Revista Brasileira de Climatologia
ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

# VARIABILIDADE INTERANUAL DAS PROPRIEDADES ÓTICAS DE AEROSSÓIS EM BIOMAS DISTINTOS NA AMAZÔNIA LEGAL

ROMERA, Kelly Sousa – kellyromera@fisica.ufmt.br
Universidade Federal de Mato Grosso / UFMT

De MUSIS, Carlo Ralph – carlo.demusis@gmail.com
Universidade de Cuiabá /UNIC

PALÁCIOS, Rafael da Silva – rafael.pgfa@gmail.com
Universidade Federal de Mato Grosso / UFMT

CURADO, Leone Francisco Amorim – leonecurado@gmail.com
Universidade Federal de Mato Grosso / UFMT

NOGUEIRA, José de Souza – nogueira@ufmt.br
Universidade Federal de Mato Grosso / UFMT

MARQUES, João Basso – jbassofisico@gmail.com
Universidade Federal de Mato Grosso / UFMT

COSTA, Rayanna de Oliveira – rayanna.oli.costa@gmail.com
Universidade Federal de Mato Grosso / UFMT

BRUNELLI, Thaís Costa – thais12@fisica.ufmt.br
Universidade Federal de Mato Grosso / UFMT

DUARTE, Leilane Gomes – leilane@fisica.ufmt.br
Universidade Federal de Mato Grosso / UFMT

**RESUMO**: A análise das propriedades óticas dos aerossóis é extremamente importante para o entender como estes podem influenciar nos fluxos radiativos terrestres. Nesse sentido, este estudo teve como principal objetivo utilizar as medidas da AERONET (do inglês, AErosol RObotic NETwork) para avaliar as propriedades absortivas e espalhadoras dos aerossóis atmosféricos nos biomas cerrado e floresta amazônica (ambos na Amazônia Legal), além de avaliar a aplicabilidade do novo algoritmo (V3) da AERONET. Foi obtida uma série temporal de 17 anos (2000-2016) com dados recuperados dos radiômetros CIMEL sun-sky para os sites de Alta Floresta e Cuiabá MIRANDA, com nível 2.0 de processamento (V3). As variáveis analisadas foram a profundidade ótica de absorção (AAOD, do inglês, Absorption Aerosol Optical Deph) e o albedo de espalhamento simples do aerossol (SSA, do inglês, Single Scattering Albedo), ambos em quatro comprimentos de onda (440, 675, 870 e 1020 nm); e o expoente angstrom de absorção de 440-870 nm (EAA, do inglês, Expoent Angstrom Absorption). Os dados de queimadas fornecidos pelo INPE indicaram que os locais de estudo têm sido fortemente impactados por queimadas. As análises gráficas das propriedades óticas dos aerossóis (AAOD e SSA) deram fortes indícios da presença de brown carbon (BrC), parte absorvedora do carbono orgânico (OC) liberado também na queima de biomassa. O novo produto de inversão V3 fornecido pela rede AERONET se mostrou eficiente para estudos das propriedades óticas dos aerossóis durante o período seco das regiões em estudo.

**PALAVRAS-CHAVES**: Focos de queimadas, Albedo de espalhamento simples, Angstrom de absorção, AERONET.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

*INTERANUAL VARIABILITY OF OPTICAL PROPERTIES OF AEROSOLS IN DIFFERENT BIOMAS IN THE LEGAL AMAZON*

**ABSTRACT:** The analysis of the optical properties of the aerosols is extremely important for the understanding of the impacts that the particulate material causes in the radiative fluxes. In this sense, the main objective of this study was to use AERONET (AErosol RObotic NETwork) to evaluate the adsorptive and scattering properties of atmospheric aerosols in the cerrado biomes and Amazonian forest (both in the Legal Amazon), as well as to evaluate the applicability of the new algorithm (V3) of AERONET. In this work, data from the CIMEL sun-sky radiometers were retrieved for the Alta Floresta and Cuiabá MIRANDA sites, with processing level 2.0 (V3) for the 17-year period (2000-2016). The variables analyzed were the AAOD (Absorption Aerosol Optical Depth), (SSA), simple scattering albedo and the (EAA) exponent Angstrom of Absorption (440 to 870 nm). The results showed that both biomes are strongly impacted by biomass burning. Highest values found for SSA and AAOD occurred at the lowest wavelengths, indicating the predominance of organic carbon. This result indicates that these particles are composed of elements that have strong spectral dependence. Despite the annual decline in deforestation in the Amazon region after 2004, it can be observed that AAOD did not follow the same pattern. It was also verified that the inversion product V3 was efficient for evaluating the optical properties of the aerosols during the dry period of the series studied.

**KEYWORDS**: Biomass burning, Simple scattering albedo, Angstrom absorption, AERONET.

## 1. INTRODUÇÃO

Aerossóis atmosféricos são compostos de partículas sólidas ou líquidas em suspensão na atmosfera que, dependendo da fonte de emissão, apresentam diferentes propriedades físicas e químicas, tamanhos e formas (SEINFELD e PANDIS, 2006). Devido a forma de emissão, os aerossóis são divididos em dois grupos: primário, constituídos por partículas emitidas diretamente para a atmosfera; e secundários, formados na própria atmosfera na conversão de gás-partícula (SEINFELD e PANDIS, 2006). Estas partículas podem ser de origem natural (exemplos: erupções vulcânicas, neblina, exsudatos florestais, aerossóis marinhos) e antropogênicas (exemplos: queima de biomassa, emissões industriais).

Os aerossóis atmosféricos têm atraído atenção especial em estudos climáticos, pois em altas concentrações podem influenciar os fluxos radiativos na atmosfera. Suas propriedades óticas (espalhamento e absorção) afetam diretamente o clima através da atenuação da radiação solar, modificando o balanço energético do sistema Terra-atmosfera, e indiretamente pela formação e desenvolvimento de nuvens (KAUFMAN et al., 2001; KAUFMAN et al., 2005; BRENGUIER, 2009; GANTT et al., 2012; OCKO et al., 2012). Visto que os aerossóis apresentam tempo de vida curto na atmosfera, ambos os efeitos promovem grandes variações regionais (RAJEEV e RAMANATHAN, 2001).

O estado de Mato Grosso, uma das 27 federações do Brasil, ocupa uma área de aproximadamente 903 mil km2 de extensão e é o terceiro maior estado do país. Localizado no Centro-Oeste brasileiro, fica no centro geodésico da América Latina. O estado é rico em biodiversidade e o único do país que contém três dos cinco principais biomas brasileiros: Amazônia, Cerrado e Pantanal. Esta região é influenciada diretamente pela queima de biomassa, principalmente na estação seca onde a concentração de partículas na atmosfera aumenta

substancialmente (SENA et al., 2013; ARTAXO et al., 2013). A região norte do estado (cidade de Alta Floresta) faz parte de uma extensão territorial impactada diretamente pelo desmatamento, conhecida como "arco do desflorestamento". Como consequência do desmatamento, o número de registros de queima de biomassa nesta região é um dos maiores do país.

A extensão territorial da capital do estado de Mato Grosso, Cuiabá, possui cerca de 3 mil $km^2$ segundo o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), e está a 165 m de altitude em um clima tropical quente e sub-úmido. A precipitação média anual é de 1750 mm, com intensidade máxima em dezembro, janeiro e fevereiro, já a temperatura média anual é de 24 °C. A cidade pertence predominantemente ao bioma Cerrado, mas recebe influência do bioma Amazônico e Pantaneiro. A região urbanizada de Cuiabá possui características climáticas e geográficas que favorecem altas concentrações de material particulado emitido por queimadas urbanas e rurais, emissões industriais e veiculares (WYREPKOWSKI, 2007; MACHIN e ADRIANO, 2018). A capital Cuiabá está localizada a aproximadamente 800 km da cidade de Alta Floresta (no norte do estado).

As florestas tropicais e o cerrado estão entre os ecossistemas globais mais afetados pelas atividades humanas devido a queima de biomassa e de processos de ocupação e alteração no uso da terra (WYREPKOWSKI, 2007). Estas alterações na ocupação do solo podem contribuir fortemente para a mudança das propriedades óticas dos constituintes atmosféricos.

As principais fontes de material particulado na Amazônia são as emissões primárias de aerossóis biogênicos emitidos pela própria floresta. Já no cerrado, são as emissões primárias de partículas provenientes de queima da floresta ou pasto, partículas oriundas de ressuspensão de poeira do solo pela ação do vento ou da turbulência gerada pelas queimadas, transporte a longa distância de poeira do Saara, junto com aerossóis marinhos, e emissões da África (ARTAXO et al., 1998; FREITAS, 1999).

