



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
BACHARELADO DE METEOROLOGIA

JAYSLANY FLORÊNCIO DA SILVA

**PADRÕES ATMOSFÉRICOS ASSOCIADOS COM ALTOS VALORES DE
ESPESSURA ÓTICA SOBRE A AMÉRICA DO SUL**

MACEIÓ – ALAGOAS

2022

JAYSLLANY FLORÊNCIO DA SILVA

**PADRÕES ATMOSFÉRICOS ASSOCIADOS COM ALTOS VALORES DE
ESPESSURA ÓTICA SOBRE A AMÉRICA DO SUL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial
para obtenção de grau de Bacharel
em Meteorologia, pela Universidade
Federal de Alagoas.

Orientador: Glauber Lopes Mariano

MACEIÓ

2022

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária: Taciana Sousa dos Santos – CRB-4 – 2062

S586p Silva, Jaysllany Florêncio da.
Padrões atmosféricos associados com altos valores de espessura ótica sobre a América do Sul / Jaysllany Florêncio da Silva. – 2022.
47 f. : il. color.

Orientador: Glauber Lopes Mariano.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Meteorologia) –
Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas.
Maceió, 2022.

Bibliografia: f. 42-47.

1. Aerossóis. 2. Análise sinótica. 3. Espessura ótica. 4. Padrões atmosféricos. I. Título.

CDU: 551.589

Folha de Aprovação

JAYSLLANY FLORÊNCIO DA SILVA

Padrões atmosféricos associados com altos valores de espessura ótica sobre a América do Sul

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Atmosféricas - ICAT da Universidade Federal de Alagoas como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia, aprovado em 03 de março de 2021.

Documento assinado digitalmente
 Glauber Lopes Mariano
Data: 11/04/2022 10:11:11-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

(Doutor, Glauber Lopes Mariano) (Orientador)

Banca Examinadora:



(Doutora, Maria Luciene Dias de Melo)



(Doutora, Ericka Voss Chagas)

Resumo

Aerossóis são partículas suspensas na atmosfera em forma de líquido ou de partículas que devido sua influência com a formação de precipitação, visibilidade atmosférica e balanço radiativo é alvo de estudos sobre sua presença e quantidade na atmosfera. Este trabalho tem por objetivo realizar análise sinótica sobre os dias de maiores valores de Espessura ótica dos Aerossóis (EOA) no período de 2013 a 2018 na América do Sul (AS) visando a existência de padrões atmosféricos que possam influenciar este aumento. Aplicando o Percentil 99 em toda série de dados (0,955) foram separados os pontos com maior valor de EOA (superiores ao P99), e dentre estes foram separados os pontos que apresentaram semelhanças na atuação de alguns sistemas atmosféricos, como foi o caso de UPC GEAB Valledupar (Colômbia), UNC Palmira, (Colômbia), Quito USFQ (Equador) e Pilar Cordoba (Argentina). Foi investigado o aumento de EOA utilizando de imagens de focos de queimadas através do banco de queimadas do INPE e traçada a trajetória desses aerossóis até o ponto de EOA em 96 horas antes do dia do máximo valor do ponto. Dentre as semelhanças encontradas entre os pontos selecionados para análise de espessura ótica, os 4 tiveram seus valores máximos durante a atuação de dois sistemas meteorológicos operando simultaneamente (Alta da Bolívia e VCAN), sendo 3 desses pontos com picos no mesmo mês do mesmo ano. Ao observar os três primeiros pontos, percebe-se uma diminuição dos valores de EOA de forma consecutiva, o que pode significar que os aerossóis do segundo e terceiro ponto foram transportados a partir da região do primeiro ponto. Não foram encontrados padrões no comportamento da EOA devido ao período de dados diferentes encontrados para cada ponto de medição da AERONET. Os únicos sistemas que se repetiam, devido os meses que se identificaram os altos valores de EOA, fora AB e VCAN que foram encontrados atuando ao mesmo tempo em todos os pontos. Ainda foram detectados que JBNs podem ser grandes contribuintes para o transporte de partículas de aerossol devido a sua detecção e de sua posição nos diversos dias analisados neste trabalho.

Palavras-chave: Padrões atmosféricos, análise sinótica, espessura ótica, aerossóis.

Abstract

Aerosols are particles suspended in the atmosphere in the form of liquid or particles that, due to their influence on the formation of precipitation, atmospheric visibility and radiative balance, are the subject of studies on their presence and quantity in the atmosphere. This work aims to perform a synoptic analysis on the days with the highest values of Optical Aerosol Thickness (EOA) in the period from 2013 to 2018 in South America (SA) aiming at the existence of atmospheric patterns that may influence this increase. Applying the 99th percentile to the entire data series (0.955), the points with the highest EOA value (above P99) were separated, and among these points that showed similarities in the performance of some atmospheric systems, such as the UPC, were separated. GEAB Valledupar (Colombia), UNC Palmira, (Colombia), Quito USFQ (Ecuador) and Pilar Cordoba (Argentina). The increase in EOA was investigated using images of fire outbreaks through the INPE fire bank and the trajectory of these aerosols to the EOA point was traced 96 hours before the day of the maximum point value. Among the similarities found between the points selected for optical thickness analysis, the 4 had their maximum values during the performance of two meteorological systems operating simultaneously (Alta da Bolivia and VCAN), 3 of these points with peaks in the same month of the same year. When observing the first three points, a consecutive decrease in OAE values can be seen, which may mean that the aerosols from the second and third point were transported from the region of the first point and the Pilar Cordoba region shows no connection. with the other 3 points. No patterns were found in EOA behavior due to the different data period found for each AERONET measurement point. The only systems that were repeated, due to the months in which the high values of EOA were identified, were AB and VCAN, which were found acting at the same time at all points. It was also detected that JBNs can be major contributors to the transport of aerosol particles due to their detection and their position in the different days analyzed in this work.

Keywords: Atmospheric patterns, synoptic analysis, optical thickness, aerosols.

Lista de siglas

AB – Alta da Bolívia

AERONET - Aerosol Robotic Network

ASAS – Alta subtropical do Atlântico Sul

AS – América do Sul

ECMWF - European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

EOA – Espessura ótica dos aerossóis

hpa - Hectopascal

HYSPLIT - Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

JBN – Jatos de baixos níveis

m – Metros

mb – Milibar

m s⁻¹ - Metros por segundo

MODIS - Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer

P99 – Percentil 99

V – Velocidade

Z - Zulu

ZACAS – Zona de convergência do Atlântico Sul

SUMÁRIO

1	Introdução	7
2	Revisão bibliográfica	9
2.1	Aerossóis.....	9
2.2	Alta da Bolívia	11
2.3	Alta subtropical do Atlântico Sul	12
2.4	Jatos de baixos níveis	14
2.5	Hysplit.....	16
3	Metodologia.....	18
4	Resultados	22
4.1	UPC GEAB Valledupar	26
4.2	UNC Palmira	31
4.3	Quito USFQ	34
4.4	Pilar Cordoba.....	36
5	Conclusão	40
6	Referências bibliográficas	42

1 Introdução

Dentre os fatores que podem afetar o clima do planeta, um se destaca por poder impactar vários aspectos, e é conhecido como aerossol. Incluídos entre os principais vetores da poluição e da radioatividade atmosférica, os aerossóis participam em diversos fenômenos naturais que abrangem a formação de nuvens e de precipitação, o balanço radiativo da atmosfera, a visibilidade, as permutas entre o oceano e a troposfera e as eventuais modificações na camada de ozônio (ALVES, 2005).

Aerossóis são suspensões de partículas sólidas ou gotículas dispersas num gás com dimensões inferiores a 100 μm , porém com tamanho superior ao das moléculas individualizadas. Estas suspensões são designadas como aerocoloides, matéria particulada ou apenas partículas que incluem poeiras, fumos, cinzas, nevoeiros e "sprays" (ALVES, 2005).

Estas partículas podem ser originárias de diversas fontes, sendo caracterizados a depender da forma de como esta foi gerada, que os dividem entre naturais e de fontes antropogênicas. Os naturais são produzidos, por exemplo, provenientes dos oceanos, como os aerossóis de sal marinho, ou do solo, na forma de poeira. Os aerossóis antropogênicos (CAIRES, 2019), por exemplo, as partículas de fuligem produzidas em processos de combustão de biomassa (queimadas) causadas pelos seres humanos e de combustíveis fósseis (LONGO, 2005).

O interesse científico pelos aerossóis atmosféricos começou a surgir a partir do século XVIII, acompanhando o rápido desenvolvimento em diversas áreas das ciências naturais. No final do século XIX, os estudos de vários geólogos estabelecem a conexão entre a formação do solo e a presença dos aerossóis na atmosfera. Simultaneamente, os meteorologistas reconheceram as múltiplas influências que os aerossóis exercem na formação da precipitação, na visibilidade atmosférica e no balanço térmico e radiativo (ALVES, 2005).

Algumas regiões tropicais tem como uma das maiores fonte de núcleo de condensação de nuvens a queima de biomassa, como é o caso das queimadas na Floresta Amazônica (COSTA, 2009). Esses núcleos de condensação de nuvens (em inglês, CCN) são a base sobre a qual o vapor de água se condensa formando as gotículas de nuvem e posteriormente gotas de chuva. Dessa forma, um aumento na concentração desses aerossóis na atmosfera pode acarretar alterações no regime de chuvas e também na permanência de nuvens da região. Por outro lado, a permanência dessas nuvens causaria uma maior refletividade dos raios solares incidentes sobre elas, chegando assim uma menor quantidade de radiação na superfície e todos os problemas interligados a ela, como por exemplo, uma alteração na taxa de evaporação (PROCOPIO, et al 2004).

Uma vez que os aerossóis, quando não depositos por gravidade até o solo, são levados pelo vento, faz com que seu transporte se dê através do padrão de circulação atmosférica. Isso consiste em dizer que os fenômenos meteorológicos podem influenciar o carregamento dessas partículas, visto que são esses fenômenos que regem a circulação do vento.

Os sistemas meteorológicos podem influenciar a permanência dos aerossóis na atmosfera, através de sua deposição. Dado ao fato de que partículas maiores de aerossol caem por gravidade até o solo, as partículas mais finas têm sua retirada da atmosfera através da deposição úmida, que acontece quando essa partícula se torna núcleo de condensação e cai em forma de chuva ou pode ser arrastada pelas gotas de chuva sendo levadas até a superfície. Dessa forma, a presença, ou não, de sistemas meteorológicos associados a precipitação podem influenciar a quantidade e permanência desses aerossóis em suspensão na atmosfera.

Este trabalho tem por objetivo realizar análise sinótica sobre os dias de maiores valores de Espessura ótica dos Aerossóis (EOA) na América do Sul (AS) visando a existência de padrões atmosféricos que possam influenciar este aumento ou que podem contribuir para o transporte de aerossóis. Detectar se um fenômeno meteorológico pode influenciar na EOA e ajudar a entender o comportamento destes aerossóis e seu transporte na atmosfera.

2 Revisão bibliográfica

2.1 Aerossóis

A espessura ótica é caracterizada pela atenuação da radiação em um determinado meio opticamente ativo, o que permite que esta possa indicar a quantidade de material absorvedor e espalhador opticamente ativos que são encontrados no caminho do feixe de radiação, sendo este adimensional. Ela é definida por ser igual zero no topo da atmosfera e seu valor aumenta em determinada altitude (SEINFELD; PANDIS, 2006).

A espessura ótica dos aerossóis (EOA) é um parâmetro físico adimensional que aponta o quanto o feixe de radiação é atenuado pelos aerossóis à medida que se propaga em uma determinada camada da atmosfera que contenha aerossóis (PRADO et al, 2017) e seus altos valores apresentam um comportamento sazonal que coincide com a época em que as queimadas estão mais ativas nas regiões Norte e Centro-Oeste do Brasil, que possivelmente podem influenciar os índices de EOA (OLIVEIRA, 2013).

Segundo Feitosa (2009) o termo aerossol se refere à um conjunto de partículas sólidas ou líquidas suspensas em um meio gasoso, podendo ter sua origem de forma natural ou antropogênica. São chamados de poluentes primários quando lançados diretamente na atmosfera pela fonte que os produziu, já aqueles formados na atmosfera por reações químicas que ocorrem entre os poluentes primários e os constituintes naturais do ar são denominados de poluentes secundários (QUEIROZ et al, 2007).

Diferente dos gases de efeito estufa, que possuem um tempo de permanência na atmosfera que podem chegar a anos (COSTA, 2015), os aerossóis tem um ciclo de vida na atmosfera de alguns dias, no máximo podendo chegar a semanas (SEINFELD e PANDIS, 2006).

