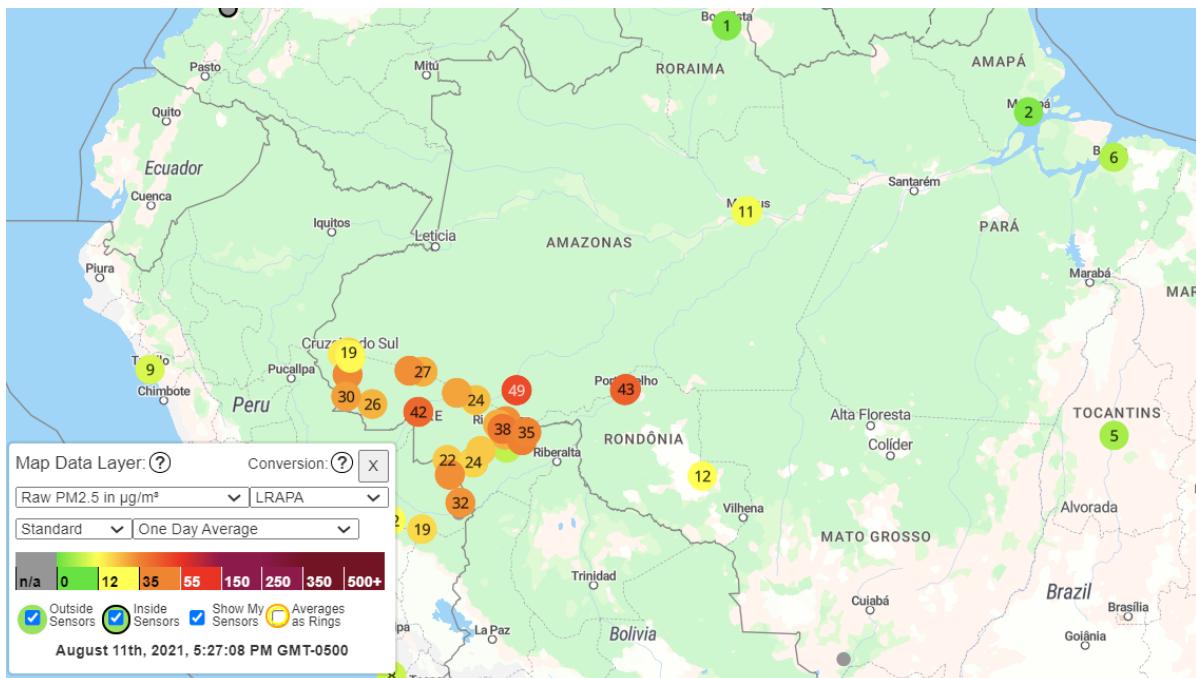


NOTA TÉCNICA

Importância do monitoramento da qualidade do ar na Amazônia para a saúde pública e o meio ambiente: o caso do Estado do Acre, Brasil

Sonaira Souza da Silva¹, Antônio Willian Flores de Melo¹, Odilson Silvestre², Alejandro Duarte³, Thor Dantas², Paulo Henrique Sampaio Valadares⁴ e Foster Brown⁵



¹ Professor(a) da Universidade Federal do Acre - Campus Floresta, Laboratório de Geoprocessamento Aplicado ao Meio Ambiente, Cruzeiro do Sul, Acre, Brasil.

² Professor da Universidade Federal do Acre – Curso de Medicina, Rio Branco, Acre, Brasil.

³ Professor da Universidade Federal do Acre – Grupo de Estudos e Serviços Ambientais, Rio Branco, Acre, Brasil.

⁴ Mestrando do Curso de Pós-graduação em Ciências da Saúde na Amazônia Ocidental da Universidade Federal do Acre, Rio Branco, Acre, Brasil.

⁵ Pesquisador do Woodwell Climate Research Center, Falmouth, Estados Unidos, pesquisador do Parque Zoobotânico e docente permanente dos Cursos de Pós-graduação em Ecologia e Ciências Florestais da Universidade Federal do Acre, Rio Branco, Acre, Brasil.

Resumo executivo

A fumaça pode matar e incapacitar. A baixa qualidade do ar causada pela fumaça oriunda de queimadas urbanas, rurais e florestais na Amazônia gera milhares de mortes prematuras e provoca centenas de milhares de anos de vida com incapacidades na América do Sul. Para reduzir danos ao ambiente e à saúde, normas nacionais e internacionais impõem limites à concentração de poluentes na atmosfera para ajudar a conter a emissão de material particulado e gases. O monitoramento das emissões contribui para a aplicação das leis que restringem tais emissões e evitar queimadas e as suas consequências. Para tanto, a Rede de Sensores da Qualidade do Ar do Estado do Acre constitui um sistema de mensuração para facilitar da preservação do ar limpo. Para tanto, a manutenção em funcionamento da mencionada rede de sensores é de vital importância, junto com a necessidade de estimular a sua expansão em todos os estados amazônicos. Com os benefícios, surgiu também um desafio: a necessidade de um programa de manutenção dos sensores de forma a evitar interrupções de funcionamento e assim garantir o fornecimento de informações de qualidade o ano inteiro.

Este esforço deve ser parte da implementação do compromisso do Brasil perante o Acordo de Paris da ONU de parar desmatamento ilegal, compensar os que poderiam desmatar legalmente para não o fazer e recuperar 12 milhões de hectares de florestas, como indicado no primeiro documento da “Contribuição Nacionalmente Determinada do Brasil” de 2016. Além de reduzir a emissão de gases de efeito estufa, assimilar carbono nas florestas e ajudar a manter a biodiversidade, o compromisso do Brasil perante o Acordo de Paris salvaria vidas via a redução de fumaça na Amazônia.

Introdução

Ao se tratar da poluição do ar na Amazônia e seus possíveis impactos na saúde coletiva, há de se considerar que na maior parte do ano, de outubro a maio, as concentrações de partículas e gases poluentes atmosféricos são muito baixas, semelhantes às do ar sobre os mares, por tal motivo a Amazônia ganhou o apelido de 'Oceano Verde' [1]. No entanto, durante os meses de seca, de junho a setembro, ocorrem milhares de queimadas que mudam esse cenário, gerando poluição do ar devido à fumaça e criando um panorama até pior do que os níveis de poluição em megacidades da América do Sul.

