

## **A zona de transição entre a Amazônia e o Cerrado no estado do Maranhão. Parte I: Caracterização preliminar dos dados focos de queimadas (produto MODIS MCD14ML)**

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

<sup>1</sup>Laboratório 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

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Avenida dos Astronautas, 1758 – 12227-010 – São José dos Campos – SP, Brasil  
celsohlsj@gmail.com; laragao@dsr.inpe.br

<sup>3</sup>Pontifícia 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

<sup>4</sup>Centro 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

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

**Abstract.** The State of Maranhão presents high fire activities, which cause loss of biodiversity, socio-economic negative impacts and contributes with greenhouse gas emissions to the atmosphere. Despite its relevance in terms of high fire activity in the context of the Amazon, very few studies have looked at this state into detail. This scientific initiation study aims to evaluate the temporal characteristics of hot spots over the Maranhão state, covering the period 2002 to 2013. MODIS data derived from Terra and Aqua satellites (product MCD14ML), filtered for 80% confidence level were used. Rainfall derived from Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite was also used in order to evaluate the relationships between fire dynamics and rainfall. Interestingly, our study showed that AQUA satellite detects a higher number of hot pixels than Terra satellite, probably due to its afternoon overpass. Secondly, fire activity starts in June and ends only in January, with September the month of highest number of detections. Anomalous hot year (2007) and anomalous dry year (2010) were the years when fire activity peaked in Maranhão. It is observed that there is an exponential relationship between fire and rainfall, when the latter is lower than 100 mm. The next phase of this study is to evaluate the spatial patterns of fire activity and the evaluation of spatial agreement between Terra and Aqua satellites data.

**Palavras-chave:** watershed, zoning, environmental fragility, geographic information systems, environmental planning, sustainability.

## 1. Introdução

O Maranhão é o oitavo maior estado brasileiro e o segundo do Nordeste em extensão territorial. Sua localização geográfica está em uma área de transição entre as regiões amazônica (úmida) e nordeste (semiárida) favorecendo grandes contrastes pluviométricos anuais (Maranhão, 2011).

A porção maranhense da Amazônia Legal abrange uma área equivalente a 80% da superfície territorial do Estado, cerca de 264 mil km<sup>2</sup>. Nesta área estão localizados 188 municípios do Maranhão. Os municípios que compõem o Arco do Desflorestamento, na parte da Amazônia Legal, apresentam um histórico de profunda alteração da paisagem natural, com extensas áreas de florestas convertidas em uso alternativo do solo (pastagens, agroindústrias, mineradoras e madeireiras) (Maranhão, 2011).

No Maranhão, a agricultura familiar caracteriza-se pela derrubada e queima da vegetação para limpeza e fertilização do solo e plantio de culturas alimentares de ciclo curto. Esse sistema provoca impactos ambientais nos ecossistemas ocasionando altas taxas de desmatamento e queimadas, com expressiva perda de biodiversidade, emissões de gases de efeito estufa. Sugere-se que são necessários um período de pousio de seis a dez anos para a reconstrução da estrutura e a da biomassa de uma vegetação secundária (Abreu; Freitas, 2012).

É possível observar também que até mesmo nas Unidades de Conservação do estado do Maranhão, onde se tem um caráter jurídico de proteção e conservação, entre 2008 e 2012 foram registrados 19.048 focos de queimadas nas áreas protegidas, correspondendo a 19,5% de todos os focos identificados no período para todo o Maranhão (Gerude, 2013).

As emissões acumuladas de CO<sub>2</sub> resultantes de atividades florestais e de uso da terra no planeta desde 1750 aumentou de 490±180 Gt CO<sub>2</sub>, na década de 70 para 680±300 Gt CO<sub>2</sub> 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).

A queima da biomassa ocorre tanto a partir de causas antrópicas quanto de processos naturais, onde representa um papel central nas emissões de carbono nos trópicos e afeta diretamente o ciclo do carbono, pois perturba a química atmosférica global através da liberação de gases de efeito estufa e aerossóis (Anderson et al., 2005).

