

Sazonalidade de propriedades físicas dos aerossóis atmosféricos em uma região ecótona do Pantanal Mato-grossense.

Thais Costa Brunelli¹
Rafael da Silva Palácios¹
José de Souza Nogueira¹
Thiago Rangel Rodrigues¹
Kelly Romera¹
Leoni Francisco Amorim Curado¹

¹ Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT
Av. Fernando Corrêa da Costa, nº 2367 Bairro Boa Esperança.
Cuiabá - MT – 78060-900
{thais12, kellyromera}@fisica.ufmt.br
{rafael.pgfa, parananogueira, leonecurado}@gmail.com
thiagorangel@pgfa.ufmt.br

Resumo: O estudo de propriedades físicas do material particulado em suspensão na atmosfera, revela as contribuições do ecossistema na regulação do clima, em virtude dos processos de transmissão de energia radiativa na interface da atmosfera-superfície. Neste trabalho são apresentados e discutidos os resultados básicos obtidos com produtos de propriedades óticas de aerossóis realizadas em uma região ecótona do Pantanal Mato-grossense, pela rede AERONET (Aerossol Robotic Network). Utilizou-se as séries temporais de medidas diretas da AERONET, como a profundidade ótica do aerossol (AOD) a 500 nm na coluna atmosférica. São também apresentados e discutidos produtos indiretos da AERONET, como distribuição de tamanho (DT), albedo de espalhamento simples (SSA) a 440 nm dos aerossóis. Caracterizado o aerossol, tanto as propriedades intrínsecas como a profundidade ótica, foi possível avaliar o comportamento destes, com a média mensal dos registros de focos de queimadas (FQ) no período de 2000 a 2015. A DT na estação seca, apresenta uma predominância na concentração de material particulado na moda fina, sendo esta fração inerente aos aerossóis de eventos de queimadas. Na estação chuvosa, é possível observar que grande parte dos aerossóis são característicos da moda grossa, típico de aerossol biogênico. Os valores obtidos para o coeficiente de Angstrom indicaram grande relação do aumento da AOD com as partículas emitidas por queima de biomassa. Os resultados mostraram que os eventos sazonais de emissão de partículas de queimada influenciaram fortemente nas propriedades físicas da população de aerossóis na região ecótona do Pantanal Mato-grossense.

Palavras-Chave: Aerossol, Pantanal, AERONET.

Abstract: The study of physical properties of suspended particulate matter in air shows the contributions of ecosystem to climate regulation, due to radiation transmission process in the atmosphere-surface interface. This study presents and discuss the simple results obtained with aerosol optical properties products from an ecotone zone of Pantanal Mato-grossense by AERONET (Aerosol Robotic Network). We used time series retrieved by AERONET, as aerosol optical depth (AOD) at 500 nm. We also present and discuss indirect products of AERONET, such as aerosol particles size distribution (DT) and single-scattering albedo (SSA) at 400 nm. After characterize intrinsic properties and optical depth of aerosols, it was possible to assess aerosol behavior using a monthly mean of wildland fire (FQ) reports from 2000 to 2015. The DT in dry season shows a predominance of particulate matter fine mode fraction, which refers to aerosols inherent to wildland fire events. During the wet season, it is possible to observe a significant part of aerosols is coarse mode fraction, biogenic aerosol typical. The values obtained for Angstrom coefficient indicated good correlation of increase of AOD and particles emitted from biomass burning. The results showed that the seasonal events of particle emission from wildland fire greatly affected the aerosol population physical properties of the ecotone zone of Pantanal Mato-grossense.

Keywords: Aerosol, Pantanal, AERONET.

1. Introdução

Nas ciências exatas, o conceito de partícula admite várias definições, que na sua totalidade, designam porções de matéria com dimensões reduzidas. No âmbito das ciências atmosféricas, Schumauss em 1920 classificou as partículas sólidas e/ou líquidas, quando em estado de suspensão gasosa, em aerossóis (Renoux e Boulard, 1998). Devido à grande heterogeneidade de fontes emissoras e do tempo de permanência na atmosfera, a concentração de aerossóis é variável ao longo do tempo e das escalas locais e globais (Procópio et al, 2004; Kaufman e Fraser, 1997; Houghton et al, 2001; Kempf, 1914). Quando em concentração suficiente, são constituintes importantes no processo de transferência radiativa na interface atmosfera-superfície da Terra, (Procópio et al, 2004) devido aos processos de dispersão e absorção da radiação solar (Nair et al., 2009; Rizzo et al., 2011).

