

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE QUEIMA DE BIOMASSA NAS
PROPRIEDADES FÍSICAS-QUÍMICAS DE AEROSSÓIS
ATMOSFÉRICOS NO PANTANAL
DE MATO GROSSO**

ALFREDO DOS SANTOS WEBER

**Orientador: Prof. Dr. GEORGE VOURLITIS
Coorientador: Prof. Dr. RAFAEL DA SILVA PALÁCIOS**

Cuiabá, MT
Setembro/2020

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE QUEIMA DE BIOMASSA NAS
PROPRIEDADES FÍSICAS-QUÍMICAS DE AEROSSÓIS
ATMOSFÉRICOS NO PANTANAL
DE MATO GROSSO**

ALFREDO DOS SANTOS WEBER

*Tese apresentada ao Programa de
Pós-graduação em Física Ambiental
da Universidade Federal de Mato
Grosso, como parte dos requisitos
para obtenção do título de Doutor em
Física Ambiental.*

**Orientador: Prof. Dr. GEORGE VOURLITIS
Coorientador: Prof. Dr. RAFAEL DA SILVA PALÁCIOS**

Cuiabá, MT
Setembro/2020

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

D722a dos Santos Weber, Alfredo.
AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE QUEIMA DE BIOMASSA NAS
PROPRIEDADES FÍSICAS-QUÍMICAS DE AEROSSÓIS ATMOSFÉRICOS NO
PANTANAL DE MATO GROSSO / Alfredo dos Santos Weber. -- 2020
101 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: George Louis Vourlitis.
Co-orientador: Rafael da Silva Palácios.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física,
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2020.
Inclui bibliografia.

1. Espectroscopia de Energia dispersiva de Raios-X. 2. Dependência espectral de
propriedades óticas. 3. modos de combustão. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE QUEIMA DE BIOMASSA NAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE AEROSSÓIS ATMOSFÉRICOS NO PANTANAL DE MATO GROSSO

AUTOR : DOUTORANDO ALFREDO DOS SANTOS WEBER

Tese defendida e aprovada em 02 de setembro de 2020.

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

1. Prof. Dr. George Louis Vourlitis - Orientador - California State University, San Marcos/CA/EUA
2. Prof. Dr. Rafael da Silva Palácios - Coorientador - Instituto de Geociências/Universidade Federal do Pará/UFPA
3. Prof. Dr. Thiago Rangel Rodrigues - Examinador Interno - Instituto de Física/UFMS
4. Prof. Dr. Denes Martins de Moraes – Examinador Externo - Centro Universitário de Várzea Grande – UNIVAG
5. Profa. Dra. Anna Carolinna Albino Santos - Examinadora Externa - Centro Universitário de Várzea Grande – UNIVAG

Cuiabá-MT, 02/09/2020



Documento assinado eletronicamente por **George Louis Vourlitis, Usuário Externo**, em 02/09/2020, às 18:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Denes Martins de Moraes, Usuário Externo**, em 02/09/2020, às 18:12, conforme horário oficial de Brasília, com



fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **SERGIO ROBERTO DE PAULO, Coordenador(a) de Programas de Pós-Graduação em Física Ambiental - IF/UFMT**, em 02/09/2020, às 18:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Thiago Rangel Rodrigues, Usuário Externo**, em 02/09/2020, às 18:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Anna Carolinna Albino Santos, Usuário Externo**, em 02/09/2020, às 22:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rafael da Silva Palácios, Usuário Externo**, em 03/09/2020, às 10:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2792777** e o código CRC **623B9910**.

AGRADECIMENTOS

Aos docentes do Programa em Pós-Graduação em Física Ambiental.

Aos meus orientadores, George Vourlitis e Rafael Palácios, pelos preciosos conselhos e direcionamentos importantes à minha pesquisa.

Aos professores e sogros queridíssimos, José Paraná Nogueira e Marta Nogueira.

Aos colegas da Faculdade de Engenharia do Campus de Várzea Grande, por terem suportado a carga de trabalho enquanto me afastei para qualificação.

À banca examinadora, especialmente à professora Anna Carolina Albino dos Santos pelos dados químicos levantados ao longo de seu mestrado e doutorado.

À minha esposa e companheira nos momentos mais difíceis, Adriana, e mãe da nossa querida Helena.

Aos meus pais e irmãos, Eduardo Weber e Oscarlina Weber, Renan e Emerson Weber.

Aos colegas da Universidade de São Paulo do Laboratório de Física Atmosférica, e especialmente ao professor Paulo Artaxo pela confiança depositada neste Grupo de pesquisa ao longo de muitos anos, e pela manutenção de rede AERONET.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	III
SUMÁRIO	IV
LISTA DE FIGURAS	V
LISTA DE TABELAS	VII
LISTA DE ABREVIACÕES	VIII
RESUMO	IX
ABSTRACT	X
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Aerossóis atmosféricos	4
2.1.1 Aerossóis carbonáceos.	7
2.1.2 Partículas biogênicas	11
2.1.3 Poeira do solo e deserto	11
2.1.4 Sais Marinhos	12
2.1.5 Aerossóis orgânicos secundários (SOA)	13
2.2 Propriedades óticas de aerossóis	14
2.3 Impacto dos aerossóis na região da Amazônia Legal	19
3. MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1 Locais de medidas	22
3.2 Instrumentação	24
3.2.1 Coleta de material particulado por filtros	24
3.2.2 Medidas da AERONET	26
3.3 Metodologia	27
3.3.1 Gravimetria dos filtros	27
3.3.2 Análise de <i>black carbon</i> por reflectância	29
3.3.3 Fluorescência de Raios-X por energia dispersiva para composição elementar	30
3.4 Classificação química	32
3.5 Análise de grupos óticos	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1 Eventos ambientais e meteorológicos no período seco	35
4.2 Química dos Aerossóis	48
4.3 Classificação ótica dos Aerossóis: Matriz de Angstrom.	55
4.4 Teste de combinações da dependência espectral e as classes óticas	64
5. CONCLUSÃO	71
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Classificação de aerossóis de acordo com o tamanho e formação (Seinfeld e Pandis, 2006). _____	5
Figura 2. Fontes de aerossóis primários e secundários. Adaptado de Alves, 2005. ____	6
Figura 3. Microfotografia de partículas de fuligem. Os anéis concêntricos são lâminas de grafite, a barra de referência é de 20Å, e o diâmetro mais interno é de 10Å. Adaptado de Iijima (1980) _____	8
Figura 4. Ilustração do espalhamento simétrico descrito pela teoria de espalhamento Rayleigh. _____	15
Figura 5. Localização do site da AERONET, da Base Avançada da UFMT, do Parque Nacional da Chapada dos Guimarães e Cuiabá-MT. _____	23
Figura 6. Fotômetro Cimel da AERONET na Fazenda Miranda. Cuiabá-MT. Adaptado de (PALÁCIOS, 2017)._____	24
Figura 7. Compilação de dados meteorológicos como velocidade do vento, pressão atmosférica, umidade relativa (RH), albedo de espalhamento simples (SSA), profundidade ótica de aerossóis(AOD), expoente de Angström de extinção $\alpha_{440-870}$, gravimétricos de material particulado em ambas frações (PM) na campanha de 2012. _____	37
Figura 8. Médias mensais de distribuição volumétrica de tamanho de aerossóis da AERONET nível 2.0 _____	39
Figura 9 – Rosa dos ventos no mês de agosto (acima) e em todo período seco de abril a outubro de 2012(abaixo). _____	41
Figura 10 – Retro-trajetória do Modelo HYSPLIT da NOAA para o dia 08 de setembro de 2012 integrado em 96horas. _____	43
Figura 11. Relação de dependência espectral do albedo de espalhamento simples mensal média. _____	44
Figura 12. Padrões temporais de Expoentes de Ångström de Espalhamento (SAE), Absorção(AAE) e a derivada espectral (dAAE) durante a amostragem. As faixas cinzas representam eventos ambientais: a primeira, a chegada de frente fria; a segunda, intenso período de queimadas no Parque Nacional de Chapada dos Guimarães; e a terceira, a primeira representativa precipitação da Primavera. _____	46
Figura 13. Concentração de elementos traços nos filtros coletados, separados em moda fina e moda grossa. _____	50

Figura 14. Relação entre elementos traços na moda fina, (a) Ajuste linear de enxofre, potássio e zinco com <i>black carbono</i> , (b) Ajuste linear de ferro e <i>black carbon</i> . ____	51
Figura 15 – Classificação química dos elementos traços em carbono elemental (EC), queima de biomassa(BB), poeira do solo(Dust) e biogênica(BG) em moda grossa e fina. _____	54
Figura 16. Classificação de grupos óticos pela Matriz de Ångström em 2012 com dados da AERONET no nível 1.5. _____	56
Figura 17 - Evolução mensal das classes óticas(abaixo) e químicas(acima). _____	57
Figura 18 - Histogramas de Expoente de Angtröm de Absorção(AAE) para cada mês de análise e para o período seco. _____	59
Figura 19 – Ajustes de combinações espectrais de Expoente de Ångström de Absorção. (a)Entre AAE 675-870nm e AAE440-870nm, (b)Entre AAE 440-675nm e AAE440-870nm, (c)Entre AAE 675-870nm e AAE440-675nm e (d)Entre AAE 675-870nm e AAE440-675nm entre os meses de Julho a Outubro. _____	65
Figura 20 – Histograma de AAE em três combinações espectrais 440-675nm, 440-870nm e 675-870nm, com suas médias e desvios-padrões. _____	67
Figura 21 – Ajustes lineares entre combinações espectrais de Expoentes de Angstrom de Espalhamento. (a)Entre $SAE_{440-870}$ e $SAE_{440-675}$ em pontos pretos e $SAE_{675-870}$ em pontos vermelhos. (b)Entre $SAE_{440-675}$ e $SAE_{675-870}$. _____	68
Figura 22 – Frequência das classes identificadas pela Matriz de Angström em três combinações de comprimento de onda. Em roxo, a 440-675nm, em verde 440-870nm, e vermelho 675-870nm. _____	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação de colóides, sua fase dispersa, a fase contínua e os respectivas classes.	4
Tabela 2 - Classificação Química de Elementos Traço de acordo com a separação de tamanho dos filtros	32
Tabela 3 - Dados mensais precipitação, temperaturas máximas e mínimas, focos de queimada e de amostragem de filtros e da AERONET	36
Tabela 4 - Concentrações médias e desvios padrão (DP) associados a PM, BC e elementos traços nas modas fina e grossa para a estação seca na Base Avançada da UFMT. Todas as concentrações e desvio-padrões são expressas em ng.m^{-3} .	52
Tabela 5 - Grupos óticos da matriz de Angstrom separados por fração de <i>black carbon</i> na moda fina	61
Tabela 6 - Quantificação de tipos de aerossol nos locais da AERONET na seca	62

LISTA DE ABREVIACÕES

AAE - Absorption Angstrom Exponent.

AAOD - Absorption Aerosol tica Depth.

AERONET - AErosol RObotic NETwork.

AOD - Aerosol tica Depth.

BB – Biomass burning

BC - Black carbon.

BG - Biognico.

BrC - Brown Carbon.

CCN - Cloud Condensation Nuclei.

CLP – Coated Large Particles

EBC - Black carbon Equivalente.

EC - Elemental Carbon.

EAE – Extinction Angstrom Exponent.

HYSPLIT - Hybrid Single Particle Lagrangian Integrate Trajectory Model.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change.

OC - Organic Carbon.

MP –Material Particulado.

SAE - Scattering Angstrom Exponent.

SAOD - Scattering Aerosol tica Depth.

SSA – Single Scattering Albedo

ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

RESUMO

Weber, A.S. **Avaliação do impacto de queima de biomassa nas propriedades físicas-químicas de aerossóis atmosféricos no pantanal de Mato Grosso.** Cuiabá, 101p. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

O Pantanal brasileiro é um bioma complexa de grande importância para o controle do fluxo de água na Bacia do Rio Paraguai, com crescente produção agropecuária. A região foi impactada pelo desmatamento e incêndios, emitindo uma quantidade crescente de aerossóis de queima de biomassa na atmosfera, com consequências negativas para a saúde e o clima. As propriedades físico-químicas e óticas dos aerossóis no Pantanal brasileiro foram investigadas para avaliar o impacto da queima de biomassa na estação seca de 2012. Este estudo teve como foco a análise de eventos meteorológicos e ambientais sobre as propriedades óticas e a concentração de elementos químicos aerossóis, relacionando a evolução dessas características na estação seca. Além disso, os aerossóis foram classificados quimicamente e óticamente usando a análise de cluster Angstrom Matrix para verificar os grupos mais comuns e a relação entre características químicas e óticas. Também foram avaliadas mudanças na escolha do espectro que afetam a população desses grupos ópticos. Os resultados indicam uma predominância de partículas grossas relacionadas a biogênicos (P, K e Mg na moda grossa) e elementos de poeira (Al, Si, Ca e Fe) no início da estação seca, e elementos elementares mais finos para queima de carbono e biomassa (S, Zn e K na moda fina) no final do período. Valores de propriedades óticas como Profundidade Ótica em Aerossol (AOD), Albedo de Espalhamento Único (SSA) e Expoentes de Angstrom de Absorção, Espalhamento e Extinção (AAE, SAE e EAE) foram maiores com o aumento das emissões de queima de biomassa durante os episódios de incêndio. A classificação ótica mostrou uma variação sazonal dos grupos mais frequentes; no início da estação seca, predominaram espécies com baixo AAE e SAE, sendo rotuladas como Biogênicas, e com o inverno avançando e início da primavera, as classes relacionadas a o carbono elementar como EC, OC/EC e Dust/EC com AAE e SAE mais elevados. Isso é consequência da redução do tamanho das partículas e aumento do carbono orgânico e elementar na microestrutura de aerossóis. Existe uma relação qualitativa entre a classificação ótica e química, e a frequência dos grupos de carbono elementar e orgânico foi relacionada qualitativamente à concentração de carbono preto nos filtros. Alterações na escolha entre combinações de comprimentos de onda para expoentes de Angstrom de absorção podem levar a resultados muito diferentes para ondas longas; no entanto, não há mudanças significativas para ondas curtas e entre ondas intermediárias devido à natureza química dos aerossóis prevalecentes na amostragem. O expoente de Espalhamento de Angstrom não sofre a mesma variação, com correlações sempre próximas do ideal entre combinações espectrais. Esses resultados indicam que a composição do aerossol e as propriedades óticas da atmosfera durante a estação seca foram impactadas por mudanças na cobertura da terra, queima de biomassa e emissões de combustíveis fósseis de Cuiabá, localizada a mais de 100 km de distância. Esses dados destacam a importância da ação humana e do transporte de longo alcance para no Pantanal Norte.

Palavras-Chave: Espectroscopia de Energia dispersiva de Raios-X, Dependência espectral de propriedades óticas, modos de combustão.

ABSTRACT

Weber, A.S. **Evaluation of the impact of biomass burning on the physical-chemical properties of atmospheric aerosols in the Pantanal of Mato Grosso.** Cuiabá, 101p. Thesis (Doctorate in Environmental Physics) – Institute of Physics, Federal University of Mato Grosso.

The Brazilian Pantanal is a complex landscape of great importance for the control of water flow in the Paraguay River Basin with growing agricultural and livestock production. The region has been impacted by deforestation and fires, emitting a crescent amount of biomass burning aerosols to the atmosphere with health and climate negative consequences. The physical-chemical and optical properties of aerosols at the Brazilian Pantanal were investigated to evaluate the impact of burning biomass at the dry season of 2012. This study focused on the analysis of meteorological and environmental events on the optical properties and the concentration of chemical elements of aerosols, relating the evolution of these characteristics in the dry season. Also, the aerosols were classified chemically and optically using Angstrom Matrix cluster analysis to verify the more common groups and the relation between chemical and optical characteristics. Changes in spectrum choice have also been assessed that effect the population of these optical groups. Results indicate a dominance of coarse particles related to biogenics (P, K and Mg at coarse mode) and crustal elements (Al, Si, Ca and Fe) at the beginning of the dry season, and finer elemental carbon and biomass burning elements (S, Zn and K at fine mode) at the end of the season. Values of optical properties as Aerosol Optical Depth (AOD), Single Scattering Albedo (SSA) and Absorption, Scattering and Extinction Angstrom Exponents (AAE, SAE and EAE) were higher with the increase of biomass burning emissions during fires episodes. The optical classification shown a seasonally variation of more frequent groups, at the early dry season, species at low AAE e SAE were predominant has been labeled as Coated Large Particles and Biogenic, and in the advanced winter and beginning of Spring, the classes related to the elemental carbon as EC, OC/EC and Dust/EC with higher AAE and SAE. This is consequence of reduction of particle size and increase of organic and elemental carbon in the aerosols microstructure. There is a qualitatively relation between the optical and chemical classification, and the frequency of elemental and organic carbon groups was related qualitatively to the black carbon concentration at the filters. Changes in the choice between combinations of wavelengths for Absorption Angstrom Exponents can lead to very different results for long waves; however, there are no significant changes for short waves and between intermediate waves due to the chemical nature of the aerosols prevalent in the sampling. The scattering Angstrom exponent does not suffers from the same variation, with correlations always close to the ideal between spectral combinations. These results indicate that the aerosol composition and optical properties of the atmosphere during the dry season were impacted by land cover change, biomass burning, and fossil fuel emissions from Cuiaba, located more than 100 km away. These data highlight the importance of human impacts and long-range transport to the regional haze measured in the Northern Pantanal.

Keywords: X-ray dispersive energy spectroscopy; Spectral dependence of optical properties; combustion modes.

1. INTRODUÇÃO

Os aerossóis atmosféricos são partículas em suspensão na atmosfera e podem ser provenientes de fontes naturais ou antropogênicas. Essas partículas impactam a formação de nuvens, a saúde humana, a absorção e espalhamento de radiação solar e consequentemente o clima planetário. As principais fontes de aerossóis no mundo são provenientes dos desertos, erupções vulcânicas, sais marinhos, elementos biogênicos como pólenes, esporos fúngicos, bactérias e detritos florestais, queima de biomassa, combustíveis fósseis e compostos voláteis orgânicos e inorgânicos. Há uma forte incerteza acerca da composição química dos aerossóis, assim como de suas propriedades físicas e químicas no monitoramento ambiental, no sensoriamento remoto e em cálculos de modelos matemáticos.

A região da Amazônia Legal tem sofrido com alterações no uso e ocupação do solo, devido principalmente ao desmatamento e queimadas que abrem espaço de florestas e cerrado para agropecuária, resultando em liberação de gases como dióxido e monóxido de carbono, óxidos nitrosos, aerossóis carbonáceos e poeira do solo. Esse cenário contribui para o aumento da forçante radiativa, aumento do período seco, diminuição de chuvas e por fim, mudanças climáticas. A região que mais tem sido atingida é conhecida como Arco do Desmatamento, que se situa no sul da Bacia Amazônica, indo do oeste de Rondônia até leste no Maranhão, incluindo o norte de Mato Grosso. Apesar de não pertencer à região do Arco do Desmatamento, o Pantanal e o Cerrado Mato-grossense também sofrem com as atividades humanas e emitem e recebem as emissões de gases e partículas causando mudanças de mesma natureza. A redução de chuvas e das cheias no Pantanal pode comprometer o abastecimento hídrico para todo o centro-sul da América do Sul e da Bacia do Prata.

O clima da região Amazônica e do Cerrado é sazonal: na época chuvosa, que vai de novembro até março, a atmosfera é pristina com pouquíssimos focos de queimadas, com ventos úmidos provenientes da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT); na época seca, que abarca desde abril até outubro, com auge em setembro, ocorre a formação de uma zona de ar quente convectiva ascendente no interior, e por raios ou ação humana, queimadas são frequentes alterando fortemente a composição dos aerossóis atmosféricos. Durante a época seca, costuma-se haver colheitas de

diversas culturas em grandes propriedades rurais e o revolvimento do solo, também liberando poeira para a atmosfera.

A população de aerossóis e os seus tipos, e suas propriedades físicas e químicas também se modificam conforme a sazonalidade. Na temporada de chuvas, os aerossóis biogênicos e de compostos orgânicos voláteis são os mais frequentes. Especificamente na região amazônica, regiões próximas a cidades são impactadas por plumas urbanas e por emissões de queimadas e de poeira do deserto do Saara. Ao adentrar a temporada de estiagem, aerossóis de queimada e poeira do solo dominam a população de partículas.

Para monitorar, prever e analisar fenômenos naturais e do impacto que os aerossóis causam na biosfera, utiliza-se de equipamentos *in loco*, sensores em satélites, em solo, em oceanos e no ar. Nesse sentido a rede de robôs de fotômetros, a AERONET (Aerosol Robotic Network), administrada pela NASA tem facilitado essa tarefa ao disponibilizar ao público científico dados produtos óticos diversos referentes a interação entre radiação e atmosfera.

Campanhas de estudo do impacto dos aerossóis na biosfera desde os anos 1980 tem se esforçado para aprofundar a compreensão do papel dessas partículas na atmosfera, da interação com a biota e no impacto nas mudanças climáticas. Pode-se citar a campanha *Smoke, Clouds, and Radiation-Brazil* (SCAR-B) em 1995 e o projeto LBA (do inglês, *Large Scale Biosphere Atmosphere Experiment in Amazonia*) como empreendimentos como fundamentais na determinação de como as mudanças no uso do solo podem afetar os processos biológicos, químicos e físicos na Amazônia. Nesse sentido, a instalação de um laboratório em uma região de transição entre o Cerrado e o Pantanal amplia e aprofunda os estudos já em curso pela Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso em parceria com outras instituições de pesquisa e pós-graduação no país e no exterior.

As propriedades óticas dependem da composição química dos aerossóis, e a baixa disponibilidade de dados químicos referentes ao Cerrado e Pantanal mato-grossense impede que a aplicação de propriedades em modelagens e sensoriamento tenham maior precisão e eficácia. As medidas da composição química são realizadas a partir de elementos traços e de compostos iônicos por meio de filtragem do ar, ou através de medidas individuais dos aerossóis em técnicas como espectrometria de

massa, localizados em solo, em torres, ou embarcados em aeronaves. Trabalhos recentes a este investigaram propriedades óticas intensivas em comparação a outros locais com conclusões pertinentes a essas propriedades, tornando as partículas encontradas em Cuiabá únicas em relação a interação com a radiação. Contudo, apenas utilizando dados físicos, torna-se limitada a compreensão desses estudos, sem se levar em conta quais são os elementos químicos encontrados nos aerossóis, a forma como estão dispostos na estrutura, a cristalinidade, como estão ligados entre si, e as diferenças entre superfície e interior das partículas. Desse modo, abre-se uma infinidade de possibilidades de aprofundar o entendimento entre o impacto das variáveis ambientais nos aerossóis e no ecossistema como um todo.

Nesse contexto, o atual trabalho propõe-se a relacionar as concentrações de elementos químicos obtidas por técnicas *off-line* através de filtros coletados em solo e propriedades óticas de aerossóis fornecidas pelo programa AERONET no *site* de Cuiabá-Miranda no ano de 2012.

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar as características físicas, químicas e as propriedades óticas de aerossóis em um período seco no Pantanal Mato-grossense. Assim, esta tese tem os seguintes **objetivos específicos**:

- 1) Caracterizar as alterações das características físicas e químicas de aerossóis em uma época seca de abril a outubro de 2012 através de eventos meteorológicos e ambientais.
- 2) Determinar e identificar os principais elementos químicos traço presentes nos aerossóis coletados através de filtros e classificá-los de acordo com a principal fonte, relacionando-os com as alterações ambientais.
- 3) Classificar oticamente os aerossóis a partir da metodologia de Matriz de Angstrom, e separá-los por evolução mensal durante a época de seca.
- 4) Confrontar as classes óticas e químicas a frente desses eventos ambientais e pela evolução mensal das principais características físicas e químicas monitoradas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aerossóis atmosféricos

Materiais sólidos e líquidos dispersos em gases são classificados como colóides, que é uma substância microscopicamente dispersa em outra substância. Um sistema coloidal consiste em uma fase dispersa ou fase interna e a fase contínua ou meio de dispersão. Um sistema coloidal pode ser sólido, líquido ou gasoso, quando dispersas, são consideradas um colóide, classificados de acordo com a Tabela 1. Aerossóis atmosféricos são colóides de sólidos e líquidos dispersos em um gás (o ar atmosférico) e podem variar enormemente de tamanho, desde nanopartículas até microestruturas (SEINFELD; PANDIS, 2006).

Tabela 1 – Classificação de colóides, sua fase dispersa, a fase contínua e as respectivas classes.

FASES		
Dispersa	Contínua	Nome do sistema
Líquida	Gás	Aerossol, spray
Líquida	Líquida	Emulsão
Líquida	Sólida	Gel
Gás	Líquida	Espuma, filmes finos,
Gás	Sólida	Espuma sólida
Sólida	Líquida	Sol
Sólida	Gás	Aerossol sólido
Sólida	Sólida	Sol sólido

Fonte: adaptado de Birdi, 2009.

Os colóides representam um sistema com estado de energia mais elevada do que a correspondente a materiais macroscópicos. Assim, há uma tendência no sistema para mover para um estado de menor energia, a menos que haja barreiras energéticas para superar. Sob tais condições, o sistema pode estar em um estado metaestável e permanecer nesse estado indefinidamente. A estabilidade coloidal é determinada pela energia livre do sistema. O principal parâmetro de interesse é a grande área de superfície entre a fase dispersa e a fase contínua. Dado que as partículas coloidais movem constantemente, a sua dispersão de energia é determinada pelo movimento

browniano (BIRDI, 2009). A estabilidade coloidal é determinada pela energia transmitida por colisões com as moléculas vizinhas e as energias associadas às forças intermoleculares (MERSMANN *et al.*, 2001). A estabilidade de nanopartículas depende das características físico-químicas obtidas a partir das etapas de nucleação e crescimento, que são fortemente dependentes das condições da formação dos aerossóis e ambientais.

Segundo Seinfeld e Pandis (2006), as partículas de aerossóis podem ser classificadas de acordo com seu tamanho. Partículas finas possuem diâmetros menores que $2,5\ \mu\text{m}$, e podem ser divididas em de núcleos de Aitken (partículas com diâmetro menor que $0,1\ \mu\text{m}$) e moda de acumulação (maiores que $0,1\ \mu\text{m}$), e as partículas da moda grossa, com diâmetros acima de $2,5\ \mu\text{m}$, segundo a classificação mostrada na Figura 1.

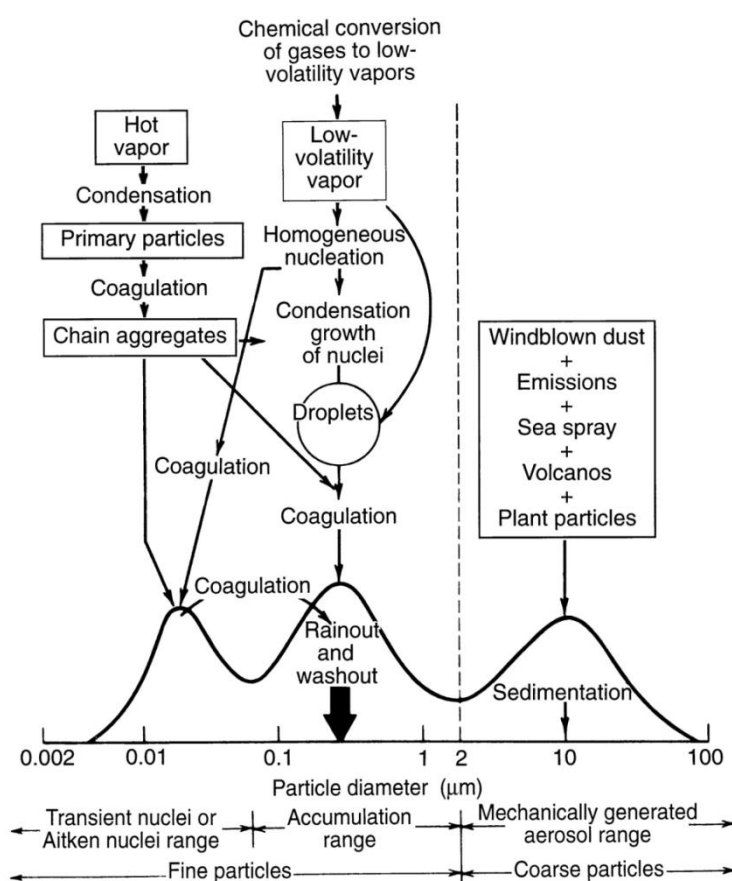


Figura 1. Classificação de aerossóis de acordo com o tamanho e formação (Seinfeld e Pandis, 2006).

A origem do aerossol pode ser natural ou antrópica, sendo emitidos de forma direta (emissão primária) ou produzidos indiretamente (emissão secundária) segundo a Figura 2. Como exemplos de aerossóis primários, podemos citar: aerossóis marinhos, poeira de solo, emissões vulcânicas e partículas biogênicas. Os aerossóis secundários são produtos da conversão de gases em partículas, bem como da condensação de vapores sobre a superfície de partículas pré-existentes. Esse processo dá-se pela condensação de precursores gasosos como dimetilssulfeto (DMS), dióxido de enxofre (SO_2) e compostos orgânicos voláteis (COV), sob condições ambientais específicas (SEINFELD e PANDIS, 2006). As principais fontes de particulado para a atmosfera são: veículos automotores, processos industriais, queima de biomassa, ressuspensão de poeira do solo, entre outros. O material particulado pode também se formar na atmosfera a partir de gases como dióxido de enxofre (SO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis (COVs), que são emitidos principalmente em atividades de combustão, transformando-se em partículas como resultado de reações químicas no ar (ALVES, 2005).

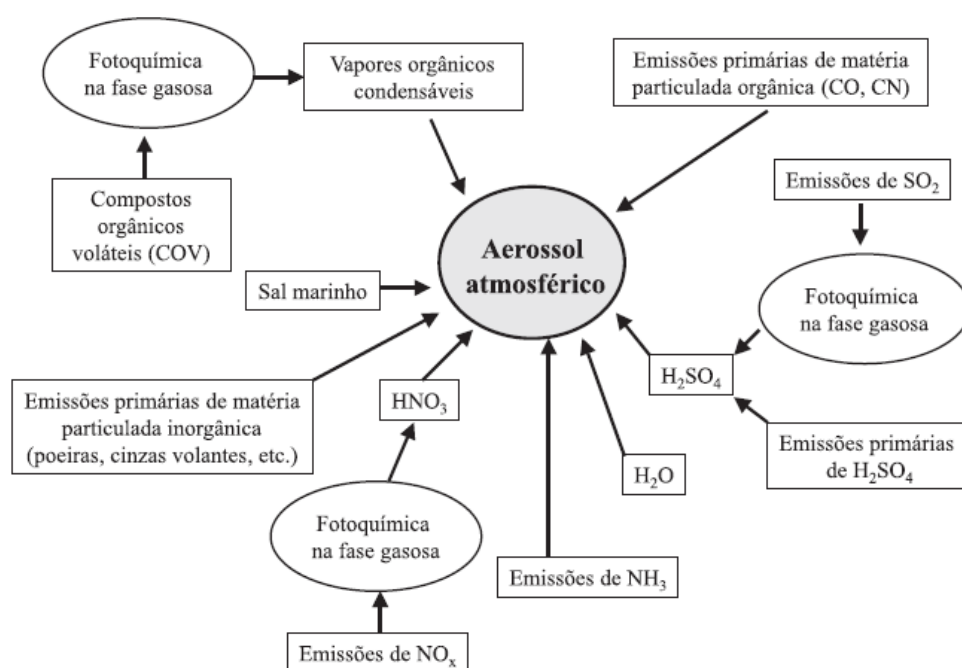


Figura 2. Fontes de aerossóis primários e secundários. Adaptado de Alves, 2005.

