



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NA OCORRÊNCIA DE QUEIMADAS E INCÊNDIOS FLORESTAIS NA AMAZÔNIA

Janáina Gabriela da Fonseca

Relatório de Iniciação Científica do Programa PIBIC, orientado por Dr. Luiz Eduardo Oliveira e Cruz de Aragão e co-orientada pela Dr^a. Ana Carolina Vasques Freitas e pelo Dr. Ricardo Dal'Agnol da Silva.

INPE

São José dos Campos

2020

RESUMO

Os incêndios e as queimadas que ocorrem no Bioma Amazônico causam grandes prejuízos à fauna e flora locais, mas também podem influenciar outras regiões por meio do transporte de fumaça - fenômeno este que não é comumente evidenciado. Este estudo teve como objetivo avaliar as ocorrências de queimadas e incêndios na Amazônia, associadas às variáveis meteorológicas e analisar o evento ocorrido nos dias 18 a 20 de agosto de 2019, quando a pluma de fuligem proveniente das queimadas alcançou a cidade de São Paulo - SP e provocou o que ficou conhecido como “chuva preta”. Por isso, foram obtidas as variáveis ambientais (temperatura, precipitação, velocidade do vento e umidade relativa), a partir da base de dados do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) e do banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Foram feitos os cálculos de anomalias e estatística descritiva para cada uma dessas variáveis e a influência dos incêndios no evento de chuva preta em São Paulo foi avaliada por meio da análise da Profundidade Óptica de Aerossóis (AOD), que é uma medida da quantidade de partículas presentes na atmosfera. Finalmente, aplicou-se o modelo Hysplit para simular a trajetória progressiva e reversa das partículas de fuligem no dia do evento analisado e rastreou-se a propagação destas partículas até São Paulo. O mapa de trajetória simulado pelo Hysplit mostrou que as trajetórias no dia do evento alcançaram a região sudeste provenientes da região com foco de queimadas a uma altura mínima de 1.000 m. O mapa de AOD mostrou que na região de São Paulo havia elevada concentração de partículas, confirmando o transporte apontado pelo modelo Hysplit. A partir dessas análises, foi possível demonstrar a importância da análise conjunta das anomalias de AOD com o transporte do material particulado para São Paulo para que se possa compreender melhor as influências e consequências das queimadas na região Amazônica, que podem ter efeitos não só locais, mas também em outras regiões.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área de estudo.	9
Figura 2 - Fluxograma do estudo.	10
Figura 3 - Área queimada em agosto de 2019 (esquerda) e anomalia de queimadas em agosto de 2019 (direita). Fonte: BDQueimadas - InfoQueima 2019.	11
Figura 4 - Mapa de anomalia de precipitação (mm) para agosto de 2019. Áreas em azul representam precipitação mais alta que a média, enquanto que áreas em laranja e vermelho mais baixo que a média. Fonte: INPE/CPTEC.	12
Figura 5 - Mapas de anomalia de temperatura mínima (esquerda) e temperatura máxima (direita) para Agosto de 2019. Fonte: INPE/CPTEC.	13
Figura 6 - Mapas de AOD médio de Agosto entre 2000-2020 (esquerda), AOD para agosto de 2019 (centro), e anomalia AOD de agosto de 2019 (direita). Fonte: Autor deste (2021).	14
Figura 7 - Trajetória das partículas de ar que chegaram à capital de São Paulo modeladas pelo modelo Hysplit. Fonte: Autor deste (2021).	15

SUMÁRIO

1. Introdução	5
2. Revisão da literatura	6
2.1. Amazônia, clima e ação humana	6
2.2. Efeitos de secas nas queimadas da Amazônia	7
3. Materiais e métodos	8
4. Resultados	11
5. Discussão	15
6. Conclusões	16
Referências	18

1. Introdução

Praticamente todos os anos são veiculadas notícias referentes a desmatamento e degradação ambiental na Amazônia. As queimadas na região são geralmente devido à expansão agrícola e à ocupação de terras. De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2020) em seu Programa de Monitoramento de Queimadas e Incêndios Florestais, a área queimada da região no ano de 2019 foi de 72.501 km². Esta área é equivalente à extensão dos estados de Rio de Janeiro e Alagoas juntos. Além disso, o Sistema de Detecção do Desmatamento em Tempo Real (DETER), também do INPE, mostrou uma taxa de 9,8 km² de desmatamento por corte raso em 2019 na Amazônia. A floresta amazônica é a maior floresta tropical equatorial do mundo e sua maior parte está localizada na região do norte do Brasil, porém, sua enorme extensão abrange também outros oito países da América do Sul. O bioma amazônico corresponde a cerca de 49% do território brasileiro e apresenta papel importante nas questões de disponibilidade mundial de água e reservas minerais (IBGE, 2020).

Estudos têm apontado como causas das queimadas na Amazônia a ação humana e o clima. Logo, o monitoramento do risco de incêndio, aliado ao monitoramento meteorológico, é fundamental para caracterizar regiões que apresentam vulnerabilidade à ocorrência de incêndios, e promover ações de prevenção, vigilância, monitoramento e combate aos incêndios, bem como o dimensionamento de infraestrutura e de equipes (MACHADO et al., 2014; DEPPE et al., 2004).

