

## X-024 – VARIABILIDADE DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE AEROSSÓIS ATMOSFÉRICOS FINOS NA ESTAÇÃO SECA DE 2014 NA BACIA CENTRAL DA AMAZÔNIA (ATTO)

**Lucas Covre Chiari**<sup>(1)</sup>

Graduando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU).

**Luciana Rizzo**<sup>(2)</sup>

Profa. Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP)

**Henrique de Melo Jorge Barbosa**<sup>(3)</sup>

Prof. Universidade de São Paulo (USP)

**Paulo Artaxo**<sup>(4)</sup>

Prof. Universidade São Paulo (USP)

**Samara Carbone**<sup>(5)</sup>

Profa. Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Avenida Amazonas – Umuarama- Uberlândia - MG - CEP: 38400-902 - Brasil - Tel: (34) 3225-8444 - e-mail: lucas.chiari@ufu.br

### RESUMO

O desmatamento da Amazônia ocorre a fim de disponibilizar terras para a criação de gado e para a agricultura. A transformação da floresta em pasto ou campo ocorre por meio de derrubadas seguidas da queima da madeira. Os incêndios florestais são geralmente provocados durante a estação seca, quando há condições favoráveis a queima da biomassa. A queima da biomassa é responsável pela emissão de material particulado de diversas modas, no entanto, este trabalho focou nas emissões de material particulado com diâmetro aerodinâmico inferior a 1 µm (MP<sub>1</sub>), os quais são compostos principalmente por material orgânico, sulfato, nitrato, amônio e cloreto. As medidas foram feitas no sítio de observação Amazonian Tall Tower Observatory (ATTO) pelo ACSM e o MAAP de agosto a dezembro de 2014 (estação seca). Dentro do período de estudo foram selecionados dois episódios de queimada, para os quais a composição química do MP<sub>1</sub> foi investigada em mais detalhe. Os valores médios das componentes do MP<sub>1</sub> encontrados para todo o estudo foram 5,6 µg.m<sup>-3</sup> para orgânicos, 0,8 µg.m<sup>-3</sup> para sulfato, 0,4 µg.m<sup>-3</sup> para BCe, 0,3 µg.m<sup>-3</sup> para amônio, 0,2 µg.m<sup>-3</sup> para nitrato e menores que 0,1 µg.m<sup>-3</sup> para cloreto. Foi possível observar que durante episódios específicos, onde a concentração de MP<sub>1</sub> apresenta aumento significativo, ocorre grande variabilidade quanto ao valor de concentração de massa e relevante variabilidade em sua composição química (orgânicos e sulfato). Além disso, observou-se que a concentração da fração orgânica é dominante, com 77% em média da massa do material particulado na bacia central do Amazonas. Foi verificado que o f<sub>60</sub>, um marcador de queima de biomassa típico, não deve ser utilizado isoladamente, mas sim aliado a outras variáveis. Ainda, foi observada uma elevada emissão de sulfatos durante o episódio 2, o que não é típico da queima de biomassa vegetal.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aerossóis finos, composição química, floresta Amazônica.

### INTRODUÇÃO

A Amazônia é conhecida por sua disponibilidade hídrica e por apresentar uma grande biodiversidade. A Região Hidrográfica Amazônica ocupa uma área total de 6.925.674 km<sup>2</sup>, desde a nascente até sua foz (FILIZOLA et al., 2002). No que diz respeito à cobertura vegetal, há grande variedade de formações florestais e de campos. Esta cobertura se estende por cerca de 5.000.000 Km<sup>2</sup>, perfazendo aproximadamente 70% da totalidade da Bacia Hidrográfica continental, indo, inclusive, além da Região Hidrográfica (BRASIL, 2006).

Entre os anos de 1960 e 2010, a população vivendo na Amazônia passou de 6 milhões de pessoas para 25 milhões (DAVIDSON et al., 2012). Assim, constatou-se que, nas últimas décadas, a região passou por mudanças nos padrões do uso do solo, devido à ocupação humana (NOBRE et al., 1996, DAVIDSON; ARTAXO, 2004, ARTAXO, DIAS, 2003). Estas alterações são responsáveis por emissões de gases traço e material particulado para a atmosfera, por meio da queima de biomassa (ARTAXO et al., 1998, 2002, 2003).

