

ESTUDO DAS PROPRIEDADES ÓPTICAS DE AEROSSÓIS DA CIDADE DE ITAJUBÁ - MG

Julia de Barros Brum Leite¹ (IC), Marcelo de Paula Corrêa (PQ)¹

¹Universidade Federal de Itajubá

Palavras-chave: aerossóis; black carbon; queimadas; rede AERONET

Introdução

No século XX, os estudos dos aerossóis conheceram avanços significativos decorrentes do interesse crescente sobre os efeitos ambientais provocados por estes particulados (ALVES, 2005). Os aerossóis apresentam complexidades relacionadas à caracterização de suas propriedades físicas e químicas devido à sua heterogeneidade e em decorrência das variadas fontes emissoras, diferentes interações com as variáveis meteorológicas e com as formas de dispersão.

Conhecer a distribuição espacial e temporal dos aerossóis, em escala local ou global, é importante para entender a dinâmica da formação e dispersão e de sua influência nas condições climáticas globais (TRIPATHI et al., 2005). Além disso, aerossóis em suspensão na atmosfera influenciam fortemente o balanço radiativo, o clima, a química da atmosfera, a visibilidade, e a saúde das pessoas (ARTAXO et al., 2006). As características dos aerossóis dependem de sua origem e idade e, em geral, podem viajar por grandes distâncias transportadas pelas correntes de ventos (HAAG e KRENZINGER, 2010).

A principal fonte antrópica de aerossóis no Brasil é a queima de biomassa. Em geral, as regiões tropicais e subtropicais do globo são os locais em que há a maior ocorrência de queimadas (COSTA et al., [S.d.]).

No território brasileiro, um dos locais mais afetados pelas queimadas é a região amazônica. O transporte atmosférico de suas emissões resulta em distribuição espacial de fumaça sobre uma extensa área, cerca de 4 a 5 milhões de km², muito superior à área onde está concentrada. (FREITAS et al., 2005).

Neste estudo foram avaliadas as propriedades ópticas de aerossóis presentes na cidade de Itajubá. Esta é a primeira oportunidade de se avaliar a série de dados fornecida pelo fotômetro Cimel, conectado à rede Aeronet (<https://aeronet.gsfc.nasa.gov/>) que está em funcionamento na cidade desde o ano de 2013. Os

seguintes parâmetros foram avaliados: a) o coeficiente de Ångström (AE) e a fração da moda fina (FMF) dos aerossóis, com vistas a estimar o tamanho médio das partículas presentes; b) a espessura óptica dos aerossóis (AOD), com vistas a estudar a evolução temporal dos aerossóis no período de análises; c) as fontes de emissão, de modo a identificar possíveis influências das queimadas da Amazônia sobre a poluição local.

Metodologia

A cidade de Itajubá está localizada ao sul do estado de Minas Gerais, entre 22°25'S de latitude e 45°27'O de longitude, com altitude aproximada de 836 m. Abrange superfície de 294,84 km² e possui população de 97.782 habitantes (IBGE, 2021).

As técnicas de classificação de aerossóis foram baseadas nas propriedades ópticas de aerossóis medidas pelo fotômetro Cimel AE-318. O período de dados analisado compreendeu os anos entre 2013 e 2017. Para análises estatísticas das séries históricas utilizadas foi utilizado o software Rstudio.

Os dados foram obtidos através da *Aerosol Robotic Network* (AERONET), que é um sistema de monitoramento de aerossóis terrestre que oferece uma padronização e caracterização de aerossóis em escala regional para global (HOLBEN, B.N. et al., 1998).

Os dados da Aeronet estão disponíveis em três níveis de processamento. O nível 1.0 consiste do dado bruto, enquanto o nível 1.5 apresenta a eliminação automática das nuvens na análise. Ambos são fornecidos em tempo real. O nível 2.0 é o dado de mais alta qualidade, com calibração final pós-campo.

O coeficiente de correlação de Spearman foi utilizado para medir o grau de associação entre variáveis. Esta associação inclui não apenas relações lineares, mas uma relação monotônica (MYRES e SIROIS, 2006). Os parâmetros de análise para interpretação foram $0 < r < 0,3$ fraca correlação; moderado quando $0,3 < r < 0,7$ e

forte quando $0,7 < r < 1,0$ (BUSSAD, 2010), considerando correlação com significância estatística com $p \leq 0,05$ e grau de correlação moderado ou forte (BRITTO et al., 2009).