Segundo Justino et al. (2002), a maior incidência de focos de calor, ou “focos de queimadas”, ocorre no Brasil de junho a outubro (período de estiagem) quando parte da vegetação em seu ciclo fenológico tende a perder as folhas, reduzindo assim a evapotranspiração. Com a queda das folhas, abre-se no dossel espaço para a penetração da radiação solar que seca ainda mais gravetos, galhos e folhas, aumentando a flamabilidade da floresta. Porém, de acordo com os autores, como sua ignição depende na maioria dos casos de intervenção humana, padrões locais de uso do solo, de transformação da vegetação e de tecnologias agrícolas devem necessariamente ser incorporados em modelos de potencial de ocorrência de queimadas e incêndios intencionais, inclusive em períodos chuvosos.

Dado que a floresta Amazônica apresenta fundamental relação com o clima do planeta e abriga vasta biodiversidade e importantes ecossistemas, e que esta região é foco de crescente desmatamento, este estudo teve como objetivo avaliar as ocorrências de queimadas e incêndios na Amazônia, associadas às variáveis meteorológicas e analisar o evento ocorrido nos dias 18 a 20 de agosto de 2019, quando a pluma de fuligem proveniente das queimadas alcançou a cidade de São Paulo - SP e provocou o que ficou conhecido como “chuva preta”. Para esse fim, juntou-se dados de clima e queimadas tanto da literatura quanto dados empíricos e descreveu-se os padrões de chuva, temperatura, queimada, e profundidade óptica da atmosfera (AOD) para o Brasil. Na sequência, aplicou-se modelagem de trajetória de partículas para observar onde essas partículas derivadas do fogo se localizaram no Brasil.

2. Revisão da literatura

2.1. Amazônia, clima e ação humana

De acordo com o quinto relatório do IPCC (2014), a Amazônia é o principal exemplo de como a variabilidade climática e o uso e ocupação da terra afetam os ecossistemas naturais, diante do fato de que a floresta apresenta papel importante e imprescindível no controle da precipitação, da umidade e da temperatura. Portanto, pode-se notar uma possível associação entre as mudanças do clima e as atividades exercidas pelos seres humanos, tais como os desmatamentos florestais e queima de biomassa, que são responsáveis por altas concentrações de gases que contribuem para o aumento do efeito estufa (RIVERA-LOMBARDI, SETZER, KRUG, 2011).

Segundo Carmo et al. (2010) e Filho et al. (2013), as queimadas na Amazônia, associado a baixos índices pluviométricos, representam exposição de elevada magnitude à saúde das pessoas por período médio anual de três a cinco meses, sendo que as regiões mais afetadas estão concentradas ao longo da região do arco do desmatamento, acompanhando áreas de influência das rodovias.

As queimadas e incêndios florestais nem sempre são resultado direto da ação humana. A ocorrência do fogo depende de alguns fatores que possibilitam o início da reação da combustão,

e sua continuação depende principalmente da energia potencial armazenada no material combustível (RIBEIRO E SOARES, 1998; MÉLO, 2009).

A propagação dos incêndios florestais também está fortemente associada às condições climáticas ou fatores climáticos. A intensidade de um incêndio e a velocidade com que ele avança estão diretamente ligados à umidade relativa, à temperatura do ar e à precipitação (NUNES, 2006; ARANHA, 2016). Quanto maior a temperatura e menor a umidade relativa e a precipitação, menor é o teor de umidade do material combustível e, portanto, maior sua suscetibilidade ao fogo. Outra variável meteorológica importante na propagação dos incêndios, mas que é menos previsível, é o vento. Quanto maior for a velocidade do vento, maior será a sua propagação.

De acordo com Nunes (2005), existem dois tipos de fatores determinantes do grau de perigo de incêndio: os fatores constantes, representados pelo tipo de material combustível, o qual envolve os diferentes tipos de floresta e o relevo, e os fatores variáveis, representados principalmente pela umidade do material combustível e as condições climáticas como a velocidade e direção do vento, a umidade relativa, a temperatura, o ponto de orvalho, a precipitação e a instabilidade atmosférica.

2.2. Efeitos de secas nas queimadas da Amazônia

Segundo Aragão et al. (2018), das três maiores secas que ocorreram na Amazônia, a de 2015 foi a mais extrema do século 21. Surpreendentemente, ao contrário das secas de 2005 e 2010, os incêndios associados à seca de 2015 se estenderam para além do Arco do Desmatamento, impactando áreas na região central da Amazônia, que foi pouco afetada por incêndios no passado. Segundo os autores, em um futuro mais quente e seco, grandes faixas da Amazônia, distante dos principais epicentros do desmatamento, podem queimar.

A explicação para isso, como citado anteriormente, é que as florestas que foram modificadas pelo homem são caracterizadas por uma maior abertura do dossel, maiores estoques de material morto, microclima mais seco e menor densidade de madeira, sendo assim, mais suscetíveis à mortalidade durante o período de secas. Tais características tornam essas florestas

mais inflamáveis e, se elas queimam, acabam por aumentar a intensidade do fogo, facilitando a incursão deste entre os diferentes tipos de florestas e também em florestas primárias não perturbadas.