Desde 2004, cerca de um milhão de hectares de florestas foram derrubadas por ano [2]. As queimadas liberam anualmente na Amazônia brasileira um milhão de toneladas de material particulado orgânico fino [3] para a atmosfera. Agravando este processo, estão as queimadas de vegetação rasteira como pastagens que contribuem significativamente para a produção de fumaça. Além do material particulado fino, a fumaça contém gases tóxicos como monóxido de carbono, ozônio, compostos orgânicos voláteis, óxidos de enxofre e de nitrogênio [4,5]. O ozônio gerado pelas queimadas tem impactos em ecossistemas florestais e agrícolas, com a redução significativa da produtividade [6].

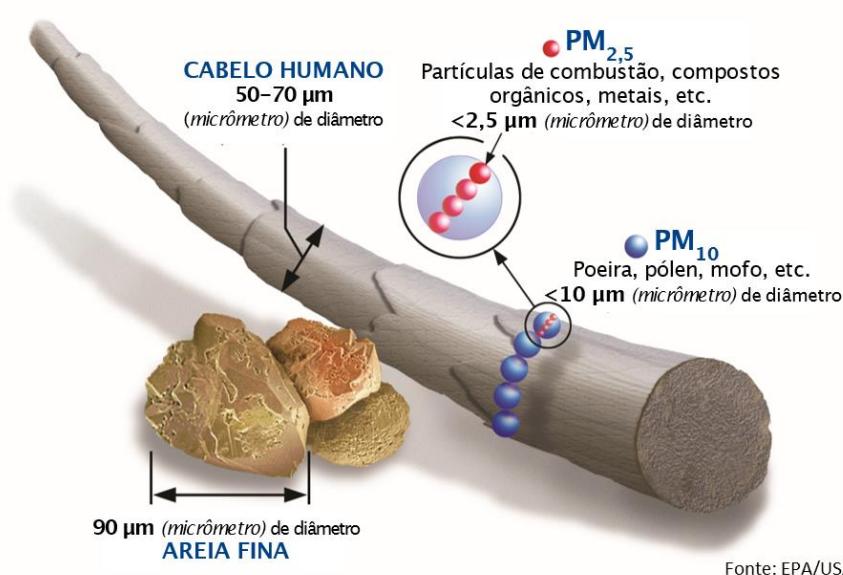
Em algumas ocasiões, a fumaça pode cobrir centenas de milhares de quilômetros quadrados, facilmente vistos do espaço, e os ventos podem transportar a fumaça por centenas e milhares de quilômetros [7], afetando a qualidade do ar em regiões distantes das queimadas [8]. A poluição causada em partes da Amazônia tem consequências continentais e transfronteiriças para dezenas de milhões de pessoas [9]. Não é só o impacto na saúde, a fumaça pode afetar, além da produtividade de ecossistemas, a distribuição das chuvas [10,11].

A fonte desta fumaça, o fogo, é um elemento transformador na paisagem amazônica; o fogo é utilizado principalmente para limpeza de áreas recém desmatadas e reforma de pastagens [12]. Em muitas regiões da Amazônia, o fogo é a tecnologia mais barata para manejo agropecuário. Entretanto, seu uso indiscriminado tem sido um dos fatores que agravam as emissões de gases de efeito estufa, perda de biodiversidade, poluição do ar, aumento de doenças respiratórias e prejuízos econômicos [13–17].

Os objetivos desta Nota Técnica são: 1) esclarecer a importância social da prevenção das queimadas e da poluição do ar na Amazônia brasileira; 2) estimular a manutenção do monitoramento contínuo da qualidade do ar; 3) mostrar os resultados obtidos mediante sensores de baixo custo, na Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar do Estado do Acre, como exemplo para outras regiões.

Efeito da fumaça, especialmente do material particulado fino, na saúde humana

O material particulado fino (Figura 1), especialmente a fração com diâmetro médio menor ou igual a 2,5 micrometros (μm), chamado de PM_{2,5} pela sigla em inglês, é um dos principais componentes da poluição do ar que impactam a saúde no mundo [18], por queima de biomassa no ambiente domiciliar na preparação de alimentos [19] e no aquecimento em países frios, bem como em ambientes externos [20]. São perdidos cerca de dois anos da expectativa de vida da população mundial devido às afecções causadas pela poluição do ar [9,21], pelo não cumprimento das normas da Organização Mundial da Saúde. A Amazônia brasileira é a região mais impactada pela poluição do ar no Brasil, segundo um estudo da Universidade de Chicago [9].



Fonte: EPA/USA, 2021.

Figura 1. Esquema comparativo das dimensões do cabelo humano, grão de areia e material particulado de 10 e 2,5 μm .

Dentre os poluentes da fumaça, o material particulado tem se destacado pelos danos à saúde humana a curto, médio e longo prazos. Os principais danos à saúde humana são: dor e ardência na garganta, tosse seca, cansaço, falta de ar, dificuldade para respirar, dor de cabeça, rouquidão, lacrimejamento e vermelhidão nos olhos; assim como agravamento de doenças previamente existentes como rinite, asma, bronquite e doença pulmonar obstrutiva crônica; além do possível desencadeamento de enfermidades cardiovasculares, respiratórias e neoplásicas [22,23].

O PM_{2,5}, como anteriormente expressado, preocupa grandemente em termos de impactos sobre a saúde humana, por permanecer no ar durante semanas, ser transportado por centenas ou

milhares de quilômetros e por entrar no corpo humano pelo nariz e invadir o sistema respiratório e posteriormente o sistema sanguíneo.

