

## Relação da Precipitação, Queimadas e Aerossóis no estado do Mato Grosso com ênfase em dados de Satélite no período de 2000-2012

Nathalia Velloso Prado<sup>1, 2</sup>  
Simone Sievert da Costa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Cachoeira Paulista - SP, Brasil  
{nathalia.velloso, simone.sievert}@cptec.inpe.br

<sup>1</sup> Faculdade Estadual de Guaratinguetá, FEG/UNESP  
Guaratinguetá - SP, Brasil  
Nathalia.velloso.prado@gmail.com

**Abstract.** The main motivation of this study was to conduct an observational study aiming to explore the potential of satellite information in assessing the impact of rainfall on burned activities, and consequently, on air pollution. In particular, this study tries to understand the impact of rainfall deficits during dry season (May to Ago) in fires activities of in Mato Grosso in September, and how these can affect the atmospheric composition. It was used aerosol optical thickness (AOD) from MODIS / TERRA-AQUA, monthly mean precipitation from TRMM satellite, and biomass burning produced by CPTEC / INPE in the period 2000-2012. The correlation between accumulated rainfall and biomass burning data was less than -0.4, indicating that the deficit of rainfall in the dry season is one of the possible causes of increasing fires in September, but is not the only one. Socio-economic and political preservation activities also play an important role in the burning activity in the region. The correlation between the number of fire focus and aerosols is 0.8 indicating a more obvious relationship between fires and air quality.

**Palavras-chave:** aerossóis, precipitação, queimadas, MODIS, TRMM.

### 1. Introdução

Os aerossóis são partículas sólidas ou gasosas suspensas na atmosfera oriundas de diversas fontes naturais e antropogênicas. No Brasil, a ação antrópica de queima de biomassa associada principalmente à prática agropecuária de preparação do solo é uma das principais fontes de aerossóis.

Dependendo da concentração e composição química, os aerossóis podem afetar a qualidade do ar, o balanço radiativo, as características microfísicas das nuvens e a eficiência (supressão e/ou intensificação) da precipitação (Rosenfeld et al., 1999; Hobbs et al., 1997).

Considerando a importância dos aerossóis de queimadas no clima regional, diversos estudos no país avaliaram o impacto destes na precipitação (Pauliquevis, et al. 2007; Torres et al., 2010; Vendrasco et al., 2009, Coelho et al., 2012, Coelho et al., 2013; Camponogara et al., 2014), na radiação (Procópio et al., 2004; Yamasoe et. al, 2006; Rosario et. al, 2011; Sena et al., 2013) na saúde humana (Pires-Neto et al., 2007; Goto et al., 2011; Saldiva et al., 2011; Sisenando et al., 2012; Silva et al., 2012), e na qualidade do ar (Freitas et al., 2005; Pereira et al., 2011; Freitas et al., 2011; Freitas et al, 2012; Longo et al., 2013).

O presente estudo, distinto dos trabalhos que avaliam o papel do aerossol no clima, visa analisar o impacto potencial do clima e das atividades antrópicas (queimadas, desflorestamento e produtividade agropecuária) na poluição do ar. Este estudo tem caráter observacional e explora o uso de dados de sensoriamento remoto, com ênfase aqueles gerados na última década no Brasil, para avaliar a relação entre precipitação-atividades antrópicas (queimadas) e aerossóis no estado de Mato Grosso.

## 2. Metodologia de Trabalho

Neste estudo observacional é explorando o potencial das informações de sensores a bordo de satélite na avaliação do impacto da precipitação nas atividades de queimadas, e consequentemente na poluição do ar. Foram utilizados dados inferidos de observações de distintos sensores satelitais.

As atividades de queima de biomassa são descritas através de dados mensais de focos de queimadas produzidos pelo INPE. Os focos de queimadas são inferidos a partir de informações dos sensores de referência a bordo dos satélites da série NOAA e AQUA utilizando técnicas de limiares para os canais do infravermelho solar e termal ( $3.9 \times 10 \mu\text{m}$ ) (Setzer et al., 2007).

O aerossol é descrito através dos dados diários de profundidade óptica em 550 nm (AOD, em inglês Aerosol Optical Depth) do sensor MODIS/AQUA proveniente da base de dados do INPE e da NASA, sendo este último disponibilizado através da ferramenta interativa web de visualização e análise Giovanni (<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni/overview/what-is-giovanni>). Os produtos de AOD são inferidos basicamente utilizando o mesmo método de detecção (Kaufman et al., 1997, Correia et al., 2006), sendo duas as importantes vantagens dos disponibilizados pelo INPE: resolução espacial (10 km versus 100 km) e adaptação dos limiares de refletividade para corrigir a presença de nuvens cirrus na América do Sul (Correia 2006; Correia e Pires, 2006).

