodos

A metodologia constou de três fases: levantamento de dados (A), processamento dos dados (B) e análise dos dados (C).

A. *Levantamento dos dados*: nessa etapa foram adquiridos os dados das 16 estações meteorológicas do Maranhão do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (INMET, 2014). Os dados relativos às áreas queimadas foram adquiridos do site do projeto MODIS *Active Fire and Burned Area Products* gerenciado pela Universidade de Maryland (Estados Unidos). Esses dados de áreas queimadas mensais possuem resolução espacial de 500 metros e são distribuídos em formato shapefile (Justice et al., 2014; Roy et al., 2005, 2008). Os dados de desmatamento anual (porção da Amazônia Legal Maranhense) foram obtidos do site do Projeto PRODES (Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite) (Câmara, Valeriano; Soares, 2006; PRODES, 2014). Foi considerada para o estudo a série multitemporal de 2001 até o ano de 2013.

B. *Processamento dos dados*: nessa etapa os dados foram tabulados com o objetivo de se obter a média mensal de precipitação para o estado, o cálculo de anomalias anuais, e as correlações entre as áreas queimadas, o desmatamento e a chuva. Para o cálculo de anomalias anuais de precipitação e de áreas queimadas foi utilizada a equação 1, conforme Aragão et al. (2007).

$$X_{anomalia} = \frac{X - (\sum(2001 - 2013)/13)}{\sigma_{2001-2013}} \quad (1)$$

onde, $X_{anomalia}$ é a anomalia de precipitação ou das áreas queimadas, X é o valor do ano a ser avaliado, $\sum(2001 - 2013)/13$ é a média da série em questão (de 2001 à 2013) e $\sigma_{2001-2013}$ é o desvio padrão da série adotada.

C. *Análise dos dados*: nessa etapa os dados tabulados foram analisados com objetivo de identificar os padrões de queimadas durante o ano, assim como sua relação com a precipitação e desmatamento. Também foram analisadas as anomalias anuais das áreas queimadas e da precipitação.

3. Resultados e Discussão

Com base nos dados das estações meteorológicas do INMET, presentes no estado, o período chuvoso começa no mês de dezembro, seguindo até o mês de maio do ano seguinte. No mês de março, observa-se o pico máximo de chuva durante o ano. Já o valor mínimo ocorre entre os meses de agosto e setembro (Figura 2A).

As primeiras áreas queimadas têm seu início entre os meses de abril e maio, quando começa uma diminuição contínua da precipitação no estado (começando efetivamente no mês de junho). O pico das queimadas ocorre no mês de agosto, que coincide com o mês de mínima ocorrência de chuva. A incidência de queimadas segue até o mês de janeiro do ano seguinte, quando não são mais registradas áreas queimadas do estado. A ausência de áreas queimadas no estado é registrada a partir de janeiro e segue ao longo dos meses de fevereiro, março e abril (Figura 2A).

As análises realizadas foram feitas para as médias tanto de chuva quanto de áreas queimadas para o estado. Esses períodos de começo e término das chuvas e queimadas, assim como as máximas e mínimas podem variar ao longo de todo o estado, devido a vários fatores ambientais, principalmente aqueles relacionados à proximidade com o oceano e aqueles diretamente ligados aos tipos de bioma. Silva et al. (2014) fizeram uma análise detalhada para o estado descrevendo cada estação do INMET conforme suas características de começo e término do período chuvoso e seco, assim como os períodos de máximas e mínimas. Estes autores também concluíram que existe uma tendência em todo o estado na diminuição da precipitação de chuva.

É possível observar claramente que as áreas queimadas no Maranhão são moduladas pela sazonalidade das chuvas. O que demonstra que o fenômeno das queimadas está diretamente ligado às precipitações de chuva e podem ser influenciadas pela alteração nos padrões de chuva (secas e cheias extremas). O fogo também está associado a sazonalidade das atividades de corte e queima na agricultura familiar, que é amplamente empregada no estado.

