Engolindo Fumaça

Além das mudanças climáticas: efeitos da fumaça na saúde da população amazônica brasileira durante a pandemia de Covid-19

Juliana Mori Sonaira Souza da Silva Renata Hirota Eduardo Geraque
Felipe S. M. Barros

23/08/2021

1 Análise e comparação das fontes de dados

Nosso projeto analisa dados de satélite para determinar quais locais na Amazônia brasileira foram os mais afetados pela poluição do ar durante os incêndios de 2020. Considerando os objetivos do projeto, foram realizadas algumas etapas para entender quais os conjuntos de dados de sensoriamento remoto disponíveis para as variáveis de poluição do ar e, uma vez listados, foram feitas algumas comparações para "*validar*" os mesmos. Este relatório tem como objetivo documentar o processo e as decisões tomadas para definir o melhor conjunto de dados para extrair a poluição do ar para a Amazônia brasileira no período do relatório (2020).

Passos:

1.1 Identificar os principais conjuntos de dados espaciais em matéria particulada (PM <2.5, consulte a seção 1.1);
1.2 Comparar conjuntos de dados considerando resoluções espaciais e temporais, para descobrir qual se encaixa melhor nos objetivos do projeto (ver seção 1.2);
1.3 Comparar os dados de poluição do ar com dados MODIS Aerosols Optical Depth (consulte a seção 1.3), para entender se eles seguem o mesmo padrão visual;
1.4 Validar o conjunto de dados identificado nas seções 1.2 e 1.3 comparando com os sensores de poluição da ar do LabGAMA (ver relatório 02_Validacao_conjunto_dados.pdf);

1.1 Identificando os principais conjuntos de dados espaciais

Uma pesquisa inicial, por meio de entrevistas com especialistas, consultoria de cientistas e documentação de estudos acadêmicos, foi feita para identificar os principais conjuntos de dados de poluição do ar que seriam de interesse para o projeto. Neste estágio, entendemos que o material particulado <2,5 (PM 2,5) não pode ser observado diretamente a partir dos satélites e, portanto, há a necessidade de traduzir a variável **aerosol optical depth (AOD)** observada para a concentração do aerossol. Isso pode ser feito de várias maneiras, e os dois modelos mais usados e documentados (CAMS, do Centro Europeu, e Merra-2, da Nasa) fazem suposições diferentes e chegam a resultados diferentes.

Para organizar melhor os vários conjuntos de dados espaciais de poluição do ar e seus parâmetros, listamos as especificações nesta tabela, indicando o nome do projeto, resolução espacial, resolução temporal, links de documentação e meios de acesso. Na seção seguinte, descrevemos cada um deles.

Nesse processo, ficou claro que os produtos CAMS e MERRA-2 são previsões a partir de modelos complexos que consideram diferentes dados de entradas e não medições de observações diretas de sensoriamento remoto, como esperado.

Os dados de reanálise do CAMS foram desconsiderados por se tratar de um modelo com correção feita a posteriori e por isso apenas parte de 2020 está disponível. Além disso, a resolução espacial da reanálise do CAMS de ~ 80 km seria, de certa forma, um fator limitante para nossa análise, por isso continuamos analisando apenas CAMS NRT (Near Real Time). A documentação da reanalise do CAMS pode ser encontrada aqui.

O Global Fire Assimilation (GFAS)[1] foi identificado como um conjunto de dados potencial a ser usado pois fornece, entre outros, uma variável indicadora de fluxo de incêndio florestal de Material Particulado PM 2,5. Após alguns testes espaciais, ele foi desconsiderado uma vez que seus produtos já estão assimilados na variável CAMS PM 2.5 e representa um valor de fluxo bruto de PM 2,5 e não a sua concentracição. Portanto, os padrões apresentados não foram relacionados com o observado por satélite.

1.1.1 Descrição geral

	CAMS NRT	MERRA-2
Resolução espacial	40 km[2]	50 km
Resolução temporal	3 h	1 h
tipo de dado	previsão	previsão
Unidade PM 2.5	kg m^-3	kg m^-3

1.1.1.1 Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS)

> A previsão do CAMS é baseada no Sistema Integrado de Previsão (Integrated Forecasting System - IFS) desenvolvido pelo Centro Europeu de Previsões do Tempo de Médio Prazo (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts - ECMWF). As previsões da composição da atmosfera (incluindo PM 2,5) são derivadas de uma abordagem de modelagem por conjunto, que assimila observações de satélite (traduzido de Roux et al. 2020). ... Em particular, o instrumento Moderate Resolution Imaging Radiospectrometer (MODIS) a bordo dos satélites Terra e Aqua (NASA) e o produto Polar Multi-sensor Aerosol (PMAp) fornecido pelos satélites MetOp (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites, EUMETSAT, and European Space Agency (ESA)) são usados para estimar o AOD (https://atmosphere.copernicus.eu/satellite-observations) (Roux et al. 2020).
>
> Dados diários de previsão do CAMS (predições a cada 6 ou 3 horas até 5 dias desde 05/07/2012, disponíveis com um atraso de 5 dias, resolução horizontal de aproximadamente 40 km (espectro T511) em 60 níveis verticais da superfície até 0,1 hPa (https://www.ecmwf.int).

Mais informações sobre as observações de satélite utilizadas no CAMS podem ser encontradas aqui. A documentação do CAMS está disponível aqui;

1.1.1.2 Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications (MERRA-2)

> O *Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications* (MERRA-2) é uma reanálise da NASA com início de operação em 1980. Ela substitui a reanálise MERRA original (Rienecker et al., 2011) usando uma versão atualizada do sistema de assimilação de dados Goddard Earth Observing System Model, Version 5 (GEOS-5).

[1] Para obter mais informações sobre GFAS, consulte aqui.

[2] Embora o fato de a previsão CAMS NRT fornecer dados em diferentes resoluções espaciais (por exemplo: 0,25 ou mesmo 0,125 graus), esse ganho na resolução espacial não representa ganho de informação, pois são derivados por interpolação. Mais informações podem ser encontradas aqui.

MERRA-2 usa dados de precipitação baseados em observação como parâmetro. Um aspecto importante disso é a assimilação de informações de aerossol, com base no conjunto de dados off-line "MERRAero" que foi integrado usando campos meteorológicos de MERRA.

Todas as coletas instantâneas contêm campos em horários sinóticos (00 GMT, 06 GMT, 12 GMT e 18 GMT). Além disso, as coletas instantâneas de três horas também incluem horários sinóticos intermediários (03 GMT, 09 GMT, 15 GMT e 21 GMT). Diagnósticos instantâneos de 1 hora de alguns estados e outros diagnósticos meteorológicos também são fornecidos. As coletas com médias de tempo contêm médias diurnas horárias, de três horas, mensais ou mensais, mas não misturas delas.

Com relação aos horários temos 00:30 GMT, 01:30 GMT, 02:30 GMT, etc. Somente produtos que consistem exclusivamente em campos bidimensionais (horizontais) são produzidos por hora. Os arquivos de média de três horas contêm médias em intervalos de tempo centralizados e com marcação de horário às 01:30 GMT, 04:30 GMT, 07:30 GMT e assim por diante.

Mais informações poderão ser encontrados aqui ou na publicação Bosilovich - link aqui;

1.2 Comparando resoluções espaciais

Antes de fazer o download dos dados para todo o período de 2020, adquirimos uma amostra de dados para datas com alta concentração de PM 2,5 na Amazônia Legal.

Com esta amostra procuramos identificar a quantidade de pixels sobrepostos em cada município amazônico, apresentando o histograma com a frequência dos municípios (eixo Y) para cada quantidade de pixels sobrepostos (eixo X).

MERRA-2 (~50 km)

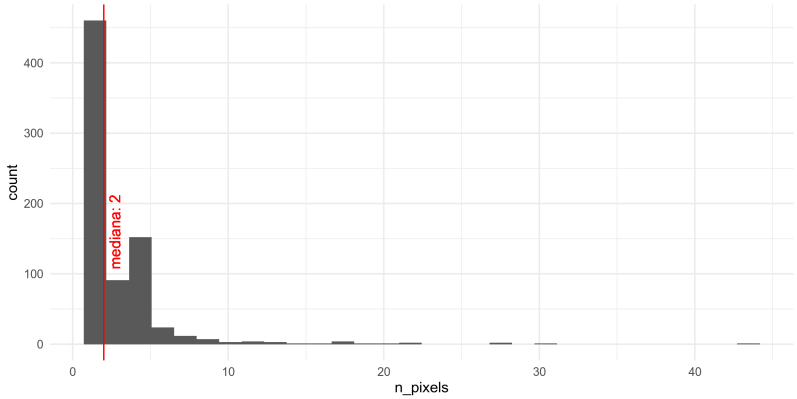


Figure 1: Histograma de quantidade de pixels do MERRA-2 (50 km) sobrepostos aos municípios

Ao usar o conjunto de dados MERRA-2, 50% dos municípios amazônicos estão dentro do valor mediano (até 2 pixels), ou seja, 50% dos municípios são sobrepostos com dois ou menos pixels (figura 1).