À medida que as partículas de aerossóis são formadas e enviadas para a atmosfera, passam por transformações físico-químicas, que podem ser chamadas de crescimento e envelhecimento dessas partículas, e são removidas

da atmosfera, provocando mudanças no tamanho, nas propriedades químicas e ópticas, assim como na estrutura das partículas (Fernandes, 2018).

As partículas de aerossóis podem ser classificadas por seu tamanho. As que apresentam diâmetro menor que 2,5 μm são chamadas partículas finas, as que estão entre 2,5 μm e 10 μm constituem a moda grossa. Os aerossóis pertencentes à moda grossa têm sua passagem impedida no trato respiratório superior, por outro lado, os aerossóis da moda fina têm a capacidade de ingressar até os alvéolos pulmonares. Desta forma, estes possuem um potencial mais danoso à saúde humana (Costa, 2015) por este motivo houve a necessidade dessa classificação.

A remoção dos aerossóis da atmosfera também possui relação com sua faixa de tamanho. Quando este faz parte da moda grossa, a deposição é tida de forma gravitacional, ou seja, eles “caem” de sua suspensão até chegar novamente ao solo através dos movimentos do ar. Já as partículas da moda fina podem ser transportadas pelo vento e levadas a milhares de quilômetros de sua fonte de emissão (FERNANDES, 2018).

A remoção dos aerossóis de moda fina ocorre, predominantemente, pela deposição úmida, onde as partículas atuam como uma superfície para que as gotículas se condensem (ARTAXO et al, 2006). Outra situação que ocorre é que quando chove, as partículas abaixo da nuvem são removidas por impacto com as gotas de chuva, limpando a atmosfera (Costa, 2015).

O transporte destas partículas de aerossol segue o mesmo padrão de circulação atmosférica, fazendo com que as emissões de regiões como as queimadas da floresta amazônica saiam da América do Sul por duas vias principais: o oceano Pacífico tropical e o oceano Atlântico Sul (FREITAS et al., 1997; 2000). Uma vez que estes poluentes atingem a troposfera, seu transporte acontece de forma mais eficiente devido alta velocidade dos fluxos de ar que os levam para regiões distantes do local de emissão, podendo transformar-se em um problema global (FREITAS, 1999).

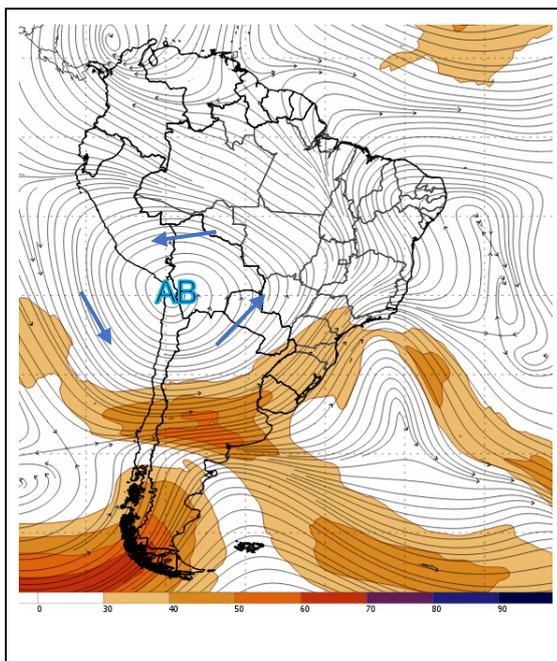
Em 2015, Ferreira estudou a relação dos sistemas meteorológicos com os altos valores de espessura ótica sobre no Rio Grande do Sul, onde utilizou-se de campo composto para os dias de maiores valores de EOA para os meses

de agosto, setembro e outubro. Estes mostraram que alguns sistemas como Alta Subtropical do Atlântico Sul, escoamentos nos níveis 850hPa e 700hPa e sistemas de baixa pressão em superfície se mostraram persistentes e com potencial para alterar a EOA. Ferreira, 2015, ainda relaciona esses casos de altos valores da EOA com El Niño Sul, ou ENOS e ENOS Modoki, que mostrou que 84% desses altos valores ocorreram em períodos de El Niño Sul e 28% em ENOS Modoki.

2.2 Alta da Bolívia

A Alta da Bolívia (AB) é uma formação anticiclônica (circulação no sentido anti-horário) que é detectada na alta troposfera durante o verão do Hemisfério Sul e está apresentada na figura 1 (MASTER, 2010). Com seu núcleo localizado sobre a região da Bolívia, este fenômeno surge em outubro, devido ao aquecimento do Platô Boliviano, e persiste até por volta do mês de abril, sendo mais ativo durante o mês de janeiro e podendo atingir uma frequência da ordem de 34 a 40 dias (Fedorova, 2008).

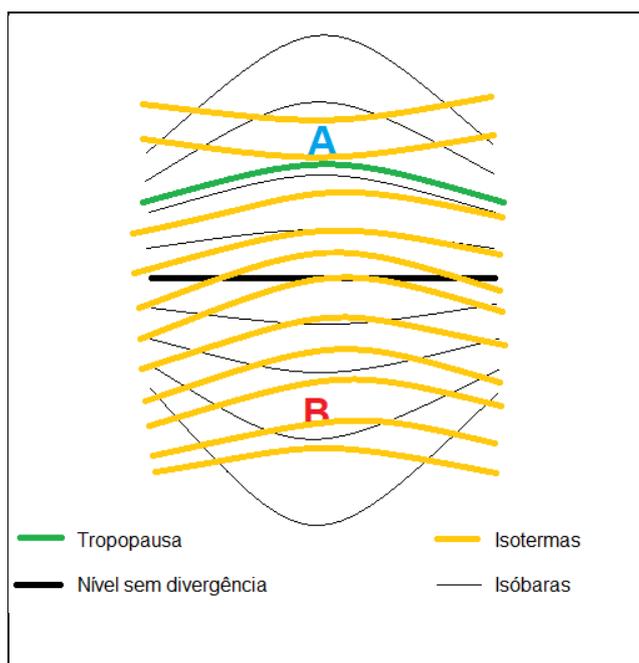
Figura 1: Linhas de correntes em 200hpa - Alta da Bolívia em atuação sobre a América do Sul.



Fonte: INMET, 2021.

A AB pode ser chamada também de ciclone de baixos níveis, uma vez que em sua estrutura vertical nos níveis mais baixos se encontra uma formação ciclônica (circulação no sentido horário) (FEDOROVA, 2008), o que pode ser comprovado na figura 2.

Figura 2: Estrutura vertical de ciclone com núcleo quente.

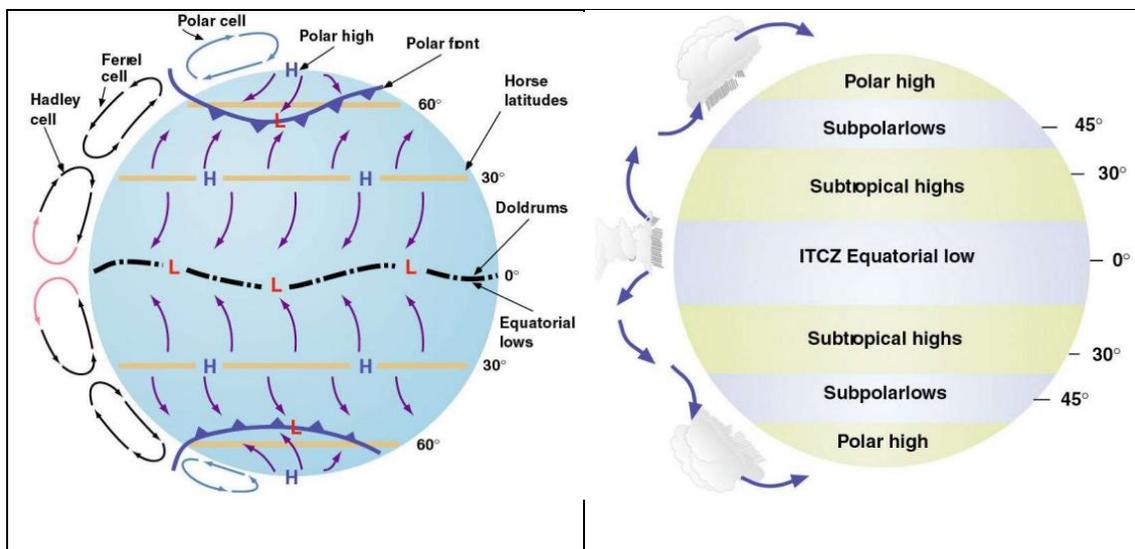


Fonte: Editado de Fedorova (2008, p. 121).

2.3 Alta subtropical do Atlântico Sul

Circulações no sentido anti-horário no hemisfério sul são chamadas de Anticiclone. Estes têm seu núcleo fechado, onde a pressão decresce do centro para suas bordas (CASTRO, 2018). As altas subtropicais são formadas na latitude de 30° estritamente sobre o oceano que são formadas devido ao ramo descendente da célula de Hadley, como visto na figura 4 (BASTOS, et al, 2000).

Figura 4: Circulação geral da atmosfera. A) Células gerais da atmosfera; b) Sistemas resultantes.

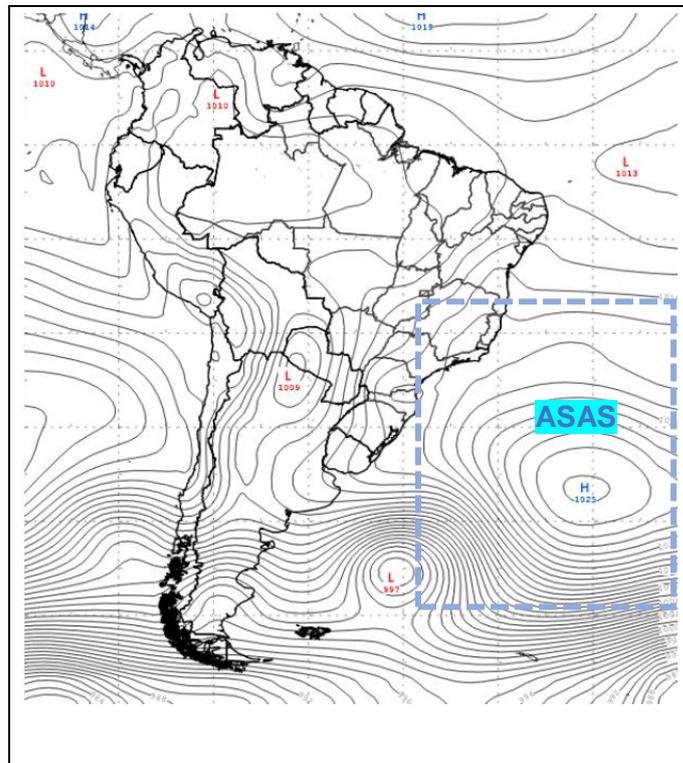


Fonte: EdisciplinA (2022).

As regiões com “L” representam, as baixas pressões e as regiões com “H” representam as altas pressões que são relacionadas com locais de ascendência e descendência dos ventos, respectivamente. Em 30° se tem os ramos descendentes da célula de Hadley e é ali onde estão localizadas as altas subtropicais ou anticlones semipermanentes, e também os maiores desertos do mundo (CASTRO, 2018), uma vez que a descendência do ar é associada a inibição de chuvas. A Alta subtropical do Atlântico Sul pode ser vista através da figura 5, onde é possível ver sua posição geográfica na América do sul.

Segundo FREITAS (2005), que estudou o transporte de queimadas sobre ecossistemas da AS, o anticiclone associado a ASAS cria uma rota de exportação de poluentes de queimadas da Amazônia para o Oceano Pacífico quando este se dirige ainda mais para o norte e oeste em direção ao continente, o que faz com que se intensifique o fluxo de ar de sudeste sobre a região poluída e exporte fumaça para o Oceano Pacífico aproximadamente nas latitudes de 5° S, numa região de depressão do Andes.

Figura 5: Pressão ao nível médio do mar para o dia 26/02/222 as 00:00 UTC.



INMET (2022).