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 durante as secas, por exemplo, pode-se observar o aumento de mais de 30% na ocorrência de incêndios que tendem a levar para a atmosfera partículas finas que são extremamente perigosas para a saúde humana (SMITH et al., 2014).

Nesse contexto, o objetivo principal do presente estudo foi quantificar a dinâmica de queimadas no Estado do Maranhão, avaliando uma série multitemporal de 2002 a 2013 por meio de avaliação de dados de focos de calor (fogo ativo) com o uso do produto MODIS MCD14ML. Especificamente, objetivou-se caracterizar o padrão temporal de ocorrência de queimadas e como as secas afetam os padrões de ocorrência de focos de calor observados.

## 2. Área de Estudo

A área de estudo é o estado do Maranhão, localizado no extremo oeste do nordeste brasileiro. Sendo este composto por 217 municípios distribuídos em uma área de 331.937,450 km<sup>2</sup> com uma população estimada em 6.850.884 habitantes (IBGE, 2014). Segundo o Macrozoneamento Ecológico-Econômico do Estado (MacroZEE-MA) adotado pelo Governo Estadual, os biomas maranhenses dividem-se, oficialmente, em bioma Amazônico ocupando 34% do estado, o bioma Cerrado se estendendo por mais da metade da região sendo 65% e a Caatinga abrangendo 1%, conforme a Figura 1.