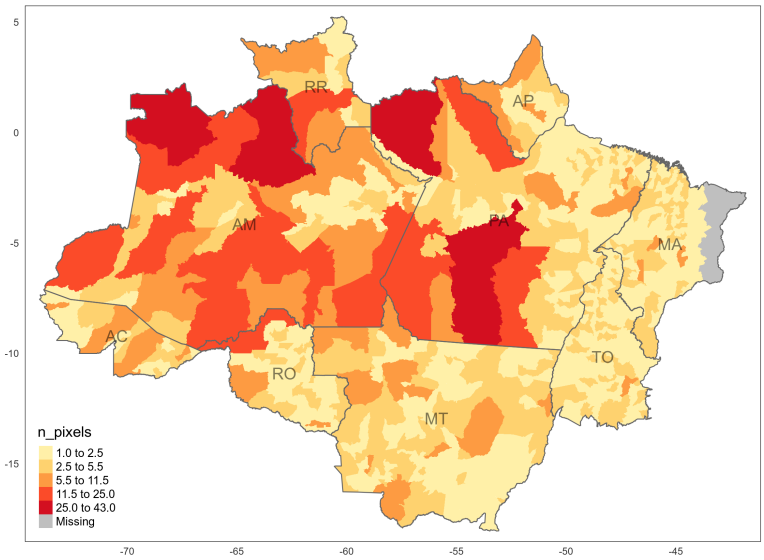


Figure 2: Mapa com a quantidade de pixels do MERRA-2 sobrepondo cada município

CAMS (~40 km)

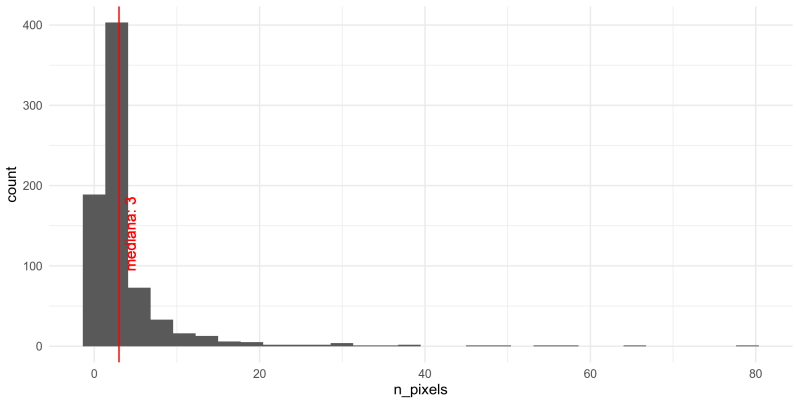


Figure 3: Histograma de quantidade de pixels do CAMS (40 km) sobrepostos aos municípios

Ao usar o conjunto de dados CAMS, 50% dos municípios amazônicos são sobrepostos com três ou menos pixels (figura 3).

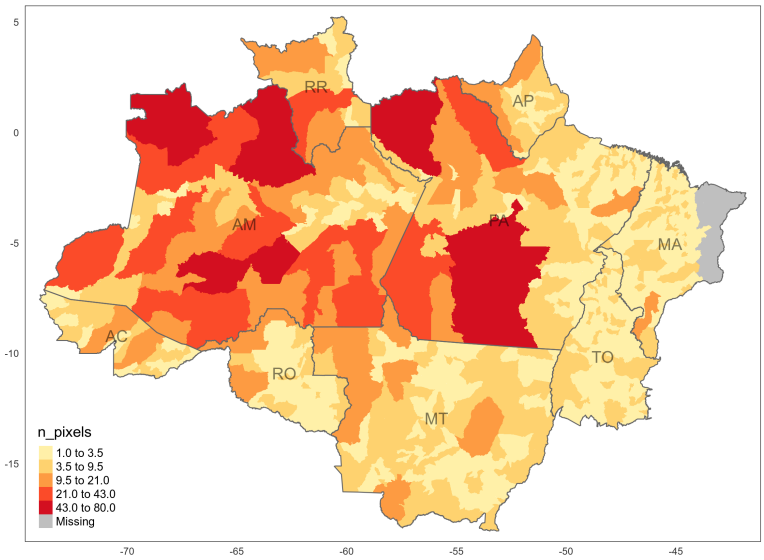


Figure 4: Mapa com a quantidade de pixels do CAMS sobrepondo cada município

1.3 Análise temporal e comparação com MODIS

Além da resolução espacial, exploramos o conjunto de dados PM 2,5 de cada modelo para algumas datas selecionadas definidas por nossa consultora cinetífica do projeto, uma vez que são conhecidas devido a alta atividade de incêndios na região: 2020/08/12, 2020/09/08, 2015/09/15 e 2020/11/05. Também comparamos visualmente com MODIS AOD para o mesmo dia.

A partir da comparação apresentada na seção seguinte, poderíamos discutir cada conjunto de dados com informações mínimas para decidir qual devemos manter no processo de validação.

Os modelos CAMS e MERRA-2 mostraram resultados completamente diferentes para os mesmos dias na região analisada. Decidimos então compará-los com o MODIS AOD, a fim de identificar qual apresentava o padrão espacial mais próximo. E, embora estivéssemos comparando valores diferentes, o CAMS apresentou valores mais próximos do MODIS AOD, ao considerar seu padrão espacial.

1.3.0.1 12/08/2020

CAMS

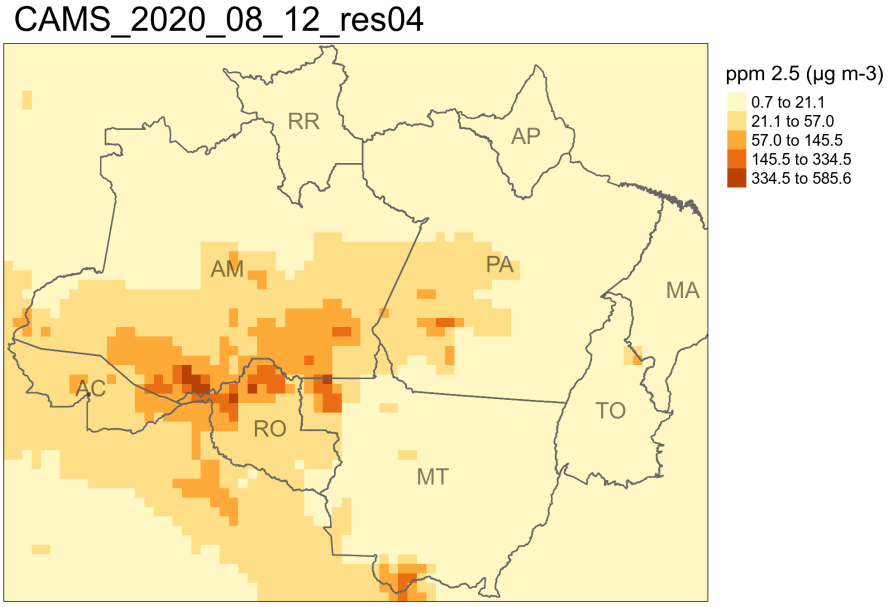


Figure 5: CAMS previsão realizada para 2020/08/12

Seu padrão de fumaça está bem relacionado com MODIS AOD para a mesma data:

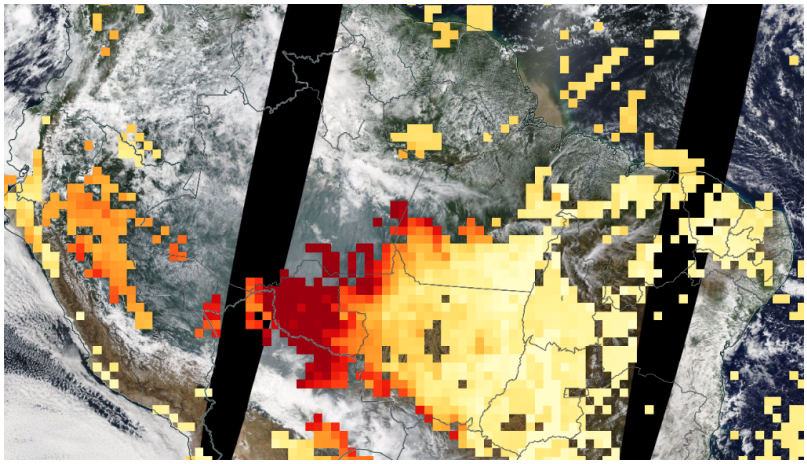


Figure 6: MODIS Aerosols Optical Depth para a data de 2020/08/12

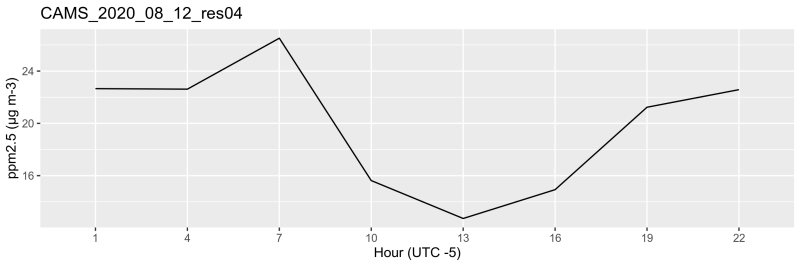


Figure 7: Valor médio de PM 2,5 do CAMS para Amazônia Legal para a data 202/08/12

MERRA-2

Como mencionado antes, o MERRA-2 mostrou um padrão espacial diferente do observado no modelo CAMS ou observações diretas MODIS AOD. Este padrão não está relacionado com observações terrestres para o mesmo período na Amazônia.