Jolly et al. (2015) também demonstraram isso em termos globais. Segundo os autores, nas últimas décadas, as temporadas de incêndio atingiram áreas maiores e foram mais longas em todos os continentes vegetados do mundo, com exceção da Austrália. A América do Sul teve um aumento de 33 dias nas temporadas de incêndios nos últimos 35 anos.

3. Materiais e métodos

A área de estudo foi a princípio o Brasil como um todo, com foco na parte de incêndios na região amazônica e observação dos impactos nas outras regiões (Figura 1). O bioma amazônico ocupa uma área de 4.196.943 km², correspondendo a quase metade do território nacional com 49,3%, e é constituída principalmente por floresta tropical úmida e floresta tropical estacional (IBGE, 2020). A Amazônia passa pelos territórios do Acre, Amapá, Amazonas, Pará e Roraima, e parte do território do Maranhão, Mato Grosso, Rondônia e Tocantins. Na região amazônica chove bastante e a temperatura é elevada, normalmente variando entre 22°C e 28°C. É o chamado clima equatorial úmido, que caracteriza algumas áreas próximas à linha do Equador (IBF, 2020). A média de precipitação na região é 2300 mm anuais, porém estes valores não são uniformes em toda a região (FISCH, 1996).

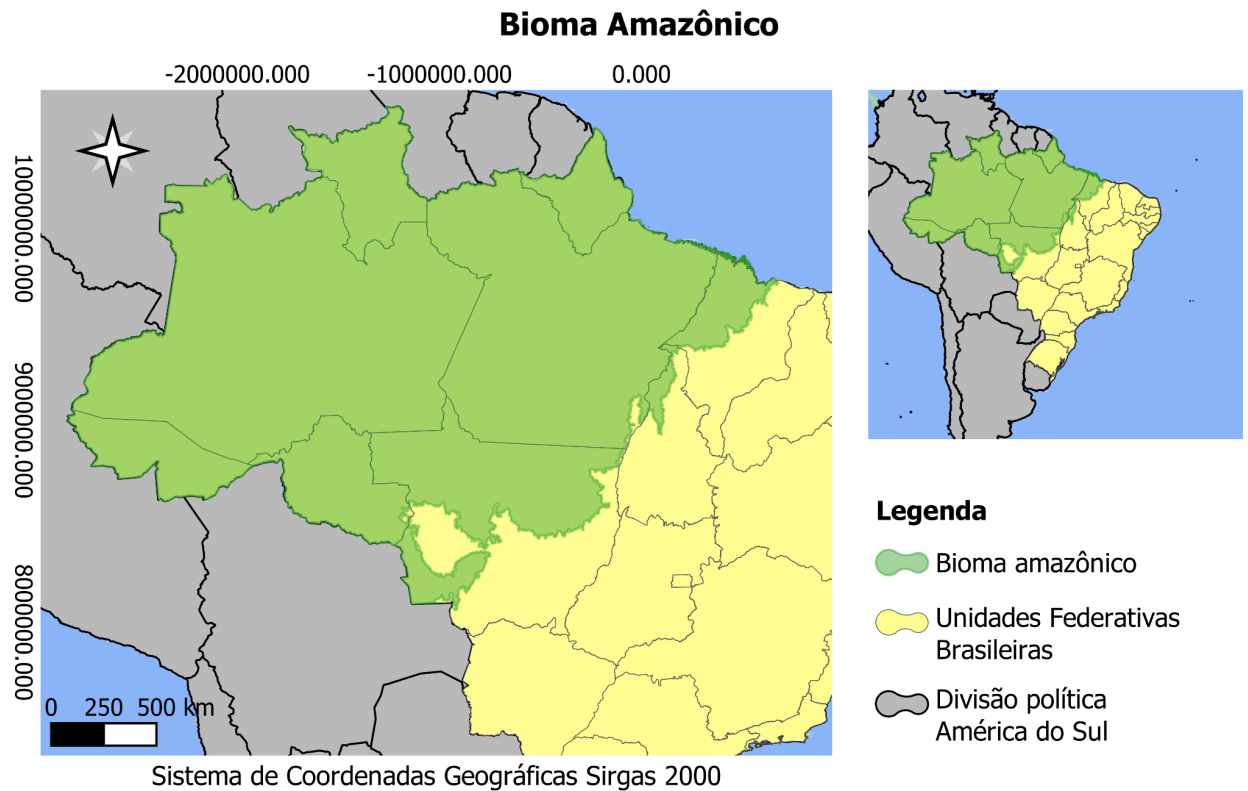


Figura 1 - Área de estudo.

O estudo foi realizado de acordo com o fluxograma abaixo (Figura 2). Inicialmente, foram obtidos dados espacializados de focos de incêndio e precipitação da literatura a partir de bancos do BQueimadas/INPE (<https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal>) e CPTEC/INPE (<https://www.cptec.inpe.br/>). Os dados de fogo representaram as anomalias de focos de incêndio em células de 25x25 km para o Brasil. Os dados de precipitação representaram a anomalia de precipitação derivada de satélite para o Brasil.