Em um estudo recente, Butt *et al.* [24] estimaram que as queimadas no ano de 2012 no sul da Amazônia causaram 16.800 mortes prematuras na América do Sul e uma perda de 641.000 anos de vida ajustados por incapacidade (DALY, Disability Adjusted Life Years). Nawaz e Henze [25] estimaram cerca de 5.000 mortes prematuras só no Brasil no ano de 2019 causadas pela fumaça das queimadas na Amazônia. Para fins de comparação, os homicídios para o mesmo ano foram 41.000 [26], de uma mortalidade total de 1,3 milhão de pessoas no Brasil [27]. Um fator complicador tem sido a pandemia da Covid-19; entre julho de 2020 e julho de 2021, mais de 460.000 mortes foram atribuídas à pandemia no Brasil, com mais de 17 milhões de casos de infecção [28], embora as cifras sejam consideradas subestimadas [29–31].

Assim, a Covid-19 [32] pode ter multiplicado os impactos da fumaça das queimadas. Pozzer e colaboradores [33] notaram que mundialmente a poluição por PM2.5 aumentou em 25% a mortalidade de pessoas com Covid-19. Para o Brasil, eles calcularam um aumento de 12%, mas careceram de dados para estimar a poluição do ar, especialmente na Amazônia. Esta carência de dados pode ser suprida por uma rede de sensores da qualidade do ar, acoplada a uma avaliação mais detalhada e confiável de mortalidade e morbidade, nos sistemas de saúde.

A mortalidade prematura é somente um dos impactos gerados pela fumaça de queimadas na Amazônia. As incapacidades geradas têm um efeito significativo no bem-estar da população, como foi anotado acima, com mais de meio milhão de anos de vida perdidos em 2012 na América do Sul. As populações afetadas pela Covid-19 são cada vez mais jovens [34], o que poderia aumentar os anos de vida perdidos na conjunção entre a Covid-19 e a poluição do ar.

Para estudar os impactos do PM2.5 sobre a saúde dos 25 milhões de habitantes da Amazônia Legal [35], precisa-se de medições contínuas da poluição do ar, 24 horas por dia, ano após ano. Frequentemente os valores extremos de concentração de poluentes, e seus impactos na saúde, ocorrem durante a noite (Figura 3a.). Também, podem acontecer níveis elevados de concentração fora do período de queimadas, que também resultam em impactos significativos sobre a saúde pública [36].

Monitoramento de material particulado fino (PM2.5)

O monitoramento da qualidade do ar, com foco na concentração de material particulado, traz desafios e exigiu a instalação de estações de medição de complexas tecnologias e de alto custo. Como exemplo desse tipo de estações é possível citar a rede de monitoramento da qualidade do ar do Estado do São Paulo [37], que usa diferentes meios e métodos de medição, tais como radiação beta, fluorescência de pulso, quimiluminescência, infravermelho não dispersivo, oxidação térmica-fluorescente de pulso, cromatografia gasosa [38] e a rede mundial de robôs fotométricos de monitoramento de material particulado atmosférico (Aeronet, NASA) presente na Amazônia, em particular no Acre [39]. Esses tipos de estações são essenciais para estudos detalhados e como referências, mas têm a limitação de se restringirem a campanhas científicas ou a poucas unidades em grandes extensões territoriais.

Na atualidade têm surgido outras abordagens convenientes no monitoramento por satélites e mediante sensores de baixo custo. Exemplos incluem a) imagens de satélite como Global Fire Assimilation (GFAS) com resolução espacial de 10 km [40], Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) [41] com resolução espacial de 40 km. Eles têm a vantagem de uma extensão geográfica continental e global, mas a desvantagem da realização de poucas medidas durante o dia; b) os sensores de baixo custo. Eles inauguram uma nova era nas medições de concentração de material particulado e de gases na atmosfera, representam uma aplicação da Internet das Coisas (IoT) em união com a Ciência Cidadã, a computação vestível (wearables) e o vislumbre das cidades inteligentes; podem ser distribuídos sem limites, podendo constituir uma rede de alta densidade espacial, de informações em tempo real, disponibilizadas na web; estão inseridos no mundo, e se somam a outros meios e métodos de medição.

A Tabela 1 mostra vantagens e desvantagens de métodos de medição de PM2.5. Como se pode ver na tabela, os métodos têm uma complementaridade e o ideal seria uma combinação de métodos, quando possível.

Tabela 1. Comparação de métodos de medição de PM2.5.

Método	Vantagens	Desvantagens
Sensores convencionais	Método referencial, confiança nas análises.	Custos altos (milhares a dezenas de milhares de dólares por unidade) para aquisição e manutenção; as informações às vezes demoram para serem disponibilizadas.
Fotômetros solares, medição de Profundidade Ótica de Aerossóis (AOD), Aerosol Robotic Network (AERONET, https://aeronet.gsfc.nasa.gov/).	Tecnologia utilizada durante algumas décadas que permite uma análise histórica das concentrações de aerossóis e calibração de imagens de satélite para toda a coluna da atmosfera.	Funciona somente durante o dia, custos altos de aquisição e manutenção. Localizado em poucos pontos na Amazônia.
Imagens de satélite	Comparação geográficas simultâneas, facilidade de coleta de dados. Podem ser integrados com fotômetros solares.	Dados somente durante o dia, as nuvens podem interferir nas medições. A concentração de PM2.5 no nível do chão é inferida mediante modelos.
Sensores laser da quarta revolução industrial. Exemplo: Sensores PurpleAir PA-II-SD	Com conexão WiFi, dados disponíveis em tempo real. Frequência de medidas na escala de um minuto, cerca de mil por dia. Pode detectar variações noturnas e durante períodos nublados. Baixo custo. Potencial de ter redundância nas medidas.	Sensor não convencional. O valor da concentração de material particulado precisa de ajuste segundo a procedência (tipo de floresta, poeira etc.). Falta de rigor na instalação e manutenção pode gerar viés nas medidas.

Em junho 2019, baseado em um trabalho iniciado em 2017 [42], se tornou operacional a rede de monitoramento da qualidade do ar dos municípios do Acre, baseada em sensores PurpleAir PA-II-SD de baixo custo e conceito inovador da Internet das Coisas, que se conecta a uma rede internacional, com disponibilização de dados em tempo real e de forma gratuita e pública. Foram instalados 30 sensores, distribuídos nas sedes dos 22 municípios do Estado do Acre. A presente Nota Técnica integra os três objetivos acima declarados nos resultados de mais de dois anos de monitoramento da qualidade do ar no Acre, bem como chama a atenção sobre a necessidade do funcionamento contínuo da rede com base na manutenção programada dos sensores e da garantia do fornecimento de energia elétrica e sinal de Internet em cada ponto de medição. O resultado desse esforço contribui para o trabalho conjunto de diferentes esferas sociais, a tomada de decisões, o desenvolvimento de políticas públicas, a produção e difusão de conhecimento, a preservação do meio ambiente e o cuidado da saúde da população.