2.1.1 Aerossóis carbonáceos.

Para melhor compreender e classificar as diferentes naturezas dos aerossóis carbonáceos, necessita-se de algumas definições sobre a análise de carbono para o estudo em questão:

- **Black Carbon (BC):** é uma denominação ótica qualitativa para descrever as substâncias carbonáceas absorvedoras de luz no aerossol atmosférico. É resultado da combustão incompleta de material carbonáceo. Diz respeito às propriedades óticas, tendo coloração preta ou escura sendo quantificada por atenuação de luz.
- **Brown Carbon (BrC):** Material carbonáceo proveniente de combustão incompleta, com pequena quantidade de grafite em sua microestrutura, com maior presença de ácidos húmicos e fenólicos de origem ligno-celulósico. Absorve radiação mais fortemente na região do ultravioleta, tendo aparência marrom amarelada.
- **Carbono Elementar (EC, do *Elemental Carbon*):** É material carbonáceo termicamente estável que só é oxidado em temperaturas acima de 340°C. Pode ser considerado equivalente ao BC, mas é medido por técnica termal ou termal-ótico. Esse termo indica a pureza química como no grafite ou fuligem.
- **Carbono Orgânico (OC, do inglês *Organic Carbon*):** É o carbono contido nas substâncias orgânicas e nos compostos poliméricos e sua contribuição para a massa do aerossol é definida como matéria orgânica (OM, do inglês *Organic Matter*). Pode ser medido por técnicas termal e termal-ótico, devido a pouca resistência à temperatura, distinguindo-se do BC ou EC.
- **Carbono Total (TC, do inglês *Total Carbon*):** é definido como a soma do OC e EC, sendo medido por técnicas termal ou termal-ótico. Esse termo descreve a massa de todo material carbonáceo presente em partículas atmosféricas.

O carbono presente nos aerossóis representa uma mistura de compostos inorgânicos, OC e EC. Os compostos de EC e OC constituem, em parte, produtos primários de origem antropogênica, representando no seu conjunto aquilo a que se chama o aerossol carbonáceo. Uma fração do carbono orgânico é, no entanto, resultante da condensação de moléculas orgânicas sobre a superfície de partículas durante a permanência destas na atmosfera. Os compostos inorgânicos são fundamentalmente compostos primários de origem natural, embora seja possível que

uma pequena percentagem seja formada por reações atmosféricas (ALVES, 2005). As partículas de *black carbon* são formadas por cadeias de átomos de carbono apresentando uma estrutura microcristalina semelhante à da grafite (IIJIMA, 1980).

O BC tem predomínio de estruturas grafíticas, com os átomos de carbono ligados em hibridização sp^2 com planos hexagonais simétricos em ligações σ e π . Estas últimas permitem que elétrons tenham maior mobilidade os quais são responsáveis pela característica de absorção luminosa do BC (WOLFF, 1981). As partículas primárias de fuligem são esférulas de 10-50nm e se agregam logo após se formarem, incorporando água e outros compostos orgânicos secundários, em partículas mais empacotadas. Alguns combustíveis produzem fuligem praticamente grafítica e outras incorporam até 50% em massa de matéria orgânica (KIS; PÓSFAI; LÁBÁR, 2006; MEDALIA; RIVIN, 1982; PÓSFAI *et al.*, 2003). A Figura 3 mostra a microfotografia grafítica de fuligem formada por anéis de grafite concêntricos.

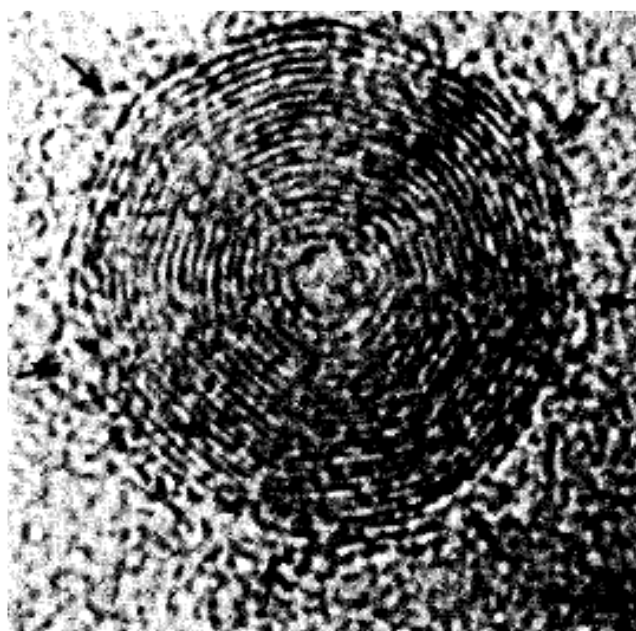


Figura 3. Microfotografia de partículas de fuligem. Os anéis concêntricos são lâminas de grafite, a barra de referência é de 20Å, e o diâmetro mais interno é de 10Å. Adaptado de Iijima (1980)

Uma das definições usuais considera BC todo o carbono que apresenta cor negra, sendo o restante, à exceção dos carbonatos, carbono orgânico. A capacidade de adsorção de poluentes gasosos pelos aerossóis carbonosos deriva das características

químicas e da larga área específica das partículas. Devido aos defeitos estruturais, nos microcristais grafíticos existem muitos elétrons desemparelhados que funcionam como centros ativos na adsorção e reação catalítica dos poluentes gasosos. O carbono orgânico é o componente do aerossol carbonáceo em que as moléculas de carbono estão quimicamente combinadas a outros elementos de forma não grafítica. Pode ser um produto da combustão incompleta, emitido por fontes naturais ou formadas a partir de condensação de produtos da foto-oxidação de COV. O OC interage através do espalhamento da radiação mais fortemente, e uma fração absorvedora que se denomina *Brown Carbon* (BrC) que absorve radiação principalmente na região do ultravioleta, e é produzida a partir da queima da biomassa ou de combustíveis fósseis contendo por fontes secundárias na atmosfera (ANDREAE; GELENCSEÉR, 2006; ANDREAE, 2019; BAHADUR *et al.*, 2012; SATURNO *et al.*, 2018; WANG *et al.*, 2016).

As partículas de queima de biomassa situam-se no modo de acumulação são eficientes em espalhar a radiação da região do UV-Visível e são comuns na época seca. Na temporada de chuvas, partículas maiores ou grosseiras se tornam dominantes em massa e interagem de modo diferente com a radiação (Rizzo, *et al.* 2013). As partículas de queimada são conhecidas como *black carbon* (BC) e *brown carbon* (BrC). A diferença entre elas se dá pelo modo de queima, temperatura das chamas e consequente microestrutura (Andreae e Gelencsér, 2006).

O BrC é produzido a partir de muitas fontes antropogênicas e biogênicas (ZHANG *et al.*, 2011). BrC primário é principalmente emitida pela queima mais branda, similar a brasa e não completa, a fumaça produzida é marrom ou levemente amarelada, parcialmente originada de evaporação, sublimação ou combustão incompleta de compostos orgânicos, segundo Andreae e Gelencsér (2006), e é rica em substâncias húmica, ácidos fúlvicos e fenólicos. O BrC secundário é formado a partir de foto-oxidação ou reações aquosas de precursores biogênicos ou antropogênicos (DE HAAN *et al.*, 2018; HECOBAN *et al.*, 2010). Características distintas de absorção de luz foram observados entre BrC biogênicos e antropogênicos (UPDYKE; NGUYEN; NIZKORODOV, 2012). Compostos orgânicos de BrC, como nitrofenol e carbonilos aromáticos, emitidos pela queima de biomassa, com alta coeficiente de absorção de luz (DESYATERIK *et al.*, 2013). Além disso, os hidrocarbonetos nitroaromáticos e o tolueno produzidos a partir da combustão de combustíveis fósseis podem levar à

formação de forte absorção BrC. BrC é um material complexo composto por várias classes químicas de compostos. A determinação das estruturas químicas dos componentes BrC poderia auxiliar na identificando marcadores típicos de diferentes origens, que são de grande importância para avaliando seus impactos ambientais (LIN *et al.*, 2015, 2014). A interação com a radiação é maior em comprimentos de onda próximos a UV.

As principais fontes de aerossóis carbonáceos são representadas pela queima de biomassa e de combustíveis fósseis e pela oxidação atmosférica de compostos orgânicos voláteis (COV) biogênica ou antropogênica. As emissões globais de aerossóis orgânicos resultantes da combustão de biomassa e combustíveis foram estimadas em 45-80 e 10-30 Tg.ano⁻¹, respectivamente (ANDREAE *et al.*, 2002; HUANG *et al.*, 2013; LIU *et al.*, 2016). Os processos de combustão constituem também a fonte dominante de BC, calculando-se as massas anualmente produzidas a partir da biomassa em 6-9 Tg e em 6-8 Tg as provenientes dos combustíveis fósseis (COOKE; WILSON, 1996; HUANG *et al.*, 2013; SCHOLLES; ANDREAE, 2000).

A queima de biomassa, principalmente nas regiões tropicais, é uma fonte significativa de aerossóis atmosféricos antropogênicos. Partículas de queimadas consistem predominantemente de material carbonáceo como carbono orgânico, com presença de fuligem com alto teor de carbono elementar, bem como uma componente menor de diversos materiais inorgânicos. Cerca de metade da massa dos aerossóis carbonáceos representa material solúvel em água, e uma grande parte é constituída por açúcares desidratados, como levoglucosan da pirólise de celulose (MARTIN *et al.*, 2010; SCARAMBONI *et al.*, 2015). Esta alta solubilidade faz destes aerossóis eficientes núcleos de condensação de nuvens (CCN)(GUENTHER *et al.*, 2006). O fator de emissão médio global, expresso como massa de partículas primárias emitidas por unidade de massa de combustível, varia entre 6 e 25 g.kg⁻¹ para queimadas em pastagens e florestas tropicais. As plumas de poluição emitidas por queimadas podem se dispersar por centenas a milhares de quilômetros e são claramente visíveis em imagens de satélite (ARANA, 2014).

2.1.2 Partículas biogênicas

Os aerossóis primários biogênicos são constituídos por componentes vegetais (ceras cuticulares, fragmentos foliares, etc.), matéria húmica e partículas microbianas (bactérias, fungos, vírus, algas e esporos). Estima-se que mesmo nas áreas urbanas das regiões temperadas representam 10-30% da distribuição numérica das partículas (MATTHIAS-MASER; GRUBER; JAENICKE, 1996). Estas percentagens sugerem que a contribuição biogênica primária pode ser substancial em áreas com coberto vegetal denso, particularmente na zona tropical húmida. A análise da fração lipídica de aerossóis amazônicos permitiu concluir que 10-20% dos constituintes orgânicos estavam associados à matéria microbiana e às ceras vegetais (ANDREAE *et al.*, 2015; ANDREAE, 2009; ARTAXO; HANSSON, 1995). A absorção da luz, particularmente na região UVB, é potencializada com a presença de substâncias húmicas nos aerossóis. Plantas em seus processos metabólicos podem emitir elementos químicos em forma de sais que são utilizados como marcadores desse tipo de aerossol como potássio, fósforo, cálcio, magnésio e sódio, sulfatos e cloretos.

Os elementos relacionados a emissões biogênicas (por exemplo, K, P, S, Zn, Rb) são essenciais em plantas superiores e estão presentes nos fluidos que circulam na planta e são liberados pelas folhas para a atmosfera durante a gutação e transpiração (ARTAXO; HANSSON, 1995). Observou-se que material particulado contendo Zn, Pb e Cu era produzido por plantas superiores (BEAUFORD; BARBER; BARRINGER, 1975, 1977). O enxofre também está presente nos fluidos da vegetação juntamente com P, K, Ca e outros elementos biogênicos, também são emitidos diretamente durante os processos naturais de transpiração e gutação. Devido à sua matriz orgânica, partículas de aerossol biogênico podem ser a maior parte de núcleos de condensação em regiões tropicais (ANDREAE, 2009; NOVAKOV; PENNER, 1993).

2.1.3 Poeira do solo e deserto

As principais fontes deste material particulado estão sediadas no Hemisfério Norte, particularmente na África, na Península Arábica e nos desertos asiáticos de Gobi e Taklamakan. No Hemisfério Sul destaca-se apenas o deserto australiano. Apesar de a contribuição natural ser considerada preponderante, têm vindo a ser

demonstrado que o revolvimento dos solos nas atividades agrícolas pode constituir 50% das emissões globais, principalmente em anos de estiagem e ventosos (TEGEN; LACIS; FUNG, 1996). As propriedades óticas das poeiras constituem também uma área de estudo com importância crescente, dado que a dispersão ou a absorção da radiação solar pelos constituintes alumino-silicatados e ferrosos podem contribuir para as alterações climáticas globais (HANSEN *et al.*, 1993; ITO; LIN; PENNER, 2018; SOKOLIK; TOON, 1996).

Os metais de transição por sua vez provem principalmente de fontes de solo, poeira de desertos, fontes industriais e queima de combustíveis fósseis. O ferro, por exemplo, na atmosfera se origina de partículas de poeira de desertos na forma de hematita (Fe_2O_3) e de emissões de combustão de biomassa (JICKELLS *et al.*, 2005; JICKELLS; MOORE, 2015). A ressuspensão do solo gera a maior parte de alumino-silicatos, sódio, cálcio, fósforo e potássio. Metais como Al, Fe e Mn, podem desempenhar um papel na química multifásica. Eles catalisam a produção de oxidantes como o H_2O_2 entre outros (GUNZ; HOFFMAN, 1990). Íons solúveis de ferro desempenham importante papel na fertilidade do solo e de oceanos (JICKELLS *et al.*, 2005; LONGO *et al.*, 2014; MAHOWALD *et al.*, 2009). Ligado ao fósforo e enxofre aumenta-se a solubilização e, portanto, sua biodisponibilidade, ao reagir na atmosfera com compostos ácidos na presença de umidade (MAHOWALD *et al.* 2009). Adicionalmente, metais solúveis presentes no ambiente urbano podem causar eventos respiratórios adversos entre as populações afetadas (FANG *et al.*, 2017; PARDO *et al.*, 2016).

2.1.4 Sais Marinhos

A formação de aerossóis marinhos é consequência do rebentamento de bolhas de ar nas cristas espumosas das ondas (MONAHAN; NIOCAILL, 1986; RICARD *et al.*, 2002). Partículas de spray marinho são compostas por sal marinho e matéria orgânica marinha primária com tamanho de partícula menor que 200 nm de diâmetro (LECK; BIGG, 2007; RUSSELL *et al.*, 2010a). Spray marinho é produzido na superfície do mar por explosão das bolhas, induzidas principalmente, mas não exclusivamente, durante a quebra das ondas. O fluxo de emissão eficaz de partículas de spray marinho para a atmosfera depende da velocidade do vento na superfície,

agitação do mar e estabilidade atmosférica e, com menor influência, da temperatura e da composição da água do mar. O sal marinho contribui positivamente para a dispersão da luz e para o aumento dos núcleos de condensação de nuvens em atmosferas remotas de regiões marinhas onde são desprezáveis outras fontes de matéria particulada (QUINN *et al.*, 1998; RUSSELL *et al.*, 2002). O entendimento sobre as emissões de spray marinho tem se aprimorado nos últimos anos, entretanto, estimativas baseadas na massa total e distribuição de tamanho das partículas emitidas no spray marinho possuem muitas incertezas, apesar de em áreas com ventos fortes, as partículas são mais numerosas no modo de acumulação. (LEE *et al.*, 2011). O dimetilsulfeto (DMS) é o principal precursor natural de aerossóis de sulfato e é emitido por oceanos e classificados como compostos orgânicos voláteis biogênicos (BVOC, do inglês *Biogenic Volatile Organic Compounds*).

2.1.5 Aerossóis orgânicos secundários (SOA)

Os aerossóis orgânicos secundários (SOA, do inglês *Secondary Organic Aerosol*) gerados pelas emissões biogênicas como antropogênicas nos quais compostos orgânicos voláteis são transformados por meio de nucleação, condensação e reações químicas diversas heterogêneas e multifásicas em partículas. Também conhecido como processo de “Conversão Gás-Partícula” (GPC, do inglês *gas-to-particle conversion*), ou seja, gases que uma vez emitidos passam por processos químicos e físicos que tem como consequência final a sua transformação em partículas (HALLQUIST *et al.*, 2009). O processo GPC é importante tanto em condições poluídas como limpas, sendo, por exemplo, o mais importante mecanismo de formação de CCN naturais na região amazônica (Poschl *et al.*, 2010; Martin *et al.*, 2010b).

Chen *et al.* (2009) e Martin *et al.* (2010) mostram que na porção submicrométrica os SOA biogênicos compreendem a maior parte do número de partículas, ao invés de emissões primárias. Tais resultados também são corroborados por Ahlm *et al.* (2009) e Rizzo *et al.* (2010). Chen *et al.* (2009) também mostrou que a contribuição de SOA pode estar relacionada tanto com partículas originadas na bacia amazônica, como também devido ao transporte de larga escala. Esta conclusão é importante, pois como a fração submicrométrica domina a concentração de partículas,

os mecanismos relacionados aos SOA são também os mais relevantes para a modulação da concentração de CCN na região.

Globalmente, a maior parte do SOA é originada por fontes biogênicas, apesar de que fontes antropogênicas de SOA poderiam ser igualmente importantes nas latitudes médias (DE GOUW; JIMENEZ, 2009; LIN *et al.*, 2012). Estudos recentes sugerem que a poluição antropogênica intensifica a formação do SOA a partir dos BVCO's, devido às altas concentrações de óxidos nitrosos (NO_x) que aumentam a oxidação dos BVOC's. A incerteza nas medidas de formação do SOA ainda é muito grande (CHEN *et al.*, 2009; HALLQUIST *et al.*, 2009; PÖHLKER *et al.*, 2012; SPRACKLEN *et al.*, 2011). As emissões de BVOC dependem da quantidade e tipo de vegetação, temperatura, radiação, concentração de CO₂ e umidade do solo (GREENBERG *et al.*, 2004; HARLEY *et al.*, 2004; PEÑUELAS; STAUDT, 2010). Inventários de emissões globais são disponíveis apenas para compostos como isoprenos, monoterpenos e outros poucos compostos (ARNETH *et al.*, 2011; GUENTHER *et al.*, 2006, 2012).

2.2 Propriedades óticas de aerossóis

O espalhamento e a absorção da radiação eletromagnética são processos físicos fundamentais na interação da radiação com a matéria. Estes processos são os principais responsáveis pela atenuação da radiação solar na atmosfera. No espalhamento algumas moléculas ou pequenas partículas em suspensão, cujo índice de refração é diferente do meio no qual se encontra, provocam a distribuição da energia radiativa em todas as direções. Já a absorção é um processo físico em que a energia radiativa incidente é absorvida, por gases ou partículas, e convertida em outras formas de energia. As propriedades de espalhamento e absorção são determinadas pela forma como as vibrações eletrônicas ocorrem no interior da matéria (PROCÓPIO, 2005). O espalhamento da radiação depende de uma propriedade física denominada parâmetro de tamanho (x), que representa a razão entre o tamanho da partícula e o comprimento de onda da radiação incidente. No trabalho de Liou, (2002), para uma partícula esférica de raio (r), x é definido como:

$$x = \frac{2\pi r}{\lambda} \quad (1)$$

Caso a partícula seja muito menor que o comprimento de onda da radiação incidente ($x \ll 1$) o regime de espalhamento é dado pela teoria de Rayleigh (geralmente associado ao espalhamento por moléculas ou partículas atmosféricas muito pequenas em relação ao λ incidente). Neste tipo de espalhamento ocorre uma completa simetria da radiação espalhada em relação ao plano normal à direção da radiação incidente. Independentemente do tamanho da partícula o retro-espalhamento é sempre igual ao espalhamento frontal (Figura 4). A dependência inversa do espalhamento Rayleigh com a quarta potência do comprimento de onda implica que o espalhamento molecular é praticamente desprezível nos processos radiativos na atmosfera para comprimentos de onda maiores que 700 nm. Para ($x \sim 1$) o regime de espalhamento descrito pela teoria Mie (HORVATH, 2009). A teoria de espalhamento Mie é extremamente aplicada em procedimentos que envolvem problemas de sensoriamento remoto na análise de partículas e nuvens.

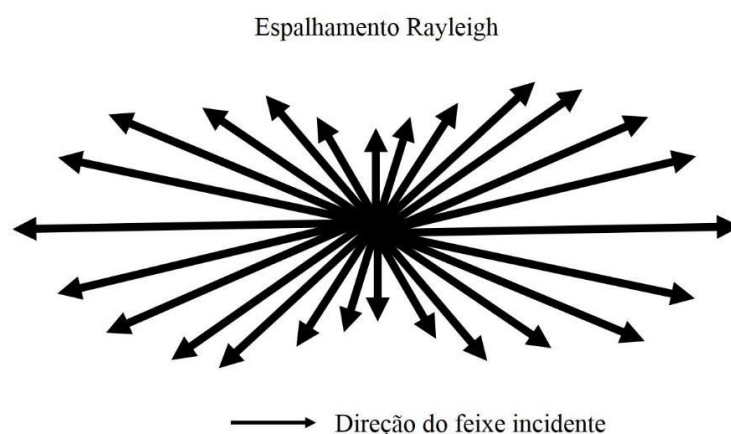


Figura 4. Ilustração do espalhamento simétrico descrito pela teoria de espalhamento Rayleigh.

Além das propriedades de absorção e espalhamento, um conjunto de variáveis radiativas podem ser exploradas na atmosfera, ajudando na compreensão da interação da radiação com a atmosfera, dentre elas:

a) *Coefficiente linear de extinção*: representado por ($b_{ext,\lambda}$) e medido em (cm^{-1}), o coeficiente linear de extinção para um determinado comprimento de onda para um

meio que contém várias partículas (atmosfera) é definido como o produto entre a seção de choque de extinção ($C_{ext, \lambda}$), que representa a área efetiva de uma partícula ou molécula e representa a quantidade de energia removida da irradiância inicial incidente devido a esta partícula ou molécula, e com a densidade numérica das partículas ou moléculas (N):

$$b_{ext, \lambda} = C_{ext, \lambda} \cdot N \quad (2)$$

Onde N é medido em (m^{-3}). O coeficiente linear de extinção, ou simplesmente, coeficiente de extinção, também é dado pela soma dos coeficientes de espalhamento ($b_{esp, \lambda}$) e absorção ($b_{abs, \lambda}$):

$$b_{ext, \lambda} = b_{esp, \lambda} + b_{abs, \lambda} \quad (3)$$

b) *Albedo simples*: esta grandeza adimensional representada por (ω_0 ou SSA), é definida para um determinado comprimento de onda como a razão entre o coeficiente de espalhamento e o coeficiente de extinção e é interpretado como a fração com que um feixe incidente é espalhado em um determinado evento de extinção, de forma que o restante é associado a absorção.

$$\omega_0 = \frac{b_{esp, \lambda}}{b_{ext, \lambda}} = \frac{b_{esp, \lambda}}{b_{esp, \lambda} + b_{abs, \lambda}} \quad (4)$$

c) *Profundidade ótica de extinção*: a profundidade ótica de extinção em um determinado comprimento de onda, ou simplesmente, profundidade ótica, é uma grandeza adimensional, representada por (δ_λ). Esta grandeza é definida como a integração do coeficiente de extinção ao longo de um caminho ótico (ds) (para a atmosfera representa a coluna atmosférica que a radiação atravessa), quantifica a eficácia da matéria óticamente ativa para um determinado comprimento de onda ao longo do caminho percorrido.

$$\delta_\lambda = \int b_{ext, \lambda} dS \quad (5)$$

A profundidade ótica ao longo do caminho ds é composta pelos efeitos distintos de espalhamento e absorção, portanto:

$$\delta_\lambda = \delta_{\text{abs},\lambda} + \delta_{\text{esp},\lambda} \quad (6)$$

d) *Espessura ótica de extinção*: é uma grandeza adimensional representada por (τ_λ) , ou AOD (de *Aerosol Ótical Depth*, em inglês) que define a profundidade ótica em um determinado comprimento de onda medida na vertical:

$$\tau_\lambda = \delta_\lambda \cos\theta = \delta_\lambda \mu_0 \quad (7)$$

Onde $\cos\theta = \mu_0$ representa o cosseno do ângulo zenital, que é o ângulo formado entre a reta vertical (normal à superfície) e a posição do Sol. Analogamente:

$$\tau_\lambda = \tau_{\text{abs},\lambda} + \tau_{\text{esp},\lambda} \quad (8)$$

Em que $\tau_{\text{abs},\lambda}$ é a espessura ótica de absorção de aerossol (AAOD) e $\tau_{\text{esp},\lambda}$ é espessura ótica de espalhamento aerossol (SAOD).

e) *Expoente de Angstrom*: Esta grandeza adimensional representada por (α) , representa a dependência espectral da espessura ótica. A fórmula empírica que relaciona a espessura ótica e o comprimento de onda da radiação incidente é dada por:

$$\tau_\lambda = \gamma^{-\alpha} \quad (9)$$

Os valores de α variam entre 1 e 3 para partículas muito pequenas em relação ao comprimento de onda da radiação incidente, já para partículas muito grandes, entre 0 e 1. Para $\alpha = 0$ o indicativo é que praticamente não existe espalhamento. No regime de espalhamento Rayleigh, α é igual 4, ou seja, vai com o inverso do comprimento de onda a quarta potência. Desta maneira, é possível utilizar o expoente de Angstrom para dar indícios a respeito do tamanho das partículas na atmosfera. O α pode ser obtido através de dois comprimentos de onda distintos:

$$\alpha(\lambda_1, \lambda_2) = - \frac{\ln\left(\frac{\tau_1}{\tau_2}\right)}{\ln\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)} \quad (10)$$

Onde τ_1 e τ_2 representam as espessuras óticas das partículas medidas nos comprimentos λ_1 e λ_2 , respectivamente. Pode-se fazer igual para $\tau_{\text{abs},\lambda}$ e $\tau_{\text{esp},\lambda}$, de modo a avaliar as dependências do comprimento de onda dos coeficientes de espalhamento e absorção, representados, respectivamente, pelo Expoente de Ångström de Espalhamento(Scattering Ångström Exponent em inglês, SAE) e o Expoente de Ångström de absorção (AAE, Absorption Ångström Exponent em inglês):

$$AAE(\lambda_1, \lambda_2) = - \frac{\ln\left(\frac{\tau_{\text{abs},1}}{\tau_{\text{abs},2}}\right)}{\ln\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)} \quad (11)$$

$$SAE(\lambda_1, \lambda_2) = - \frac{\ln\left(\frac{\tau_{\text{esp},1}}{\tau_{\text{esp},2}}\right)}{\ln\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)} \quad (12)$$

Essas propriedades intensivas tem sido utilizado na literatura, (por exemplo, Cappa *et al.*, 2016; Cazorla *et al.*, 2013) para distinguir diferentes tipos de aerossol. De fato, enquanto o SAE está principalmente relacionado ao tamanho das partículas, o AAE está mais ligado à composição do aerossol, mesmo sendo influenciado por distribuição de tamanho de partícula também. Consequentemente, a combinação desses dois parâmetros (SAE e AAE) podem fornecer informações sobre a origem e propriedades do aerossol estudado.

A dependência espectral de AAE também foi avaliada, determinada pela Equação 13, é denominada curvatura espectral de AAOD, e $\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$. É especialmente usado quando diferentes composições de aerossol estão presentes, contribuindo para uma forma mais complexa de absorção (ECK *et al.*, 1999b; MOOSMÜLLER; CHAKRABARTY, 2011; REID *et al.*, 1999).

$$dAAE(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) = 2 \frac{AAE(\lambda_1, \lambda_2) - AAE(\lambda_2, \lambda_3)}{\ln\left(\frac{\lambda_3}{\lambda_1}\right)} \quad (13)$$

2.3 Impacto dos aerossóis na região da Amazônia Legal

Localizado a sudoeste do estado de Mato Grosso, no Brasil, o Pantanal brasileiro se estende por aproximadamente 140.000 km², o que corresponde a 1,6% do território nacional com um complexo sistema de vegetação, incluindo Cerrado dominado por gramíneas, florestas de sequeiro, florestas e pastagens. É inundado sazonalmente na temporada de chuvas que vai de Novembro a Março (VOURLITIS *et al.*, 2013). A estrutura geofísica do Pantanal é composta por grandes planícies e deltas aluviais na bacia do Paraguai (CURADO *et al.*, 2012). A região abriga as cabeceiras dos rios que alimentam a Bacia do Prata, como por exemplo, os rios Cuiabá e Paraguai. O clima é definido como inverno seco austral e verão chuvoso.

O Cerrado brasileiro cobre cerca de 24% do país, e sua vegetação dominante é sobre áreas sujeitas a uma estação seca prolongada (RODRIGUES *et al.*, 2014a; VOURLITIS *et al.*, 2014). Durante o verão, esses rios são alimentados por chuvas originárias da zona de convergência do Atlântico Sul e por nuvens geradas na Bacia Amazônica (KODAMA, 1992). O norte do estado de Mato Grosso integra a região conhecida como Arco do Desmatamento da Bacia Amazônica (PACIFICO *et al.*, 2015) que, juntamente com o Cerrado, sofreu mudança de ocupação de solo nos últimos cinquenta anos devido a agricultura intensiva, a desmatamento, pecuária, crescimento urbano e mineração, resultando na mudança da ocupação do solo, causando aumento de: focos de queimada, temperatura média, concentração de aerossóis, duração do período de secas, redução da absorção de dióxido de carbono.

Durante o período de seca na América do Sul, o desmatamento e as queimadas são responsáveis pela liberação maciça de gases e aerossóis de queima de biomassa na atmosfera, com maior frequência de agosto a outubro (CRUTZEN; ANDREAE, 1990). O *black carbon* é o principal componente dos aerossóis de queima de biomassa e é lançado anualmente 44 Tg na atmosfera (JACOBSON; HANSSON, 2000) e é o terceiro principal elemento de absorção radiativa atmosférica (BOUCHER; RANDALL, 2013). A pluma de fumaça proveniente de desmatamento e queimadas do Arco do desmatamento no Norte é transportada para o Centro-Sul do Continente Sul-Americano (DE MIRANDA *et al.*, 2016), aumentando a concentração de fuligem, e acaba por comprometer a qualidade do ar, a saúde humana (DA SILVA *et al.*, 2010;

JACOBSON *et al.*, 2014; MACHADO-SILVA *et al.*, 2020; SMITH *et al.*, 2014), diminuindo a quantidade de radiação fotossinteticamente para níveis variáveis de dossel, afetando os fluxos de calor sensíveis e latentes na superfície (YAMASOE *et al.*, 2006), e alterando a forçante radiativa (ARTAXO *et al.*, 2013b; PROCOPIO *et al.*, 2004; ROSÁRIO *et al.*, 2011; SENA; ARTAXO; CORREIA, 2013). Também foi observado o aumento da duração da estação seca e a redução da precipitação das chuvas na Bacia do Prata e da Amazônia (CAMPONOGARA; SILVA DIAS; CARRIÓ, 2014; COELHO *et al.*, 2012).

A caracterização das propriedades químicas e físicas dos aerossóis na Amazônia Legal tem sido investigada em vários trabalhos desde a campanha SCARB (ARTAXO *et al.*, 1998; MARTINS *et al.*, 1998a, 1998b; REID *et al.*, 1998), ou mesmo antes (ARTAXO *et al.*, 1999; LESLIE, 1981; MAENHAUT; FERNANDEZ-JIMENEZ; ARTAXO, 1999; WARD, 1992), devido à sua importância no impacto no clima, regime de chuvas, volume de rios e na produtividade da agropecuária. Estudos recentes associaram análises químicas a características óticas no nível do solo na Base Avançada da Universidade Federal de Mato Grosso (UAB), no Pantanal, em colaboração com o Laboratório de Física Atmosférica da Universidade de São Paulo (PALÁCIOS *et al.*, 2020; ROTHMUND *et al.*, 2018; SANTANNA *et al.*, 2016; SANTOS *et al.*, 2016).