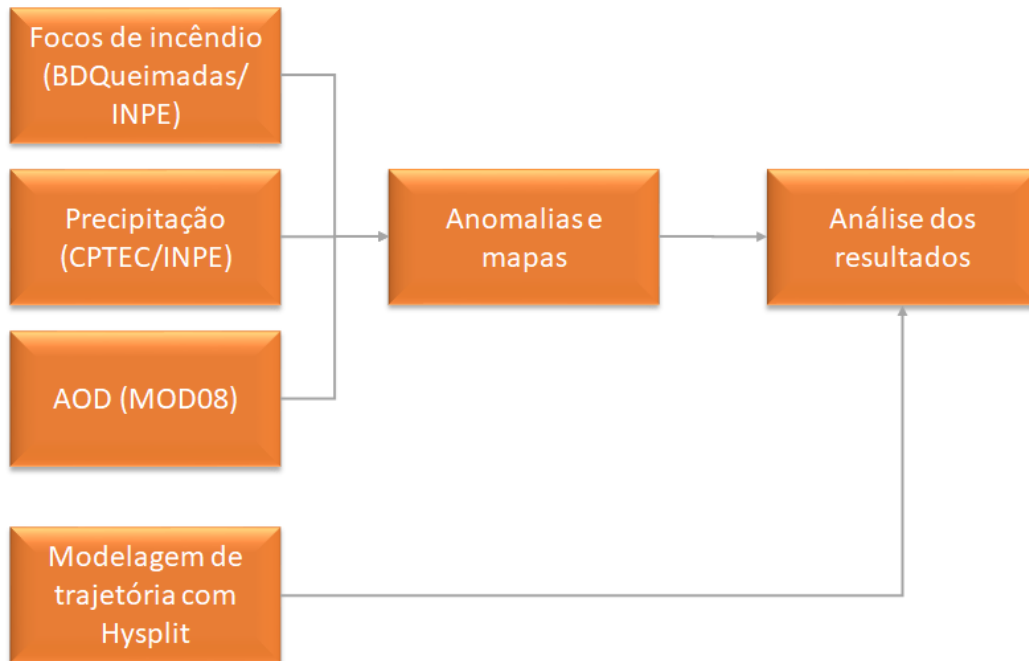


Figura 2 - Fluxograma do estudo.

Foram obtidos dados de AOD a partir do produto MOD08 do MODIS para o mês de agosto entre 2000 e 2020. Calculou-se a anomalia de AOD para o ano de 2019 considerando o valor observado em 2019, subtraído da média e desvio padrão entre todos os anos (Equação 1). Esses dados foram apresentados em forma de mapa.

$$AOD_{anomalia} = (AOD_{2019} - AOD_{médio}) / AOD_{desviopadrão} \quad Eq.1$$

Na sequência, realizou-se modelagem de trajetória de partículas com o modelo Hysplit. Esse modelo, segundo o National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), é um sistema completo para computar trajetórias simples de parcelas de ar, bem como complexas simulações de transporte, dispersão, transformação química e de deposição. Tem como uma das aplicações mais comuns a análise da trajetória posterior para determinar a origem das massas de ar e estabelecer relações termo-fonte e receptor. Adota um método híbrido de cálculo usando abordagem lagrangeana e a metodologia euleriana ou modelos *puff* e de partículas.

Por fim, analisou-se qualitativamente os resultados de forma conjunta para entender os fatores meteorológicos associados às queimadas, a trajetória que as partículas geradas pelas queimadas tiveram para outras regiões, e sua influência no AOD observado.

4. Resultados

Observou-se grande concentração de áreas queimadas na região sul amazônica cobrindo principalmente os estados do Acre, Rondônia, Amazonas, Pará, Mato Grosso e Maranhão (Figura 3). Essas áreas também apresentaram áreas queimadas anômalas, maiores que a média, no ano de 2019.