Para precipitação foram utilizados produtos 3B43 do satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission, Kummerow et al., 2000) disponibilizada pelo sistema de distribuição da NASA (DAAC, Distributed Active Archive System). O produto de precipitação tem resolução de aproximadamente 0,25 graus (aproximadamente 25 km no Equador) e combina diferentes sensores a bordo do TRMM (TMI - Microwave Imager, PR - Precipitation radar e VIRS - Visible and Infrared Scanner) e dados de estações pluviométricas a superfície (Huffman et al., 2007).

O estudo apresenta basicamente duas etapas. Na primeira, a variabilidade espacial e temporal dos focos de queimadas e dos aerossóis é analisada sobre a América do Sul durante o período de 2000 a 2012. A escolha do período está associada a disponibilidades do conjunto de dados de sensoriamento remoto, que no caso do produto de AOD/TERRA inicia em 2000.

Na segunda etapa, estudou-se a relação entre a precipitação, queimadas e a profundidade óptica do aerossol na região Mato Grosso. A escolha desta região justifica-se por apresentar uma das principais fontes de aerossóis no Brasil provenientes de atividades antrópicas. Análises estatísticas padrões, como coeficiente de correlação e teste de significância, foram aplicadas para determinar a possível relação entre precipitação, AOD e queimadas. Adicionalmente, para relacionar as diversas variáveis, foi estimada a anomalia padronizada através da diferença entre média mensal e sua média climatológica (2000-2012) dividida pelo desvio padrão.

## 3. Resultados e Discussão

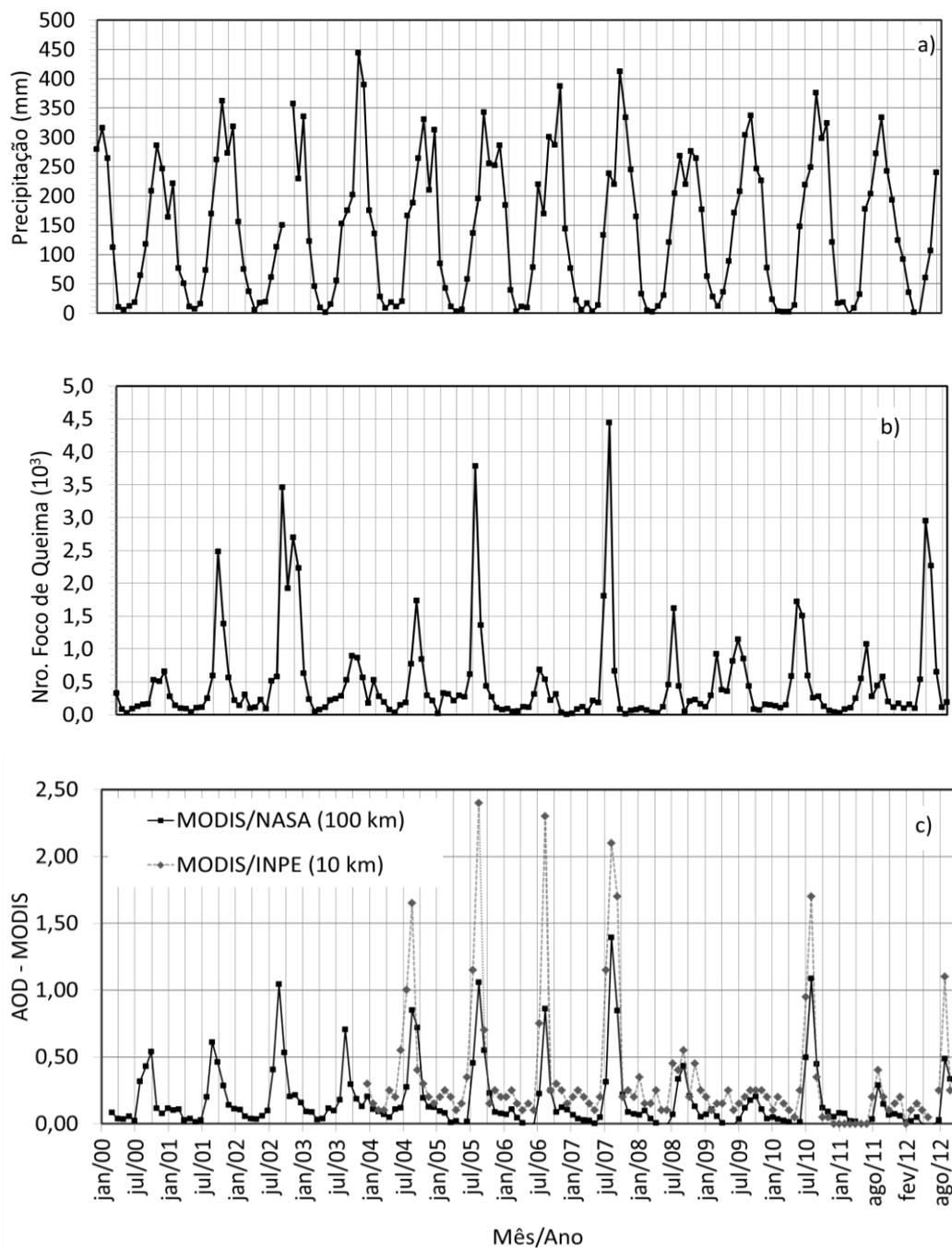
A figura 1 mostra a variabilidade sazonal média mensal da precipitação, AOD, número acumulado de focos de queima para o Mato Grosso no período de Janeiro 2000 a Dezembro de 2012. A região possui um ciclo anual de chuva marcante com regime dividido por estação seca e úmida, associado à Zona de Convergência Intertropical. Na área de estudo, observações de satélite indicam precipitação média mensal superior a 200 mm no período de Novembro a Março, e inferior a 50 mm nos meses subsequentes até início da transição da estação chuvosa em Outubro. Este regime observado via satélite está de acordo com resultados da literatura que utilizam dados observacionais de estação meteorológica (Reibota et al., 2010; CPTEC, 2014).