Tendo em vista a necessidade de compreender os impactos dos aerossóis no clima regional, este trabalho teve como objetivos avaliar o comportamento das propriedades óticas dos aerossóis (absorção e espalhamento) nas cidades de Alta Floresta e Cuiabá utilizando dados de inversão fornecidos pela rede AERONET (do inglês, AErosol RObotic NETwork) (HOLBEN et al.,1998) para uma série temporal de 17 anos (2000 - 2016), e verificar o potencial de aplicabilidade dos dados fornecidos pelo novo algoritmo de inversão (V3) da AERONET.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A cidade de Alta Floresta (Figura 1) está situada no norte de Mato Grosso, em uma região conhecida como arco do desflorestamento. O local apresenta os maiores registros de focos de queimadas no Brasil (PALÁCIOS, 2017), sendo fortemente impactado por aerossóis de queimadas. O site da AERONET em Alta Floresta encontra-se numa região de transição entre floresta e pastagem (9.87° S, 56.10° W). Já para Cuiabá o fotômetro da AERONET está instalado na fazendo Miranda (zona rural de Cuiabá) (15.73° S, 56.07° W).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Embora o site esteja localizado dentro dos limites da Amazônia Legal, a região é considerada como uma zona de transição entre os biomas Cerrado e Pantanal, com vegetação típica de cerrado (árvores de pequeno porte com galhos retorcidos em meio a uma mistura de pastagem e superfícies alagadas), esta região também é diretamente impactada pela queima de biomassa (PALÁCIOS, 2017). A distância aproximada do site ao perímetro urbano é de 20 km.

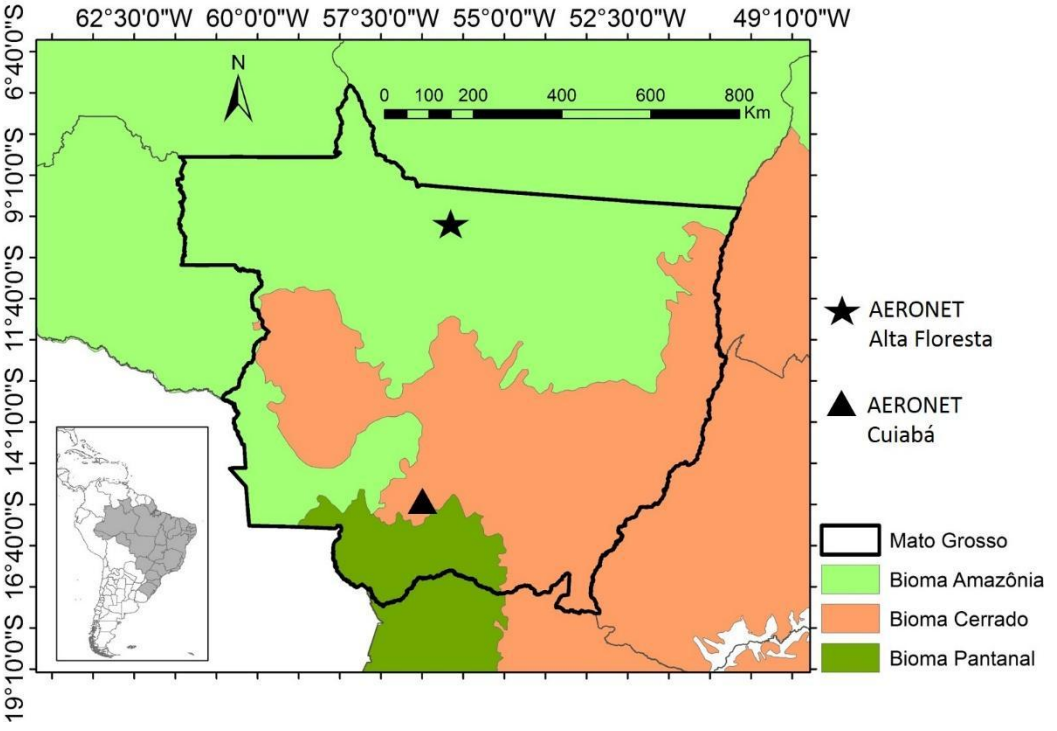


**Figura 1** - Localização dos sites da AERONET utilizados neste trabalho juntamente com os biomas pertencentes ao estado do Mato Grosso. Na parte inferior a esquerda o esboço da localização do Brasil no continente Sul Americano.

## 2.2 MEDIDAS DA AERONET

A rede AERONET (do inglês, AErosol RObotic NETwork) (HOLBEN et al., 1998) é uma rede global de monitoramento de aerossóis por sensoriamento remoto, instalada ao nível da superfície e mantida pelo sistema EOS (do inglês, Earth Observing System) da NASA. Os equipamentos da AERONET consistem em radiômetros espectrais automáticos e idênticos distribuídos pelo globo. Suas medidas permitem o monitoramento, praticamente em tempo real, da profundidade ótica dos aerossóis, da coluna d'água precipitável, distribuição de tamanho das partículas, dentre outras propriedades físicas e óticas dos aerossóis. Os produtos fornecidos pela AERONET são disponíveis na internet, no endereço: http://aeronet.gsfc.nasa.gov/, onde encontram-se todas as informações sobre o sistema de monitoramento (SCHAFER et al., 2008).

As primeiras implementações de grande escala continental foram dos Estados Unidos em 1993 que iniciaram uma campanha em oito locais de monitoramento na Amazônia (HOLBEN et al., 1998, HOLBEN et al., 2001).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Implementações subsequentes no Brasil ocorreram em 1994 e 1995, constituídas, em grande parte, de campanhas sazonais focados na caracterização da carga de aerossóis associados aos incêndios florestais durante a estação seca (HOLBEN et al., 1996; ECK et al., 1998). A expansão do projeto inclui centenas de sites ao redor do mundo, e depois de um período de ausência no Brasil, o monitoramento foi retomado durante todo o ano de 1999 em vários locais, em conjunto com o projeto de Larga Escala da Biosfera-Atmosfera (LBA) na Amazônia.

Os sensores estão acoplados a robôs capazes de automatizar a coleta de medidas, girando no sentido dos ângulos zenital e azimutal a partir de motores de passo com uma precisão de 0.05°. Um microprocessador calcula a posição solar baseando-se nas informações de hora, latitude e longitude, direcionando os colimadores a menos de 1° do Sol. Um pequeno detector localiza precisamente o Sol para que a sequência de medidas seja iniciada. Ao final das medidas o instrumento volta a sua posição de repouso (apontando aproximadamente para o nadir). Um sensor de umidade acoplado ao sistema cancela qualquer sequência de medidas para o caso de ocorrência de precipitação. Os radiômetros são capazes de medir tanto a radiação direta quanto a radiação solar difusa (HOLBEN et al., 1998). As transmissões de dados por satélite se dão por meio de um registrador/transmissor de dados Sutron SATLINK2 e ocorrem de hora em hora ou de meia hora da memória do microprocessador fotométrico solar via Sistema de Coleta de Dados (DCS) para um dos três satélites geossíncronos GOES, METEOSAT ou GMS e então retransmitidos para a estação receptora de aterramento apropriada.

## 2.3 PRODUTO DE INVERSÃO DA AERONET

O código de inversão AERONET fornece propriedades óticas de aerossóis na coluna atmosférica total derivada da radiação direta e difusa medida por radiômetros solares. O código AERONET inverte as radiâncias simultaneamente em todos os comprimentos de onda disponíveis para o cenário completo de almucantar solar ou plano principal ($\sim 2.0° < \Theta$) juntamente com medições da profundidade ótica do aerossol nos mesmos comprimentos de onda. Os dados de inversão se baseiam em algumas hipóteses: Atmosfera é assumida plano-paralelo; A distribuição vertical do aerossol é assumida homogênea na inversão almucantar e bicamada para a inversão do plano principal; Reflectância de superfície é aproximada por BRDF (do inglês, Bidirecional Reflectance Distribution Function).

A recuperação V2 AERONET tem como saída a distribuição de tamanho, índice de refração complexo e partição de partículas esféricas/não esféricas e que são calculados com base nas propriedades recuperadas de aerossol (função de fase, albedo de espalhamento único, fluxos espectrais e de banda larga), além disso, a saída fornece estimativas para erros aleatórios e sistemáticos para a maioria destas características. O novo algoritmo de inversão V3 foi adaptado para melhorar a recuperação das características de aerossóis, incluindo uma otimização estatística detalhada da influência do ruído. O algoritmo de inversão otimizado é construído sobre os princípios da estimação estatística que considera as radiâncias espectrais e algumas restrições nas características do aerossol como dados de múltiplas fontes conhecidas com precisão predeterminada. A inversão é projetada como uma busca pelo melhor ajuste de

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

todos os dados considerados por um modelo teórico que leva em conta as diferenças de precisão dos dados ajustados. O ajuste multivariável é implementado por um procedimento numérico estável combinando inversão de matrizes e relaxamento univariado. A flexibilidade na organização de algoritmos ajuda a obter inversões simultâneas e confiáveis de conjuntos de dados complexos, que incluem várias características radiativas e de microestrutura (DUBOVIK e KING, 2000).