O impacto radiativo dos aerossóis sobre o clima é um dos efeitos coletivos dos aerossóis atmosféricos, este pode ser estimado por parâmetros ópticos e microfísicos do material particulado, tal como a Profundidade de Ótica do Aerossol (AOD - Aerosol Optical Depth), o albedo de espalhamento simples (SSA - Single Scattering Albedo), bem como o Coeficiente de Angstrom $\alpha(440 - 870 \text{ nm})$, e a distribuição de tamanho (DT). A relação da distribuição de tamanho (DT) dos aerossóis é baseada em uma distribuição bimodal, (FMF - fração de moda fina; FMG - fração de moda grossa) (Balakrishnaiah et al., 2011; Zhang et al., 2014).

O 4º Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change) aponta mudanças na abundância atmosférica de gases e partículas (IPCC, 2007). Com a inclusão da microfísica detalhada dos aerossóis atmosféricos, os modelos climáticos regionais e globais obtiveram resultados cujas incertezas foram reduzidas (Forster et al., 2007).

O Pantanal é uma planície periodicamente inundada pela bacia do Alto Paraguai, cujos pulsos de inundações contribuem para a diversificação dos parâmetros físicos do ecossistema regional, tal como regime interanual regular de cheia e seca (IBGE, 2004a; Andrade et al., 2012). O bioma Pantanal é o de menor extensão em território brasileiro localizando-se na região Centro-Oeste, possui uma área total de 150.355 km², e seus limites abarcam municípios dos estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul (De Moura Abdon et al., 2007).

Considerado uma das maiores áreas úmidas do globo terrestre, o Pantanal é composto por uma grande variedade de biomas florestais e delimitado por onze sub-regiões, uma destas é a região de Poconé, que agrega áreas dos municípios de Cáceres, Poconé, Nossa Senhora do Livramento, Barão de Melgaço e Santo Antônio do Leverger, contribuindo com 11,63% na formação do Pantanal no Brasil (Da Silva e De Moura Abdon, 1998).

A AERONET (Aerossol Robotic Network) é uma rede de monitoramento das propriedades óticas de aerossóis atmosféricos em diversas localidades da Terra. Os produtos da rede são obtidos via sensoriamento remoto, em superfície, as medidas são aferidas por fotômetros in situ e organizados por dois tipos algoritmos, o de medidas espectrais diretas e o produto de inversão. Os fotômetros medem a extinção espectral da radiação direta em 7 bandas de comprimentos de onda, (sendo 340, 380, 440, 500, 675, 870, e 1020 nm). As medidas de radiação solar difusa são aferidas em apenas quatro comprimento de onda, (sendo 440, 675, 870 e 1020 nm) e disponibilizados como produtos de inversão pelo Goddard Space Flight Center (GSFC) no endereço eletrônico: <http://aeronet.gsfc.nasa.gov> (Holben et al., 1998).

Estudos pormenorizados das propriedades óticas de aerossóis atmosféricos, apontam uma alteração sazonal no grau de transmissão da radiação solar na interface vertical atmosfera-superfície, tal como constatados no bioma Amazônia (Sena et al., 2013; Costa et al., 2018) no bioma Pantanal (Palácios et al., 2015; Palácios et al., 2016; Santos et al., 2015) e no bioma Cerrado (Palácios et al., 2014). Baseando-se na necessidade de discutir o comportamento dos parâmetros ópticos e correlacionar com a microfísica das partículas em suspensão na atmosfera do ecossistema pantaneiro, o presente trabalho descreve com precisão estes parâmetros para uma possível avaliação do impacto das partículas absorvedoras de luz sobre o orçamento de energia regional.