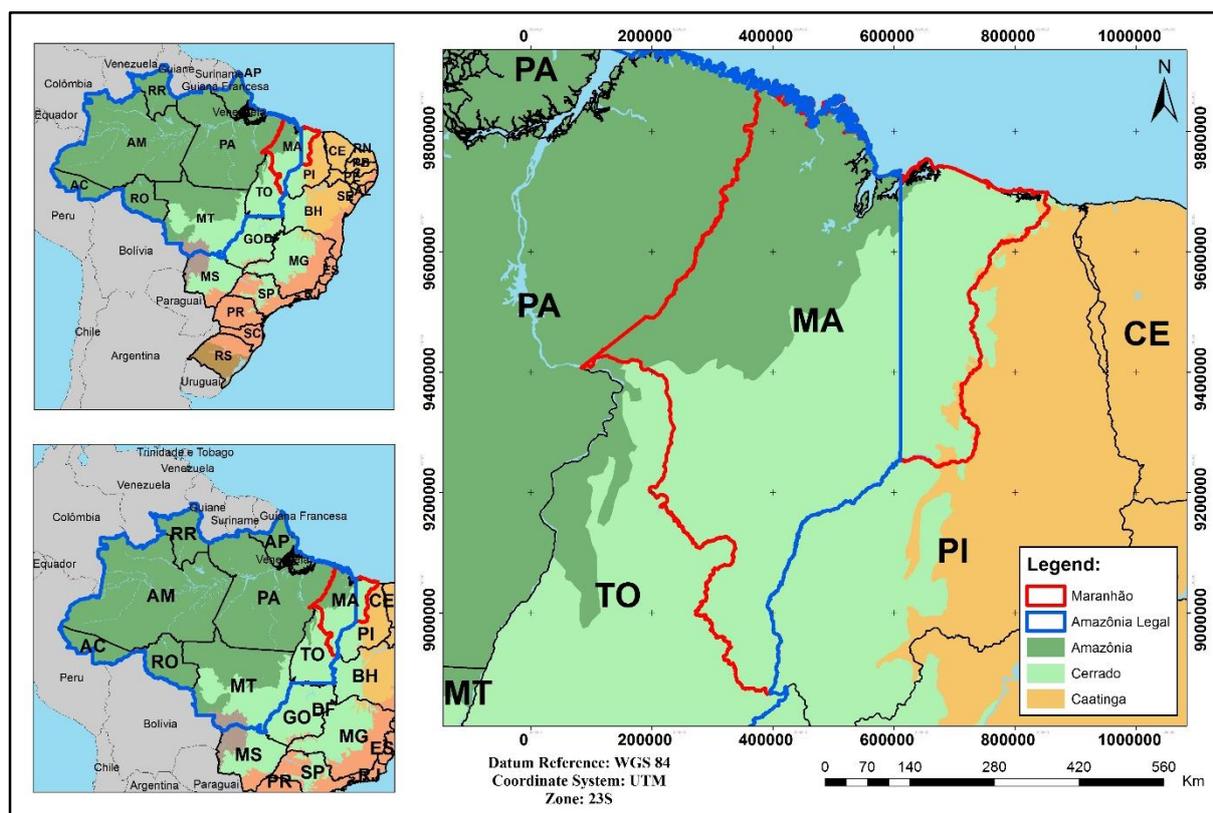


Figura 1. Localização do Estado do Maranhão.

### 3. Materiais e Métodos

**Dados de focos de calor:** O estudo abrangeu todo o Estado do Maranhão no qual os dados trabalhados são os captados pelo sensor MODIS dos satélites EOS-TERRA e AQUA, abrangendo o período de 2002 a 2013. Estes dados de focos de calor foram obtidos pelo website *EOSDIS-Earth Observing System Data and Information System* (<https://earthdata.nasa.gov/>), no qual é disponibilizado o produto MODIS MCD14ML para download gratuito.

Em seguida, os dados foram importados para o software de sistema livre de informação geográfica, o Quantum GIS (QGIS). Neste, foram processados dados mensais, em formato shapefile. Realizou-se a filtragem dos dados para incluir somente aqueles com confiabilidade igual ou superior a 80%.

Os dados foram organizados separadamente por satélites, EOS-TERRA e AQUA em que foram totalizados os números de focos mensalmente e anualmente, utilizando-se uma planilha de dados. As análises realizadas foram à avaliação e caracterização da evolução dos focos de queimadas no Estado do Maranhão no período de 2002 a 2013. Em seguida, estabeleceu-se uma correlação entre os dados de precipitação, descrito abaixo, e de focos de queimadas utilizando uma análise de regressão.

**Dados de Precipitação:** Os dados de precipitação foram obtidos através do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), lançado em 1997 em um programa de colaboração entre a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e a *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA). Foram adquiridos dados para o período de Janeiro de 2002 a Dezembro de 2008 da versão 7 e 7A do produto 3B43 do satélite TRMM, produzido

pela *National Oceanic Atmospheric Administration* (NOAA). Os dados do produto 3B43 são disponibilizados no formato *Hierarchical Data Format* (HDF) em uma grade de  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  graus, recobrando o globo terrestre entre as latitudes  $50^\circ\text{N}$  a  $50^\circ\text{S}$ . Para este estudo foram utilizados valores de média mensal para o Estado do Maranhão, recobrando o mesmo período que os dados de focos de calor.

#### 4. Resultados e Discussão

Foi observado no Maranhão que os satélites tanto AQUA quanto TERRA registraram que os anos de 2007 e 2010 apresentaram os maiores picos de focos de queimada, em especial no mês de setembro, correspondendo ao mês mais seco do ano (Figura 2). O ano de 2007 apresentou um total anual de 7.340 focos, sendo 2.533 só no mês de setembro registrados pelo TERRA e 19.872 focos sendo 6.084 para o mês de setembro registrados pelo AQUA. Além disso, ambos os satélites revelaram que o ano de 2009 apresentou uma baixa quanto ao número de focos, com um total anual de 1.845 focos registrados pelo TERRA e 6.055 focos pelo AQUA.