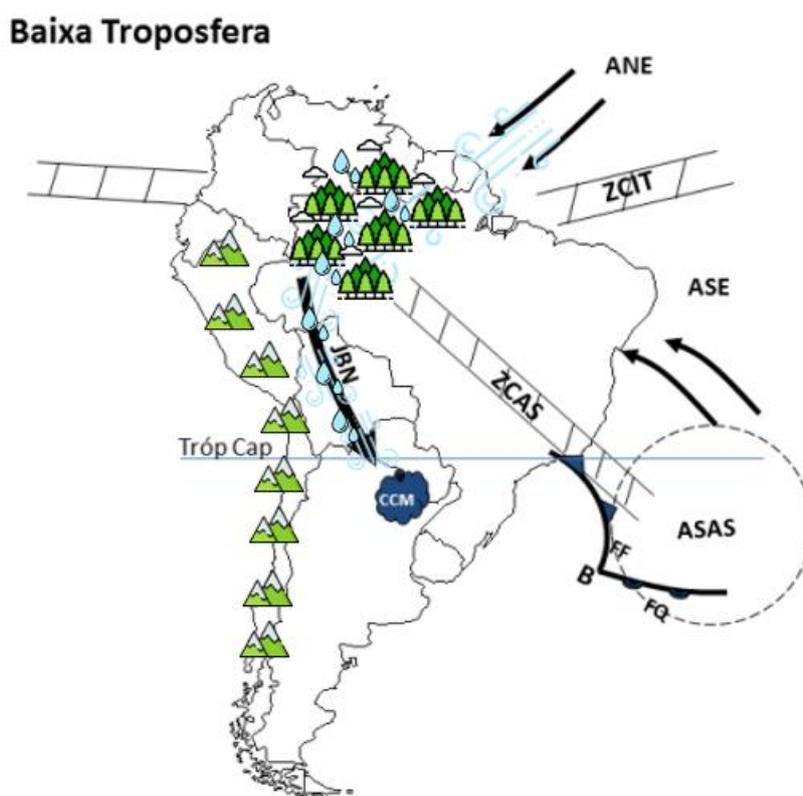
2.4 Jatos de baixos níveis

Na baixa troposfera, no máximo 2 km, é possível detectar escoamentos intensos, estes são os jatos de baixos níveis ou JBN (DOS SANTOS, 2018). Dentre os vários locais de sua atuação, um deles é a leste dos Andes que é caracterizado por um escoamento meridional que parte da Amazônia até as regiões subtropicais do globo, segundo MARENGO (2004).

De acordo com VERA et. al. (2006), de forma geral, a formação dos JBNs, a leste dos Andes, como mostra a figura 6, acontece devido a canalização dos ventos alísios de Nordeste pela barreira dos andes que faz com que o escoamento siga o prolongamento dessas montanhas, levando consigo umidade e calor trazidos por eles da Amazônia. Essa seria uma forma mais simples de entender a formação desse sistema, visto que vários mecanismos podem estar

associados à sua construção e muitos ainda não estudados, segundo KARAM (2002) e DOS SANTOS (2018) os JBNs são sistemas, em sua maioria, noturnos.

Figura 6: Esquema dos sistemas atmosféricos atuantes na AS no verão. A sigla ANE refere-se aos ventos alísios de nordeste, ASE aos ventos alísios de sudeste, ASAS ao anticiclone subtropical do Atlântico Sul, B a uma baixa pressão atmosférica (ciclone), CCM aos complexos convectivos de mesoescala, FF a uma frente fria, FQ a uma frente quente, JBN ao jato de baixos níveis a leste dos Andes, Tróp Cap ao Trópico de Capricórnio, ZCAS à Zona de Convergência do Atlântico Sul e ZCIT à Zona de Convergência Intertropical.



Editado de REBOITA (2012).

FREITAS (2005) diz que os JBNs a leste dos Andes produzem um enorme fluxo de massa da Amazônia para a região Sul da AS e que leva consigo não apenas fumaça, mas também calor e umidade, o que favorece a formação de grandes tempestades, como é o caso dos complexos convectivos de mesoescala (CCM) sobre a região Norte da Argentina e sobre o Paraguai, onde

essas atividades convectivas intensas seguidas de fortes chuvas fariam a deposição úmidas desses materiais transportados das queimadas da região amazônica. Essa afirmação de Freitas (2005) condiz perfeitamente com a figura 7 que representa em imagens suas afirmações.

KARAM (2002) estudou os JBNs que ocorriam na cidade de Iperó, São Paulo, e quais as implicações desse sistema sobre o transporte de poluentes sobre o estado. Ele utilizou de um modelo Lagrangiano de dispersão de partículas e conseguiu verificar que não só os JBNs podem aumentar a dispersão horizontal das partículas, como também pode transportar os poluentes emitidos em superfície para até 250 km da fonte de emissão. O autor ainda determina que o papel dos JBNs de Iperó sobre a trajetória de um poluente inerte emitido continuamente por uma fonte de emissão pontual em superfície é aumentar a dispersão horizontal da pluma de partículas. Verticalmente, a dispersão acontece por meio do cisalhamento do vento do JBN que deforma a pluma aumentando sua dispersão nesse sentido. Ele ainda afirma que devido as complexibilidades da circulação atmosférica dentro dos JBNs faz com que as plumas emitidas por diferentes cidades do Estado de São Paulo se encontrem e se misturem.

DOS SANTOS (2018) utilizou dos critérios de identificação de JBNs a leste dos Andes de Bonner (1968) que são:

- Intensidade do vento, representada por V (m s^{-1}), em 850 hPa, deve ser maior ou igual a 12 m s^{-1} ;
- Cisalhamento vertical do vento, ou seja, a diferença entre a intensidade do vento nos níveis de 850 e 700 hPa deve ser maior do que 6 m s^{-1} ;
- Componente meridional do vento, representada por v (m s^{-1}), em 850 hPa, deve ser negativa;
Módulo da componente meridional do vento (v) dever ser maior do que o módulo da componente zonal do vento (u).

2.5 Hysplit

O modelo HYSPLIT, ou HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory é vastamente utilizado para realizar trajetórias reversas em determinados locais de partida (SU et al, 2015). O modelo trata-se de sistema

completo para calcular tanto trajetórias simples de parcelas de ar quanto simulações complexas de dispersão e deposição. Seu método de cálculo é um modelo híbrido entre a abordagem Lagrangiana e a abordagem Euleriana (DRAXLER et al, 2010).

ASHRAFI et al, 2014 fez uma simulação de tempestade de poeira sobre o Irã usando o modelo HYSPLIT, onde ele investiga a identificação da fonte e a trajetória de duas tempestades de poeira sobre o Irã. Em conclusão, ambos os eventos de poeira começaram no deserto Sírio partilhando de coordenadas semelhantes. Com a simulação da trajetória reversa de Teerã e Ahvaz confirmou fontes de poeira derivadas do módulo de poeira e ainda se comparou o movimento da poeira nas imagens do MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer) com a saída da simulação do HYSPLIT, que se mostraram semelhantes.

3 Metodologia

O período de dados estudados neste trabalho foi de 2003 a 2018 (15 anos), tendo como a região de estudo a América do Sul, que abrange uma área de 17.840.000 km² contendo um total de 12 países: Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, Colômbia, Equador, Guiana, Paraguai, Peru, Suriname, Uruguai e Venezuela.

Os dados de Espessura ótica dos aerossóis (EOA) foram obtidos da Aerosol Robotic Network (AERONET) que é uma rede mundial de monitoramento ótico de aerossóis atmosféricos mantida pela NASA e expandida por diversas instituições de pesquisa ao redor do mundo. A rede AERONET utiliza o CIMEL CE-318, um espectro radiômetro solar, sendo que a EOA está disponível em diferentes níveis de tratamento, 1.0 (dado bruto), 1.5 (apresenta interferências) e 2.0 (livre de ruídos) e se tem medições a cada 15 minutos. Neste trabalho foi utilizado o nível 2.0 os quais são certificados quanto a eventuais variações de calibração dos instrumentos (Prado, 2017).

Durante a seleção dos pontos de EOA a partir da rede AERONET da NASA detectou-se a existência de 108 pontos de medição (a maior parte de sítios com medições de curta duração) dentro da área do projeto (América do Sul) em que apenas 52 deles se encaixam dentro do período em análise no projeto (2003- 2018) e satisfizeram a exigência da resolução de 2.0.

Os dias com altos valores de EOA para estudo e análise de padrões atmosféricos foram determinados através dos maiores valores de EOA registrados identificados através do percentil 99 (P99) que foi aplicado em toda a série de dados dos 52 pontos mencionados, onde o P99 foi de 0,955, obtendo um total de 14 pontos com valores acima do P99 (tabela 1). Analisados os 14 pontos mencionados, observou-se que quatro deles possuíam algumas semelhanças, sendo estes selecionados como alvo de estudos deste trabalho, estes estão marcados em amarelo na tabela 1.

PONTO	PAÍS	PERÍODO DE DADOS	P99 DO PONTO	PICO DE EOA	DIA DO PICO
JÍ PARANA SE	BRASIL	2006 2017	2,737	5,632	09/09/07
SÃO MARTINHO SONDA	BRASIL	2008 2014	0,845	3,671	24/08/10
RIO DE JANEIRO UFRJ	BRASIL	2010 2011	0,696	1,25	28/03/11
MANAUS EMBRAPA	BRASIL	2011 2019	1,150	2,586	12/06/17
MEDELLIN	COLOMBIA	2012 2019	1,098	2	13/03/16
ITAJUBA	BRASIL	2013 2019	0,749	0,991	14/10/14
BRASÍLIA SONDA	BRASIL	2015 2018	1,440	1,44	28/09/15
AMAZON ATTO TOWER	BRASIL	2016 2019	0,675	1,574	06/12/17
SP EACH	BRASIL	2016 2019	0,692	1,292	28/09/17
UPC GEAB VADELLUPAR	COLOMBIA	2016 2019	0,833	1,658	15/03/18
PILAR CORDOBA	ARGENTINA	2017 2019	0,513	4,059	28/01/18
QUITO USFQ	EQUADOR	2017 2019	0,454	0,978	27/03/18
TEMUCO UFRO CEFOP	CHILE	2017 2019	0,795	1,185	25/05/17
UNC PALMIRA	COLOMBIA	2017 2019	0,679	1,059	23/03/18

Tabela 1: Pontos selecionados com valores acima do P99 geral.

A escolha dos pontos foi feita por eles apresentarem semelhanças entre si, como a época de ocorrência de seus picos, que se deu no mesmo ano e a maioria no mesmo mês. Além da atuação dos mesmos sistemas meteorológicos sobre eles.

Para alguns pontos, por não apresentarem relação direta com os focos de queimadas, precisou-se da utilização de modelagem que representasse a trajetória anterior daquela parcela de ar, com a intenção de averiguar os locais por onde passou, de forma que se investigue a influência desses focos sobre a trajetória, implicando no transporte desses poluentes até o ponto de aerossol. O modelo Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPLIT) é um sistema completo para calcular trajetórias simples de pacotes aéreos, bem como simulações complexas de transporte, dispersão, transformação química e deposição (Stein, 2015). O HYSPLIT foi usado para traçar a trajetória reversa dos aerossóis e obter uma relação fonte-receptor. Também para analisar o percurso feito por essa massa de ar e comparar com os focos de queimadas dentro do período analisado. As trajetórias foram geradas com 96 horas antes do dia de máximo valor de cada ponto a uma altura de 300m.

As informações de focos de queimadas foram adquiridas através do Banco de queimadas do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), podendo ser encontrado em <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal>. O programa de queimadas do INPE utiliza nove satélites para observação e detecção dos focos, sendo utilizado neste trabalho os focos detectados pelo “satélite de referência”, atualmente se trata do satélite AQUA com o sensor MODIS (SETZER, 2020). O mapeamento desses focos é feito através da detecção radiação térmica emitida pelo fogo que se dá através do pico de ondas eletromagnéticas com o comprimento de onda entre 3, 7 e 4,1 micrometros (GARCIA, 2019).

Foram usadas três classificações para as influências das queimadas sobre os pontos de EOA:

- Direta: Quando foram encontrados focos de queimadas sobre a região onde está inserido o fotômetro solar no dia em foi observado o valor máximo de espessura ótica daquele ponto.
- Indireta: Quando não é encontrado foco de queimada sobre a região do ponto de EOA no dia de pico de espessura ótica, porém durante a trajetória reversa da massa de ar, esta passou por regiões com presença desses focos transportando essas partículas até a região de estudo.
- Não sofreu influência: Quando o ponto não apresenta focos de queimadas no dia de seu máximo valor de espessura ótica, também em sua trajetória reversa, a parcela de ar não passou por regiões com presença de focos de queimadas.

