

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS – ICAT
CURSO DE GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

GESSIANE SANTOS COSTA

CARACTERIZAÇÃO ÓTICA DOS AEROSSÓIS SOBRE O BRASIL

MACEIÓ-AL

2023

GESSIANE SANTOS COSTA

CARACTERIZAÇÃO ÓTICA DOS AEROSSÓIS SOBRE O BRASIL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Alagoas para obtenção do título de Bacharel em Meteorologia pelo Instituto de Ciências Atmosféricas – ICAT, da Universidade Federal de Alagoas.

Orientador (a): Prof. Dr. Glauber Lopes Mariano.

MACEIÓ-AL

2023

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecária: Taciana Sousa dos Santos – CRB-4 – 2062

C837c Costa, Gessiane Santos.
Caracterização ótica dos aerossóis sobre o Brasil / Gessiane Santos
Costa. – 2023.
40 f. : il. color.

Orientador: Glauber Lopes Mariano.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Meteorologia) –
Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas.
Maceió, 2023.

Bibliografia: f. 37-40.

1. Aerossóis. 2. Caracterização ótica. 3. Poluição atmosférica. I. Título.

CDU: 551.588

RESUMO

Aerossóis são partículas sólidas ou líquidas em suspensão na atmosfera, que podem influenciar de forma direta ou indireta o clima de região, pois interferem no balanço de energia. Analisar suas características óticas é necessário para compreender seus efeitos na atmosfera. Para a caracterização ótica foram utilizados dados de Espessura Ótica dos Aerossóis (EOA) e Expoente de Angstrom (EA) obtido através do fotômetro solar da AERONET em oito sítios (Alta Floresta, Campo Grande, Cuiabá, Ji Paraná, Rio Branco, Petrolina, São Martinho e São Paulo) com período de, no mínimo, sete anos de dados observacionais. A relação entre esses dois parâmetros mencionados possibilita a identificação de quão atenuantes às partículas atmosféricas são e a dominância do tamanho médio das partículas. Para identificar o tipo de aerossol dominante nos locais de análise foram analisadas as medianas e distribuição e frequência de EOA e EA e adotados os parâmetros maior e menor que 1,0 para EOA e EA menor ou igual a 1,5 e entre 1,5 e 2,0. Os sítios apresentaram o tipo de aerossóis dominantes característicos sendo pouco atenuadores e dominância de partículas grossas, com exceção de Rio Branco onde apresentou aerossóis com características pouco atenuadoras de moda fina, logo podendo ser associada a partículas geradas por queimadas, comuns na região entorno do local analisado. Para a análise da sazonalidade, sítios próximos a região da Amazônia apresentaram maiores valores entre agosto e setembro e em Petrolina e São Martinho não apresentaram muita variabilidade sazonal.

Palavras chaves: Fotômetro solar, poluição e queimadas.

ABSTRACT

Aerosols are solid or liquid particles suspended in the atmosphere, which can directly or indirectly influence the climate of a region, because they interfere with the energy balance. Analyzing their optical characteristics is necessary to understand their effects on the atmosphere. For the optical characterization we used data of Aerosol Optical Thickness (EOA) and Angstrom Exponent (AE) obtained through the AERONET solar photometer at eight sites (Alta Floresta, Campo Grande, Cuiabá, Ji Paraná, Rio Branco, Petrolina, São Martinho and São Paulo) with a period of at least seven years of observational data. The relationship between these two mentioned parameters makes it possible to identify how attenuating the atmospheric particles are and the dominance of the average particle size. To identify the dominant aerosol type at the analysis sites, the medians and distribution and frequency of EOA and AE were analyzed and the parameters greater than and less than 1.0 were adopted for EOA and AE less than or equal to 1.5 and between 1.5 and 2.0. The sites showed the characteristic dominant aerosol type being poorly attenuating and dominance of coarse particles, with the exception of Rio Branco which showed aerosols with poor attenuating characteristics of fine mode, so it can be associated with particles generated by burning, common in the surrounding region of the site analyzed. For the seasonality analysis, sites near the Amazon region showed higher values between August and September and in Petrolina and São Martinho did not show much seasonal variability.

Keywords: Solar photometer, pollution, burning.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA	10
2.1. AEROSSÓIS	10
2.2. POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA.....	13
2.3. QUEIMADAS E TRANSPORTE DE POLUENTES NO BRASIL	14
2.4. ESPESSURA ÓPTICA DOS AEROSSÓIS	16
2.5. PRINCIPAIS TIPOS DE AEROSSÓIS NO BRASIL	14
3. METODOLOGIA.....	16
3.1. Área de estudo.....	16
3.2. Rede AERONET	21
3.3. Espessura Ótica dos Aerossóis (EOA)	22
3.4. Expoente de Angstrom (EA).....	21
3.5. Análise dos dados.....	21
3.6. Classificação de aerossóis.....	22
3.7. Estatística descritiva	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
4.1. Caracterização ótica dos aerossóis	24
4.2. Variabilidade Sazonal	31
5. CONCLUSÃO	35
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

1. INTRODUÇÃO

Seinfeld e Pandis (2006) definiram o termo aerossol como conjunto de partículas sólidas ou líquidas que estejam em suspensão na atmosfera. Essas partículas são responsáveis pela formação de nuvens, interagem com o balaço de radiação solar afetando o clima no globo terrestre.

Os aerossóis podem ser tanto de fontes naturais como sais marinhos, poeira, emissões vulcânicas e biogênicas entre outras, além de oriundos de fonte antropogênicas. No Brasil podemos destacar as emissões pelas queimadas por mudança do uso do solo, emissões urbanas, como exemplo, de fontes de emissão de aerossóis para atmosfera. Essas partículas podem ser emitidas como aerossol (aerossol primários) ou ser formado na atmosfera, sendo convertido de gás para partícula (aerossol secundário) (MARTIN et al, 2010).

Esses aerossóis interagem na atmosfera de dois modos, o direto quando interferem na radiação solar por meio de espalhamento e absorção, e modo indireto quando atuam como núcleos de condensação. O tempo de vida dessas partículas na atmosfera, levando em consideração que estão em suspensão deste modo as correntes de ar deslocam esses aerossóis para lugares diversos do planeta, vão variar conforme as condições do local, com isso os aerossóis podem ser removidos da atmosfera através da deposição úmida e deposição seca (OLIVEIRA, 2013).

A caracterização do tipo de aerossol presente na atmosfera é importante para determinação do tipo de aerossol presente em um local ou região, onde uma forma de caracteriza-lo é analisar suas propriedades óticas. Uma das formas de fazer isso é a análise através da Espessura Óticas dos Aerossóis (EOA) e o Expoente de Angstrom (EA). Juntos, esses dois parâmetros correlacionam sua dependência espectral em um determinado comprimento de onda. A classificação dos aerossóis pode ser por seu tamanho, moda fina e moda grossa, razão pela qual podem causar doenças respiratórias (OLIVEIRA, 2013).

No Brasil, a grande variabilidade climática, extensão territorial e as queimadas na região chamada de arco do desflorestamento interferem na concentração dessas partículas, (SANTOS et al. 2017).

O presente estudo tem como objetivo analisar as Características Óticas dos Aerossóis utilizando o fotômetro solar da rede AERONET sobre o Brasil (Alta

Floresta, Campo Grande, Cuiabá, Ji Paraná, Rio Branco, Petrolina, São Martinho e São Paulo) utilizando os parâmetros de EOA e EA para apontar o tipo de aerossol predominante nos sítios de análise.

2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1. AEROSSÓIS

O termo “Aerossol” foi criado por Schumauss em 1920 e definido como partícula em suspensão relativamente estável com tamanho menor que $100\mu m$, também conhecidos como material particulado (MP). Exemplos de aerossóis são partículas de poeira, aerocolóides, fuligem, nevoeiros e sprays e suas formas e propriedades físicas dependem da sua fonte (SEINFELD e PANDIS, 2006). Dependendo da sua emissão os aerossóis podem ser primários ou secundários. Primários quando são emitidos diretamente para a atmosfera como partículas e secundários quando formados na atmosfera através de reações químicas. Além disso, esse material particulado pode ser de fontes naturais, tais como neblina, erupções vulcânicas ou sais marinhos, por exemplo, ou oriundos de fontes antropogênicas como queima de biomassa (quando iniciada de forma antropogênica), emissões urbanas ou emissões industriais (ROMERA et al, 2019).

Conforme Alves (2005), as características óticas dos aerossóis dependem da sua origem e tempo de vida na atmosfera. Conforme descrito por Seinfeld e Pandis (2006) os aerossóis podem ser classificados do seu diâmetro em moda de nucleação ($d < 0,01 \mu m$), Aitken ($0,01 \mu m < d < 0,1 \mu m$), de acumulação ($0,1 \mu m < d < 2,5 \mu m$) e moda grossa ($d > 2,5 \mu m$). Exemplos de aerossóis geralmente encontrados na atmosfera em cada moda, Aitken: fuligem, ácido sulfúrico e cristais marinhos, na moda acumulação: aerossol marinho, aerossol de queima de biomassa e sulfato e na moda grossa: areia sal marinho e pólen. A Figura 1 mostra a relação da formação e tamanho das partículas

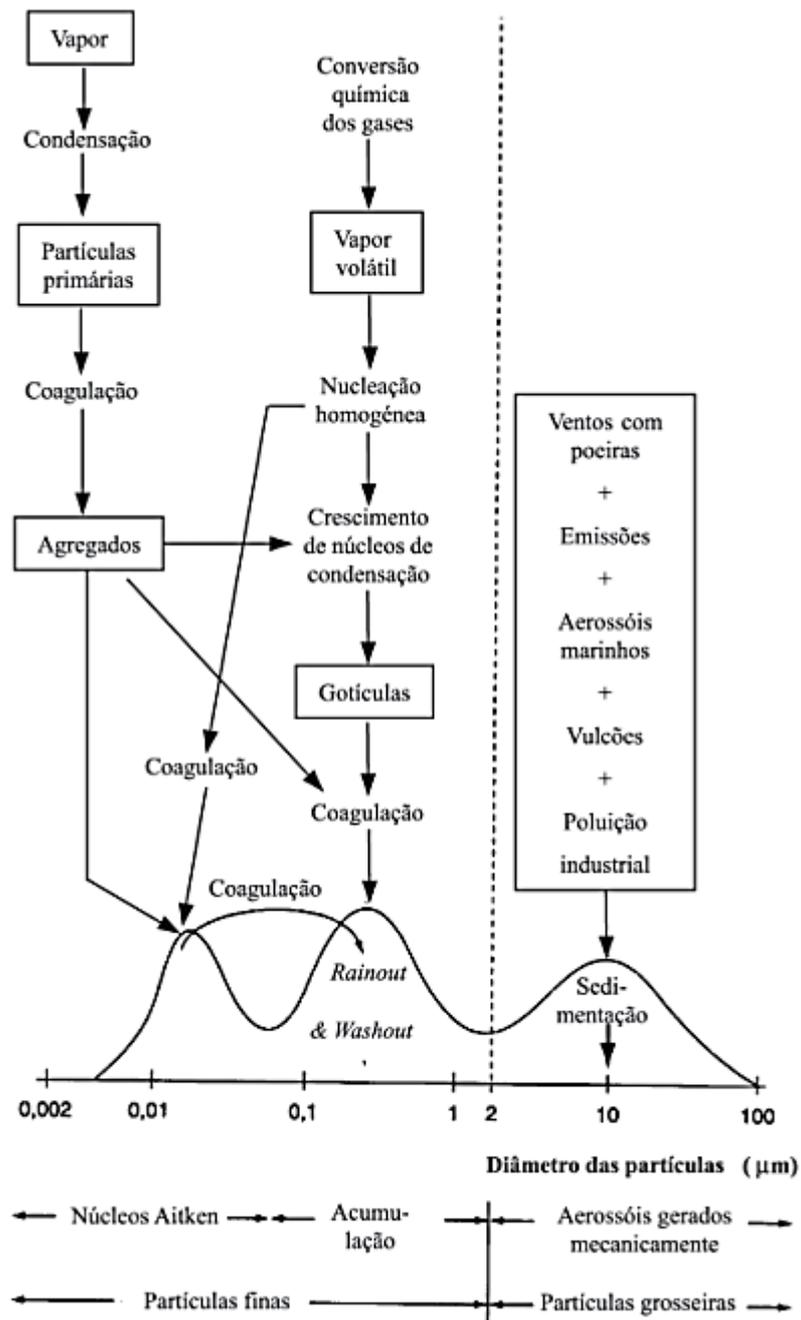


Figura 1- Caracterização dos aerossóis atmosféricos de acordo com seu tamanho. Fonte: Adaptado de FINLAYSON-PITTS e PITTS (2000).