Esta rede se tornou a primeira do seu tipo no monitoramento da qualidade do ar na Amazônia, no nível municipal, e foi implantada por: Ministério Público do Estado do Acre, Universidade Federal do

Acre, Tribunal de Justiça do Estado do Acre, Prefeitura de Assis Brasil, Secretaria de Meio Ambiente de Tarauacá, Batalhão da Polícia Militar de Capixaba, Instituto Federal do Acre/Campus Tarauacá, Prefeitura de Rodrigues Alves, Prefeitura de Jordão, Prefeitura de Santa Rosa do Purus, Prefeitura de Porto Acre, Defesa Civil de Tarauacá, Prefeitura de Xapuri, Prefeitura de Marechal Thaumaturgo, Instituto Federal do Acre/Campus Sena Madureira, Prefeitura de Santa Rosa do Purus, 8º Batalhão de Educação, Proteção e Combate a Incêndios Florestais/Urbanos de Xapuri, IMAC/Núcleo de Representação em Feijó/Envira e Centro de Pesquisa de Clima Woodwell.

A conversão da contagem de partículas em concentração de PM2.5, se realiza mediante um processo algorítmico que considera diferentes fontes da poluição do ar [43–47]. Assim, os chamados Índices de Qualidade do Ar (AQI) refletem a situação do ambiente em que a poluição é gerada. Existem, e poderão existir, várias expressões de conversão deduzidas por agências e instituições. Por não existir ainda uma conversão específica para a Amazônia, provisoriamente usam-se conversões oriundas de queimadas de florestas e ambientes de outros países, por exemplo, a conversão LRAPA, obtida pela Lane Regional Air Protection Agency [48], a conversão US EPA obtida pela U.S. Environmental Protection Agency, etc.

Por tal motivo, na especificidade do monitoramento se faz necessária no futuro próximo uma calibração dos dados medidos pela rede em função do monitoramento local e simultâneo junto a um equipamento de referência da qualidade do ar. Até o momento, tal calibração não tem sido realizada, nem também a dedução de uma conversão aplicável às condições ambientais da floresta amazônica na sua integridade ou para suas partes, a saber, leste, centro, norte, ocidental.

Mais na frente se esboça uma preocupação relacionada à falta de uma equipe de manutenção periódica e preventiva, que, inclusive, possa produzir as descrições relativas ao monitoramento, os metadados, necessários para fundamentar o estabelecimento da conversão mais propícia aos índices de qualidade do ar do Acre.

Situação da qualidade do ar no Estado do Acre

A rede de qualidade do ar no Estado do Acre, com somente dois anos de funcionamento, tem trazido resultados que têm servido na tomada de decisões de prevenção a agravos de saúde e combate às queimadas nos 22 municípios do Estado. A situação da poluição do ar em 2019 e 2020 pode ser visualizada de forma aberta para toda a sociedade através do site <http://acrequalidadedoar.info/index.php>, construído pela Universidade Federal do Acre e o Ministério Público do Estado do Acre. A referência mundial para qualidade do ar vem da Organização Mundial da Saúde que coloca um limite médio anual de 10 microgramas de material particulado fino (PM2.5) por metro cúbico de ar e um limite de 25 microgramas por metro cúbico para a média diária [49]. O gráfico mostra que a qualidade do ar é comprometida nos meses do verão amazônico quando ocorrem as queimadas (Figura 2).

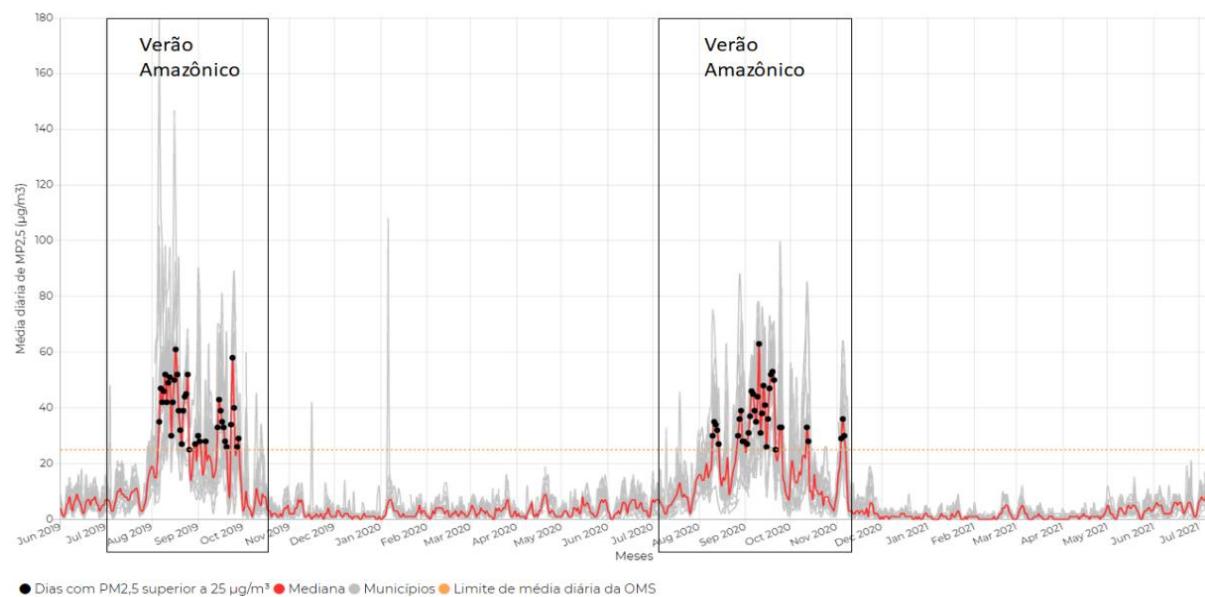


Figura 2. Compilação de dados, média diária de PM2.5, dos sensores da rede de monitoramento do Acre para o período de junho de 2019 a julho de 2021. Os dados foram corrigidos usando a conversão LRAPA, obtida pela Lane Regional Air Protection Agency.