O novo algoritmo tornou o processo de controle de qualidade dos dados automático, contribuindo na melhoria dos mesmos em todos os níveis de processamento. O nível 2.0 apresenta o controle mais completo de qualidade, pois é gerado imediatamente após a aplicação da calibração de campo e possui estimativas de incerteza. Os dados de nível 1.5, com limpeza para medidas que contenham nuvens podem ser utilizados para comparação em tempo real e validação de satélites e modelos, mas não são recomendados para publicação porque podem ou não mudar durante as primeiras seis semanas (os produtos são reprocessados várias vezes para utilizar as entradas auxiliares mais recentes e melhores) após a coleta de dados ou após a aplicação de uma calibração pós-campo antes do Nível 2.

## 2.4 ANÁLISE DOS PRODUTOS DE INVERSÃO

Os dados utilizados neste trabalho foram recuperados pelos radiômetros CIMEL sun-sky anexados com a rede global AERONET, com nível 2.0 de processamento. As variáveis analisadas foram: profundidade ótica de absorção (AAOD, do inglês, Absorption Aerosol Optical Depth), albedo de espalhamento simples (SSA, do inglês, Single Scattering Albedo) e expoente angstrom de absorção de 440-870 nm (EAA, do inglês, Expoent Angstrom Absorption). Estes dados podem ser obtidos diretamente no site da AERONET (http://aeronet.gsfc.nasa.gov/).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

A profundidade ótica do aerossol (AOD) representa a quantidade de partículas oticamente ativas na atmosfera. Esta variável, unidimensional, é a integração do coeficiente de extinção da radiação, em um comprimento de onda específico, na coluna atmosférica. O coeficiente de extinção ($\sigma_{ext}(\lambda)$), por sua vez, é o resultado da soma entre os coeficientes de absorção ($\sigma_{abs}(\lambda)$) e espalhamento ($\sigma_{esp}(\lambda)$), conforme a Equação 1:

$$\sigma_{ext}(\lambda) = \sigma_{abs}(\lambda) + \sigma_{esp}(\lambda) \quad \text{Equação 1}$$

Neste sentido, a profundidade ótica devido ao efeito específico da absorção (AAOD), pode ser obtida integrando-se somente o coeficiente de absorção para a coluna atmosférica, conforme a equação 2:

$$AAOD(\lambda) = \int \sigma_{abs}(\lambda)\, dx \quad \text{Equação 2}$$

Onde $dx$, representa a distância percorrida pela radiação na coluna atmosférica.

O albedo de espalhamento simples (SSA) representa a razão entre o que foi espalhado pelo que foi extinto, desta forma é possível obter-se os valores de SSA por meio dos valores de $\sigma_{abs}(\lambda)$ e $\sigma_{esp}(\lambda)$, conforme a Equação 3:

$$SSA(\lambda) = \frac{\sigma_{esp}(\lambda)}{\sigma_{abs}(\lambda)+\sigma_{esp}(\lambda)} \quad \text{Equação 3}$$

O Angstrom de absorção (EAA) foi estimado para a faixa espectral de 440 a 870 nm por meio da Equação 4:

$$EAA = \frac{ln\left(\frac{AAOD(\lambda_1)}{AAOD(\lambda_2)}\right)}{ln\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)} \quad \text{Equação 4}$$

Onde $\lambda_1$ é 440 nm e $\lambda_2$ é 870 nm.

A escolha do nível de processamento dos dados dificultou a investigação das propriedades óticas de aerossóis durante o período chuvoso (janeiro a abril e novembro a dezembro), mas ainda assim foi possível observar as variações interanuais no período seco (maio a outubro). Para complementar as análises, foi considerado a variabilidade interanual dos registros de queimadas no estado do Mato Grosso e a distribuição anual da precipitação nos sites estudados.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 VARIAÇÃO INTERANUAL DE AAOD E SSA

A profundidade ótica de absorção do aerossol (AAOD) está relacionada com a quantidade de partículas oticamente ativas na coluna atmosférica. Pela Figura 2 é possível observar a vinculação entre os eventos de queimadas e AAOD. Os focos de queimadas são representativos de todo o Estado de Mato Grosso, pois devido a movimentação atmosférica, é possível que os aerossóis sejam transportados de um ponto a outro dentro do próprio estado e também de regiões circunvizinhas. Nesta série temporal, o ano de 2004 teve o maior

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

número de focos de queimadas registrados, no entanto AAOD não teve um grande aumento em relação ao ano anterior. Avalia-se que este comportamento casual pode estar associado ao regime de precipitação, que influencia diretamente na quantidade de aerossóis presentes na atmosfera.

A Figura 2 apresenta a associação entre o acumulado de focos de queimadas para cada ano no estado de Mato Grosso e as médias anuais da AAOD em 675 nm dos sites de Alta Floresta e Cuiabá. Para o bioma Amazônico os trabalhos de Sena et al. (2013) e Artaxo et al. (2013) evidenciam a relação que existe entre a concentração de aerossóis na atmosfera com os registros de queimadas que ocorrem na Amazônia Legal. Já os trabalhos de Palácios et al. (2014) e Palácios et al. (2018) constatam análoga relação para sites localizados no sul do estado de Mato Grosso.

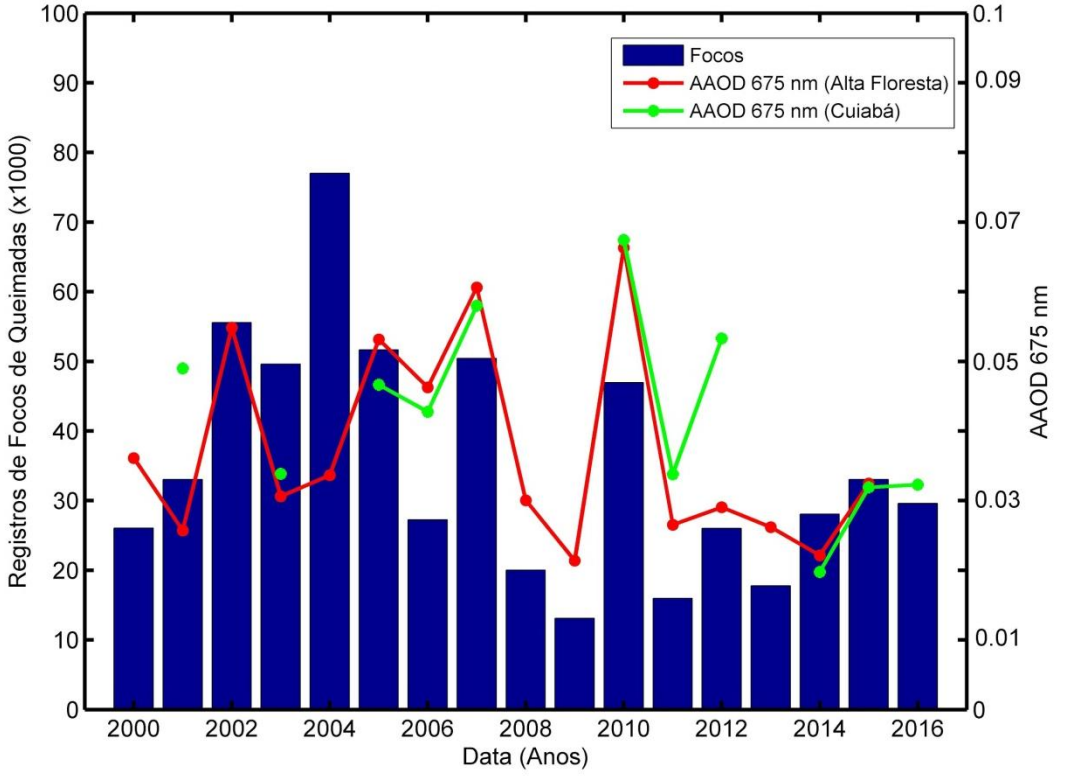


**Figura 2 -** Distribuição anual dos registros de queimadas no estado de Mato Grosso e sua relação com as médias anuais da AAOD 675 nm dos sites de Alta Floresta e Cuiabá.

Os maiores valores de AAOD para Alta Floresta ocorreram nos anos de 2002, 2005, 2007 e 2010, sendo os três últimos coincidentes com a detecção de eventos de secas prolongadas na região Amazônica (MARENGO et al. 2008). Em 2001, verificou-se uma queda no valor da AAOD em Alta Floresta com relação ao ano anterior, em contraste com o valor médio de Cuiabá para o mesmo ano, que foi maior. O valor da AAOD depende diretamente da concentração de aerossóis presente na coluna atmosférica, infere-se que a precipitação em 2001 tenha sido maior que em 2000, justificando também o menor aumento da AAOD nos anos de 2003 a 2004. De 2007 a 2009 houve uma diminuição nos registros

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

de queimada e também nos valores de AAOD, contudo houve um aumento considerável no ano de 2010 para as duas variáveis que voltaram a diminuir no ano seguinte. A concentração de aerossóis na região de Cuiabá em 2001 e 2012 teve valores de AAOD muito acima de Alta Floresta para o mesmo período, isso pode ser explicado pela baixa precipitação e também pelos aerossóis provenientes de queima de biomassa e outras fontes terem influenciado mais nesta região.