Os aerossóis participam de vários fenômenos atmosféricos como formação de nuvens, balanço de radiação, precipitação, afeta a visibilidade entre outros

(ALVES, 2005). Essa interação implica diretamente no albedo atmosférico, com a capacidade de espalhar ou absorver radiação solar. Dessa forma, essas partículas influenciam diretamente no clima terrestre. Mais uma peculiaridade dos aerossóis é sua atuação como núcleo de condensação para formação de nuvens (Figura 2) que por sua vez são necessárias para a manutenção do ciclo hidrológico e na reflexão da radiação (albedo) para o espaço (GONÇALVES, 2021).

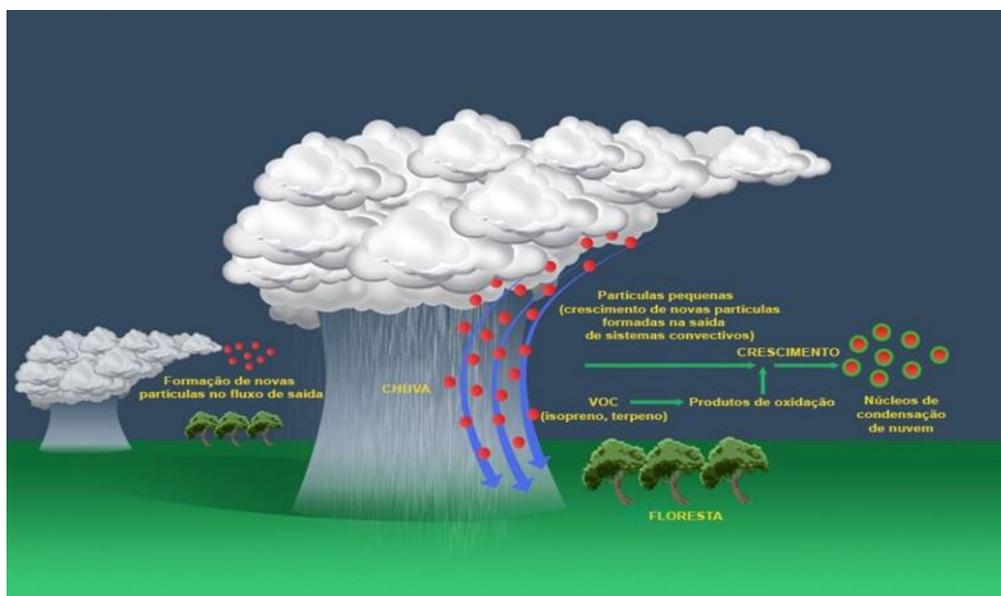


Figura 2- Processo de formação de nuvens tendo partículas como Núcleo de condensação.
Fonte: Jornal da USP, 2016.

Segundo Artaxo (2006) o efeito direto dos aerossóis age na atmosfera afetam diretamente o fluxo de radiação solar que chega até a superfície, ou seja, impactando diretamente a quantidade de energia disponível para processos atmosféricos, alterando o perfil de temperatura assim como o calor conservado nos oceanos e afetando o mundo inteiro. Efeitos indiretos, contam com alterações em propriedades das nuvens, aumentando a nebulosidade, podem influenciar seu ciclo de vida e propriedades óticas com impactos sobre a nebulosidade total do planeta, (COSTA, 2009). Estudos feitos por Kaufman e Koren (2006) indicaram que o aumento da concentração de aerossóis na coluna atmosférica por atividades

antropogênicas podem aumentar a nebulosidade em até 5%, a Figura 3 mostra os efeitos diretos e indiretos dos aerossóis atmosféricos.

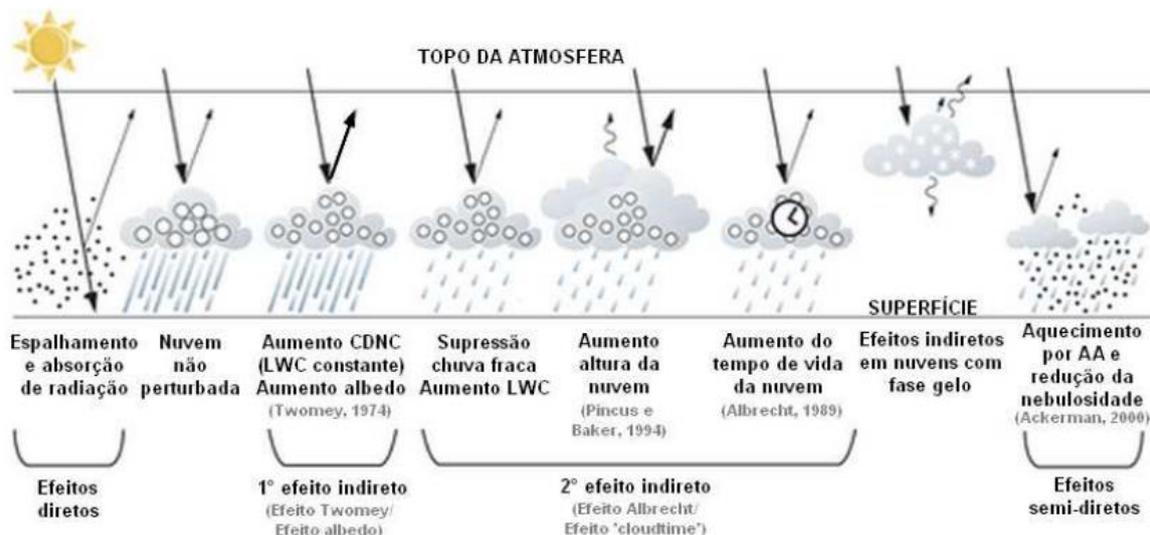


Figura 3- Ilustração dos efeitos diretos e indiretos dos aerossóis atmosféricos. (Adaptação Haywood e Baucher, 2000 e IPCC, 2007).

2.2. POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

Segundo Cançado et. al (2006), a poluição atmosférica é definida quando substâncias não convencionais derivadas de processos naturais ou antropogênicos estariam concentradas na atmosfera de maneira que possam interferir de forma direta na saúde, segurança e bem-estar dos seres vivos.

As reações químicas que ocorrem na atmosfera são diversas, pois nela é possível encontrar gases, líquidos e sólidos de fontes emissoras que podem ser naturais ou antropogênicas. Fontes naturais são, geralmente, aquelas derivadas de plantas, animais, queima de biomassa acidental ou erupções vulcânicas, por exemplo. Fontes antropogênicas pela queima de biomassa provocada, queima de combustíveis fósseis, indústrias, automóveis entre outros fatores que causam impacto sobre o meio ambiente e a saúde. Quando introduzidas na atmosfera esse material interage com outras substâncias presentes nela e podem impactar a saúde dos seres vivos além de impactar o meio ambiente de formas diversas (CANÇADO et.al, 2006 e LISBOA,2014).

2.3. QUEIMADAS E TRANSPORTE DE POLUENTES NO BRASIL

Freitas (2005) define queimada como processo de combustão de biomassa que podem ser provocados por processos naturais ou antropogênicos. Em estudo feito por Andreae (1991), a maior incidência de queimadas são em regiões próximas ao trópico que equivalem a 87% das emissões globais produzidas por queima de biomassa.

Devido a estação seca na região Amazônica que compreende os meses de julho a outubro acontece um aumento de incidência de queimadas, o que acaba elevando a quantidade de aerossóis e gases traços em superfície no Brasil tropical, (COUTINHO et al. 2002).

Kaufman (2002) fala que as partículas de aerossóis emitidas pelas queimadas permanecem na atmosfera por aproximadamente uma semana o chamado "Tempo de Residência", durante a estação seca a fumaça forma uma camada mais grossa sobre as regiões, Norte e Centro Oeste do Brasil. O transporte para outras regiões se dá inicialmente por meio de movimentos convectivos provocados dos fenômenos meteorológicos que acabam favorecendo a ascensão desse material particulado levando até a troposfera, lá ele é advectado para outras regiões dentro do Brasil podendo chegar a outras regiões do globo.

O ciclo hidrológico, radiação solar e microfísica das nuvens podem ser afetados indiretamente por queimadas, pois com a maior concentração de aerossóis aumenta a quantidade de núcleos de condensação impondo maior produção de gotículas de nuvens, porém com diâmetro menor, então essas gotas refletem a radiação solar de volta para o espaço, conseqüentemente resfriando a atmosfera e ainda dificultando a aglutinação entre si, pois quanto menor forem as gotas mais difícil se juntarem para formar uma única gota e cair como chuva (FREITAS et al. 2005).

Segundo Freitas (2005), o transporte das emissões de queimadas podem sofrer alterações ao longo do caminho, tanto na sua dinâmica quanto na sua composição.

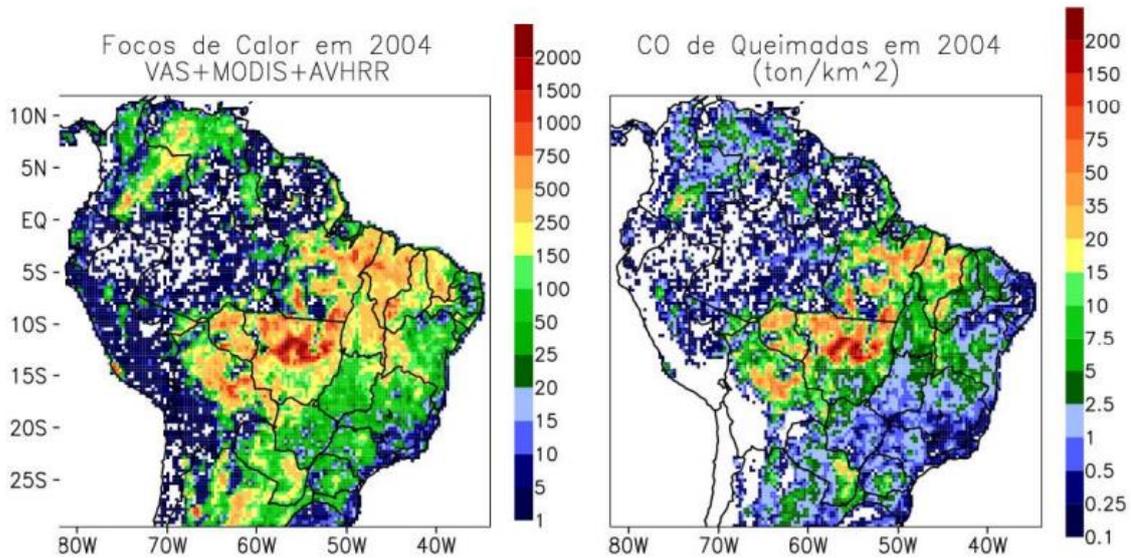


Figura 4 - Focos de calor detectados pelos sensores VAS, GOES, MODIS, TERRA & AQUA, AVHRR, NOAA em 2004 e estimativa para 2004 de emissão de monóxido de carbono (CO). Fonte: FREITAS (2005).

A variabilidade das propriedades dos aerossóis podem ser modificadas por deposição úmida quando as partículas depositam na superfície por meio da chuva, neve ou neblina. A deposição seca seria a remoção direta para a superfície, a figura 5 mostra os processos de deposição (OLIVEIRA, 2013).