O desmatamento na Amazônia é realizado com o intuito de disponibilizar terras para a criação de gado e para a agricultura (MALHI et al., 2008). A transformação da floresta em pasto, ou campo, ocorre por meio de derrubadas seguidas de queima da madeira. Na Amazônia, as queimadas são provocadas, quase em sua totalidade, por atividades humanas. Os incêndios florestais são geralmente provocados durante a estação seca, quando ocorre condições favoráveis a queima de biomassa, tais como, baixa pluviosidade, baixa umidade relativa do ar e elevadas temperaturas do ar (ARTAXO et al., 2013).

O material particulado divide-se em quatro (4) modas ou grupos principais, de acordo com o diâmetro ( $d$ ) das partículas: moda de nucleação ( $d < 0,01\mu\text{m}$ ), moda de Aitken ( $0,01\mu\text{m} < d < 0,1\mu\text{m}$ ), moda de acumulação ( $0,1 < d < 2,5\mu\text{m}$ ), moda grossa ( $d > 2,5\mu\text{m}$ ) (SEINFELD; PANDIS, 2006). Nesse trabalho serão estudados os aerossóis submicrométricos, ou seja, o material particulado com diâmetro inferior a  $1\mu\text{m}$  ( $\text{MP}_1$ ).

O  $\text{MP}_1$  é composto por material orgânico, carbono elementar, que aqui será chamado de *black carbon* equivalente (BCe) (devido a metodologia analítica), sulfatos, nitratos, cloretos, amônio, óxidos metálicos, sal marinho e água. Sabe-se ainda, que em média, 80% da massa do  $\text{MP}_1$  é determinada pelos 6 primeiros compostos listados anteriormente (CARBONE, 2014).

Na Amazônia central estudos mostram que durante os meses da estação chuvosa, a concentração média de número de partículas observada é muito baixa, da ordem de  $240\text{ partículas}/\text{cm}^3$  (ARTAXO et al., 2013). Já durante a estação seca, foi observada uma média de  $1.419\text{ partículas}/\text{cm}^3$  (STERN, 2015). Valores maiores foram obtidos em outras regiões da floresta Amazônica, como em Porto Velho (RO), onde a concentração média para a estação seca foi de  $5.700\text{ partículas}/\text{cm}^3$  (BRITO et al., 2014).

Estudos mostram que em termos de concentração de massa de  $\text{MP}_1$ , também grandes variações são encontradas nas diferentes estações chuvosa e seca. Por exemplo, um estudo feito no sítio de observação Amazonian Tall Tower Observatory (ATTO, ANDREAE et al., 2015), na bacia central da Amazônia, obteve concentração média de  $\text{MP}_1$  para a estação chuvosa de  $0,6\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  e  $8,9\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  durante a estação seca. Concentrações similares foram encontradas também por outros estudos na Amazônica (CHEN et al., 2009,  $0,78\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; (ARTAXO et al., 2013,  $11,4\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Já a composição química fracionária do  $\text{MP}_1$  apresenta-se bastante estável ao longo das estações, com predominância de material orgânico (70–80%), seguida por sulfato (6 – 15%), BCe (6 – 11%), nitrato (3 – 4%), amônio (4 – 5%) e cloreto (1 – 3% ANDREAE et al., 2015; ARTAXO et al., 2013; BRITO et al., 2014; STERN, 2015). Alguns componentes podem apresentar variações elevadas devido, principalmente, a episódios de queima de biomassa. Por exemplo, em Rondônia, Brito et al. (2014) observou variação de BCe de  $0,2 – 5,5\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ .

Neste trabalho serão investigadas propriedades físicas, tais como o número de partículas e químicas, tais como composição química, do  $\text{MP}_1$  no sítio ATTO na Floresta Amazônica, durante os meses de agosto a dezembro de 2014.

## MATERIAIS E MÉTODOS

As medidas foram feitas na Tall Tower Amazonian Observatory (ATTO, ANDREAE et al., 2015). Nesse trabalho, foram usados os dados somente da estação seca (agosto a dezembro) do ano de 2014. Dentro desse período, foram selecionados dois episódios de queimada, de 19 a 22 de agosto (episódio 1) e de 20 de setembro à 3 de outubro (episódio 2) de 2014. O sítio ATTO está localizado há, aproximadamente, 150 km a nordeste da cidade de Manaus. Como a direção predominante do vento ao longo do ano é nordeste (ANDREAE et al., 2015), sabe-se que as massas de ar que passam por este sítio possuem pouca ou nenhuma interferência da poluição emitida por Manaus.