Os principais aspectos do aerossol são regulados pelas estações hidrológicas: na estação chuvosa, partículas grossas biogênicas e de ressuspensão do solo são a maioria da composição do aerossol, com pouca fuligem de combustível fóssil; na queima de biomassa na estação seca, poeira do solo e os aerossóis urbanos aumentam sua participação na composição. Trabalhos anteriores relataram que a concentração média de MP e a fração de peso de *black carbon* no modo fino na estação seca variaram em torno de 1,2-50 $\mu\text{g.m}^{-3}$ e 6,7-16%, respectivamente (ARTAXO *et al.*, 1998; MAENHAUT *et al.*, 1999; SANTANNA *et al.*, 2016). Observou-se que a profundidade ótica do aerossol de absorção (AAOD) em Cuiabá (100 km distante da UAB) foi 67% superior à média do AAOD e o menor albedo de espalhamento único de sete locais diferentes na Amazônia brasileira e no Cerrado (PALÁCIOS *et al.*, 2020; ROTHMUND *et al.*, 2018), apesar de a concentração de *black carbon* ser menor do que outros locais no Arco do Desmatamento (ARTAXO *et al.*, 2002, 2013b;

MAENHAUT e FERN, 2002). Esses fatos sugerem que dos aerossóis ao redor da capital mato-grossense tenham um elemento diferencial de outros locais, assim como composição química e a microestrutura.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Locais de medidas

As coletas de filtros foram realizadas na Baía das Pedras (Base Avançada de Pesquisas do Pantanal), unidade que pertence à Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) do Serviço Social do Comércio (SESC) - Pantanal, no município de Poconé, Mato Grosso, a cerca de 160 km de Cuiabá (DALMAGRO, 2012). A pesquisa foi conduzida em uma reserva natural protegida, Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) do Serviço Social do Comércio (SESC)-Pantanal, a uma altitude de 111 m (16°39' S, 56°47' W), o clima é classificado como Aw-tropical úmido, segundo Köppen, quente e úmido com precipitação pluvial no verão. Na RPPN SESC Pantanal, a precipitação pluvial anual varia entre 1.000 e 1.500 mm, com máxima em janeiro e mínima em agosto. As temperaturas variam entre 23 °C com amplitude térmica de 5 °C, com temperaturas médias de 27-28 °C em janeiro e de 22-23 °C em julho (MOREIRA; VASCONCELOS, 2011).

Este local tem como característica uma área de transição de vegetação mista entre floresta e pastagem natural (VOURLITIS *et al.*, 2011). A topografia da várzea é predominantemente plana, causando grandes inundações durante a estação chuvosa (DA CUNHA; JUNK, 2000), que normalmente ocorre entre dezembro e maio, com níveis de água variando entre 1-2 m de profundidade (DA CUNHA; JUNK, 2004). Durante o período seco pode não haver precipitação mensurável e os recuos do nível de água ficam abaixo da superfície do solo. Já a localização do radiômetro Cimet da AERONET (Latitude: 15.73091° Sul, Longitude: 56.07086° Oeste, elevação: 210.0 metros) se encontra em uma região de transição entre o Cerrado e o bioma pantaneiro. O radiômetro para este site está a uma distância aproximadamente de 20 km do perímetro urbano, em uma região com vegetação típica de cerrado, ou seja, árvores de pequeno porte com galhos retorcidos em meio a uma mistura de pastagem e superfícies alagadas (PALÁCIOS, 2017). A região de sítio experimental é denominada Baixada Cuiabana e apresenta vegetação de Cerrado. As localizações das áreas de estudo estão representadas na Figura 5.

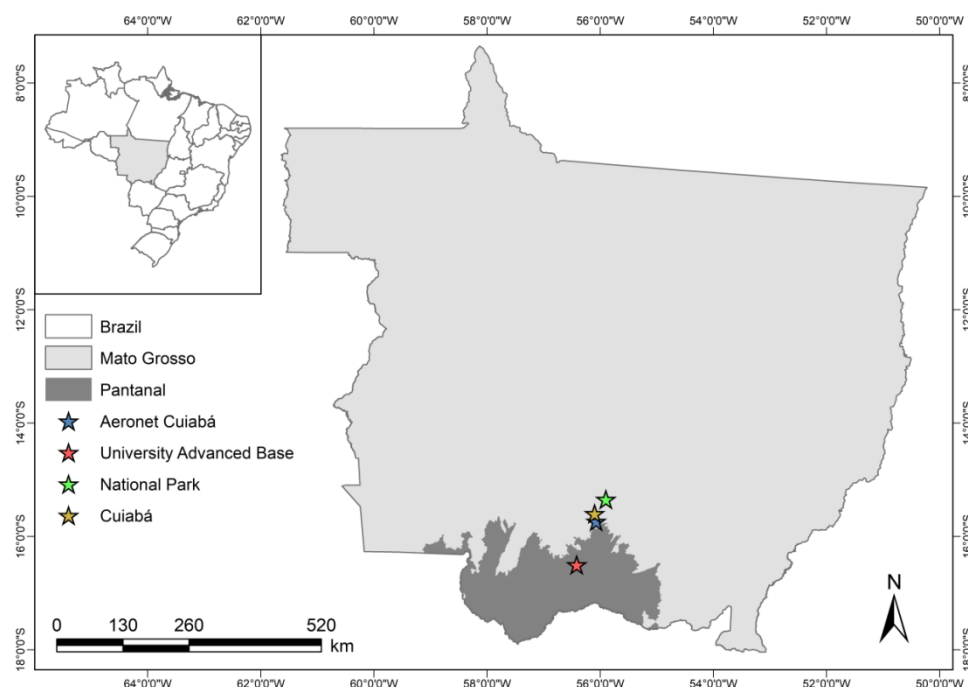


Figura 5. Localização do site da AERONET, da Base Avançada da UFMT, do Parque Nacional da Chapada dos Guimarães e Cuiabá-MT.

O clima nessa região é classificado como tropical semi-úmido (Aw), com características bem definidas de seca por quatro a cinco meses, com relação as estações outono-inverno, a região fica em regime de seca e na primavera-verão em regime de chuva (KÖPPEN, 1948). De forma geral, esse tipo de clima é caracterizado por apresentar um período climático considerado como seco, com altas temperaturas (chegando a 40°C) e baixa umidade relativa do ar na maioria dos dias (abaixo de 30%). Aliadas as características climáticas desse período encontram-se as queimadas nas matas, nos cerrados e pastagens, que lançam grande quantidade de material particulado no ar.

A localização da área de estudo (centro-sul do estado de Mato Grosso) é acometida pelo sistema de circulação estável do Anticiclone do Atlântico Sul e correntes perturbadas de sul e sudoeste do Anticiclone Polar durante a estação seca provocando as quedas de temperatura nessa estação (MAITELLI, 1994; RODRIGUES *et al.*, 2014b). Já na estação chuvosa o sistema de correntes perturbadas de oeste e noroeste causa a elevação da temperatura com ocorrências de precipitação (NOBRE *et al.*, 1998).



Figura 6. Fotômetro Cimel da AERONET na Fazenda Miranda. Cuiabá-MT. Adaptado de (PALÁCIOS, 2017).

3.2 Instrumentação

3.2.1 Coleta de material particulado por filtros

As coletas de material particulado atmosférico foram realizadas na base de Pesquisas Avançadas do Pantanal Mato-grossense e foram analisadas pelo Laboratório de Física Atmosférica (LFA) do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP). Foram coletadas 27 amostras de particulado no período de 16/abril a 23/outubro de 2012.

O equipamento utilizado para a coleta do material particulado é o Amostrador de Particulado Fino e Grosso (AFG) para particulado inalável ($< 10 \mu\text{m}$ diâmetro de equivalência aerodinâmica, DEA). Este diâmetro de equivalência do material particulado é caracterizado em fração fina ($< 2,5 \mu\text{m}$, DEA) e grossa ($> 2,5 \mu\text{m}$ e $< 10,0 \mu\text{m}$, DEA), para explicar o material coletado outras técnicas com equipamentos diferentes (ED-XRF e Gravimetria) foram realizados para integrarem as informações para que o nível de confiabilidade dos resultados das amostras seja satisfatório (SANTOS, 2014).

O centro de coleta de material particulado foi montado e fixado em lugar de fácil acesso para troca de filtros (MAENHAUT *et al.*, 2002), instalado em um "inlet" apropriadamente projetado, colocado a uma altura de 2,8 m do solo com proteção contra chuva e uma rede de nylon na entrada do inlet para prevenir a entrada de insetos (BARBOSA, 2007).

O AFG coleta em dois intervalos de tamanho as partículas de aerossóis, conforme esquema da Figura 7. O material particulado é coletado por impactação inercial, em dois filtros de polycarbonato da Nuclepore dispostos em série. O primeiro estágio do empacotamento retém as partículas da fração grossa com a utilização de um filtro grosso com porosidade de 8 μm de diâmetro. As partículas da fração fina são retidas no segundo estágio de empacotamento, por meio de um filtro com poros de 0,4 μm de diâmetro. Ambos os filtros possuem 47 mm de diâmetro (ARTAXO, 2002). O fluxo típico durante a amostragem foi de 14 litros por minuto. O tempo de integração de cada conjunto de filtros foi de aproximadamente 48 h na estação seca e 72 h na estação chuvosa. O fluxo mínimo é de 1,8 e máximo de 16,7 litros por minuto. Para cada fração tanto fina quanto grossa possui eficiência de 50% de coleta (PARKER *et al.*, 1977).

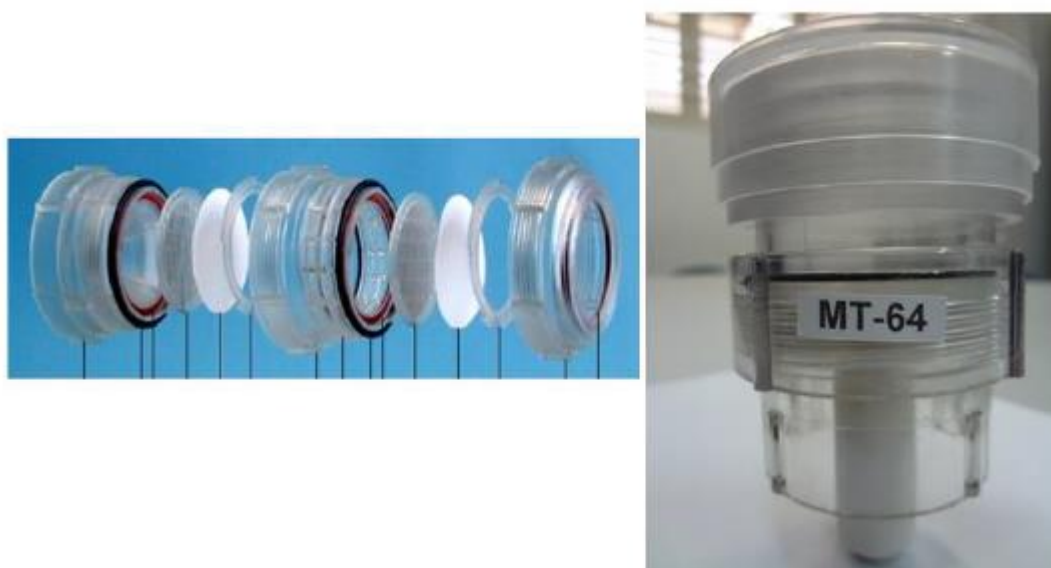


Figura 7. Foto à esquerda mostrando todos os estágios do amostrador de particulado fino e grosso, e a direita está o amostrador de particulado fino e grosso (AFG) montado (SANTOS, 2014).

O AFG é conectado por uma tubulação de PVC a uma bomba de vácuo. A tubulação passa por um medidor de fluxo (Mass flowmeter), que mede o fluxo de ar em tempo real e volume total de ar amostrado. Cada circuito elétrico possui um horímetro que fornece o tempo de amostragem, integrado em horas. Os dois filtros coletados pelo amostrador AFG foram analisados por gravimetria para determinação da massa da moda grossa e moda fina. Também foram realizadas análises de composição elementar e refletância (SANTOS, 2016).

3.2.2 Medidas da AERONET

O radiômetro solar mede a extinção do feixe direto da radiação em bandas de diferentes comprimentos de onda, e deriva a contribuição das partículas de aerossóis na extinção total do feixe. As medidas diretas têm um campo de visão de 1.2° e são realizadas em oito bandas espectrais (340, 380, 440, 500, 670, 870, 940, 1020 nm), determinadas através de filtros de interferência rotacionais localizados dentro do sensor. Para a análise de extinção do feixe, assume-se que a radiação tenha pouca, ou nenhuma, interação com a superfície ou nuvens, e que a absorção gasosa seja mínima, ou conhecida, para o comprimento de onda escolhido. Cada medida leva aproximadamente dez segundos para ser realizada, sendo que uma sequência pré-programada inicia as medidas pela manhã e encerra pela tarde.

O canal de 940 nm é utilizado para obtenção da coluna de vapor d'água precipitável (ou água precipitável) (HALTHORE *et al.*, 1997). Os demais canais são utilizados para a obtenção da espessura ótica dos aerossóis, que é calculada através da extinção da radiação, baseada na Lei de Beer-Lambert-Bouguer (PALÁCIOS, 2017). A atenuação da radiação devido ao espalhamento Rayleigh e a absorção pelo ozônio e outros gases que possam interferir nas medidas são estimadas e removidas para a determinação da espessura ótica devido apenas aos aerossóis.

Para realizar a diferenciação entre aerossóis e nuvens, a cada 15 minutos são efetuadas três medidas de radiação direta para cada comprimento de onda (os chamados tripletos), em intervalos de 30 segundos entre cada medida. Como a variação temporal das nuvens é bem maior que a dos aerossóis, a contaminação das medidas por nuvens pode ser estimada através de análises da variabilidade do sinal em cada triplete (SMIRNOV *et al.*, 2000).

A rede AERONET segue um protocolo para a garantia da qualidade de dados. Os dados de nível 1.0 representam as medidas brutas, os de nível 1.5 representam as medidas processadas, onde são eliminadas as contaminações por nuvens. Já os dados de nível 2.0 representam as medidas processadas e garantidas pela rede, nestas medidas são realizadas calibrações finais (ECK *et al.*, 1999b) e um corte para a profundidade ótica do aerossol no canal de 440 nm (AOD 440 nm). Para os dados de nível 2.0 a τ_{440} em AOD 440 nm tem que ser maior que 0.4, o que minimiza a incerteza para os valores de AOD que variam entre 0.01 e 0.02 (ECK *et al.*, 1999b). Cabe lembrar que as medidas de AERONET são de toda a coluna atmosférica, e diferencia-se das medidas *in-situ* que medem os aerossóis captados em um nível específico em relação ao solo. Diversas propriedades diferenciam de acordo com a altitude do aerossol e tempo de vida de suspensão e exposição à atmosfera, como higroscopicidade, composição química, oxidação, tamanho médio, microestrutura e volume (ANDREWS *et al.*, 2017).

Neste trabalho foram utilizados os produtos diretos de nível 1.5 para AOD, AAOD, SAOD, SSA, e Expoentes de Angstrom, e nível 2.0 para distribuição volumétrica do raio das partículas, já que os valores de AOD são extremamente baixos na região Amazônica na estação chuvosa. Os produtos fornecidos pela AERONET estão disponíveis gratuitamente on-line em <http://AERONET.gsfc.nasa.gov/>, que contém todas as informações sobre o sistema de monitoramento.

3.3 Metodologia

3.3.1 Gravimetria dos filtros

A massa dos aerossóis coletados nos filtros do AFG foi determinada pela análise gravimétrica, cujo princípio resume-se a medir a massa do filtro antes e após a amostragem, em balança analítica de alta precisão, sensibilidade, com temperatura e umidade controlada. A diferença entre as massas é devida ao material depositado nos filtros. Conhecendo-se o volume de ar amostrado, pode-se determinar a concentração do particulado coletado nas frações fina e grossa correspondente a cada filtro (BEGUM *et al.*, 2010).

A determinação gravimétrica foi realizada em uma balança com precisão nominal de 1 µg (balança eletrônica micro analítica de precisão nominal 1 µg, marca Mettler – Toledo, modelo MX5. Neste procedimento, antes da pesagem, os filtros são descarregados eletrostaticamente com um sistema de deseletrização da METTLER. A análise gravimétrica tem um princípio bem simples, mas possui uma série de procedimentos para assegurar a qualidade da medida. A primeira etapa se baseia na definição de um lote de filtros de polycarbonato que atenda à necessidade do período de amostragem, para evitar alterações entre lotes de fabricação.

Antes e após cada pesagem as películas de polycarbonato ficaram expostas a fontes radioativas de ^{210}Po , para neutralização das cargas elétricas presentes em sua superfície, podendo alterar os resultados da pesagem. Na segunda etapa, os filtros foram montados nos suportes do AFG e embalados em papel alumínio para serem levados a campo, onde se realizou as coletas. Estes procedimentos foram realizados dentro de um laboratório adequado e limpo, possuindo um ambiente controlado com temperatura de 20 °C e umidade relativa de 50%. O manuseio dos filtros foi realizado exclusivamente com pinças dentro de uma capela limpa (ARANA, 2014).

Para quantificar a concentração elementar do material depositado nos filtros, é necessário um procedimento para subtrair a contaminação elementar presente nos filtros Nuclepore, já que estes possuem valores baixos de concentração de contaminantes (geralmente Br, S, Cl, Fe, Zn e outros elementos traços). Assim, realizou-se a análise de um conjunto de outros filtros que não sofreram amostragem, os chamados “filtros brancos”. Esses filtros pertencem ao mesmo lote de fabricação e são submetidos aos mesmos processos de análise que os filtros amostrados (montagem nos AFG, análise quantitativa, entre outros), à exceção da amostragem propriamente dita, sendo inclusive levados aos locais de amostragem.

Depois de serem levados a campo na base de Pesquisas Avançadas do Pantanal Mato-grossense e amostrados, os suportes AFGs foram embalados novamente com papel alumínio, colocados em embalagens hermeticamente fechadas e levados para o laboratório em São Paulo. Da mesma forma que antes, também sofreram uma climatização de 24 h e foram expostos a fontes radioativas para neutralização de cargas elétricas. Finalmente, a massa final foi medida duas vezes para cada filtro, para diminuir as incertezas (ARANA, 2014). A diferença de massa dos filtros antes e depois

da amostragem fornece a massa de material particulado depositado durante a coleta nos filtros. Do resultado é ainda subtraída a média dos ganhos de massa adquiridos nos filtros brancos (ARANA, 2014).

3.3.2 Análise de *black carbon* por refletância

A determinação das concentrações de *black carbon* (BC) foi feita pela técnica de refletância ótica antes e depois da coleta das partículas de aerossóis nos filtros. O processo se baseia na incidência de luz de uma lâmpada de tungstênio (W) na amostra, a qual reflete uma intensidade inversamente proporcional à quantidade de *black carbon* presente. Como as partículas de *black carbon* absorvem luz com alta eficiência, tanto maior a quantidade presente, menor será a intensidade de luz refletida e detectada pelo foto sensor. Sendo que o aparelho foi ajustado com os filtros brancos para 100 % de reflexão (MARTINS, 1999; RIZZO, 2002). O equipamento utilizado foi um refletômetro, marca *Diffusion Sistem Ltda*, modelo *Smoke Stain Reflectometer – Model 43*. A curva de calibração da luz refletida pela quantidade de *black carbon* foi obtida empiricamente de acordo com a Equação 21, a qual indica que a partir da refletância medida, pode-se obter a massa de *black carbon* presente na amostra para o processo de calibração do equipamento (MARTINS, 1999).

$$BC = \left[(30.9 \pm 0.15) - (14.454 \pm 0.007) \times \log R \frac{A}{V} \right] \quad (21)$$

Em que:

BC é a concentração em $\mu\text{g.m}^{-3}$;

R é a Refletância (%);

A é a Área do filtro ($14,4 \text{ cm}^2$);

V é o Volume amostrado (m^3).

A medida de Black carbono por refletância toma a medida de toda a amostra sob exposição da luz e não diferencia outras formas que o carbono possa estar e também absorve a luz, assim como outros elementos químicos como ferro, superestimando a presença de carbono elementar e similares (REISINGER *et al.*, 2008). O carbono orgânico absorvivo, o *brown carbon*, também pode estar presente na amostra e por isso a literatura sugere-se denominar o BC encontrado por essa forma como *Black Carbon Equivalente* ou BCE.

3.3.3 Fluorescência de Raios-X por energia dispersiva para composição elementar

A análise multielementar instrumental por fluorescência de raios-X (ED-XRF) pode detectar os seguintes elementos: Al, Si, P, S, Cl, Ar, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb e Ag que se baseia na medida das intensidades dos raios-X que são emitidos pelos componentes dos elementos químicos da amostra quando ela é devidamente excitada, os quais, por sua vez, emitem linhas espectrais com energias características dos elementos e das quais as intensidades estão relacionadas com a concentração de cada elemento e, assim quantificar a concentração de elementos químicos presentes nas amostras contendo aerossóis atmosféricos (VAN GRIEKEN, R. MARKOWICZ, 2002; VAN MEEL *et al.*, 2009).

A espectrometria de fluorescência de raios-X por dispersão de energia é um método alternativo para outras técnicas analíticas, tais como ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) ou PIXE (Particle Induced X Ray Emission), para análises multielementares de aerossóis depositados nos filtros (VAN MEEL, *et al.*, 2009). A EDXRF tem como vantagens o custo moderado, a possibilidade de determinar simultaneamente um intervalo amplo de elementos, assim como, a automação das medidas e a não dissolução das amostras. São um método não destrutivo, sendo possível irradiar a amostra várias vezes (ARANA, 2014).

O equipamento que está no Laboratório de Física Atmosférica – USP é um Epsilon Modelo Espectrômetro da PANalytical com instrumentação menos dispendiosa e emprego mais prático. Pode-se dividir a fluorescência de raios-X em três fases, sendo a excitação dos elementos que constituem a amostra; dispersão dos raios-X característicos emitidos pela amostra; e detecção desses raios.

Os elementos identificados nesse trabalho foram: Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Se, Br, Rb, Sr, Cd, Sb e Pb e os limites de detecção para cada elemento segundo a Tabela 2.

Quando um elemento de uma amostra é excitado, este tende a expulsar os elétrons do interior dos níveis dos átomos, e como consequências disto, os elétrons dos níveis mais afastados realizam um salto quântico para preencher a vacância (nível

atômico ou subnível a ser preenchido). Cada transição eletrônica constitui uma perda de energia para o elétron, e esta energia é emitida na forma de um fóton de raios-X, de energia característica e bem definida para cada elemento. Assim, a análise por fluorescência de raios X consiste de três fases: excitação dos elementos que constituem a amostra, dispersão dos raios X característicos emitidos pela amostra e detecção desses raios X (ARANA, 2014; PEREIRA; PEREIRA-FILHO; BUENO, 2006; PERRING, L.; ANDREY, 2003).

A técnica ED-XRF vem sendo utilizada principalmente para amostras sólidas, permitindo a determinação da concentração de vários elementos, sem a necessidade de destruir a amostra, ou seja, de modo instrumental, sem nenhum pré-tratamento químico. Para amostras líquidas pode-se recorrer a uma pré-concentração, empregando-se troca iônica, precipitação, quelação, entre outras (ARANA, 2014; PEREIRA; PEREIRA-FILHO; BUENO, 2006; PERRING, L.; ANDREY, 2003).

A técnica de espectrometria de fluorescência de raios-X por dispersão de energia apresenta uma alta velocidade analítica para análise semi-quantitativa de amostras de interesse agroindustrial, geológico e ambiental quando se utiliza tubos de raios X na excitação. Tem-se também utilizado fontes radioativas emissoras de raios X e/ou gama de baixa energia (^{55}Fe , ^{57}Co , ^{109}Cd , ^{238}Pu , ^{241}Am) substituindo os tubos de raios X na excitação, tornando a análise ainda mais simples, barata e de maior facilidade de operação, mas com a desvantagem de perda de sensibilidade analítica. Mesmo assim, a ED-XRF com excitação por fontes radioativas tem encontrado inúmeras aplicações, principalmente na área industrial, geológica e de prospecção mineral, onde não há necessidade de uma alta sensibilidade analítica (VAN MEEL, *et al.*, 2009).

Essa técnica tem sido muito usada nos últimos anos, tanto para análise qualitativa quanto para quantitativa, podendo atingir limites de detecção da ordem de 1 a 20 ppm para amostras sólidas (sem tratamento químico) e da ordem de 1 a 20 ppb para amostras líquidas (com tratamento de pré-concentração) (PERRING e ANDREY, 2003; PEREIRA *et al.*, 2006; SANTOS, 2014).

3.4 Classificação química

Cazorla *et al.* (2013) estabeleceram uma classificação química para distinguir aerossóis, medindo pelo menos 75% da fração mássica de elementos químicos típicos de fontes por espectrometria de massa. Em locais semelhantes deste estudo, na estação chuvosa e seca, os aerossóis compreendem aproximadamente 80-90% da fração de massa orgânica, respectivamente (ARTAXO *et al.*, 2013b; BRITO *et al.*, 2014).

No entanto, os elementos traços e as concentrações de *black carbon* nunca são mais que 20% de toda a massa do filtro depositada nos modos fino e grosso, e os resíduos são compostos orgânicos, sulfatos e nitratos não refratários. Portanto, para a classificação química dos aerossóis, este trabalho utilizará apenas a concentração de *black carbon* e elementos traços dos filtros, conforme descrito na Tabela 2. A classificação seguiu os resultados da repartição química de (ARANA; ARTAXO, 2014; SANTANNA *et al.*, 2016; SANTOS *et al.*, 2016). A maioria dos elementos está presente nos dois modos das classes, com exceção do potássio e magnésio considerados biogênicos no modo grosso e da queima de biomassa no modo fino, seguindo as considerações de (ARTAXO *et al.*, 1988, 1998; REID; HOBBS, 1998).

Tabela 2 - Classificação Química de Elementos Traço de acordo com a separação de tamanho de abertura dos filtros

Classificação de Fonte Química	Moda Grossa	Moda Fina
Carbono Elemental (EC)	BCe	BCe
Queima de Biomassa (BB)	S, Zn, Br	K, S, Cr, Mg, Zn
Elementos de crosta (Crustal Dust)	Na, Al, Si, Ca, Ti, V, Fe, Ni, Cu, others	Na, Al, Si, Ca, Ti, V, Fe, Ni, Cu, Br, others
Biogênico (BG)	K, Cl, P, Mg	Cl, P

A fração de massa de cada elemento i , x_i em cada filtro j é calculada usando a Equação 22 como a razão entre a concentração de massa em um filtro, m_{ij} e sua massa vestigial total mais a massa de *black carbon* em um determinado filtro j , TE_j . A fração da classe química k , y_k , é dada na Equação 23, em que f_j são os elementos traço e o filtro de fração mássica de *black carbon* j em uma determinada amostragem.

$$x_{i,j} = \frac{m_{i,j}}{TE_j} \quad (22)$$

$$y_k = \sum_j^M \sum_i^N f_j x_{i,k} \quad (23)$$

$$f_j = \frac{TE_j}{Total\ trace} \quad (24)$$

3.5 Análise de grupos óticos

Os Expoentes de Angstrom de Extinção (α), Absorção e Dispersão são variáveis relacionadas à dependência espectral de AOD, AAOD e SAOD, respectivamente, e podem ser relacionados por um ajuste da lei de potência, podem ser calculados com as Equações 17-19. O número da inclinação depende do material do aerossol e do tamanho dominante. O AAE está associado à composição química. A literatura relata alguns valores típicos em relação aos aerossóis comuns, como AAE igual a fuligem de *black carbon*, $AAE > 1$ para partículas BC revestidas com não absorventes, $AAE > 1,5$ para poeira ou mais de 2 para uma mistura complexa de elementos urbanos, industriais e industriais. poeira do deserto. A dependência espectral do coeficiente de espalhamento, SAE, está relacionada ao modo de tamanho dominante do aerossol na proporção inversa. Valores maiores, onde estão associados a partículas menores, e números mais baixos sugerem a predominância de partículas no modo grosso (BERGSTROM *et al.*, 2007).

A dependência espectral de AAE também foi avaliada, determinada pela Equação 13 e denominada curvatura espectral de AAOD. É especialmente usado quando diferentes composições de aerossol estão presentes, contribuindo para uma forma mais complexa de absorção (ECK *et al.*, 1999; MOOSMÜLLER E CHAKRABARTY, 2011; REID *et al.*, 1999). Os comprimentos de onda escolhidos foram $\lambda_1 = 440$, $\lambda_2 = 675$ e $\lambda_3 = 870$ nm, utilizados pela AERONET para determinar o AAOD e SAOD. Valentini *et al.* (2020) usaram o dAAE associado aos expoentes de Angstrom de absorção e dispersão para identificar episódios locais e positivos.

Segundo Dubovik *et al.* (2002), Russell *et al.* (2010) e Bahadur *et al.* (2012) relataram a análise de *cluster* de propriedades óticas intensivas como um método para identificar e classificar tipos de aerossóis, fontes e uma indicação da composição química. O método consiste em traçar EAE vs AAE ou AAE vs SAE, portanto, os

valores típicos mencionados anteriormente servem como diretrizes para separar regiões associadas a diferentes tipos de aerossóis absorventes. Alguns locais têm tipos de aerossóis mais distintos e a distinção é mais direta e menos difícil, outros locais, por outro lado, envolvem emissões naturais, urbanas e industriais, exigindo propriedades óticas intensivas adicionais para melhor esclarecer o conjunto de elementos (CAZORLA *et al.*, 2013; ROMANO *et al.*, 2019; VALENTINI *et al.*, 2020a; VALENZUELA *et al.*, 2015).

Cazorla *et al.* (2013) descreveram oito denominações para propriedades óticas intensivas comuns, para AAE <1 e SAE <1,5 como partículas grandes revestidas, com baixa absorção e tamanho grande; AAE <1 e SAE > 1,5 como carbono elementar (EC) dominada, para tamanho fino e baixa dependência espectral. Mas se as partículas são finas, mas absorvem muito a comprimentos de onda curtos, são ricas em carbono orgânico ou mais próximas da definição de *brown carbon* (Andreae e Gelencsér, 2006), elas são nomeadas como carbono orgânico (OC) e incluídas em AAE > 1, 5 e SAE > 1,5. As partículas dominadas pela poeira têm comportamento ótico semelhante ao OC, mas com tamanho médio maior. Entre essas quatro classificações principais, existem as misturas: Dust/EC, Dust/OC, OC/EC e Mistura.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Eventos ambientais e meteorológicos no período seco

Em geral, o clima local do sítio da Base Avançada possui verões úmidos com atmosfera pristina, predomínio de partículas grossas biogênicas e poucos aerossóis de fuligem de combustíveis fósseis urbanos e de queimadas, e invernos secos com maior quantidade de poeira fina de queima de biomassa. É comum durante a estação seca (agosto-outubro, mais especificamente), o transporte de fumaça do norte para o sul devido aos incêndios intensos que transportam também poeira do solo devido à atividade agrícola. Na transição inverno-primavera, as temperaturas aumentam substancialmente e a umidade relativa atinge níveis do deserto durante as tardes, podendo chegar abaixo de 10%.

Em meados do inverno e mais especificamente em setembro, frentes frias chegam do sul e do sudeste do Brasil, causando chuvas leves, reduzindo a concentração de aerossóis e aumentando a umidade (MARENGO; NOBRE; CULF, 1997). Incêndios naturais podem ocorrer devido a raios em pastagens secas no Pantanal e no Cerrado. O Parque Nacional da Chapada dos Guimarães está localizado a 80 km ao norte do local do fotômetro e a 220 km da Base Avançada da Universidade, frequentemente com vastas áreas destruídas por incêndios florestais. Em setembro de 2012, 130 km² foram queimados neste parque, liberando fumaça sobre Cuiabá e seus arredores, incluindo o site da AERONET e a Base Avançada da Universidade (INPE, 2020). É importante afirmar que o aumento da velocidade do vento em agosto e setembro contribui para a propagação do fogo.