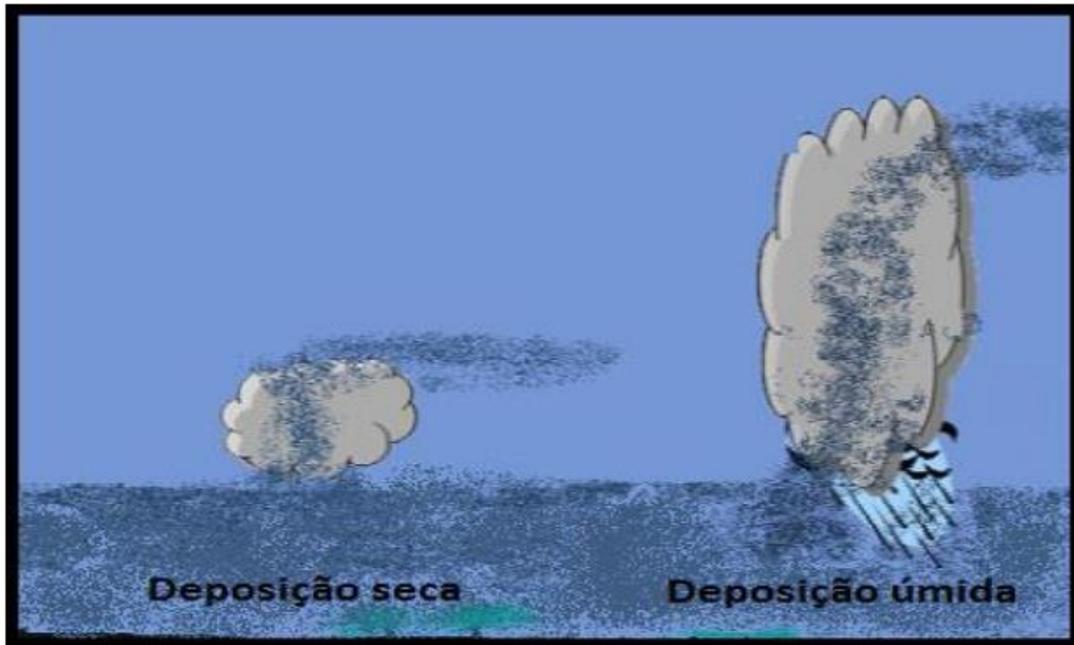


Figura 5- Processos de deposição: seca (esquerda) e úmida (direita). Fonte: Adaptação (FREITAS et al. 2006).

2.4. ESPESSURA ÓPTICA DOS AEROSSÓIS

É possível conhecer o aerossol presente na atmosfera por sua caracterização óptica. A correlação entre a Espessura Ótica dos Aerossóis (EOA) e o Expoente de Angstrom (EA) pode determinar o tamanho da partícula, pois basicamente a atenuação da radiação ocorre relacionada com a natureza das fontes (KAUFMAN et.al.2002; OLIVEIRA et.al.2014)

Para a caracterização espectral desse material particulado o coeficiente (ou expoente) de Angstrom é um parâmetro que explica a relação entre o tamanho da partícula e o comprimento de onda da radiação que incide sobre ele, a partir de valores de EOA em diferentes faixas de comprimento de onda é possível deduzir o tamanho médio da partícula. Ou seja, quando maior o valor encontrado para o coeficiente de Angstrom, maior a dependência espectral e menor a partícula (CACHORRO et al.,1989).

Um das maneiras de avaliar os efeitos dos aerossóis é analisando suas profundidades óticas, desse modo à análise da Espessura Ótica dos Aerossóis –

EOA (em inglês, Aerosol Optical Depth - AOD) pode ser considerado um apontador da quantidade de aerossóis na coluna vertical da atmosfera (PALÁCIOS, 2014 apud BALAKRISHNAIAH et al., 2011).

2.5. PRINCIPAIS TIPOS DE AEROSSÓIS NO BRASIL

Segundo estudo realizado por Artaxo et al. (1990), aerossóis de origem natural encontrados na Amazônia são provenientes de poeira do solo e transporte de particulado marinho, isso onde a atividade antrópica é baixa. Além disso, o estudo também observou a caracterização dessas partículas onde se notou que a maior parte do aerossol amazônico era de moda grossa, e que sem tanta influência do ser humano as emissões eram baixas comparadas a outras regiões do globo terrestre.

Possani et al.(2006), observou que principal fonte emissora de material particulado na América do Sul são as queimadas de florestas e cerrados, que ocorrem na época de seca. Em outro estudo, Artaxo e Hansson (1995), notou a influência das queimadas na região Amazônica devido ao transporte dessas partículas impactando uma grande área.

Estudos feitos por Kaskaoutis et al.(2007), verificaram quatro lugares do globo terrestre, sendo eles: Brasil, Arábia Saudita, Itália e uma Ilha no Pacífico (Nauru) para caracterizar o tipo de material particulado presente na atmosfera que predominava nessas regiões. A correlação entre EOA e EA foi feita e com ela foi possível caracterizar o aerossol presente em cada região, como por exemplo, particulado de queima de biomassa, poeira em suspensão, poluição urbana e marinha entre outros.

Segundo Oliveira (2014), além do deslocamento de MP de outras regiões, a influência local, no Sul do Brasil, é de aerossóis de poluição urbana o que acaba influenciando a quantidade de aerossóis presentes na atmosfera. Já locais próximos ao Oceano Atlântico também como no Pacífico sofrem influência de aerossóis marinhos. Figura 6 mostra o deslocamento de uma pluma de queimada.

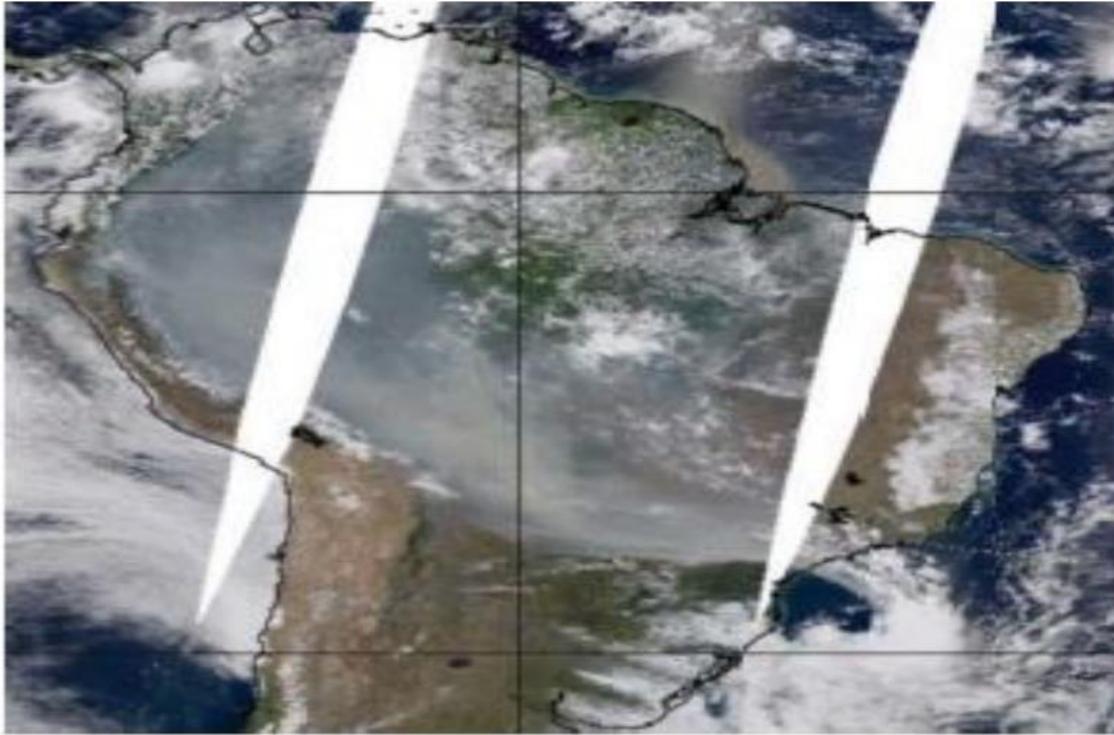


Figura 6- Imagem do sensor MODIS e do satélite Terra, mostra pluma de MP proveniente das queimadas na Amazônia. Fonte: ARTAXO et al. (2006).

3. METODOLOGIA

3.1. Área de estudo

Os valores de Espessura Ótica dos Aerossóis e Expoente de Angstrom utilizado nesse estudo foram obtidos de 8 estações da rede Aerosol Robotic Network – AERONET. As estações abaixo relacionadas foram escolhidas por possuir ao menos 07 anos de dados obtidos e disponibilizados para consulta. Destaca-se que esses períodos entre as estações não são necessariamente os mesmos e nem anos consecutivos. Porém, considera-se que as estações possuem quantidade suficiente de dados para caracterização dos aerossóis sobre cada região. As estações utilizadas estão situadas em todas as regiões brasileiras: Centro-oeste, Nordeste, Norte, Sudeste e Sul do Brasil. Os locais de observação são Alta Floresta-MT, Campo Grande-MS, Cuiabá-MT, Ji-Paraná-RO, Petrolina-PE, Rio Branco-AC, São Martinho-RS e São Paulo-SP. A Tabela 1 mostra latitude, longitude e período analisados nos pontos apresentados.

Tabela 1- Mostra os sítios de análise e pontos geográficos e período.

ESTAÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE	PERÍODO DE ANÁLISE
Alta Floresta	-9.87	-56.10	Jun/1993 – Abr/2021
Campo Grande	-20.43	-54.53	Out/2003 –Jan/ 2019
Cuiabá	-15.73	-56.07	Mar/2001 – Ago/2021
Ji-Paraná	-10.63	-61.85	Jan/2006 – Jan/2021
Petrolina	-9.06	-40.32	Jul/2004 – Nov/2016
Rio branco	-9.95	-67.87	Jul/2000 –Set/2021
São Martinho	-29.44	-53.82	Jul/2008 –Nov/2014
São Paulo	-23.56	-46.73	Nov/2000 – Fev/2022

De acordo com Holanda (2015) e Furtado (2016), os sítio de Alta Floresta, Ji Paraná e Rio Branco está instalado em uma região chamada de arco do desflorestamento. Região de grandes índices de queima de biomassa e alterações do solo por atividades agrícolas. O sítio de Campo Grande também está localizado em área de Cerrado.

As estações da SONDA (Sistema de Organização de Dados Ambientais para o setor de energias), como Campo Grande e São Martinho fazem parte de um grande projeto de coleta de dados meteorológicos, a fim de representar as principais regiões microclimáticas do país. A estação de São Martinho fica localizada também em área rural no estado do Rio Grande do Sul (PES et al.,2020).

O sítio de Cuiabá é denominado de Cuiaba-MIRANDA pela rede AERONET de dados e está localizado entre o Cerrado e Pantanal. O fotômetro está localizado a aproximadamente 20 km das áreas urbanas de Cuiabá e perto de regiões inundadas devido a um dos biomas característicos ser o Pantanal, (PALÁCIOS et al., 2020). Essa região sofre influência de aerossóis de queimadas por causa do transporte de partículas das regiões do arco do desflorestamento (HOLBEN et al.2001).

A estação de Petrolina fica localizada em área rural, e segundo estudos anteriores feitos por Oliveira (2018), essa região apresenta grande atividade agrícola áreas desertificadas fatores que acabam dispersando material particulado do solo.

A estação de São Paulo fica localizada dentro da região metropolitana do estado. São Paulo tem estações climáticas bem definidas verão chuvoso com precipitação acima de 100 mm e inverno seco com precipitação abaixo de 50 mm, isso pode acabar atrapalhando a dispersão do particulado presente na atmosfera, e verão mais favorável à dispersão (ANDRADE et al. 1994; CASTANHO, 2005). A figura 7 mostra as a localização geográfica das estações analisadas.