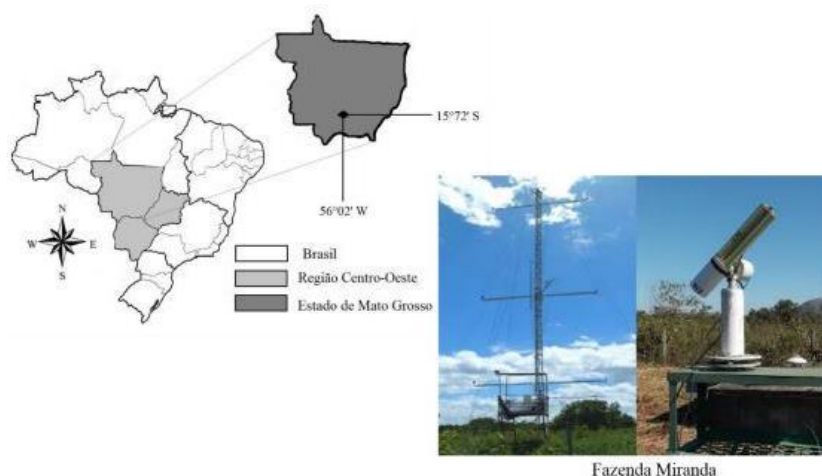
2. Objetivo

O objetivo deste trabalho foi analisar o comportamento de parâmetros ópticos e microfísicos dos aerossóis atmosféricos em uma região ecótona do Pantanal Mato-grossense, avaliar as contribuições do ecossistema na variação das propriedades físicas, com base na série temporal de 2000 – 2015 do site Cuiabá_Miranda da rede AERONET.

3. Materiais e métodos

As medidas dos parâmetros ópticos e microfísicos dos aerossóis analisados são referentes a dezesseis anos de coleta de dados, de 2000 a 2015, em uma região ecótona de Cerrado e Pantanal. Foram utilizados produtos do site Cuiabá_Miranda da rede AERONET, disponibilizados pela GFSC e mensurados por um fotômetro CIMEL. O fotômetro está localizado na latitude 16° S e na longitude 56° W a 175 m de altitude (**Figura 1**), os detalhes de protocolos de medida, processamento de dados e outros, podem ser obtidos nos estudos de Holben et al. (1998).

Figura 1: Localização da área de estudo, em detalhe torre micro meteorológica e o fotômetro CIMEL. Fonte: Palácios et al. (2015)



De acordo com Holben et al. (1998) a extinção espectral da radiação direta do feixe é obtida de acordo com a Lei de Beer-Lambert-Bouguer. Os produtos da AERONET são organizados de acordo com o tratamento dos dados coletados e disponibilizados em três níveis de qualidade. O nível 1.0 são arquivos de dados sem tratamento ou correções microclimáticas, o nível 1.5 são produtos com correção de contaminação de nuvens e o nível 2.0 são dados corrigidos e assegurados pela GFSC.

Dentre as variáveis disponíveis, na rede AERONET foi explorado: na análise das propriedades óticas, os produtos diretos de AOD à 500 nm (AOD 500 nm) e o expoente de Angstrom $\alpha(440 - 870 \text{ nm})$ de nível 2.0; na análise das propriedades microfísicas, os produtos de inversão, distribuição de tamanho (DT) e albedo de espalhamento simples à 440 nm (SSA 440 nm) de nível 1.5. Como será discutido mais adiante, a profundidade ótica dos aerossóis foi correlacionada à quantidade de focos de queimadas (FQ) ocorridas no estado de Mato Grosso, durante vinte anos (1998 - 2017). Os dados são monitorados e disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) no endereço eletrônico: <http://www.inpe.br/queimadas>.

4. Resultados e Discussão

A AOD é um parâmetro indicativo da quantidade de matéria opticamente ativa disponível na coluna atmosférica. A **Figura 2** apresenta a série temporal de AOD (500 nm), obtido no site Cuiabá-Miranda da rede AERONET.