As observações são feitas quatro vezes por dia a partir do TERRA AM (10:30 hs e 22:30 hs) horário em que o estado momentâneo da atmosfera se encontra mais úmido e o AQUA PM (13:30 hs e 01:30 hs) em que o primeiro horário é mais propício a ocorrência de incêndio. Principalmente no que diz respeito por ser um horário em que a temperatura é mais elevada e o sobreaquecimento causado pela intensidade dos raios solares em ação conjunta com os resíduos vegetais secos amontoados no solo acaba por provocar incêndios naturais (Justice et al., 2006). Além disso, é o horário em que os agricultores mais praticam a queima da vegetação para limpeza e fertilização do solo e para implantação de pastagens. Acredita-se que esta seja a explicação para a maior detecção de focos de calor pelo satélite AQUA que o Terra, posto que ambos carregam o sensor MODIS com mesmas características de fabricação.

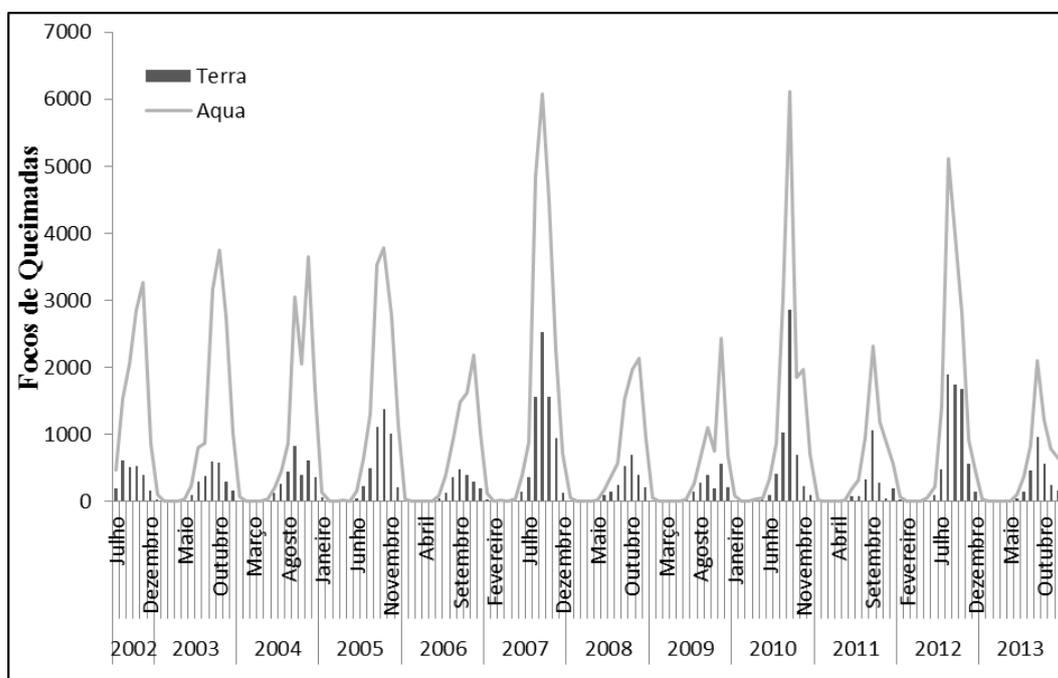


Figura 2. Dados mensais de focos de calor oriundos dos satélites AQUA e TERRA.

No estado do Maranhão, de maneira geral, o período chuvoso começa em dezembro seguindo até o mês de maio do ano seguinte com máxima de precipitação no mês de março (Figura 3). O período seco inicia-se no mês de junho seguindo até o mês de novembro com

mínimas no mês de agosto e setembro. Os focos de queimadas começam no mês de junho e seguem até o mês de janeiro do ano seguinte com máxima de ocorrência de focos no mês de setembro que corresponde ao mês mais seco do ano. Entre os meses de fevereiro e abril não são observados focos de queimada no estado o que é explicado por serem os meses de maior precipitação de chuva (Figura 3).