A rede de monitoramento da qualidade do ar no Acre, mostra que a poluição não é constante durante o dia, sendo mais crítica no período da noite, das 17:00 às 07:00 (Figura 3a), e não é uniforme para todo o Estado, tendendo a ser maior nos municípios do Vale do Purus e do Vale do Acre (Figura 3b). Foi observada uma diferença na quantidade de dias que ultrapassaram o limite estipulado como aceitável pela OMS, em 2019 três municípios tiveram mais de 30 dias com valores PM2.5 acima do recomendado pela OMS para média de 24 horas, e em 2020 foram 14 municípios (Figura 3b), com um aumento em mais de três vezes. Esse aumento também foi observado considerando as estimativas de

área queimada, mapeada pelo LabGAMA/Ufac, 180 mil ha em 2019 e 265 mil ha em 2020, aumento de 32%.

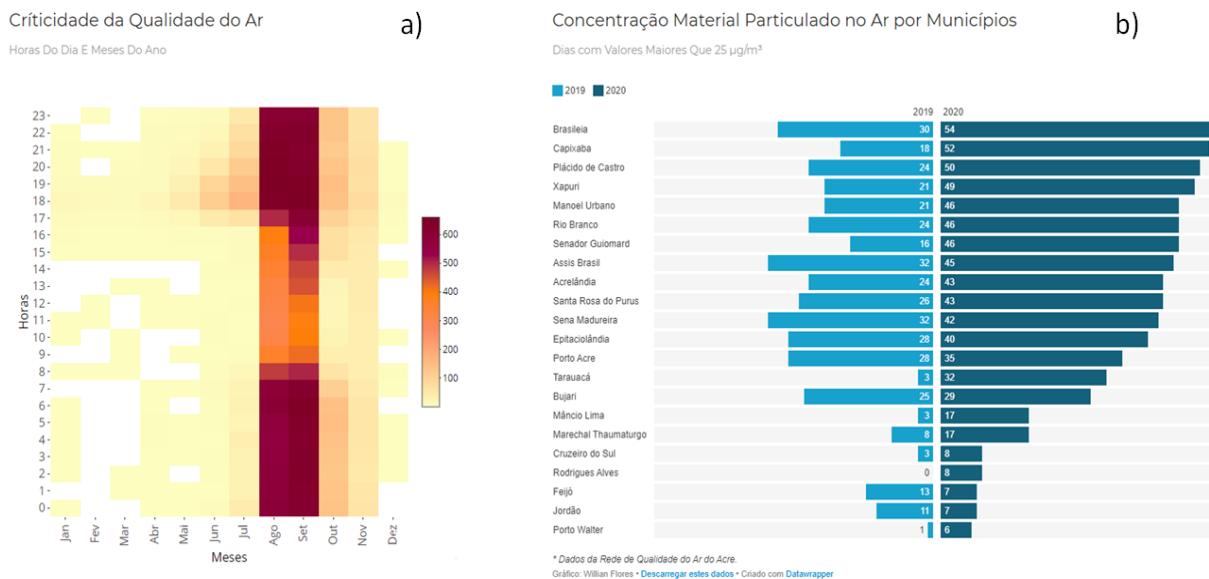


Figura 3. Medições de (a) material particulado PM2.5 em 24 horas para os meses de janeiro a dezembro dos dados disponíveis em número de medidas horárias acima de 25 microgramas por metro cúbico (referência OMS) de todos os sensores. e (b) número de dias com concentração de PM2.5 acima do limite estipulado pela OMS para os anos de 2019 e 2020 dos dados disponíveis. Em alguns sensores a falta de continuidade significa que os valores em a) e b) podem ser subestimados. Os dados foram corrigidos usando a conversão LRAPA.

Os dados da rede de qualidade do ar do Acre têm gerado interesse científico, não somente para os pesquisadores locais. Por exemplo, o projeto de jornalismo científico do InfoAmazônia (<https://infoamazonia.org/>) “Engolindo fumaça”, utilizou os dados da rede de qualidade do ar do Acre para escolher e validar imagens de satélites (Figura 4), e realizar estimativas de poluição do ar para toda a Amazônia.