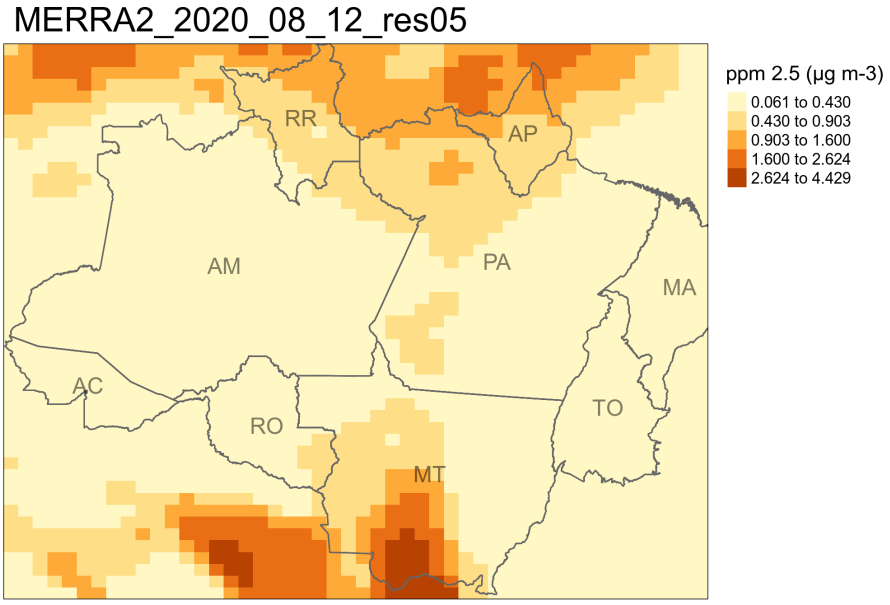


Figure 8: MERRA-2 previsão realizada para 2020/08/12

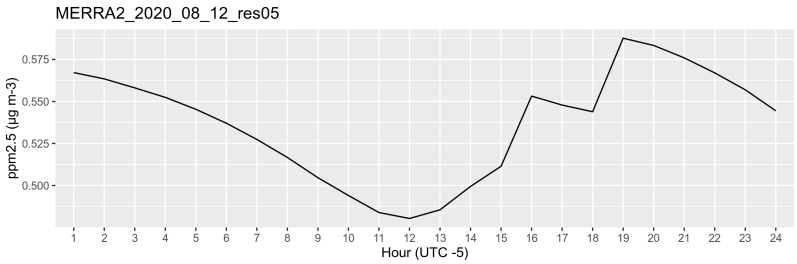


Figure 9: Valor médio de PM 2,5 do MERRA-2 para Amazônia Legal para a data 2020/08/12

1.3.0.2 08/09/2020

CAMS

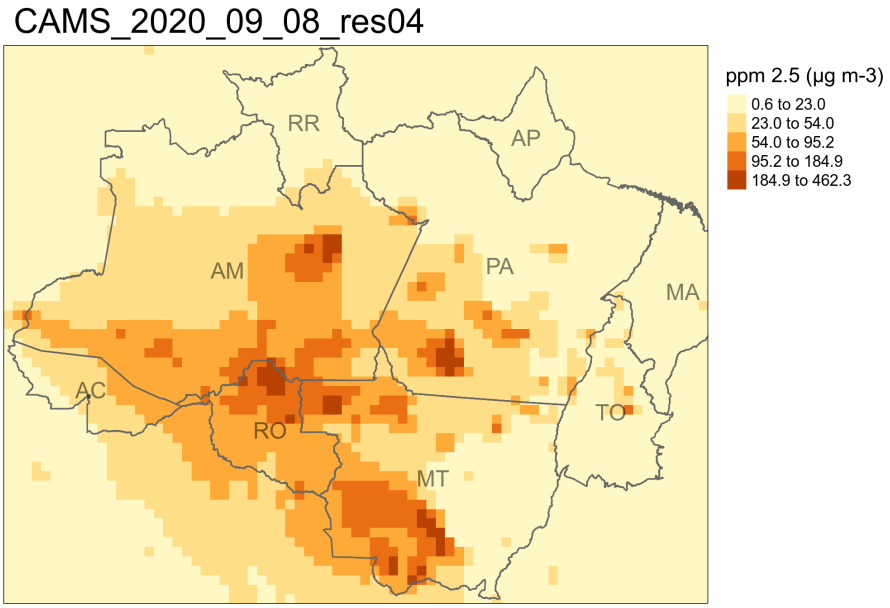


Figure 10: CAMS previsão realizada para 2020/09/08 com 0.4 graus de resolução espacial

Imagem MODIS AOD:

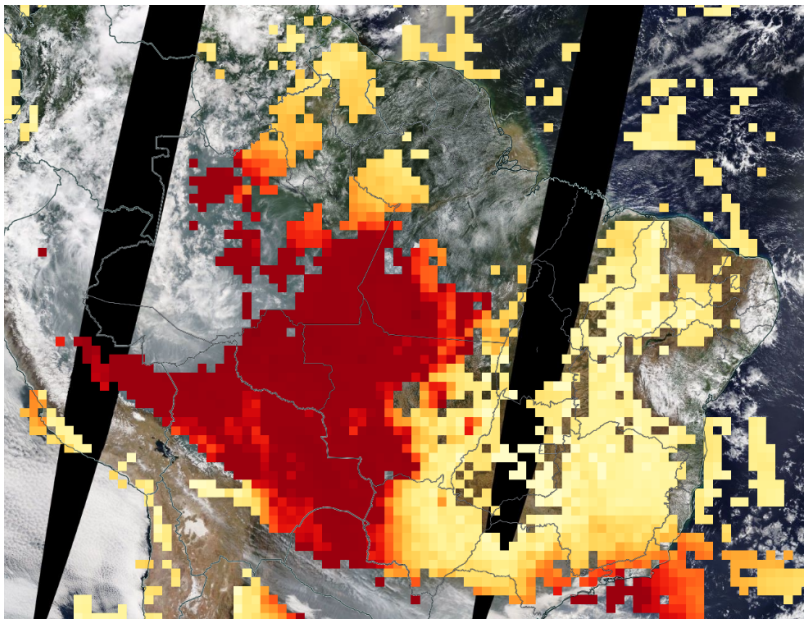
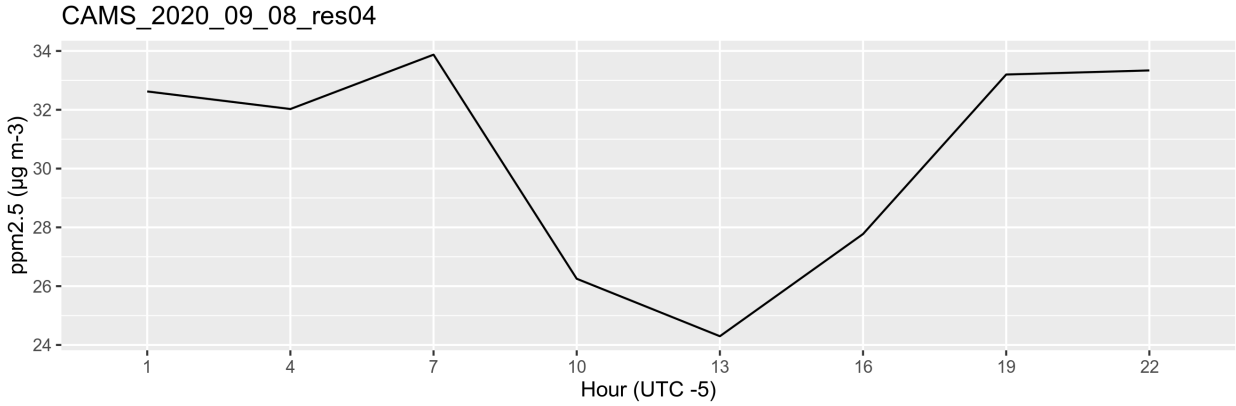


Figure 11: MODIS Aerosol Optical Depth para 2020/09/08



MERRA-2

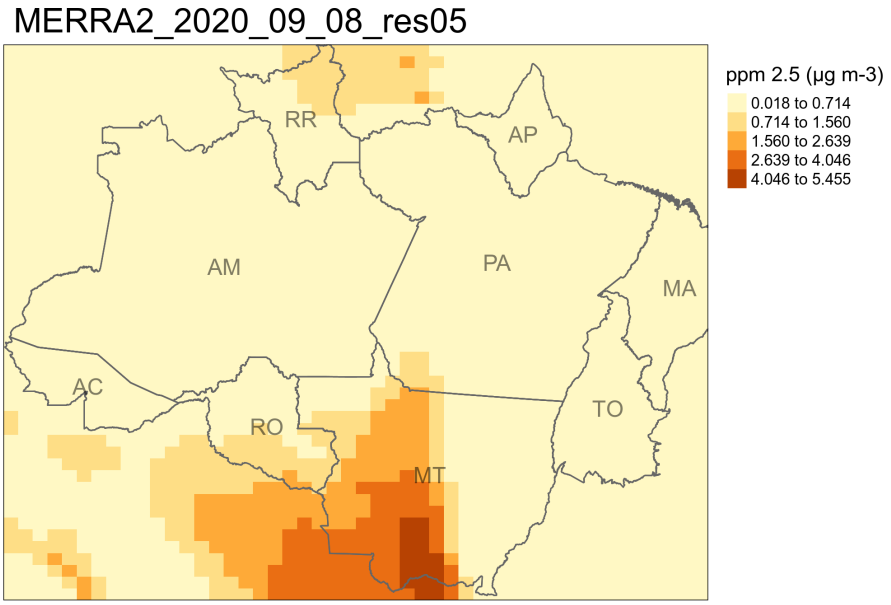
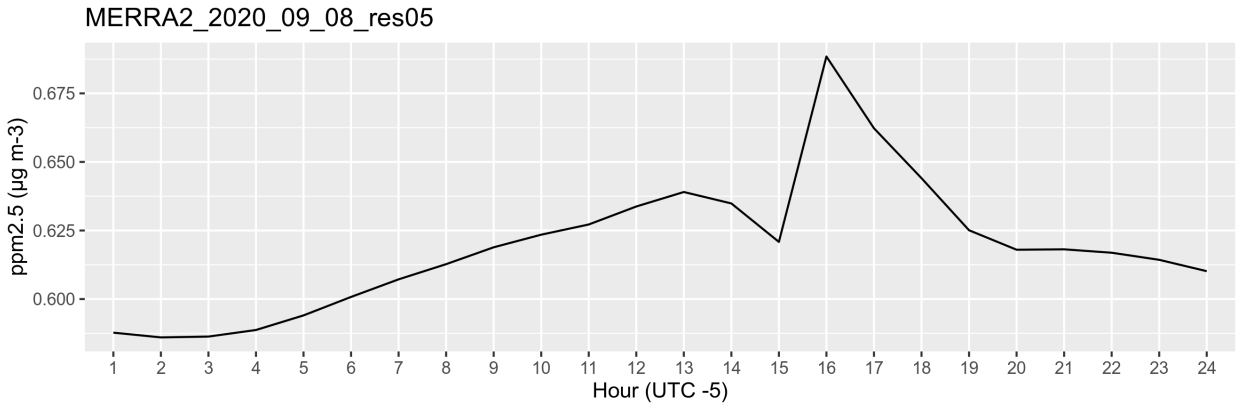