Dentre os inúmeros equipamentos que encontram-se operando no ATTO, neste estudo serão utilizados principalmente dados do Aerosol Chemical Speciation Monitor (ACSM) e o Multi-Angle Absorption Photometer (MAAP).

O ACSM consiste em um espectrômetro de massa de aerossóis que permite a determinação da concentração da massa dos constituintes majoritários dos aerossóis atmosféricos finos (material orgânico, sulfato, nitrato, amônio e cloreto, NG et al., 2011). Este equipamento fornece os dados em, aproximadamente, 30 minutos.

Outro constituinte importante dos aerossóis atmosféricos, não medido pelo ACSM, é o *black carbon* equivalente (BCe), o qual é medido pelo MAAP. O BCe refere-se a medida de carbono elementar através do método da absorção. O que este equipamento mede é a absorção dos aerossóis atmosféricos no comprimento de onda de 637 nm, o qual pode ser convertido em concentração de massa de BCe utilizando um valor de coeficiente de absorção de massa CAM igual a  $6,6 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  (PETZOLD, et al., 2005). Este equipamento fornece dados em tempo real (~1 minuto).

Para a identificação de eventos de queimadas na bacia Amazônica central serão testadas diversas espécies químicas, bem como propriedades físicas dos aerossóis submicrométricos. No caso dos dados obtidos com o ACSM, sabe-se que a molécula de levoglucosan (molécula presente na constituição vegetal), quando presente nos aerossóis, fragmenta-se nas razões de massa-para-carga (m/z) 60 e 73 (ALFARRA et al., 2007; LANZ et al., 2007) no interior do ACSM. Desta forma, o valor da razão entre o m/z 60 pela massa total de orgânicos ( $f_{60}$ ), foi proposta como marcador de queimadas (LEE et al., 2010). Neste trabalho, este marcador será estudado para identificação de eventos de queimadas.

Os dados pré-tratados dos aerossóis finos foram processados pelo *software* de análise de dados científicos IGOR PRO desenvolvido pela WaveMetrics Inc. Além disso, foi desenvolvido um mapa contendo os focos de queimadas da estação seca na Amazônia. Ademais, constam nesse mapa as trajetórias dos ventos, em diferentes alturas (500, 1000 e 1500 m), que chegam ao ATTO num período de 48 horas. O mapa foi gerado no Google Earth®, a partir dos dados obtidos pela Divisão de Processamento de Imagens (DPI), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), e também por meio dos dados do Air Resource Laboratory (ARL, HYSPLIT).

## RESULTADOS OBTIDOS

Em média, o  $\text{MP}_1$  é constituído por sulfato (11%), nitrato (2%), amônio (4%), cloretos (<1%), BCe (5,6%) e pela fração orgânica (77%), Tabela 1. A fração orgânica é majoritária e os valores médios encontrados no ATTO estão em acordo com os resultados encontrados por Martin et al. (2010) e Stern (2015), que apontam uma variação desta fração de 70 – 90% da massa do material particulado na bacia central do Amazonas. Observa-se ainda, grande variabilidade na série temporal, Figura 1, da composição química dos valores de  $\text{MP}_1$ ,  $f_{60}$  e do número de partículas medidos durante o período analisado.

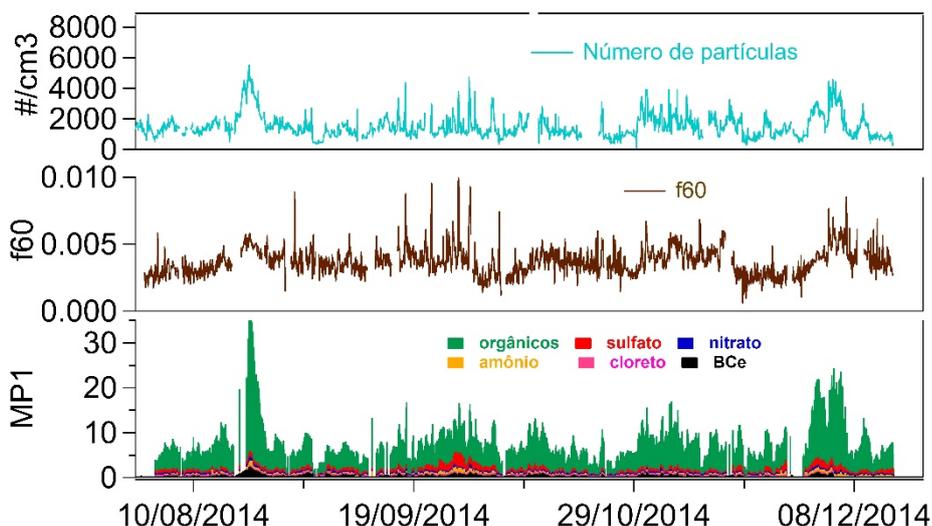
**Tabela 1. Valores Médios e Máximo dos parâmetros analisado na estação seca**