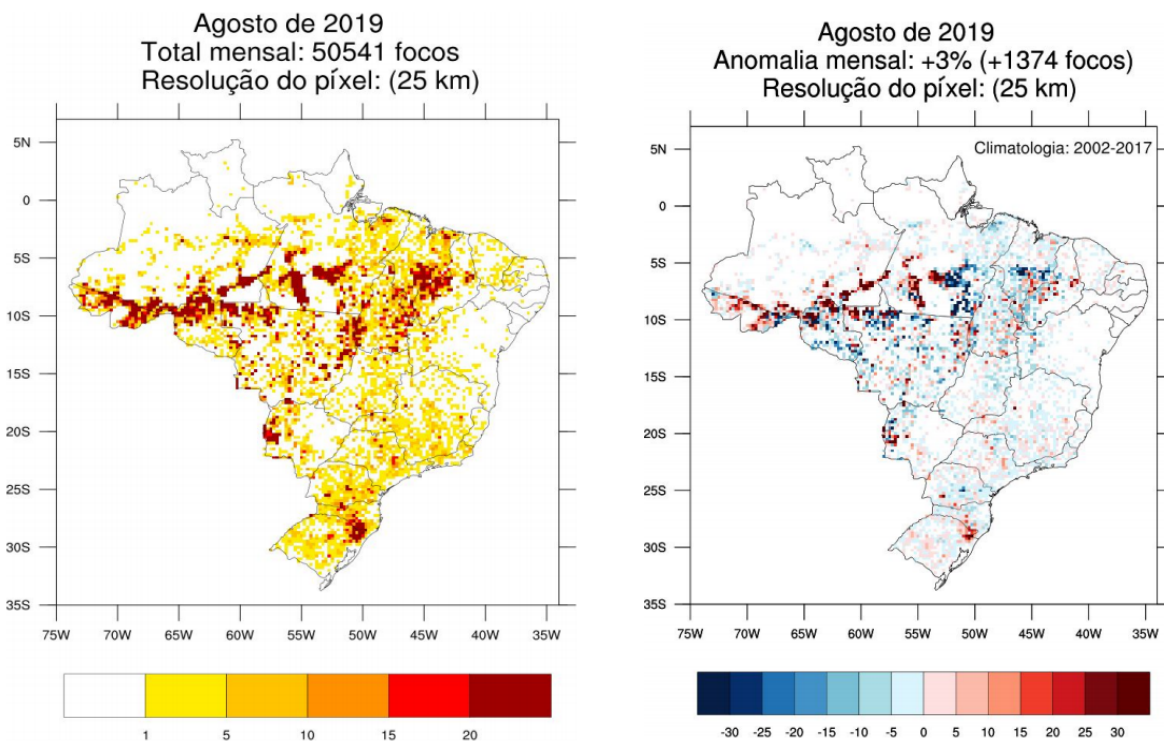


Figura 3 - Área queimada em agosto de 2019 (esquerda) e anomalia de queimadas em agosto de 2019 (direita). Fonte: BDQueimadas - InfoQueima 2019.

Observou-se uma precipitação próxima da média entre -24.9 e 0 mm concentrada no sul da Amazônia, e mais baixa que a média entre -99.99 e -25 mm na região sul do país, recobrimo

parte do estado de São Paulo (Figura 4). Em geral, esses resultados indicam que não houve seca pronunciada na região amazônica, porém se destacou para a região sul do Brasil.

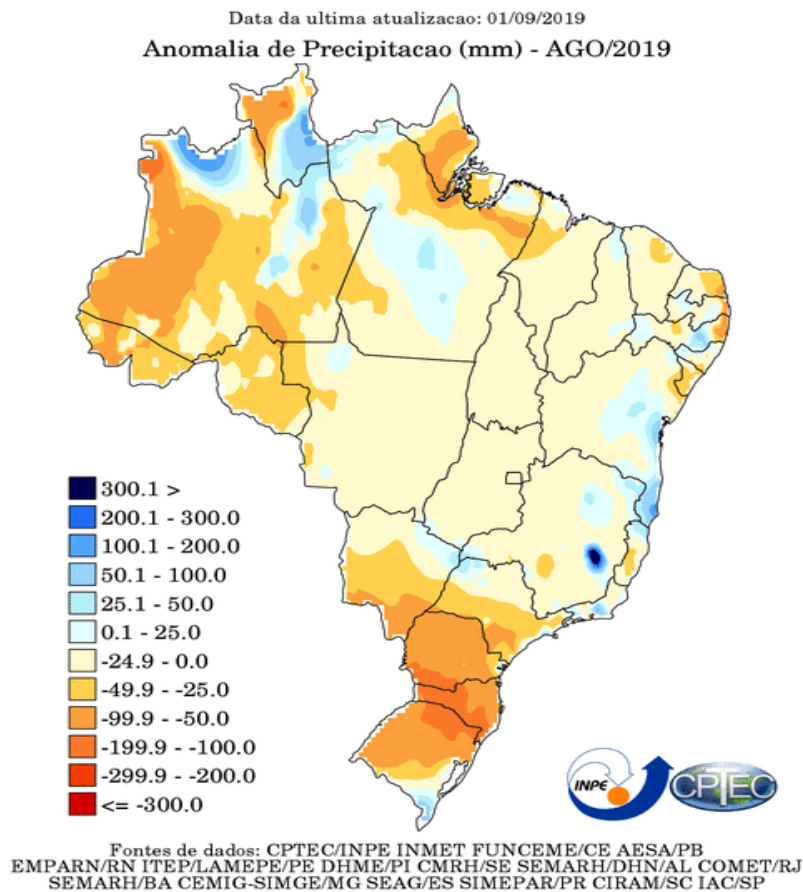


Figura 4 - Mapa de anomalia de precipitação (mm) para agosto de 2019. Áreas em azul representam precipitação mais alta que a média, enquanto que áreas em laranja e vermelho mais baixo que a média. Fonte: INPE/CPTEC.

Os dados de temperatura mínima para agosto de 2019 apontaram resultado variado sobre a Amazônia, áreas com anomalia positiva (mais quente) ou anomalia negativa (mais frio) e sem sinal claro sobre São Paulo (Figura 5). No entanto, a temperatura máxima para agosto de 2019 apresentou valores positivos para a região Amazônica, indicando um período mais quente que o normal, que pode ter colaborado nas queimadas (Figura 5).