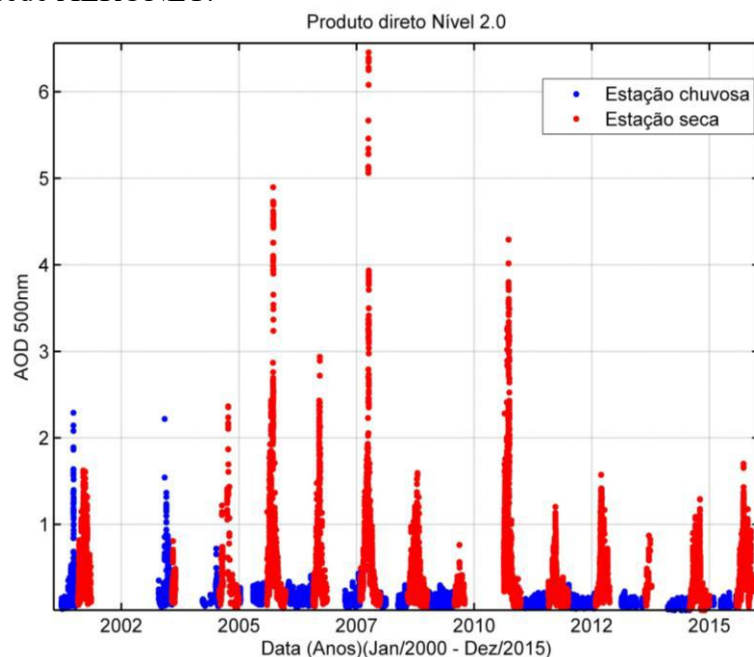


Figura 2. Série temporal da profundidade ótica de aerossóis (AOD 500nm) da AERONET (Cuiabá-Miranda). Nível 2.0 de janeiro/2000 a dezembro/2015. Ressalta-se que, a estação chuvosa é definida pelo período entre Jan- Fev- Mar- Abr- Mai- Jun- Jul - Nov - Dez, e a estação seca é definida pelo período de máxima da distribuição mensal dos focos de queimadas, Ago - Set - Out. A definição de estação no presente estudo está baseada na distribuição mensal de FQ (**Figura 4**), sendo distinta da sazonalidade sob aspectos climatológicos. A análise do comportamento dos parâmetros de aerossóis é realizada a partir dos eventos que ocorrem na superfície e que contribuem na carga de partículas em suspensão na atmosfera do ecossistema.

A região ecótona do Pantanal Mato-grossense, apresenta propriedades óticas que variam de forma sazonal ao longo dos anos. A sazonalidade da disponibilidade instantânea de aerossóis

observada, possui máximas entre os meses de agosto a outubro. O registro de máxima instantânea de AOD (500 nm) ocorre em setembro do ano de 2007, com AOD (500 nm) ultrapassando 6,0, valor consistente com o trabalho de Costa et al. (2018). Esporadicamente são observados picos de AOD (500 nm) na estação chuvosa, como no mês de junho de 2001 e 2003. Entre os anos de 2001 e 2002 observa-se uma ausência de dados, conforme identificado por Palácios et al., (2015), esta é justificada por problemas técnicos de calibração do fotômetro in situ.

Grandes quantidades de gases e partículas biogênicas são liberadas na atmosfera durante os eventos de queimadas, a **Figura 3** apresenta uma série histórica dos FQ no estado de Mato Grosso referente ao período de 1998 a 2017. Foi realizado um ajuste gráfico aos FQ apresentados, os valores foram divididos por 1000, logo, a análise dos FQ deverá considerar o fator multiplicativo 10^3 .

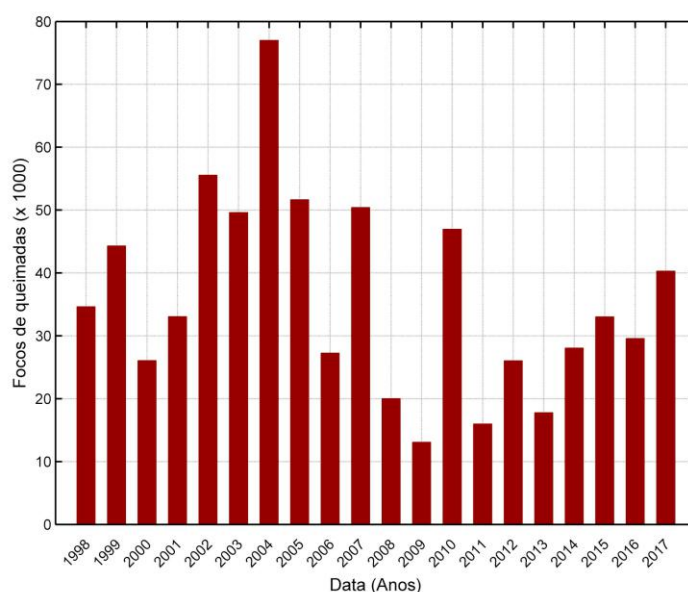


Figura 3: Série histórica dos focos de queimadas no estado de Mato Grosso no período de 1998 a 2017.

Ressalta-se que os eventos de queimadas são fontes emissoras de aerossóis à atmosfera, liberando grandes quantidades de gases e partículas. A variação da quantidade de aerossóis disponíveis na atmosfera está relacionada com as emissões de partículas, seja por processos naturais tal como o aerossol biogênico ou de eventos de queimadas tal como o aerossol de queimadas (Artaxo et al., 2006). Pela **Figura 4** observa-se uma ampla relação com os valores da distribuição da média mensal de AOD (500 nm) e a distribuição mensal dos eventos de queimada de todo o período.