| PARÂMETROS                                 | MÉDIA [ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ] $\pm$ Sdv | VALOR MÉDIO (%)                   | VALOR MÁXIMO [ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ] |
|--|---|-----------------------------------|--|
| Orgânicos                                  | <b>5,60 <math>\pm</math> 3,77</b>                   | <b>76,92</b>                      | <b>33,09</b>                                     |
| Nitrato                                    | <b>0,18 <math>\pm</math> 0,12</b>                   | <b>2,47</b>                       | <b>1,41</b>                                      |
| Sulfato                                    | <b>0,79 <math>\pm</math> 0,45</b>                   | <b>10,85</b>                      | <b>3,78</b>                                      |
| Amônio                                     | <b>0,28 <math>\pm</math> 0,23</b>                   | <b>3,85</b>                       | <b>1,54</b>                                      |
| Cloreto                                    | <b>0,02 <math>\pm</math> 0,01</b>                   | <b>0,27</b>                       | <b>0,15</b>                                      |
| BCe  | <b>0,41 <math>\pm</math> 0,33</b>                   | <b>5,63</b>                       | <b>2,48</b>                                      |
| Número de Partículas (# $\text{cm}^{-3}$ ) | <b>1500,02 <math>\pm</math> 754,48</b>              | -                                 | <b>5524,22</b>                                   |
| $f_{60}$                                   | -   | <b>0,38 <math>\pm</math> 0,26</b> | <b>1,5%</b>                                      |

Sabe-se que episódios de queima de biomassa são identificados por meio de diferentes subprodutos gerados durante o processo de queima. São subprodutos de um processo de combustão incompleta os seguintes compostos: monóxido de carbono (CO), compostos orgânicos voláteis (COVs), e  $\text{MP}_1$ , entre outros. Além disto, observa-se que a concentração de material orgânico e o número de partículas estão relacionados. Isto ocorre porque grande parte das partículas encontra-se na moda de acúmulo, a qual é bastante significativa em termos de concentração de massa. Estes dois parâmetros foram sugeridos por DeCarlo et al. (2008) e Kuhn et al. (2010) como indicadores bastante úteis para a identificação de queima de biomassa. Desta forma, episódios de queima de biomassa são acompanhados por um aumento da concentração de ambos.

Outro marcador importante é a molécula de levoglucosan, um monossacarídeo tipicamente presente na constituição vegetal da planta emitido durante o processo de queima e presente no  $\text{MP}_1$ . É possível observar na

Figura 1 que o valor de  $f_{60}$  chega a atingir valores de 0,015 (1,5%) o qual é, aproximadamente, quatro vezes maior do que a média de todo o período (a média de toda a estação seca foi de 0,38%).



**Figura 1. Série temporal de MP<sub>1</sub>,  $f_{60}$  e número de partículas de agosto a dezembro de 2014 no sítio ATTO.**

A fim de investigar a estação seca em mais detalhe, dois episódios foram selecionados. Durante o episódio 1, a quantidade de BCe emitida na atmosfera foi de  $2,0 \mu\text{g.m}^{-3}$ , enquanto que no episódio 2 foi de  $0,6 \mu\text{g.m}^{-3}$ . Essa diferença na quantidade de BCe está, provavelmente, relacionada à queima de biomassa, a qual foi superior no episódio 1. No entanto, em termos de fração de massa, BCe apresentou-se muito semelhante em ambos os episódios (~6%). Observa-se também que o valor médio de BCe do episódio 1 está, aproximadamente três (3) vezes maior do que a média de todo período da estação seca, o que sugere que, neste mês, houve vários episódios de queima de biomassa na região. Este fato foi confirmado por satélite. A Figura 2, ilustra a soma de todas as queimadas que ocorreram na região da Amazônia Legal durante o episódio 1, detectados por satélite. Neste mapa, pode-se observar vários marcadores de cores diferentes, cada um representa o satélite que foi responsável por detectar o foco de queimada. As linhas contínuas vermelha, azul e verde ilustram o trajeto do vento nesse período analisado nas respectivas alturas de 500, 1000 e 1500 m acima do nível do mar. Os dados do satélite AQUA M-T registraram 9236 focos de queimada na Amazônia Legal para o episódio 1 e somente 3694 durante o episódio 2. Verifica-se, portanto, um número maior de focos de queimada para o primeiro episódio.