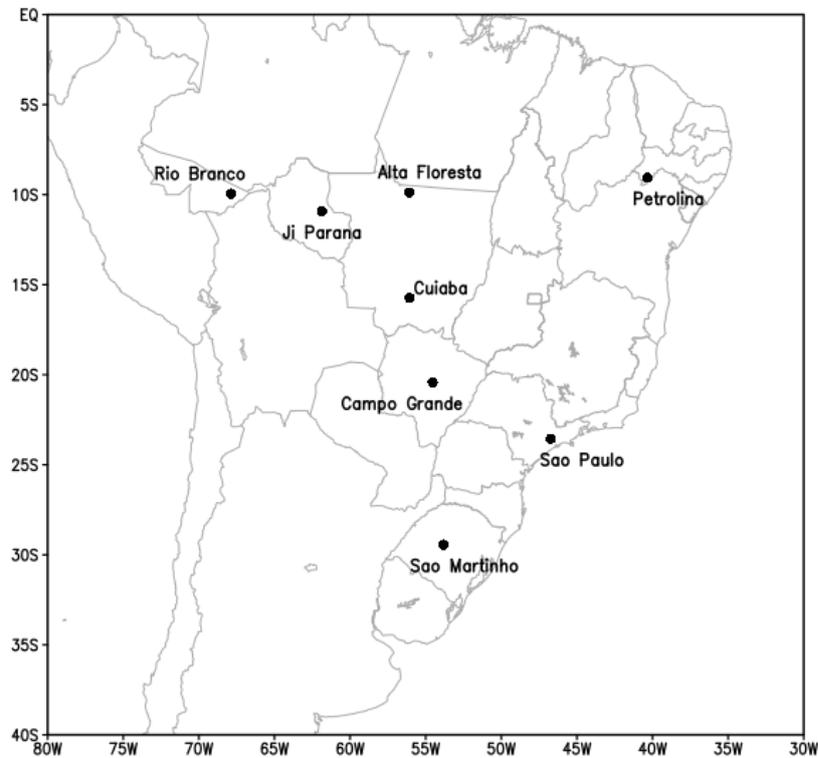


Figura 7- Localização dos pontos dos instrumentos da rede AERONET analisados.

3.2. Rede AERONET

A rede AERONET (Aerossol Robotic Network) foi criada em 1988 e é uma rede mundial operada pela NASA Goddard Space Flight Center para monitorar as propriedades óticas do aerossóis e corroborar com a observação dos satélites através de sensoriamento remoto (HOLBEN et al. 1998). A rede possui vários aparelhos espalhados pelo globo, sendo estes fotômetros solares que realizam medições automáticas da radiação solar direta e difusa em diferentes comprimentos de onda. A AERONET dispõe de dados de EOA, vapor de água, expoente de Angstrom, propriedades microfísicas e radiativas dos aerossóis, entre outros parâmetros. O EOA é calculado através da Lei de Beer, o instrumento é fixado e as medições são feitas ao longo do dia em intervalos de quinze minutos (CORREIA et al. 2006).

Esses dados disponibilizados pela rede podem ser obtidos em três níveis de qualidades. O primeiro é o nível 1.0 onde não apresenta nenhum tratamento no

dado que foi medido pelo equipamento. O Nível 1.5 já apresenta algum tratamento por meio de algoritmos e ocorre a retirada de dados com detecção de nebulosidade pelo algoritmo utilizado. No nível 2.0 as medidas já têm melhor qualidade de informações por serem retirados ruídos e realizada calibração feita de forma periódica após doze meses de medição. Neste trabalho foram utilizados somente dados do nível 2.0 para todas as estações analisadas.

O fotômetro solar CIMEL CE318 utilizado pela AERONET realiza medições de sol, céu e luz lunar, para a recuperação de parâmetros físico-ópticos essenciais: Profundidade óptica de aerossol, Distribuição de tamanho de volume (VSD), índice de refração complexo (n), fator de forma, teor de vapor de água. A comunicação rápida permite uma operação tanto em locais fixos quanto em locais temporários. As medições são obtidas de forma automática por meio dos detectores e em comprimentos de onda de 340, 380, 440, 500, 675, 870, 1020 e 1640 nm. A Figura 8 mostra o fotômetro solar CIMEL, (OLIVEIRA, 2016).



Figura 8- Fotômetro solar CIMEL CE318 localizado na França. Fonte: AERONET.

3.3. Espessura Ótica dos Aerossóis (EOA)

A fotometria estuda como a luz se comporta, podendo se propagar como onda e partícula. Sabendo que os fótons têm esses dois comportamentos tanto de onda como de partícula, isso acaba permitindo que a luz interaja com os aerossóis presentes na atmosfera. Podendo ser espalhado, absorvido ou emitidos (MARTINS, 2006 apud OLIVEIRA, 2006).

Segundo Oliveira (2016), baseado nos conceitos físicos para a análise a EOA o fotômetro da CIMEL funciona utilizando leis e parâmetros para coleta de dados, observando a irradiância, isto é, a quantidade de energia por unidade de área e a radiância que seria a quantidade de energia por área considerando uma direção específica.

A partir de Lei de Beer- Lambert que descreve o comportamento de um raio monocromático ao atravessar um meio onde a luz diminui sua intensidade pela interação da radiação incidente com a matéria, a EOA pode ser calculada. A Lei de Beer- Lambert é expressa pela seguinte equação:

$$I = I_0 \cdot e^{-\tau m} \quad \text{Eq.: 1}$$

Onde I é a irradiância, I_0 é a irradiância que vem do espaço; τ é a profundidade ótica dos aerossóis e m é a massa ótica definida entre profundidade ótica dos aerossóis na vertical e em utas direções (TODELANO, 2005).

Oliveira (2016) ressalta que outra característica da EOA é a quantidade de atenuação da radiação por absorção ou dispersão espectral das partículas. Característica expressada pela equação a seguir:

$$\tau_\lambda(x_1, x_2) = \int_{x_1}^{x_2} b_{e\lambda}(x) dx \quad \text{Eq.: 2}$$

Onde a $\tau_\lambda(x_1, x_2)$ é a espessura ótica em determinado comprimento de onda λ em função de $(x_1$ e $x_2)$, e $b_{e\lambda}$ é o coeficiente de densidade e opacidade.

Logo a Espessura Ótica dos Aerossóis é a quantidade de aerossóis na coluna atmosférica, ou seja, a parcela de um determinado ponto de medição ao topo da atmosfera, demonstrando ser um indicado da quantidade de aerossóis presente na atmosfera (OLIVEIRA, 2016).

3.4. Expoente de Angstrom (EA)

Angstrom explicou a relação entre comprimento de onda e tamanho da partícula, a partir da radiação incidente (TOLEDANO, 2005 e OLIVEIRA, 2016). Expressada pela seguinte equação:

$$\tau_{\alpha} = \beta \cdot \lambda^{-\alpha} \quad \text{Eq.: 3}$$

Onde β é a constante do coeficiente de turbidez, λ comprimento de onda em um determinado μm e α é o Expoente de Angstrom (EA) (OLIVEIRA, 2016).

Segundo Oliveira (2016), o EA é uma parametrização da Espessura ótica dos Aerossóis por indicar o tamanho da partícula.

O valor de α pode variar entre 0 e 4 para partículas pequenas (moda fina), pois o espalhamento está relacionado ao comprimento de onda, já valores mais baixos representam partículas grandes (moda grossa), (SEINFELD e PANDIS, 1998). O Expoente de Angstrom é o parâmetro que possibilita o conhecimento do tamanho das partículas em suspensão na atmosfera (OLIVEIRA, 2016).

3.5. Análise dos dados

Para a caracterização ótica foram utilizados dados no nível de processamento 2.0. Foram utilizados dados com mais de sete anos de observação, pois com uma maior densidade de dados espera-se uma melhor caracterização ótica e observações de classes e padrões sazonais.

Os comprimentos de onda para análise da EOA de 440nm e 870nm e de EA (440-870nm) foram utilizados em toda serie de dados para observação da variabilidade temporal dos sítios em análise. Limiares foram adotados para o estudo da caracterização do tipo de aerossol presente. A Tabela 2 mostra os limiares adotados.

Tabela 2- Limiares de EOA e EA adotados para caracterização dos aerossóis. Conforme KAUFMAN (2002) e SCHUSTER et al. (2006).

EOA \leq 1,0	EOA $>$ 1,0	EA \leq 1,5	1,5 \leq EA \geq 2,0
Aerossóis pouco atenuadores de radiação	Aerossóis atenuadores de radiação	Aerossóis de moda grossa	Aerossóis de moda fina

3.6. Classificação de aerossóis

Segundo Toledano (2005) a climatologia de D'Almeida (1991) demonstram uma caracterização mediante a distribuição de tamanhos das partículas, podendo ser insolúvel, solúveis em água, fuligem, sal, sulfatos, aerossóis vulcânico e biogênico. Os autores também relacionam o comprimento de onda de EOA e EA para identificar sua origem, como vemos na tabela 3.

Tabela 3- Classificação dos aerossóis através da profundidade óptica (τ) a 550nm e coeficiente de Angstrom (α) em comprimento de onda 500-800 nm. Fonte: D'ALMEIDA, 1991 e 1998; TOLEDANO, 2005.

	τ	$\alpha_{500-800}$
Continental limpo	0,064	1,42
Continental Médio	0,151	1,42
Continental Contaminado	0,327	1,45
Urbano	0,643	1,43
Desértico	0,286	0,17
Marítimo limpo	0,096	0,08
Marítimo Contaminado	0,117	0,35
Marítimo Tropical	0,056	0,04
Ártico	0,063	0,89
Antártico	0,072	0,73

3.7. Estatística descritiva

No presente estudo as estatísticas que descreveram os dados e gráficos gerados foram feitas através de códigos pela linguagem de programação em Python

com diferentes bibliotecas sendo utilizadas para observação da evolução temporal das propriedades óticas dos aerossóis. O histograma de frequência, por exemplo, mostra a distribuição dos valores em classes onde essa distribuição segue frequentemente a distribuição normal (FERNANDES, 1999; OLIVEIRA, 2019). O gráfico boxplot para média mensal mostra a modulação espaço temporal da EOA nos sítios analisados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico serão apresentados os principais resultados deste estudo como gráficos e tabelas estatísticas para melhor visualização e compreensão além de discussões a respeito dos resultados observados.

4.1. Caracterização ótica dos aerossóis

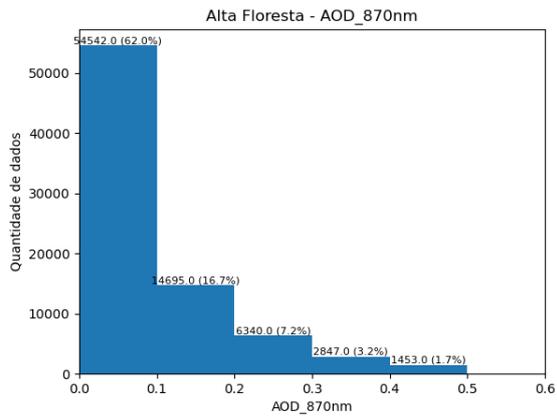
A figura 9 apresenta os histogramas de frequências da EOA em 870nm em diferentes classes de ocorrência, nelas é possível observar que as maiores frequências ocorreram em classes mais baixas destaque para os sítios de Petrolina com 88% dos valores de EOA na classe que vai de 0,0 a 0,1 e São Martinho com 95% dos valores na mesma classe. Os valores entre as classes mais baixas se destacam nos sítios Alta Floresta com aproximadamente 62% e Rio Branco com 65%.