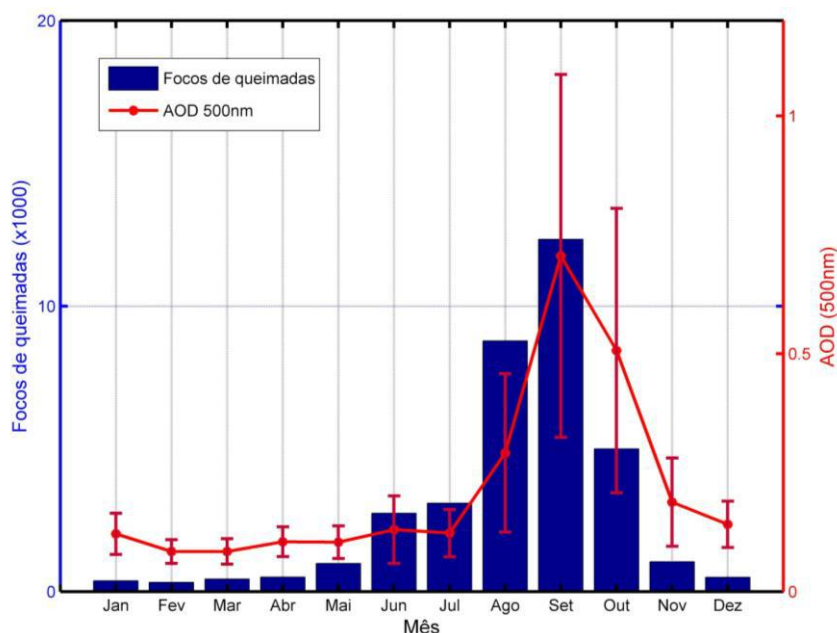


Figura 4. Distribuição da média mensal de AOD 500nm e distribuição mensal de focos de queimadas ($\times 1000$) no estado de Mato Grosso, de 1998 a 2017.

Observa-se na **Figura 4** que os valores máximos de AOD (500 nm) estão distribuídos no período de seca, em consonância com a distribuição mensal de registros de focos de queimada. O máximo de AOD (500 nm) é referente ao mês de setembro onde a distribuição da média mensal, superou a 12000 focos. Percebe-se um forte aumento da concentração de aerossóis durante a estação seca, já relacionada com o aumento dos FQ na **Figura 4**.

O coeficiente de Angström é um parâmetro óptico dos aerossóis que relaciona a AOD com o tamanho das partículas presente na coluna vertical da atmosfera em estudo. De acordo com Holben et al. (1998) quanto maior o valor encontrado para coeficiente de Angstrom $\alpha(440 - 870)$ menor será o material particulado devido à alta dependência espectral apresentada. A **Figura 5** apresenta a distribuição mensal do coeficiente de Angstrom $\alpha(440 - 870)$.

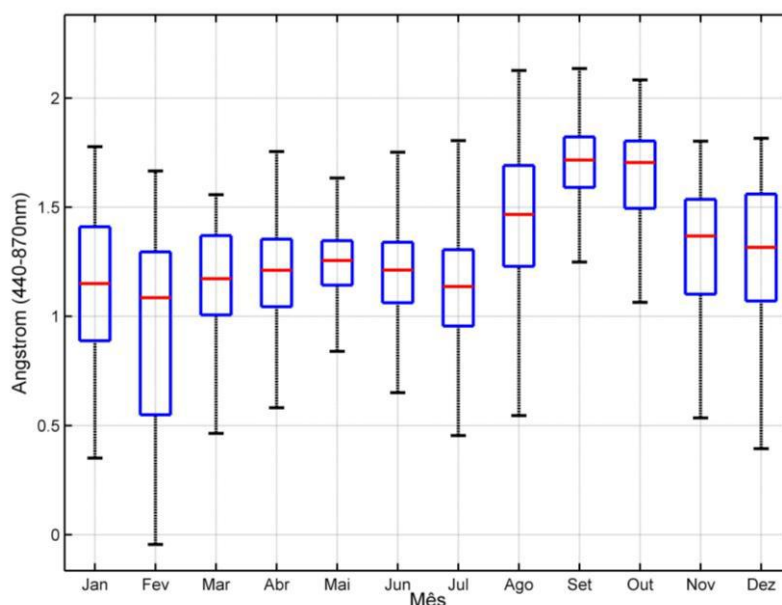


Figura 5. Distribuição mensal do coeficiente de Angstrom $\alpha(440 - 870 nm)$.