Essa relação do fogo com a chuva já foi descrita em alguns trabalhos para a Amazônia (Aragão et al., 2014, 2009), no Maranhão mais recentemente Caldas, Silva e Silva Junior (2014) encontraram esse mesmo comportamento para o Parque Estadual do Mirador (Mirador – MA), localizado nos domínios do Cerrado.

No estado do Maranhão a correlação entre o total de áreas queimadas mensais e o total mensal de chuva é dado por uma relação exponencial, onde com a ocorrência de chuva acima de 100 milímetros as áreas queimadas diminuem exponencialmente, e com chuvas abaixo de 100 milímetros as áreas queimadas crescem exponencialmente conforme a figura 2B.

Na floresta amazônica, quando a precipitação mensal é inferior a 100 mm a floresta entra em déficit hídrico (Aragão et al., 2007). Esse mesmo comportamento ocorre para a vegetação no estado do Maranhão, onde há o aumento das áreas queimadas quando a precipitação de chuva é menor que 100 mm. Isto se deve ao aumento de material combustível na vegetação. Esse

padrão é diretamente afetado pela ocorrência de período de secas extremas que induzem a um aumento das áreas queimadas (Aragão et al., 2014).

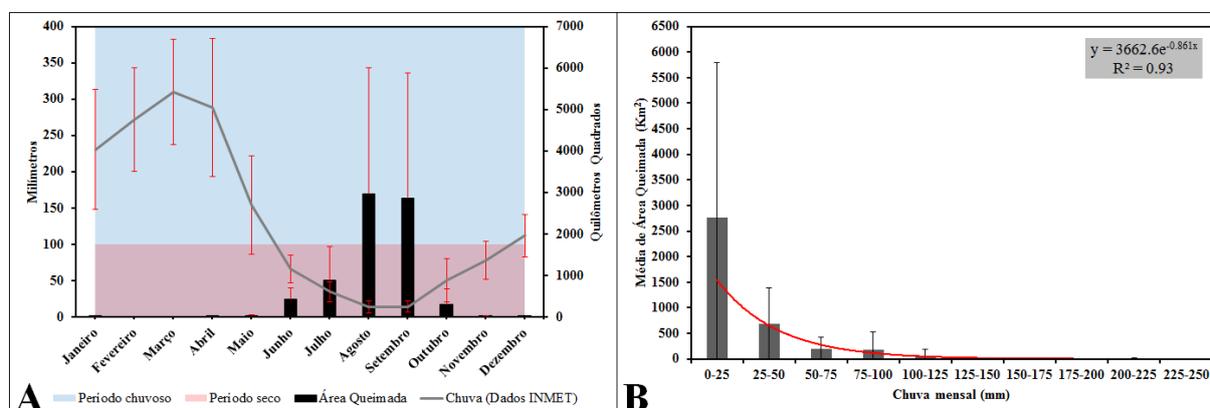


Figura 2. Comportamento das médias de precipitação e áreas queimadas ao longo dos meses (A) e correlação entre intervalos de precipitação e média de áreas queimadas ($p = 0,001$) (B).

Quanto ao desmatamento, esse favorece o aumento da radiação incidente que atinge o solo, seguido de aumento da temperatura na cobertura, tendo como resultado a desidratação rápida do material orgânico acumulado no terreno, aumentando a vulnerabilidade da vegetação ao fogo. A probabilidade de incêndios florestais aumenta ainda mais se as florestas expostas à seca já estão degradadas pelos efeitos de borda, corte seletivo, fragmentação e incêndios anteriores (Aragão et al., 2014; Cochrane; Laurance, 2008).

Não foi possível estabelecer uma boa relação entre as áreas desmatadas e as áreas queimadas para o estado. Esse resultado também foi obtido por Aragão et al. (2009) para a Amazônia Legal, conforme a figura 3. No entanto, Aragão et al. (2007, 2014), quando separam somente o bioma amazônico para a mesma análise demonstram um claro sinergismo entre o desmatamento e as ocorrências de queimadas, sendo que essa relação é propensa a mudanças durante as secas extremas.