Durante estação seca, ocorre aumento expressivo das atividades de queimadas (Fig. 1b) no estado em análise. O número de queimadas média mensal no período 2000-2012 é menor do  $5 \cdot 10^2$  no primeiro trimestre e sobe para valores superiores a  $10^3$  em Agosto e Setembro.

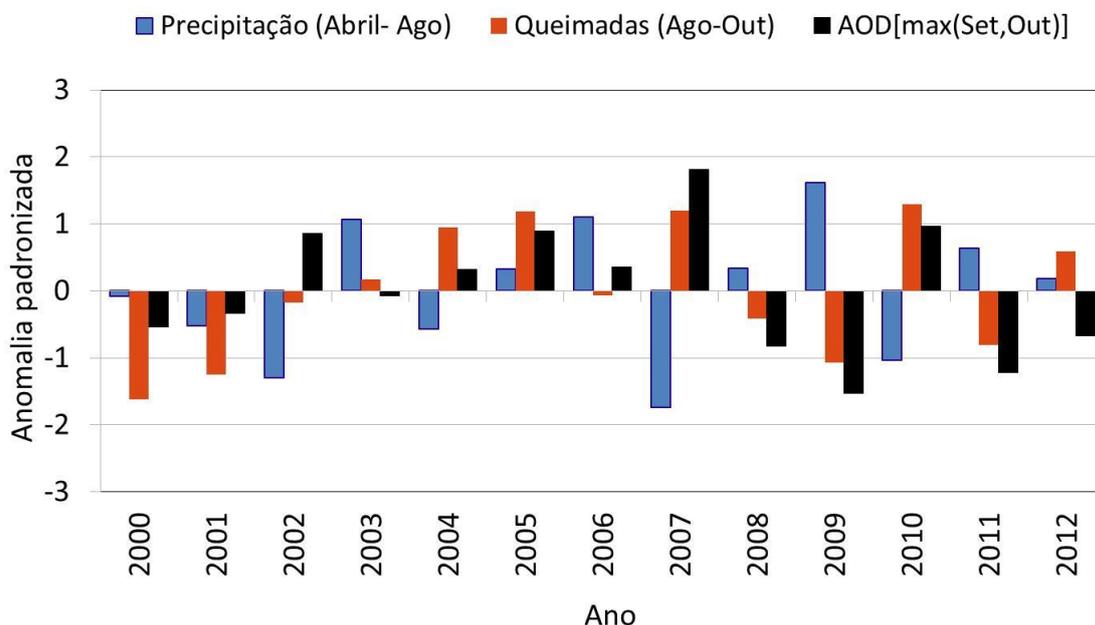
Associado ao período de queimadas verifica-se também altos valores de médio mensal de AOD/MODIS (Fig. 1c). Climatologicamente, AOD médio mensal inferido pelo satélite é inferior de  $0.1 \pm 0,03$  nos primeiros seis meses do ano, apresentam eminência de aumento em Agosto, atingem pico de  $0,70 \pm 0,4$  em Setembro, e diminuem por deposição úmida no início de Outubro - período de transição da estação seca para a chuvosa. Os anos que apresentaram os maiores valores de AOD/MODIS inferidos pela NASA sobre a área de estudo em setembro são 2004 (AOD= 0,85), 2005 (1,05), 2007 (0,86) e 2010 (1,39). Os dados do AOD/MODIS inferidos pelo INPE também são apresentados, e são maiores do que aqueles inferidos pela NASA. Esta diferença, principalmente no período de queimadas, e está associada a melhor detecção de pixels contaminados por nuvens tipo cirrus, que são excluídos do processamento de aerossóis, além da resolução espacial.