Os aerossóis provenientes da queima de biomassa também foram associados com as mudanças no padrão de precipitação por outros trabalhos, tais como os trabalhos de Bevan et al. (2009), Zhang et al. (2009) e Butt et al. (2011). A taxa de desmatamento na Amazônia tem sofrido fortes quedas desde 2004, contudo, ao se comparar estes dados com as medidas de profundidade ótica (AOD 550 nm), verifica-se que a carga de aerossóis não tem seguido o mesmo padrão (SENA et al., 2013).

Apesar de pertencer ao bioma Cerrado, a cidade de Cuiabá também recebe influência da região Amazônica pelo avanço da fronteira agrícola e agropecuária no norte do estado. Os anos com os maiores registros de focos de queimadas foram 2004, 2002, 2005, 2007, 2003 e 2010 com cerca de 77015, 55562, 51649, 50418, 49956 e 46956 registros, respectivamente. Em 2011 houve uma redução de aproximadamente 66% em relação a 2010. A menor queda registrada para o período em análise foi em 2016, com cerca de 10,5% em relação ao ano anterior. O ano de 2010 teve um aumento de 259% nos registros de focos de queimada em relação a 2009. Observa-se que a partir de 2002, a AAOD, tanto em Alta Floresta como em Cuiabá, tem o mesmo comportamento dos registros de focos de queimada, evidenciando uma forte relação entre essas duas variáveis, o que era esperado.

Durante todo o período de estudo, os meses com maiores registros de focos de queimadas foram de maio a outubro. Este período é caracterizado como o período seco para o estado de Mato Grosso, com baixos índices de precipitação, principalmente em junho, julho e agosto. O ano médio para precipitação acumulada levando em consideração os dados fornecidos pelo site do INPE dos anos de 2012 a 2016 é apresentada na Figura 3.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

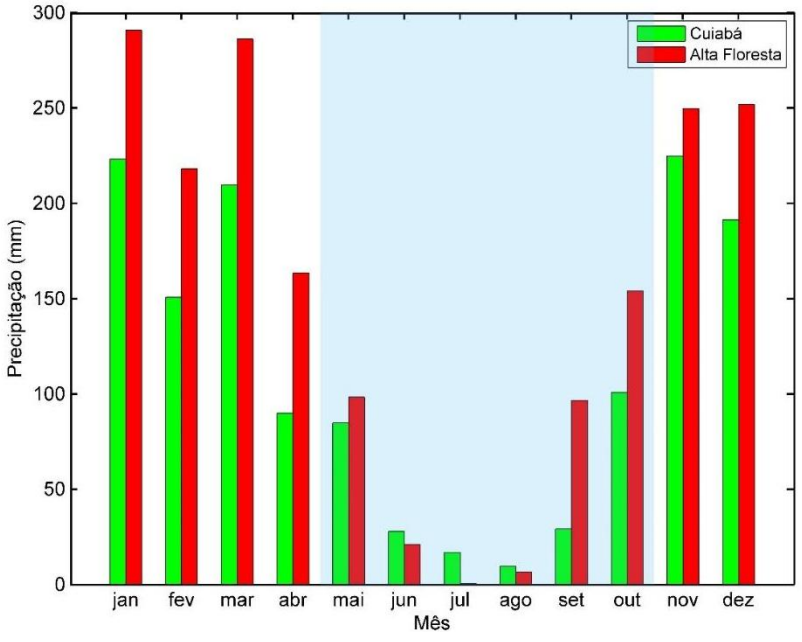


**Figura 3 -** Ano médio para precipitação acumulada para os anos de 2012 a 2016 (INPE, 2018). A parte sombreada na Figura representa a estação seca.

Ressalta-se que a Figura 3 não é representativa da precipitação em todo o estado de Mato Grosso, são representadas regiões inseridas dentro de importantes biomas brasileiros. Nota-se que o comportamento da precipitação é similar entre as duas regiões, mesmo a uma distância geográfica de cerca de 800 km. Ainda na Figura 3, percebe-se que a precipitação é mais intensa entre os meses de janeiro a março e de novembro a dezembro. Observa-se que na estação seca ocorre uma queda de precipitação em relação aos demais meses. A AAOD depende da quantidade de partículas presente na atmosfera, é de se esperar que ela diminua com o aumento da precipitação. Deste modo, espera-se que no período seco os valores de AAOD esteja maior, em relação aos outros meses do ano, impulsionados diretamente pelo aumento dos focos de queimadas.

A variabilidade anual no carregamento de aerossóis nos sites de Alta Floresta e Cuiabá são mostrados na Figura 4. Estes dados, indicam mudanças no processo de queima de biomassa na região Amazônica, inicialmente do desmatamento e posteriormente para manutenção de pastagens e abertura de campos agrícolas (SENA et al., 2013). O trabalho de Mao et al. (2014), sobre a distribuição global da AOD 550 nm de 2003 a 2012, relata o aumento acentuado dos valores de AOD para o ano de 2010 na região central da América do Sul, provocado pelos altos índices de focos de queimadas ao longo da bacia Amazônica, no chamado "arco do desmatamento". Já o trabalho de Sena et al. (2013) além de destacar a variação ano a ano da AOD 550 nm de 2000 a 2009 também enfatiza que o mês de setembro é o período crítico para os valores de AOD, que são máximos em toda bacia Amazônica.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

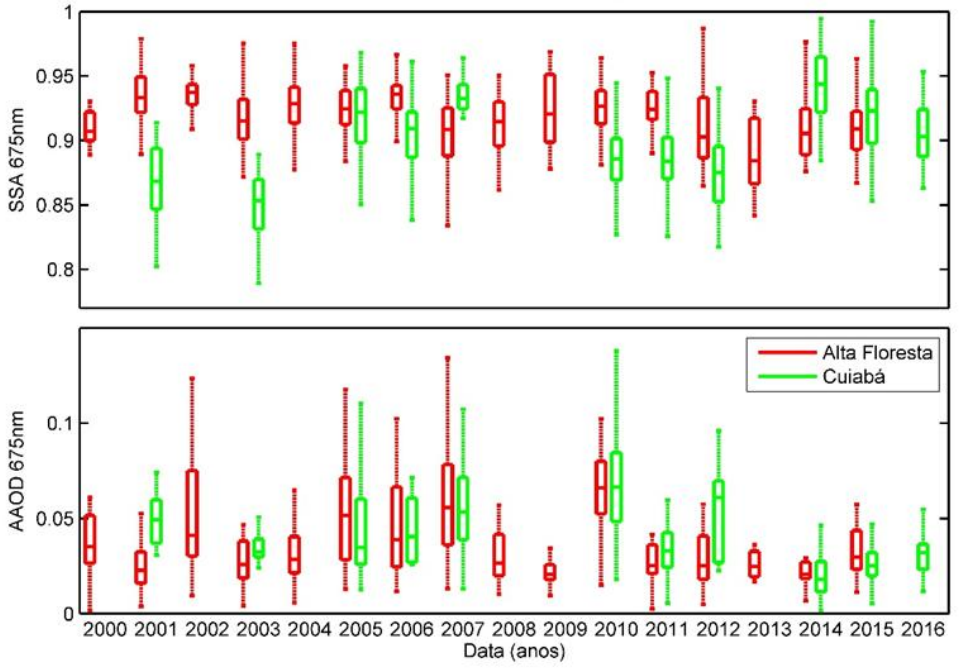


**Figura 4 -** Na caixa superior estão os boxplots para as distribuições da SSA 675 nm com mediana e percentis 25 e 75% os sites de Alta Floresta e Cuiabá, na caixa inferior os boxplots para as distribuições da AAOD 675 nm com mediana e percentis 25 e 75%.

A Figura 4 fornece uma visão geral sobre as variações anuais nas propriedades óticas dos aerossóis nas duas regiões estudadas. O albedo de espalhamento simples (SSA) é um parâmetro crítico nos efeitos do aerossol no clima, além disso, é uma propriedade que se difere da AAOD também por não depender da quantidade de partículas na atmosfera, mas sim do diâmetro e composição das mesmas.