Figure 12: MERRA-2 previsão para 2020/09/08



1.3.0.3 15/09/2020

CAMS

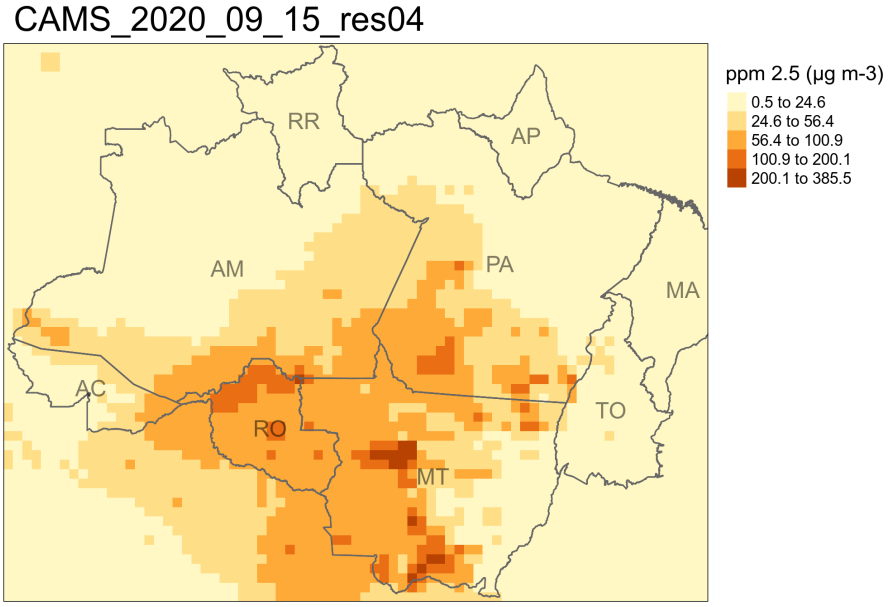


Figure 13: CAMS previsão para 2020/09/15

Imagem MODIS AOD:

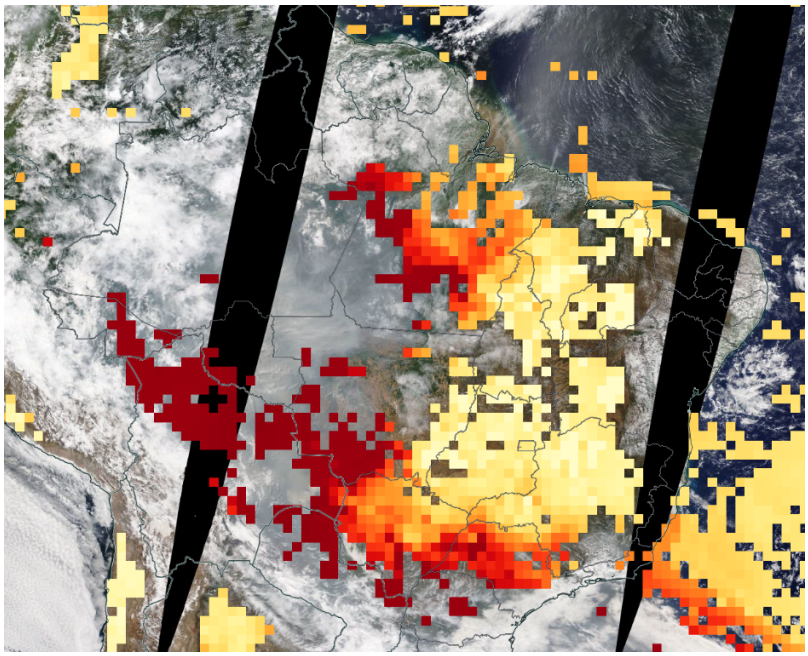
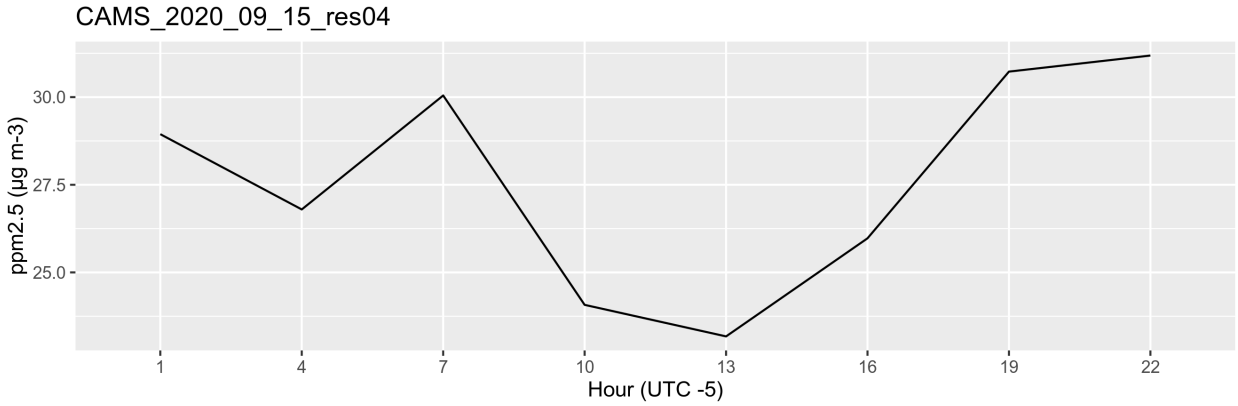


Figure 14: MODIS Aerosols Optical Depth para 2020/09/15



MERRA-2

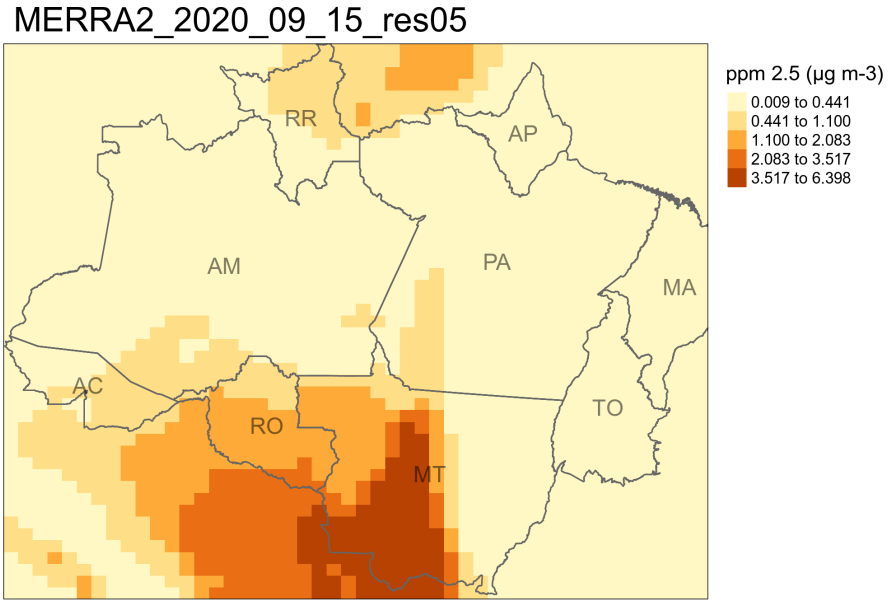
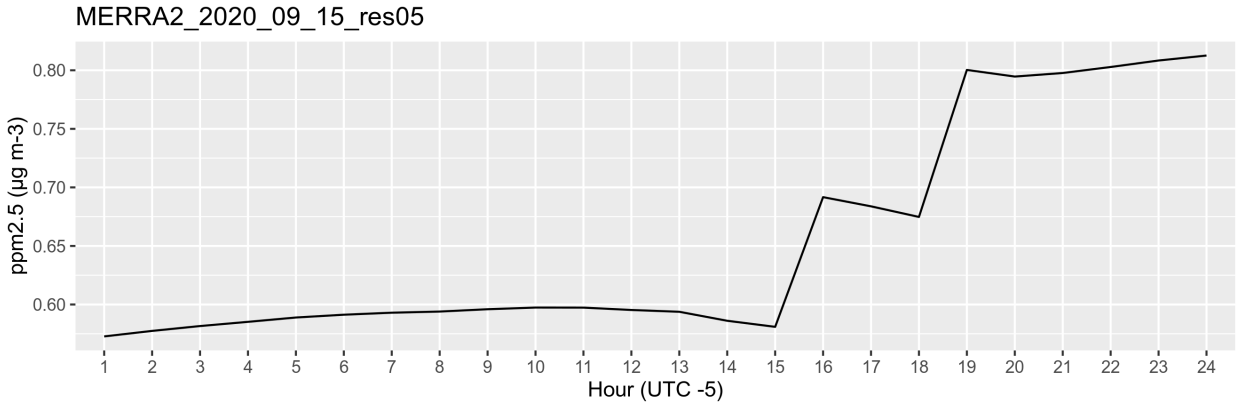