Observamos que para o sítio de Alta floresta (Figura 9a) o histograma de frequência apresenta EOA dominante na região entre 0,0 e 0,1, com aproximadamente 60% dos valores, entre 0,1 e 0,2 com 16%, acima de 0,2 observa-se o decaimento correspondendo a 12% dos valores. O sítio de Campo Grande (Figura 9b) apresenta EOA dominante entre 0,0 e 0,1 correspondendo a aproximadamente 85% de EOA, depois observamos o decaimento a segunda classe chegando a 9% dos dados, e acima de 0,3 correspondem a aproximadamente 4% de EOA. Para o sítio de Cuiabá (Figura 9c) observa-se a distribuição similar ao de Alta Floresta onde a EOA dominante está entre 0,0 e 0,1 com 68% dos valores acima disso entre 0,1 e 0,2 correspondem a aproximadamente 17% dos valores de EOA, logo após notasse o decaimento da distribuição. No sítio de Ji Paraná (Figura 9d) o valor de EOA dominante está entre 0,0 a 0,1 com 67% aproximadamente onde a segunda classe representa 17% dos valores. Após essa classe, nota-se o decaimento com valores acima de 0,2 representados por aproximadamente 11% dos valores. No sítio de Petrolina (Figura 9e) observam-se duas classes dominantes como as demais 0,0 a 0,1 representando 85% dos valores e de 0,1 a 0,2 representando 10% enquanto acima de 0,2 têm uma queda na frequência aonde o percentual chega a 2%. O sítio de Rio Branco (Figura 9f) apresenta suas classes

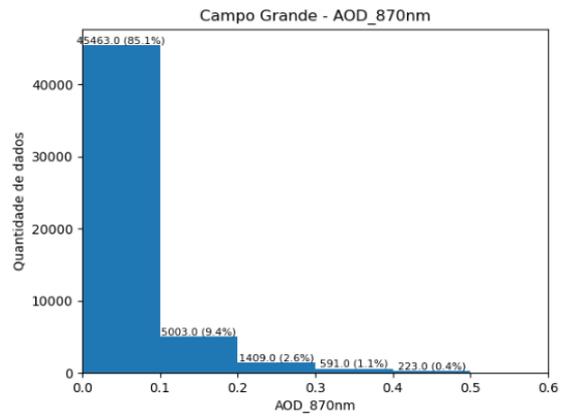
dominantes entre 0,0 e 0,2 sendo entre 0,0 e 0,1 representados por 65% dos valores e entre 0,1 e 0,2 correspondem a 20% dos valores o decaimento é observado a partir de 0,3 representando 10% somados. O sítio de São Martinho (Figura 9g) e São Paulo (Figura 9h) apresentam duas classes dominantes, na Figura 9g (São Martinho) 94% dos valores entre 0,0 e 0,1 e entre 0,1 e 0,2 correspondem a 3% logo as demais classes não chegam a 2% somados, e na (Figura 9h) os valores entre 0,0 e 0,1 representam 65% dos valores logo após entre 0,1 e 0,2 os valores aproximados são de 27% as frequências das demais classes acima de 0,2 totalizam 6% dos valores.

A figura 10 mostra os histogramas de frequências para o comprimento de onda de 440nm observamos diferentes distribuições em diferentes classes. Os sítios de Petrolina com 55% e São Martinho (54%) apontaram predominância de EOA em classes mais baixas entre 0,0 e 0,1. Em relação aos histogramas em comprimento de onda em 870nm as figuras não apresentam o aerossol dominante apenas em classes mais baixas. Cuiabá, Rio branco e São Paulo apresentaram maiores valores nas segundas classes.

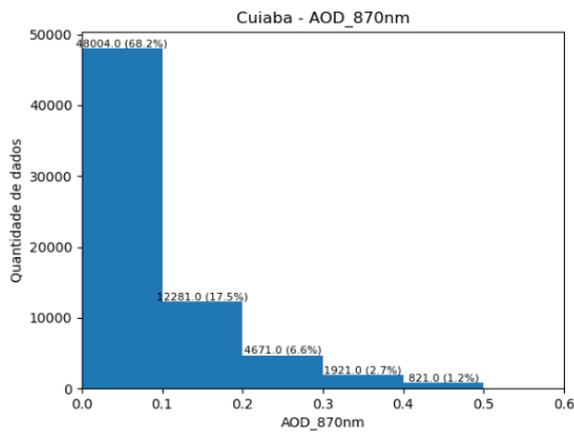
Para os histogramas de frequência com EOA em comprimento de onda de 440nm observamos uma distribuição em diferentes classes dominantes. O sítio de Alta Floresta (Figura 10a) apresenta duas classes dominantes, a primeira entre 0,0 e 0,1 com 32% da frequência e de 0,1 a 0,2 com 23% das frequências, logo após observamos o decaimento. O sítio de Campo Grande (Figura 10b) apresentou duas classes dominantes com a primeira com 53% dos valores e a segunda 26%, a partir da classe 0,3 a um decaimento nas frequências. O sítio de Cuiabá (Figura 10c) tem a classe com maior frequência entre 0,1 e 0,2 com 31% dos valores e a segunda classe dominante entre 0,0 e 0,1 com 28% dos valores de EOA. Ji Paraná (Figura 10d) obteve duas classes dominantes a primeira entre 0,0 e 0,1 com 32% dos valores e a segunda com 26% dos valores. Petrolina (Figura 10e) teve suas duas classes dominantes entre 0,0 e 0,1, onde a primeira teve 55% das frequências e a segunda 33%. O sítio de Rio Branco (Figura 10f) apresentou a segunda classe com maior frequência entre 0,1 e 0,2, a segunda classe dominante foi de 0,0 a 0,1 com 19% da frequência. O sítio de São Martinho (Figura 10g) apresentou as classes dominantes entre 0,0 e 0,1 com 54% dos valores e a segunda classe entre 0,1 e 0,2 com 20%. O sítio de São Paulo (Figura 10h) teve maior frequência entre 0,1 e 0,2 com 36% dos valores e a segunda entre 0,2 e 0,3 com 25% dos valores.



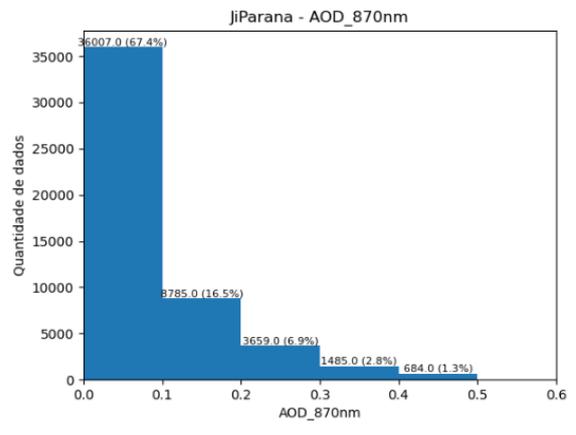
(a)



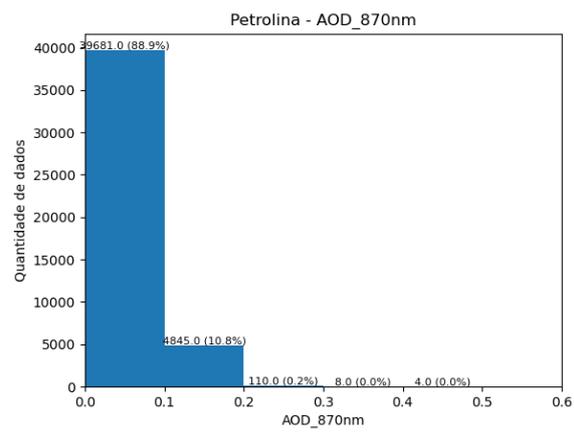
(b)



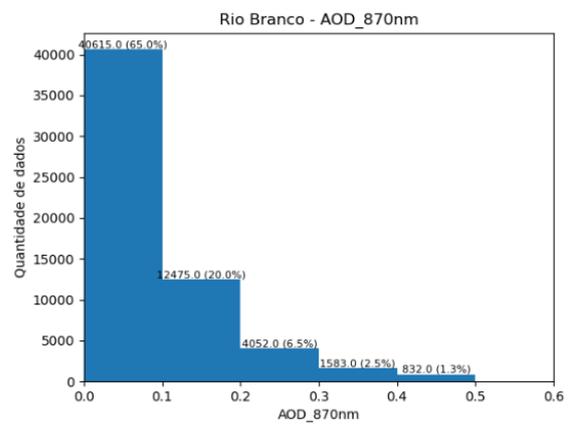
(c)



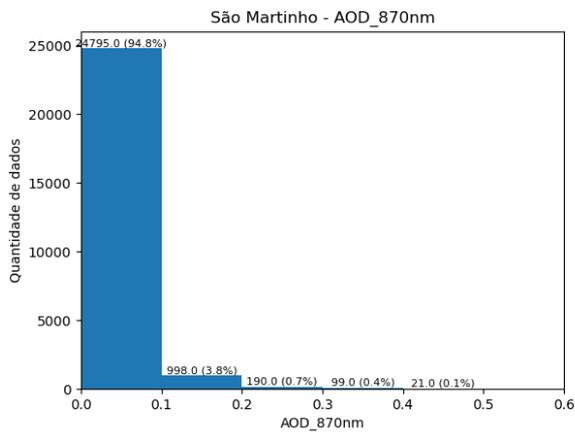
(d)



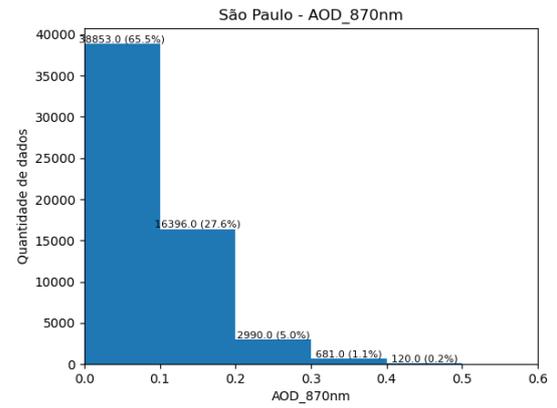
(e)



(f)

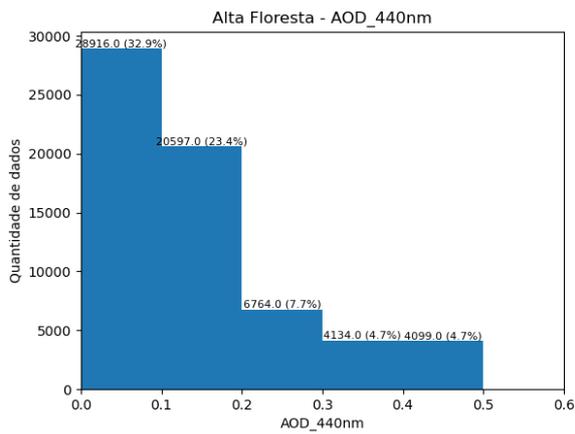


(g)

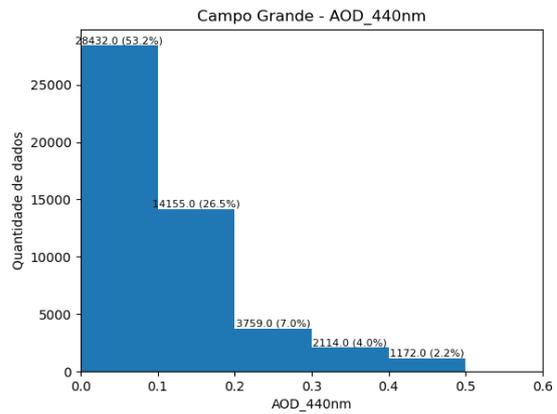


(h)

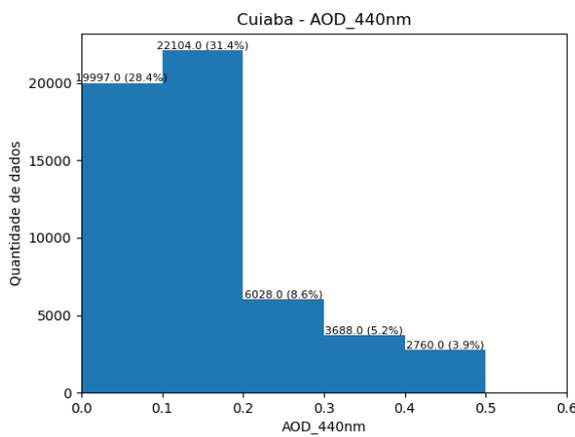
Figura 9- Histograma de frequência da espessura ótica dos aerossóis em 870nm para os pontos analisados



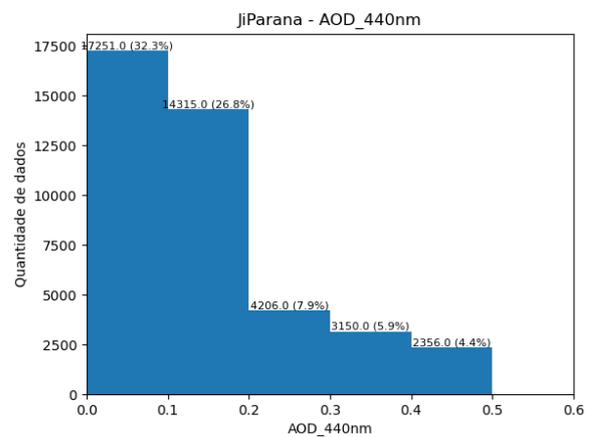
(a)