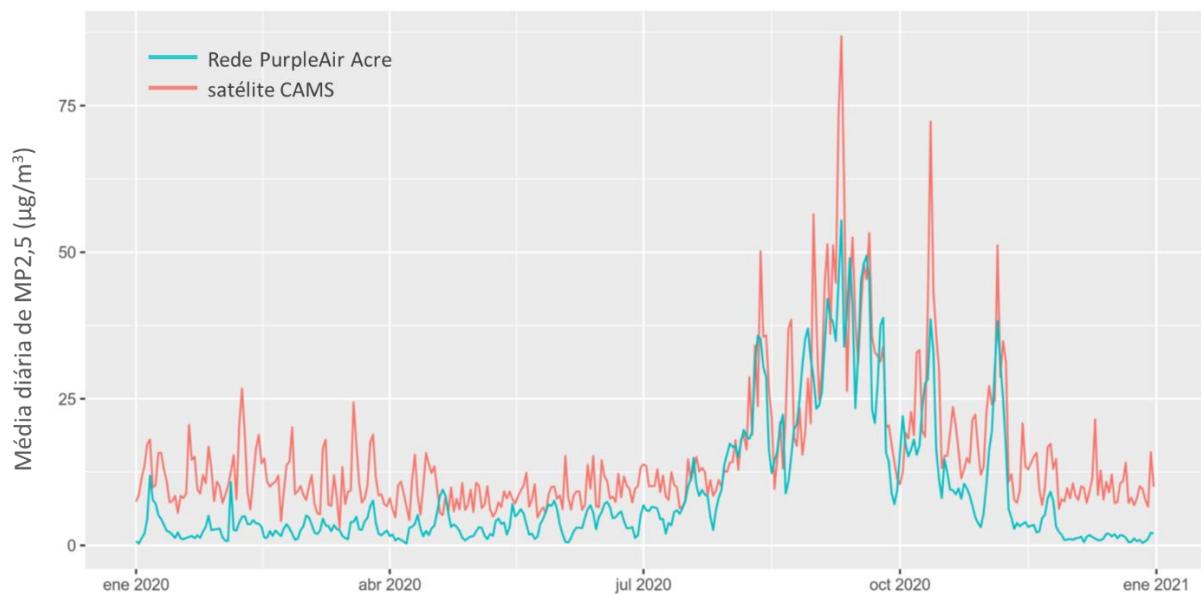


Figura 4. Comparação entre os dados de material particulado PM2.5 medidos pelos sensores da rede de qualidade do ar do Acre corrigidos usando a conversão LRAPA e mediante imagens do satélite CAMS (resolução espacial de 40 km).

Uma situação preocupa: a falta de continuidade no funcionamento dos sensores em vários municípios, tais como Santa Rosa do Purus, Rodrigues Alves, Porto Walter, Marechal Thaumaturgo, Senador Guiomard, Assis Brasil, Jordão e outros, onde têm acontecido interrupções nas medições durante horas, dias e semanas. Tais interrupções, na maioria das vezes, não estão relacionadas com o sensor em si, mas com a falta do acompanhamento de alguém que religue a Internet ou a eletricidade, que faça uma limpeza da estrutura, enfim, que realize uma rotina de manutenção relativamente simples. Essa ação elevaria o grau de confiabilidade da rede em relação ao monitoramento realizado em cada um dos seus pontos.

Conclusão

A poluição do ar na Amazônia é uma ameaça para a saúde pública e para a saúde dos ecossistemas, causando milhares de mortes prematuras e centenas de milhares de anos de vida com incapacidades na América do Sul. Uma rede de sensores de baixo custo serve como referência do que a população está respirando em termos de material particulado fino (PM2.5) e permite medir o seu impacto na saúde de mais de vinte milhões de pessoas na Amazônia brasileira. A manutenção da rede de monitoramento da qualidade do ar do Estado do Acre, de forma a garantir o funcionamento contínuo dos sensores dia após dia, ano após ano, precisa ser organizada para o aprimoramento das medições e sua correlação com a incidência de casos de doenças e mortes ocasionadas pela poluição do ar. Essas informações são pertinentes para o estabelecimento de políticas de desenvolvimento sustentável, aumento do nível de vida e saúde da população, bem como para influenciar o crescimento físico da rede na Amazônia e na América do Sul. As queimadas na Amazônia devem ser suprimidas em benefício também do clima global.

Existem leis e compromissos que podem ser aplicadas para reduzir as queimadas e a produção associada de fumaça. O mais abrangente compromisso envolve a **Contribuição Nacionalmente Determinada do Brasil perante o Acordo de Paris** [50]. No documento detalhado de 2016 [51], o Brasil anunciou a sua meta para alcançar até o ano 2030: 1) desmatamento ilegal zero; 2) compensar os que podem desmatar legalmente para não o fazer; e 3) restauração e reflorestamento de 12 milhões de hectares. Estes compromissos reduziriam uma fonte significativa de fumaça via a eliminação de desmatamento e incentivaria o controle de fogo para proteger projetos de reflorestamento. Via a redução de fumaça, cumprir os compromissos do Acordo de Paris vai salvar vidas.

Referências

1. Martin, S.T.; Artaxo, P.; Machado, L.; Manzi, A.O.; Souza, R. a. F.; Schumacher, C.; Wang, J.; Biscaro, T.; Brito, J.; Calheiros, A.; et al. The Green Ocean Amazon Experiment (GoAmazon2014/5) Observes Pollution Affecting Gases, Aerosols, Clouds, and Rainfall over the Rain Forest. *Bulletin of the American Meteorological Society* **2017**, *98*, 981–997, doi:10.1175/BAMS-D-15-00221.1.
2. INPE-PRODES. Média de Desmatamento Na Amazônia Brasileira 2004-2020: 1.009.100 Ha Por Ano 2020. <http://www.obt.inpe.br/prodes/>
3. Reddington, C.L.; Morgan, W.T.; Darbyshire, E.; Brito, J.; Coe, H.; Artaxo, P.; Scott, C.E.; Marsham, J.; Spracklen, D.V. Biomass Burning Aerosol over the Amazon: Analysis of Aircraft, Surface and Satellite Observations Using a Global Aerosol Model. *Atmospheric Chemistry and Physics* **2019**, *19*, 9125–9152, doi:10.5194/acp-19-9125-2019.
4. Reid, C.E.; Brauer, M.; Johnston, F.H.; Jerrett, M.; Balmes, J.R.; Elliott, C.T. Critical Review of Health Impacts of Wildfire Smoke Exposure. *Environ Health Perspect* **2016**, *124*, 1334–1343, doi:10.1289/ehp.1409277.
5. Amaral, S.S.; Costa, M.A.M.; Soares Neto, T.G.; Costa, M.P.; Dias, F.F.; Anselmo, E.; Santos, J.C. dos; Carvalho, J.A. de CO₂, CO, Hydrocarbon Gases and PM2.5 Emissions on Dry Season by Deforestation Fires in the Brazilian Amazonia. *Environmental Pollution* **2019**, *249*, 311–320, doi:10.1016/j.envpol.2019.03.023.
6. Pacifico, F.; Folberth, G.A.; Sitch, S.; Haywood, J.M.; Rizzo, L.V.; Malavelle, F.F.; Artaxo, P. Biomass Burning Related Ozone Damage on Vegetation over the Amazon Forest: A Model Sensitivity Study. *Atmospheric Chemistry and Physics* **2015**, *15*, 2791–2804, doi:10.5194/acp-15-2791-2015.
7. Alisson, E. Deforestation of Amazônia Is Increasing Pollution in South American Countries. *Dicyt* **2014**. <https://www.dicyt.com/viewNews.php?newsId=31553>.
8. Pereira, G.M.; da Silva Caumo, S.E.; Grandis, A.; do Nascimento, E.Q.M.; Correia, A.L.; de Melo Jorge Barbosa, H.; Marcondes, M.A.; Buckeridge, M.S.; de Castro Vasconcellos, P. Physical and Chemical Characterization of the 2019 “Black Rain” Event in the Metropolitan Area of São Paulo, Brazil. *Atmospheric Environment* **2021**, *248*, 118229, doi:10.1016/j.atmosenv.2021.118229.
9. Greenstone, M.; Fan, C. Air Quality Life Index: Annual Update 2020. https://aqli.epic.uchicago.edu/wp-content/uploads/2020/07/AQLI_2020_Report_FinalGlobal-1.pdf