O site de Alta Floresta apresentou menores variações anuais de SSA em 675 nm para 2000, 2002, 2006 e 2011, já em Cuiabá, a menor variação de SSA em 675 nm é vista em 2007 (Figura 4). As médias anuais de SSA em 675 nm para Alta Floresta e Cuiabá ficaram acima de 0.90 com variação máxima de 0.03 nm e 0.85 com variação máxima de 0.07, respectivamente (Tabela 1). Valores de SSA entre 0.4 a 0.6 são utilizados para caracterizar partículas altamente absorvedoras, e de 0.7 a 0.9, caracterizam partículas moderadamente espalhadoras. O SSA dessas partículas apresentou valores médios anuais acima de 0.8, o que evidencia a predominância de aerossóis espalhadores no período seco. Deste modo, podemos dizer que o espalhamento da radiação solar foi o efeito dominante no processo de extinção na atmosfera dos dois biomas analisados. Na Tabela 1 são exibidos os valores médios das propriedades óticas de absorção para Alta Floresta e Cuiabá em cada ano de estudo e o número de dados obtidos durante a estação seca.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

**Tabela 1 -** Série temporal de 2000 a 2016, para média e erro padrão de SSA e AAOD, em comprimentos de ondas específicos, obtidos nas duas localidades estudadas.

| ANO | N | | SSA (λ nm) | | | | AAOD (λ nm) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 440 | 675 | 870 | 1020 | 440 | 675 | 870 | 1020 |
| 2000 | 8 | Alta floresta | 0.94±0.02 | 0.92±0.03 | 0.88±0.05 | 0.86±0.06 | 0.06±0.03 | 0.04±0.02 | 0.03±0.01 | 0.03±0.01 |
| | - | Cuiabá | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2001 | 54 | Alta floresta | 0.95±0.02 | 0.93±0.02 | 0.92±0.03 | 0.91±0.03 | 0.06±0.03 | 0.03±0.02 | 0.02±0.01 | 0.02±0.01 |
| | 30 | Cuiabá | 0.90±0.02 | 0.87±0.03 | 0.84±0.04 | 0.82±0.04 | 0.08±0.02 | 0.05±0.01 | 0.04±0.01 | 0.03±0.01 |
| 2002 | 36 | Alta floresta | 0.95±0.01 | 0.94±0.02 | 0.92±0.02 | 0.90±0.02 | 0.05±0.05 | 0.03±0.03 | 0.02±0.02 | 0.02±0.02 |
| | - | Cuiabá | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2003 | 29 | Alta floresta | 0.93±0.02 | 0.92±0.03 | 0.90±0.03 | 0.89±0.04 | 0.05±0.03 | 0.03±0.02 | 0.02±0.01 | 0.02±0.01 |
| | 27 | Cuiabá | 0.89±0.02 | 0.85±0.03 | 0.82±0.03 | 0.80±0.03 | 0.05±0.01 | 0.03±0.01 | 0.03±0.01 | 0.02±0.01 |
| 2004 | 49 | Alta floresta | 0.94±0.02 | 0.93±0.02 | 0.91±0.03 | 0.90±0.03 | 0.06±0.04 | 0.03±0.02 | 0.02±0.01 | 0.02±0.01 |
| | - | Cuiabá | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2005 | 65 | Alta floresta | 0.94±0.01 | 0.92±0.02 | 0.90±0.03 | 0.89±0.03 | 0.09±0.05 | 0.05±0.03 | 0.04±0.02 | 0.03±0.02 |
| | 66 | Cuiabá | 0.93±0.03 | 0.91±0.03 | 0.89±0.04 | 0.88±0.04 | 0.08±0.06 | 0.05±0.03 | 0.04±0.02 | 0.03±0.02 |
| 2006 | 59 | Alta floresta | 0.94±0.02 | 0.93±0.02 | 0.91±0.03 | 0.90±0.04 | 0.08±0.05 | 0.05±0.03 | 0.03±0.02 | 0.03±0.01 |
| | 11 | Cuiabá | 0.93±0.03 | 0.90±0.04 | 0.88±0.05 | 0.87±0.06 | 0.07±0.02 | 0.04±0.02 | 0.03±0.01 | 0.03±0.01 |
| 2007 | 114 | Alta floresta | 0.93±0.01 | 0.91±0.03 | 0.88±0.04 | 0.86±0.04 | 0.01±0.06 | 0.06±0.03 | 0.05±0.02 | 0.04±0.02 |
| | 44 | Cuiabá | 0.94±0.02 | 0.93±0.02 | 0.92±0.02 | 0.91±0.03 | 0.11±0.06 | 0.06±0.03 | 0.04±0.02 | 0.04±0.02 |
| 2008 | 54 | Alta floresta | 0.93±0.02 | 0.91±0.02 | 0.90±0.03 | 0.88±0.03 | 0.05±0.02 | 0.03±0.01 | 0.02±0.01 | 0.02±0.01 |
| | - | Cuiabá | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2009 | 17 | Alta floresta | 0.94±0.02 | 0.92±0.03 | 0.91±0.04 | 0.90±0.04 | 0.04±0.01 | 0.02±0.01 | 0.02±0.01 | 0.01±0.01 |
| | - | Cuiabá | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2010 | 123 | Alta floresta | 0.94±0.02 | 0.92±0.02 | 0.91±0.03 | 0.89±0.03 | 0.12±0.03 | 0.07±0.05 | 0.05±0.02 | 0.04±0.02 |
| | 165 | Cuiabá | 0.89±0.03 | 0.88±0.03 | 0.86±0.04 | 0.84±0.04 | 0.13±0.05 | 0.07±0.03 | 0.05±0.02 | 0.04±0.02 |
| 2011 | 20 | Alta floresta | 0.94±0.02 | 0.93±0.02 | 0.91±0.03 | 0.90±0.03 | 0.05±0.02 | 0.03±0.01 | 0.02±0.01 | 0.02±0.01 |
| | 62 | Cuiabá | 0.90±0.03 | 0.89±0.03 | 0.86±0.04 | 0.85±0.04 | 0.06±0.02 | 0.03±0.01 | 0.03±0.01 | 0.02±0.01 |
| 2012 | 42 | Alta floresta | 0.93±0.02 | 0.91±0.03 | 0.88±0.04 | 0.86±0.04 | 0.05±0.03 | 0.03±0.02 | 0.02±0.01 | 0.02±0.01 |
| | 38 | Cuiabá | 0.89±0.03 | 0.88±0.03 | 0.85±0.04 | 0.83±0.04 | 0.10±0.05 | 0.05±0.02 | 0.04±0.02 | 0.03±0.01 |
| 2013 | 7 | Alta floresta | 0.91±0.03 | 0.89±0.03 | 0.86±0.04 | 0.84±0.04 | 0.04±0.01 | 0.03±0.01 | 0.02±0.01 | 0.02±0.01 |
| | - | Cuiabá | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2014 | 20 | Alta floresta | 0.93±0.02 | 0.91±0.03 | 0.90±0.03 | 0.88±0.04 | 0.04±0.05 | 0.02±0.03 | 0.02±0.02 | 0.01±0.02 |
| | 45 | Cuiabá | 0.95±0.02 | 0.94±0.03 | 0.93±0.03 | 0.92±0.04 | 0.04±0.02 | 0.02±0.01 | 0.01±0.01 | 0.01±0.01 |
| 2015 | 47 | Alta floresta | 0.93±0.02 | 0.91±0.03 | 0.90±0.03 | 0.89±0.04 | 0.06±0.02 | 0.03±0.01 | 0.02±0.01 | 0.02±0.01 |
| | 91 | Cuiabá | 0.92±0.04 | 0.91±0.07 | 0.89±0.08 | 0.88±0.09 | 0.05±0.04 | 0.03±0.05 | 0.03±0.06 | 0.02±0.06 |
| 2016 | - | Alta floresta | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 52 | Cuiabá | 0.91±0.03 | 0.90±0.03 | 0.89±0.03 | 0.87±0.03 | 0.06±0.02 | 0.03±0.01 | 0.02±0.01 | 0.02±0.01 |

A Figura 4 também indica a variabilidade de AAOD em função das queimadas no estado, principalmente em 2002, 2005, 2006 2007 e 2010. Em seus estudos, Marengo et al., (2008) relata que de novembro de 2004 até o final de 2005 a região amazônica foi afetada por uma grave seca, estimada como a pior em 40 anos. Em 2005, do Peru ao leste do Brasil, os efeitos da seca geraram sérias consequências para a população local. A causa foi associada a

uma anomalia nas águas superficiais do Atlântico Norte tropical que ficaram mais quentes que o normal. Até setembro de 2005, as condições de seca foram intensificadas (MARENGO et al., 2008). Tais condições irromperam em incêndios florestais em toda região, principalmente onde havia atividades humanas. Os incêndios e desmatamento na Amazônia respondem por três quartos das emissões de gases do efeito estufa. Brown et al. (2006) e Aragão et al. (2007) sugeriram que a seca de 2005 foi intensificada no sudoeste da Amazônia, o que favoreceu a propagação de incêndios. No sul da região Amazônica, as detecções relativas de fogo e umidade relativa, foram mais intensas do que norte.