Com o intuito de analisar o transporte de aerossóis, foram investigados os sistemas atmosféricos atuantes sobre esses pontos com altos valores de EOA no dia de máximo valor do ponto. Os dados meteorológicos foram obtidos do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) com resolução espacial de $0,75^\circ$ para os níveis de pressão 1000mb, 900mb, 800mb, 700mb, 600mb, 500mb, 400mb, 300mb e 200mb, para análise e profundidade dos sistemas meteorológicos. Os dados são disponibilizados em horários sinóticos (00Z, 06Z, 12Z e 18Z) e devido a isso as análises foram realizadas no horário sinótico mais próximo do horário do pico de EOA pois a rede AERONET

faz medições a cada 15 minutos. Os campos utilizados foram Temperatura do ar para verificar a influência desta sobre a EOA, como também para saber o tipo de sistema sinótico atuante (baroclínico ou barotrópico) através da variação ou não da temperatura com altitude. A Advecção de Temperatura foi usada para saber que tipo de massa de ar está deslocando à ou da região analisada. As linhas de Correntes foram usadas para termos noção do transporte desses aerossóis além de contribuir para identificar os fenômenos atmosféricos atuantes nas regiões analisadas.

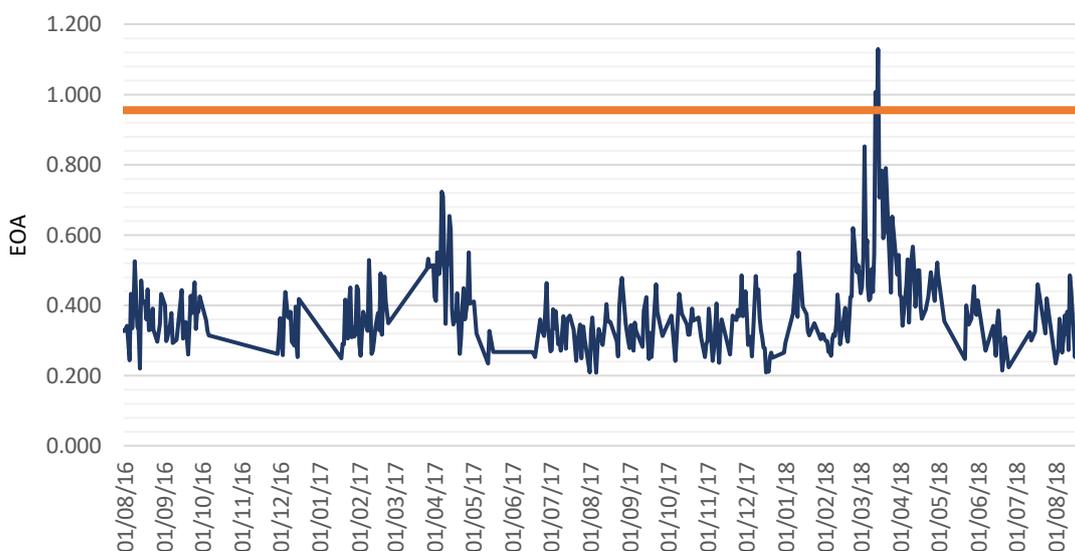
Utilizou-se ainda de imagens do satélite GOES 16, canal 14 IR Realçada, disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), disponível em: <http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes16.formulario.logic> e cartas sinóticas de superfície também disponibilizadas pelo INPE que podem ser encontradas em: <http://tempo.cptec.inpe.br/boletimtecnico/pt>.

4 Resultados

Dentre as semelhanças encontradas entre os pontos selecionados para análise de espessura ótica, os 4 tiveram seus valores máximos durante a atuação de dois sistemas meteorológicos atuando simultaneamente (Alta da Bolívia e VCAN), sendo 3 desses pontos com picos no mesmo mês do mesmo ano: UPC GEAB Valledupar (15/03/2018), UNC Palmira (23/03/2018) e QUITO (27/03/2018); e ainda 1 ponto com pico dois meses antes, porém no mesmo ano que o demais: Pilar Cordoba (28/01/2018).

O primeiro ponto a atingir valores acima do percentil 99 (geral) no mês de março de 2018 foi UPC GEAB Valledupar (Colômbia), atingindo seu máximo valor de EOA (1,658) no dia 15. O ponto deu início a seus altos valores desde o mês de fevereiro onde foi detectado valores de espessura ótica acima do percentil 99 geral no dia 23/02/2018 e permaneceu até o dia 24/02/2018. A espessura ótica dos aerossóis volta a subir para além do percentil 99 no dia 13/03/2018 e permanece até o dia 15/03/2018 onde foi constatado seu máximo valor de EOA. Depois do dia 15 a EOA não torna a aumentar, permanecendo com seus valores abaixo do percentil 99 durante toda a série de dados do ponto que vai de agosto de 2016 a agosto de 2018, como pode ser observado na figura 7.

Figura 7: Média diária de EOA para UPC GEAB Valledupar de 08/2016 a 08/2018.



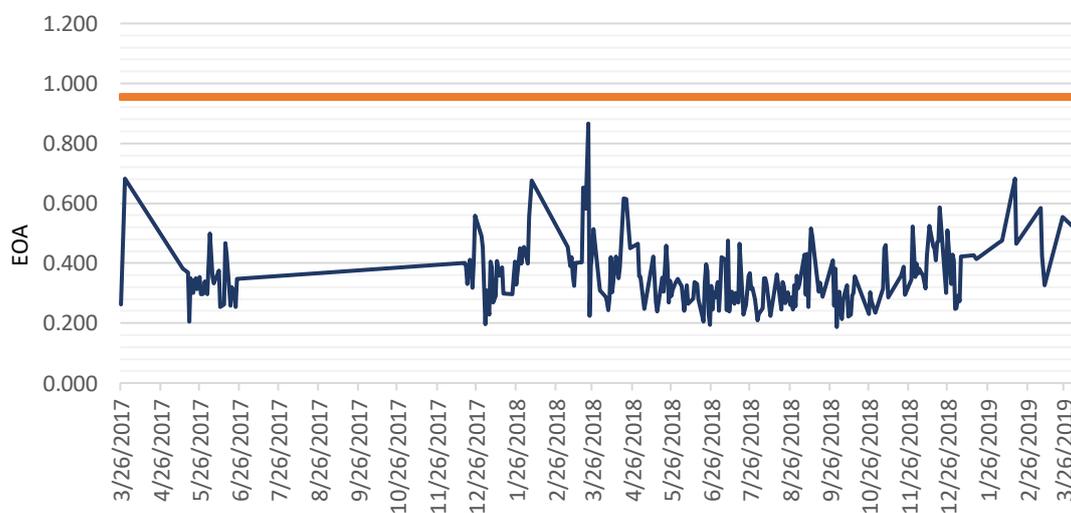
Com o auxílio da figura 7 é possível observar que os maiores valores de espessura ótica ocorreram no mês de março, o que pode ser considerado um padrão para essa região. Embora 03/2017 também se mostrou com valores maiores em relação aos outros meses, não apresentou números de EOA acima do percentil 99 geral, como foi o caso de 03/2018.

Nota-se a repetição do mesmo dia em meses diferentes na figura 7, isso acontece porque foi escolhido aleatoriamente um dia de cada mês para representar o restante dos dias do mês para que não poluisse a figura, mas esta foi gerada com todas as médias diárias da série de dados.

Com 8 dias de diferença de Valledupar, UNC Palmira (Colômbia) foi o segundo ponto a atingir valores acima do percentil 99 geral no mês de março de 2018, alcançando seu máximo valor (1,059) no dia 23/03/2018. Diferente do primeiro ponto, Palmira só apresentou altos valores (acima do P99) em um só dia, tendo todo o restante de suas medições de EOA abaixo do valor do percentil, sendo seu período de dados de 2017 a 2019.

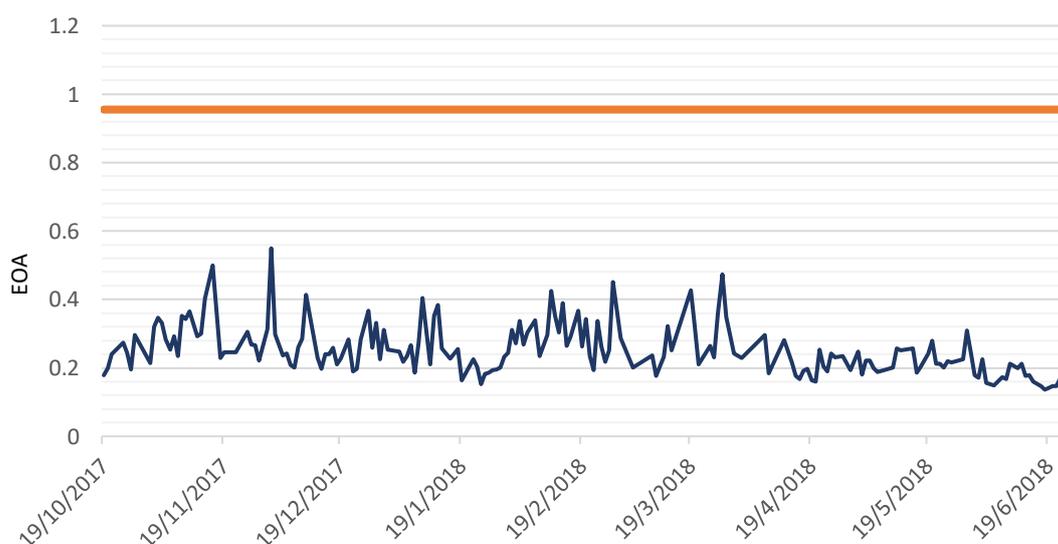
Com a figura 8 pode-se ver que os altos valores para os meses de março são frequentes, porém apenas em 03/2018 que o ponto alcançou valores acima do percentil 99. Como foram feitas médias diárias, os valores foram suavizados, o que fez com que o valor da média não atingisse o percentil 99.

Figura 8: Média diária de EOA para UNC Palmira de março, maio, junho e dezembro de 2017 até março de 2019.



No dia 27/03/2018 Quito USFQ (Equador) atingiu seu maior valor de espessura ótica dos aerossóis (0,978), sendo assim o terceiro ponto a alcançar esse valor em março de 2018. Assim como Palmira, Quito só apresentou EOA acima do percentil no dia do valor máximo analisado posteriormente, mas diferente dos outros dois pontos que o antecedem, foi detectada apenas uma medição acima do percentil no dia de pico, sendo que nos outros pontos existem várias medições de valores acima do percentil no mesmo dia de valor máximo. Porém, mesmo que as outras medições não atingissem o valor necessário para superar o percentil 99, estas ficaram bem próximas desse valor. A figura 9 mostra a média diária da série de dados de Quito, que foi a menor entre os pontos analisados neste trabalho. Também pode-se notar que o dia de pico aparece com uma elevação menor que o dia que representa o mês de dezembro de 2017, e isso ocorre pois em 01/12/2017 possui menor quantidade de medições (6) com valores muito próximos, que faz a linha subir. Já o dia de pico (27/03/2018) possui mais medições (26) onde além do valor máximo de EOA apenas algumas medições apresentam valores próximo do percentil 99 e os demais valores bem abaixo, o que faz a linha suavizar no gráfico.

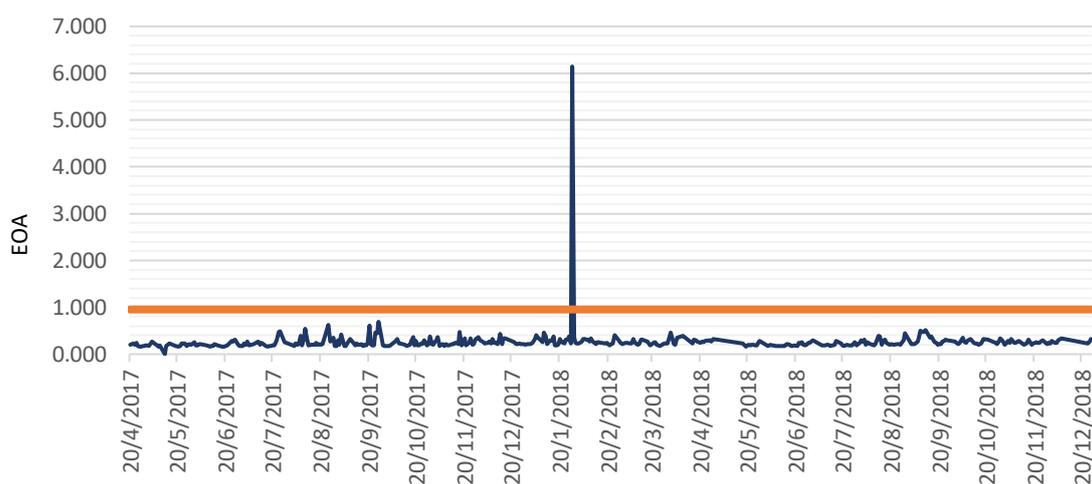
Figura 9: Média diária de EOA para Quito USFQ de outubro de 2017 a junho de 2018.