Esses resultados sugerem que quando áreas compostas por Cerrado são consideradas para as análises, a relação entre desmatamento e queimadas não é significativa. Isto pode ser explicado pelo fato das queimadas ocorrerem de forma natural nessas áreas de Cerrado. A ocorrência periódica de queimadas espontâneas faz parte da ecologia deste bioma, e grande parte da vegetação está adaptada ao fogo. Contudo, não podemos descartar queimadas relacionadas com a ação antrópica. O Cerrado é uma fronteira consolidada onde a manutenção de pastagens e outras culturas também pode ser um precursor de queimadas na região. Assim, a baixa relação encontrada em nossa análise para o Maranhão, é provavelmente resultante da inclusão do cerrado na análise que cobre a maior parte todo estado e tem número significativo de eventos de queimadas que não estão associados ao desmatamento (Coutinho, 1977; Kaufman et al., 1990; Mistry, 1998; Pereira Júnior et al., 2014; Pivello, 2011).

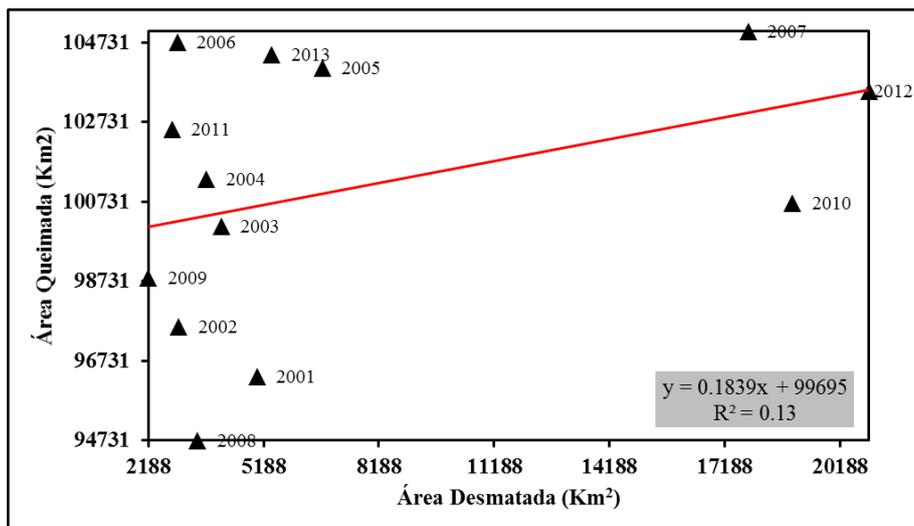


Figura 3. Correlação entre áreas desmatadas e áreas queimadas anuais ($p = 0,258$).

Sabe-se que as secas extremas impactam consideravelmente a ocorrência de queimadas, devido ao déficit hídrico que torna a vegetação mais suscetível à ocorrência de fogo. O Maranhão foi afetado pelas secas ocorridas em 2007 e 2010, que tiveram grande impacto na Amazônia (Lewis et al., 2011; Marengo et al., 2011). Estas duas secas causaram uma anomalia positiva considerável de áreas queimadas no estado. No ano de 2012, ocorreu uma seca no estado que ocasionou a maior anomalia positiva observada com base na série histórica considerada para as áreas queimadas (Figura 4).