Outro ano crítico para região amazônica foi em 2010, caracterizado por uma seca generalizada e mais grave que em 2005. Seu início se deu com o El nino no início do verão austral e depois foi intensificada pelo aquecimento no Atlântico Norte Tropical. Foi observado uma tendência no aumento em eventos secos e muito secos, particularmente no Sul da Amazônia durante a estação seca ao mesmo tempo em que houve um aumento na duração da estação seca (MARENGO et al., 2011).

Na Tabela 1 são exibidos os valores médios das propriedades óticas de absorção para Alta Floresta e Cuiabá em cada ano de estudo e o número de dados obtidos durante a estação seca.

## 3.2 VARIAÇÃO ESPECTRAL DE AAOD E SSA

AAOD é a extinção da radiação na atmosfera devido a absorção. SSA é a razão entre a radiação que foi espalhada e a radiação extinta. Essas propriedades são importantes para verificar as diferentes variações espectrais que revelam o tamanho das partículas, dando informações que possibilitam determinar o tipo do aerossol, o tamanho das partículas e sua origem. AAOD e SSA obtidos em 440, 675, 870 e 1020 nm foram plotados em médias anuais durante o período estudado (Figura 05). Detalhes sobre a distribuição de tamanho das partículas de aerossóis podem ser fornecidas pela análise da variação espectral de AAOD (ECK et al., 1999, 2010).

De acordo com a Figura 5, observa-se que em média as partículas de Alta Floresta são mais espalhadoras, sendo assim as partículas de Cuiabá consideradas absorvedoras. Nesse sentido a radiação em Alta floresta é menos absorvida e mais espalhada e em Cuiabá a radiação é mais absorvida e menos espalhada, algo que era de se esperar pela diferença regional, e consequentemente o tipo de emissão de material particulado desses municípios. A Figura 5 apresenta um indicativo de que a carga de material particulado, presente na atmosfera das duas cidades é elevada devido aos valores altos de AAOD. Em seus artigos, Bibi et al. (2017) e Kaskaoutis et al. (2012b) relataram um aumento de SSA para comprimentos de onda mais longos durante o verão e pré-monção. Bibi et al. (2017) relata que isto é devido a influência de partícula grossa. Durante a estação seca, existe uma influência dominante das emissões de queima de biomassa (moda fina) na Amazônia (RIZZO et al. 2011) e no Cerrado Mato-grossense.

Observa-se que tanto os valores de SSA quanto de AAOD para os dois biomas analisados são dependentes do comprimento de onda. SSA possui valores reduzidos com o aumento do comprimento de onda, apontando uma dependência linear com o comprimento de onda. AAOD possui uma taxa de

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

variação muito grande em relação ao comprimento de onda, apresentando uma relação de dependência exponencial. De 450 a 670, a queda em AAOD é quase 50%, ou seja, a maior parte da absorção da radiação pelos aerossóis ocorre na faixa do visível, sendo pouco absorvida a radiação infravermelha. Para as duas regiões de estudo a AAOD se mostrou fortemente dependente do comprimento de onda, diminuindo com o comprimento de onda, indicando a presença de partículas finas (BIBI et al., 2017).

A grande variação nas propriedades óticas dos aerossóis nessas regiões se deve a introdução na atmosfera de partículas provenientes da queima de biomassa. Os maiores registros de focos de queimadas ocorrem no período de agosto a outubro, quando aumenta a concentração de aerossóis e ocorre alterações na distribuição de tamanho das partículas (Palácios, 2017). Há uma grande variação na distribuição de tamanho das partículas em regiões que são influenciadas diretamente por queima de biomassa na estação seca (ECK et al., 2010), pois durante esse evento há a predominância de partículas de aerossóis na moda fina (SCHAFER et al., 2008).

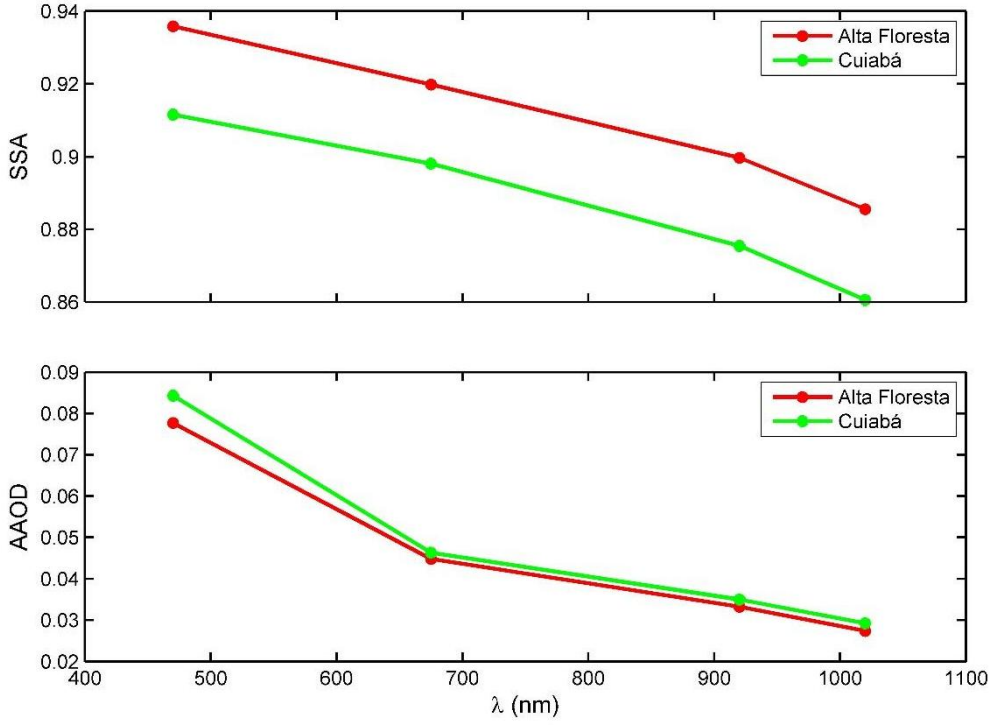


**Figura 5 -** Na caixa superior e inferior, respectivamente, estão plotadas a média de SSA e de AAOD de 2002 a 2016 pelos comprimentos de onda em 440, 675, 870 e 1020 nm, para os sites de Alta Floresta e Cuiabá.

Ao verificar a distribuição de tamanho das partículas, Palácios (2017) encontrou para os sites de Alta Floresta e Cuiabá altas concentrações de partículas pertencentes a moda fina durante a estação seca, justificada pela emissão de queimadas. Palácios (2017), encontrou uma pequena diferença na distribuição de tamanho para os dois locais, o que pode ser justificado pelo processo de transporte das partículas e pela característica do material particulado emitido pelo Cerrado. De acordo com Santanna et al. (2016), que

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

realizou um estudo para a região Cerrado-Pantanal, evidenciando que a atmosfera da região apresenta uma variação da composição de acordo com o período do ano. No período de seca a atmosfera apresenta material originado de queima de biomassa e provenientes do manejo de solo, enquanto que, durante o período de chuva o material particulado apresenta origem de fontes biogênicas.

### 3.3 VARIABILIDADE DO COEFICIENTE DE ANGSTROM DE AAOD.

Estudos recentes mostram que existem relações entre partículas absorvedoras de radiação e a dependência espectral de absorção (BAHADUR et al. 2012; BOND et al. 2013; CAZORLA et al. 2013). O coeficiente de Angstrom de AAOD é utilizado para caracterizar a dependência espectral da AAOD em uma determinada região, tornando possível fazer uma estimativa dos tipos de aerossóis mediante estudos de suas propriedades espectrais. Para o Black Carbon (BC), que segue uma típica dependência espectral, o coeficiente de Angstrom de AAOD é de 1 (BERGSTROM et al. 2002) enquanto que valores acima de 1 são resultantes de carbono orgânico em aerossóis de queima de biomassa e poeiras minerais, que contribuem para absorção de radiação ultravioleta e regiões próximas do azul (KIRCHSTETTER, 2004). Em Alta Floresta e Cuiabá houveram grandes variabilidades anuais nos valores do coeficiente de angstrom de AAOD (Figura 6) associados com a queima de biomassa e os vários tipos de aerossóis.