Os dados de meteorologia, focos de queimada, número de médias diárias de inversão da AERONET e número de amostras de filtros estão dispostos na Tabela 3 no período de amostragem. Os filtros foram coletados durante a campanha de doutoramento da Anna Carolinna Albino Santos (SANTOS, 2016) e apenas os dados referentes ao ano de 2012 foram utilizados. O principal motivo é a baixa disponibilidade de dados no ano de 2013 no sistema da AERONET no nível 1.5 para que se tenha um cruzamento de informações óticas e químicas. Na Tabela 3 mostra-se a precipitação acumulada no período, a média das temperaturas máximas e mínimas, o número de foco de queimadas retirados do site do INPE-Queimadas (INPE, 2020)

utilizando todos os satélites sob o Estado de Mato Grosso. É notável a relação entre a redução de chuvas nos meses de julho até setembro e o aumento de queimadas, registra-se que as chuvas em setembro ocorreram no final desse mês.

Tabela 3 - Dados mensais precipitação, temperaturas máximas e mínimas, focos de queimada e de amostragem de filtros e da AERONET

Mês	Precipitação (mm)*	T _{max} (°C)*	T _{min} (°C)*	Focos de queimadas**	Pontos de médias diárias de SSA	Amostras de filtros
Abril	51.1	33.79	22.8	2,877	10	3
Maio	264.2	32.2	19.4	9,421	20	5
Junho	33.3	31.0	18.4	24,163	20	4
Julho	0	32.0	16.2	27,012	26	2
Agosto	0	35.5	17.1	90,913	27	5
Setembro	40.3	38.0	19.9	155,038	19	4
Outubro	26	36.8	22.7	46,824	17	4

Fontes: (INMET, 2020)*, (INPE, 2020)**

Para uma análise aguçada da transição do início da época seca em Abril até o final em outubro, foram arranjados os dados meteorológicos de umidade relativa, velocidade do vento e pressão atmosférica, junto a isso, foram adicionados os parâmetros óticos do fotômetro da AERONET e os dados gravimétricos de material particulado (MP) coletado em filtros como mostrados na Figura 7. Os dados dispostos na Figura 7 representam médias diárias nos períodos de coleta dos filtros. De abril a julho, a temperatura média é reduzida, assim como a temperatura mínima, a umidade relativa oscilou em torno de 75% com redução mais acentuada com o término das chuvas em julho. A velocidade dos ventos aumenta nesse período, passando de 1,5 em média para mais de 2 m/s. A direção do destino dos ventos está na Figura 9. De abril a julho, a direção dominante foi Norte-Noroeste, com maior intensidade a Oeste em maio e junho. As partículas coletadas estão majoritariamente na moda grossa e em baixas concentrações. Nesses meses, a pressão atmosférica apresentou pouca mudança, excetuando a maior frente fria, como se observa em imagens de satélite, que chega em 13 de junho na região, em que a pressão abaixa a 996 hPa.

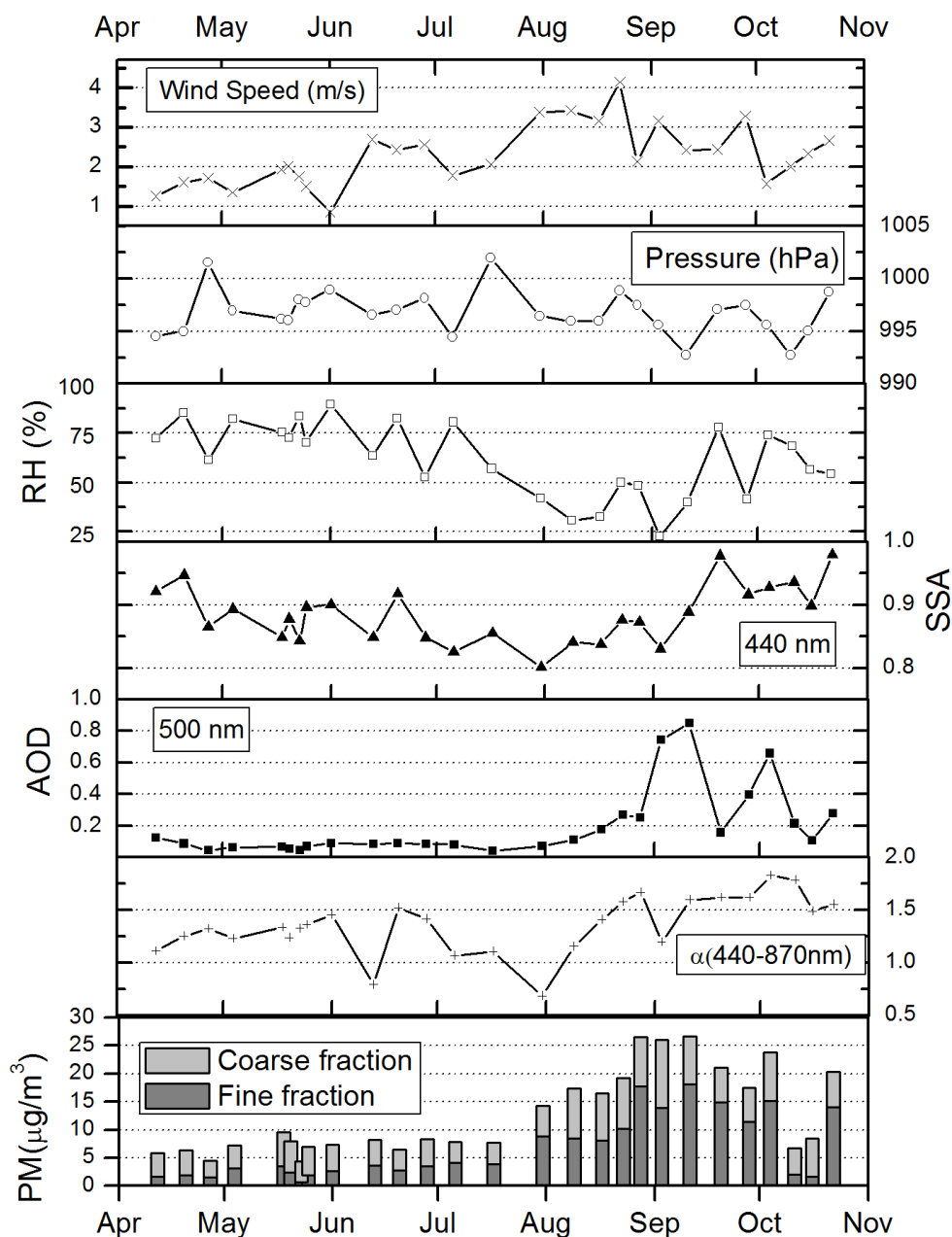


Figura 7. Compilação de dados meteorológicos como velocidade do vento, pressão atmosférica, umidade relativa (RH), albedo de espalhamento simples (SSA), profundidade ótica de aerossóis (AOD), expoente de Angström de extinção $\alpha_{440-870}$, gravimétricos de material particulado em ambas frações (PM) na campanha de 2012.

De julho a outubro, as variáveis meteorológicas, assim como as óticas, se alteram como esperado para a estação. A profundidade ótica do aerossol que está diretamente relacionada à quantidade de aerossóis na coluna atmosférica, permaneceu

muito baixa até agosto, quando começou a aumentar, coincidindo com a tendência de aumento da concentração de MP, nas modas fina e grossa, e com a intensidade das queimadas e incêndios (INPE, 2020). Nesse período, há redução de umidade relativa, aumento da velocidade do vento, e pressão atmosférica quase constante. Quanto à medida de espalhamento de radiação, o albedo de espalhamento simples (SSA, em inglês), percebe-se a redução durante o período, atingindo menores valores entre julho e agosto, ao reduzir a precipitação e quando há poucos focos de incêndio e, portanto, aerossóis de queima de biomassa estão poucos presentes.

Em meados de setembro, no apogeu das queimadas, a coleta de material particulado nas modas fina, principalmente, e grossa atinge seu pico, assim como o AOD. O Albedo de Espalhamento Único depende do tamanho e da composição química do aerossol, em florestas, savanas e pastagem, a dispersão é aumentada se o carbono orgânico ou as partículas grandes biogênicas forem dominantes (SEINFELD e PANDIS, 2006). No período chuvoso, o SSA apresenta maiores valores justamente pela baixa presença de aerossóis e maior concentração de particulados biogênicos e recoberto de compostos orgânicos não-refratários, como mostrado na Figura 9. Ao longo do período seco, SSA teve seu valor médio reduzido, mais fortemente entre julho e agosto, aumentando em setembro até dezembro.

A mudança é bastante perceptível quanto ao tamanho dos aerossóis, o expoente de Angstrom ($\alpha_{440-870}$, Alpha na Figura 7), representa a dependência espectral de AOD e é calculado como a Equação 10. O expoente de Ångström é usado como um indicador qualitativo do tamanho de partícula de aerossol, com valores maiores que 2 indicando pequenas partículas associado a subprodutos de combustão e valores inferiores a 1, indicando partículas grandes como sal marinho, poeira do solo e biogênica (ECK *et al.*, 1999a; REID *et al.*, 2004; RUSSELL *et al.*, 2010b; SCHUSTER; DUBOVIK; HOLBEN, 2006). Em abril-junho, $\alpha_{440-870}$ varia em torno de 1,25, acompanhando a participação da moda grossa no MP ($\sim 66 \pm 8\%$ na fração massa média nesse período), com tendência de redução de abril a agosto.

Tanto o $\alpha_{440-870}$ quanto o SSA tiveram seus valores médios reduzidos e, em dois de agosto, ambos atingiram seu ponto mais baixo. Emissões de combustíveis fósseis possuem baixo SSA, em torno de 0,4 e valores de Expoente de Ångström ao redor de 1,75-2,0 (BAHADUR *et al.*, 2012). A baixa presença de queimadas nessa época indica

que há influência da pluma urbana de Cuiabá nas partículas analisadas na coluna atmosférica. Isso indica o crescimento de componentes de absorção como o *black carbon*, mas ao mesmo tempo a população geral de aerossóis ainda é dominada por partículas grossas.

Outro modo de constatar a transformação do tamanho de partícula é através da análise do produto de inversão por Distribuição Volumétrica de Tamanho AERONET, apresentado na Figura 8 como médias mensais. De abril até agosto, há predominância de partículas grossas, mas assim que o inverno termina, o aumento de partículas finas é perceptível, atingindo seu pico em setembro e a redução da moda grossa no volume ($r_p > 0.1 \mu\text{m}$).

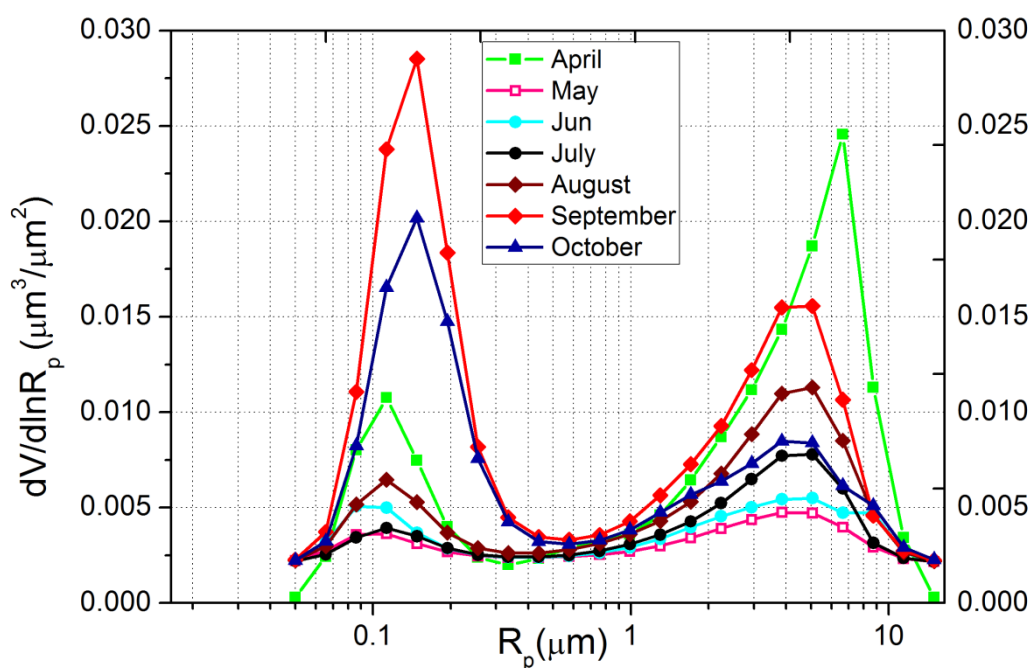


Figura 8. Médias mensais de distribuição volumétrica de tamanho de aerossóis da AERONET nível 2.0

Em agosto, como mencionado anteriormente, as queimadas aumentam e a precipitação diminui, assim, a da pluma de fumaça se torna mais espessa em setembro, medida pela AOD e concentração de MP nas duas modas. Uma das consequências é o aumento do expoente de Angstrom e SSA de agosto até cinco de setembro, quando a umidade relativa média caiu para 22%, em um sistema de baixa pressão. No dia 7 de

setembro, iniciou-se o incêndio no Parque Nacional, aumentando o SSA, AOD e MP coletados nas modas fina e grossa, além disso, o expoente de Angstrom sobe para 1,8 com redução da fração mássica da moda grossa para 29% aproximadamente em 22 de setembro. No dia anterior, uma frente fria chegara do Sul, aumentando a umidade relativa e o SSA, mas ao mesmo tempo reduziram-se a AOD e a concentração de MP.

A precipitação acumulada em setembro foi superior a outubro e houve um novo aumento na AOD e na concentração de MP. No mês de agosto é maior na direção dos ventos é Oeste-Sudoeste, o que torna mais robusta a hipótese de influência urbana, uma vez que essa é a direção da base Avançada de Universidade e do fotômetro da AERONET em relação à cidade de Cuiabá.

O local onde os filtros foram colocados é uma reserva natural com um complexo sistema de vegetação (floresta e Cerrado) e próximo ao rio Cuiabá e a favor do vento da capital do estado na estação seca, portanto, espera-se que os valores do BC sejam relativos à pluma regional e partículas envelhecidas transportadas. No entanto em boa parte do período seco, a direção do vento é N/NO e alterou-se sensivelmente no mês de Agosto para O/SO, tornando bem mais plausível que o BC registrado seja de queimadas em locais próximos em boa parte do período, como se vê nas Figuras 9, ou de longo transporte em maiores altitudes como se observa nas Retrotrajetórias do HYSPLIT na Figura 10.

O site do fotômetro da AERONET está localizado a vinte quilômetros do centro da cidade e próximo a uma rodovia, e pode haver um viés devido à pluma urbana e de emissão de combustíveis fósseis. O site Cuiabá-Miranda possui o maior índice de parte refratária imaginária (absorvente) nas estações chuvosa e seca, o menor valor de SSA e maior dependência espectral do que todos os outros sites da Amazônia e do Cerrado (PALÁCIOS *et al.*, 2020), sugerindo que o aerossol é mais rico em fuligem da queima de biomassa (RUSSELL *et al.*, 2010b), embora outros locais tenham maior concentração de BC na estação seca (ARTAXO *et al.*, 2002, 2013a; MAENHAUT *et al.*, 2002; MAENHAUT; FERNANDEZ-JIMENEZ; ARTAXO, 1999).

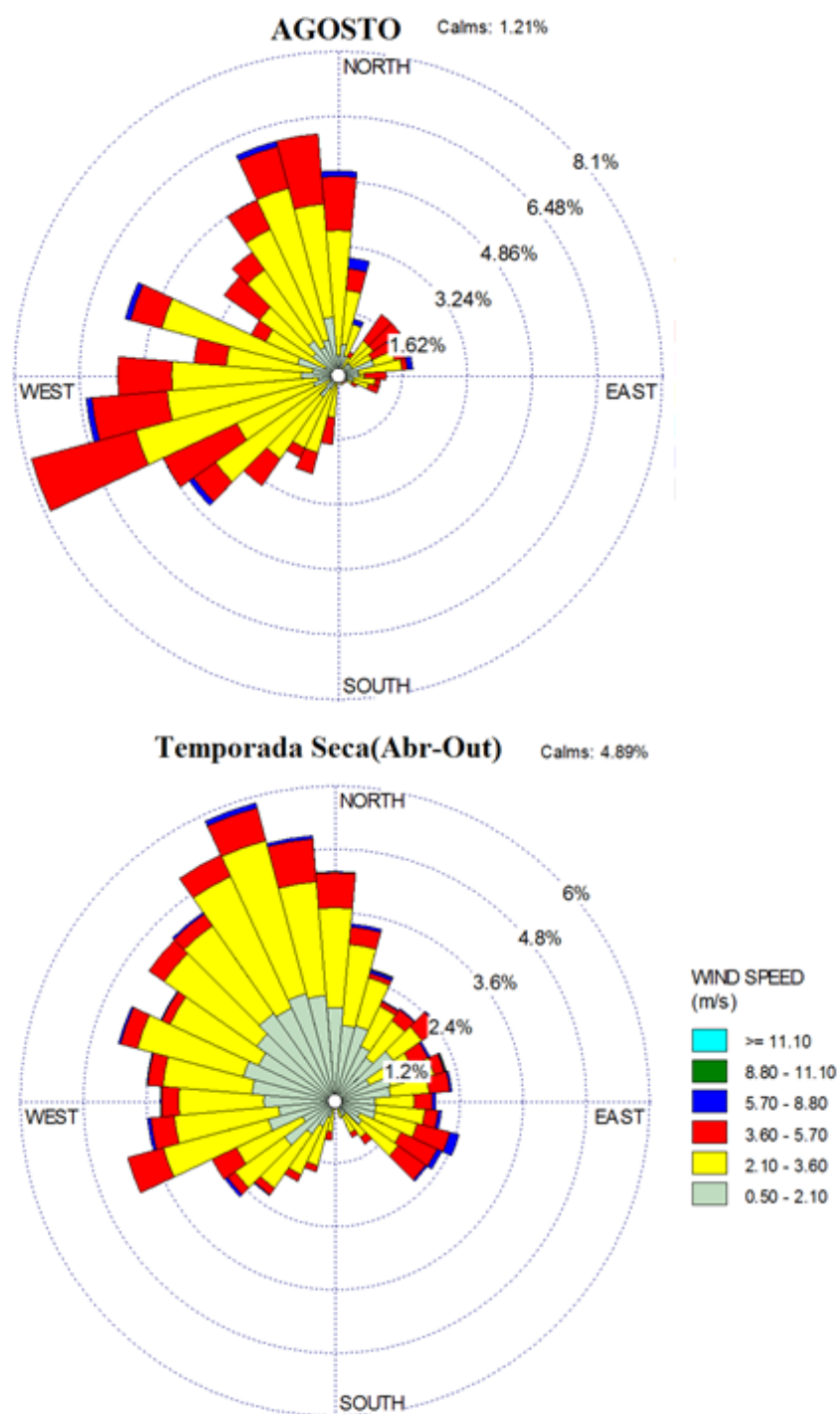


Figura 9 – Rosa dos ventos no mês de agosto (acima) e em todo período seco de abril a outubro de 2012(abaixo).

Em Porto Velho, por exemplo, esse componente é encontrado em torno de $2,801 \pm 2,922$ e $0,222 \pm 0,230 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, na estação seca, no modo fino e grosso,

respectivamente (ARTAXO *et al.*, 2013a). Comparadas com Cuiabá, essas variáveis foram quase sete vezes maiores. Neste estudo, as concentrações médias de BCe na estação seca para as modas fina e grossa são de $0,41 \pm 0,44$ e $0,07 \pm 0,03 \mu\text{g.m}^{-3}$, respectivamente. Em comparação, locais semelhantes a Porto Velho, como os *sites* da AERONET de Alta Floresta e de Ji-Paraná detectam partículas de queima de biomassa de florestas tropicais que são formadas na fase de combustão em brasa, e apresentam maiores concentrações de *black carbon* e massa total coletada, nas duas modas de tamanho, no entanto, ambos *sites* apresentam maiores valores de SSA e menores dependências espectrais (PALÁCIOS *et al.*, 2020, 2018; RIZZO *et al.*, 2013). Esses fatos sugerem uma microestrutura e composição química diferente dos outros locais, possivelmente devido à proximidade da localização do AERONET com a capital mato-grossense, a idade média do aerossol e fase de combustão da queima da biomassa.

Os aerossóis envelhecidos têm propriedades óticas diferentes dos jovens, espalham mais radiação, têm maior eficiência de absorção de *black carbon*, e se estiverem recobertos devido às reações químicas tem maior presença de sais de sulfatos e amônio, os compostos não-absorventes aumentam o efeito de lente e são mais grosseiros (MARTINS *et al.*, 1998a; REID *et al.*, 1998; REID; HOBBS, 1998).

Os aerossóis de fumaça recém emitidos (jovens) tendem a formar aglomerados abertos não-esféricos; depois de algum tempo no ar, eles interagem com o vapor de água e as nuvens; esses aglomerados abertos geralmente colapsam para formar uma estrutura esférica compacta (HALLETT; HUDSON; ROGERS, 1989). A fase flamejante com alta eficiência de combustão é predominante no Cerrado e no Pantanal, portanto, as partículas de fuligem não são esféricas, e possivelmente estão aderidas a grandes partículas de poeira do solo e revestidas com compostos não absorventes (REID; HOBBS, 1998).

O Parque Nacional é praticamente totalmente coberto por bosques e pastagens que queimam da mesma maneira descrita acima, tendendo a formar uma microestrutura grafítica, que é muito absorvente (HALLETT; HUDSON; ROGERS, 1989; KIS; PÓSFAL; LÁBÁR, 2006; PÓSFAL *et al.*, 2003; WARD, 1992). No entanto,

acima de 2000m de altitude, partículas esféricas envelhecidas da pluma regional tenham sido encontradas na cidade de Cuiabá, provavelmente devido a ventos convectivos que são comuns acima do Brasil Central nessa época do ano (ARTAXO *et al.*, 1998; GAN; KOUSKY; ROPELEWSKI, 2004; MARTINS *et al.*, 1998b; NOBRE *et al.*, 1998).

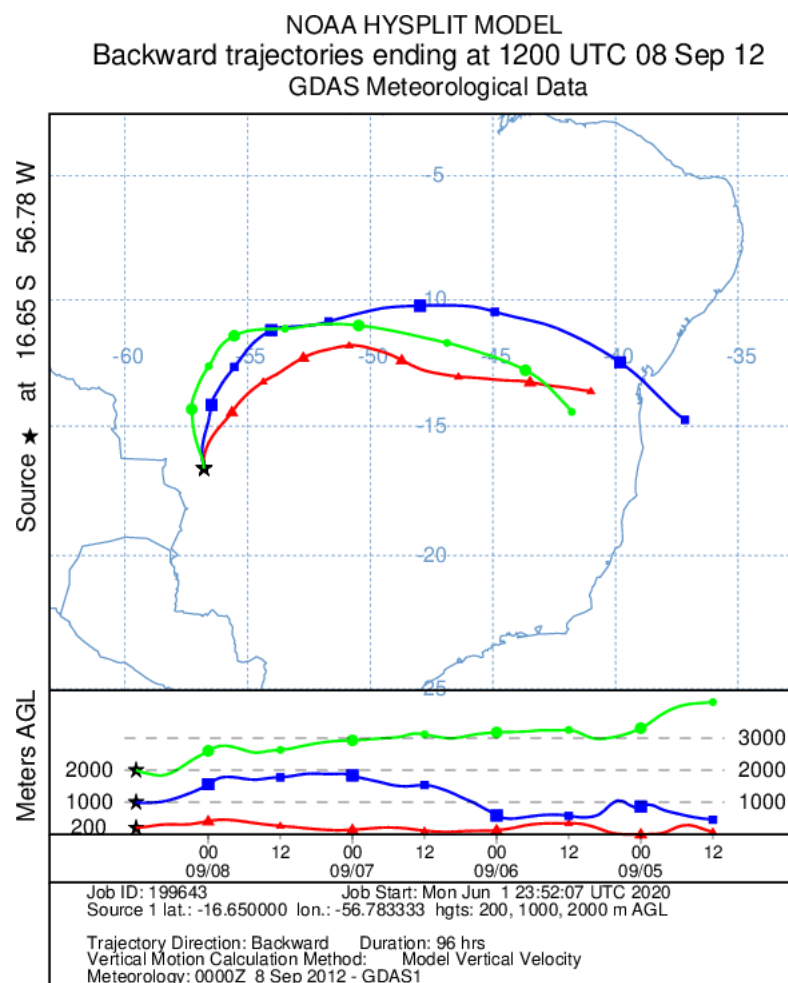


Figura 10 – Retro-trajetória do Modelo HYSPLIT da NOAA para o dia 08 de setembro de 2012 integrado em 96horas.

Provavelmente, os aerossóis detectados em agosto são relativos à combustíveis fósseis, emissões urbanas e da pluma local. Eles são mais envelhecidos em comparação com os aerossóis de queimada detectados em setembro e outubro. Dados de focos de incêndio obtidos no INPE (2020) mostram poucos focos de incêndio próximos ao local da AERONET e à localização dos filtros em agosto, em comparação com setembro e

outubro. Assim, à medida que as queimadas se intensificam, a coluna de aerossóis na atmosfera fica mais espessa e também mais jovem, portanto, interage mais com a radiação. A presença de *brown carbon* junto ao *black carbon* também pode explicar o aumento da SSA em setembro. Houve leve mudança nesses meses quanto a dependência espectral do SSA, como se vê na Figura 11, nela estão as médias mensais do SSA e seu desvio-padrão. Além do aumento em comparação de agosto a setembro, percebe-se a alteração da inclinação positiva entre 440 a 675nm, e negativa entre 675-1020nm, junto com a maior inclinação de $dSSA/d\lambda$ em setembro.

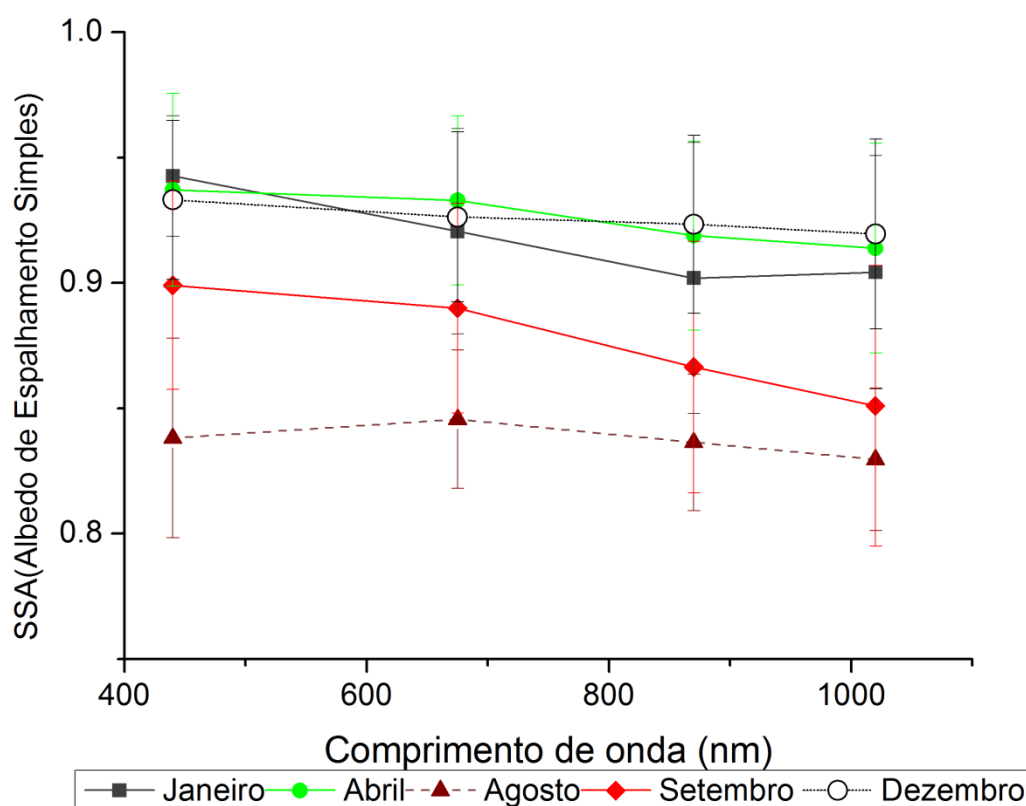


Figura 11. Relação de dependência espectral do albedo de espalhamento simples mensal média.

Para uma descrição mais pormenorizada da mudança do SSA entre agosto e setembro, deve-se lançar mão da análise dos elementos traços coletados nos filtros. Em experimentos anteriores (ARANA; ARTAXO, 2014; ARTAXO *et al.*, 2002; REID; HOBBS, 1998; SANTANNA *et al.*, 2016; WARD, 1992) e neste também, os elementos traços não perfazem mais do que 30% no máximo do conteúdo do material

particulado, isso incluso *black carbon* equivalente e elementos com peso atômico superior a 13. O resíduo, segundo os estudos mencionados acima, e também como reportado por Andreae e Gelencsér (2006), é considerado composto de orgânicos não-refratários, como ácidos oxálicos, fenólicos e semelhantes a ácido húmicos. Nesse caso, Russel *et al* (2010), reporta que ao aumentar a presença de compostos orgânicos em aerossóis de queimada e de combustíveis fósseis, há aumento também do SSA e do Angstrom de Absorção correspondente. No entanto, há alteração do comportamento da dependência espectral do SSA, que passa de negativo para positivo ao aumentar a fração de orgânicos.

Neste estudo, observa-se o aumento de fração de resíduos na análise gravimétrica de EDX, logo de orgânicos nas amostras de setembro em comparação a agosto, com consequente aumento de AAE e SSA, porém o comportamento de SSA altera-se levemente na direção contrária para ondas curtas. Observa-se, no entanto, que a variação espectral de SSA registrado na Figura 11 não é grande o suficiente para considerar que esse comportamento tenha alterado na mesma medida reportada por Russel *et al* (2010), e deve-se levar em conta que as medidas de SSA com o fotômetro da AERONET apresentam considerável incerteza (HOLBEN *et al.*, 1998). Portanto, cabe a sugestão da maior participação de fuligem automotiva e urbana como o *black carbon* registrado em média em agosto, devido a menor presença de orgânicos.

Na Figura 12 estão dispostas as tendências de Expoentes de Angstrom de Absorção e Espalhamento, AAE e SAE respectivamente, e a curvatura espectral (dAAE) ao longo do período de análise. As faixas cinzas representam eventos ambientais: a primeira, a chegada de frente fria em 05 de junho; a segunda, intenso período de queimadas no Parque Nacional de Chapada dos Guimarães a partir de 7 de Setembro; e a terceira, a primeira representativa precipitação da Primavera em 21 de Setembro. As linhas pontilhadas vermelhas indicam o ponto médio de alteração do comportamento das variáveis. Em SAE e AAE, valores maiores que 1 indicam a presença de pequenas partículas e de maior absorção, valores menores que 1 indicam partículas mais grosseiras e menor absorção da radiação. Em dAAE, a linha se encontra em 0, pois indica a alteração que a AAE possui com o comprimento de onda, ou seja, em amostras com composição mais rica em fuligem pura, o comportamento da variação de AAOD com o comprimento de onda tende a ser uniforme e próximo a

um, e sua segunda derivada a zero. Porém, assim que se enriquece com componentes não absorvíveis tende a valores negativos, e com componentes que absorvem mais fortemente em diferentes regiões do espectro, tende a zero maior que um (ECK *et al.*, 1999a).