Durante a estação chuvosa observa-se na **Figura 5** pela distribuição mensal do coeficiente de Angstrom, que o mesmo possui valores entre 1,0 a 1,5 sendo um intervalo característico de material particulado da moda grossa -FMG. Ocorre nos meses de agosto - setembro - outubro um aumento no coeficiente de Angstrom, próximo de 2,0 sendo um indicativo de aerossóis da moda fina -FMF. Analisando o comportamento das propriedades dos aerossóis atmosféricos apresentadas nas **Figuras 4 e 5**, é possível observar que os maiores valores de média mensal de AOD (500 nm) é registrada no mesmo período em que o coeficiente de Angstrom está entre 1,5 e 2,0 concomitantemente ao período de intensos registros de focos de queimada caracterizando assim a predominância de material FMF durante os eventos de queima de biomassa.

As porções de aerossóis de FMF e FMG foram obtidas na correlação AOD (500 nm) com os raios volumétricos de material particulado. A **Figura 6** apresenta os valores médios da distribuição de tamanho (DT) dos aerossóis atmosféricos derivadas de observações durante a estação chuvosa (Jan -Fev - Mar - Abr - Mai -Jun - Jul - Nov - Dez) e seca (Ago - Set - Out).

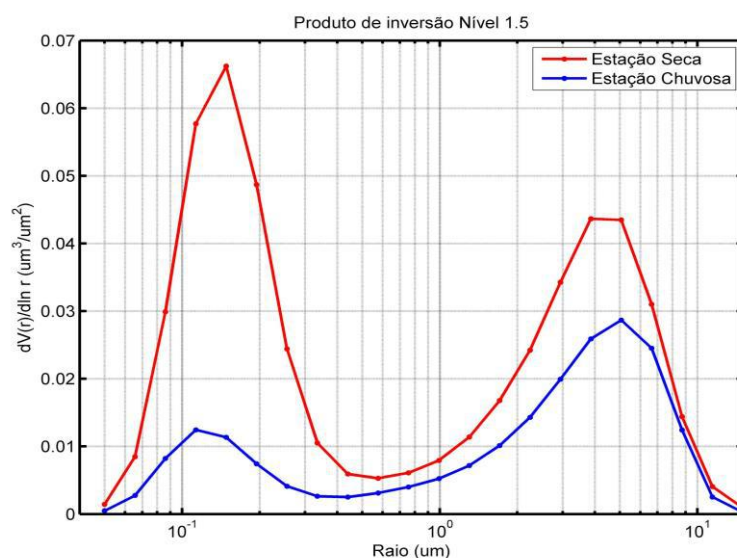


Figura 6. Distribuição de tamanho para o sítio Cuiabá-Miranda, representando a média mensal de AOD na estação seca (Ago - Set - Out) e na estação chuvosa (Jan -Fev - Mar - Abr. - Mai - Jun. - Jul. - Nov - Dez).

A DT na estação seca, apresenta uma predominância na concentração de material particulado da FMF, uma vez que esta fração é inerente aos aerossóis emitidos em eventos de queimadas (Dubovik et al. 2002). Estima-se que a concentração de material particulado da FMG na estação seca esteja relacionada aos eventos de ressuspensão de poeira do solo, tal como identificado por Santos et al., 2015. Na estação chuvosa, é possível observar que a maioria dos aerossóis possui DT característicos da FMG, típico de aerossol biogênico.

Pelo comportamento do albedo de espalhamento simples (SSA) de aerossóis é possível observar as contribuições destes no orçamento da radiação solar, valores de SSA próximos de 1 são relacionados com aerossóis espalhadores e valores de SSA menores indicam a presença de aerossóis absorvedores de radiação. Existe dificuldades em obter medidas de SSA durante a estação chuvosa, visto que para o cálculo das propriedades indiretas dos aerossóis é necessário céu limpo, sem nuvens.