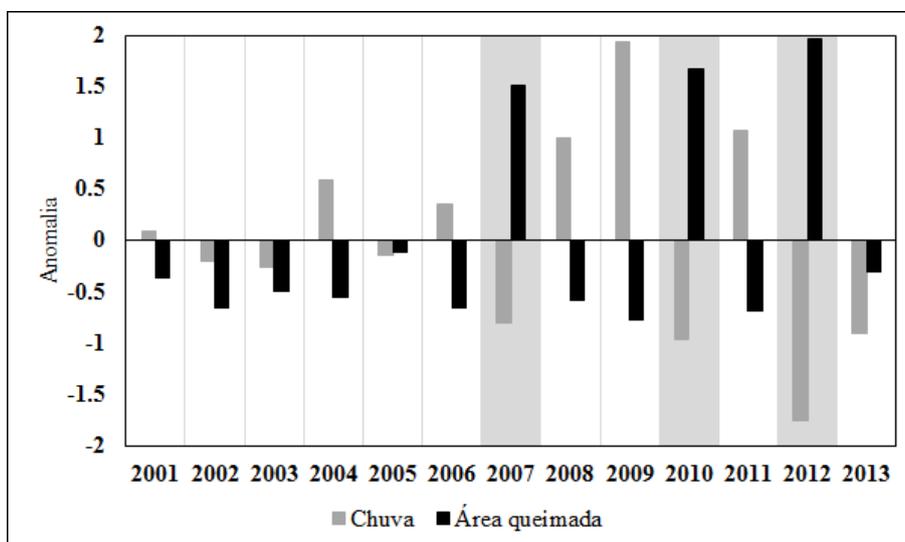


Figura 4. Comparação entre as anomalias de chuva e áreas queimadas (anos destacados em cinza, representam os que tiveram secas e anomalias positivas para as áreas queimadas).

4. Considerações Finais

O Maranhão tem um histórico de carência de estudos e publicações em áreas importantes como a ocorrência de queimadas. Nesse sentido, o presente trabalho conseguiu contribuir significativamente para entender de forma geral a ocorrência de queimadas no estado.

Foi confirmada a modulação da ocorrência de queimadas pela precipitação. A correlação entre as áreas queimadas e desmatadas não foi satisfatória devido a inclusão do bioma Cerrado nas análises, pois esse bioma, na maioria das vezes, tem a ocorrência de queimada não necessariamente associada ao desmatamento, podendo ocorrer naturalmente.

É importante observar que com as mudanças climáticas esses padrões de queimadas tendem a se modificar, principalmente se essas mudanças ocasionarem o aumento das queimadas relacionadas à intensificação de secas, o que aumentaria problemas relacionados à saúde humana e a perda da biodiversidade, além de contribuir com emissões de carbono para a atmosfera.

Os dados aqui apresentados correspondem a análises preliminares para o estado, posteriormente serão feitas análises mais detalhadas por biomas, espacialização das áreas queimadas e anomalias, além da identificação de áreas com maior recorrência de queimadas.

Referências Bibliográficas

- ANDERSON, L. O. et al. Detecção de cicatrizes de áreas queimadas baseada no modelo linear de mistura espectral e imagens índice de vegetação utilizando dados multitemporais do sensor MODIS/TERRA no estado do Mato Grosso, Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, v. 35, n. 4, p. 445–456, 2005.
- ARAGÃO, L. E. O. C. et al. Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. **Geophysical Research Letters**, v. 34, n. 7, p. L07701, 2007.
- ARAGÃO, L. E. O. C. et al. Environmental change and the carbon balance of Amazonian forests. **Biological Reviews**, v. 2, p. n/a–n/a, 2014.
- ARAGÃO, L. E. O. e C. et al. Utilização de produtos derivados de sensores orbitais para o estudo de queimadas na Amazônia. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. **Anais...** Natal: INPE, 2009.
- CALDAS, J. M.; SILVA, F. B.; SILVA JUNIOR, C. H. L. Análise de focos de queimadas no Parque Estadual do Mirador utilizando um Sistema de Informação Geográfica – SIG, estado do Maranhão, Brasil. In: XIV SAFETY, HEALTH AND ENVIRONMENT WORLD CONGRESS. **Anais...** Cubatão: COPEC, 2014.
- CÂMARA, G.; VALERIANO, D. D. M.; SOARES, J. V. **Metodologia para o Cálculo da Taxa Anual de Desmatamento na Amazônia Legal**. 2006. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/metodologia.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2014.
- COCHRANE, M. a; LAURANCE, W. F. Synergisms among Fire, Land Use, and Climate Change in the Amazon. **AMBIO: A Journal of the Human Environment**, v. 37, n. 7, p. 522–527, 2008.
- COUTINHO, L. M. Aspectos ecológicos do fogo no Cerrado. II - As queimadas e a dispersão de sementes em algumas espécies anemocóricas do estrato herbáceo-subarbusivo. **Bol. Botânica**, v. 5, p. 57–64, 1977.
- GERUDE, R. G. Focos de queimadas em áreas protegidas do Maranhão entre 2008 e 2012. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, 2013.
- GIGANTE, L. A. et al. Um estudo da similaridade das queimadas entre municípios no estado de Mato Grosso. In: XLV CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL. **Anais...** Londrina: Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2007.
- IBGE. **Censo Demográfico 2010**. 2010. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 22 out. 2013.
- IBGE. **Banco de Dados Agregados**. 2014. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 10 jun. 2014.
- IGNOTTI, E. et al. Impact on human health of particulate matter emitted from burnings in the Brazilian Amazon region. **Revista de Saúde Pública**, v. 44, n. 1, p. 121–130, 2010.