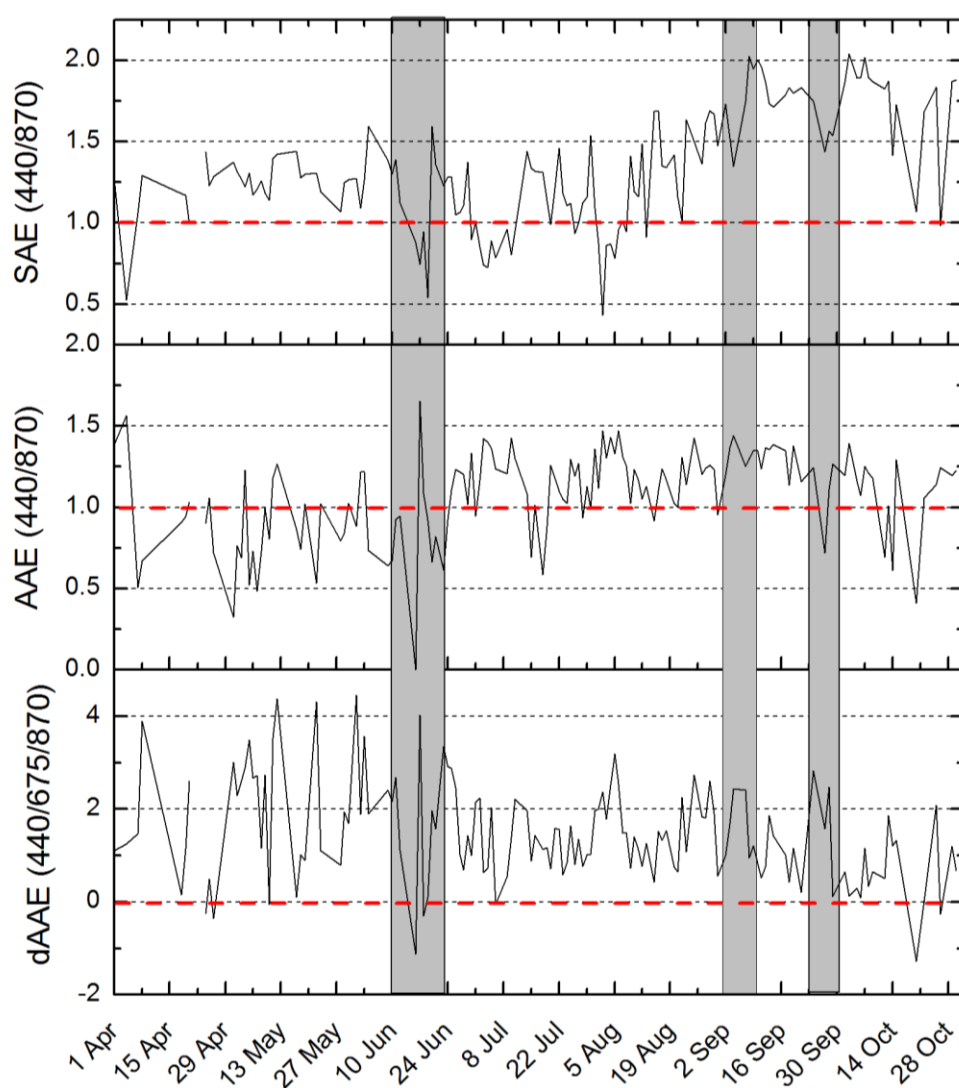


Figura 12. Padrões temporais de Expoentes de Ångström de Espalhamento (SAE), Absorção(AAE) e a derivada espectral (dAAE) durante a amostragem. As faixas cinzas representam eventos ambientais: a primeira, a chegada de frente fria; a segunda,

intenso período de queimadas no Parque Nacional de Chapada dos Guimarães; e a terceira, a primeira representativa precipitação da Primavera.

Nas primeiras datas, entre 05 a 07 de junho a chuva registrada foi de 26mm acumulada, e verifica-se a ampla variação dos três parâmetros, com pronunciada redução, significando a alteração dos componentes finos de queimadas, poluição automotiva e urbana. No segundo episódio, como já mencionado um intenso incêndio florestal impactou o Parque Nacional, com registro de elevada SAE, AAE e dAAE. Isso se deve ao aumento das espécies químicas de queimada, como o BC e menor tamanho em grande quantidade na atmosfera, com amplitude máxima de AAE em 1,5. A elevação do dAAE se deve principalmente a dependência espectral de espécies absorvedoras na região do UV associada as espécies de dependência linear com o espectro, como BC e BrC. No terceiro episódio, as primeiras chuvas da Primavera a precipitação acumulada entre 20 a 26 de setembro, foi de 40.3mm, influenciando sensivelmente as propriedades. Houve redução do AAE e SAE em todas as combinações espectrais e aumento do dAAE. Isso se deve à redução de particulado fino de queimadas, e à permanência de partículas grossas com maior absorção em ondas curtas.

Pode-se separar o comportamento das variáveis de abril até junho e de julho até outubro. No primeiro período, o AAE é muito variável, indo de 0.5-1, o SAE flutuou em torno 1,25 e a curvatura espectral de 0 a 4, com médias de 0.89 ± 0.34 ; 1.20 ± 0.21 ; 1.92 ± 1.39 , respectivamente. Esses valores médios indicam presença baixa de aerossóis de queima de biomassa, partículas mais frequentes na moda grossa. A curvatura pode se aproximar da dependência espectral do expoente de absorção de Ångström [WDA, é a sigla em inglês desenvolvido em Wang *et al.*, (2016)] que auxilia na detecção de *Brown carbon*, de forma a determinar a variação do AAE em função do comprimento de onda. Valentini *et al.* (2020) observou alterações substantivas na composição do aerossol em episódios periódicos de acúmulo de *black carbon* em área urbana e de chegada de poeira de deserto em Roma-Itália, utilizando comprimentos de onda próximos aos empregados na Figura 12.

Os picos registrados no período de abril-junho são provenientes de aumento do AAE, ou seja, de partículas absorventes semelhante ao *brown carbon*, a partículas

envelhecidas, ou partículas ricas em elementos de poeira do solo, como Al, Si e Fe. De julho até outubro, o comportamento se altera, entre agosto e setembro, as médias de ambos os parâmetros foram $AAE_{440-870} 1,20 \pm 0,15$ e $SAE 1,74 \pm 0,18$, é notável como o tamanho decrescente ao longo do período das partículas se reflete na tendência do SAE.

Com essas observações, incluindo dados meteorológicos, gravimétricos, propriedades óticas extensivas e intensivas, observou-se as alterações significativas dos aerossóis dentro da temporada de seca do ano de 2012, e como as queimadas impactam fortemente nas propriedades físicas dos aerossóis. Mesmo estando a uma distância considerável da cidade de Cuiabá e do Parque Nacional da Chapada dos Guimarães, a pluma de queimadas e de poeira alterou o registro gravimétrico dos filtros dispostos em uma reserva ambiental no Pantanal. A direção e velocidade dos ventos que se intensifica nos meses de agosto-setembro, corrobora essa influência de impacto nesse período, assim como o aumento das queimadas nos Estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e países vizinhos nesta época.

4.2 Química dos Aerossóis

Em florestas tropicais e savanas no Hemisfério Sul, a composição química dos aerossóis acompanha a mudança de estação de seca para chuvosa. Em estações chuvosas, queimadas são raras, e em boa parte são provocadas por atividades antropogênicas e os aerossóis são biogênicos em grande medida (GREGORY *et al.*, 1986; PÖHLKER *et al.*, 2012; PÖSCHL *et al.*, 2010), podendo sofrer influência de plumas urbanas próximas (FRAUND *et al.*, 2017) e de episódios advectivos de frentes úmidas dos oceanos (ARTAXO *et al.*, 1998; MARENGO; NOBRE; CULF, 1997; REID; HOBBS, 1998; WARD, 1992) ou intercontinentais (RIZZOLO *et al.*, 2016, 2017). Os elementos químicos mais comuns são os relacionados a emissões de compostos biogênicos e orgânicos voláteis (logo C, H, O, N, S), íons salinos (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , fosfatos). Ao adentrar a época seca, os aerossóis orgânicos são sobrepujados por aerossóis de queimada e poeira do solo, e os elementos mais frequentes são: Al, Si, Fe, S, K, Na, e o *black carbon* e carbonáceos não-grafíticos.

A concentração elementar de traços é apresentada na Figura 13, como feito na seção anterior, separaremos a análise entre início (abril-julho) e fim (agosto-outubro)

da temporada seca. No início, ao rarearem as chuvas, elementos de poeira do solo como Al, Si e Fe são dominantes na moda grossa. Em maior fração mássica, e em menor contribuição são encontrados Ca, P e Cl. O fósforo é um traçador biogênico; neste estudo, sua participação no modo grosso, em comparação com a massa fina, é sempre dominante, com grandes contribuições em maior umidade relativa, conforme relatado em (ARANA, 2014; SANTANNA *et al.*, 2016).

Pode-se afirmar que a concentração média da região no solo é de Al_2O_3 16%, SiO_2 75%, Fe_2O_3 4%, K_2O 2%. Os óxidos CaO, MgO, TiO_2 , P_2O_5 compreendem menos de 2% na fração mássica do solo na região (CORINGA; COUTO; TORRADO, 2014). Em áreas florestais, observa-se a emissão biogênica de íons como K^+ , NH_4^+ , Cl^- , quase exclusivos no modo grosso, que reagem com NO_x , VOC, O_3 , produzindo Aerossóis Orgânicos Secundários, que podem sofrer condensação e consequentemente deposição seca (ANDREAE, 1983; CRUTZEN; ANDREAE, 1997; PÖHLKER *et al.*, 2012). O cálcio e o magnésio fornecem informações duvidosas sobre sua fonte de emissão. Alguns estudos correlacionaram esses elementos com a ressuspensão do solo, a queima de biomassa e também com a origem biogênica (ARANA; ARTAXO, 2014; ARTAXO *et al.*, 2013b; SANTOS *et al.*, 2016). O magnésio no experimento SCAR-B estava mais relacionado às fontes biogênicas, uma vez que sua concentração no solo é muito baixa na maior parte do Pantanal e no Cerrado, mas poderia ser fornecido pela queima de biomassa se encontrado em partículas menores (ARTAXO *et al.*, 1998; REID; HOBBS, 1998).

O ferro e o potássio são predominantes na moda grossa durante o período observado, originados principalmente de poeira de solo e emissões biogênicas, respectivamente. No entanto, quando as queimadas aumentam, esses dois elementos têm suas concentrações altamente elevadas nas duas modas de tamanho. O potássio é um traçador de queima de biomassa (ANDREAE, 1983), portanto pode ser usado como um indicador de queimadas na fase de chamas (ECHALAR; GAUDICHET; CACHIER, 1995), embora existam limitações importantes no uso desse marcador, porque a ressuspensão do pó do solo e de fertilizantes podem ser as principais fontes de potássio encontradas na atmosfera (URBAN *et al.*, 2012).

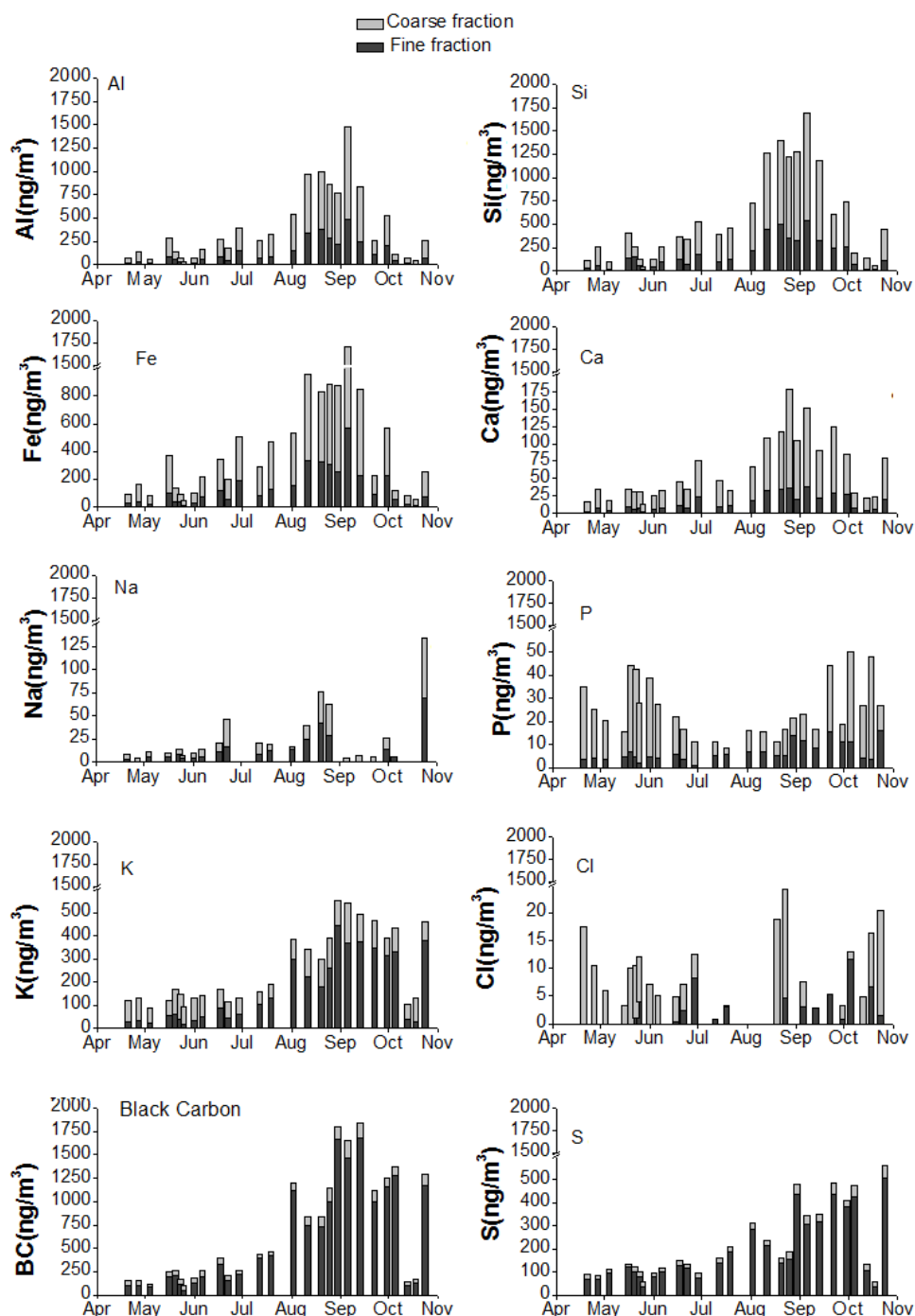


Figura 13. Concentração de elementos traços nos filtros coletados, separados em moda fina e moda grossa.

Na Amazônia Central, o potássio é mais provável de ser encontrado na moda grossa, fornecido a partir de emissões biogênicas na estação chuvosa, desempenha um papel de semente na nucleação do aerossol orgânico secundário e é aumentado pela

queima de biomassa na estação seca (ARANA; ARTAXO, 2014; BRITO *et al.*, 2014; PÖHLKER *et al.*, 2012). O aumento geral de elementos de poeira do solo na moda grossa entre agosto a outubro pode ser devido à ocorrência de turbilhões em incêndios florestais e ventos típicos nesses meses. O ferro na moda fina originado de incêndios e poluição urbana é uma possibilidade de ter sido detectado neste estudo e tem sido o foco de estudos recentes como fonte de metais solúveis e aumento de forçante radiativa (ITO; SHI, 2016; ITO *et al.*, 2019; MOTEKI *et al.*, 2017; RIZZOLO *et al.*, 2017).

Os elementos de queima de biomassa (BC, K, S e Zn), que estão mais presentes na moda fina, tiveram sua concentração aumentada, acompanhando a intensidade das queimadas. A AOD, fração mássica da moda fina e volume do modo de acumulação tiveram o mesmo comportamento nesse período. Outros elementos traços que representam menos de 3% da distribuição de massa média são apresentados na Tabela 4.

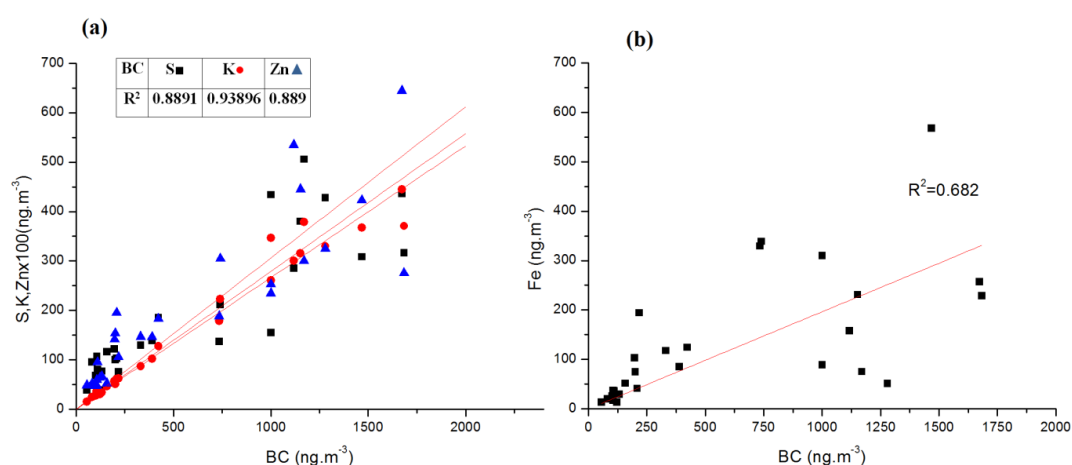


Figura 14. Relação entre elementos traços na moda fina, (a) Ajuste linear de enxofre, potássio e zinco com *black carbono*, (b) Ajuste linear de ferro e *black carbon*.

O sódio, que é associado ao solo ou a fontes antropogênicas, não teve uma relação clara com o cloreto e a precipitação. O sódio foi encontrado em 21 filtros no modo grosso e 19 no fino e em concentrações mais altas no modo fino, e o Cloro foi encontrado apenas em 15 e 19 dos filtros nas modas fina e grossa, respectivamente, e mais no modo grosso.

A classificação química foi primeiramente feita pela separação entre finos e grossos adotados na metodologia experimental entre médias mensais como se constata na Figura 15. A metodologia serve para analisar o comportamento geral entre tamanho de partículas e os elementos traços mais comuns nas classes correspondentes, posteriormente essas classes químicas serão confrontadas com grupos óticos determinados pela matriz de Angstrom. As classes são: carbono elementar (EC), queima de biomassa(BB), poeira do solo(Dust) e biogênica (BG) em moda grossa e fina.

Verifica-se que na moda grossa há predomínio de Dust e BG perfazendo mais de 85% em quase todos os meses da estação seca. Os elementos biogênicos tem maior participação nos meses com maior precipitação (abril, maio e outubro), e há aumento de fração de Dust ao aumentar a estiagem entre julho e setembro. Os elementos da moda fina são majoritariamente relacionados a carbono elementar e queima de biomassa, em que não há praticamente elementos biogênicos, e os elementos de poeira do solo apresentam maior fração mássica nos meses de junho e agosto, quando as queimadas ainda não atingiram seu auge. As classes EC e BB são dominantes acompanhando o aumento a intensidade das queimadas.

Deve-se sempre salientar que esse método não apresenta a exata correspondência da origem dos elementos traços, como se verifica na literatura ao analisar métodos de particionamento como Análise de Fatores Principais Absolutas (APFA) (ARTAXO; ORSINI, 1987) e Fatorização de Matriz Positiva (PMF) (NORRIS; DUVALL, 2014). Então, como foi verificado para o ferro em moda fina, há grandes possibilidades de elementos estarem em duas classes na mesma faixa de tamanho, por isso, ao se separar em classes químicas, busca-se corresponder a maior probabilidade de relacionamento entre elemento e fonte.

Tabela 4 - Concentrações médias e desvios padrão (DP) associados a PM, BC e elementos traços nas modas fina e grossa para a estação seca na Base Avançada da UFMT. Todas as concentrações e desvio-padrões são expressas em ng.m^{-3} .

	Moda Fina			Moda Grossa		
Parâmetro	Média	DP	N	Média	DP	N
MP	6732	5666	27	5982	2229	21
BCe	591	546	27	78	40	26
Na	15.2	16.6	19	13.5	15.2	21
Mg	17.4	14.6	13	35.4	27.6	26
Al	124.0	124.6	27	252.3	248.6	27
Si	173.3	149.5	27	372.1	331.4	27
P	6.7	3.9	27	18.5	12.2	27
S	190.4	138.5	27	26.1	11.0	27
Cl	3.8	3.0	15	8.2	5.9	21
K	161.1	141.2	27	94.3	26.8	27
Ca	15.1	11.4	27	46.1	34.2	27
Ti	11.5	12.6	27	25.1	26.4	27
V	0.3	0.2	7	0.5	0.7	7
Cr	0.6	0.5	22	0.6	0.4	14
Mn	1.2	0.8	23	2.9	2.7	25
Fe	134.2	131.9	27	275.3	261.1	27
Ni	0.3	0.3	17	0.4	0.4	14
Cu	0.4	0.3	18	0.7	0.7	25
Zn	2.1	1.6	27	1.3	1.3	27
As	0.2	0.1	27	0.2	0.1	27
Br	1.6	1.5	20	0.6	0.5	17
Cd	3.3	2.7	10	3.6	2.7	7
Sb	9.6	8.9	2	5.2	4.9	6
Pb	0.9	1.0	13	0.4	0.5	3
BCe/PM (%)	7.93%	1.98%	27	1.30%	1.80%	27

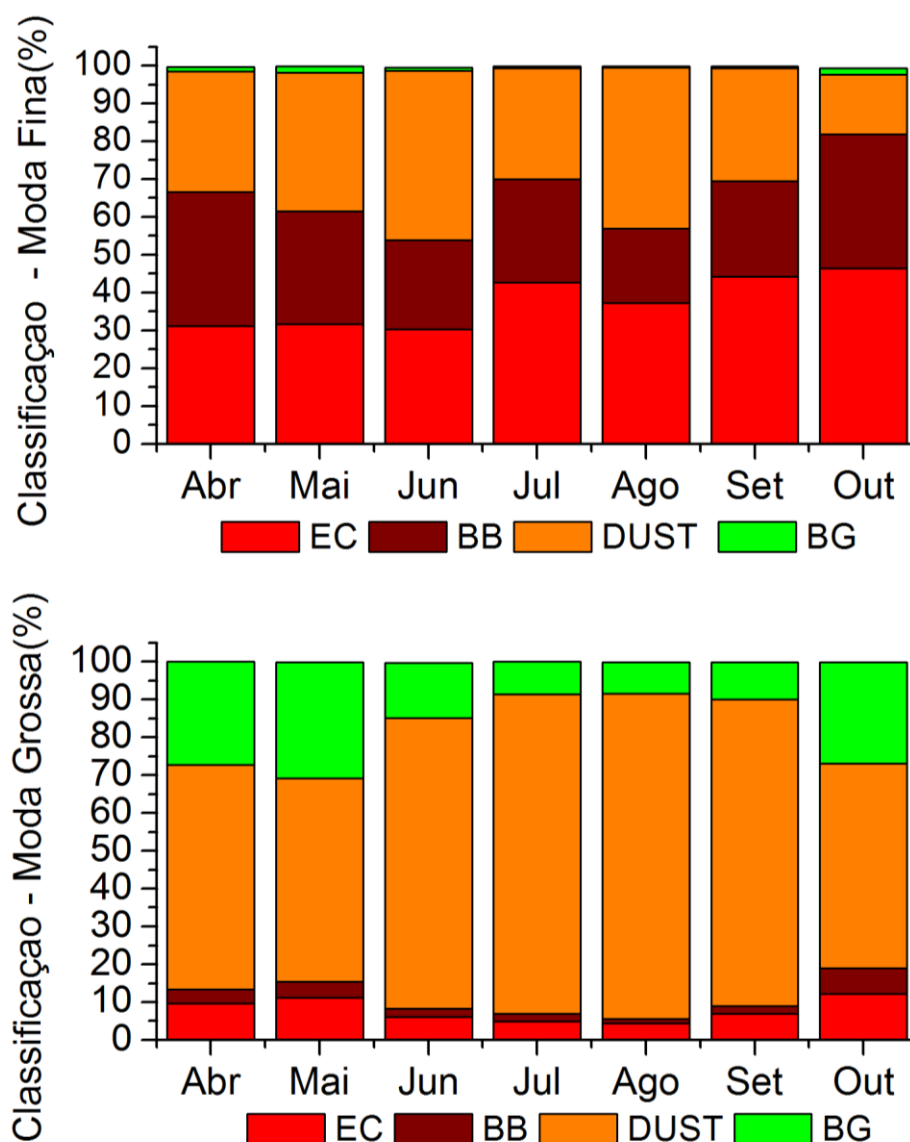


Figura 15 – Classificação química dos elementos traços em carbono elemental (EC), queima de biomassa (BB), poeira do solo (Dust) e biogênica (BG) em moda grossa e fina.

A caracterização química de aerossóis baseada apenas nos elementos traços e sua concentração absoluta pode auxiliar na compreensão das espécies que predominam em determinados episódios ambientais, temporadas secas e chuvosas, suas fontes ao se lançar mão de técnicas numéricas de particionamento. No entanto, perde-se muita informação da escala micro e nanométrica dos elementos na estrutura dos aerossóis sólidos.

A identificação e quantificação de suas formas iônicas, da ressonância eletrônica, de seus estados de oxidação, da dispersão de micro e mesocristais, da morfologia, a forma como os elementos estão ligados e se estão ligados auxiliam enormemente a compreensão da formação mecanismos de nucleação, condensação, aglomeração, crescimento dos aerossóis. Não obstante o conhecimento adquirido por uma caracterização completa dos aerossóis, deve-se relacionar essas propriedades com as interações ambientais, notadamente química atmosférica de gases, como vapor d'água e nuvens, com a radiação e saúde humana. Assim, uma abordagem multivariada da química e ciência dos materiais pode enriquecer enormemente esse campo.

4.3 Classificação ótica dos Aerossóis: Matriz de Angstrom.

A abordagem de repartição das classes óticas foi feita para estabelecer uma relação entre a evolução de espécies químicas, propriedades óticas e eventos ambientais e meteorológicos. A metodologia relatada (BAHADUR *et al.*, 2012; CAZORLA *et al.*, 2013; RUSSELL *et al.*, 2010b; VALENZUELA *et al.*, 2015) foi testada para corroborar a tendências das características físico-químicas utilizando elementos químicos traços obtidos de análise de filtros e as propriedades intensivas obtidas da AERONET. A metodologia consiste em plotar duas propriedades óticas intensivas e analisar o comportamento de agrupamento de acordo com as características de fonte, origem química, tamanho dominante e resposta ótica.

Neste estudo, foi feito o agrupamento, e classificado os aerossóis de acordo com a média diária em termos de valores Expoentes Angström de Absorção versus de Espalhamento (AAE vs SAE), foi quantificado a porcentagem de cada classe separando mensalmente, e comparou-se com as classes químicas descritas na seção anterior, de modo a testar se a pertinência do método em descrever ou prever os tipos majoritários de aerossóis. Também, os grupos óticos foram confrontados com a concentração do *black carbon* na moda fina, que é o principal elemento absorvedor de radiação neste estudo e que impacta enormemente as propriedades óticas dos aerossóis.

Comparando-se as classes identificadas neste estudo com outros trabalhos publicados recentemente que relacionaram sensoriamento remoto de longo prazo no mesmo site da AERONET deste estudo. A Figura 16 mostra a Matriz de Angström, que apresenta a natureza química e a dependência do tamanho das partículas de aerossol de todo o período estudado, incluindo os 143 pontos obtidos do resultado de inversão da AERONET. Os comprimentos de onda escolhido para elaborar o gráfico foram 440 e 870 nm, devido ao produto direto fornecido pela AERONET e para comparação com os trabalhos de Palácios (2017) e Rothmund *et al.* (2018).

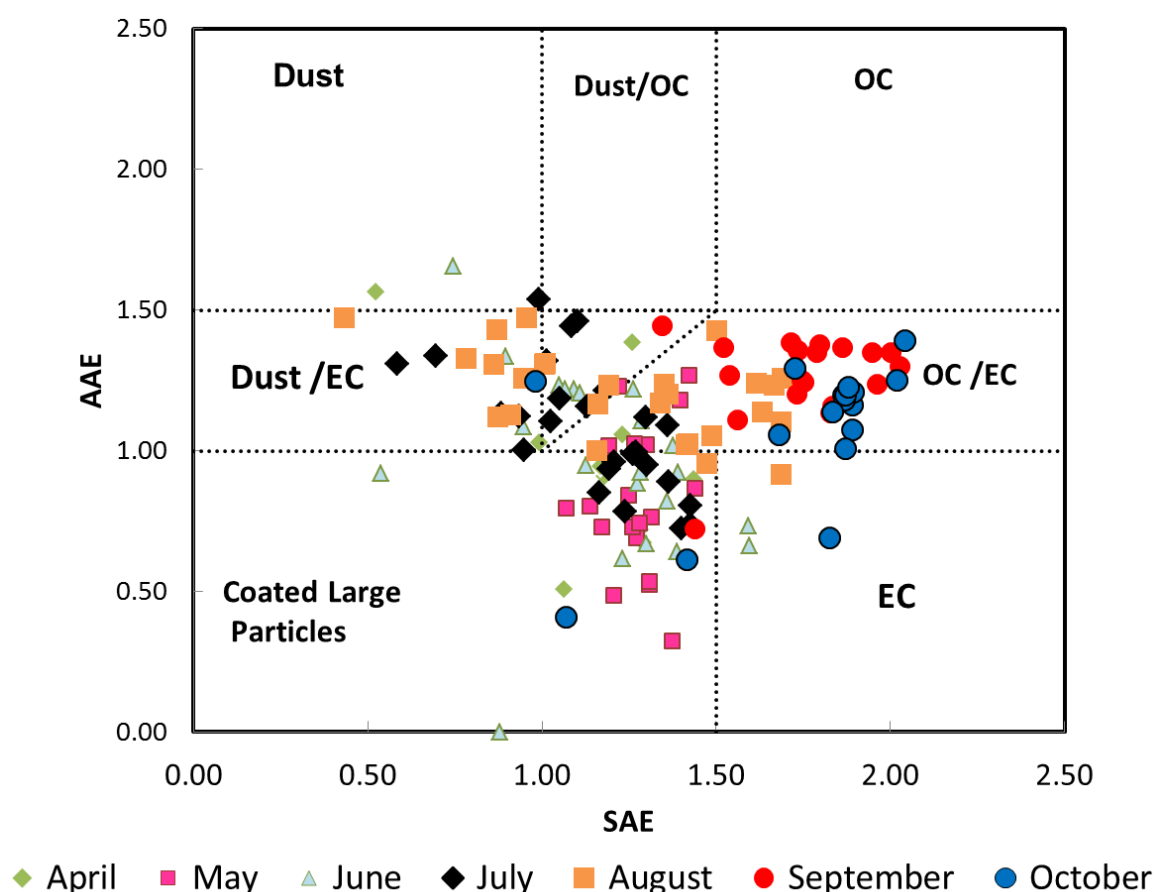


Figura 16. Classificação de grupos óticos pela Matriz de Ångström em 2012 com dados da AERONET no nível 1.5.

A tendência da Matriz de Angström não é diferente de outros locais na estação seca no Brasil. Está separado em quatro grupos principais (CLP, Dust, OC, EC) e em outros quatro de misturas entre eles. O grupo CLP consiste de partículas biogênicas e orgânicas aderidas a outros elementos e revestidas de compostos

carbonáceos pouco absorventes, estão agrupados para AAE menor que 1 e SAE menor 1,5, indicando partículas grosseiras. Dust é o grupo dominado por partículas grosseiras de poeira do solo e de deserto comumente e não revestidas, com a capacidade de absorção em onda curtas. Aerossóis carbonáceos como EC e OC são menores e absorvem ou em todo o espectro ou mais em ondas curtas, respectivamente.