10. Andreae, M.O.; Rosenfeld, D.; Artaxo, P.; Costa, A.A.; Frank, G.P.; Longo, K.M.; Silva-Dias, M. a. F. Smoking Rain Clouds over the Amazon. *Science* **2004**, *303*, 1337–1342, doi:10.1126/science.1092779.
11. Thornhill, G.D.; Ryder, C.L.; Highwood, E.J.; Shaffrey, L.C.; Johnson, B.T. The Effect of South American Biomass Burning Aerosol Emissions on the Regional Climate. *Atmospheric Chemistry and Physics* **2018**, *18*, 5321–5342, doi:10.5194/acp-18-5321-2018.
12. Morello, T.; Martino, S.; Duarte, A. F.; Anderson, L.; Davis, K.; Silva, S. e Bateman, I. Fire, Tractors, and Health in the Amazon: a Cost-Benefit Analysis of Fire Policy”. *Land Economics* **2019**, *95*, n° 3 (2019): 409–34.
13. Melo, A.W.F. de; Silva, S.S.; Anderson, L.O.; Nascimento, V.M.L.; Freitas, M.F.; Duarte, A.F.; Brown, I.F. *Monitoramento Da Qualidade Do Ar Em 2019 No Estado Do Acre*; Ufac: Cruzeiro do Sul, 2020; p. 28; https://www.researchgate.net/publication/340540446_Monitoramento_da_qualidade_do_ar_em_2019_no_Estado_do_Acre
14. Silva, S.S.; Oliveira, I.; Morello, T.F.; Anderson, L.O.; Karlakoski, A.; Brando, P.M.; Melo, A.W.F. de; Costa, J.G. da; Souza, F.S.C. de; Silva, I.S. da; et al. Burning in Southwestern Brazilian Amazonia, 2016–2019. *Journal of Environmental Management* **2021**, *286*, 112189, doi:10.1016/j.jenvman.2021.112189.
15. Campanharo, W.A.; Lopes, A.P.; Anderson, L.O.; da Silva, T.F.M.R.; Aragão, L.E.O.C. Translating Fire Impacts in Southwestern Amazonia into Economic Costs. *Remote Sensing* **2019**, *11*, 764, doi:10.3390/rs11070764.
16. Silva, S.S.; Numata, I.; Fearnside, P.M.; Graça, P.M.L.A.; Ferreira, E.J.L.; Santos, E.A.; Lima, P.R.F.; Dias, M.S.S.; Lima, R.C.; Melo, A.W.F. de Impact of Fires on an Open Bamboo Forest in Years of Extreme Drought in Southwestern Amazonia. *Reg Environ Change* **2020**, *20*, 127, doi:10.1007/s10113-020-01707-5.
17. Reddington, C.L.; Butt, E.W.; Ridley, D.A.; Artaxo, P.; Morgan, W.T.; Coe, H.; Spracklen, D.V. Air Quality and Human Health Improvements from Reductions in Deforestation-Related Fire in Brazil. *Nature Geosci* **2015**, *8*, 768–771, doi:10.1038/ngeo2535.
18. Martin, W.J.; Glass, R.I.; Balbus, J.M.; Collins, F.S. A Major Environmental Cause of Death. *Science* **2011**, *334*, 180–181, doi:10.1126/science.1213088.
19. Zhang, J.; Smith, K.R. Indoor Air Pollution: A Global Health Concern. *Br Med Bull* **2003**, *68*, 209–225, doi:10.1093/bmb/lgd029.
20. WHO Ambient (Outdoor) Air Pollution 2018. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
21. USA World Population Clock 2021. <https://www.census.gov/popclock/world>