Figura 2 mostra variabilidade interanual da anomalia padronizada das seguintes variáveis ambientais: AOD, número de focos de queimadas e precipitação acumulada (Abril a Agosto). De acordo com dados do TRMM, os anos mais secos dos últimos 13 anos na área de estudo foram: 2002, 2007 e 2010. Esses anos apresentam anomalias de precipitação negativas e significativas (i.e. acima de  $1 \sigma$ , sendo  $\sigma$  o desvio padrão da média climatológica) durante o período Março a Agosto, indicando seca prolongado. Para esses anos, anomalias positiva de queimadas são evidentes. Déficits de precipitação desde o início da estação seca em Março provocam a diminuição de umidade do solo, e conseqüentemente, a superfície tem maior vulnerabilidade e risco de fogo. Altos valores de AOD inferidos pelo sensor MODIS indicam que esses anos ainda foram caracterizados como poluídos devido ao processo de queimadas. Em contraste, o ano de 2009 pode ser considerado climatologicamente mais úmido e menos poluído. Os valores de AOD inferiores a 0.12 no período de Agosto/Setembro de 2009 são similares aos valores esperados para o período chuvoso. Os anos analisados acima são bons exemplos que ilustram a avaliação do papel da precipitação na caracterização dos aerossóis na atmosfera. Interessante ressaltar ainda que 2007 e 2010 foram anos de ocorrência de La Niña, considerados, respectivamente, forte e moderado, o que supostamente poderia ter intensificado ainda mais o período seco. O impacto deste fenômeno de grande escala acarreta diminuição das chuvas, e, conseqüentemente, baixa a umidade do solo e elevado risco para o fogo. O ano de 2005, classificado como ano de La Nina fraco foi um ano que apresentou altos valores de AOD, no entanto nota-se que o a anomalia padronizada de precipitação de 0.3. Esta anomalia não foi significativa na área de estudo, pois apenas a parte leste da Amazônia legal foi que sofreu déficit de precipitação.

A correlação entre anomalias de precipitação e queimadas é baixa ( $R=-0.4$ ), indicando que as queimadas não estão associadas apenas ao déficit de chuva, pois depende de outros fatores, tais como econômicos. No entanto, profundidade óptica do aerossol que aumenta monotonicamente com a diminuição da anomalia padronizadas de precipitação, apresenta um coeficiente de correlação negativo de 0.71, indicando que há uma relação linear inversa entre a variabilidade do aerossol e da precipitação.



**Figura 1** - Série temporal (2000-2012, media mensal) de a) precipitação TRMM b) número de foco de queima NOAA e AQUA, c) AOD/MODIS e processado pela NASA e pelo INPE para o Mato Grosso.