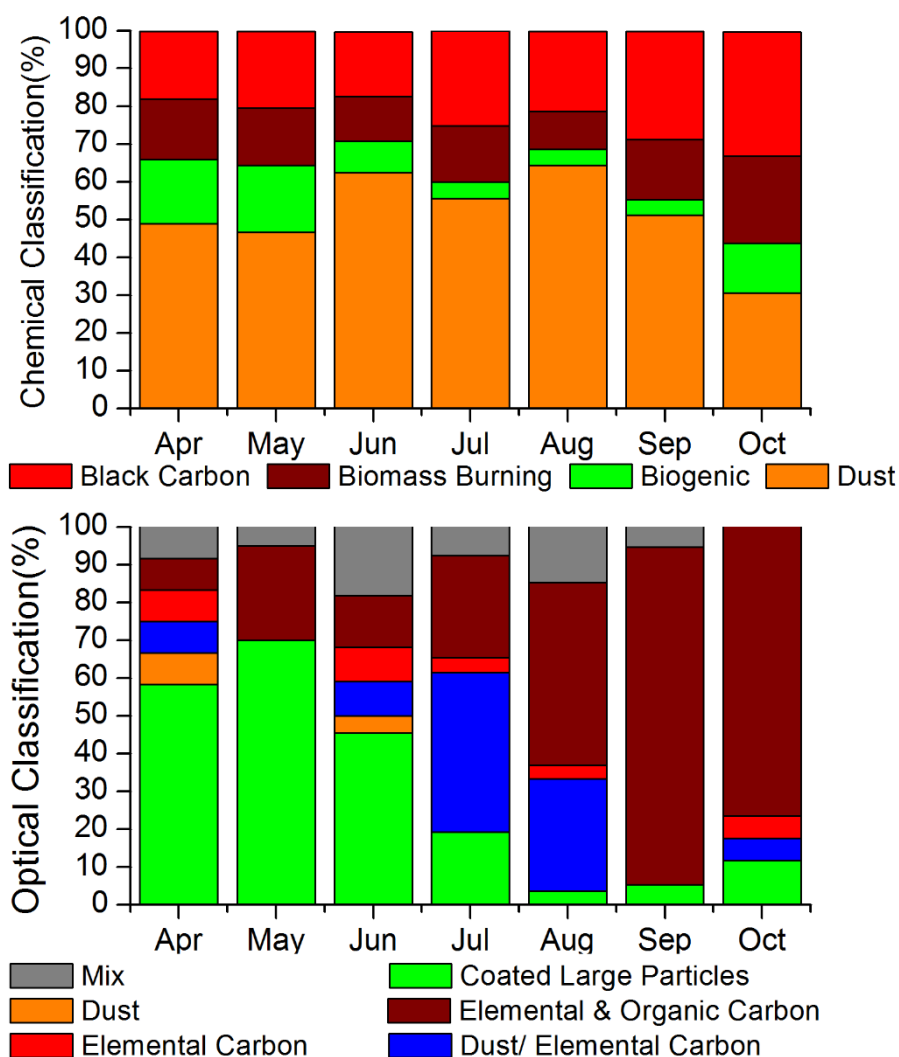


Figura 17 - Evolução mensal das classes óticas(abaixo) e químicas(acima).

A análise da Matriz é feita com auxílio da Figura 17 que relaciona a frequência dos grupos óticos à esquerda, e de classes químicas mês a mês, a direita. Adicionalmente, para checar a frequência mensal dos valores de AAE, deve se perscrutar os resultados da Figura 18. Desse modo, verificaremos a alteração dos

grupos, dos valores de AAE correspondentes e das classes químicas no mesmo período.

Observando as Figuras 16-17, de abril a junho, a classe majoritária é CLP seguido em menor número por Dust-EC, Mixture, OC/EC, EC e Dust. Enquanto isso, elementos químicos traços rotulados como Dust e biogênicos são a maioria de abril a agosto, conforme observado na Figura 17. Isso é esperado, dada a localização da UAB, fazendo com que as emissões biogênicas, a poeira do solo e as partículas não refratárias orgânicas, seriam a maior parte dos aerossóis nesses meses em que não há queimadas próximas ao local. No entanto, os dados óticos indicam que há uma relevante presença de aerossóis absorventes (identificados como Dust/Ec e OC/EC), e que aumentam conforme a temporada seca avança com concomitante redução do grupo CLP.

Os valores de AAE mais frequentes em abril estão entre 0,5 e 1, perfazendo 60% da amostragem, e aumenta-se a frequência de 0,75 a 1 e 1 a 1,25, em junho, e em julho mais de 70% se concentram entre 1 e 1,5. Como fora visto, o SAE também aumenta nesse período. Ou seja, já no início do período seco antes das queimadas aumentarem, já há uma influência de elementos absorvedores detectados pelo fotômetro da AERONET. Deve-se colocar isso em perspectiva ao confrontar os dados óticos e químicos, pois há uma distância considerável entre a UAB e o site Cuiabá-Miranda, tornando sempre recorrente a possível presença de elementos como *black carbon* de atividades antropogênicas próximas.

Resultados óticos de análise de cluster de locais semelhantes, a maioria dos aerossóis é classificada como CLP ou biogênicas, no mesmo período (ROTHMUND *et al.*, 2018). Salienta-se que o grupo Dust foi irrelevante neste estudo, apesar da elevada concentração dos elementos de poeira do solo, como mostrado na Figura 16. Esses elementos provavelmente são revestidos com compostos carbonáceos, assim reduz-se resposta de absorção e a dependência espectral.

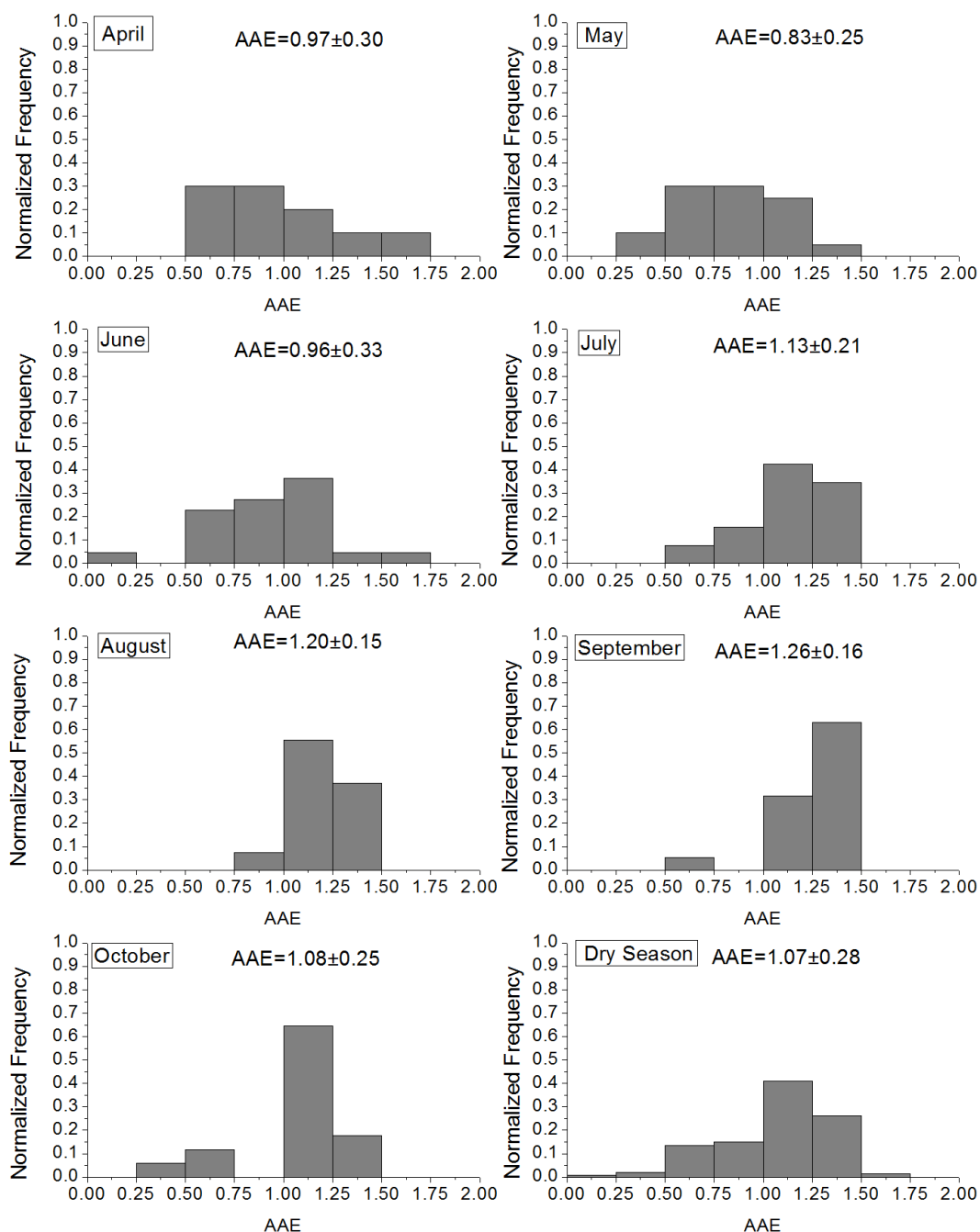


Figura 18 - Histogramas de Expoente de Angström de Absorção(AAE) para cada mês de análise e para o período seco, suas médias e desvio-padrões.

Ao iniciar o inverno, as espécies menores de *black* e *brown carbon* rotuladas como EC, OC/EC e Dust/EC, superam a CLP e Dust. O grupo OC/EC foi o dominante entre agosto e outubro, com menor número de EC, Dust-EC e ausência de OC. O Dust-

EC foi relevante de julho a agosto (42 e 30%), devido à maior presença de elementos de poeira que atingiram 64% de todos os elementos traço em agosto e depois reduziram para 30% em outubro. A frequência diminuta de EC e a ausência de OC contribuem a esclarecer a natureza química do carbono absorvente capturado nos filtros.

Apesar da localização próxima à cidade de Cuiabá, as emissões puras de combustíveis fósseis (AAE=1) não são densas o suficiente para marcar a interação ótica, ocorrendo neste estudo não mais de uma vez por mês. Ao mesmo tempo, o carbono não grafítico denominado OC ou *brown carbon* não ocorreu uma vez sequer durante o estudo. O grupo OC/EC como componente principal revela que a pluma local tem um grande impacto na composição dos aerossóis e o envelhecimento desses na estação seca altera a microestrutura, portanto, a resposta ótica.

A estabilização do AAE em torno de 1,0-1,5 sugere que o aumento da dependência espectral como relatada na literatura (BERGSTROM *et al.*, 2007; BOND; BERGSTROM, 2006). O AAE₄₄₀₋₆₇₅ teve uma tendência mais próxima de 1 a 1,25, e o AAE₆₇₅₋₈₇₀ oscilou em agosto-setembro entre 0,8-1. Os valores dos de AAE em comprimentos de onda mais curtos indicam a presença de carbono orgânico e a análise de ondas longas sugere a resposta ótica do carbono elementar (ou seja, AAE <1). Os traçadores de queima de biomassa, como o Potássio e o Enxofre, têm sua concentração aumentada no mesmo período com a mesma tendência. A distribuição de tamanho e a variação SAE corroboram isso, à medida que a fração de modo grosso diminui, houve igualmente o aumento do número total de partículas de modo fino.

É digna de nota a sensibilidade da resposta ótica às variações de tamanho e composição química. Por exemplo, em setembro houve uma redução na moda grossa de MP (que caiu de 45% em julho para 36% em setembro) e elementos de poeira (que baixaram de 64% de agosto a 51% em setembro) e a média da razão de BC/PM na moda fina também (de 10% em julho para 9,1% em setembro). Porém, a resposta ótica mudou para o OC/EC de 48 para 89%, e houve a redução dos grupos Mix (15 a 5%) e Dust/EC (30 a 0%). Apesar do erro inerente ao método, essa é a indicação da importância da absortividade do núcleo de fuligem, da redução da massa dos elementos de poeira e do aumento do número total de partículas na moda fina (Bahadur *et al.*, 2012).

A classificação química é determinada pela concentração mássica, mas a interação ótica das partículas é mais sensível à concentração total de partículas; se observarmos isso à luz da teoria de Mie (SEINFELD e PANDIS, 2006), a diferença entre a fração química de BC e a fração ótica (OC/EC) provavelmente se deve a isso.

A Tabela 5 relaciona as classes óticas obtidas da Matriz Angstrom com o teor de *black carbon* na moda fina. Ele mostra a frequência dos grupos, com médias correspondentes de AAE e SAE calculadas a partir do mesmo período da amostragem de 27 filtros. As frequências são divididas por linhas relacionadas à razão entre o *black carbon* e o MP na moda fina menor que um determinado valor e o número total de amostras (N). A classe CLP teve maior predominância para menores razões BC/PM e em períodos com maior presença de elementos de poeira do solo (abril-junho). Por outro lado, quanto maior a frequência de grupos relacionados ao carbono elementar (EC, OC/EC, Dust/EC), maior a razão BC/PM. Portanto, existe uma relação entre propriedades óticas intensivas com composição química, apesar da baixa disponibilidade de dados. São necessárias mais amostras químicas para desenvolver uma relação estatística mais robusta.

Tabela 5 - Grupos óticos da matriz de Angstrom separados por fração de *black carbon* na moda fina

$BC_{\text{fino}}/PM(\%)<$	CLP	EC	OC/EC	Mix	Dust/EC	N
5	100	0	0	0	0	1
7.5	73	9	18	0	0	11
10	18	0	73	0	9	11
15	25	0	50	0	25	4

Estudos de curta duração podem resultar em um entendimento errôneo quanto a percepção sazonal de variáveis ambientais, especialmente em uma região marcada por um parâmetro apenas. Nisso, estudos de longo prazo auxiliam a compreender o contexto do período analisado. Por isso, foi feita a comparação entre o atual estudo e o resultado da análise de *cluster* do trabalho de Palácios e colaboradores (2020), como se mostra na Tabela 6. Nela, estão colocados os valores médios dos grupos óticos na estação seca em Cuiabá-Miranda e Ji-Paraná ao analisar dezessete e nove anos de

monitoramento de aerossóis com o radiômetro, respectivamente. Neste ano de estudo, a incidência de desmatamento e incêndios no Cerrado e na Bacia Amazônica foi menor que nos anos anteriores ou seguintes (ARAGÃO *et al.*, 2018; POPE *et al.*, 2020), portanto, a quantidade de emissões de queima de biomassa fina foi menor também, que se refletiu na maior porcentagem de CLP, Dust/EC e Mix em comparação com as médias históricas, e a menor porcentagem de EC, OC/EC e OC, comparativamente.

Algumas reflexões podem ser feitas com essas informações: o tipo de aerossol Mix é mais abundante em junho e agosto, meses com poucos focos de queimada e apresentam mais partículas grossas, porém com aumento da concentração de BC em relação aos meses anteriores, o que sugere que a pluma urbana aderiu a elementos orgânicos e de poeira, embora não tenha uma relevância estatística em ambos os locais no trabalho de Palácios; OC, por outro lado, devido ao menor transporte de fumaça, neste estudo não foi verificado, o que ocorre mais abundantemente na fase de fumaça transportada e em combustão em brasa; devido a menor quantidade partículas de queima de biomassa fina, a participação das classes CLP, Dust/EC é maior.

Tabela 6 - Quantificação de tipos de aerossol nos locais da AERONET na seca

Classificação ótica (%)									Período
Site	CLP	Dust	Dust/EC	EC	OC/EC	OC	Mix	Fonte	
Cuiabá	27.66	1.42	16.31	3.55	41.84	-	13	Atual estudo	2012
Cuiabá	21.45	-	-	16	58.95	11.52	-	Palácios et al., 2020	2001-2017
Ji-Paraná	11.38	-	-	21	54.7	12.81	-	Palácios et al., 2020	2001-2017

O site Cuiabá-Miranda está localizado a vinte quilômetros do centro da cidade e próximo a uma rodovia, e pode haver viés devido à pluma urbana, o que pode corresponder à maior observação de grupos óticos relacionados à fuligem e poeira urbana na Matriz de Angstrom, em comparação com os mesmos grupos que teriam sido observados em análises químicas. Os dados da AERONET utilizados neste trabalho, apenas 143 pontos SSA médios diários referentes a sete meses estão disponíveis no nível 1.5, o que reduziu a amostragem e a resolução temporal. Portanto,

importantes flutuações horárias nos fenômenos naturais e antropogênicos são deixadas de fora com essa abordagem. A análise de equipamentos *in loco*, como aetalômetro, nefelômetro e fotômetro de absorção de múltiplos ângulos, por exemplo, poderia tornar a amostragem de propriedades óticas mais realista e sofisticada, e mais próxima das partículas capturadas em filtro, em comparação, a AERONET utiliza a determinação das partículas em toda a coluna atmosférica, levando a valores maiores que em in-situ.(ANDREWS et al., 2017; VALENZUELA et al., 2015)

Os filtros de coleta off-line facilitam a determinação de elementos traço de maior peso atômico, no entanto, as informações são perdidas dos elementos mais leves, que são a maior parte da composição dos aerossóis. Técnicas como cromatografia iônica e espectrometria de massa podem auxiliar na compreensão do papel desses elementos, como nitrogênio, enxofre e seus compostos iônicos. As coletas no início do outono apresentaram baixas concentrações de partículas e precisaram de mais tempo para que uma amostra mínima fosse analisada, o que reduziu o número de análises de filtros. Devido ao fato da UAB estar em um local preservado, em um momento de poucos incêndios, a atmosfera é pristina. A direção do vento na estação seca contribui para a diversidade de aerossóis no Pantanal. A modelagem de Retrotrajectória do Produto Hysplit da NOAA (Fig.10), em dia de incêndios florestais intensos, como mostra a direção do vento do norte/nordeste.

A metodologia Matrix de Angstrom forneceu informações importantes sobre o conteúdo e tamanho dos aerossóis. Os locais com emissões típicas têm uma identificação mais fácil a partir da análise de *cluster*, ou seja, a frequência dos valores AAE e SAE (ou EAE). Neste estudo, as emissões de queima de biomassa na estação seca em uma área alagada tropical tiveram suas características identificadas. Durante a transição do inverno para a primavera houve intensos incêndios florestais com transporte de fumaça do norte para o sul. As propriedades óticas intensas acompanharam essa perturbação do período, de forma que os respectivos grupos óticos foram agrupados. Os aerossóis não puderam ser identificados quimicamente individualmente, conforme relatado por (Cazorla *et al.*, 2013), embora a divisão por grupos químicos tenha sido parcialmente bem-sucedida. Por exemplo, a tendência na redução de elementos de poeira do solo, como Al, Si e Fe, acompanhou a redução das classes óticas associadas (CLP e Dust). E da mesma maneira, mas no sentido inverso,

foi observado nas classes de carbono elementar. O resíduo carbonáceo que é a maioria do conteúdo de filtros parcialmente absorventes pode ser integrado no grupo químico BC. Análises químicas adicionais são necessárias para comprovar essa possibilidade.

4.4 Teste de combinações da dependência espectral e as classes óticas

Para que a análise de *cluster* aplicado no atual estudo possa se esgotar com os dados obtidos, nesta subseção serão apresentados testes de combinações com as propriedades intensivas em diferentes comprimentos de onda de modo a compreender como a escolha desses parâmetros pode afetar o resultado da classificação ótica dos aerossóis. A relação entre os expoentes de Angstrom de Absorção com diferentes comprimentos de onda altera-se ao longo do período seco, com menor relação linear entre os meses de abril até junho, e maior relação linear entre julho e outubro.

Russel *et al.* (2010) esmiuçaram essa possibilidade de combinação espectral para vários sites da AERONET com fontes de aerossóis distintos, ao analisar o AAE médio. Os autores constataram que os sítios com maior impacto de poeiras de deserto combinadas com queimadas sofrem maior variação do AAE em diferentes combinações de comprimento de onda, sendo esses valores maiores para a análise de ondas curtas, e menores para interpolação com ondas longas. Sítios com impacto de aerossóis urbanos e industriais sofreram menor variação do AAE em diferentes combinações espectrais.

No caso de sites semelhantes ao do atual estudo, a variação foi maior para *sites* da floresta Amazônica e menores para o Cerrado sul-americano e savanas africanas. Observa-se então uma relação clara entre a riqueza de componentes de forte absorção de ondas curtas (especificamente entre 440 e 670nm) e a variação do valor médio do AAE para diferentes comprimentos de onda. Lembrando que esses elementos de forte absorção referidos são: poeira do deserto (Al, Si e Fe) e o aerossóis carbonáceos não-grafíticos, ou o *brown carbon*.

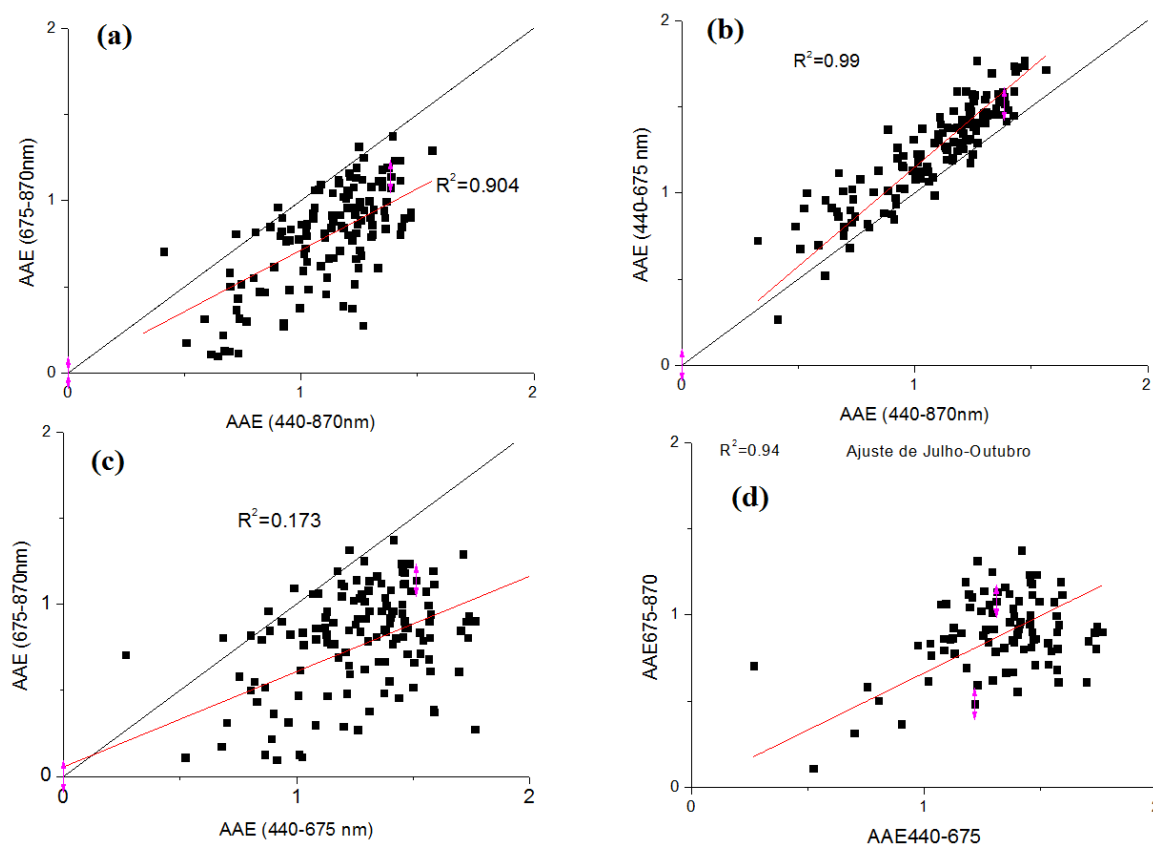


Figura 19 – Ajustes de combinações espectrais de Expoente de Ångström de Absorção. (a) Entre AAE 675-870nm e AAE 440-870nm, (b) Entre AAE 440-675nm e AAE 440-870nm, (c) Entre AAE 675-870nm e AAE 440-675nm e (d) Entre AAE 675-870nm e AAE 440-675nm entre os meses de julho a outubro.

Assim, no ano de 2012 em Mato Grosso houve menos queimadas e desmatamento em relação aos anos anteriores e posteriores, com maior quantidade de elementos de poeira, consequentemente os grupos óticos relacionados à baixa absorção e de maior tamanho como CLP e de misturas (Dust/Ec, OC/EC, Mix) foram mais frequentes na análise de Matrix de Ångström. Logo, é possível que a depender do trabalho da literatura a ser comparado no resultado da Matriz de Ångström haja um forte viés na identificação da classificação desses aerossóis. Por exemplo, há combinações em ondas curtas (BAHADUR *et al.*, 2012; CAZORLA *et al.*, 2013; VALENTINI *et al.*, 2020a), ondas intermediárias (CAPPA *et al.*, 2016; PALÁCIOS *et al.*, 2020; ROMANO *et al.*, 2019). Para que essa possibilidade seja removida, o teste

utilizando AAE e SAE com as seguintes combinações de comprimento de onda foram feitos: 440 e 675nm, 675 e 870 nm, e 440-870nm.

A relação entre combinações de comprimentos de onda para AAE foi testada na Figura 19, em que mostra maior relação entre $AAE_{440-870}$ com $AAE_{440-675}$, em seguida com $AAE_{675-870}$ e por último a relação entre 440-675 e 675-870nm com o menor valor de correlação. Os resultados indicam maior interpolação em ondas curtas que ondas longas, e que uma extrapolação da combinação de ondas não resultaria em dados confiáveis. Porém ao limitarmos o ajuste a partir de julho até outubro, a correlação se torna mais confiável, fazendo com se consiga explicar 94% dos dados. Isso se dá pela maior continuidade da densidade de pluma de poeira e queimada sobre o site da AERONET e estabilização da estiagem nesse período, tornando o valor médio de AAE em ambas combinações mais próximas entre si e com menor variação.

Para analisar a distribuição de AAE, suas médias e desvios-padrões nas três combinações espectrais, na Figura 20, AAE está disposto em três combinações de comprimento de ondas: 440-675nm, 440-870nm e 675-870nm. A dependência em ondas curtas mensura a presença maior de elementos de absorção próximo do ultravioleta como poeiras de deserto e aerossóis carbonáceos orgânicos, o *brown carbon*. A dependência em ondas longas mensura a variação do AAOD para fuligens de queima de combustíveis fósseis e de biomassa (BAHADUR *et al.*, 2012; DUBOVIK *et al.*, 2002; ECK *et al.*, 1999a; RUSSELL *et al.*, 2010b). A menor média e maior desvio-padrão é a combinação de ondas longas, com frequência maior de AAE entre 0-0,75 em 37%, comparada à combinação de 440-675nm que apresentou 6% dessa mesma faixa, e maior frequência entre 0,75 e 1 em quase 40%, seguido de 1-1,25 com 21%. A maior média é a combinação de onda curta (440-675nm), com 1,24 e seguido para combinação intermediária entre 440 e 870nm com 1,07 de média. Em ambas combinações, não houve significativa alteração do desvio-padrão. A faixa maior que 1,0 representa 79% para 440-675nm e 23% para 440-870nm. Esses resultados indicam no geral a maior absorção na região próxima ao UV e menor variação de AAOD com o comprimento de onda na região de ondas longas. Salienta-se que em épocas de intensa queimada, todos os parâmetros tiveram aumento. Os valores médios determinados estão de acordo com o registrado na literatura para esse

tipo de emissão (CAZORLA et al., 2013; ECK et al., 1999a; REID et al., 1999; RUSSELL et al., 2010b).

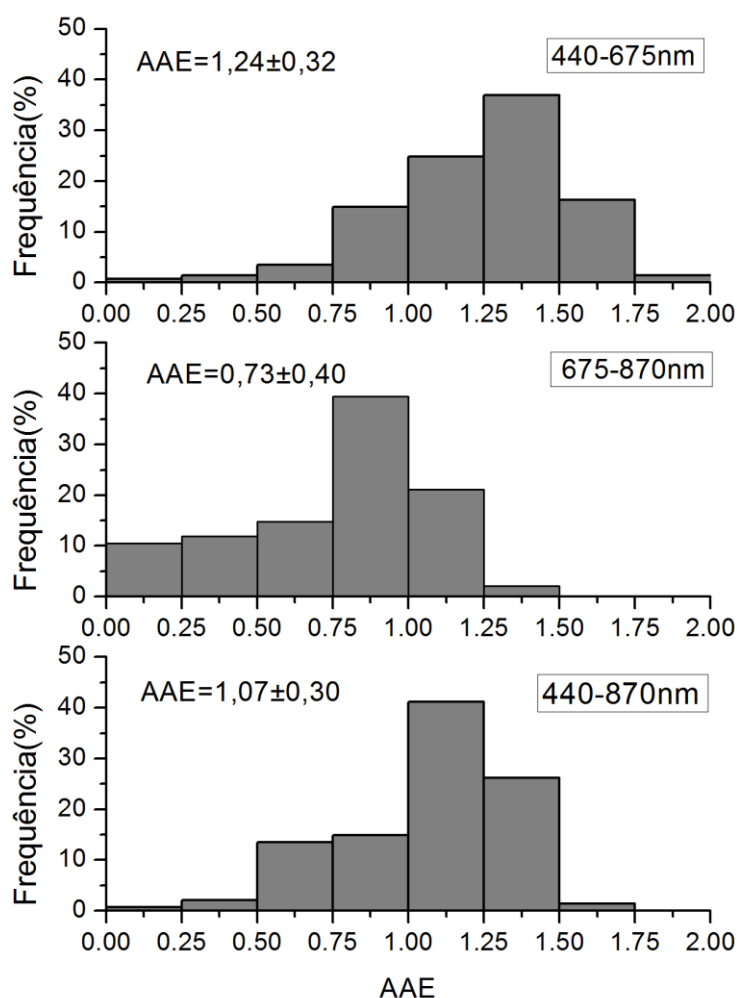


Figura 20 – Histograma de AAE em três combinações espectrais 440-675nm, 440-870nm e 675-870nm, com suas médias e desvios-padrões.

Convém registrar que as frequências de AAE menores que 1, situam-se em maior medida em períodos de menores ocorrências de queimadas, e como visto na Figura 10, logo que o período seco se prolonga, o AAE oscila entre 1-1,25 no caso do 440-870nm, mas vale também para a combinação de 440-675nm. Pela baixíssima frequência de AAE maiores que 1,5, supõe-se que a população de partículas referentes a alta absorção em UV como BrC e poeiras é pequena no registro geral no período, o

que valida a percepção química já descrita na seção 4.2. Apenas a combinação de ondas curtas apresentou frequência de AAE maior que 1,5 representativo, em 17%.

A combinação para SAE não se mostrou muito afetado para diferentes comprimentos de onda, como se observa na Figura 18a. A correlação linear se mostrou efetiva em 98% dos casos entre SAE 440-675 e SAE 440-870nm, e 97% entre SAE 675-870 e SAE 440-870nm. A relação entre ondas curtas e longas Figura 18b, mostra que em 89% houve correspondência estatística entre as variáveis. Não se mostrando suficiente a alteração do comportamento do tamanho das partículas serem tão afetadas pela combinação de diferentes de comprimentos de onda.