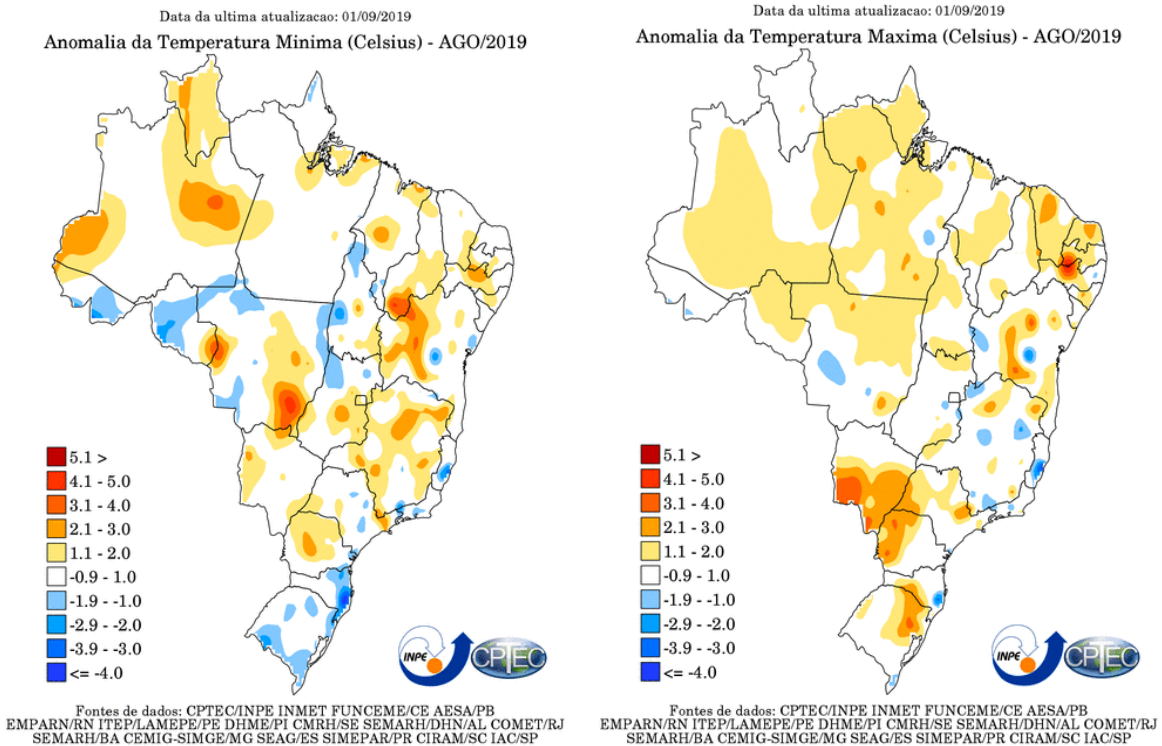


Figura 5 - Mapas de anomalia de temperatura mínima (esquerda) e temperatura máxima (direita) para Agosto de 2019. Fonte: INPE/CPTEC.

O dado de AOD mostrou maiores concentrações na Amazônia tanto na média climatológica de Agosto quanto em especificamente em 2019 (Figura 6). Em geral, a região sul e sudeste do Brasil não apresentaram altas concentrações. No entanto, quando avaliada a anomalia de agosto de 2019, observou-se altos valores para a região Sudeste do Brasil como um todo, ou seja, maior que em outros anos, porém não especificamente para São Paulo.

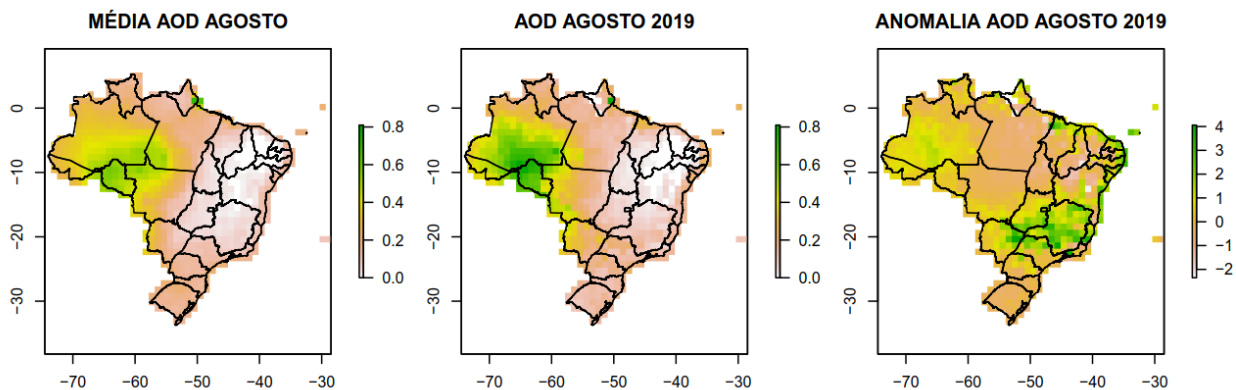


Figura 6 - Mapas de AOD médio de Agosto entre 2000-2020 (esquerda), AOD para agosto de 2019 (centro), e anomalia AOD de agosto de 2019 (direita). Fonte: Autor deste (2021).

A fim de confirmar que o Estado de São Paulo estava sendo influenciado por ar transportado da região das queimadas, foi selecionada uma região de alta queimada no sul da Amazônia para dar início ao transporte de partículas, e o modelo Hysplit mostrou o caminho das parcelas de ar que chegam até a região de São Paulo no dia 19 de Agosto (Figura 7).