Como, diferente dos pontos anteriores, Quito não apresenta repetição de meses em seus dados, não se pode ter ciência se esse comportamento da EOA seria o esperado para essa região.

Antecedendo os três pontos anteriores, Pilar Cordoba (Argentina), teve seu pico de espessura ótica em 28/01/2018. O ponto apresentou o maior valor de EOA dentre os demais, atingindo 4,059 em espessura ótica dos aerossóis. Assim como Palmira e Quito o ponto só apresentou valores acima do percentil no mesmo dia do seu pico, porém possui várias medições com altos valores de EOA, altos o bastante para superar até os valores dos picos dos outros três pontos o que permaneceu por 3 horas consecutivas até então tornar, gradualmente, a baixar. Devido esses altos valores consecutivos, a figura 10 mostra um aumento exorbitante no mês de janeiro em relação aos outros meses. E devido à ausência de dados para mais meses de janeiro, não foi possível comparar esse aumento que foge do padrão do resto dos meses do ano.

Figura 10: Média mensal de EOA para Pilar Cordoba de abril de 2017 a dezembro de 2018.



Devido as coincidências encontradas entre os pontos citados, estes foram utilizados como alvo de estudo desse trabalho, sua distribuição sobre a área de estudo pode ser vista na figura 11.

Figura 11: Distribuição dos pontos de EOA sobre a América do Sul.



4.1 UPC GEAB Valledupar

Situado na Colômbia, UPC GEAB Valledupar, Colômbia, foi o primeiro ponto a alcançar valores acima do percentil 99 (0,955) no mês de março do ano de 2018, (15/03/2018), atingindo o valor de 1,658 de espessura ótica. A região (quadro preto) sofreu influência direta dos focos de queimadas, sendo estes encontrados na região do ponto de EOA no dia de máximo valor, o que pode ser comprovado na figura 12.

Figura 12: Focos de queimadas para o dia 15/03/2018.



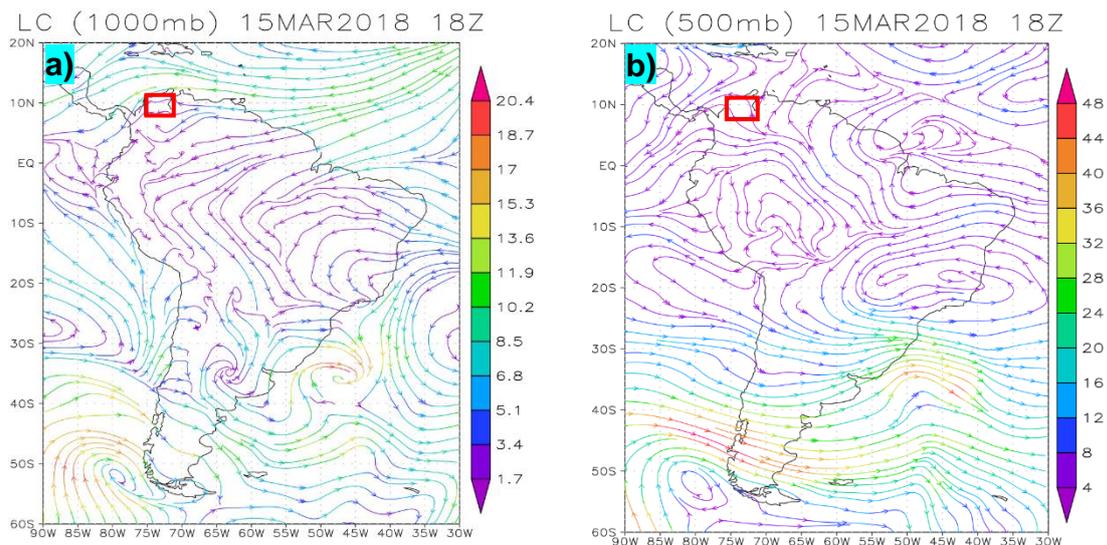
Fonte: INPE (2022).

Como o ponto de monitoramento analisado estava sobre influência direta dos focos de queimadas, não foi necessário traçar a trajetória reversa dessa massa de ar em busca de evidência da influência desses focos em seu percurso.

Devido a localização latitudinal do ponto em análise estar situado no extremo norte da AS (aproximadamente 9°N), os sistemas apresentam circulação contrária ao do Hemisfério Sul (HS). Dessa forma, o que seria anticiclone no HS passa a ser ciclone no Hemisfério Norte (HN). Essa mudança foi levada em consideração nas análises.

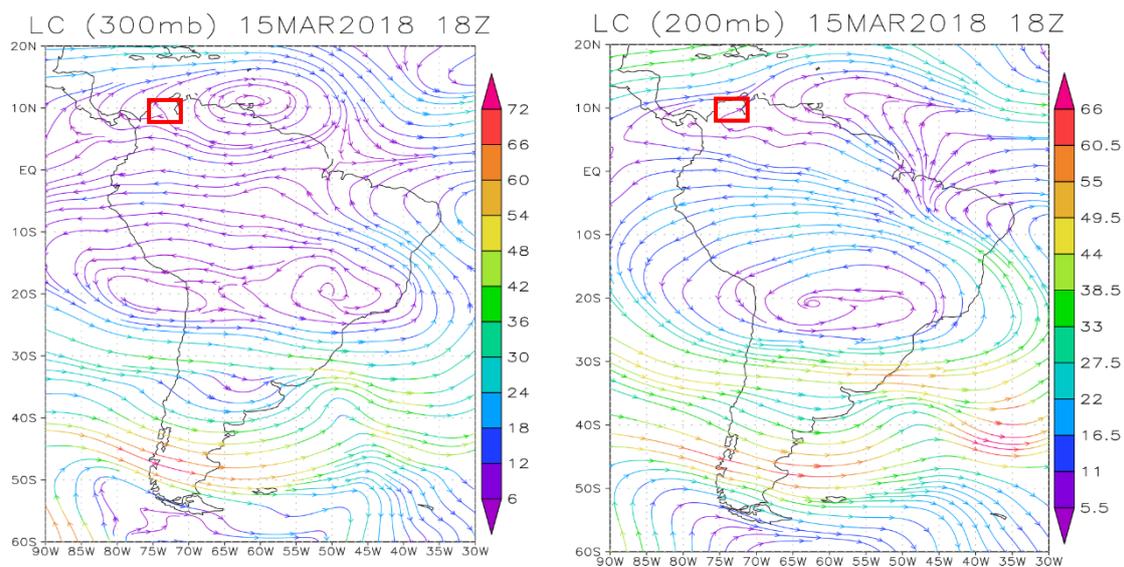
O ponto esteve sobre influência de cavados desde 1000mb até 400mb, o que pode ser visto na figura que representa os baixos (figura 13a) e médios níveis (figura 13b). Também é possível observar a presença da ASAS atuando no Oceano Atlântico.

Figura 13: Linhas de correntes para o dia 15/03/2018 as 18Z. a) 1000mb; b) 500mb.



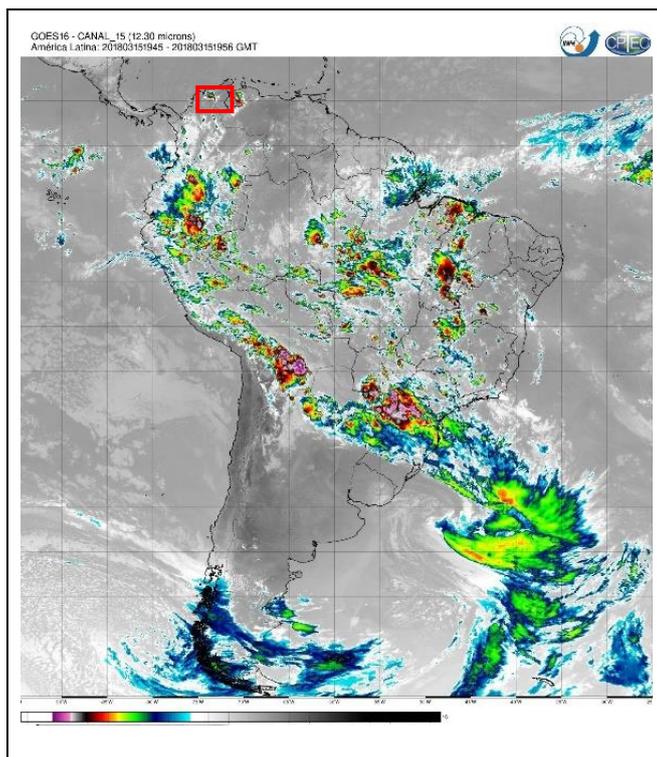
A partir de 300mb a região do ponto de EOA passa a ser influenciado por cristas, devido a formação de um anticiclone a leste do ponto (figura 14, a). Já em 200mb (Figura 14, b) o anticiclone não é mais detectado e o ponto passa a sofrer influência de cristas vindas da extensão de um cavado presente no Nordeste do Brasil.

Figura 14: Linhas de correntes para o dia 15/03/2018 as 18Z. a) 300mb; b) 200mb.



Nas imagens do Satélite Goes-16 (figura 15) é possível detectar a presença de nuvens de topo frio, que são caracterizadas por possuir desenvolvimento vertical, ao norte da região do ponto analisado (quadro vermelho), o que pode ser sinal de chuvas convectivas de forte intensidade.

Figura 15: Imagem do satélite Goes-16, infravermelho realçada (canal 14).



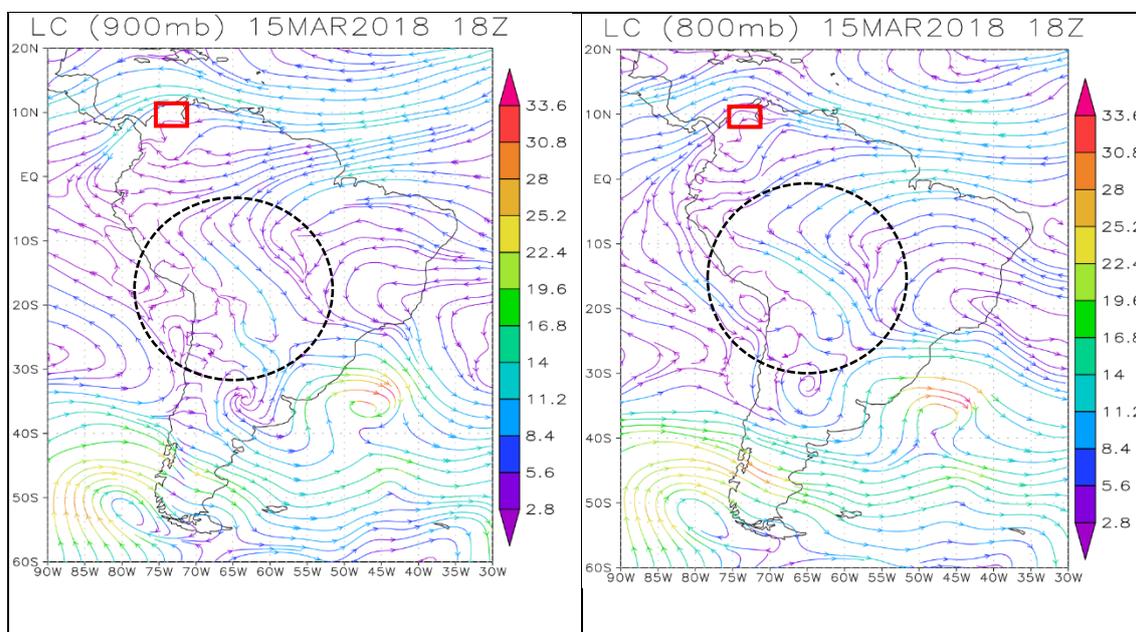
Fonte: INPE (2021).