Figure 15: MERRA-2 previsão para 2020/09/15



1.3.0.4 05/11/2020

CAMS

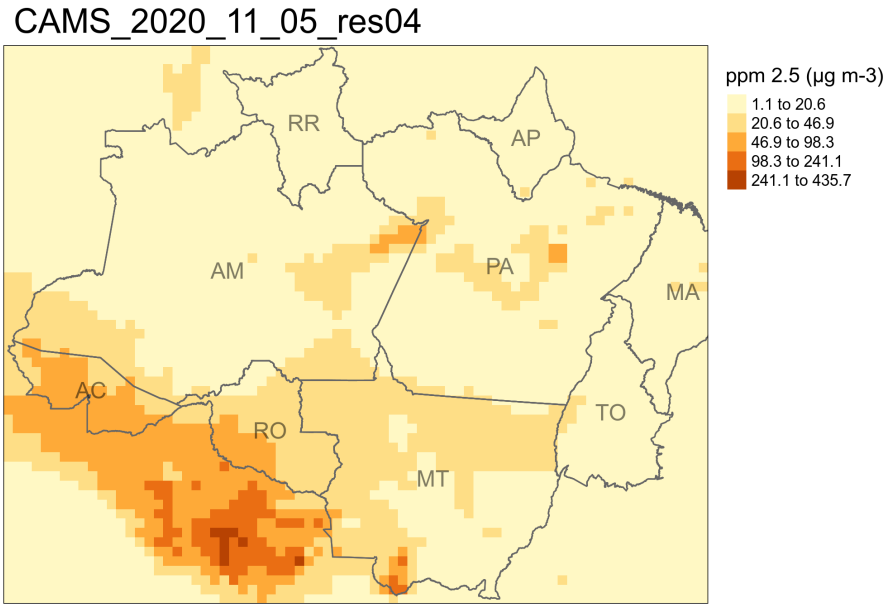


Figure 16: CAMS previsão para 2020/11/05

Imagem MODIS AOD:

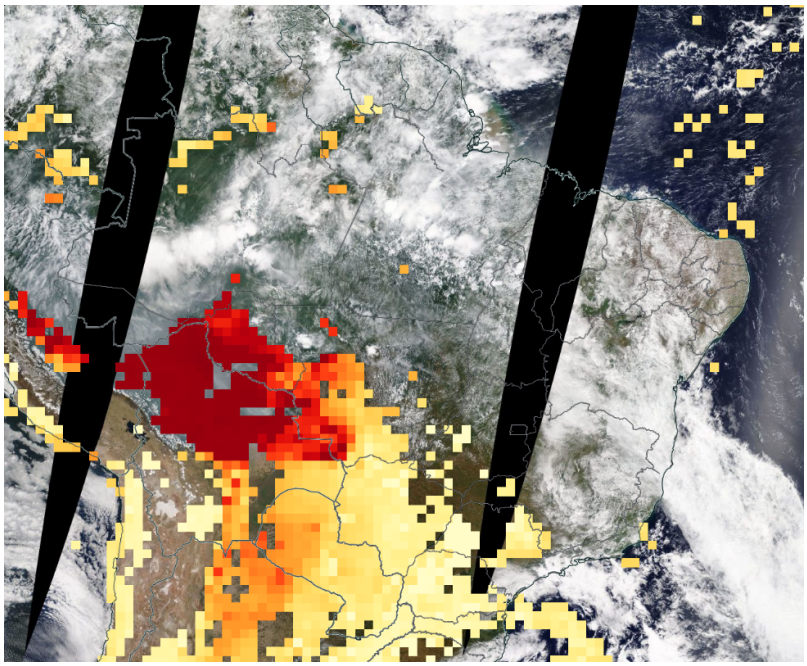
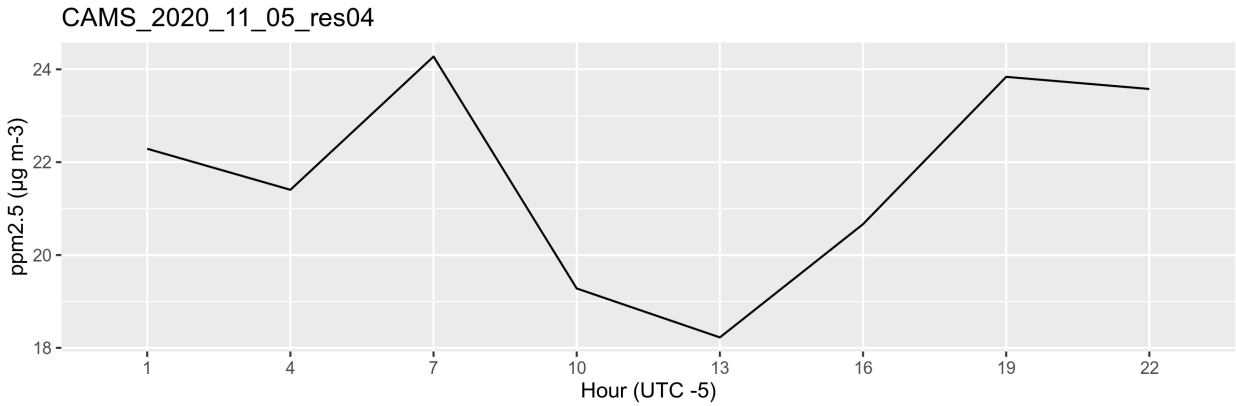


Figure 17: MODIS Aerosols Optical Depth para 2020/11/05



MERRA-2

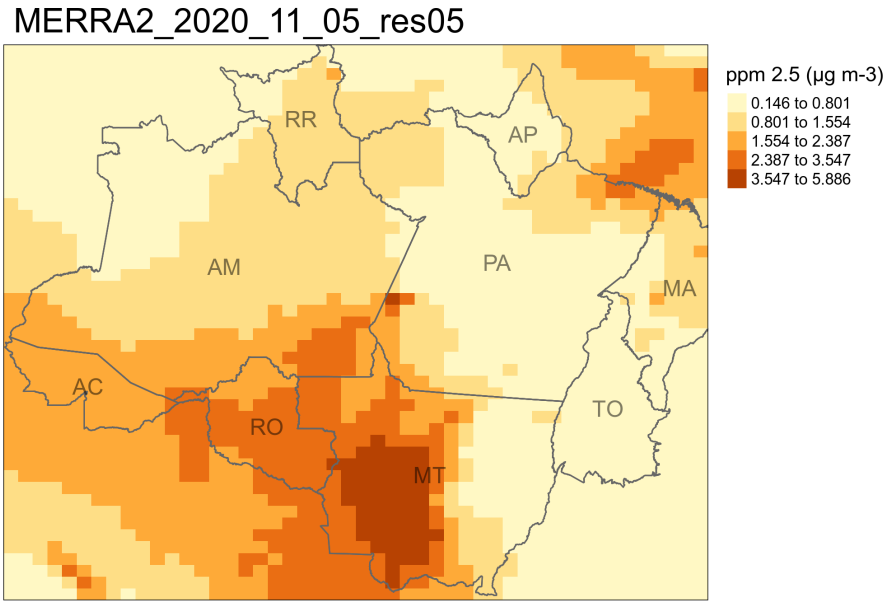
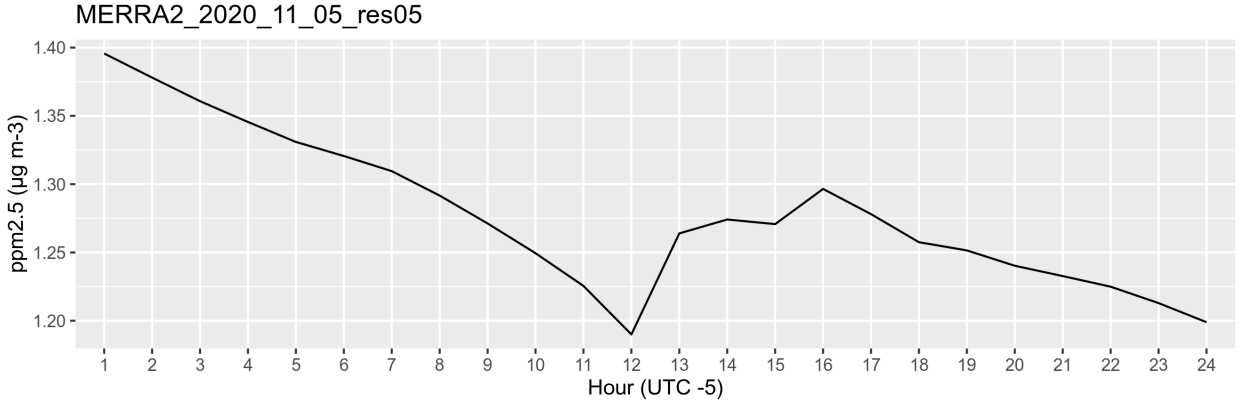


Figure 18: MERRA-2 previsão para 2020/11/05



1.4 Conclusão sobre a comparação de conjuntos de dados

Os padrões espaciais e temporais observados para as datas escolhidas foram sugeridos por Sonaira Silva, a consultora científica do nosso projeto. Essa escolha possibilitou comparar visualmente a propagação e a densidade da fumaça na Amazônia, mostrando que os padrões obtidos no CAMS foram consistentes com as ocorrências de fogo nessas datas.