De forma semelhante, observa-se, durante o episódio 1, que o valor da média da concentração de orgânicos ( $19,6 \mu\text{g.m}^{-3}$ ) foi aproximadamente quatro (4) vezes maior ao valor médio do episódio 2 ( $5,7 \mu\text{g.m}^{-3}$ ), e também muito maior do que o valor médio de toda estação seca. No entanto, a fração orgânica foi bastante diferente, enquanto que, durante o episódio 1, a fração de material orgânico foi de 85%, durante o episódio 2, esta foi menor (66%). Este resultado sugere diferenças no processo de queima ou na fonte emissora.

As concentrações de nitrato e amônio foram, respectivamente, de  $0,51$  (2,2%) e  $0,54$  (2,3%)  $\mu\text{g.m}^{-3}$  para o episódio 1 e de  $0,22$  (2,5%) e  $0,50$  (5,8%)  $\mu\text{g.m}^{-3}$  para o episódio 2, esses valores estão acima das médias de nitrato e amônio da estação seca, no entanto são semelhantes a fração média.

As concentrações de cloretos analisadas nos dois períodos foram de  $0,03 \mu\text{g.m}^{-3}$  e estão próximas da média da estação seca, sendo assim, pode-se afirmar que não houve mudanças significativas de sua emissão ao longo do período de seca. O cloreto foi sugerido como marcador para queima de biomassa por alguns estudos, no entanto, neste estudo não foi observado um aumento significativo deste composto durante episódios de queima de biomassa e, portanto, não será usado como marcador. A utilização do cloreto como traçador de queima de biomassa pode estar associada ao tipo de vegetação. Isto é, a maioria dos estudos utilizando este composto como marcador de queima de biomassa foi feito no hemisfério norte, onde certamente a vegetação é diferente da floresta Amazônica (MCMEEKING et al., 2009; SAARIKOSKI et al., 2007). Ainda dentro da floresta

Amazônica, a variabilidade de espécies vegetais é enorme, o que também pode implicar em variação na emissão cloreto.

Com relação ao sulfato, foi possível verificar que a sua concentração emitida no episódio 2, foi de  $1,60 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , sendo 2 vezes maior que a concentração de sulfato no episódio 1. Também se observa que a concentração de sulfato no episódio 1 foi semelhante a média da estação seca ( $0,79 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ), o que era de se esperar, porque esse composto normalmente não apresenta elevadas concentrações em queimas de biomassa. No entanto, verifica-se que, em termos de composição, este composto aumentou de 3,4% de  $\text{MP}_1$  durante o episódio 1 para 18,4% no episódio 2, o que é um aumento expressivo. Esta mudança no padrão da composição química do  $\text{MP}_1$  sugere uma fonte emissora diferente de queima de biomassa. É possível, que as elevadas concentrações de sulfato encontradas durante o episódio 2 no ATTO, não estejam relacionadas a queima de origem vegetal, mas sim com a queima de diesel de termoeletricas presentes na região, já que a queima de combustíveis, como o diesel, é largamente empregada como fonte alternativa de geração de energia nesta região do país e pode emitir elevadas concentrações de dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) na atmosfera. Outra possibilidade é que este composto seja transportado de longas distâncias, tratando-se, portanto de um episódio de larga escala. Estas hipóteses estão sendo estudadas.