(b)



(c)



(d)

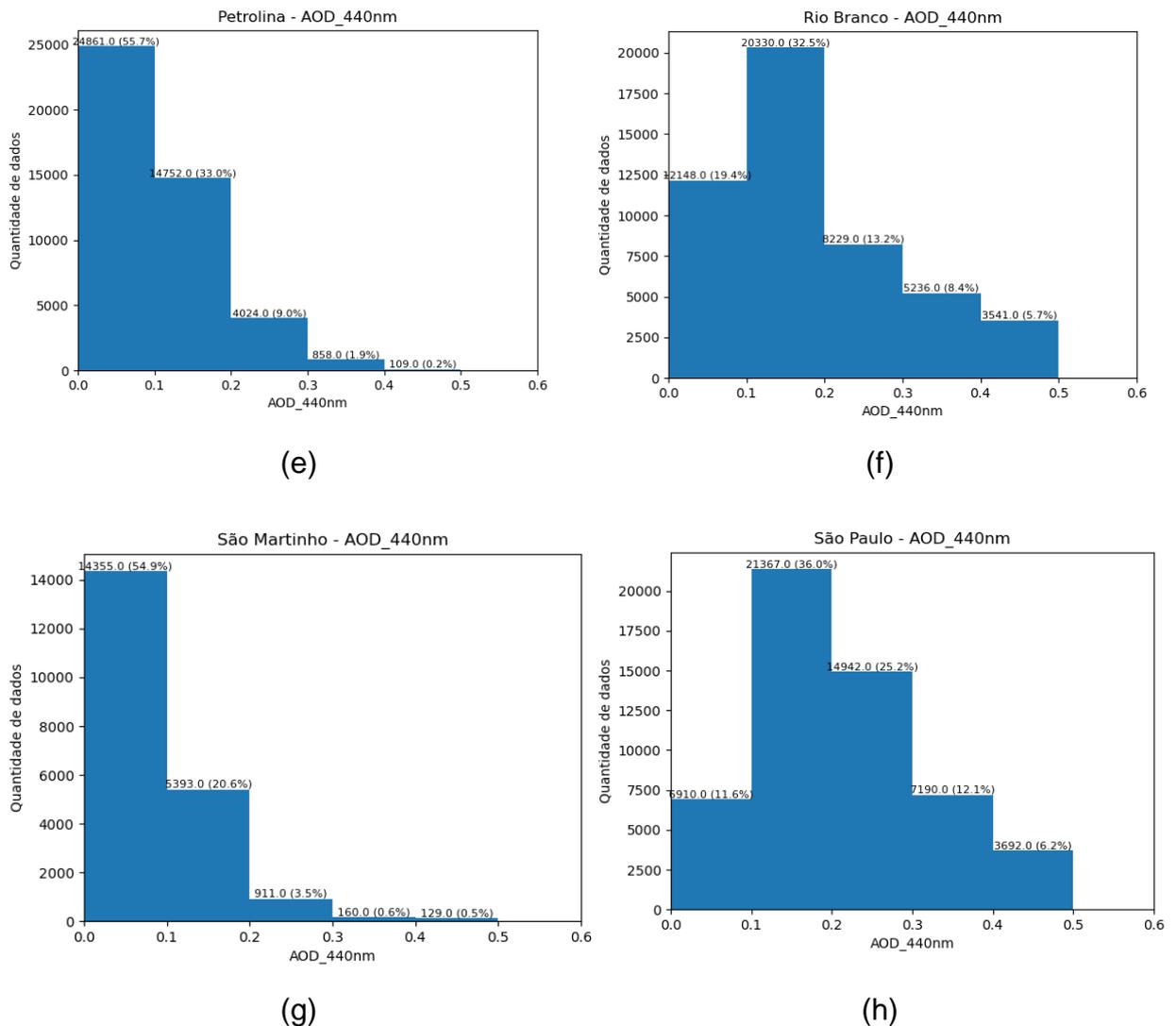


Figura 10 – Histograma de frequência da espessura ótica dos aerossóis em 440nm para os pontos analisados.

Para caracterização do tipo de aerossol predominante em cada sítio foram relacionados dados de EOA e EA. A tabela 4 apresenta as estações analisadas e valores da mediana de EA e EOA durante o período de análise para cada local. De acordo com a metodologia apresentada iremos observar os parâmetros se menor ou igual a 1 para EOA, menor ou igual a 1,5 para EA e entre 1,5 e 2,0 para EA.

Tabela 4- Expoente de Angstrom e Espessura Ótica dos Aerossóis das estações analisadas.

ESTAÇÃO	MEDIANA EOA (870nm)	MEDIANA EA (440-870nm)
Alta Floresta	0,065	1,399
Campo Grande	0,042	1,292
Cuiabá	0,064	1,339
Ji-Paraná	0,058	1,490
Petrolina	0,050	0,883
Rio branco	0,069	1,651
São Martinho	0,034	1,144
São Paulo	0,080	1,431

Apesar dos resultados anteriores demonstrarem que os aerossóis dominantes sobre os sítios analisados serem principalmente de característica de serem pouco atenuadores, decidiu-se, para uma análise mais detalhada, a análise da relação entre EOA e EA através de diagrama de dispersão. Essa forma de análise consegue analisar não somente o aerossol dominante mas demonstrar se existe ocorrência de aerossóis com características distintas do seu comportamento média (através da análise acima das medianas de EOA e EA).

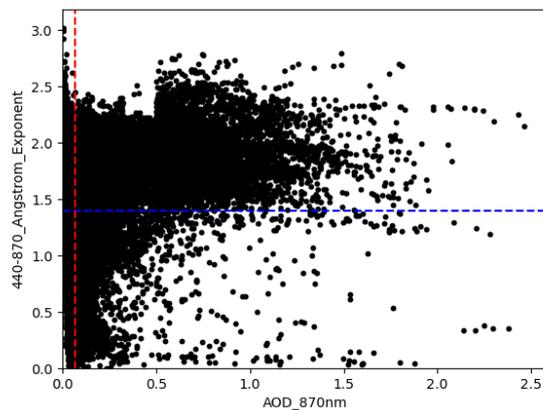
Os sítios de Alta floresta (Figura 11a), Campo Grande (Figura 11b), Cuiabá (Figura 11c), Ji Paraná (Figura 11d), Petrolina (Figura 11e), São Martinho (Figura 11g) e São Paulo (Figura 10h) têm características de aerossóis atmosféricos dominantes pouco atenuadores ($EOA \leq 1,0$) de moda grossa ($EA \leq 1,5$). Já a estação de Rio branco (Figura 11f) notou-se a partir do valor da mediana aerossóis com características pouco atenuadoras e de moda fina ($1,5 \leq EA \leq 2,0$).

Entretanto, apesar das medianas apontarem essas características de aerossóis pouco atenuadores de radiação e moda grossa como mostra a tabela 4, podemos observar (Figura 11) a dispersão dessas partículas com ($EOA > 1$) o que indica a presença de aerossóis com características atenuadoras de radiação solar e modais grossos.

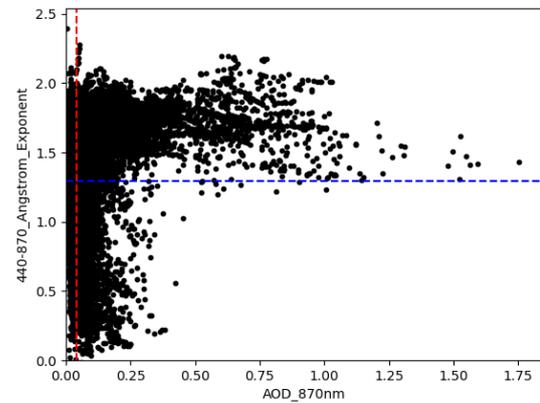
É relevante destacar que as regiões do Norte e Centro-Oeste são influenciadas pelas queimadas na região amazônica, o que pode contribuir para a presença desses aerossóis de moda grossa. No entanto, a presença de partículas

finas em algumas dessas regiões pode indicar a contribuição de outras fontes, como poluentes urbanos ou transporte de aerossóis de regiões vizinhas.

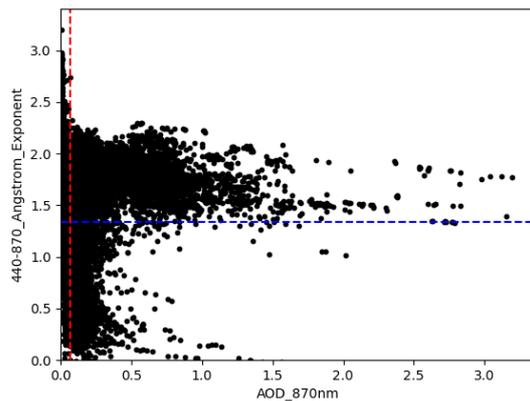
De acordo a Climatologia de D'Almeita (1991) em os sítios de Alta floresta, Campo Grande, Ji Paraná, Petrolina e São Martinho que tem valores dominantes entre 0,0 e 0,1 possuem tipos de aerossóis marítimos tropicais, ártico, antártico, marítimo limpo e continental limpo. Já os que possuem classes dominantes entre 0,1 e 0,2 que são representados pelos sítios de Cuiabá, Rio Branco e São Paulo têm aerossóis característicos de continental médio e marítimo contaminado, por exemplo.



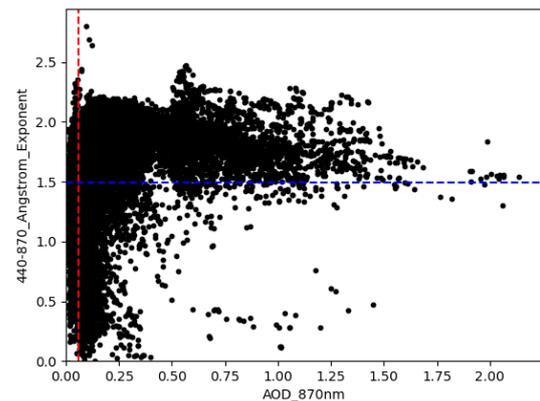
(a)



(b)



(c)



(d)