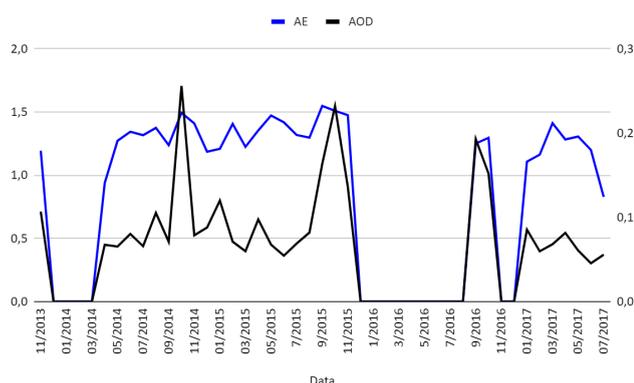
Desta forma, foram analisados os valores de AOD correspondente à 500 nm, o AE (440 – 870 nm) de nível 2.0, bem como o dado de FMF de nível 1.5, para classificação dos aerossóis. As variáveis também foram correlacionadas com a quantidade de focos de queimadas na Amazônia durante o mesmo período de 2013 - 2017, obtidos da base de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Os dados foram organizados e tratados utilizando o software Excel e em seguida transferidos ao software RStudio para análises estatísticas e criação de gráficos.

Resultados e discussão

Os aerossóis presentes na região de Itajubá apresentam propriedades ópticas que variam de forma sazonal ao longo dos anos. A dependência espectral dessas propriedades ópticas está relacionada diretamente à distribuição do tamanho das partículas em suspensão na atmosfera. A Figura 1 mostra os dados de AOD_{500} e $AE_{(440-870)}$.

Figura 1: Profundidade Óptica dos Aerossóis (AOD) e expoente de Angstrom (AE) medidos em Itajubá no período entre 2013 e 2017



Fonte: Autoria própria

O teste de Spearman aplicado a estas variáveis, demonstra forte correlação:

p-value $\ll 0,001$; $r = 0,793$

A associação entre as duas variáveis demonstra-se estatisticamente significativa, de maneira que variam de modo equivalente. Altos valores de AE (próximos de 4) indicam presença de partículas finas (HOLBEN, B. N. et al., 2001). Nota-se ainda os valores de AE atingem seu pico quando AOD também o atinge, caracterizando aumento de particulados da moda fina, provavelmente provenientes de queima de biomassa (ECK et al., 2003).

Classificação dos aerossóis

Os aerossóis da cidade de Itajubá foram classificados utilizando os parâmetros FMF e AE, seguindo o critério demonstrado na tabela 1, sendo divididos em Poeira e Carbono negro.

O carbono negro ou Black Carbon (BC) absorve radiação na região do visível, é refratário, tem baixa reatividade química e advem da combustão incompleta de combustíveis fósseis, biocombustíveis e de biomassa, além de possuir grande influência sobre o balanço radiativo da terra (FORBES et al., 2006). A poeira de solo, apesar de ser uma contribuição natural, tem sua emissão aumentada por algumas ações, tal como o revolvimento dos solos nas atividades agrícolas. A poeira do solo pode constituir 50% das emissões globais, principalmente em anos de estiagem e ventosos (LONGO, K. M. et al., 2009).

Tabela 1: Classificação do tipo de aerossol

Tipo de aerossol	FMF vs AE
Poeira	$FMF < 0.4$ $AE < 0.6$
Mistura(BC & Poeira)	$0.4 \leq FMF \leq 0.6$
BC (Carbono negro)	$FMF > 0.6$ $AE > 1.2$

Fonte: Adaptada de (ALI, Md et al., 2020).

O teste de correlação de Spearman foi aplicado aos dados para poder avaliar a correlação dos dois parâmetros:

p-value $\ll 0,001$; $r = 0,985$

A associação entre as duas variáveis é considerada estatisticamente significativa, sendo possível prosseguir com a caracterização dos aerossóis utilizando esta relação.