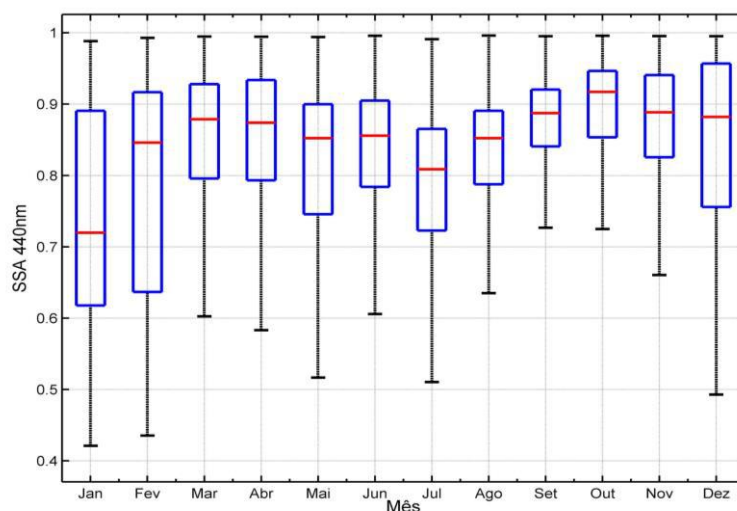


Figura 7. Frequência de medidas mensais de Albedo de espalhamento simples (SSA - 440 nm).

A distribuição mensal de SSA (440 nm) disposta na **Figura 7**, caracteriza os aerossóis atmosféricos da região como agentes espalhadores da radiação solar direta ($SSA > 0.8$). A microfísica dos aerossóis da região ecótona do Pantanal Mato-grossense possui um comportamento sazonal, com valores de médias mensais máximos durante a estação seca (Ago, Set, Out), o que acarreta na mudança de disposição da radiação líquida ao ecossistema. Ressalta-se que os aerossóis atmosféricos são agentes no processo de transformação da radiação direta em radiação difusa. A maior parte dos produtos de SSA (440 nm) foram obtidos principalmente durante a estação seca, o que acarreta em uma ampla distribuição nos valores SSA (440 nm) nos meses de estação chuvosa.

5. Conclusão e Sugestões

O presente trabalho analisou as principais propriedades do aerossol atmosférico através de séries temporais de medidas com fotômetros da rede AERONET, realizadas em uma região ecótona do Pantanal Mato-grossense, com medidas instantâneas de 2000 a 2015. Os parâmetros físicos e ópticos dos aerossóis atmosféricos da região ecótona do Pantanal são influenciados pela variação sazonal no comportamento do ecossistema, com máximos atingidos durante os meses de estação seca.

Foram analisadas as médias mensais de focos de queimada FQ, profundidade ótica (AOD - 500 nm), albedo de espalhamento simples (SSA - 440 nm) e coeficiente de Angstrom $\alpha(440 - 870)$. Na análise do comportamento dos aerossóis, a sazonalidade dos parâmetros foi definida pela relação de distribuição mensal de FQ, distinto da sazonalidade climatológica. Elevados são os registros de FQ durante os meses de agosto, outubro e novembro, acometendo à coluna atmosférica alta carga de aerossóis com valores de AOD (500 nm) acima de 6,0 em medidas instantâneas no ano de 2007.

Os aerossóis atmosféricos da região em estudo demonstraram, por meio da distribuição mensal do albedo de espalhamento simples, uma tendência anual a espalhar a radiação solar ($SSA > 0.8$). Durante a estação seca a mediana SSA (440 nm) ficou entre 0,85 a 0,95, elevando a quantidade de radiação difusa ao ecossistema, este resultado entra em concordância com a predominância na concentração de material particulado na moda fina na DT da referida estação.

A sazonalidade dos parâmetros óticos e microfísicos dos aerossóis atmosféricos indica alterações no orçamento de energia ao ecossistema da região ecótona do Pantanal Mato-grossense. Concluimos que, os aerossóis afetam a química e a física no ambiente atmosférico,

sendo um fator de alta relevância nas propostas de mitigação para regiões submetidas periodicamente a eventos de queimadas. Identificar as fontes emissoras, mensurar e avaliar a forçante radiativa de aerossóis do Pantanal, são pontos interessantes de serem explorados em trabalhos posteriores.

6. Agradecimentos

Ao grupo de pesquisa Ciências Atmosféricas do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, projeto de processo 424915/2016-2 aprovado na Chamada Universal Nº 01/2016 – Faixa C do CNPq, pelo incentivo. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico- CNPq, pelo apoio financeiro (Processo nº 130735/2018-3) e ao Grupo de Estudos do Instituto de Física da USP pela utilização dos dados da rede AERONET.