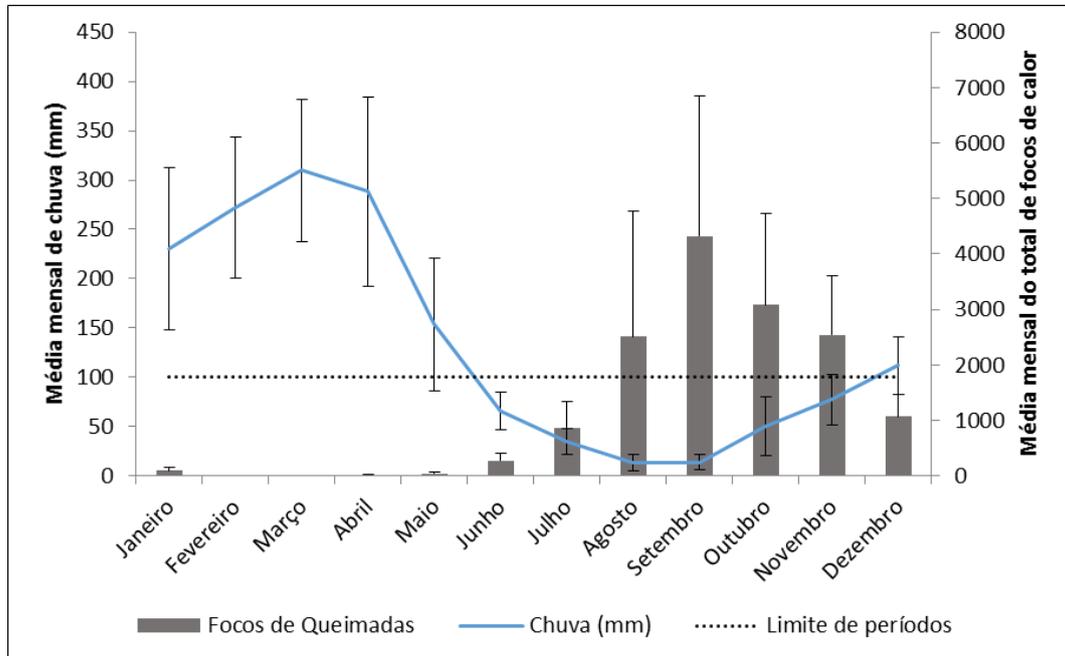


Figura 3. Médias mensais para o período de análise para focos de queimadas e dados de precipitação.

Observa-se que o número de focos cai exponencialmente quando se tem uma quantidade de chuva acumulada mensalmente acima de 100 mm. De uma forma geral, pode-se considerar que quando a chuva apresenta valores maiores que 175 mm por mês, o número de incêndios é insignificante. (Figura 4).