- INMET. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. 2014. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>>. Acesso em: 15 jan. 2014.
- IPCC. Summary for Policymakers. In: EDENHOFER, O. et al. (Eds.). . **Climate Change 2014, Mitigation of Climate Change: Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge e New York: Cambridge University Press, 2014. 31 p.
- JUSTICE, C. et al. **MODIS Active Fire and Burned Area Products: Get Data**. 2014. Disponível em: <http://modis-fire.umd.edu/BA_getdata.html>. Acesso em: 5 maio. 2014.
- KAUFMAN, Y. J. et al. Remote Sensing of Biomass Burning in the Tropics. In: GOLDAMMER, J. G. (Ed.). . **Fire in the Tropical Biota: Ecosystem Processes and Global Challenges**. Ecological Studies. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1990. v. 84p. 371–399.
- LEWIS, S. L. et al. The 2010 Amazon drought. **Science (New York, N.Y.)**, v. 331, n. 6017, p. 554, 2011.
- MARANHÃO. **PLANO ESTADUAL DE PREVENÇÃO E CONTROLE DO DESMATAMENTO E QUEIMADAS DO MARANHÃO: PRODUTO 2**. São Luís: Secretaria de Estado de Meio Ambiente - SEMA, 2011. 142 p.
- MARENGO, J. a. et al. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. **Geophysical Research Letters**, v. 38, n. 12, p. n/a–n/a, 2011.
- MARTINELLI, L. a et al. Agriculture in Brazil: impacts, costs, and opportunities for a sustainable future. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 2, n. 5-6, p. 431–438, 2010.
- MISTRY, J. Fire in the cerrado (savannas) of Brazil: an ecological review. **Progress in Physical Geography**, v. 22, n. 4, p. 425–448, 1998.
- PEREIRA JÚNIOR, A. C. et al. Modelling fire frequency in a Cerrado savanna protected area. **PloS one**, v. 9, n. 7, p. e102380, 2014.
- PIROMAL, R. A. S. et al. Utilização de dados MODIS para a detecção de queimadas na Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 1, p. 77–84, 2008.
- PIVELLO, V. R. The Use of Fire in the Cerrado and Amazonian Rainforests of Brazil: Past and Present. **Fire Ecology**, v. 7, n. 1, p. 24–39, 2011.
- PRODES. **Projeto PRODES: monitoramento da floresta Amazônica brasileira por satélite**. 2014. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>>. Acesso em: 10 jun. 2014.
- ROY, D. P. et al. Prototyping a global algorithm for systematic fire-affected area mapping using MODIS time series data. **Remote Sensing of Environment**, v. 97, n. 2, p. 137–162, 2005.
- ROY, D. P. et al. The collection 5 MODIS burned area product — Global evaluation by comparison with the MODIS active fire product. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 9, p. 3690–3707, 2008.
- SILVA, F. B. et al. Análise espaço-temporal da precipitação no estado do Maranhão no período de 2003 a 2012. In: XIV SAFETY, HEALTH AND ENVIRONMENT WORLD CONGRESS. **Anais...** Cubatão: COPEC, 2014.
- SMITH, L. T. et al. Drought impacts on children’s respiratory health in the Brazilian Amazon. **Scientific reports**, v. 4, p. 3726, 2014.