7. Referências bibliográficas

- Artaxo, Paulo et al. Efeitos climáticos de partículas de aerossóis biogênicos e emitidos em queimadas na Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3, p. 1-22, 2006.
- Andrade, Ricardo Guimarães et al. Geotecnologias aplicadas à avaliação de parâmetros biofísicos do Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1227-1234, 2012.
- Balakrishnaiah, G. et al. Analysis of optical properties of atmospheric aerosols inferred from spectral AODs and Ångström wavelength exponent. **Atmospheric environment**, v. 45, n. 6, p. 1275-1285, 2011.
- Costa, Rayanna et al. Variabilidade espaço-temporal da profundidade ótica de aerossóis atmosféricos sobre a Amazônia. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 1, p. 07-21, 2018
- Da Silva, João Dos Santos Vila; De Moura Abdon, Myrian. Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 33, n. 13, p. 1703-1711, 1998.
- De Moura Abdon, Myrian et al. Desmatamento no bioma Pantanal até o ano 2002: relações com a fitofisionomia e limites municipais. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 59, n. 1, 2007.
- Dubovik, Oleg et al. Variability of absorption and optical properties of key aerosol types observed in worldwide locations. **Journal of the atmospheric sciences**, v. 59, n. 3, p. 590-608, 2002.
- Forster, Piers et al. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. Chapter 2. In: **Climate Change 2007. The Physical Science Basis**. 2007.
- Holben, Brent N. et al. AERONET—A federated instrument network and data archive for aerosol characterization. **Remote sensing of environment**, v. 66, n. 1, p. 1-16, 1998.
- Houghton, John Theodore et al. **Climate change 2001: the scientific basis**. The Press Syndicate of the University of Cambridge, 2001.
- IPCC: Climate Change 2007: **The 4th assessment report to the intergovernmental panel on climate change**. 2007.
- Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística (IBGE). **Mapa dos biomas do Brasil: primeira aproximação**. 2004a.
- Kaufman, Yoram J.; Fraser, Robert S. The effect of smoke particles on clouds and climate forcing. **Science**, v. 277, n. 5332, p. 1636-1639, 1997.
- Kempf, N.; **Die Entwicklung der Theorien ueber den Hoehenrauch**, Doctors Dissertation vor der Kgl. Technischen Hochschule zu Muenchen, Verlag von F.C.W. Vogel: Leipzig, 1914.
- Palácios, Rafael da Silva et al. Análise da profundidade ótica de aerossóis e coeficiente de Angstrom no cerrado Mato-grossense. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 14, n. 1, 2014
- Palácios, Rafael da Silva et al. Estimativa da forçante radiativa direta de aerossóis sobre a superfície em região de transição Pantanal-Cerrado no estado de Mato Grosso, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.l.], v. 16, jun. 2015. ISSN 2237-8642.

Palácios, Rafael da Silva et al. Análise de Espectro Singular e Wavelet sobre Série Temporal de Profundidade Ótica de Aerossóis no Pantanal do Brasil. **Rev. bras. meteorol., São Paulo**, v. 31, n. 4, p. 527-537, Dec. 2016.

Procopio, A. S. et al. Multiyear analysis of Amazonian biomass burning smoke radiative forcing of climate. **Geophysical Research Letters**, v. 31, n. 3, 2004.

Renoux, A.; Boulard, D.; *Les aérosols. Physique et Métrologie*, Lavoisier Technique & Documentation: Paris, 1998.

Rizzo, Luciana Varanda et al. Spectral dependence of aerosol light absorption over the Amazon Basin. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 11, n. 17, p. 8899-8912, 2011.

Santos, Anna Carolinna Albino; Nogueira, José De Souza. Análise do material particulado no Pantanal Mato-Grossense. **Rev. bras. meteorol.**, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 254-264, set. 2015.

Sena, E. T., Artaxo, P., E Correia, A. L. Spatial variability of the direct radiative forcing of biomass burning aerosols and the effects of land use change in Amazonia, *Atmos. Chem. Phys.*, 13, 1261-1275, <https://doi.org/10.5194/acp-13-1261-2013>, 2013.

Nair, Vijayakumar S. et al. Optical and physical properties of atmospheric aerosols over the Bay of Bengal during ICARB. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 66, n. 9, p. 2640-2658, 2009.

Zhang, Zhenxi et al. The contribution of different aerosol sources to the Aerosol Optical Depth in Hong Kong. **Atmospheric environment**, v. 83, p. 145-154, 2014.