Houve maior incidência de BC ao longo de todo o

período de estudo, com maior ênfase no período de setembro e outubro de 2015, onde ambos parâmetros atingiram seu máximo valor. Para a mesma época, outros parâmetros indicadores da composição de aerossóis são apresentados na tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros de análise para caracterização dos aerossóis

Data	Dispersão Simples Albedo	Média mensais de AOD ₅₀₀	Fração de modo fino	Coefficiente de Angstrom
set. 2015	0,899	0,163	0,768	1,549
out. 2015	0,942	0,232	0,757	1,509

Fonte: Autoria própria

O albedo simples variou entre 0,70 a 0,92, valores associados a aerossóis provenientes da queima de biomassa (FILHO et al., 2011). Partículas com albedo simples inferiores a 0,85 são consideradas altamente absorventes, reforçando o indício de presença de BC na região.

Relação com os focos de queimada na Amazônia

A queima da biomassa é uma das mais importantes fontes antropogênicas de aerossóis e de emissão de gases traços para a atmosfera (SANTOS e al., 2016).

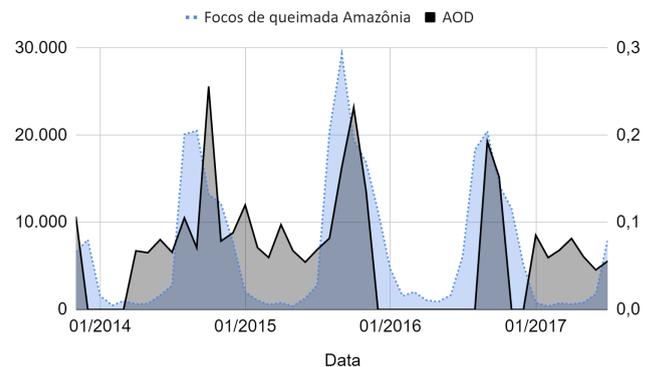
A relação entre os valores da distribuição da média mensal de AOD (500 nm) e a distribuição mensal dos eventos de queimada de todo o período, foi analisada, utilizando também o teste de Spearman:

$$p\text{-value} \ll 0,001; r = 0,730$$

Importante frisar que as queimadas na Amazônia, não são os únicos eventos responsáveis pela variação nos valores de AOD na região de Itajubá. Outras variáveis podem exercer influência, tal como eventos de queimadas na região ou fatores na dispersão das partículas oriundas da região Amazônica. Tais variáveis podem influenciar o resultado do teste de correlação.

A figura 2 mostra que os máximos de AOD (500nm) em Itajubá ocorrem logo após a ocorrência de um grande volume de focos de queimadas na Amazônia.

Figura 2: Distribuição da média mensal de AOD (500 nm) em Itajubá X distribuição mensal dos eventos de queimada na Amazônia



Fonte: Autoria própria

A base de dados do INPE fornece a quantidade de focos de queimadas na Amazônia (<https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal>). A época com maior índice de focos de queimada na região foi os meses de agosto e setembro de 2015, atingindo, respectivamente, 20.471 e 29.326 focos.

Esta alta incidência de focos de queimadas coincide com máximos de AOD₅₀₀ observados em Itajubá, demonstrando a presença de material particulado proveniente do transporte de poluentes da região Amazônica sobre a cidade. Esta relação ressalta os impactos que atividades locais podem apresentar em escalas maiores.

Conclusões

Este estudo verificou que aerossóis da moda fina e do tipo BC são predominantes, em escala anual e sazonal, na região. Os períodos de maior abundância desse tipo de aerossóis são os meses de agosto a outubro.

A relação das características ópticas dos aerossóis presentes em Itajubá com os eventos de queimada na região Amazônica foi verificada. Ou seja, há indícios de que devido aos processos de transporte e dispersão, as queimadas realizadas na Amazônia afetam a composição de aerossóis em longa distância.

Os materiais originados das queimadas na Amazônia não são os únicos responsáveis pela variação dos tipos de partículas suspensas na cidade de Itajubá, outras variáveis podem influenciar na região de forma mais direta, como as próprias queimadas na cidade.

Os aerossóis atmosféricos representam um importante papel no clima e são indicadores de poluição natural ou antrópica.

Este trabalho pode servir como base para um estudo mais profundo em relação aos impactos das dispersões de aerossóis provenientes de outras regiões, que afetam a cidade de Itajubá ou até mesmo dos provedores destas partículas na região.

Agradecimento

Gostaria de agradecer primeiramente ao professor Marcelo Corrêa que me orientou neste projeto, me fornecendo todo suporte necessário, à Universidade Federal de Itajubá e ao CNPq que forneceram, além do incentivo à pesquisa, a oportunidade de desenvolver este trabalho.