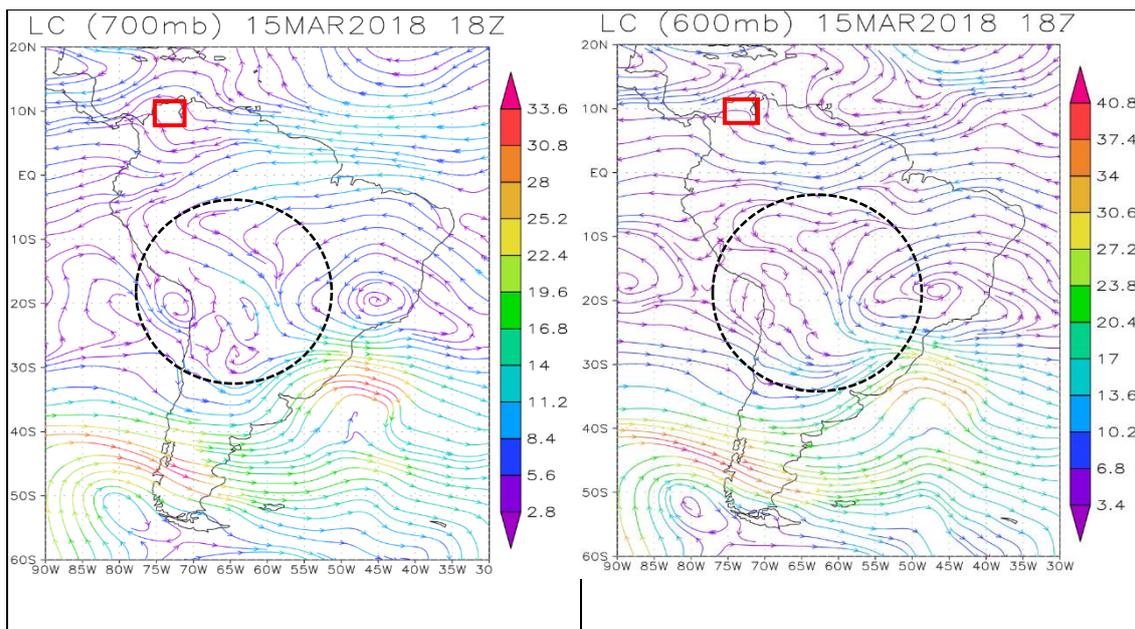
Foi identificada a presença do JBN em atuação sobre a América do Sul, a leste dos Andes. O que pode ser comprovado através da figura 16 (circulo preto), onde em 900mb (figura 16, a) já é identificada uma velocidade maior na região a leste dos Andes que se intensifica em 800mb (figura 16, b), onde é visto correntes com velocidade de, aproximadamente, 20m/s, que está dentro dos critérios para a identificação do sistema. A figura 16c e 16d mostram que essa velocidade diminui ao passar para as camadas superiores. Portanto, camadas acima de 2km, que também é um critério desse fenômeno. Também em 800mb é possível perceber que as linhas de correntes que representam os ventos alísios de Nordeste passam próxima a região do ponto de EOA (quadro vermelho), e

essas regiões estão repletas de focos de queimadas, como foi mostrado na figura 12. A passagem desses ventos sobre regiões de queimadas pode acarretar no transporte desses aerossóis, uma vez que essas partículas são levadas pelo vento seguindo o padrão de circulação da atmosfera.

Ainda pode-se ver, através da imagem de satélite (figura 15), uma formação de nebulosidade com sentido Noroeste-Sudeste semelhante a convergência do Atlântico Sul (ZCAS), porém de acordo com FEDOROVA (2008) para ser classificado como ZCAS, o fenômeno precisa perdurar por, no mínimo, 4 dias consecutivos. O que não foi o caso dessa linha de nebulosidade que se dissipou em menos de dois dias. A presença dos JBNs pode impulsionar o transporte das partículas presentes na região Norte da AS, onde foram identificados uma grande quantidade de focos de queimadas, como também dos aerossóis da região do ponto de EOA. Essas partículas podem ser transportadas até a região Sudeste da AS.

Figura 16: Linhas de correntes para o dia 15/03/2018 as 18Z. a) 900mb; b) 800mb; c) 700mb; d) 600mb.





4.2 UNC Palmira

Sendo o segundo ponto a atingir um valor superior ao percentil 99 no mês de março no ano de 2018, UNC Palmira (UNC), Colômbia, alcançou o valor 1,059 de espessura ótica no dia 23/03/2018.

Ao analisar o ponto de Palmira, percebeu-se que ele foi o único ponto de EOA dentre os quatro analisados que não sofreu influência das queimadas, o ponto de Palmira (esfera azul) não apresentou focos de queimadas em nenhum dos três dias analisados, o que pode ser comprovado pela figura 17, que nos mostram a sobreposição de focos entre os dias 21 e 23/03/2018.

Figura 17: Comparação da trajetória reversa da parcela de ar com focos de queimadas. a) Trajetória reversa em 96h; b) Focos de queimadas para os dias 21,22 e 23/03/2018.



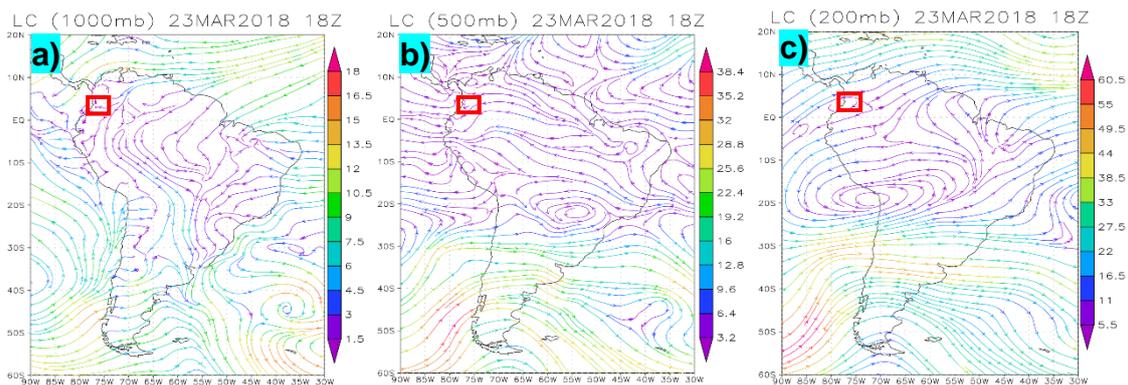
Fonte: a) HYSPLIT (2021); b) INPE (2021).

Ao comparar a figura 17a com a figura 17b é possível observar que a trajetória da parcela de ar não sofreu influência de focos de queimadas em nenhum dos dias de análises durante seu percurso até o ponto de EOA.

Localizado, latitudinalmente, a aproximadamente 3,5 graus norte o ponto analisado fica bem próxima a região de encontro dos ventos alísios, e assim como UPC a mudança da denominação dos sistemas para o Hemisfério Norte foi utilizada nas análises.

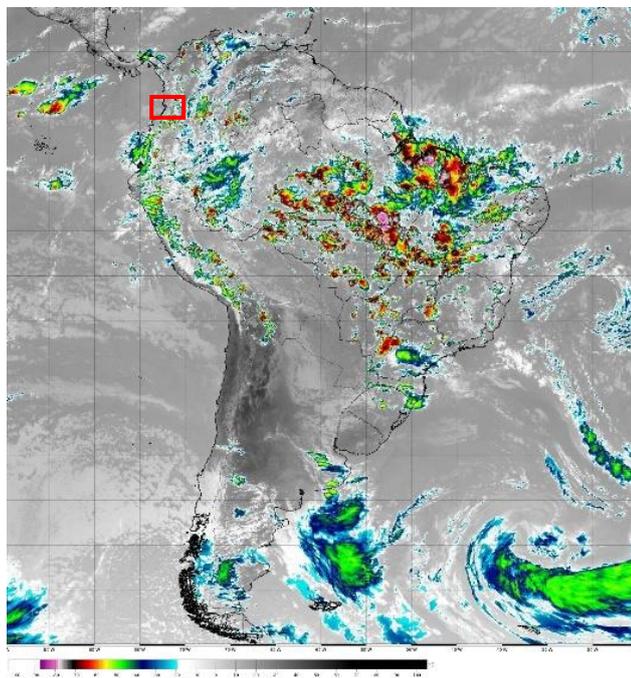
Em 1000mb (figura 18a) a região do fotômetro solar (quadro vermelho) esteve sob influência da extensão de uma crista vinda a nordeste do ponto. A situação permanece até 700mb, já em 600mb um cavado passa a atuar sobre a região que é resultado de uma formação anticiclônica entre, aproximadamente, 15°S e 13°S. Em 500mb (figura 18b) o ponto apresenta influência apenas de cavados, enquanto o anticiclone mencionado já não foi detectado neste nível de pressão. Em 400mb e 300mb a região está sobre a influência de cristas até 200mb onde foi possível observar uma formação anticiclônica sobre a região. Embora um padrão de circulação anticiclônica esteja atuando sobre grande parte da AS, a região de Palmira, em altos níveis, fica sobre total influência de uma formação anticiclônica formada e com seu núcleo posicionado sobre o ponto de aerossol.

Figura 18: Linhas de correntes para o dia 23/03/2018 as 18Z. a) 1000mb; b) 500mb; c) 200mb.



Através das imagens de satélite na figura 19 é possível constatar a presença de nuvens de topo frio espalhadas sobre Palmira (quadro vermelho). Essas nuvens representam forte atividade convectiva, como também a provável presença de fortes chuvas.

Figura 19: Imagem do satélite Goes-16, infra vermelho realçada (canal 14), para o dia 23/03/2018.



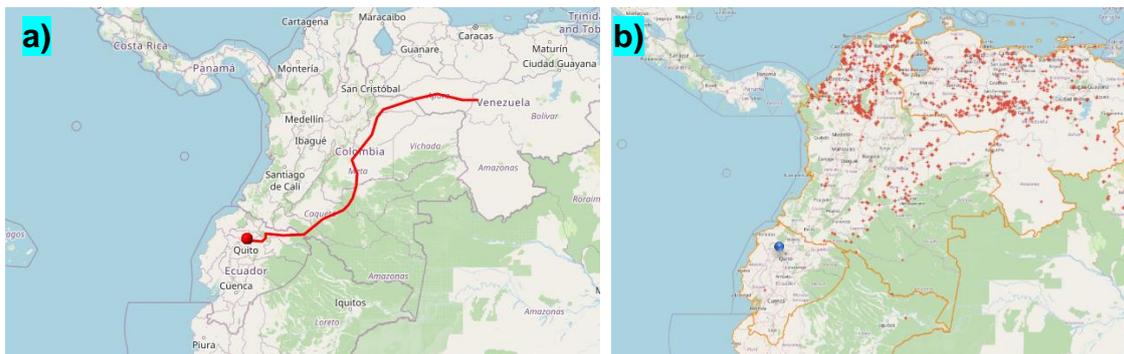
Fonte: INPE (2021).

4.3 Quito USFQ

Posicionado sobre o Equador, o ponto de aerossol atingiu seu máximo valor de espessura ótica dos aerossóis no dia 27/03/2018. Sendo o terceiro ponto do mês de março a atingir valores acima do percentil 99, alcançou o valor de 0,978 sendo o valor mais baixo de EOA entre os quatro pontos analisados. Porém, ainda acima do percentil 99 encontrado.

Durante os três dias de análises não foram identificados focos de queimadas sobre a região do ponto de EOA, como comprova a figura 20. Porém, no decorrer da trajetória da parcela de ar, esta passou por regiões com presença e densidade desses focos levando possivelmente consigo esses aerossóis de queimadas até a região de Quito.

Figura 20: Comparação da trajetória reversa da parcela de ar com focos de queimadas. a) Trajetória reversa em 96h, Hysplit; b) Focos de queimadas para os dias 25,26 e 27/03/2018.

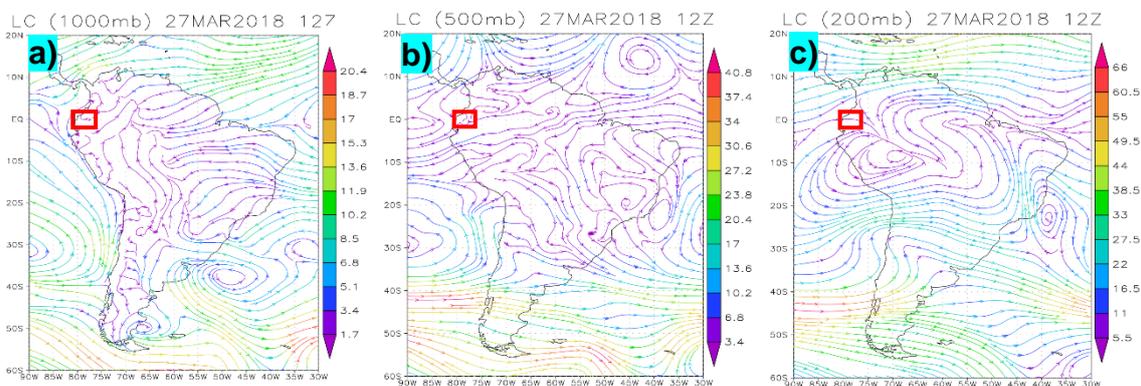


Fonte: INPE (2021).