Analisando o padrão de detecção de 24 horas do CAMS, observamos que a concentração de fumaça é maior durante a noite em comparação com o dia. Sonaira argumentou que este padrão é consistente com o observado pela rede de sensores de poluição LabGAMA, causado pela inversão da temperatura do ar, onde o ar é mais

pesado à noite em comparação com o dia. Essa análise traz argumentos interessantes de que a noite tende a ser mais poluída que o dia, o oposto da suposição geral.

Assim, considerando todas as informações desta análise exploratória e de comparação, consideramos que o CAMS NRT foi o único modelo que estava apresentando um padrão espacial de poluição do ar compatível com a região no período selecionado, a partir de observações de fumaça terrestre e de satélite, e também comparado a focos de incêndio na área.

Decidimos então testar e, se possível, validar as previsões do CAMS para os municípios do Acre, uma vez que esses são os únicos municípios da Amazônia brasileira que têm sensores monitorando a concentração de PM 2,5. Isso graças ao projeto do LabGAMA da Universidade Federal do Acre, que é coordenado por Sonaira Silva, consultora científica do projeto (ver relatório 02_Validacao_conjunto_dados.pdf).

2 Validacao do conjunto de dados

Nosso projeto analisa dados de satélite para determinar quais locais na Amazônia brasileira foram os mais afetados pela poluição do ar durante os incêndios de 2020. Considerando os objetivos do projeto, foram realizadas algumas etapas para entender quais os conjuntos de dados de sensoriamento remoto disponíveis para as variáveis de poluição do ar e, uma vez listados, foram feitas algumas comparações para "*validar*" os mesmos. Este relatório tem como objetivo documentar o processo e as decisões tomadas para definir o melhor conjunto de dados para extrair a poluição do ar para a Amazônia brasileira no período do relatório (2020). Para saber mais sobre as etapas iniciais consultar o relatório 01_Analise_comparacao_fontes_dados.pdf.

2.1 Validando projeto CAMS com sensores LabGAMA

Foi feita uma validação comparando os valores de previsão do CAMS NRT com os sensores de poluição do ar *PurpleAir* usados pelo LabGAMA nos 22 municípios do estado do Acre.

A rede de sensores de poluição do ar com os sensores *PurpleAir* (UFAC/LabGAMA), instalada em todos os municípios acreanos há quase dois anos, permitiu a identificação da fumaça como agente poluidor do ar no Acre. Essa rede permitiu a identificação dos padrões espaço-temporais e da magnitude dos valores médios do PM 2,5, e a seguir a associação e análise do material particulado estimado por satélite para regiões maiores como a Amazônia, que é o caso dos dados do modelo CAMS.

Esta validação foi feita considerando os valores CAMS NRT para a coordenada exata de cada sensor e considerando os valores médios do muncicípio e setor censitário urbano.

Os valores faltantes dos sensores LabGAMA são devidos à falta de sinal de internet proibindo a comunicação com o banco de dados naquele período.

Séries temporais para agosto e setembro:

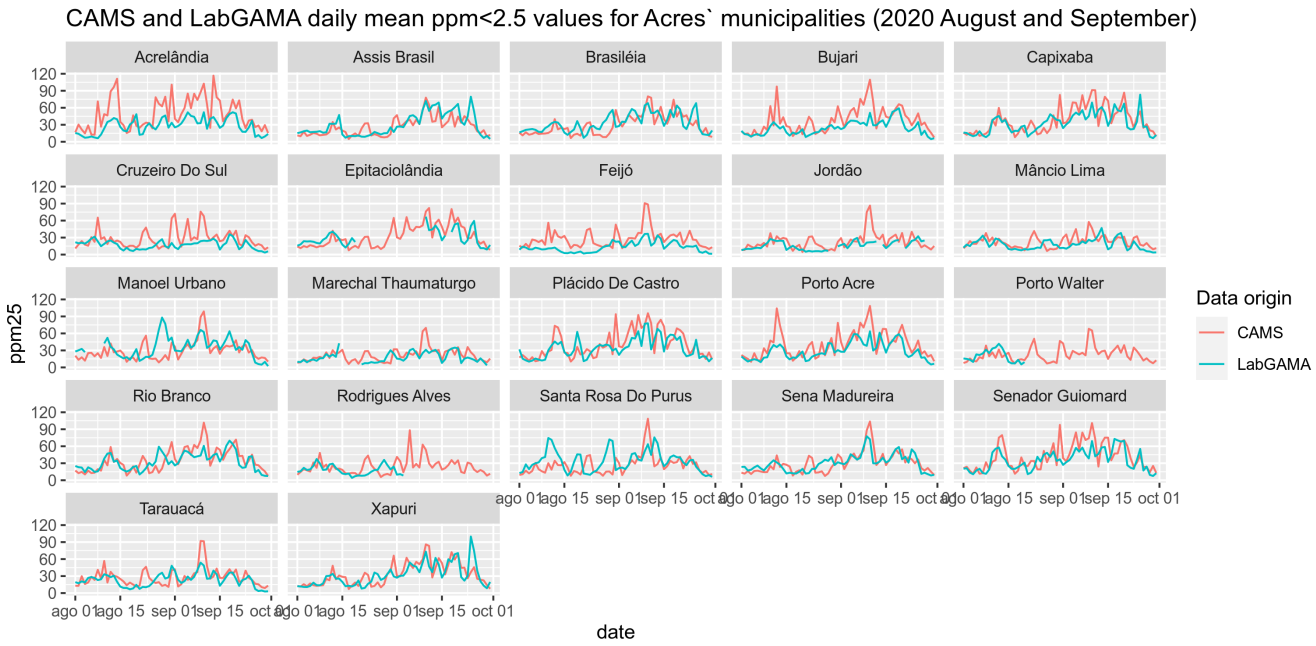


Figure 19: Comparação entre a previsão do CAMS e os valores observados do LabGAMA para agosto e setembro de 2020 por município

Série temporal do ano 2020:

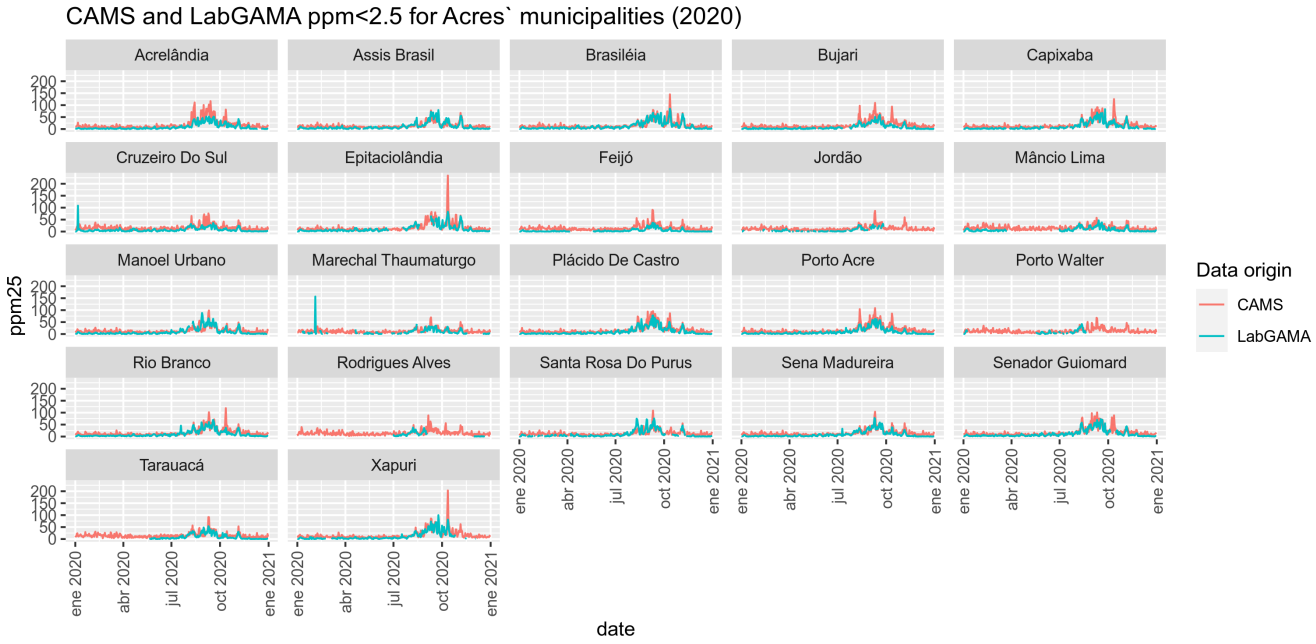


Figure 20: Comparação entre a previsão do CAMS e os valores observados do LabGAMA para todo o ano de 2020 por município

Série temporal do ano 2020 para setores censitarios urbanos:

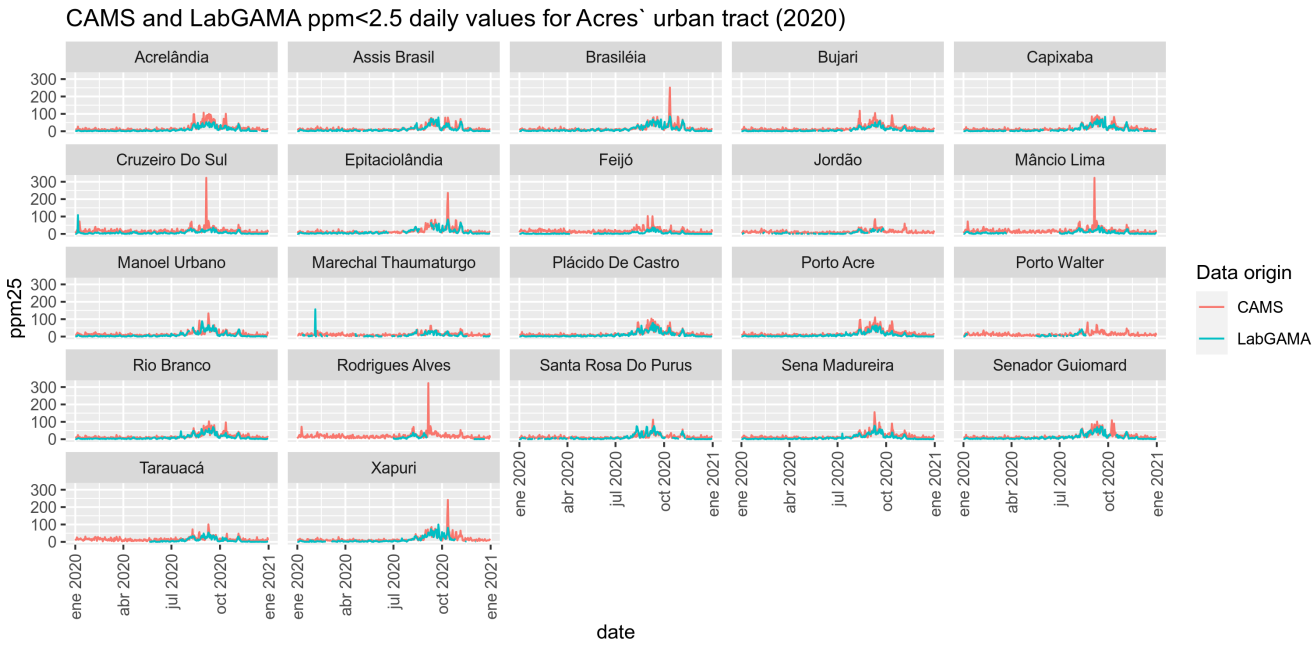


Figure 21: Comparação entre a previsão do CAMS e os valores observados pelo LabGAMA para agosto e setembro de 2020 por município para área urbana

Série temporal do ano 2020 para o Acre:

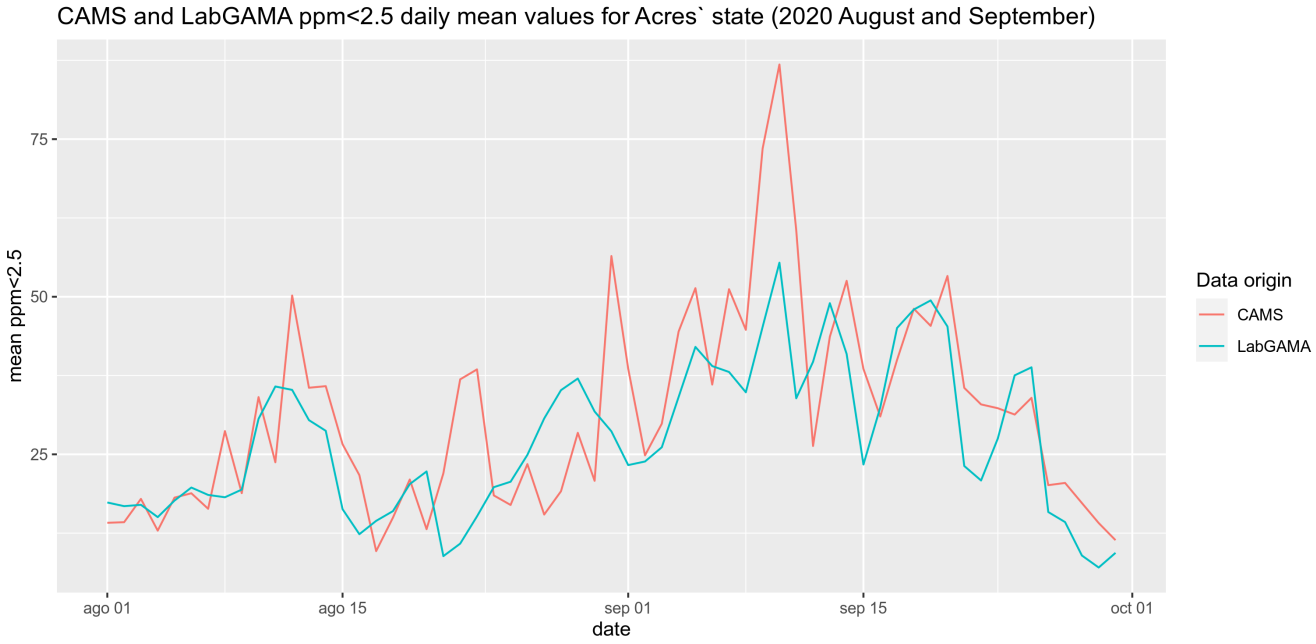


Figure 22: Comparação entre a previsão do CAMS e os observados pelos ensores do LabGAMA para agosto e setembro de 2020

Série temporal do ano 2020 para o Acre:

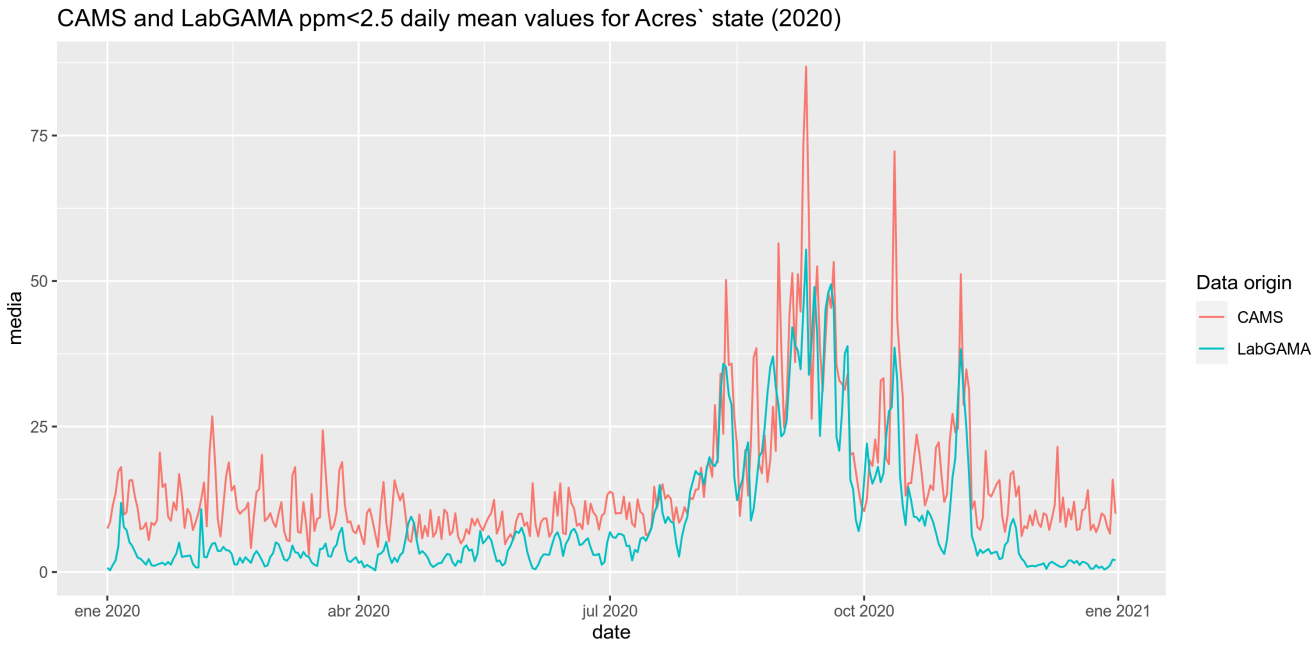


Figure 23: Comparação entre a previsão do CAMS e os valores observados pelos sensores do LabGAMA para 2020

Pudemos confirmar visualmente que o CAMS tende a superestimar a concentração de PM 2,5 ao comparar com os valores dos sensores de solo. Porém, apesar da tendência de superestimação, o CAMS apresentou a tendência temporal com estreita relação com o padrão temporal mostrado com os valores dos sensores.