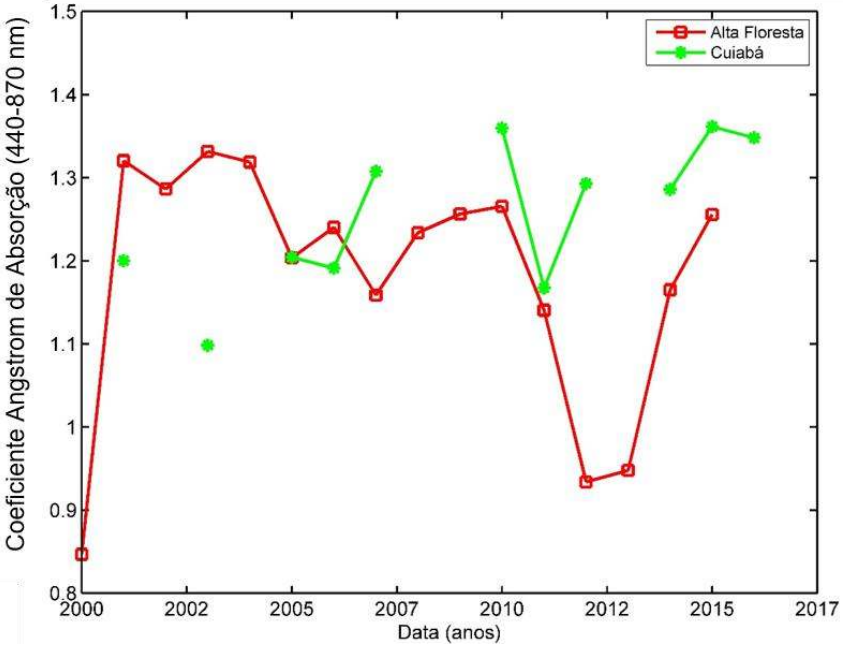


**Figura 6 -** Média anual do coeficiente Angstrom de AAOD de 440 a 870 nm para os sites de Alta Floresta e Cuiabá.

Em geral, os valores do coeficiente de absorção de angstrom de AAOD para Alta Floresta e Cuiabá ficaram acima de 1.1, apontando para predominância de aerossóis absorvedores. Para Alta Floresta durante a estação

seca, os aerossóis predominantes são o carbono orgânico (OC) e carbono elementar (EC) provenientes da queima de biomassa. O OC é responsável pela predominância no espalhamento da luz nas partículas de queimada e sua absorção é mais forte em comprimentos de onda mais curtos. O EC é responsável pelo aumento de AAOD e é um eficiente absorvedor da radiação solar em todo o espectro (HOLANDA, 2015). Em seu trabalho, Mayol-Bracero (2002) também encontrou a predominância de OC na estação seca para a mesma região.

## 4. CONCLUSÃO

Os maiores valores encontrados para SSA e AAOD foram em 440 e 675 nm, indicando a predominância de carbono orgânico, que é um absorvedor mais eficiente em comprimentos de onda mais curtos, constatando assim uma alta dependência espectral para a absorção nos sítios estudados. Para ambos sites analisados foi constatado a predominância do espalhamento, contudo para o site de Cuiabá foi possível observar um pequeno acréscimo na absorção durante a estação seca com relação a Alta Floresta. Apesar da queda anual no desmatamento na região amazônica após 2004, observa-se que AAOD tanto de Alta Floresta como de Cuiabá não seguiu o mesmo padrão. Em 2008, 2009 e a partir de 2010, há uma tendência de diminuição para AAOD. Essa diminuição pode estar relacionada com à implementação do Programa de Prevenção e Controle de Queimadas e Incêndios Florestais do Estado de Mato Grosso. Os valores de SSA e AAOD obtidos através do produto de inversão V3 da rede AERONET apresentaram valores consistentes com outros trabalhos para regiões de floresta. O produto de inversão V3 se mostrou eficiente para avaliação das propriedades óticas dos aerossóis no período seco da série estudada. Devido aos filtros aplicados neste novo produto, não houveram dados de SSA e AAOD para o período chuvoso.

## 5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a CAPES, pelo apoio financeiro (Processo n° 01439213127), ao grupo de pesquisa do Programa de Pós-graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, Projeto de processo 457824/2013-1 aprovado na Chamada Nº 68/2013 MCTI/CNPq/FNDCT - Ação Transversal/LBA. Ao grupo de Estudos do Instituto de Física da USP pela utilização dos dados da rede AERONET.

## 6. REFERÊNCIAS

ARAGAO, L. E. O. C.; MALHI, Y.; ROMAN-CUESTA, R. M.; SAATCHI, S.; ANDERSON, L. O.; SHIMABUKURO, Y. E. Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. Geophysical Research Letters, v. 34, n. 7, 2007, doi: 10.1029/2006GL028946.

ARTAXO, P.; FERNANDES, E. T.; MARTINS, J. V.; YAMASOE, M.A.; HOBBS, P. V.; MAENHAUT, W.; LONGO, K. M.; CASTANHO, A. Large-scale aerosol source apportionment in Amazonia. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, v. 103, n. D24, p. 31837-31847, 1998, doi: 10.1029/98JD02346.

ARTAXO, P.; RIZZO, L.V.; BRITO, J.F.; BARBOSA, H.M.J.; ARANA, A.; SENA, E.T.; CIRINO, G.G.; BASTOS, W.; MARTIN, S.T.; ANDREAE, M.O. Atmospheric aerosol in Amazonia and land use change: from natural biogenic to biomass burning conditions. Faraday Discussions, v. 13, p. 203-235, 2013, doi: 10.1039/c3fd00052d.

BAHADUR, Ranjit et al. Solar absorption by elemental and brown carbon determined from spectral observations. Proceedings of the National Academy of Sciences, p. 201205910, 2012, doi: 10.1073/pnas.1205910109.

BERGSTROM. R.W.; RUSSELL. P.B.; HIGNETT. P. Wavelength dependence of the absorption of black carbon particles: Predictions and results from the TARFOX experiment and implications for the aerosol single scattering albedo. Journal of Atmospheric Sciences, p. 567-577, 2002, doi: 10.1175/1520-0469(2002)059<0567:WDOTAO>2.0.CO;2.

BEVAN, S. L.; NORTH, P. R. J.; GREY, W. M. F.; LOS, S. O.; PLUMMER, S. E. Impact of atmospheric aerosol from biomass burning on Amazon dry-season drought. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, v. 114, n. D9, 2009, doi:10.1029/2008JD011112.

BIBI, H.; ALAM, K; BIBI, S. Estimation of shortwave direct aerosol radiative forcing at four locations on the Indo-Gangetic Plains: model results and ground measurement. Atmospheric Environment, v. 163, p. 166-181, 2017, doi: 10.1016/j.atmosenv.2017.05.043.

BOND, T. C. et al. Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, v. 118, n. 11, p. 5380-5552, 2013, doi: 10.1002/jgrd.50171.

BRENGUIER, JEAN-LOUIS. Aerosol, clouds and climate: using satellite observations to detect and quantify aerosol indirect effects. Geochimica et Cosmochimica Acta Supplement, v. 73, p. A158, 2009, Bibliographic Code: 2009GeCAS..73R.158B.

BROWN, I. F.; SCHROEDER, W.; SETZER, A.; de LOS RIOS MALDONADO, M.; PANTOJA, N.; DUARTE, A.; MARENGO, J. Monitoring fires in southwestern Amazonia rain forests. Eos, Transactions American Geophysical Union, v. 87, n. 26, p. 253-259, 2006, doi: 10.1029/2006EO260001.

BUTT, N.; DE OLIVEIRA, P. A.; COSTA, M. H.. Evidence that deforestation affects the onset of the rainy season in Rondonia, Brazil. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, v. 116, n. D11, 2011, doi:10.1029/2010JD015174.

CAZORLA, A. et al. Relating aerosol absorption due to soot, organic carbon, and dust to emission sources determined from in-situ chemical measurements. Atmospheric Chemistry and Physics, v. 13, n. 18, p. 9337-9350, 2013, doi: 10.5194/acp-13-9337-2013.

DECRETO Nº 6.958, DE 29 DE DEZEMBRO DE 2005. Disponível em <http://app1.sefaz.mt.gov.br/Sistema/legislacao/legislacaotribut.nsf/e9a3c2b663f122ac04256d5e004cc094/b8ec75b343380d4204257101006d212a?OpenDocument>.

DUBOVIK, O.; HOLBEN, B.; ECK, T.F.; SMIRNOV, A.; KAUFMAN, Y.J.; KING, M.D.; TANRÉ, D.; SLUTSKER, I. Variability of absorption and optical properties of key aerosol types observed in worldwide locations. Journal of the atmospheric

sciences, v. 59, n. 3, p. 590-608, 2002, doi: 10.1175/1520-0469(2002)059<0590:VOAAOP>2.0.CO;2.

DUBOVIK, O.; KING, M. D. A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosol optical properties from Sun and sky radiance measurements. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, v. 105, n. D16, p. 20673-20696, 2000, doi: 10.1029/2000JD900282.

ECK, T. F. et al. Climatological aspects of the optical properties of fine/coarse mode aerosol mixtures. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, v. 115, n. D19, 2010, doi: 10.1029/2010JD014002.

ECK, T. F. et al. Measurements of irradiance attenuation and estimation of aerosol single scattering albedo for biomass burning aerosols in Amazonia. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, v. 103, n. D24, p. 31865-31878, 1998, doi: 10.1029/98JD00399.