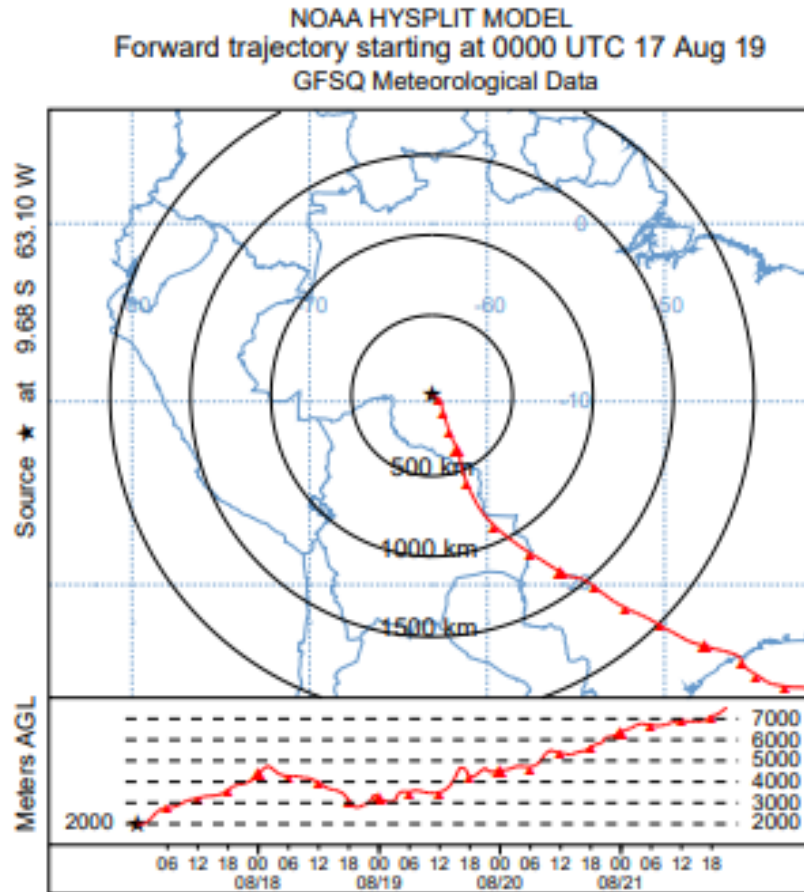


Figura 7 - Trajetória das partículas de ar que chegaram à capital de São Paulo modeladas pelo modelo Hysplit. Fonte: Autor deste (2021).

5. Discussão

Os principais resultados observados foram que existe uma relação da quantidade de AOD na atmosfera com as queimadas na Amazônia, os quais foram evidenciados o transporte até a região Sudeste em específico até São Paulo. As queimadas em 2019 afetaram uma grande área da região Amazônica e podem ter sido potencialmente influenciadas pelo aumento do desmatamento em 2019 (Silva-Júnior et al., 2020), e temperatura máxima anômala mais alta identificada na região, apesar de não ter sido observado déficit hídrico (seca) anômalo generalizado na região. Esses resultados da ausência de seca na região e maior ocorrência de

queimadas também foram evidenciados em outro trabalho recente avaliando o impacto do fogo (Zhang et al., 2021).

Durante o desenvolvimento deste trabalho, identificou-se que outro estudo avaliando o mesmo tema foi publicado (Lemes et al., 2020). O trabalho de Lemes et al. (2020) aplicou metodologia de modelagem Hysplit similar a realizada aqui neste estudo para identificar o transporte de partículas, porém uma diferença do apresentado aqui foi na modelagem da trajetória que partiu da região onde ocorreram as queimadas (*forward*), diferente do outro estudo que testou a trajetória voltando a partir de São Paulo (*backward*). De qualquer forma, as conclusões apresentadas foram similares às aqui apresentadas.

Tanto o desmatamento quanto as queimadas na Amazônia continuam aumentando nos últimos anos. Em 2020, observou-se o maior índice de desmatamento da última década (Celso-Júnior et al., 2020). Também espera-se que as queimadas provenientes desse desmatamento tenham aumentado e alcançado números muito altos. Depois da ocorrência desse evento de 2019 em São Paulo, também foram observados eventos de chuva preta mais ao sul do país, em Santa Catarina e Rio Grande do Sul em 2020, que podem ter sido associados também às queimadas da Amazônia, e em especial em 2020 as queimadas do pantanal. Essas novas ocorrências demonstram que necessitamos entender melhor esses eventos e exatamente quais forçantes meteorológicas causam os materiais particulados a precipitarem junto com a chuva. Espera-se que os resultados aqui apresentados sejam um ponto de partida para subsidiar esse tipo de análise.

Numa sequência desse trabalho, a abordagem deverá ser melhorada e avaliado mais quantitativamente a relação das queimadas na Amazônia com a ocorrência de AOD na região sul e sudeste. Para isso, uma possibilidade é avaliar a correlação espacial e temporal entre os dois dados.