Série temporal do ano 2020 do Acre para setores censitarios urbanos:

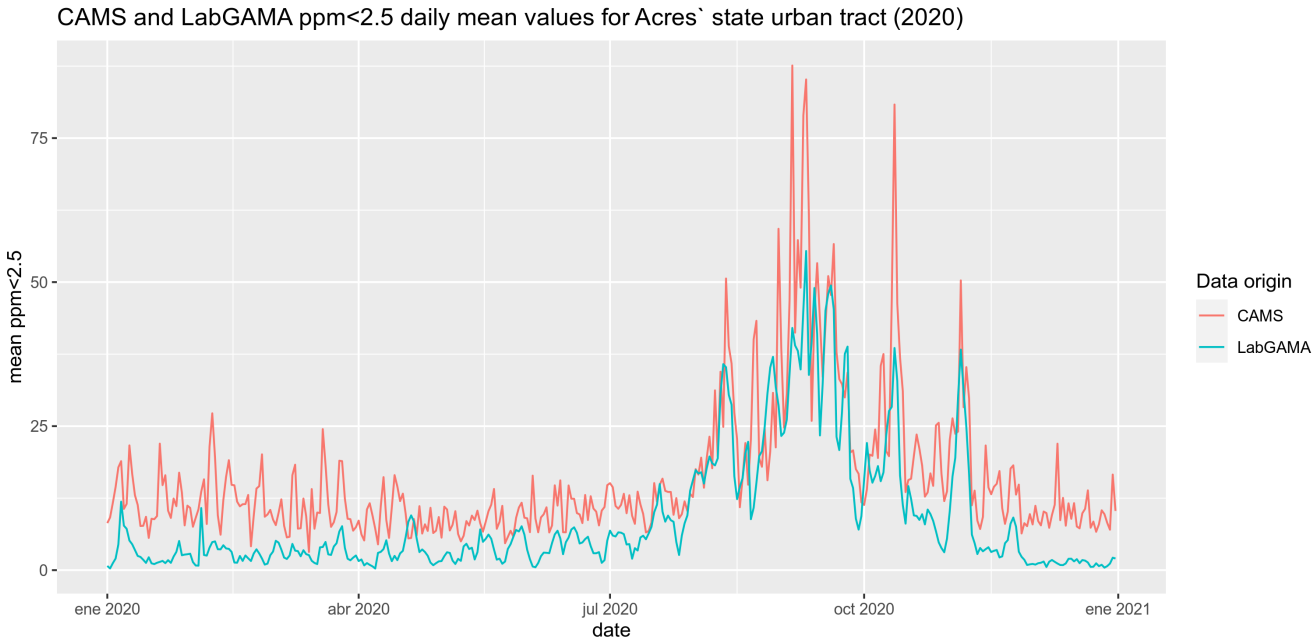


Figure 24: Comparativo entre CAMS e LabGAMA para 2020 por mês, por município para setores censitarios urbamos

Como o modelo CAMS NRT mostra uma tendência de superestimar e apresentar picos com valores elevados, criamos um gráfico de dispersão com um modelo linear para identificar a relação entre os valores dos sensores de solo CAMS e LabGama.

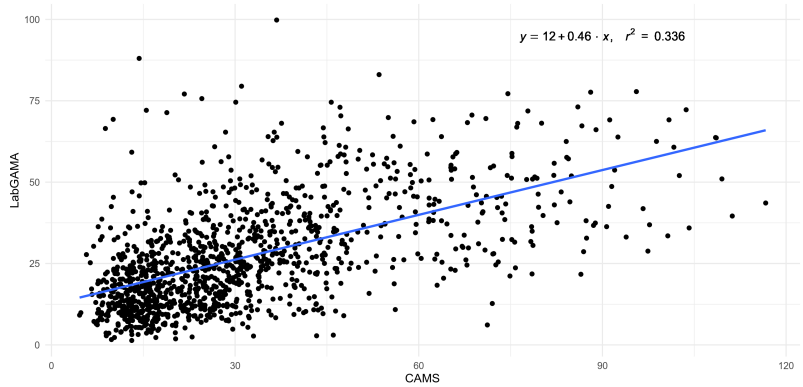


Figure 25: Gráfico de dispersão entre CAMS e LabGAMA para Agosto e Setembro de 2020

Série temporal do 2020

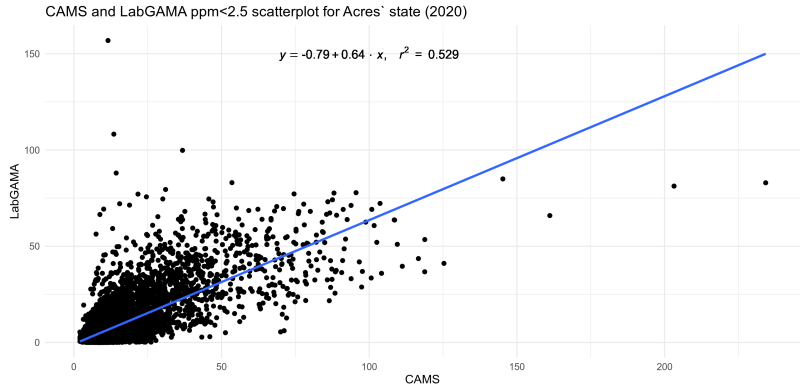


Figure 26: Gráfico de dispersão entre CAMS e LabGAMA para 2020

A superestimativa fornecida pelo CAMS é mostrada neste gráfico da diferença de valor entre LabGAMA e CAMS. Os valores que se desviam de zero representam discrepância. Se negativo, os valores de CAMS são maiores que LabGAMA.

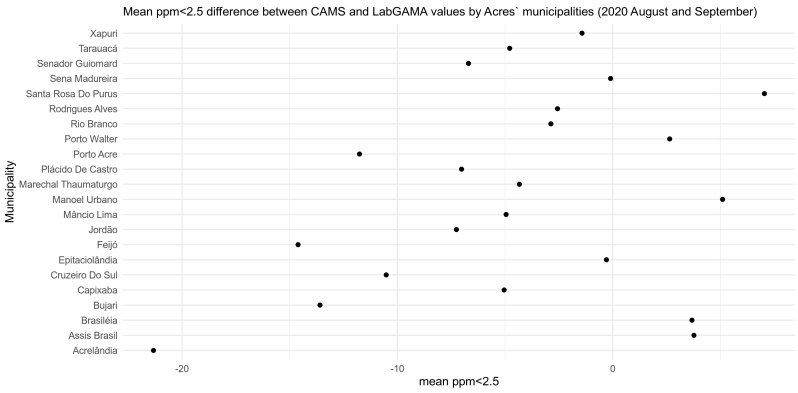


Figure 27: Diferença entre CAMS e LabGAMA por município para Agosto e Setembro de 2020

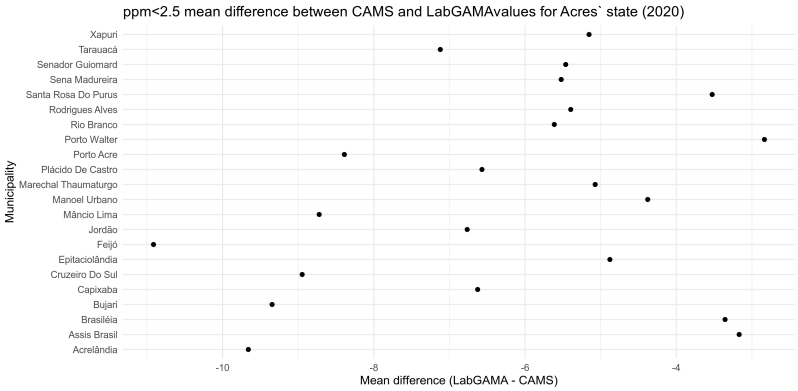


Figure 28: Diferença entre CAMS e LabGAMA por município para 2020

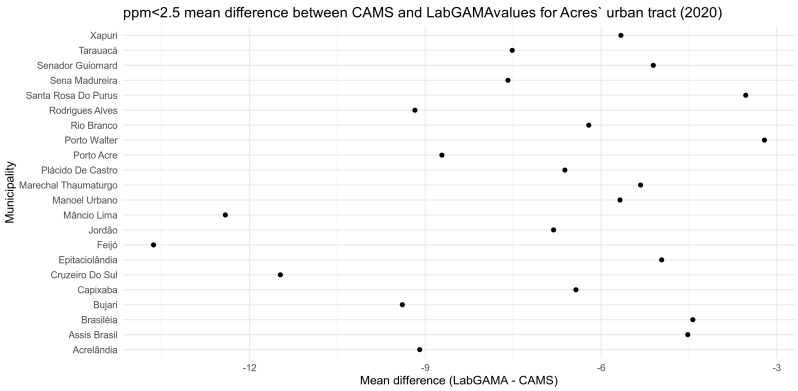


Figure 29: Diferença entre CAMS e LabGAMA por município e setores censitarios urbanos 2020

2.2 Conclusões

As análises neste relatório mostram que o Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) teve a melhor representação dos padrões de PM 2,5. Essa análise exploratória foi fundamental para definir o modelo a ser utilizado neste projeto, uma vez que não existe uma rede de sensores que medem PM 2,5 na Amazônia, como a rede PupleAir no Acre e redes semelhantes em grandes cidades como São Paulo.

A análise diária dos valores de PM 2,5 para cada município do Acre entre o CAMS e a Rede LabGAMA permitiu entender a magnitude da diferença nas estimativas. Ressaltamos que mesmo com as diferenças de escala entre os dados analisados, a regionalidade dos valores de pixel de 40 km do CAMS e a medição do ponto dos sensores Labgama, observamos que há consistência espaço-temporal dos dados do PM 2,5 do CAMS, sem a necessidade de aplicação de fator de correção para equalizar as estimativas, devido à consistência dos dados (tanto no padrão espacial quanto temporal).

Referências

Roux, Emmanuel, Eliane Ignotti, Nelson Bègue, Hassan Bencherif, Thibault Catry, Nadine Dessay, Renata Gracie, et al. 2020. "Toward an Early Warning System for Health Issues Related to Particulate Matter Exposure in Brazil: The Feasibility of Using Global PM2.5 Concentration Forecast Products." *Remote Sensing* 12 (24): 4074. https://doi.org/10.3390/rs12244074.