ECK, T. F. et al. Wavelength dependence of the optical depth of biomass burning, urban, and desert dust aerosols. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, v. 104, n. D24, p. 31333-31349, 1999, doi: 10.1029/1999JD900923.

FREITAS, K. M. L. de. Estudos de Partículas de Aerossóis e Gases Traços na Atmosfera da Bacia Amazônica: Influências das Circulações Regionais e de Larga Escala. 1999. Tese (Doutorado em Física Nuclear) - Instituto de Física, University of São Paulo, São Paulo, 1999. doi:10.11606/T.43.1999.tde-08112013-110224. Acesso em: 2018-09-11.

GANTT, B.; XU, J.; MESKHIDZE, N.; ZHANG, Y.; NENES, A.; GHAN, S. J.; LIU, X.; EASTER, R.; ZAVERI, R. Global distribution and climate forcing of marine organic aerosol–Part 2: Effects on cloud properties and radiative forcing. Atmospheric Chemistry and Physics, v. 12, n. 14, p. 6555-6563, 2012, doi: 10.5194/acp-12-6555-2012.

HOLANDA, B. A. Absorção da radiação por aerossóis na Amazônia. 93 p. (Dissertação de Mestrado em Ciências). Instituto de Física. Universidade de São Paulo, 2015.

HOLBEN, B. N. et al. An emerging ground-based aerosol climatology: Aerosol optical depth from AERONET. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, v. 106, n. D11, p. 12067-12097, 2001, doi: 10.1029/2001JD900014.

HOLBEN, B. N.; SETZER, A.; ECK, T. F.; PEREIRA, A.; SLUTSKER, I. Effect of dry-season biomass burning on Amazon basin aerosol concentrations and optical properties, 1992–1994. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, v. 101, n. D14, p. 19465-19481, 1996, doi: 10.1029/96JD01114.

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 the Environment, v. 66, p. 1-16, 1998, doi: 10.1016/S0034-4257(98)00031-5.

KASKAOUTIS, D. G. et al. Variability and trends of aerosol properties over Kanpur, northern India using AERONET data (2001–10). Environmental Research Letters, v. 7, n. 2, p. 024003, 2012b, doi: 10.1088/1748-9326/7/2/024003.

KAUFMAN, Y. J.; KOREN, I.; REMER, L. A.; TANRÉ, D.; GINOUX, P.; FAN, S. Dust transport and deposition observed from the Terra-Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) spacecraft over the Atlantic Ocean. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, v. 110, n. D10, 2005, doi: 10.1029/2003JD004436.

KAUFMAN, Y. J.; TANRÉ, D.; DUBOVIK, O.; KARNIELI, A.; REMER, L. A. Absorption of sunlight by dust as inferred from satellite and ground-based remote sensing. Geophysical Research Letters, v. 28, n. 8, p. 1479-1482, 2001, doi: 10.1029/2000GL012647.

KIRCHSTETTER. T.W. Evidence that the spectral dependence of light absorption by aerosol is affected by organic carbon. Journal of Geophysical Research, v. 109, n. D21, p. D21208, 2004, doi: 10.1029/2004JD004999.

MACHIN, A. B.; NASCIMENTO, L. F. C. Efeitos da exposição a poluentes do ar na saúde das crianças de Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. Cadernos de Saúde Pública, v. 34, p. e00006617, 2018, doi: 10.1590/0102-311X00006617.

MAO, K.B.; MA, Y.; XIA, L.; CHEN, W.Y.; SHEN, X.Y.; HE, T.J.; XU, T.R. Global aerosol change in the last decade: An analysis based on MODIS data. Atmospheric Environment, v. 94, p. 680-686, 2014, doi: 10.1016/j.atmosenv.2014.04.053.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; TOMASELLA, J.; OYAMA, M. D.; OLIVEIRA, G. SAMPAIO DE; OLIVEIRA, R. DE; CAMARGO, H.; ALVES, L.M.; BROWN, I. F. The drought of Amazonia in 2005. Journal of climate, v. 21, n. 3, p. 495-516, 2008, doi:10.1175/2007JCLI1600.1.

MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; ALVES, L. M.; SOARES, W. R.; RODRIGUEZ, D. A. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. Geophysical Research Letters, v. 38, n. 12, 2011, doi:10.1029/2011GL047436.

MAYOL-BRACERO, O.L.; GUYON, P.; GRAHAM, B.; ROBERTS, G.; ANDREAE, M.O.; DECESARI, S.; FACCHINI, M.C.; FUZZI, S.; ARTAXO, P. Water-soluble organic compounds in biomass burning aerosols over Amazonia 2. Apportionment of the chemical composition and importance of the polyacidic fraction. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, v. 107, p. D208091, 2002, doi: 10.1029/2001JD000522.

OCKO, I. B.; RAMASWAMY, V.; GINOUX, P.; MING, Y.; HOROWITZ, L. W. Sensitivity of scattering and absorbing aerosol direct radiative forcing to physical climate factors. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, v. 117, n. D20, 2012, doi: 10.1029/2012jd018019.

PALÁCIOS, R. S.; SALLO, F. S.; MARQUES, J. B.; SANTOS, A.C.A; MENEZES, J.A.; BIUDES, M. S.; NOGUEIRA, J. S. Variabilidade espaço-temporal da profundidade ótica de aerossóis em regiões de cerrado e pantanal na região central do brasil. nativa, v. 6, p. 56-65, 2018, doi: 10.31413/nativa.v6i1.5153.

PALÁCIOS, R. S.; SALLO, F. S.; PRADO, M. J.; de MUSIS, C. R.; NOGUEIRA, J. S. Análise da profundidade ótica de aerossóis e coeficiente de Angstrom no cerrado Mato-grossense. Revista Brasileira de Climatologia, v. 14, p. 173-185, 2014, doi: 10.5380/abclima.v14i1.35770.

PALÁCIOS, R.S. Interação entre a radiação solar direta e os aerossóis atmosféricos na Amazônia. Cuiabá, 159p. (Tese Doutorado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, 2017.

PRADO, N. V.; COELHO, S. M. S. da C. ESTUDO DA VARIABILIDADE TEMPORAL DA PROFUNDIDADE ÓTICA DO AEROSSOL ATMOSFÉRICO NA REGIÃO SUL DA AMAZÔNIA DURANTE O PERÍODO DE 2000 A 2015. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 32, n. 4, 649-658, 2017, doi: 10.1590/0102-7786324012.

RAJEEV, K.; RAMANATHAN, V. Direct observations of clear-sky aerosol radiative forcing from space during the Indian Ocean Experiment. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, v. 106, n. D15, p. 17221-17235, 2001, doi: 10.1029/2000JD900723.

RIZZO, L. V. et al. Spectral dependence of aerosol light absorption over the Amazon Basin. Atmospheric Chemistry and Physics, v. 11, n. 17, p. 8899-8912, 2011, doi: 10.5194/acp-11-8899-2011.

SANTANNA, F. B., ALMEIDA FILHO, E. O. D., VOURLITIS, G. L., ARRUDA, P. H. Z. D., PALÁCIOS, R. D. S., & NOGUEIRA, J. D. S. Elemental Composition Of Pm10 And Pm2. 5 For A Savanna (Cerrado) Region Of Southern Amazonia. Química Nova, V.39, N.10, P. 1170-1176, 2016.

SCHAFER, J. S.; ECK, T. F.; HOLBEN, B. N.; ARTAXO, P.; DUARTE, A. F. Characterization of the optical properties of atmospheric aerosols in Amazonia from long-term AERONET monitoring (1993–1995 and 1999–2006). Journal of Geophysical Research: Atmospheres, v. 113, n. D4, 2008, doi: 10.1029/2007JD009319.

SEINFELD, J.H. and PANDIS, S.N. Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change. 2nd Edition, John Wiley & Sons, New York, (2006).

SENA, E.T., ARTAXO, P.; CORREIA, A.L. Spatial variability of the direct radiative forcing of biomass burning aerosol and the effects of land use change in Amazonia. Atmospheric Chemistry and Physics, v. 13, p. 1261-1275, 2013, doi: 10.5194/acp-13-1261-2013.

WYREPKOWSKI, C. C.; OJEDA DE ALMEIDA FILHO, E.; JORGE, A.; DE MUSIS, C. R.; DE SOUZA NOGUEIRA, J. Composição multielementar e fontes de emissão de aerossóis atmosféricos em Cuiabá de 1992 à 1995. Ciência e Natura, v. 29, n. 2, 2007, Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=467546285002> ISSN 0100-8307.

ZHANG, Y.; FU, R.; YU, H.; QIAN, Y.; DICKINSON, R.; SILVA DIAS, M. A. F.; DA SILVA DIAS, P. L.; FERNANDES, K. Impact of biomass burning aerosol on the monsoon circulation transition over Amazonia. Geophysical Research Letters, v. 36, n. 10, 2009, doi:10.1029/2009GL037180.