Referências

Aerosol Robotic Network (AERONET) Homepage.

Disponível em: <<https://aeronet.gsfc.nasa.gov/>>.

ALI, Md Arfan et al. Classification of aerosols over Saudi Arabia from 2004–2016. **Atmospheric Environment**, v. 241, Nov 2020. Acesso em: 31 mar 2022.

ALVES, Célia. Aerossóis atmosféricos: perspectiva histórica, fontes, processos químicos de formação e composição orgânica. **Química Nova**, v. 28, n. 5, p. 859–870, Out 2005.

ARTAXO, Paulo et al. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21. [S.l: s.n.], 2006.

BRITTO, Dalson et al. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r) . **Revista Política Hoje**, v. 18, n. 1, 2009. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/politica hoje/article/viewFile/3852/3156>>. Acesso em: 10 nov 2021.

BUSSAD, Wilton; MORETTIN, Pedro Alberto. **Estatística básica**. São Paulo: Editora Saraiva, 2010.

COSTA, Alexandre; JÚNIOR, Theodomiro. **AEROSSÓIS ATMOSFÉRICOS E NUENS**. [S. l.]: PRIMEIRO RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO NACIONAL. E-book. v. 1.

ECK, T. F. et al. High aerosol optical depth biomass burning events: A comparison of optical properties for different source regions. **Geophysical Research Letters**, v. 30, n. 20, Out 2003. Acesso em: 18 jul 2022.

FILHO, Edilberto. **VARIABILIDADE SAZONAL E TEMPORAL DAS PROPRIEDADES ÓPTICAS DE AEROSSÓIS ATMOSFÉRICOS NA AMAZÔNIA** EDILBERTO OJEDA DE ALMEIDA FILHO. 2011. 103. Tese - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de física programa de pós-graduação em Física Ambiental,

Cuiabá, 2011. Acesso em: 16 ago 2022.

FORBES, MS; RAISON, RJ. e SKJEMSTAD, JO. Formation, transformation and transport of black carbon (charcoal) in terrestrial and aquatic ecosystems. **Science of The Total Environment**, v. 370, n. 1, p. 190–206, Out 2006. Acesso em: 28 jun 2019.

FREITAS, Saulo R. et al. Emissões de queimadas em ecossistemas da América do Sul. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 53, p. 167–185, Abr 2005.

HAAG, Rafael; KRENZINGER, Arno. Análise da influência de parâmetros atmosféricos e locais na distribuição espectral da radiação solar. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 1, n. 1, 2010. Disponível em: <<https://rbens.org.br/rbens/article/view/38/38>>. Acesso em: 16 maio 2022.

HOLBEN, B.N. et al. AERONET—A Federated Instrument Network and Data Archive for Aerosol Characterization. **Remote Sensing of Environment**, v. 66, n. 1, p. 1–16, Out 1998. Acesso em: 26 set 2022.

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, 1 Jun 2001.

IBGE. **Itajubá (MG) | Cidades e Estados | IBGE**.

Disponível em:

<<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/itajuba.html>>. Acesso em: 5 nov 2022.

INPE. **Home — Programa Queimadas**. Disponível em: <<https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal>>.

LONGO, K. M. et al. Biomass burning in Amazonia: Emissions, long-range transport of smoke and its regional and remote impacts. **Amazonia and Global Change**, p. 207–232, 2009. Disponível em: <https://daac.ornl.gov/LBA/lbaconferencia/amazonia_global_change/13_Queima_Biomassa_Longo.pdf>. Acesso em: 9 mar 2022.

SANTOS, Anna et al. ANÁLISE DA CONCENTRAÇÃO E COMPOSIÇÃO DE AEROSSÓIS DE QUEIMADAS NO PANTANAL MATO- GROSSO. **Química Nova**, 2016.

Disponível em:

<http://static.sites.sbq.org.br/quimicanova.sbq.org.br/pdf/AR2_0150847.pdf>. Acesso em: 21 jul 2022.

MYRED, Leann; SIROIS, Maria J. Spearman Correlation Coefficients, Differences between. **Encyclopedia of Statistical Sciences**, 2006. Disponível em:

<<https://doi.org/10.1002/0471667196.ess5050.pub2>>. Acesso em: 7 mar 2022.

Tripathi, S. N. et al. Comparison of MODIS and AERONET derived aerosol optical depth over the Ganga Basin, India. **Annales Geophysicae**, 23, 1093–1101, 2005