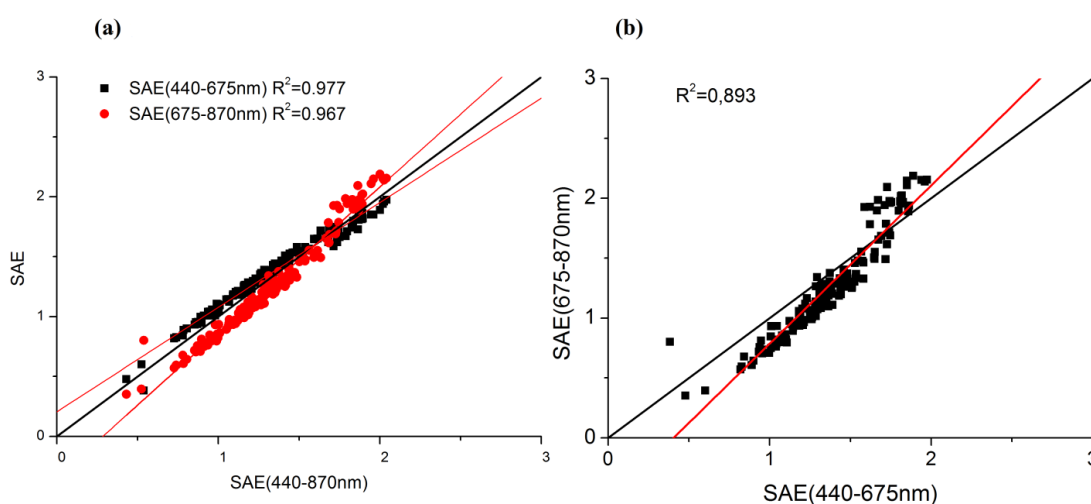


Figura 21 – Ajustes lineares entre combinações espectrais de Expoentes de Angstrom de Espalhamento. (a) Entre SAE₄₄₀₋₈₇₀ e SAE₄₄₀₋₆₇₅ em pontos pretos e SAE₆₇₅₋₈₇₀ em pontos vermelhos. (b) Entre SAE₄₄₀₋₆₇₅ e SAE₆₇₅₋₈₇₀.

Para analisar como a escolha da combinação de comprimentos de onda pode afetar a população de grupos óticos determinados pela Matriz de Angstrom foram plotados na Figura 19 as frequências dessas classes nas três combinações de comprimentos de onda. A combinação 440-870 foi utilizada na seção anterior e em trabalhos de Palácios *et al.*, (2020) e Rothmund *et al.*, (2018), a combinação 440-675 ou similar foi aplicada por Cazorla *et al.*, (2013), Valentini *et al.*, (2020), e Valenzuela *et al.*, (2015). Como visto, o AAE é afetado pela combinação espectral, é menor para ondas longas que para ondas curtas, porém com baixo impacto no SAE. O que ocorre

é o deslocamento “para cima” dos grupos no gráfico da Matriz de Angstrom, tornando os grupos mais absorvedores ($AAE > 1,0$) mais frequentes em ondas curtas que para ondas longas. Estes são deslocados “para baixo” ($AAE < 1,0$) em comparação a combinação 440-870nm, assim os grupos mais frequentes são os de menor absorção. Isso resulta em de modo que o grupo CLP foi o majoritário na classificação com 675-870nm, bem acima do identificado em ondas curtas e o aplicado anteriormente neste estudo.

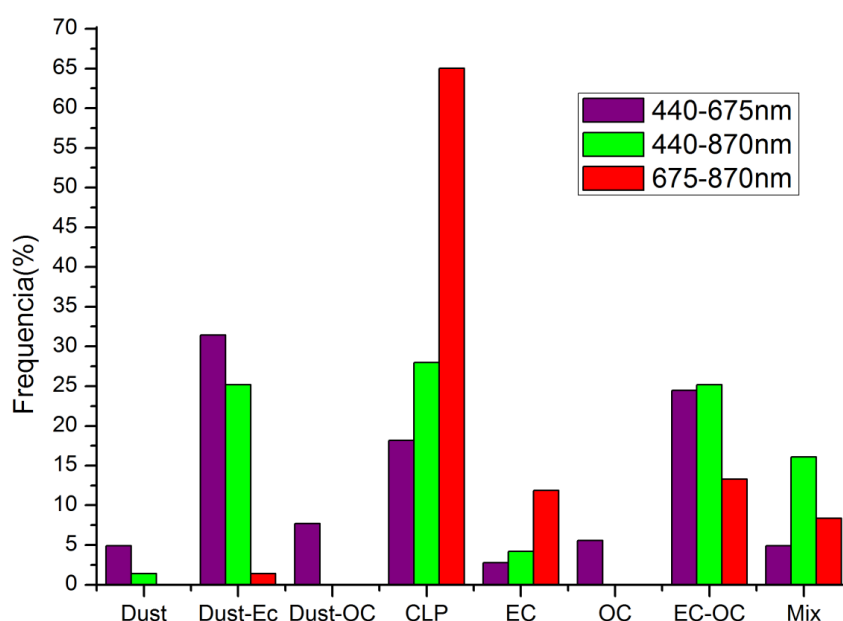


Figura 22 – Frequência das classes identificadas pela Matriz de Angström em três combinações de comprimento de onda. Em roxo, a 440-675nm, em verde 440-870nm, e vermelho 675-870nm.

Comparando-se 440-675nm e 440-870nm, não houve significativa alteração na frequência geral, registrou-se aumento de todas as classes, com exceção de CLP, EC, e Mix. Para EC-OC, houve insignificante redução. A determinação para análise em ondas curtas favoreceu, de forma geral, as espécies com absorção nesta faixa espectral, e como se mostrou anteriormente o $AAE_{440-675}$ é na média maior que o $AAE_{440-870}$, e como constatado na literatura. Assim, as classes Dust-OC, OC foram identificados, o que não ocorreu nas outras combinações. Desse modo, conclui-se que apesar das alterações, analisar a matriz de Angstrom em 440 e 675 e 440 e 870 não provocaria conclusões tão dispares. Já a análise em ondas longas é sugerida para ambientes com

maior presença de aerossóis urbanos e indústrias que respondem oticamente de forma equânime a todo o espectro. Em uma avaliação sazonal, as classes OC e Dust-OC ocorrem mais fortemente nos meses agosto e setembro, e de forma igualmente distribuída entre abril e outubro, respectivamente. Nesse caso, a classe Mix registrada em 400-870nm foi “deslocada acima” para Dust-OC e alguns EC-OC foram “deslocados” para OC, com a alteração de análise de comprimento de onda, não causando graves desvios de entendimento no estudo mensal dos grupos óticos no período seco.

5. CONCLUSÃO

As propriedades físicas, químicas e óticas dos aerossóis foram quantificadas para investigar o impacto da queima de biomassa em aerossóis em uma floresta úmida na estação seca. Este estudo focou na análise de eventos meteorológicos e ambientais sobre propriedades óticas de aerossóis; relacionar o tempo de evolução das propriedades óticas com a tendência dos elementos traço na estação seca; classificar ótica e quimicamente os aerossóis e verificar a relação entre os elementos químicos e os grupos óticos mais frequentes. As principais foram:

1. Os meses com baixas emissões de queimadas foram dominados por partículas grossas, verificada por meio da distribuição volumétrica de tamanho, Expoentes de Angstrom, e com elementos traço de poeira do solo (Al, Si, Ca, Mn e Fe) dominando a composição dos aerossóis. À medida que os incêndios aumentavam, EAE, AAE e dAAE aumentavam, devido ao aumento do *black carbon* na atmosfera e devido ao seu tamanho reduzido, ele também refletia no SAE. Os componentes químicos relacionados à queima de biomassa tiveram sua concentração elevada no pico dos incêndios de agosto a outubro, com possível impacto da pluma urbana sobre o fotômetro AERONET, como se comprova pela Rosa dos Ventos e por Modelos de Retrojetória da Hysplit-NoAA. O principal elemento absorvedor na composição química do aerossol na época seca é o *black carbon* que teve sua concentração aumentada no período, acompanhando as alterações das propriedades óticas. Mais especificamente o SSA teve seu valor reduzido até o início do mês de agosto quando se iniciam as queimadas próximas ao sítio de coleta dos filtros. Logo, conclui-se que o principal elemento transformador das propriedades óticas é o *black carbon* provenientes das queimadas de biomassa, porém não se deve diminuir o papel que elementos químicos traços relacionados a poeira do solo podem ter na absorção radiativa, especialmente na região do UV.

2. Os elementos relacionados à queima de biomassa como potássio, zinco e magnésio na moda fina e enxofre em ambas modas tiveram suas concentrações diretamente relacionadas à concentração do *black carbon* na moda fina e ao aumento de queimadas, principalmente entre agosto e outubro. Na moda fina, verificou-se

predomínio das classes BC e BB acompanhando o aumento das queimadas, e na moda grossa as classes Dust e BG foram majoritárias.

3. Os expoentes de Angstrom AAE e SAE foram aplicados à análise de agrupamentos para identificar as alterações na composição química, a dependência espectral e o tamanho dos aerossóis. No período seco houve domínio de EC e OC/EC (agosto a outubro), logo, verificou-se a diminuição média dos tamanhos e maior frequência dos grupos óticos relacionados a aerossóis de queima de biomassa, que possuem valores de AAE em torno de 1 a 1,5, e SAE maiores que 1,7 em média, neste estudo.

4. As classes relacionadas ao carbono elementar tiveram sua participação aumentada na mesma tendência dos grupos óticos. A participação do grupo ótico foi mais sensível ao número de partículas em um determinado tamanho do que a fração de massa obtida na análise de coleta de filtros. A proporção entre o *black carbon* e a concentração de matéria particulada é mais frequente em grupos óticos relacionados ao carbono elementar. Percebe-se que o ano de análise deste estudo sofre menos com queimadas e desflorestamento, tornando os grupos óticos deste estudo mais próximo de partículas grossas e de mistura entre partículas finas de queima e partículas grossas de poeira do solo recobertas com compostos orgânicos não-refratários, em comparação com a média histórica encontrada na literatura.

Para trabalhos futuros, **sugere-se:**

1) comparar este método de classificação química com análise de filtros com outros estudos da literatura em temporadas secas e chuvas e confrontar a análise ótica por Matriz de Angstrom em um fotômetro da AERONET próximo.

2) Iniciar uma nova campanha de coleta de filtros com equipamentos de variados diâmetros de partículas para acompanhar os impactos recentes no aumento das queimadas, e avaliar os dados óticos obtidos com equipamentos instalados atualmente na Base Avançada da UFMT.

3) Estudo mais criterioso das microestruturas das partículas de aerossol com técnicas de espectroscopia variadas em colaboração com grupos de pesquisa de todo o país e no exterior. Sugere-se ampliar os estudos em colaboração com o Laboratório Nacional de Luz Sincrotron em Campinas-SP.

4) Iniciar um estudo do impacto bioquímico e biomédico das partículas de queimada na temporada seca em parceria com grupos de pesquisa em Medicina e Saúde Pública para análise permanente da qualidade do ar.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHLM, L.; NILSSON, E. D.; KREJCI, R.; MÅRTENSSON, E. M.; VOGT, M.; ARTAXO, P. Aerosol number fluxes over the Amazon rain forest during the wet season. **Atmospheric Chemistry and Physics**, [S. l.], v. 9, n. 24, p. 9381–9400, 2009. DOI: 10.5194/acp-9-9381-2009.

ALVES, Célia. AEROSSÓIS ATMOSFÉRICOS: PERSPECTIVA HISTÓRICA, FONTES, PROCESSOS QUÍMICOS DE FORMAÇÃO E COMPOSIÇÃO ORGÂNICA. **Quim. Nova**, [S. l.], v. 28, n. 5, p. 859–870, 2005. Disponível em: http://quimicanova.sbq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=3211.

ANDREAE, M. O. et al. Biogeochemical cycling of carbon, water, energy, trace gases, and aerosols in Amazonia: The LBA-EUSTACH experiments. **Journal of Geophysical Research D: Atmospheres**, [S. l.], v. 107, n. 20, 2002. DOI: 10.1029/2001JD000524.

ANDREAE, M. O. et al. The Amazon Tall Tower Observatory (ATTO) in the remote Amazon Basin: overview of first results from ecosystem ecology, meteorology, trace gas, and aerosol measurements. **Atmospheric Chemistry and Physics Discussions**, [S. l.], v. 15, n. 8, p. 11599–11726, 2015. DOI: 10.5194/acpd-15-11599-2015.

ANDREAE, M. O.; GELENCSE, A. Black carbon or brown carbon? the nature of light-absorbing carbonaceous aerosols. **Atmospheric Chemistry and Physics**, [S. l.], v. 6, n. 10, p. 3131–3148, 2006. DOI: 10.5194/acp-6-3131-2006.

ANDREAE, Meinrat O. Soot Carbon and Excess Fine Potassium: Long-Range Transport of Combustion-Derived Aerosols. **Science (New York, N.Y.)**, [S. l.], v. 220, p. 10–13, 1983. Disponível em: <http://www.sciencemag.org/content/220/4602/1148.short>.

ANDREAE, Meinrat O. Biogenic and and Impact Pyrogenic on Emissions Global from Africa the Atmosphere. **Sciences-New York**, [S. l.], v. 29, n. 1, p. 23–29, 2009.

ANDREAE, Meinrat O. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning – An updated assessment. **Atmospheric Chemistry and Physics Discussions**, [S. l.], p. 1–27, 2019. DOI: 10.5194/acp-2019-303.

ANDREWS, Elisabeth; OGREN, John A.; KINNE, Stefan; SAMSET, Bjorn. Comparison of AOD, AAOD and column single scattering albedo from AERONET retrievals and in situ profiling measurements. **Atmospheric Chemistry and Physics**, [S. l.], v. 17, n. 9, p. 6041–6072, 2017. DOI: 10.5194/acp-17-6041-2017.

ARAGÃO, Luiz E. O. C. et al. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. **Nature Communications**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 1–12, 2018. DOI: 10.1038/s41467-017-02771-y. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/s41467-017-02771-y>.

ARANA, A. Aerossóis Atmosféricos Na Amazônia : Composição. **PhD**, [S. l.], p. 153, 2014.

ARANA, A.; ARTAXO, P. Elemental composition of the atmospheric aerosol in the central amazon basin. **Quim. Nova**, [S. l.], v. 37, n. 2, p. 268–276, 2014.

ARNETH, A.; SCHURGERS, G.; LATHIÈRE, J.; DUHL, T.; BEERLING, D. J.; HEWITT, C. N.; MARTIN, M.; GUENTHER, A. Global terrestrial

isoprene emission models: sensitivity to variability in climate and vegetation. **Atmospheric Chemistry and Physics Discussions**, [S. l.], v. 11, n. 4, p. 10615–10652, 2011. DOI: 10.5194/acpd-11-10615-2011.

ARTAXO, Paulo et al. Atmospheric aerosols in Amazonia and land use change: From natural biogenic to biomass burning conditions. **Faraday Discussions**, [S. l.], v. 165, p. 203–235, 2013. a. DOI: 10.1039/c3fd00052d.

ARTAXO, Paulo; BARBOSA, Henrique M. J.; RIZZO, Luciana V.; BRITO, Joel F.; SENA, Elisa T.; CIRINO, Glauber G.; ARANA, Andrea. Aerosols in Amazonia: Natural biogenic particles and large scale biomass burning impacts. **AIP Conference Proceedings**, [S. l.], v. 1527, n. February 2014, p. 487–490, 2013. b. DOI: 10.1063/1.4803311.

ARTAXO, Paulo; CASTANHO, Andrea D.; YAMASOE, Marcia A.; MARTINS, José Vanderlei; LONGO, Karla M. Analysis of atmospheric aerosols by PIXE: the importance of real time and complementary measurements. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms**, [S. l.], v. 150, n. 1–4, p. 312–321, 1999. DOI: 10.1016/S0168-583X(98)01007-6.

ARTAXO, Paulo; FERNANDES, Eduardo T.; MARTINS, José V.; YAMASOE, Márcia A.; HOBBS, Peter V.; MAENHAUT, Willy; LONGO, Karla M.; CASTANHO, Andrea. Large-scale aerosol source apportionment in Amazonia. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, [S. l.], v. 103, n. D24, p. 31837–31847, 1998. DOI: 10.1029/98JD02346.

ARTAXO, Paulo; HANSSON, Hans Christen. Size distribution of biogenic aerosol particles from the amazon basin. **Atmospheric Environment**, [S. l.], v. 29, n. 3, p. 393–402, 1995. DOI: 10.1016/1352-2310(94)00178-N.

ARTAXO, Paulo; MARTINS, José Vanderlei; YAMASOE, Marcia A.; PROCÓPIO, Aline S.; PAULIQUEVIS, Theotonio M.; ANDREAE, Meinrat O.; GUYON, Pascal; GATTI, Luciana V.; LEAL, Ana Maria Cordova. Physical and chemical properties of aerosols in the wet and dry seasons in Rondônia, Amazonia. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, [S. l.], v. 107, n. 20, p. LBA 49-1-LBA 49-14, 2002. DOI: 10.1029/2001JD000666.

ARTAXO, Paulo; ORSINI, Celso. PIXE and receptor models applied to remote aerosol source apportionment in Brazil. **Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, B**, [S. l.], v. 22, n. 1–3, p. 259–263, 1987. DOI: 10.1016/0168-583X(87)90339-9.

ARTAXO, Paulo; STORMS, Hedwig; BRUYNSEELS, Frank; MAENHAUT, Willy. Composition and Sources of Aerosols From the Amazon Basin. **JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH**, [S. l.], v. 93, n. D2, p. 1605–1615, 1988.

BAHADUR, Ranjit; PRAVEEN, Puppala S.; XU, Yangyang; RAMANATHAN, V. Solar absorption by elemental and brown carbon determined from spectral observations. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, [S. l.], v. 109, n. 43, p. 17366–17371, 2012. DOI: 10.1073/pnas.1205910109.

BEAUFORD, W.; BARBER, J.; BARRINGER, A. R. Heavy metal release from plants into the atmosphere. **Nature**, [S. l.], v. 256, n. July 3, 1975.

BEAUFORD, W.; BARBER, J.; BARRINGER, A. R. Release of particles containing metals from vegetation into the atmosphere. **Science**, [S. l.], v. 195, n. 4278,

p. 571–573, 1977. DOI: 10.1126/science.195.4278.571.

BEGUM, B. A.; BISWAS, S. K.; MARKWITZ, A.; HOPKE, K. P. Identification of Sources of Fine and Coarse Particulate Matter in Dhaka, Bangladesh. **Aerosol and air Quality Research**, [S. l.], v. 10, 2010.

BERGSTROM, R. W.; PILEWSKIE, P.; RUSSELL, P. B.; REDEMANN, J.; BOND, T. C.; QUINN, P. K.; SIERAU, B. Spectral absorption properties of atmospheric aerosols. **Atmospheric Chemistry and Physics**, [S. l.], v. 7, n. 23, p. 5937–5943, 2007. DOI: 10.5194/acp-7-5937-2007.

BIRDI, K. S. Surface and Colloid Chemistry. **Surface and Colloid Chemistry**, [S. l.], 2009. DOI: 10.1201/b10154.

BOND, Tami C.; BERGSTROM, Robert W. Light absorption by carbonaceous particles: An investigative review. **Aerosol Science and Technology**, [S. l.], v. 40, n. 1, p. 27–67, 2006. DOI: 10.1080/02786820500421521.

BOUCHER, Olivier; RANDALL, David. Clouds and aerosols. **Climate Change 2013 the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, [S. l.], v. 9781107057, p. 571–658, 2013. DOI: 10.1017/CBO9781107415324.016.

BRITO, J. et al. Ground-based aerosol characterization during the South American Biomass Burning Analysis (SAMBBA) field experiment. **Atmospheric Chemistry and Physics**, [S. l.], v. 14, n. 22, p. 12069–12083, 2014. DOI: 10.5194/acp-14-12069-2014.

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**, [S. l.], v. 14, n. 9, p. 4397–4407, 2014. DOI: 10.5194/acp-14-4397-2014.

CAPPA, Christopher D.; KOLESAR, Kathryn R.; ZHANG, Xiaolu; ATKINSON, Dean B.; PEKOUR, Mikhail S.; ZAVERI, Rahul A.; ZELENYUK-IMRE, Alla; ZHANG, Qi. Understanding the Optical Properties of Ambient Sub- and Supermicron Particulate Matter: Results from the CARES 2010 Field Study in Northern California. **Atmospheric Chemistry and Physics Discussions**, [S. l.], v. 2016, 2016. a. DOI: 10.5194/acp-2015-928.

CAPPA, Christopher D.; KOLESAR, Kathryn R.; ZHANG, Xiaolu; ATKINSON, Dean B.; PEKOUR, Mikhail S.; ZAVERI, Rahul A.; ZELENYUK, Alla; ZHANG, Qi. Understanding the optical properties of ambient sub-and supermicron particulate matter: Results from the CARES 2010 field study in northern California. **Atmospheric Chemistry and Physics**, [S. l.], v. 16, n. 10, p. 6511–6535, 2016. b. DOI: 10.5194/acp-16-6511-2016.

CAZORLA, A.; BAHADUR, R.; SUSKI, K. J.; CAHILL, J. F.; CHAND, D.; SCHMID, B.; RAMANATHAN, V.; PRATHER, K. A. Relating aerosol absorption due to soot, organic carbon, and dust to emission sources determined from in-situ chemical measurements. **Atmospheric Chemistry and Physics**, [S. l.], v. 13, n. 18, p. 9337–9350, 2013. DOI: 10.5194/acp-13-9337-2013.

CHEN, Q. et al. Mass spectral characterization of submicron biogenic organic particles in the Amazon Basin. **Geophysical Research Letters**, [S. l.], v. 36, n. 20, p. 1–5, 2009. DOI: 10.1029/2009GL039880.

COELHO, Caio A. S. et al. Climate diagnostics of three major drought events in the Amazon and illustrations of their seasonal precipitation predictions. **Meteorological Applications**, [S. l.], v. 19, n. 2, p. 237–255, 2012. DOI:

10.1002/met.1324.

COOKE, William F.; WILSON, Julian J. N. A global black carbon aerosol model. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, [S. l.], v. 101, n. 14, p. 19395–19409, 1996. DOI: 10.1029/96jd00671.

CORINGA, Elaine De Arruda Oliveira; COUTO, Eduardo Guimarães; TORRADO, Pablo Vidal. Geoquímica de solos do pantanal norte, mato grosso. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, [S. l.], v. 38, n. 6, p. 1784–1793, 2014. DOI: 10.1590/s0100-06832014000600013.

CRUTZEN, P. J.; ANDREAE, M. O. Biomass Burning in the Tropics: Impact on Atmospheric Chemistry and Biogeochemical Cycles. **Science**, [S. l.], v. 250, n. 4988, p. 1669–1678, 1990. DOI: 10.1126/science.250.4988.1669.

CRUTZEN, Paul J.; ANDREAE, Meinrat O. Atmospheric Aerosols: Biogeochemical Sources and Role in Atmospheric Chemistry. **Science**, [S. l.], v. 276, 1997.

CURADO, Leone Francisco Amorim; NOGUEIRA, José de Souza; SANCHES, Luciana; BIUDES, Marcelo Sacardis; RODRIGUES, Thiago Rangel. Interannual Variability of Energy Flux in Atmospheric Instability Conditions at Pantanal of Mato Grosso-Brazil. **Atmospheric and Climate Sciences**, [S. l.], v. 02, n. 04, p. 518–524, 2012. DOI: 10.4236/acs.2012.24046.

DA CUNHA, C. N.; JUNK, W. J. The impact of Flooding on Distribution of woody plants communities along in the Pantanal of Poconé, Mato Grosso, Brazil. **Int. J. Ecol. Environ. Sci.**, [S. l.], v. 27, 2000.

DA CUNHA, C. N.; JUNK, W. J. Year-to-year changes in water level drive the invasion of *Vochysia divergens* in Pantanal grasslands. **Appl. Veg. Sci.**, [S. l.], v. 7, p. 103–110, 2004.

DA SILVA, Ageo Mário Cândido; MATTOS, Inês E.; FREITAS, Saulo R.; LONGO, Karla M.; HACON, Sandra S. Material particulado (PM_{2.5}) de queima de biomassa e doenças respiratórias no sul da Amazônia brasileira. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, [S. l.], v. 13, n. 2, p. 337–351, 2010. DOI: 10.1590/s1415-790x2010000200015.

DE GOUW, Joost; JIMENEZ, Jose L. Organic aerosols in the earth's atmosphere. **Environmental Science and Technology**, [S. l.], v. 43, n. 20, p. 7614–7618, 2009. DOI: 10.1021/es9006004.

DE HAAN, David O. et al. Nitrogen-Containing, Light-Absorbing Oligomers Produced in Aerosol Particles Exposed to Methylglyoxal, Photolysis, and Cloud Cycling. **Environmental Science and Technology**, [S. l.], v. 52, n. 7, p. 4061–4071, 2018. DOI: 10.1021/acs.est.7b06105.

DE MIRANDA, Regina Maura; LOPES, Fabio; DO ROSÁRIO, Nilton Évora; YAMASOE, Marcia Akemi; LANDULFO, Eduardo; DE FATIMA ANDRADE, Maria. The relationship between aerosol particles chemical composition and optical properties to identify the biomass burning contribution to fine particles concentration: a case study for São Paulo city, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, [S. l.], v. 189, n. 1, 2016. DOI: 10.1007/s10661-016-5659-7. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-016-5659-7>.

DESYATERIK, Yury; SUN, Yele; SHEN, Xinhua; LEE, Taehyoung; WANG, Xinfeng; WANG, Tao; COLLETT, Jeffrey L. Speciation of “brown” carbon in cloud water impacted by agricultural biomass burning in eastern China. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, [S. l.], v. 118, n. 13, p. 7389–7399, 2013. DOI:

10.1002/jgrd.50561.

ECHALAR, F.; GAUDICHET, A.; CACHIER, H. Forest. *[S. l.]*, v. 22, n. 22, p. 3039–3042, 1995.

ECK, T. F.; HOLBEN, B. N.; REID, J. S.; DUBOVIK, O.; SMIRNOV, A.; NEILL, N. T. O.; SLUTSKER, I.; KINNE, S. Wavelength dependence of the optical depth of biomass burning, urban, and desert dust aerosols. **JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH**, *[S. l.]*, v. 104, n. 1, 1999. a. DOI: <http://dx.doi.org/10.1029/1999JD900923>.

ECK, T. F.; HOLBEN, B. N.; REID, J. S.; SMIRNOV, A.; NEILL, N. T. O.; SLUTSKER, I.; KINNE, S. Wavelength dependence of the optical depth of biomass burning, urban, and desert dust aerosols. **JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH**, *[S. l.]*, v. 104, n. 1, 1999. b.

FANG, Ting; ZENG, Linghan; GAO, Dong; VERMA, Vishal; STEFANIAK, Aleksandr B.; WEBER, Rodney J. Ambient Size Distributions and Lung Deposition of Aerosol Dithiothreitol-Measured Oxidative Potential: Contrast between Soluble and Insoluble Particles. **Environmental Science and Technology**, *[S. l.]*, v. 51, n. 12, p. 6802–6811, 2017. DOI: 10.1021/acs.est.7b01536.

FRAUND, Matthew et al. Elemental mixing state of aerosol particles collected in central amazonia during GoAmazon2014/15. **Atmosphere**, *[S. l.]*, v. 8, n. 9, 2017. DOI: 10.3390/atmos8090173.

GAN, M. A.; KOUSKY, V. E.; ROPELEWSKI, C. F. The South America Monsoon circulation and its relationship to rainfall over west-central Brazil. **Journal of Climate**, *[S. l.]*, v. 17, n. 1, p. 47–66, 2004. DOI: 10.1175/1520-0442(2004)017<0047:TSAMCA>2.0.CO;2.

GREENBERG, James P.; GUENTHER, Alex B.; PÉTRON, Gabrielle; WIEDINMYER, Christine; VEGA, Oscar; GATTI, Luciana V.; TOTA, Julio; FISCH, Gilberto. Biogenic VOC emissions from forested Amazonian landscapes. **Global Change Biology**, *[S. l.]*, v. 10, n. 5, p. 651–662, 2004. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2004.00758.x.

GREGORY, G. L. et al. Air chemistry over the tropical forest of Guyana. **Journal of Geophysical Research**, *[S. l.]*, v. 91, n. D8, p. 8603, 1986. DOI: 10.1029/jd091id08p08603.

GUENTHER, A. B.; JIANG, X.; HEALD, C. L.; SAKULYANONTVITTAYA, T.; DUHL, T.; EMMONS, L. K.; WANG, X. The model of emissions of gases and aerosols from nature version 2.1 (MEGAN2.1): An extended and updated framework for modeling biogenic emissions. **Geoscientific Model Development**, *[S. l.]*, v. 5, n. 6, p. 1471–1492, 2012. DOI: 10.5194/gmd-5-1471-2012.

GUENTHER, A.; KARL, T.; HARLEY, P.; WIEDINMYER, C.; PALMER, P. I.; GERON, C. Estimates of global terrestrial isoprene emissions using MEGAN (Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature). **Atmospheric Chemistry and Physics**, *[S. l.]*, v. 6, n. 11, p. 3181–3210, 2006. DOI: 10.5194/acp-6-3181-2006.

GUNZ, Dieter W.; HOFFMAN, Michael R. ATMOSPHERIC CHEMISTRY OF PEROXIDES: A REVIEW. **Atmospheric Environment**, *[S. l.]*, v. 24A, n. 7, p. 1601–1633, 1990. DOI: 10.1017/s0022226700013931.

HALLETT, J.; HUDSON, J. G.; ROGERS, C. F. Characterization of combustion aerosols for haze and cloud formation. **Aerosol Science and Technology**,

[S. l.], v. 10, n. 1, p. 70–83, 1989. DOI: 10.1080/02786828908959222.

HALLQUIST, M. et al. The formation, properties and impact of secondary organic aerosol: Current and emerging issues. **Atmospheric Chemistry and Physics**, [S. l.], v. 9, n. 14, p. 5155–5236, 2009. DOI: 10.5194/acp-9-5155-2009.

HALTHORE, R.; ECK, T.; HOLBEN, B.; MARKHAM, B. Sun photometric measurements of atmospheric water vapor column abundance in the 940 nm band. **Journal of Geophysical Research-All Series**, [S. l.], v. 102, p. 4343–4352, 1997.

HANSEN, A. D. A.; KAPUSTIN, V. N.; KOPEIKIN, V. M.; GILLETTE, D. A.; BODHAINE, B. A. Optical absorption by aerosol black carbon and dust in a desert region of Central Asia. **Atmospheric Environment Part A, General Topics**, [S. l.], v. 27, n. 16, p. 2527–2531, 1993. DOI: 10.1016/0960-1686(93)90025-T.

HARLEY, Peter et al. Variation in potential for isoprene emissions among Neotropical forest sites. **Global Change Biology**, [S. l.], v. 10, n. 5, p. 630–650, 2004. DOI: 10.1111/j.1529-8817.2003.00760.x.

HECOBIAN, A.; ZHANG, X.; ZHENG, M.; FRANK, N.; EDGERTON, E. S.; WEBER, R. J. Water-soluble organic aerosol material and the light-absorption characteristics of aqueous extracts measured over the Southeastern United States. **Atmospheric Chemistry and Physics**, [S. l.], v. 10, n. 13, p. 5965–5977, 2010. DOI: 10.5194/acp-10-5965-2010.

HORVATH, Helmuth. Gustav Mie and the scattering and absorption of light by particles: Historic developments and basics. **Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer**, [S. l.], v. 110, n. 11, p. 787–799, 2009. DOI: 10.1016/j.jqsrt.2009.02.022.

HUANG, Jianping; MENDOZA, Blanca; DANIEL, John S.; NIELSEN, Claus J.; ROTSTAYN, Leon; WILD, Oliver. Anthropogenic and natural radiative forcing. **Climate Change 2013 the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, [S. l.], v. 9781107057, p. 659–740, 2013. DOI: 10.1017/CBO9781107415324.018.

IJIMA, Sumio. DIRECT OBSERVATION OF THE TETRAHEDRAL BONDING IN GRAPHITIZED CARBON BLACK BY. [S. l.], v. 50, 1980.