**Figura 2. Focos de queimadas na Amazônia Legal observados através de satélites.**

Com relação ao  $f_{60}$ , nota-se que em média a quantidade deste foi um pouco inferior no episódio 1 (0,38%) do que no episódio 2 (0,48%). Sendo o  $f_{60}$  um marcador típico para queima de biomassa, era esperado que este apresentasse valores maiores no episódio 1, já que os dados discutidos anteriormente apontam para um número muito maior de focos de queimadas durante este episódio. No entanto, estudos mostram que o levoglucosan, se degrada rapidamente sob a ação da radiação solar (GRIESHOP; DONAHUE; ROBINSON, 2009; HENNIGAN et al., 2010). Portanto, é possível que as queimadas observadas durante o episódio 1 estivessem mais distantes do sítio de observação e portanto, o levoglucosan tenha sido degradado na atmosfera mais rapidamente do que no episódio 2. Sendo assim, a utilização do  $f_{60}$  isoladamente como marcador de queimadas pode ser insuficiente para a identificação de episódios de queima de biomassa em locais como a floresta Amazônica, onde a intensidade de radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar são elevadas. Outro fato interessante durante o episódio 2, ainda com relação ao  $f_{60}$ , houve 2 episódios curtos com duração de aproximadamente 6 a 7 horas quando o  $f_{60}$  chega a valores de 1,5%. Estes eventos de curta duração de queima de biomassa devem, muito provavelmente, ter ocorrido próximos ao sítio de observação, representando assim uma fonte local. Sendo assim, a molécula de levoglucosan não ficou exposta na atmosfera por tempo suficiente para que fosse significativamente degradada. É provável, então, que durante o episódio 2 mais de uma fonte emissora esteja presente.

## CONCLUSÕES

Por meio dos resultados obtidos, conclui-se que o MP<sub>1</sub> apresenta grande variabilidade quanto ao valor de concentração de massa, e relevante variabilidade em sua composição química (orgânicos e sulfato). Além disso, observou-se que a concentração da fração orgânica é dominante, com 77% em média da massa do MP<sub>1</sub> na bacia central do Amazonas durante a estação seca de 2014. Também foi possível constatar que este período é altamente impactado por queima de biomassa nesta região.

Foi verificado que o f<sub>60</sub>, apesar de ser considerado um marcador de queima de biomassa, não deve ser utilizado isoladamente, e sim aliado a outras variáveis, tais como concentração de massa de orgânicos, número de partículas, monóxido de carbono e etc.

Por fim, foi possível verificar uma elevada emissão de sulfatos, durante o episódio 2, o qual não é típico da queima de biomassa vegetal, assim, é possível que este composto esteja relacionado a outra fonte emissora, como por exemplo, termoelétricas a diesel presentes na região, contudo, essa hipótese ainda está sendo estudada

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALFARRA, M. R. et al. *Identification of the mass spectral signature of organic aerosols from wood burning emissions. Environmental Science and Technology*, v. 41, n. 16, p. 5770–5777, 2007.
2. ANDREAE, M. O. et al. *The Amazon Tall Tower Observatory (ATTO): Overview of pilot measurements on ecosystem ecology, meteorology, trace gases, and aerosols. Atmospheric Chemistry and Physics*, v. 15, n. 18, p. 10723–10776, 2015.
3. ARTAXO, P. et al. *Large-scale aerosol source apportionment in Amazonia. Journal of Geophysical Research*, v. 103, n. D24, p. 31837, 1998.
4. ARTAXO, P. et al. *Physical and chemical properties of aerosols in the wet and dry seasons in Rondonia, Amazonia. Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, v. 107, n. D20, 2002.
5. ARTAXO, P.; SILVA DIAS, M. A. F. Nuvens de fumaça das queimadas alteram o clima da Floresta Amazônica. FAPESP, v. 88, p. 30-25, 2003.
6. ARTAXO, P. et al. *Atmospheric aerosols in Amazonia and land use change: from natural biogenic to biomass burning conditions. Faraday Discussions*, v. 165, p. 203, 2013.
7. BRASIL. Márley Caetano de Mendonça. Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente (Org.). Caderno da Região Hidrográfica da Amazônia. Brasília: Grafimaq, 2006. 126 p. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/161/\\_publicacao/161\\_publicacao03032011024915.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/161/_publicacao/161_publicacao03032011024915.pdf)>. Acesso em: 28 maio 2017.
8. BRITO, J. et al. *Ground-based aerosol characterization during the South American Biomass Burning Analysis (SAMBBA) field experiment. Atmospheric Chemistry and Physics*, v. 14, n. 22, p. 12069–12083, 2014.
9. CARBONE, S. *Chemical characterization and source apportionment of submicron aerosol particles with aerosol mass spectrometers*. [s.l.] University of Helsinki, 2014.
10. CHEN, Q. et al. *Mass spectral characterization of submicron biogenic organic particles in the Amazon Basin. Geophysical Research Letters*, v. 36, n. 20, p. 1–5, 2009.
11. DAVIDSON, E. A.; ARTAXO, P. *Globally significant changes in biological processes of the Amazon Basin: Results of the Large-scale Biosphere-Atmosphere Experiment. Global Change Biology* v. 10, p. 1–11, 2004.
12. DAVIDSON, E. A. et al. *The Amazon basin in transition. Nature*, v. 481, n. 7381, p. 321–328, 2012.
13. DECARLO, P. F. et al. *Fast airborne aerosol size and chemistry measurements above Mexico City and Central Mexico during the MILAGRO campaign. Atmospheric Chemistry and Physics*, v. 8, n. 14, p. 4027–4048.
14. ESTADOS UNIDOS. AIR RESOURCE LABORATORY. Type of Trajectory (ies). Disponível em: <<http://ready.arl.noaa.gov/hypub-bin/trajtype.pl?runtype=archive>>. Acesso em: 24 nov. 2016.
15. FILIZOLA, N. et al. Caracterização hidrológica da Bacia Amazônica. n. 1, p. 33–53, 2002.
16. GRIESHOP, A. P.; DONAHUE, N. M.; ROBINSON, A. L. *Laboratory investigation of photochemical oxidation of organic aerosol from wood fires 2: analysis of aerosol mass spectrometer data. Atmospheric Chemistry and Physics*, v. 9, p. 2227–2240, 2009.
17. HENNIGAN, C. J. et al. *Levoglucosan stability in biomass burning particles exposed to hydroxyl radicals. Geophysical Research Letters*, v. 37, n. 9, p. 2–5, 2010.