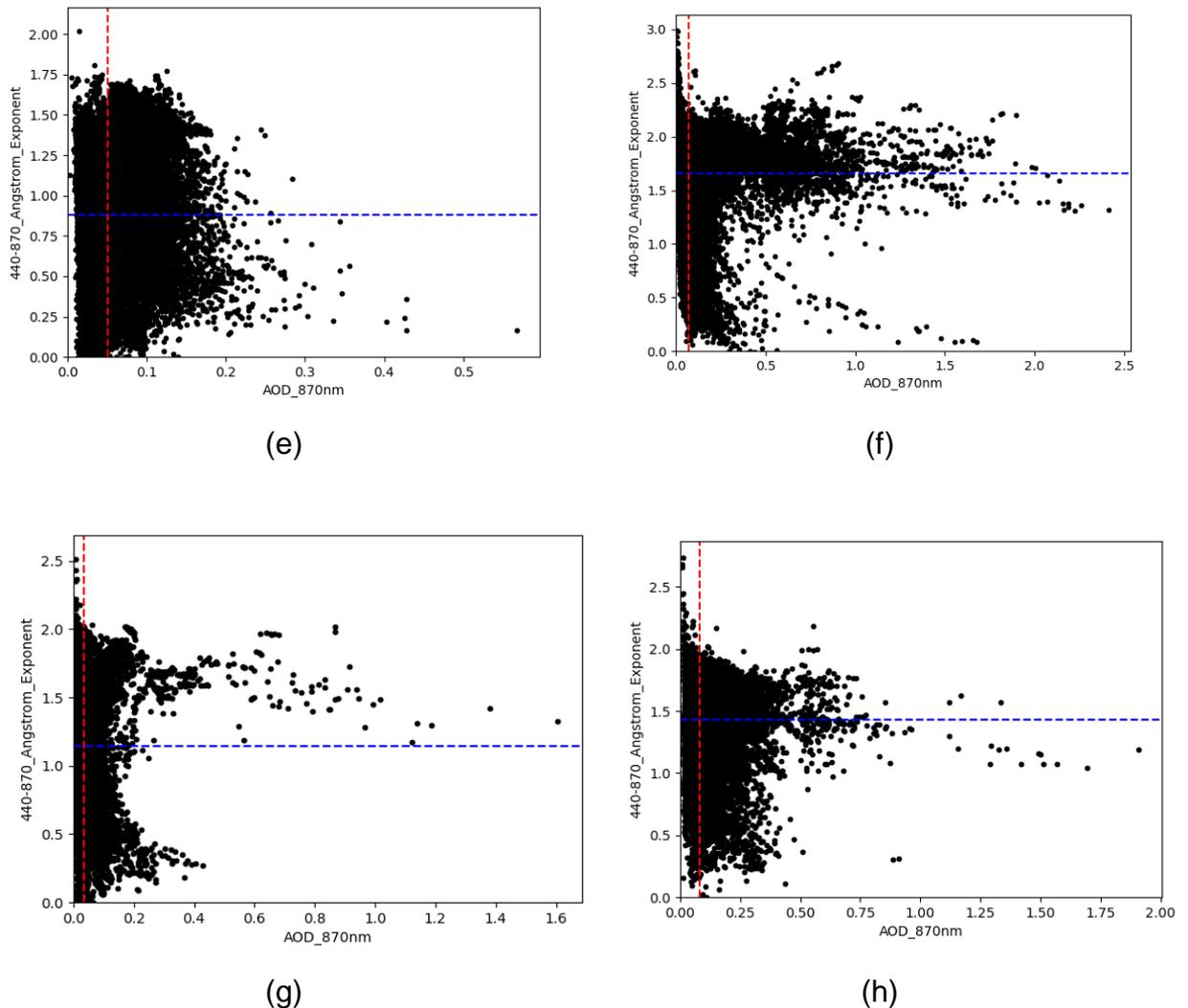


Figura 11- Análise da dispersão espessura ótica dos aerossóis em 870nm x Expoente de Angstrom 440-870nm para os pontos analisados. (a) Alta floresta (b) Campo Grande (c) Cuiaba (d) Ji Parana (e) Petrolina (f) Rio Branco (g) São Martinho e (h) São Paulo. As linhas azul e vermelha representam as medianas do expoente de angstrom e espessura ótica, respectivamente.

4.2. Variabilidade Sazonal

Através do gráfico do boxplot apresentado na próxima figura é possível analisar a variação sazonal da EOA, comprimento de onda de 870nm, nos sítios apresentados. Nota-se que o sítios com maiores valores são Alta Floresta, Campo Grande, Cuiabá, Ji Paraná e Rio Branco, todos localizados próximos a da Amazônia legal. Já Petrolina, São Martinho e São Paulo apresentam pouca variação sazonal.

Os boxplot sítio de Alta floresta (Figura 12a), Campo Grande (Figura 12b), Cuiabá (Figura (12c), Ji paraná (Figura 12d) e Rio Branco (Figura 12f) indicaram

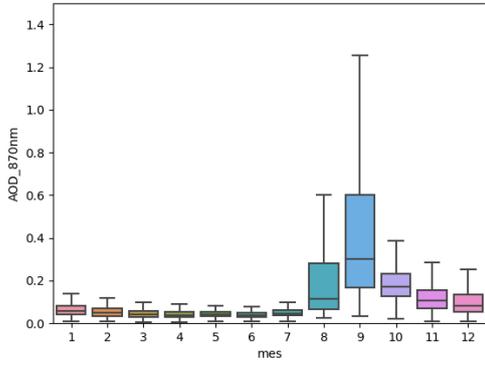
maior valor da mediana mensal em setembro e maiores amplitudes de mínimos e máximos do seu desvio padrão, nessas regiões observa-se a elevação a partir do mês de agosto a novembro. Destacam-se Alta Floresta e Ji Paraná com a mediana próxima ao primeiro quartil demonstrando uma assimetria positiva para EOA.

Já os sítios de Petrolina (Figura 12e), São Martinho (Figura 12g) e São Paulo (Figura 12h) apresentaram uma série sem grandes elevações das medianas mensais, não apresentaram grandes amplitudes de seus desvios padrões.

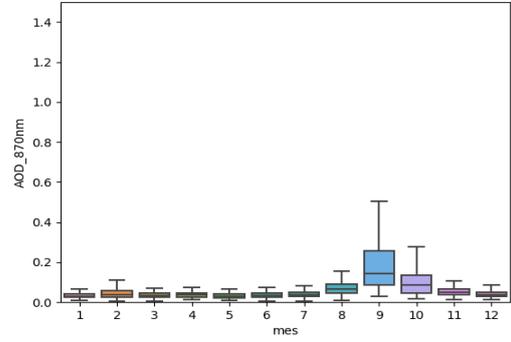
As regiões próximas a região amazônica sofrem grandes influências das queimadas que ocorrem na estação de seca na região indo de junho a novembro para regiões que compõem o arco do desmatamento, outro ponto importante são as emissões da sua própria vegetação (emissão biogênica) que contribuem para as grandes variações de EOA nessa região.

O sítio de Petrolina localizado no nordeste do brasileiro apresentou uma queda bem acentuada nos meses de abril a agosto, a região do NEB (Nordeste Brasileiro) tem as características de valores de EOA mais baixos, pois são influenciados por diversos sistemas meteorológicos que impactam no transporte das partículas de aerossóis, tais quais, ZCIT (Zona de convergência Intertropical), Brisas, Ondas de Leste, Ventos Alísios por exemplo. Essas partículas podem ser transportadas para outras regiões como também podem ser depositadas na superfície.

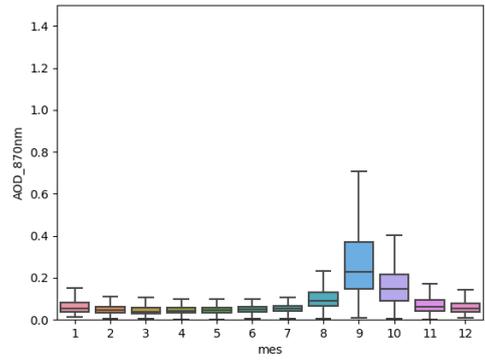
Já São Martinho e São Paulo observamos que os valores das medianas mensais aumentam sistematicamente nos meses de agosto e setembro, período de transição do inverno a primavera astronômica, que podem estar associados a entradas das plumas de queimadas nessas regiões.



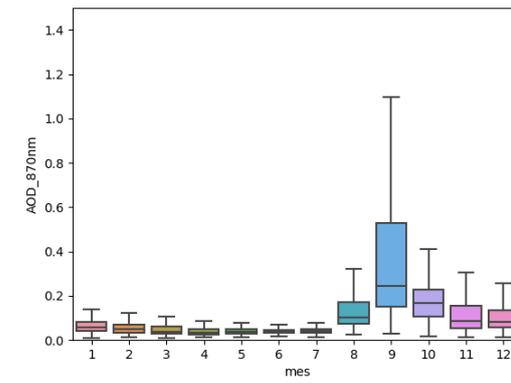
(a)



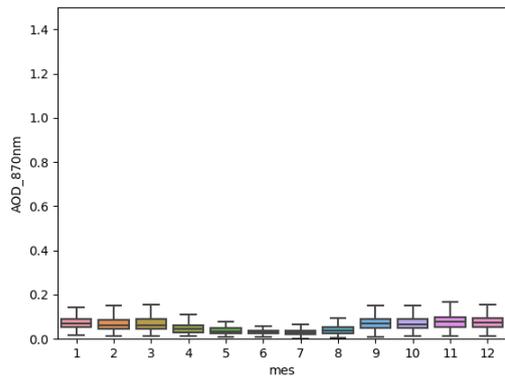
(b)



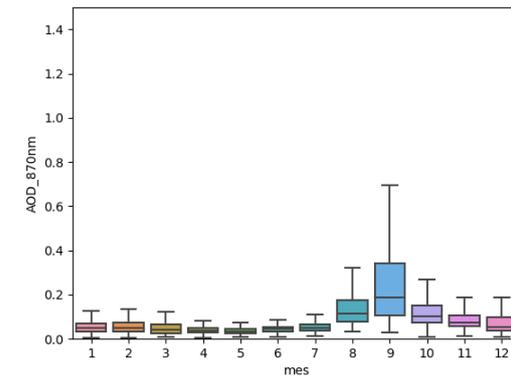
(c)



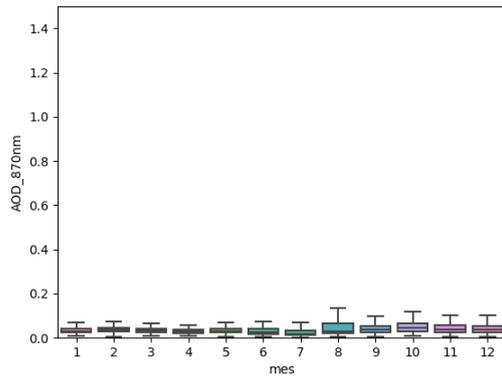
(d)



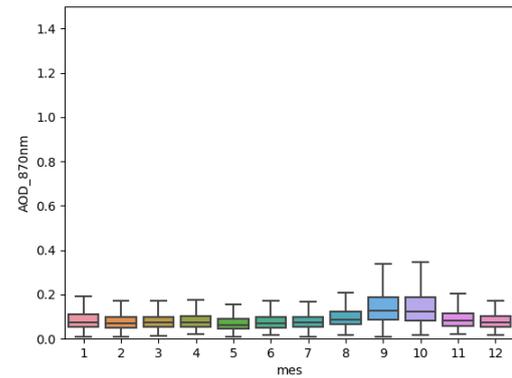
(e)



(f)



(g)



(h)

Figura 12 – Diagrama boxplot da espessura ótica dos aerossóis em 870nm para os pontos analisados (a) Alta floresta (b) Campo Grande (c) Cuiaba (d) Ji Parana (e) Petrolina (f) Rio Branco (g) São Martinho e (h) São Paulo.

5. CONCLUSÃO

A análise das características óticas dos aerossóis em 8 localidades distintas no Brasil ao longo de sete ou mais anos de dados utilizando fotômetro solar da rede AERONET indicou diferentes características relacionadas ao aerossol dominante, principalmente em relação a sazonalidade, sobre cada sítio porém com destaque para baixos valores de EOA sobre a maior parte dos dados analisados com exceção de períodos específicos que podem estar relacionados a ocorrência de queimada na ou próximo da região analisada e quase sempre pouca variação sazonal, com exceção dos períodos destacados.

O histograma de 870 nm apresentou em suas primeiras classes valores predominantes de EOA com destaque para os sítios analisados de Petrolina e São Martinho que tiveram as maiores frequências. Já os histogramas de 440nm apresentaram em sua distribuição classes dominantes não somente entre as primeiras clases, indicou aerossóis dominantes entre a segunda e terceira classe. De acordo com estudos anteriores que apontam o tipo de aerossol presente na região de Petrolina como sendo de origem marítima tropical e marítima limpa percebe-se a influência sobre a região e no aerossol dominante de sistemas meteorológicos como ventos alísios.

Em relação à análise sazonal através de diagramas do tipo boxplot, observamos alguns valores mensais elevados nos sítios de Alta Floresta, Rio Branco, Ji paraná, Cuiabá e Campo Grande. As regiões destacadas apresentaram um aumento nos meses de setembro que marca o início da primavera. Isso ocorre provavelmente por ser o período com maior ocorrência de focos de queimadas na região da Amazônia legal, afetando assim a quantidade e tipo de aerossóis e consequentemente seus valores de EOA e EA.

A correlação de EA e EOA apontou o tipo de aerossol presente em casa sítio analisado, onde em sua maioria apresentou aerossóis com características óticas pouco atenuadoras de moda grossa. Somente o sítio de Rio branco indicou predominância de tipo característico como aerossóis pouco atenuadores e moda fina.