INPE. **Instituto Nacional de Pesquisa Espacial - Queimadas**. 2020. Disponível em: <http://queimadas.dgi.inpe.br/>. Acesso em: 2 jun. 2020.

ITO, A.; SHI, Z. Delivery of anthropogenic bioavailable iron from mineral dust and combustion aerosols to the ocean. **Atmospheric Chemistry and Physics**, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 85–99, 2016. DOI: 10.5194/acp-16-85-2016.

ITO, Akinori et al. Pyrogenic iron: The missing link to high iron solubility in aerosols. **Science Advances**, [S. l.], v. 5, n. 5, p. 13–15, 2019. DOI: 10.1126/sciadv.aau7671.

ITO, Akinori; LIN, Guangxing; PENNER, Joyce E. Radiative forcing by light-absorbing aerosols of pyrogenetic iron oxides. **Scientific Reports**, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 1–11, 2018. DOI: 10.1038/s41598-018-25756-3.

JACOBSON, Ludmilla Da Silva Viana; HACON, Sandra De Souza; CASTRO, Hermano Albuquerque De; IGNOTTI, Eliane; ARTAXO, Paulo; SALDIVA, Paulo Hilário Nascimento; DE LEON, Antonio Carlos Monteiro Ponce. Acute effects of particulate matter and black carbon from seasonal fires on peak expiratory flow of schoolchildren in the Brazilian Amazon. **PLoS ONE**, [S. l.], v. 9,

n. 8, 2014. DOI: 10.1371/journal.pone.0104177.

JACOBSON, M. C.; HANSSON, H. Review of the State of the Science of the Atmosphere Aerosols. **Reviews of Geophysics**, [S. l.], n. 1998, p. 267–294, 2000. DOI: 10.1029/1998RG000045.

JICKELLS, T. D. et al. Global iron connections between desert dust, ocean biogeochemistry, and climate. **Science**, [S. l.], v. 308, n. 5718, p. 67–71, 2005. DOI: 10.1126/science.1105959.

JICKELLS, Tim; MOORE, C. Mark. The Importance of Atmospheric Deposition for Ocean Productivity. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, [S. l.], v. 46, n. 1, p. 481–501, 2015. DOI: 10.1146/annurev-ecolsys-112414-054118.

KIS, Viktória Kovács; PÓSFAL, Mihály; LÁBÁR, János L. Nanostructure of atmospheric soot particles. **Atmospheric Environment**, [S. l.], v. 40, n. 29, p. 5533–5542, 2006. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2006.05.012.

KODAMA, Yasumasa. Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu Frontal Zone , the SPCZ , and the SACZ) Part I: Characteristics of subtropical frontal zones. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, [S. l.], v. 70, n. 4, p. 813–836, 1992. DOI: 10.1248/cpb.37.3229.

LECK, Caroline; BIGG, E. Keith. A modified aerosol-cloud-climate feedback hypothesis. **Environmental Chemistry**, [S. l.], v. 4, n. 6, p. 400–403, 2007. DOI: 10.1071/EN07061.

LEE, L. A.; CARSLAW, K. S.; PRINGLE, K. J.; MANN, G. W.; SPRACKLEN, D. V. Emulation of a complex global aerosol model to quantify sensitivity to uncertain parameters. **Atmospheric Chemistry and Physics**, [S. l.], v. 11, n. 23, p. 12253–12273, 2011. DOI: 10.5194/acp-11-12253-2011.

LESLIE, Alistair C. D. Aerosol emissions from forest and grassland burnings in the southern Amazon Basin And Central Brazil. **Nuclear Instruments and Methods**, [S. l.], v. 181, n. Part XII. Aerosol applications. A. Aerosol characteristics at sources, p. 345–351, 1981.

LIN, G.; PENNER, J. E.; SILLMAN, S.; TARABORRELLI, D.; LELIEVELD, J. Global modeling of SOA formation from dicarbonyls, epoxides, organic nitrates and peroxides. **Atmospheric Chemistry and Physics**, [S. l.], v. 12, n. 10, p. 4743–4774, 2012. DOI: 10.5194/acp-12-4743-2012.

LIN, Peng; LASKIN, Julia; NIZKORODOV, Sergey A.; LASKIN, Alexander. Revealing Brown Carbon Chromophores Produced in Reactions of Methylglyoxal with Ammonium Sulfate. **Environmental Science and Technology**, [S. l.], v. 49, n. 24, p. 14257–14266, 2015. DOI: 10.1021/acs.est.5b03608.

LIN, Ying Hsuan et al. Light-absorbing oligomer formation in secondary organic aerosol from reactive uptake of isoprene epoxydiols. **Environmental Science and Technology**, [S. l.], v. 48, n. 20, p. 12012–12021, 2014. DOI: 10.1021/es503142b.

LIU, Yingjun et al. Isoprene photochemistry over the Amazon rainforest. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, [S. l.], v. 113, n. 22, p. 6125–6130, 2016. DOI: 10.1073/pnas.1524136113.

LONGO, Amelia F. et al. P-NEXFS analysis of aerosol phosphorus delivered to the Mediterranean Sea. **Geophysical Research Letters**, [S. l.], p. 1–7, 2014. DOI: 10.1002/2014GL060555. Received.

MACHADO-SILVA, Fausto; LIBONATI, Renata; MELO DE LIMA,

Thiago Felipe; BITTENCOURT PEIXOTO, Roberta; DE ALMEIDA FRANÇA, José Ricardo; DE AVELAR FIGUEIREDO MAFRA MAGALHÃES, Mônica; LEMOS MAIA SANTOS, Filipe; ABRANTES RODRIGUES, Julia; DACAMARA, Carlos C. Drought and fires influence the respiratory diseases hospitalizations in the Amazon. **Ecological Indicators**, [S. l.], v. 109, n. October 2019, p. 105817, 2020. DOI: 10.1016/j.ecolind.2019.105817. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105817>.

MAENHAUT, Willy; FERNANDEZ-JIMENEZ, M. T.; ARTAXO, Paulo. LONG-TERM STUDY OF ATMOSPHERIC AEROSOLS IN CUIABA, BRAZIL: MULTIELEMENTAL COMPOSITION, SOURCES AND SOURCE APPORTIONMENT. **Journal of Aerosol Science**, [S. l.], v. 30, p. 259–260, 1999.

MAENHAUT, Willy; FERNANDEZ-JIMENEZ, Maria-Teresa; RAJTA, Istvan; ARTAXO, Paulo E. Two-year study of atmospheric aerosols in Alta Floresta , Brazil : Multielemental composition and source apportionment. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B**, [S. l.], v. 189, p. 243–248, 2002.

MAHOWALD, Natalie M. et al. Atmospheric Iron Deposition: Global Distribution, Variability, and Human Perturbations. **Annual Review of Marine Science**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 245–278, 2009. DOI: 10.1146/annurev.marine.010908.163727.

MAITELLI, G. T. **Uma abordagem tridimensional de clima urbano em área tropical continental: o exemplo de Cuiabá – MT**. 1994. Universidade de São Paulo, [S. l.], 1994.

MARENGO, José A.; NOBRE, Carlos A.; CULF, Alistair D. Climatic impacts of “friagens” in forested and deforested areas of the Amazon basin. **Journal of Applied Meteorology**, [S. l.], v. 36, n. 11, p. 1553–1566, 1997. DOI: 10.1175/1520-0450(1997)036<1553:CIOFIF>2.0.CO;2.

MARTIN, S. T. et al. An overview of the Amazonian Aerosol Characterization Experiment 2008 (AMAZE-08). **Atmospheric Chemistry and Physics**, [S. l.], v. 10, n. 23, p. 11415–11438, 2010. DOI: 10.5194/acp-10-11415-2010.

MARTINS, J. Vanderlei; ARTAXO, Paulo; LIOUSSE, Catherine; REID, Jeffrey S.; HOBBS, Peter V.; KAUFMAN, Yoram J. Effects of black carbon content, particle size, and mixing on light absorption by aerosols from biomass burning in Brazil. **Journal of GEOPHYSICAL RESEARCH**, [S. l.], v. 103, n. 98, p. 41–50, 1998. a.

MARTINS, J. Vanderlei; HOBBS, Peter V.; WEISS, Ray E.; ARTAXO, Paulo. Sphericity and morphology of smoke particles from biomass burning in Brazil. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, [S. l.], v. 103, n. D24, p. 32051–32057, 1998. b. DOI: 10.1029/98JD01153.

MARTINS, José Vanderlei. **O efeito de partículas de aerossol de queimadas da Amazônia no balanço radiativo da atmosfera**. Universidade de São Paulo - USP, 1999. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/43/43131/tde-20072012-121657/en.php>.

MATTHIAS-MASER, Sabine; GRUBER, Sabine; JAENICKE, Ruprecht. The size distribution of primary biological aerosol particles in rain-water. **Nucleation and Atmospheric Aerosols 1996**, [S. l.], v. 39, n. June 1993, p. 526–529, 1996. DOI: 10.1016/b978-008042030-1/50127-x.

MEDALIA, Avrom I.; RIVIN, Donald. Particulate carbon and other

components of soot and carbon black. **Carbon**, [S. l.], v. 20, n. 6, p. 481–492, 1982. DOI: 10.1016/0008-6223(82)90084-7.

MERSMANN, A.; MERSMANN, A.; HEYER, C.; EBLE, A. Activated Nucleation. **Crystallization Technology Handbook**, [S. l.], 2001. DOI: 10.1201/9780203908280-3.

MONAHAN, Edward C.; NIOCAILL, Gearoid M. **Oceanic whitecaps and Their Role in Air-sea Exchange Processes**. Dordrecht, Holland: D. Reidel Publishing Company, 1986. DOI: 10.1007/978-94-009-4668-2.

MOOSMÜLLER, H.; CHAKRABARTY, R. K. Technical Note: Simple analytical relationships between Ångström coefficients of aerosol extinction, scattering, absorption, and single scattering albedo. **Atmospheric Chemistry and Physics**, [S. l.], v. 11, n. 20, p. 10677–10680, 2011. DOI: 10.5194/acp-11-10677-2011.

MOTEKI, Nobuhiro; ADACHI, Kouji; OHATA, Sho; YOSHIDA, Atsushi; HARIGAYA, Tomoo; KOIKE, Makoto; KONDO, Yutaka. Anthropogenic iron oxide aerosols enhance atmospheric heating. **Nature Communications**, [S. l.], v. 8, n. May, p. 1–11, 2017. DOI: 10.1038/ncomms15329. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/ncomms15329>.

NOBRE, Carlos A.; MATTOS, Luiz F.; DERECZYNSKI, Claudine P.; TARASOVA, Tatiana A.; TROSNIKOV, Igor V; INO, I. Overview of atmospheric conditions during the Smoke, Clouds, and Radiation-Brazil (SCAR-B) field experiment. **JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH**, [S. l.], v. 103, p. 31809–31820, 1998.

NORRIS, Garry; DUVALL, Rachelle. **EPA Positive Matrix Factorization (PMF) 5.0 Fundamentals and User Guide** Environmental Protection Agency Office of Research and Development, Research Triangle Park Publishing House Washington, DC 20460, , 2014. Disponível em: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-02/documents/pmf_5.0_user_guide.pdf.

NOVAKOV, T.; PENNER, J. E. Large contribution of organic aerosols to cloud-condensation-nuclei concentrations. **Nature**, [S. l.], v. 365, n. 6449, p. 823–826, 1993. DOI: 10.1038/365823a0.

PACIFICO, F.; FOLBERTH, G. A.; SITCH, S.; HAYWOOD, J. M.; RIZZO, L. V.; MALAVELLE, F. F.; ARTAXO, P. Biomass burning related ozone damage on vegetation over the Amazon forest: A model sensitivity study. **Atmospheric Chemistry and Physics**, [S. l.], v. 15, n. 5, p. 2791–2804, 2015. DOI: 10.5194/acp-15-2791-2015.

PALÁCIOS, Rafael da Silva. **Interação entre a radiação solar direta e os aerossóis atmosféricos na amazônia**. 2017. Universidade Federal de Mato Grosso, [S. l.], 2017.

PALÁCIOS, Rafael da Silva et al. Long term analysis of optical and radiative properties of aerosols in the amazon basin. **Aerosol and Air Quality Research**, [S. l.], v. 20, n. 1, p. 139–154, 2020. DOI: 10.4209/aaqr.2019.04.0189.

PALÁCIOS, Rafael Da Silva; SALLO, Fernando Da Silva; MARQUES, João Basso; SANTOS, Anna Carolinna Albino; MENEZES, Jorge Almeida; BIUDES, Marcelo Sacardi; NOGUEIRA, José De Souza. Variabilidade Espaço-Temporal Da Profundidade Ótica De Aerossóis Em Regiões De Cerrado E Pantanal Na Região Central Do Brasil. **Nativa**, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 56, 2018. DOI:

10.31413/nativa.v6i1.5153.

PARDO, Michal; PORAT, Ziv; RUDICH, Assaf; SCHAUER, James J.; RUDICH, Yinon. Repeated exposures to roadside particulate matter extracts suppresses pulmonary defense mechanisms, resulting in lipid and protein oxidative damage. **Environmental Pollution**, [S. l.], v. 210, p. 227–237, 2016. DOI: 10.1016/j.envpol.2015.12.009. Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2015.12.009>.

PEÑUELAS, Josep; STAUDT, Michael. BVOCs and global change. **Trends in Plant Science**, [S. l.], v. 15, n. 3, p. 133–144, 2010. DOI: 10.1016/j.tplants.2009.12.005.

PEREIRA, F. M. V. .; PEREIRA-FILHO, E. R. .; BUENO, M. I. M. S. Development of a Methodology for Calcium, Iron, Potassium, Magnesium, Manganese, and Zinc Quantification in Teas Using X-ray Spectroscopy and Multivariate Calibration. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [S. l.], v. 54, n. 16, 2006.

PERRING, L.; ANDREY, D. ED-XRF as a Tool for Rapid Minerals Control in Milk- Based Products. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [S. l.], v. 51, 2003.

PÖHLKER, Christopher et al. Biogenic potassium salt particles as seeds for secondary organic aerosol in the Amazon. **Science**, [S. l.], v. 337, n. 6098, p. 1075–1078, 2012. DOI: 10.1126/science.1223264.

POPE, Richard J. et al. Substantial Increases in Eastern Amazon and Cerrado Biomass Burning-Sourced Tropospheric Ozone. **Geophysical Research Letters**, [S. l.], v. 47, n. 3, p. 0–2, 2020. DOI: 10.1029/2019GL084143.

PÖSCHL, Ulrich et al. Rainforest Aerosols as Biogenic. **Science**, [S. l.], v. 1513, n. 2010, p. 1513–1517, 2010. DOI: 10.1126/science.1191056.

PÓSFAL, Mihály; SIMONICS, Renáta; LI, Jia; HOBBS, Peter V.; BUSECK, Peter R. Individual aerosol particles from biomass burning in southern Africa: 1. Compositions and size distributions of carbonaceous particles. **Journal of Geophysical Research D: Atmospheres**, [S. l.], v. 108, n. 13, p. 1–13, 2003. DOI: 10.1029/2002jd002291.

PROCÓPIO, A. S. **Forçante radiativa direta dos aerossóis na Região Amazônica devido à queima de biomassa**. 2005. Universidade de São Paulo., [S. l.], 2005.

PROCOPIO, A. S.; ARTAXO, P.; KAUFMAN, Y. J.; REMER, L. A.; SCHAFER, J. S.; HOLBEN, B. N. Multiyear analysis of amazonian biomass burning smoke radiative forcing of climate. **Geophysical Research Letters**, [S. l.], v. 31, n. 3, p. 1–4, 2004. DOI: 10.1029/2003GL018646.

QUINN, P. K.; COFFMAN, D. J.; KAPUSTIN, V. N.; BATES, T. S.; COVERT, D. S. Aerosol optical properties in the marine boundary layer during the First Aerosol Characterization Experiment (ACE 1) and the underlying chemical and physical aerosol properties. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, [S. l.], v. 103, n. D13, p. 16547–16563, 1998. DOI: 10.1029/97JD02345.

REID, J. S.; ECK, T. F.; CHRISTOPHER, S. A.; KOPPMANN, R.; DUBOVIK, O.; ELEUTERIO, D. P.; HOLBEN, B. N.; REID, E. A.; ZHANG, J. A review of biomass burning emissions part III: intensive optical properties of biomass burning particles. **Atmospheric Chemistry and Physics Discussions**, [S. l.], v. 4, n. 5, p. 5201–5260, 2004. DOI: 10.5194/acpd-4-5201-2004.

REID, Jeffrey S.; ECK, Thomas F.; CHRISTOPHER, Sundar A.; HOBBS, Peter V.; HOLBEN, Brent. Use of the Ångström exponent to estimate the variability of optical and physical properties of aging smoke particles in Brazil. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, [S. l.], v. 104, n. D22, p. 27473–27489, 1999. DOI: 10.1029/1999JD900833.

REID, Jeffrey S.; HOBBS, Peter V.; FERREK, Ronald J.; BLAKE, Donald R.; MARTINS, J. Vanderlei; DUNLAP, Michael R.; LIOUSSE, Catherine. Physical, chemical, and optical properties of regional hazes dominated by smoke in Brazil. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, [S. l.], v. 103, n. D24, p. 32059–32080, 1998. DOI: 10.1029/98JD00458.

REID, S.; HOBBS, Peter V. Physical and optical properties of young smoke from individual biomass fires in Brazil. **JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH**, [S. l.], v. 103, n. NO. D24 DECEMBER 27, p. 13–30, 1998.

REISINGER, P.; WONASCHÜTZ, A.; HITZENBERGER, R.; PETZOLD, A.; BAUER, H.; JANKOWSKI, N.; PUXBAUM, H.; CHI, X.; MAENHAUT, W. Intercomparison of measurement techniques for black or elemental carbon under urban background conditions in wintertime: Influence of biomass combustion. **Environmental Science and Technology**, [S. l.], v. 42, n. 3, p. 884–889, 2008. DOI: 10.1021/es0715041.

RICARD, V.; JAFFREZO, J. L.; KERMINEN, V. M.; HILLAMO, R. E.; TEINILÄ, K.; MAENHAUT, W. Size distributions and modal parameters of aerosol constituents in northern Finland during the European Arctic Aerosol Study. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, [S. l.], v. 107, n. 14, p. AAC 4-1-AAC 4-18, 2002. DOI: 10.1029/2001JD001130.

RIZZO, L. V. et al. Long term measurements of aerosol optical properties at a primary forest site in Amazonia. **Atmospheric Chemistry and Physics**, [S. l.], v. 13, n. 5, p. 2391–2413, 2013. DOI: 10.5194/acp-13-2391-2013.

RIZZO, L. V.; ARTAXO, P.; KARL, T.; GUENTHER, A. B.; GREENBERG, J. Aerosol properties, in-canopy gradients, turbulent fluxes and VOC concentrations at a pristine forest site in Amazonia. **Atmospheric Environment**, [S. l.], v. 44, n. 4, p. 503–511, 2010. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2009.11.002. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.11.002>.

RIZZO, L. V. **Modelamento de propriedades físicas e químicas de aerossóis e suas interações com gases traços na Amazônia**. 2002. USP, São Paulo, [S. l.], 2002.

RIZZOLO, Joana A. et al. Mineral nutrients in Saharan dust and their potential impact on Amazon rainforest ecology. **Atmospheric Chemistry and Physics Discussions**, [S. l.], n. July, p. 1–43, 2016. DOI: 10.5194/acp-2016-557.

RIZZOLO, Joana A. et al. Soluble iron nutrients in Saharan dust over the central Amazon rainforest. **Atmospheric Chemistry and Physics**, [S. l.], v. 17, n. 4, p. 2673–2687, 2017. DOI: 10.5194/acp-17-2673-2017.

RODRIGUES, Thiago R.; VOURLITIS, George L.; LOBO, Francisco De A.; DE OLIVEIRA, Renan G.; NOGUEIRA, José De S. Seasonal variation in energy balance and canopy conductance for a tropical savanna ecosystem of south central Mato Grosso, Brazil. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, [S. l.], v. 119, n. 1, p. 1–13, 2014. a. DOI: 10.1002/2013JG002472.

RODRIGUES, Thiago R.; VOURLITIS, George L.; LOBO, Francisco De A.; DE OLIVEIRA, Renan G.; NOGUEIRA, José De S. Seasonal variation in energy

balance and canopy conductance for a tropical savanna ecosystem of south central Mato Grosso, Brazil. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, [S. l.], v. 119, n. 1, p. 1–13, 2014. b. DOI: 10.1002/2013JG002472.

ROMANO, Salvatore; PERRONE, Maria Rita; PAVESE, Giulia; ESPOSITO, Francesco; CALVELLO, Mariarosaria. Optical properties of PM_{2.5} particles: Results from a monitoring campaign in southeastern Italy. **Atmospheric Environment**, [S. l.], v. 203, n. June 2018, p. 35–47, 2019. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2019.01.037. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.01.037>.

ROSÁRIO, Nilton E.; YAMASOE, Marcia A.; BRINDLEY, Helen; ECK, Thomas F.; SCHAFER, Joel. Downwelling solar irradiance in the biomass burning region of the southern Amazon: Dependence on aerosol intensive optical properties and role of water vapor. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, [S. l.], v. 116, n. 18, p. 1–10, 2011. DOI: 10.1029/2011JD015956.

RUSSELL, Lynn M.; HAWKINS, Lelia N.; FROSSARD, Amanda A.; QUINN, Patricia K.; BATES, Tim S. Carbohydrate-like composition of submicron atmospheric particles and their production from ocean bubble bursting. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, [S. l.], v. 107, n. 15, p. 6652–6657, 2010. a. DOI: 10.1073/pnas.0908905107.

RUSSELL, P. B. et al. Comparison of aerosol single scattering albedos derived by diverse techniques in two North Atlantic experiments. **Journal of the Atmospheric Sciences**, [S. l.], v. 59, n. 3 PT 2, p. 609–619, 2002. DOI: 10.1175/1520-0469(2002)059<0609:coassa>2.0.co;2.

RUSSELL, P. B. et al. Absorption Angstrom Exponent in AERONET and related data as an indicator of aerosol composition. **Atmospheric Chemistry and Physics**, [S. l.], v. 10, n. 3, p. 1155–1169, 2010. b. DOI: 10.5194/acp-10-1155-2010.

SANTANNA, Franciele Bomfiglio; DE ALMEIDA FILHO, Edilberto Ojeda; VOURLITIS, George Louis; DE ARRUDA, Paulo Henrique Zanella; DA SILVA PALÁCIOS, Rafael; DE SOUZA NOGUEIRA, José. Elemental composition of PM₁₀ and PM_{2.5} for A savanna (cerrado) region of Southern Amazonia. **Química Nova**, [S. l.], v. 39, n. 10, p. 1170–1176, 2016. DOI: 10.21577/0100-4042.20160154.

SANTOS, Anna Carolinna Albino. Caracterização de aerossóis no pantanal mato-grossense. [S. l.], 2014.

SANTOS, Anna Carolinna Albino. **ABSORÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR POR PARTÍCULAS DE AEROSSÓIS NO PANTANAL MATO-GROSSENSE**. 2016. Universidade Federal de Mato Grosso, [S. l.], 2016.

SANTOS, Anna Carolinna Albino; FINGER, Amanda; DE SOUZA NOGUEIRA, José; CURADO, Leone Francisco Amorim; DA SILVA PALÁCIOS, Rafael; PEREIRA, Vinicius Marcio Rodrigues. Analysis of the concentration and composition of aerosols from fires in the Mato Grosso Wetland. **Química Nova**, [S. l.], v. 39, n. 8, p. 919–924, 2016. DOI: 10.5935/0100-4042.20160105.

SATURNO, Jorge et al. Black and brown carbon over central Amazonia: Long-term aerosol measurements at the ATTO site. **Atmospheric Chemistry and Physics**, [S. l.], v. 18, n. 17, p. 12817–12843, 2018. DOI: 10.5194/acp-18-12817-2018.

SCARAMBONI, C.; URBAN, R. C.; LIMA-SOUZA, M.; NOGUEIRA, R. F. P.; CARDOSO, A. A.; ALLEN, A. G.; CAMPOS, M. L. A. M. Total sugars in atmospheric aerosols: An alternative tracer for biomass burning. **Atmospheric**

Environment, [S. l.], v. 100, p. 185–192, 2015. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2014.11.003. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.11.003>.

SCHOLES, Mary; ANDREAE, Meinrat O. Biogenic and pyrogenic emissions from Africa and their impact on the global atmosphere. **Ambio**, [S. l.], v. 29, n. 1, p. 23–29, 2000. DOI: 10.1579/0044-7447-29.1.23.

SCHUSTER, Gregory L.; DUBOVIK, Oleg; HOLBEN, Brent N. Angstrom exponent and bimodal aerosol size distributions. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, [S. l.], v. 111, n. 7, p. 1–14, 2006. DOI: 10.1029/2005JD006328.

SEINFELD, John H.; PANDIS, Spyros N. **Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change**. [s.l: s.n.]. DOI: 10.1063/1.882420.

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**, [S. l.], v. 13, n. 3, p. 1261–1275, 2013. DOI: 10.5194/acp-13-1261-2013.

SMIRNOV, A.; HOLBEN, B.; ECK, T.; DUBOVIK, O.; SLUESKER, I. Cloudscreening and quality control algorithms for the aernet database. **Remote Sensing of Environment**, [S. l.], v. 73, p. 37–349, 2000.

SMITH, Lauren T.; ARAGÃO, Luiz E. O. C.; SABEL, Clive E.; NAKAYA, Tomoki. Drought impacts on children's respiratory health in the Brazilian Amazon. **Scientific Reports**, [S. l.], v. 4, 2014. DOI: 10.1038/srep03726.

SOKOLIK, Irina N.; TOON, Owen B. **Direct radiative forcing by anthropogenic airborne mineral aerosols** *Nature*, 1996. DOI: 10.1038/381681a0.

SPRACKLEN, D. V. et al. Aerosol mass spectrometer constraint on the global secondary organic aerosol budget. **Atmospheric Chemistry and Physics**, [S. l.], v. 11, n. 23, p. 12109–12136, 2011. DOI: 10.5194/acp-11-12109-2011.

TEGEN, Ina; LACIS, Andrew A.; FUNG, Inez. **The influence on climate forcing of mineral aerosols from disturbed soils** *Nature*, 1996. DOI: 10.1038/380419a0.

UPDYKE, Katelyn M.; NGUYEN, Tran B.; NIZKORODOV, Sergey A. Formation of brown carbon via reactions of ammonia with secondary organic aerosols from biogenic and anthropogenic precursors. **Atmospheric Environment**, [S. l.], v. 63, p. 22–31, 2012. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2012.09.012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.09.012>.

URBAN, Roberta Cerasi; LIMA-SOUZA, Michele; CAETANO-SILVA, Letícia; QUEIROZ, Maria Eugênia C.; NOGUEIRA, Raquel F. P.; ALLEN, Andrew G.; CARDOSO, Arnaldo A.; HELD, Gerhard; CAMPOS, Maria Lucia A. M. Use of levoglucosan, potassium, and water-soluble organic carbon to characterize the origins of biomass-burning aerosols. **Atmospheric Environment**, [S. l.], v. 61, p. 562–569, 2012. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2012.07.082. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.07.082>.

VALENTINI, S. et al. Classifying aerosol particles through the combination of optical and physical-chemical properties: Results from a wintertime campaign in Rome (Italy). **Atmospheric Research**, [S. l.], v. 235, n. August 2019, p. 104799, 2020. a. DOI: 10.1016/j.atmosres.2019.104799. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.104799>.

VALENTINI, S. et al. Classifying aerosol particles through the

combination of optical and physical-chemical properties : Results from a wintertime campaign in Rome (Italy). **Atmospheric Research**, [S. l.], v. 235, n. August 2019, p. 104799, 2020. b. DOI: 10.1016/j.atmosres.2019.104799. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.104799>.

VALENZUELA, A.; OLMO, F. J.; LYAMANI, H.; ANTÓN, M.; TITOS, G.; CAZORLA, A.; ALADOS-ARBOLEDAS, L. Aerosol scattering and absorption Angström exponents as indicators of dust and dust-free days over Granada (Spain). **Atmospheric Research**, [S. l.], v. 154, p. 1–13, 2015. DOI: 10.1016/j.atmosres.2014.10.015. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2014.10.015>.

VAN GRIEKEN, R. MARKOWICZ, A. **Handbook of X-Ray Spectrometry**. 2^a ed. ed. New York, USA: CRC Press, 2002.

VAN MEEL, K. .; HOREMNANS, B. .; KRATA, A. .; BENCS, L. .; BUCZYNSKA, A. J. .; DIRTU, A. C. .; VAN GRIEKEN, R. Elemental concentrations in aerosols at the Belgian coast versus seasons and air mass trajectories. **Environmental Chemistry Letters**, [S. l.], 2009.

VOURLITIS, G. L. .; LOBO, F. A. .; BIUDES, M. S. .; ORTÍZ, C. E. R. .; NOGUEIRA, J. S. Spatial variations in soil chemistry and organic matter content across a *Vochysia divergens* invasion front in the Brazilian Pantanal. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, [S. l.], v. 75, p. 1553–1560, 2011.

VOURLITIS, George L.; DE SOUZA NOGUEIRA, José; DE ALMEIDA LOBO, Francisco; PINTO, Osvaldo Borges. Variations in evapotranspiration and climate for an Amazonian semi-deciduous forest over seasonal, annual, and El Niño cycles. **International Journal of Biometeorology**, [S. l.], v. 59, n. 2, p. 217–230, 2014. DOI: 10.1007/s00484-014-0837-1.

VOURLITIS, George Louis; DE ALMEIDA LOBO, Francisco; LAWRENCE, Shelley; CODOLO DE LUCENA, Isabela; PINTO, Osvaldo Borges; DALMAGRO, Higo José; CARMEN, Eugenia; RODRIGUEZ, Ortiz; DE SOUZA NOGUEIRA, Jose. Variations in Stand Structure and Diversity along a Soil Fertility Gradient in a Brazilian Savanna (Cerrado) in Southern Mato Grosso. **Soil Science Society of America Journal**, [S. l.], v. 77, n. 4, p. 1370–1379, 2013. DOI: 10.2136/sssaj2012.0336.

WANG, Xuan et al. Deriving brown carbon from multiwavelength absorption measurements: Method and application to AERONET and Aethalometer observations. **Atmospheric Chemistry and Physics**, [S. l.], v. 16, n. 19, p. 12733–12752, 2016. DOI: 10.5194/acp-16-12733-2016.

WARD, D. E. Smoke and fire characteristics for cerrado and deforestation burns in Brazil: BASE-B experiment. **Journal of Geophysical Research**, [S. l.], v. 97, n. D13, 1992. DOI: 10.1029/92jd01218.

WOLFF, George T. Particulate elemental carbon in the atmosphere. **Journal of the Air Pollution Control Association**, [S. l.], v. 31, n. 9, p. 935–938, 1981. DOI: 10.1080/00022470.1981.10465298.

YAMASOE, M. A.; VON RANDOW, C.; MANZI, A. O.; SCHAFER, J. S.; ECK, T. F.; HOLBEN, B. N. Effect of smoke and clouds on the transmissivity of photosynthetically active radiation inside the canopy. **Atmospheric Chemistry and Physics**, [S. l.], v. 6, n. 6, p. 1645–1656, 2006. DOI: 10.5194/acp-6-1645-2006.

ZHANG, Qi; JIMENEZ, Jose L.; CANAGARATNA, Manjula R.; ULBRICH, Ingrid M.; NG, Nga L.; WORSNOP, Douglas R.; SUN, Yele.

Understanding atmospheric organic aerosols via factor analysis of aerosol mass spectrometry: A review. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, [S. l.], v. 401, n. 10, p. 3045–3067, 2011. DOI: 10.1007/s00216-011-5355-y.