Como Quito se encontra aproximadamente a 0.1°S de latitude as análises foram feitas em relação ao Hemisfério Sul. Em 1000mb (figura 21a) é possível identificar um pequeno cavado sobre a região. Um pouco mais acima, em 900mb a região fica entre a atuação de uma crista vinda a sudeste do ponto e um cavado vindo a sudoeste do ponto. Em 800mb Quito fica sobre influência da extensão de uma crista resultado de um anticiclone posicionado sobre o Oceano Atlântico. A situação permanece até 600mb. Em médios níveis, 500mb (figura 21b), a região fica sob a influência de um cavado e permanece até 400mb. A situação muda em 300mb quando um anticiclone formado no Oceano Pacífico estende

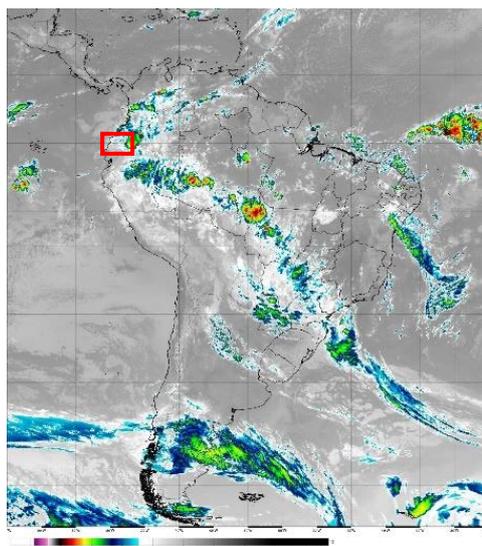
sua crista sobre Quito e em 200mb a região do ponto de EOA continua sobre a influência de cristas, porém agora resultantes da Alta da Bolívia.

Figura 21: Linhas de correntes para o dia 27/03/2018 as 12Z. a) 1000mb; b) 500mb; c) 200mb.



A imagem de satélite (figura 22) nos permite ver que a região de Quito está sob a influência de nuvens de topo frio e conseqüentemente forte instabilidade e chuva.

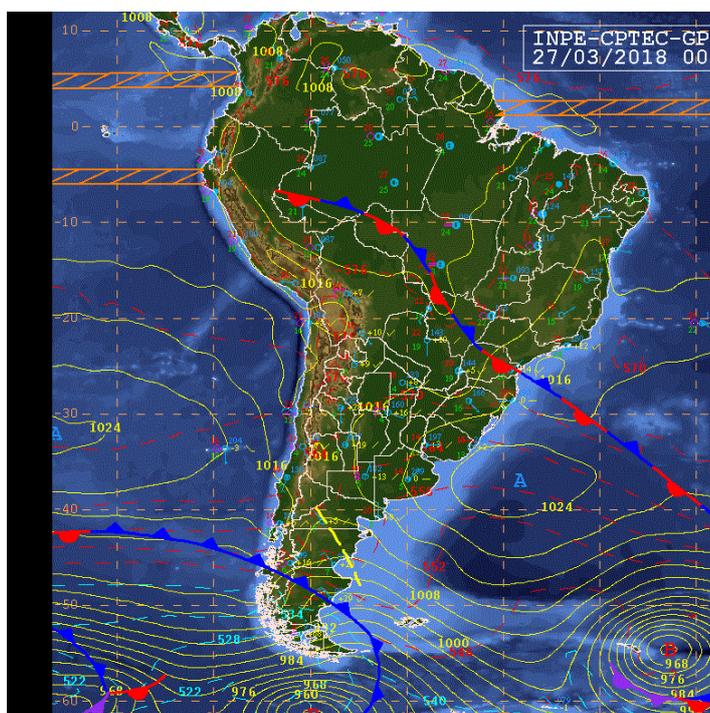
Figura 22: Imagem do satélite Goes-16, infra vermelho realçada (canal 14), para o dia 27/03/2018.



Fonte: INPE (2021).

Assim como em Palmira, é visto uma faixa de nebulosidade com sentido Noroeste-Sudeste da AS, mas também não se trata da ZCAS, devido seu tempo de permanência inferior a 4 dias. Trata-se a existência de uma frente fria estacionário sobre o continente, como pode ser visto na figura 23.

Figura 23: Carta sinótica em superfície para o dia 27/03/2018.



Fonte: INPE (2022).

4.4 Pilar Cordoba

Localizado na Argentina, o ponto de medição de EOA atingiu seu máximo valor no dia 28/01/2018, com 4,059 de espessura ótica. Mesmo tendo a trajetória da parcela de ar originada no Oceano Pacífico (figura 24a), ao adentrar o continente essa parcela sofreu influência de regiões de queimadas (figura 24b) em seu percurso, mesmo estando fora do período de queimadas, que vai de agosto a novembro, no Brasil, (Oliveira, 2007) que possui maior porcentagem da Floresta amazônica, o que pode explicar esse alto valor de espessura ótica numa região distante de biomas amazônico ou Mata Atlântica.

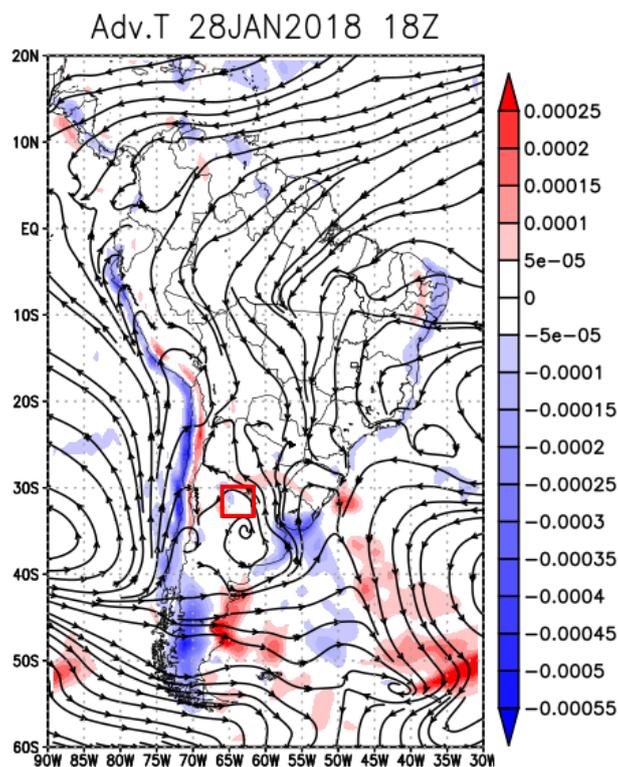
Figura 24: Comparação da trajetória reversa da parcela de ar com focos de queimadas. a) trajetória reversa em 96 horas; b) focos de queimadas para o dia 22, 23 e 24/08/2010



Fonte: INPE (2021).

A região esteve sobre influência de cristas e anticiclones em todas as suas camadas de níveis de pressão, o que pode ser observado na figura 25, onde pode-se ver tanto linhas de correntes quanto advecção de temperatura do ar em 1000mb. A região do ponto de EOA está dentro do quadro vermelho, onde pode-se identificar vestígios de advecção do ar frio, possivelmente deixados após a passagem de uma frente fria que pode ser identificada a sudeste do ponto de espessura ótica. Também pode ser avistado atuando sobre a região uma formação anticiclônica, representada pelas setas no sentido anti-horário, o qual tem seu núcleo bem próximo do ponto de EOA.

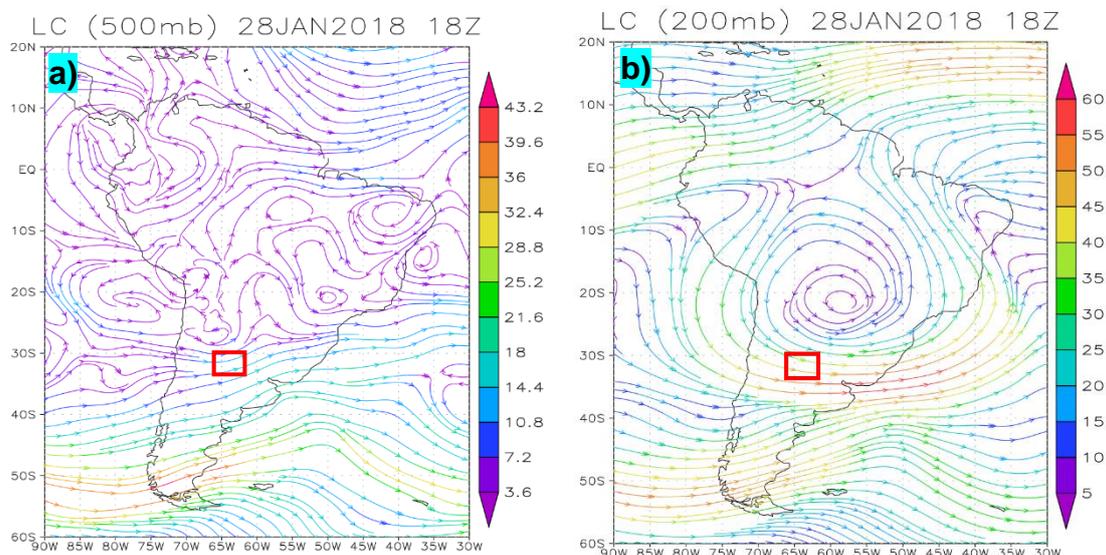
Figura 25: Advecção de temperatura para o dia 28/01/2018 as 18Z.



O anticiclone identificado sobre o ponto esteve presente até 600mb e sua inclinação segue na direção noroeste, tendo seu núcleo posicionado sobre o ponto de medição da AERONET no nível 700mb.

Nos médios níveis, mais especificamente em 500mb (figura 26a), o ponto sofre influência apenas de cristas decorrentes de formações anticiclônicas ao norte da região de PC (quadro vermelho), o que segue até 300mb, onde pode ser vista a Alta da Bolívia que influencia diretamente Pilar Cordoba até 200mb (figura 26b).

Figura 26: Linhas de correntes para o dia 28/01/2018 as 18Z. a) 500mb; b) 200mb.



Ao observar os três primeiros pontos, percebe-se uma diminuição dos valores de EOA de forma consecutiva, ou seja, no primeiro ponto que marcou valores de espessura ótica maior que o percentil 99 o valor máximo de seu pico foi maior que o valor máximo do segundo ponto, e dessa forma o valor máximo do segundo ponto foi maior que o do terceiro. Esse fato pode significar que os aerossóis do segundo e terceiro ponto foram transportados a partir da região do primeiro ponto. Uma das possibilidades é de que a região de Quito teve a trajetória da sua parcela de ar vinda exatamente de regiões próximas de Valledupar e sofreu influência de forma indireta dos focos de queimadas, isso quer dizer que não foram identificados focos de queimadas sobre a região no dia de pico, sendo estes transportados até ele.

5 Conclusão

As análises sinóticas foram feitas para os dias de maiores valores de espessura ótica sobre pontos da AERONET selecionados na América do Sul, o que nos permitiu uma melhor compreensão do que acontecia na atmosfera nesses períodos de picos de EOA.

A tentativa de encontrar um padrão, primeiramente, no comportamento da EOA não se tornou possível devido ao período de dados diferentes encontrados para cada ponto de medição da AERONET. Apenas algumas suposições foram possíveis ser feitas com base nos dados, como foi o caso de Valledupar e Palmira que ainda dispuseram de algumas repetições dos meses, nos fazendo ter uma noção inicial de que o aumento da EOA naquele período seria esperado.

Para os sistemas meteorológicos presentes durante os picos de EOA dos pontos selecionados, os únicos que se repetiam, devido os meses que se identificaram os altos valores de EOA, fora AB e VCAN que foram encontrados atuando ao mesmo tempo em todos os pontos. Ainda foram detectados que JBNs podem ser grandes contribuintes para o transporte de partículas de aerossol devido a sua detecção e de sua posição nos diversos dias analisados neste trabalho.

Mesmo sendo o ponto com maior valor de espessura ótica dentre os pontos analisados neste trabalho, Pilar Cordoba não mostra conexão com os outros 3 pontos, uma vez que entre seu pico e o de Valledupar, que foi o primeiro ponto a atingir valores altos no mês de março de 2018, tem uma diferença de mais de um mês, o que pode significar que mesmo com um valor exorbitante de EOA não se trate do mesmo fenômeno de queimadas que influenciou os outros pontos. Outro fator é que os valores altos de espessura ótica de Pilar Cordoba duraram algumas horas e tornaram a ser bem abaixo do percentil e não tornou a aumentar, dessa forma não tendo picos próximo dos dias de alto valor dos outros pontos analisados. Em relação ao transporte, pela localização de Pilar Cordoba estar bem acima latitudinalmente dos três primeiros pontos tornaria

ainda mais difícil chegar até os pontos acima dele, a depender dos sistemas presentes na atmosfera.