6. Conclusões

Concluiu-se que as queimadas causam consequências não só locais na região Amazônica, mas também em outras regiões evidenciado pelo AOD anômalo na região Sudeste. Foi possível

demonstrar a importância da análise conjunta das anomalias de AOD com o transporte do material particulado derivado do fogo para entender os processos que impactam outras regiões. De uma forma geral, também aprendeu-se a utilizar ferramentas para análise de dados espaciais, visualização de dados em ambiente de sistemas de informação geográfica, cálculos de estatística e anomalia. A metodologia aqui apresentada pode ser aplicada em outras regiões com problemas recorrentes de queimadas e incêndios, como foi levantado na discussão a questão da chuva preta ocorrendo em outros estados brasileiros.

Referências

ARAGÃO, L. E. O. C., ANDERSON, L. O., FONSECA, M. G. et al. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. NATURE COMMUNICATIONS. 9 (536), 2018. DOI: 10.1038/s41467-017-02771-y

ARANHA, P. S. Análise de correlação de focos de queimadas com variáveis climáticas no município de Marabá. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Pará. Instituto de Tecnologia. Belém, Pará, 2016.

BDQueimadas - Infoqueima. Boletim Mensal do Programa de Monitoramento e Risco de Queimadas e Incêndios Florestais. Ação 20V9-0002 do Governo Federal, PPA 2016-19, Programa 2050 Mudança do Clima. 2019.

CARMO, C. N.; HACON, S. S.; LONGO, K. M.; FREITAS, S.; IGNOTTI, E.; ARTAXO, P. et al. Associação entre material particulado de queimadas e doenças respiratórias na região sul da Amazônia brasileira. Rev Panam Salud Publica. 27(1):10-6, 2010.

Celso-Junior et al. 2020. The Brazilian Amazon deforestation rate in 2020 is the greatest of the decade. [acesso em 2021 aug 2021]. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41559-020-01368-x>

DEPPE, F.; PAULA, E. V.; MENEGHETTE, C. R.; VOSGERAU, J. Comparação de índice de risco de incêndio florestal com focos de calor no Estado do Paraná. Floresta. 34(2):119-126, 2004.

FILHO, V. S. A.; ARTAXO, P.; HACON, S.; CARMO, C. N. DO; CIRINO, G. Aerossóis de queimadas e doenças respiratórias em crianças, Manaus, Brasil. Rev. Saúde Públ. 47(2), 2013.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2020. Disponível em: <https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/territorio/18307-biomas-brasileiros.html>. Acesso: 12/04/2020.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2020. Disponível em: <http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/aq1km/>. Acesso: 12/04/2020.

IPCC – The Intergovernmental Panel on Climate Changes. AR5 Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>. Acesso: 12/04/2020.

JOLLY, W.; COCHRANE, M.; FREEBORN, P. et al. Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013. *NATURE COMMUNICATIONS*. 6 (7537), 2015.

JUSTINO, F. B.; SOUZA, S. S.; SETZER, A. Relação entre “Focos De Calor” e Condições Meteorológicas No Brasil. *Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia*. 2002.

MACHADO, N. G.; SILVA, F. C. P. da, BIUDES, M. S. Efeito das condições meteorológicas sobre o risco de incêndio e o número de queimadas urbanas e focos de calor em Cuiabá-MT, Brasil. *Ciência e Natura*, Santa Maria, 36(3):459-469, 2014. DOI:10.5902/2179460X11892.

MÉLO, A. S. de. Suscetibilidade do ambiente a ocorrências de queimadas sob condições climáticas atuais e de aquecimento global. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa (UFV). Viçosa, MG, 2009.

NUNES, J. R. S. et al. Estimativa da umidade relativa das 13:00 h, com base nos dados das 9:00 h e das 15:00 h, para o Estado do Paraná. *Floresta*, v.35, n.2, p.247-258, 2005.

NUNES, J. R.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Especificação de um sistema computacional integrado de controle de incêndios florestais. *Revista Floresta*, Curitiba, 36, 2006.

RIBEIRO, G. A.; SOARES, R. V. Caracterização do material combustível florestal e efeitos da queima controlada sobre sua redução em um povoamento de *Eucalyptus viminalis*. *Cerne*, Lavras, 4(1):57-72, 1998.

RIVERA-LOMBARDI, R. J.; SETZER, A.; KRUG, T. Estimativa de emissões de gases de efeito estufa resultantes da queima de biomassa na Amazônia brasileira em 2005 a partir de dados MODIS/AQUA. *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011.

Ruv Lemes, M. C., Reboita, M.S., Capucin, B. C. Impactos das queimadas na Amazônia no tempo em São Paulo na tarde do dia 19 de agosto de 2019. [acesso em 2021 jul 20]. Disponível em: http://plutao.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/plutao/2020/06.16.01.35/doc/lemes_impactos.pdf

Stein AF, Draxler RR, Rolph GD, et al. NOAA's HYSPLIT Atmospheric Transport and Dispersion Modeling System. *Bull Am. Meteorol. Soc.* [internet]. 2015 [acesso em 2020 out 20]. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/doi/10.1175/BAMS-D-14-00110.1>.

Zhang, H., Hagan, D. F. T., Dalagnol, R., & Liu, Y. (2021). Forest Canopy Changes in the Southern Amazon during the 2019 Fire Season Based on Passive Microwave and Optical Satellite Observations. *Remote Sensing*, 13(12), 2238. <https://doi.org/10.3390/rs13122238>