18. KUHN, U. et al. *Impact of Manaus City on the Amazon Green Ocean atmosphere: Ozone production, precursor sensitivity and aerosol load. Atmospheric Chemistry and Physics*, v. 10, n. 19, p. 9251–9282, 2010.
19. LANZ, V. A. et al. *Source apportionment of submicron organic aerosols at an urban site by factor analytical modelling of aerosol mass spectra. Atmospheric Chemistry and Physics*, v. 7, n. 6, p. 1503–1522, 2007.
20. LEE, T. et al. *Chemical Smoke Marker Emissions During Flaming and Smoldering Phases of Laboratory Open Burning of Wildland Fuels. Aerosol Science and Technology*, v. 44, n. 9, p. i–v, 2010.
21. MALHI, Y. et al. *Climate Change, Deforestation, and the Fate of the Amazon. Science*, v. 319, n. 5860, p. 169–172, 2008.
22. MARTIN, S. T. et al. *Sources and Properties of Amazonian Aerosol Particles. Reviews of Geophysics*, (2008), 2010.
23. MCMEEKING, G. R. et al. *Emissions of trace gases and aerosols during the open combustion of biomass in the laboratory. Journal of Geophysical Research Atmospheres*, v. 114, n. 19, p. 1–20, 2009.
24. NG, N. L. et al. *An Aerosol Chemical Speciation Monitor (ACSM) for Routine Monitoring of the Composition and Mass Concentrations of Ambient Aerosol. Aerosol Science and Technology*, v. 45, n. 7, p. 780–794, 2011.
25. NOBRE, C. A. et al. *The Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia (LBA). LBA – Plano experimental conciso. INPE, Cachoeira Paulista, SP, Brazil, 1996.*
26. PETZOLD, A. et al. *Evaluation of Multiangle Absorption Photometry for Measuring Aerosol Light Absorption. Aerosol Science and Technology*, n. 39, v. 1, p. 40–51.
27. SAARIKOSKI, S. et al. *Chemical composition of aerosols during a major biomass burning episode over northern Europe in spring 2006: Experimental and modelling assessments. Atmospheric Environment*, v. 41, n. 17, p. 3577–3589, 2007.
28. SEINFELD, J. H., PANDIS, S. N. *Atmospheric From Air Pollution to Climate Change SECOND EDITION* (2nd ed., p. 1225). Hoboken, New Jersey: Wiley-Interscience, p. 1225, 2006.
29. STERN, R. *Caracterização química e física dos aerossóis durante a estação seca de 2013 na Amazônia Central.* [s.l.] Universidade do Estado do Amazonas, 2015. Disponível em: <<http://bdtd.inpa.gov.br/handle/tede/2180>>, Acesso em: 08 Junho 2017.