**Figura 2** - Anomalia padronizada Precipitação, Queimadas e AOD no estado do Mato Grosso.

#### 4. Conclusões

A motivação do presente trabalho foi realizar um estudo observacional com intuito de explorar o potencial das informações de sensores a bordo de satélite (com ênfase aquelas geradas no Brasil) na avaliação do impacto da precipitação nas atividades de queimadas, e consequentemente na poluição do ar. Particularmente, procurou-se compreender como déficits de chuva na estação seca impactam nas atividades de queimadas no Mato Grosso, e como estas podem afetar a composição da atmosfera. Utilizou-se do sensor MODIS/TERRA-AQUA para obtenção de dados da espessura óptica do aerossol (AOD), para a precipitação dados do satélite TRMM, e, para as queimadas, dados produzidos pelo CPTEC/INPE, no período de 2000 a 2012. A correlação entre dados de precipitação acumulada e queimadas foi inferior a -0,4, indicando que o déficit de chuva na estação seca é uma das possíveis causas do aumento de queimadas em Setembro, porém não é fator único. As atividades sócio-econômicas e políticas de preservação de florestas também apresentam papel importante na atividade de queimada na região. A correlação entre o número de focos de queima e aerossóis é de 0,8 indicando uma relação mais evidente entre queimadas e a qualidade do ar, como esperado.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem a NASA, e os grupos de pesquisa e trabalho dos sensores MODIS e TRMM.

## Referências Bibliográficas

- Camponogara, G. ; Silva Dias, M. A. F. ; Carrió, G. G . Relationship Between Amazon Biomass Burning Aerosols And Rainfall Over The La Plata Basin. **Atmospheric Chemistry And Physics (Online)**, V. 14, P. 4397-4407, 2014.
- Coelho, C. A. S. ; Cavalcanti, I. ; Costa, S. M. S. ; Freitas, S. R. ; Ito, E. R. ; Luz, G. ; Santos, A. F. ; Nobre, C. A. ; Marengo, J. A. ; Pezza, A. B. . Climate Diagnostics Of Three Major Drought Events In The Amazon And Illustrations Of Their Seasonal Precipitation Predictions. **Meteorological Applications (Print)** . V.19, P. 237-255, 2012.
- Coelho, C. A. S. ; Costa, S. M. S.; Freitas, S. R. . O Efeito Do Aerossol Na Formação De Nuvens - O Caso Das Secas De 2005 E 2010. In: Laura Borma, Carlos Nobre. (Org.). **Secas Na Amazônia: Causas E Consequências**. 1ed.: , V. Unico , P.117-121, 2013.
- Correia, A. L. ; Castanho, A. D. ; Martins, J. V. ; Longo, K. M. ; Yamasoe, M. A. ; Artaxo, P . Inferência De Aerossóis. In: Bernardo F. T. Rudorff; Yosio E. Shimabukuro; Juan C. Ceballos. (Org.). **O Sensor Modis E Suas Aplicacoes Ambientais No Brasil**. 1ed.Sao Jose Dos Campos: Bookimage, V. 1, P. 297-314, 2006.
- CPTEC, 2014 em <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/>> acesso 10/10/2014.
- Freitas, S R ; Dias, P. L. S. ; Longo, K. M ; Dias, M. A. F. S. ; Recuero, F. S. ; Chatfield, R. ; Prins, E. ; Artaxo, P. ; Grell, G. ; Recuero, F. S . Monitoring the transport of biomass burning emissions in South America. **Environmental Fluid Mechanics** (Dordrecht. 2001). , v. 5, p. 135-167, 2005.
- Freitas, S. R. ; Rodrigues, L. F. ; Longo, K. M. ; Panetta, J. . Impact of a monotonic advection scheme with low numerical diffusion on transport modeling of emissions from biomass burning. **Journal of Advances in Modeling Earth Systems**, v.3, p. M01001, 2011.
- Freitas, S. R. ; Rodrigues, L. F. ; Longo, K. M. ; Panetta, J. . Impact of a monotonic advection scheme with low numerical diffusion on transport modeling of emissions from biomass burning. **Journal of Advances in Modeling Earth Systems**, v. 4, p. M01001, 2012.
- Goto, D. M ; Lança, M ; Obuti, A ; Galvão Barbosa, C. M ; Saldiva, P. H. N.; Zanetta, D. M. T. ; Lorenzi-Filho, G ; De Paula Santos, U ; Nakagawa N. K . Effects of biomass burning on nasal mucociliary clearance and mucus properties after sugarcane harvesting. **Environmental Research** (New York, N.Y. Print) . , v. 111, p. 664-9, 2011.
- Huffman GJ, Adler RF, Bolvin DT, Gu G, Nelkin EJ, Bowman KP, Hong Y, Stocker EF, Wolff DB The TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis: Quasi-global, multi-year, combined-sensor precipitation estimates at fine scale. **Journal Hydrometeorology**. 8:38-55, 2007.
- Kummerow, C., et al.: The status of the tropical rainfall measuring mission (TRMM) after two years in orbit, **J. Appl. Meteor.**, **39**, 1965-1982, 2000.
- Longo, K. M. ; Freitas, S. R. ; Pirre, M. ; Marécal, V. ; Rodrigues, L. F. ; Panetta, J. ; Alonso, M. F. ; Rosário, N. E. ; Moreira, D. S. ; Gácita, M. S. ; Arteta, J. ; Fonseca, R. ; Stockler, R. ; Katsurayama, D. M. ; Fazenda, A. ; Bela, M. . The chemistry CATT-BRAMS model (CCATT-BRAMS 4.5): a regional atmospheric model system for integrated air quality and weather forecasting and research. **Geoscientific Model Development Discussions**, v. 6, p. 1173-1222, 2013.
- Pauliquevis, T. Et Al. , O papel das partículas de aerossol no funcionamento do ecossistema amazônico. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.59, n.3, p.1-6, set. 2007.
- Pires-Neto, R. C. ; Saldiva, P. H. N. ; Dolhnikoff, M. Efeitos da Poluição Atmosférica no Epitélio Respiratório das Vias Aéreas Superiores. Effects of Air Pollution on the Upper Airways Respiratory Epithelium.. **RBM. Revista Brasileira de Medicina** (Rio de Janeiro), v. 2, p. 3-9, 2007.
- Reboita, M. S. ; Gan, M. A. ; Da Rocha, R. P. ; Ambrizzi, Tércio . Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia** (Impresso), v. 25, p. 185-204, 2010.
- Rosário, N. E. et al., Downwelling solar irradiance in the biomass burning region of the southern Amazon: Dependence on aerosol intensive optical properties and role of water vapor, **J. Geophys. Res.**, 116, D18304, 2011.
- Sena, E. T. ; Artaxo, P. ; Correia, A. L. . **Spatial variability of the direct radiative forcing of biomass burning aerosols and the effects of land use change in Amazonia**. **Atmospheric Chemistry and Physics (Online)** . , v. 13, p. 1261-1275, 2013.