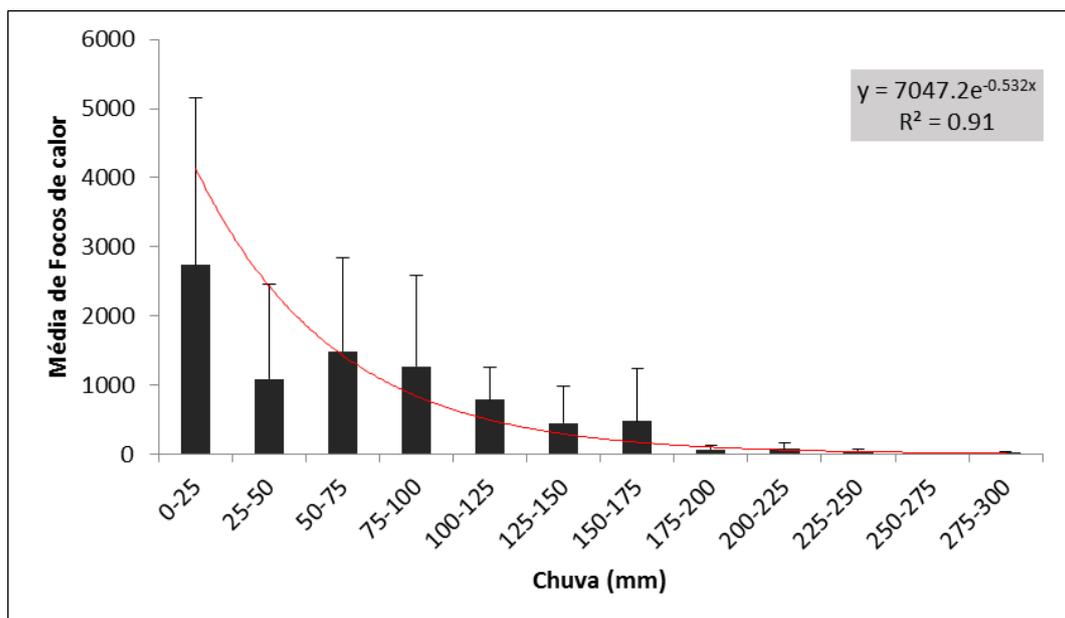


Figura 4. Correlação da Média de Focos com os intervalos de precipitação mensal.

## 5. Considerações Finais

O Maranhão é um dos estados com o maior número de queimadas no Nordeste. Mesmo com a preocupação referente à preservação ambiental, a degradação de sua vegetação decorre, principalmente, em função do desmatamento e das queimadas, sendo esta uma ameaça que tem despertado a atenção dos órgãos ligados ao meio ambiente. No entanto, o presente trabalho buscou evidenciar a dinâmica dos focos de queimadas no estado.

Entre os anos de 2002 a 2013 foi registrado um total geral de 176.725 focos de queimadas, com destaque ao mês de setembro dos anos de 2007 e 2010. Os focos de calor ocorrem entre junho e janeiro, sendo setembro o mês de pico no número de ocorrências, posto que é mês de mínima incidência de chuvas. Devido à falta de informação e ações governamentais no sentido de implementar a queimada fria, ou seja, queima no início da estação seca que busca reduzir o alastramento incontrolado do fogo, agosto e setembro são os meses preferidos por agricultores e pecuaristas para queimadas para preparar o terreno para plantação e para pastagens para o gado.

Observou-se que há maior número de detecções de focos de calor pelo satélite Aqua do que o Terra, provavelmente devido a passagem no período da tarde pelo Aqua.

Os próximos passos do estudo compreenderão a avaliação dos padrões espaciais dos focos de calor oriundos do satélite Terra e Aqua.

## Referências Bibliográficas

ABREU, F. C. M. G. de O.; FREITAS, A. C. R. De. AGRICULTURA FAMILIAR NO MUNICÍPIO DE PINHEIRO-MA: REFLEXÕES SOBRE OS IMPACTOS ECOLÓGICOS E O DESENVOLVIMENTO LOCAL. In: XXI ENCONTRO NACIONAL DE GEOGRAFIA AGRÁRIA. **Anais...** Uberlândia: [s.n.], 2012.

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.

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.

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.

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. p. 31.

JUSTICE, C. et al. **Algorithm Technical Background Document MODIS**. 2006. Disponível em: <[http://modis-fire.umd.edu/Documents/atbd\\_mod14.pdf](http://modis-fire.umd.edu/Documents/atbd_mod14.pdf)>. Acesso em: 5 nov. 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

MARANHÃO. **PLANO DE AÇÃO PARA PREVENÇÃO E CONTROLE DO DESMATAMENTO E DAS QUEIMADAS NO ESTADO DO MARANHÃO**. São Luís: Secretaria de Estado de Meio Ambiente - SEMA, 2011. 110 p.

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.

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.

SMITH, L. T. et al. Drought impacts on children's respiratory health in the Brazilian Amazon. **Scientific reports**, v. 4, p. 3726, 2014.