Em suma, conseguiu-se atingir os objetivos propostos chegando à conclusão de que não há padrão atmosférico que aumente o valor da espessura ótica dos aerossóis, mas há sistemas que favorecem sua dispersão e seu transporte para regiões distantes de sua fonte de emissão.

Para sugestão de trabalhos futuros, seria a relação dos principais (ou mais presentes) sistemas meteorológicos com o transporte de aerossóis de queimadas, de forma que explanasse como cada sistema presente na atmosfera contribui para esse transporte. Seja verticalmente alcançando a alta troposfera, seja horizontalmente levando essas partículas para outras áreas do globo.

6 Referências bibliográficas

ALBRECHT, R. I.; Morales, C. A. **Microfísica das Nuvens**. Documento eletrônico. Disponível em: <<http://chuvaproject.cptec.inpe.br/portal/saoluis/curso/rachel/MicrofisicaDasNuvens.pdf>>. Acesso em 07 nov .2021.

ALVES, C. **Aerossóis atmosféricos: perspectiva histórica, fontes, processos químicos de formação e composição orgânica**. Química nova, v. 28, n. 5, p. 859-870, 2005.

ARTAXO, P.; Oliveira, P. H.; Lara, L. L.; Pauliquevis, T. M.; Rizzo, L. V.; Junior, C. P.; Correia, A. L. et al. **Efeitos climáticos de partículas de aerossóis biogênicos e emitidos em queimadas na Amazônia**. Revista brasileira de meteorologia, v. 21, n. 3a, p. 168-22, 2006.

ASHRAFI, K., Shafiepour-Motlagh, M., Aslemand, A., & Ghader, S. (2014). **Dust storm simulation over Iran using HYSPLIT**. Journal of environmental health science and engineering, 12(1), 1-9.

BASTOS, C. C.; Ferreira, N. J. **Análise climatológica da alta subtropical do Atlântico Sul**. CEP, v. 12220, n. 110, p. 973-990, 2000.

CAIRES, L. **Aerossóis poluentes interferem na atmosfera, no clima e na saúde**. 31/07/2019. Acesso em 16/09/2021. Disponível em: <https://jornal.usp.br/ciencias/ciencias-exatas-e-da-terra/aerossóis-poluentes-interferem-na-atmosfera-no-clima-e-saude/>.

CASTRO, J. M. **Influência da alta subtropical do Atlântico Sul no regime de precipitação do litoral do Paraná e Santa Catarina**. Pontal do Paraná, 2018.45 P. Monografia (Bacharelado em oceanografia) - Universidade Federal do Paraná.

CAMPOS, A. M. V. **Modelos conceituais de formação da corrente de jato no nordeste brasileiro**. Maceió, 2010. 94 P. Dissertação (Mestrado em meteorologia) – universidade Federal de Alagoas.

COSTA, A. A.; Pauliquevis, T. **Aerossóis, nuvens e clima: resultados do experimento LBA para o estudo de aerossóis e microfísica de nuvens**. Revista brasileira de meteorologia, v. 24, p. 234-253, 2009.

COSTA, A. A.; Júnior, T. M. P.; De Souza, E. P.; Martins, J. A.; Y. M.; Andrade, M. F.; Barbosa, H. M. J. **Aerossóis atmosféricos e nuvens**. 2015. Acesso em: 06/10/2021. Disponível em: http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos_publicos/GT1/GT1_volume_completo_cap6.pdf

COSTA, M. S. **Vórtice ciclônico em altos níveis associados à corrente de jato no nordeste brasileiro nos anos de 1998-2007**. Maceió, 2010. 113 P. Dissertação (Mestrado em meteorologia) – Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas.

DOS SANTOS, D. F.; REBOITA, M. S. **Jatos de baixos níveis a leste dos andes: comparação entre duas reanálises**. Revista Brasileira de Climatologia, v. 22, 2018.

DRAXLER, R. R.; ROLPH, G. D. **HYSPLIT** (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) model access via NOAA ARL READY website (<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>), NOAA Air Resources Laboratory. Silver Spring, MD, v. 25, 2010.

EDISCIPLINAS. Circulação geral da atmosfera. Documento eletrônico. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4932088/mod_resource/content/1/Slides_Circula%C3%A7%C3%A3o_Geral.pdf. Acesso em: 26 fev. 2022.

FEDOROVA, N. Sinótica III-Frentes, Correntes de Jato. UFAL. Material didático: Sinopses, figuras, equações. Maceió: Editora EDUFAL, 2008.

FEITOSA, N. R. **Desempenho de meios filtrantes na remoção de partículas nanométricas de aerossóis**. 2009. 156 P. Dissertação (Mestrado em engenharia química) – Universidade Federal de São Carlos.

FERNANDES, E. P. **Estudo das propriedades químicas e físicas dos aerossóis submicrométricos na Amazônia Central**. 2018. 81 P. Dissertação

(Mestrado em clima e ambiente) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade Estadual do Amazonas.

FERREIRA, T. G. **Sistemas meteorológicos e sua relação com altos valores de espessura ótica dos aerossóis no Rio Grande do Sul**. Pelotas, 2015. 129 P. Dissertação (Mestrado em meteorologia). Universidade Federal de Pelotas.

FREITAS, S.R.; LONGO, K. M.; SILVA DIAS, M.; ARTAXO, P. **Numerical modelling of air mass trajectories from the biomass burning areas of the Amazon basin**. *Annais da Academia Brasileira de Ciências*, v.68, p.193-206, 1997.

FREITAS, S. R. **Modelagem numérica do transporte e das emissões de gases traços e aerossóis de queimadas no Cerrado e Floresta Tropical da América do Sul**. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, 1999.

FREITAS, S. R.; SILVA DIAS, M. A. F.; SILVA DIAS, P. L.; LONGO, K. M.; ARTAXO, P.; ANDREAE, M. O.; FISCHER, H. **A convective kinematic trajectory technique for low resolution atmospheric models**. *Journal of Geophysical Research*, v.105, n.D19, p.24.375-24.386, 2000.

FREITAS, S. R.; Longo, K. M.; Dias, M. A. F.; Dias, P. L. **Emissões de queimadas em ecossistemas da América do Sul**. *Estudos avançados*, v. 19, n. 53, p. 167-185, 2005.

GARCIA, R.; Pivetta, M. **Como monitorar o fogo**. *Revista Pesquisa*. 2019. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/como-monitorar-o-fogo/>>. Acesso em: 17/02/2022.

GUEDES, A. G. **Caracterização do transporte de aerossóis de poeira saariana sobre Natal-RN através da técnica de despolarização LIDAR**. Natal, 2019. 165 p. Tese (Doutorado em Ciências Climáticas) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

INSTITUTO Nacional de Meteorologia. Documento eletrônico. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 27 fev. 2022.

INSTITUTO de Pesquisas Espaciais. Documento eletrônico. Disponível em: <<https://www.gov.br/inpe/pt-br>>. Acesso em: 27 fev. 2022.

KARAM, H. A. **Estudo do jato de baixos níveis de Iperó e das implicações no transporte de poluentes no Estado de São Paulo**. São Paulo, 2002. 213 p. Tese (Doutorado em meteorologia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo.

SU, L., Yuan, Z., Fung, J. C., & Lau, A. K. (2015). **A comparison of HYSPLIT backward trajectories generated from two GDAS datasets**. *Science of the Total Environment*, 506, 527-537.

LOURENÇO, M. C. M.; Ferreira, N. J.; Gan, M. A. **Vórtices ciclônicos em altos níveis de origem subtropical**. *Climanálise Especial*, v. 10, p. 163-167, 1996.

LONGO, K. M. **Aerossóis e aquecimento global**. 01/08/2005. Acesso em: 16/09/2021. Disponível em: <https://cienciahoje.org.br/artigo/aerossóis-e-aquecimento-global/>.

Marengo, J. A., Soares, W. R., Saulo, C., Nicolini, M. 2004. **Climatology of the low-level jet east of the Andes as derived from the NCEP–NCAR reanalyses: Characteristics and temporal variability**. *Journal of climate*, 17(12), 2261-2280.

MASTER. **Convecção Amazônica e Alta da Bolívia**. 2010. Disponível em: <http://www.master.iag.usp.br/static/downloads/apostilas/aula13_Conveccao-Amazonica-e-AB.pdf> Acesso em: 14/01/2022.

MENEZES, M. Â. B. C. **Composição elementar do material particulado presente no aerossol atmosférico do município de Sete Lagoas, Minas Gerais**. *Química Nova*, v. 30, p. 1233-1239, 2007.

OLIVEIRA, P. H., Artaxo, P., Pires, C., De Lucca, S., Procópio, A., Holben, B., Rocha, H. R. 2007. **The effects of biomass burning aerosols and clouds on the CO₂ flux in Amazonia**. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 59(3), 338-349.

OLIVEIRA, A. M., **Estudo do Impacto dos Aerossóis na Espessura Óptica da Atmosfera na Região Sul do Brasil**. 2013, 149p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Programa de Pós-Graduação em Meteorologia – PPGMet, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

PAULIQUEVIS, T., Artaxo, P., Oliveira, P. H., Paixão, M. (2007). O papel das partículas de aerossol no funcionamento do ecossistema amazônico. *Ciência e Cultura*, 59(3), 48-50.

PRADO, N. V.; COELHO, S.M.S da C. **Estudo da variabilidade temporal da profundidade óptica do aerossol atmosférico na região sul da Amazônia durante o período de 2000 a 2015**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, n. 4, p. 649-658, 2017. Banco de dados de queimadas. Disponível em: <http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/>. Acesso em: 30 de julho de 2020.

PRADO, N. V.; COELHO, S.M.S da C. **Estudo da variabilidade temporal da profundidade óptica do aerossol utilizando dados de sensoriamento remoto sobre a região de transição entre a floresta amazônica e o cerrado**. (2017). *Revista Brasileira de Meteorologia*, 32, 649-658.

PROCOPIO, A. S., Artaxo, P., Kaufman, Y. J., Remer, L. A., Schafer, J. S., & Holben, B. N. (2004). **Análise plurianual da forçante radiativa do clima pela queima de fumaça de biomassa amazônica**. *Geophysical Research Letters*, 31 (3).

QUEIROZ, P. G. M.; Jacomino, V. M. F.; Menezes, M. Â. de B. **Composição elementar do material particulado presente no aerossol atmosférico do município de Sete Lagoas, Minas Gerais**. *Química Nova*, v. 30, n. 5, p. 1233-1239, 2007.

REBOITA, M. S.; Campos, B.; Santos, T.; Gan, M. A.; Carvalho, V. S. **Análise sinótica e numérica de um VCAN no Nordeste do Brasil**. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 10, n. 1, pág. 41-59, 2017.

REBOITA, M. S.; Krusche, N.; Ambrizzi, T.; Rocha, R. P. da. **Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul**. 2012. Repositório Institucional da Universidade de Rio Grande. Disponível em: <<http://repositorio.furg.br/handle/1/4742>>. Acesso em: 02 jan. 2022.

RECUERO, F. S. **Estudo do transporte das partículas de aerossol de queimada via sensoriamento remoto**. São Paulo, 2003. 136 p. Dissertação

(Mestrado em Ciências) – Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo.

SEINFELD, J. H., and Spyros, N. P. "**Atmospheric Chemistry and Physics: from air pollution to climate change.** New York. John Willey & Sons." *Inc.–1999.-1295 P* (1998).

SEINFELD, J.; PANDIS, S. **Atmospheric Chemistry and Physics.** Hoboken, New Jersey: 2ed. John Wiley & Sons, Inc., 2006. 1248p.

SETZER, A. Perguntas frequentes. **Programa queimadas.** 2020. Disponível em: <<http://www.inpe.br/queimadas/portal/informacoes/perguntas-frequentes>>. Acesso em: 17/02/2021.

SOARES, A. E. B. **Método de inversão para determinação de concentrações de vapor d'água, ozônio e aerossóis na atmosfera, a partir dos sinais de um radiômetro de leds, em tempo real.** Salvador, 2010. 127 p. Dissertação (Mestrado em Física) – Instituto de Física, Universidade Federal da Bahia.

STEIN, A. F. **NOAA's HYSPLIT Atmospheric Transport and Dispersion Modeling System.** *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 96, n. 12, pág. 2059- 2077, 2015.

VENEROS, E. M. M. **Impacto das queimas de biomassa na qualidade do ar de cidades da Bolívia.** Londrina, 2021. 98 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Vera, C., Higgins, W., Ambrizzi, T., Amador, J., Garreaud, R., Gochis, D., Mechoso, C. R. Noguez-Paegle S. D., P. L; Zhang, C. (2006). **Toward a Unified View of the American Monsoon Systems.** *Journal of Climate*, 19(20), 4977-5000.