Saldiva, P. H. N. ; Sisenando, H. A ; Medeiros, S. R.B. ; Artaxo, P. ; Hacon, S. S. Genotoxic potential generated by biomass burning in the Brazilian Legal Amazon by *Tradescantia* micronucleus bioassay: a toxicity assessment study. **Environmental Health** (London. 2002. Online). , v. 10, p. 41, 2011.

Silva, I. C. ; Peron, M. C. C. ; Arbex, M. A. ; Lichtenfels, A. J. F. C. ; Lobo, D. A. ; Giocondo, M. P. ; Macchione, M. ; Saiki, M. ; Saldiva, P. H. N. ; Soares, C. P. . Micronucleus formation induced by biomass burning particles derived biomass burning induce high micronucleus frequency in *Tradescantia pallida* assay (TRAD-MN). **Journal Of The Brazilian Society Of Ecotoxicology**, v. 7, p. 1-7, 2012.

Sisenando H. A. ; Medeiros S. R. B ; Artaxo, P. ; Saldiva, P. H. N. ; Hacon, S. S. Micronucleus frequency in children exposed to biomass burning in the Brazilian Legal Amazon region: a control case study. **BMC Oral Health** (Online). , v. 8, p. 6-6, 2012.

Pereira, G. ; Shimabukuro, Y. E. ; Moraes, E. C. ; Freitas, S. R. ; Cardozo, F. S. ; Longo, K. M . Monitoring the transport of biomass burning emission in South America. **Atmospheric Pollution Research**, v. 2, p. 247-254, 2011.

Setzer, A. W. ; Evangelista, H. ; Godoi, R. ; Maldonado J. ; Pereira, E. B.; Koch, D. ; Tanizaki, K. ; Grieken, R. V. ; Sampaio, M. ; Alencar, A. . Sources and Transport of Urban and Biomass Burning Aerosol Black Carbon at the South-West Atlantic Coast. **Journal of Atmospheric Chemistry** (Print), v. 10, p. 225-238, 2007

Torres, O. et al. OMI and MODIS observations of the anomalous 2008-2009 Southern Hemisphere biomass seasons. **Atmospheric Chemistry and Physics**, 16 abr, 2010.

Vendrasco, E.P.et al., A case study of the direct radiative effect of biomass burning aerosols on precipitation in the Eastern Amazon. **Atmos. Research** 94, pp. 409-421, 2009.

Yamasoe, M. A. et al., Effect of smoke and clouds on the transmissivity of photosynthetically active radiation inside the canopy, **Atmospheric Chemistry and Physics**, 6, 1645-1656, 2006.