Essa análise enfatiza a complexidade da composição dos aerossóis atmosféricos e a importância de considerar tanto as medianas quanto a dispersão

das características modais ao interpretar os resultados da caracterização ótica dos aerossóis em diferentes regiões.

Diante dos resultados obtidos nesta pesquisa sobre a espessura ótica dos aerossóis, fica claro que ainda há várias oportunidades para pesquisas futuras explorarem e aprimorarem nosso entendimento nessa área.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Célia. Aerossóis atmosféricos: perspectiva histórica, fontes, processos químicos de formação e composição orgânica. **Química Nova**, São Paulo, vol. 28, n. 5, p. 859-870, 5 abr. 2005.

ANDREAE, Meinrat O. **Queima de biomassa-Sua história, uso e distribuição e seu impacto na qualidade ambiental e no clima global**. In: Queima de biomassa global - Implicações atmosféricas, climáticas e biosféricas . 1991.

ARTAXO, P.; OLIVEIRA, H. P.; LARA, L. L.; PAULIQUEVIS, M. T.; RIZZO, V. A.; JUNIOR, P. C.; PAIXÃO, A. M.; LONGO, M. K.; FREITAS, S.; CORREIA, L. A. Efeitos climáticos de partículas de aerossóis biogênicos e emitidos em queimadas na Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**. São Paulo, vol. 21, n. 3a, p. 168-189, Ago. 2006.

CACHORRO, V. E.; GONZALEZ, M. J.; DE FRUTOS, A. M; & CASANOVA, J. L. Ajustando a fórmula de Ångström à espessura óptica do aerossol resolvido espectralmente. **Atmospheric Environment** , n. 23, p. 265-270, 1989.

CANÇADO, D. E. J.; BRAGA, A.; PEREIRA, A. A.; ARBEX, A. M.; SALVIDA, N. H. P.; SANTOS, P. U. Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica. **SciELO**. Santos-SP, n. 32 (Supl. 1), p. 5-11, 2006.

CIMEL Advanced Monitoring. **Multiband photometer CE318-N**: User's Manual. Disponível em: Acesso em: 21 abr. 2015

COSTA, A. A.; PAULIQUEVIS, T. Aerossóis, nuvens e clima: resultados do Experimento LBA para Estudo de Aerossóis e Microfísica de Nuvens. **Revista Brasileira de Meteorologia**. Fortaleza, v. 24, n. 2, p. 234-253, jul. 2009. ^

COUTINHO, L.M.; MIRANDA H.S.; MORAIS, H.C. O Bioma do Cerrado e o Fogo. **Revista do Instituto de Estudos Avançados da USP**, n. 50 p. 2002.

FERNANDES, Edite Manuela da G.P. Estatística aplicada. **Sunprynus**, Braga-PT, jan. 1999. Disponível em: Master.dvi (sunprynus.com). Acesso em: 15 mar. 2023.

FINLAYSON-PITTS, B. J.; PITTS, J. N. P. **Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere**. Academic Press, San Diego, 2000.

FREITAS, Saulo R. et al. Emissões de queimadas em ecossistemas da América do Sul. **Estudos Avançados**. São Paulo, vol. 19, n. 53, p. 167-185, 26 fev. 2005.

FURTADO, Clarice Miranda Fiorese. **Análise quantitativa das propriedades ópticas de aerossol urbano e de queimadas na Amazônia**. Orientador: Prof. Dr. Paulo Eduardo Artaxo Netto. 2016. 101 f. Dissertação (Mestrado em Física) – Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

GONÇALVES, Douglas de Souza. **Estudos teóricos de moléculas orgânicas na formação de aerossóis atmosféricos**. Orientadores: Prof. Dr. Puspitapallab Chaudhuri, Prof^a. Dr^a. Kaline Coutinho. 2021. 132 f. Tese (Doutorado em Física) - Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal do Amazonas, Amazonas, 2021.

HAYWOOD, J. M; BOUCHER, O. **Estimates of Direct and Indirect Radiative Forcing Due to Tropospheric Aerosol: A Review**. Rev. Geophys, n 38, p. 513-543, 2000.

HOLBEN, B. N.; ECK, T. F.; SLUTSKER, I.; TANRÉ D.; BUIS, J. P.; SETZER, A.; VERMOTE, E.; REAGAN, J. A.; KAUFMAN, Y. J.; NAKAJIMA, T.; LAVENU, F.; JANKOWIAK, I.; SMIRNOV, A. **AERONET – A federated instrument network and data archive for aerosol characterization**. Remote Sensing of Environment, v.66, 1-16, 1998.

HOLANDA, B. A. **Absorção da radiação por aerossóis na Amazônia. 2015**. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2015.

KASKAOUTIS, D. G.; KOSMOPOULOS, P.; KAMBEZIDIS, H. D.; NASTOS, P. T.; Climatologia de aerossóis e discriminação de diferentes tipos sobre Atenas, Grécia, com base em dados MODIS. **Ambiente Atmosférico**, n. 41 (34), p. 7315-7329. 2007.

KAUFMAN, Y. J., KOREN, I. **Smoke and pollution aerosol effect on cloud cover**. Science, v. 313, p. 655-658, 2006.

KAUFMAN, Y.J.; TANRÉ, D.; BOUCHER, O. **A satellite view of aerosols in the climate system** *Nature*, v.419 p. 215-223. 2002.

I CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA TERRA, CLIMA E ESPAÇO DA UNIVERSIDADE DE ÉVORA, 2003, Évora, PT. **Programas e Resumos**. Disponível em: [file:///C:/Users/cleib/Downloads/Congr Evora 2003%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/cleib/Downloads/Congr%20Evora%202003%20(1).pdf). Acesso em: 24 mar. 2023.

LISBOA, Henrique de Melo. Controle da poluição atmosférica – capítulo II. **ENS/UFSC**, Florianópolis, mar. 2014. Sessão: Fontes de poluição atmosférica. Disponível em: [2\(asc.es.edu.br\)](http://2(asc.es.edu.br)). Acesso em: 23 mar. 2023.

MARTIN, S.T.; ANDREAE, M. O.; ALTHAUSEN, D.; ARTAXO, P.; BAARS, H.; KARL, T.; LONGO, K.; MANZI, A.; MULLER, T.; PAULIQUEVIS, T.; PETTERS, M. D.; PRENNI, A. J.; WHANG, J. WIDERSOHLER, A.; ZORN, S. R. An overview of the Amazonian Aerosol Characterization Experiment 2008 (AMAZE-08). *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 11415-11438, doi:10.5194/acp-10-11415-2010.

MENEZES, A. J.; PALÁCIOS, S. R.; JUNIOR, M. E.; JUNIOR, S. A.; NOGUEIRA, S. J. Caracterização espectral de propriedades ópticas de aerossóis em região de floresta tropical. **Nativa**. Mato Grosso, vol. 6, n. 5, p. 451-456, set/out. 2018.

MOREIRA, Davidson Martins; TIRABASSI, Tiziano; MORAES, Marcelo Romero de. Meteorologia e poluição atmosférica. **Ambiente & Sociedade**. Campinas-SP, vol. 11, n. 1, p. 1-13, jan-jun 2008.

NASA. **Aeronet**. 2020. Disponível em: Descrição do Sistema - Página inicial da Rede Robótica de Aerossóis (AERONET) (nasa.gov). Acesso em 10 mai. 2023.

OLIVEIRA, A.M: Estudo do Impacto na Espessura Ótica da Atmosfera na Região Sul do Brasil. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal de Pelotas, 2013.

OLIVEIRA, Aline Macedo de; MARIANO, Glauber Lopes. Identificação de entrada de plumas de queimada e principais áreas afetadas na região Sul do Brasil. **Ciência e Natura**. Rio Grande do Sul. Vol. 36, n. 2, p. 241-249, mai-ago. 2014.

OLIVEIRA, Daniel Camilo Fortunato dos Santos. **Caracterização e classificação das propriedades ópticas de aerossóis na atmosfera de Natal, Brasil**. Orientadoras: Profa. Dra. Judith Johanna Hoelzemann, Prof. Dra. Elena Montilla-Rosero. 2016. 27 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

OLIVEIRA, Nara Poliana Meneses de. **Avaliação da razão lidar do satélite, calipso utilizando a profundidade óptica de aerossóis obtidos por um fotômetro solar da rede aeronet em Petrolina/Pe, Brasil**. Orientadores: Dr^a Judith Johanna Hoelzemann, Prof^o Dr^o Fábio Juliano da Silva Lopes. 2018. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Climáticas) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

OLIVEIRA, Daniel. **Propriedades ópticas de aerossóis na atmosfera de Natal/Brasil medidas por meio de um fotômetro solar da rede aeronet**. Orientadora: Profa. Dra. Judith Johanna Hoelzemann. 2019. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Climáticas) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

PALÁCIOS, S. R.; SALLO, S. F.; PRADO, M. J.; MUSIS C. R.; NOGUEIRA, S .J. Análise da profundidade ótica de aerossóis e coeficiente de Angstrom no cerrado Mato-grossense. **Revista Brasileira de Climatologia** , n. 14, 2014.

PEREIRA, C. A; BARROS, C. L.; NAKALE, T. V.; OLIVEIRA, F. T.; KUHNEN, A. I.; JUNIOR, S. A.; NASSARDEN, S. C.; SILVA, C. G.; PALÁCIOS, S. R. Aplicação dos produtos MODIS Coleção 6 na análise da Profundidade Ótica do Aerossol sobre regiões de Floresta e Cerrado na Amazonia Legal. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Pernambuco, vol. 15, n. 02, p. 886-912, abr. 2022.

PES, M. P., PEREIRA, E. B., COSTA, R. S., GONÇALVES, A. R., Martins, F. R., MACHADO, G. B. M., & PEREIRA, S. V. Rede SONDA de dados de recursos de energia solar e eólica. **Congresso Brasileiro de Planejamento Energético**, 2020.

PINHO, José Alberto do Nascimento. **Variações sazonais de propriedades óticas de aerossóis e identificação de diferentes tipos na Amazônia baseado em dados aeronet**. Orientador: Prof. Dr. Jorge Almeida de Menezes. 2019. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente, Universidade Federal do Amazonas, Humaitá, 2019.

POSSANI, G.; CARBONE, S.; PINHEIRO, K. D.; ALVALÁ, C. P.; SCHUCH, J. N. Influência de Queimadas na Espessura Óptica de Aerossóis do UV no Extremo Sul do Brasil: 2002- 2006. **Congresso Brasileiro de Meteorologia**. 2006.

PRADO, Nathália Velloso. **Estudo da variabilidade temporal da profundidade óptica do aerossol atmosférico na região sul da Amazônia, durante o período de 2000 a 2015**. Orientadora: Dra. Simone Marilene Sievert da Costa Coelho. 2017. 91 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, São José dos Campos – SP, 2017.

ROMERA, K. S.; MUSIS, R. C.; PALACIOS, R. S.; CURADO, A. F. A.; NOGUEIRA, S. J.; MARQUES, B. J.; COSTA, R. O.; DUARTE, L. G. Variabilidade Interanual Das Propriedades Óticas de Aerossóis em Biomas Distintos na Amazônia Legal. **Revista Brasileira de Climatologia**. Mato Grosso do Sul, vol 25, p. 424-423, dez. 2019.

SANTOS, O. T.; FILHO, A. V.; ROCHA, M. V.; MENEZES, S. J. Os Impactos do Desmatamento e Queimadas de Origem Antrópica Sobre o Clima da Amazônia Brasileira: Um Estudo de Revisão. **Revista Geografia Acadêmica**. Roraima-RO, v.11, n.2, p. 157-181, 2017.

SEINFELD, J. H., e S. N. Pandis: **Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change**. New York: John Wiley & Sons, New York, USA, 1232 p, 2006.

TOLEDANO, C. **Climatología de los Aerosoles Mediante la Caracterización de Propiedades Ópticas y Masas de Aire em la Estación ‘El Arenosillo’ de la Red AERONET**. Universidad de Valladolid, Espanha. out. 2005.