22. Silva, A.M.C. da; Mattos, I.E.; Freitas, S.R.; Longo, K.M.; Hacon, S.S. Material particulado (PM2.5) de queima de biomassa e doenças respiratórias no sul da Amazônia brasileira. *Rev. bras. epidemiol.* **2010**, *13*, 337–351, doi:10.1590/S1415-790X2010000200015.
23. Ribeiro, H.; Assunção, J.V. de Efeitos das queimadas na saúde humana. *Estud. av.* **2002**, *16*, 125–148, doi:10.1590/S0103-40142002000100008.
24. Butt, E.W.; Conibear, L.; Reddington, C.L.; Darbyshire, E.; Morgan, W.T.; Coe, H.; Artaxo, P.; Brito, J.; Knote, C.; Spracklen, D.V. Large Air Quality and Human Health Impacts Due to Amazon Forest and Vegetation Fires. *Environ. Res. Commun.* **2020**, *2*, 095001, doi:10.1088/2515-7620/abb0db.
25. Nawaz, M.O.; Henze, D.K. Premature Deaths in Brazil Associated With Long-Term Exposure to PM2.5 From Amazon Fires Between 2016 and 2019. *GeoHealth* **2020**, *4*, e2020GH000268, doi:10.1029/2020GH000268.
26. G1. As Mortes Violentas Mês a Mês No País 2021. http://especiais.g1.globo.com/monitor-da-violencia/2018/mortes-violentas-no-brasil/?_ga=2.62510572.1711685417.1581424139-28686389.1558827135#/dados-mensais-2019
27. IBGE. Óbitos Registrados No Brasil 2021. <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/2684#resultado>
28. OWD. Cumulative Confirmed COVID-19 Deaths 2021. <https://ourworldindata.org/explorers/coronavirus-data-explorer?zoomToSelection=true&time=2020-03-01..latest&facet=none&pickerSort=asc&pickerMetric=location&Metric=Confirmed+deaths&Interval=Cumulative&Relative+to+Population=false&Align+outbreaks=false&country=~BRA>
29. Nishioka, S. A. Morrer Com Ou Morrer de COVID-19? Como Os Óbitos São Contados Nas Estatísticas de Saúde 2020. <https://www.unasus.gov.br/especial/covid19/markdown/282>
30. Alessi, G. Brasil Supera a Vergonhosa Marca de 500.000 Mortos Pela Covid-19 2021. <https://brasil.elpais.com/brasil/2021-06-19/brasil-supera-a-vergonhosa-marca-de-500000-mortos-pela-covid-19.html>
31. Cavalcante, J.R.; Cardoso-dos-Santos, A.C.; Bremm, J.M.; Lobo, A. de P.; Macário, E.M.; Oliveira, W.K. de; França, G.V.A. de COVID-19 no Brasil: evolução da epidemia até a semana epidemiológica 20 de 2020. *Epidemiol. Serv. Saúde* **2020**, *29*, doi:10.5123/S1679-49742020000400010.
32. Fajersztajn, L.; Saldiva, P.; Pereira, L.A.A.; Leite, V.F.; Buehler, A.M. Short-Term Effects of Fine Particulate Matter Pollution on Daily Health Events in Latin America: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Public Health* **2017**, *62*, 729–738, doi:10.1007/s00038-017-0960-y.
33. Pozzer, A.; Dominici, F.; Haines, A.; Witt, C.; Münzel, T.; Lelieveld, J. Regional and Global Contributions of Air Pollution to Risk of Death from COVID-19. *Cardiovascular Research* **2020**, *116*, 2247–2253, doi:10.1093/cvr/cvaa288.

34. Guimarães, R.M.; Portela, M.C.; Villela, D.A.M.; Correa Matta, G.; de Freitas, C.M. Younger Brazilians Hit by COVID-19 – What Are the Implications? *The Lancet Regional Health - Americas* **2021**, 100014, doi:10.1016/j.lana.2021.100014.
35. IBGE. Estimativa Da População Brasileira 2021.
<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=resultados>
36. ARB. Inhalable Particulate Matter and Health (PM2.5 and PM10) 2021.
<https://ww2.arb.ca.gov/resources/inhalable-particulate-matter-and-health>
37. CETESB. Qualidade Do Ar No Estado Do São Paulo 2021.
<https://servicos.cetesb.sp.gov.br/qa/>
38. CETESB. Redes de Monitoramento Da Qualidade Do Ar 2021.
<https://cetesb.sp.gov.br/ar/redes-de-monitoramento/>
39. NASA. AERONET (AErosol RObotic NETwork) 2021. <https://aeronet.gsfc.nasa.gov/>
40. ECMWF. Global Fire Assimilation System (GFAS) 2021.
<https://www.ecmwf.int/en/forecasts/dataset/global-fire-assimilation-system>
41. Copernicus. CAMS Monitors and Forecasts European Air Quality and Worldwide Long-Range Transport of Pollutants 2021. <https://atmosphere.copernicus.eu/air-quality>
42. Brown, F.; Duarte, A.; Torres, M.; Ascorra, C.; Reyes, J.F.; Rioja-Ballivián, G.; Reis, V.; Melo, A.W.F. de; Silva, S.S.; Acho, C. Monitoramento de Fumaça Em Tempo Real Mediante Sensores de Baixo Curto Instalados Na Amazônia Sul-Oidental. In Proceedings of the Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto; INPE: São José dos Campos, **2019**; pp. 2658–2661.
<http://marte2.sid.inpe.br/rep/sid.inpe.br/marte2/2019/10.01.16.37?metadatarepository=sid.inpe.br/marte2/2019/10.01.16.37.16&ibiurl.backgroundlanguage=pt&ibiurl.requiredsite=marte2.sid.inpe.br+802&requiredmirror=dpi.inpe.br/marte2/2013/05.17.15.03.08&searchsite=urlib.net:80&searchmirror=dpi.inpe.br/banon/2004/02.16.09.30.00&choice=briefTitleAuthorMisc>
43. Malings, C.; Tanzer, R.; Hauryliuk, A.; Saha, P.K.; Robinson, A.L.; Presto, A.A.; Subramanian, R. Fine Particle Mass Monitoring with Low-Cost Sensors: Corrections and Long-Term Performance Evaluation. *Aerosol Science and Technology* **2020**, *54*, 160–174, doi:10.1080/02786826.2019.1623863.
44. Delp, W.W.; Singer, B.C. Wildfire Smoke Adjustment Factors for Low-Cost and Professional PM2.5 Monitors with Optical Sensors. *Sensors* **2020**, *20*, 3683, doi:10.3390/s20133683.
45. Wallace, L.; Bi, J.; Ott, W.R.; Sarnat, J.; Liu, Y. Calibration of Low-Cost PurpleAir Outdoor Monitors Using an Improved Method of Calculating PM2.5. *Atmospheric Environment* **2021**, *256*, 118432, doi:10.1016/j.atmosenv.2021.118432.

46. Ardon-Dryer, K.; Dryer, Y.; Williams, J.N.; Moghimi, N. Measurements of PM_{2.5} with PurpleAir under Atmospheric Conditions. *Atmospheric Measurement Techniques* **2020**, *13*, 5441–5458, doi:10.5194/amt-13-5441-2020.
47. Barkjohn, K.K.; Gantt, B.; Clements, A.L. Development and Application of a United States-Wide Correction for PM_{2.5} Data Collected with the PurpleAir Sensor. *Atmospheric Measurement Techniques* **2021**, *14*, 4617–4637, doi:10.5194/amt-14-4617-2021.
48. PurpleAir. LRAPA PurpleAir Monitor Correction Factor History 2021.
<https://www.lrapa.org/DocumentCenter/View/4147/PurpleAir-Correction-Summary>
49. WHO. Available Evidence for the Future Update of the WHO Global Air Quality Guidelines (AQGs). https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0013/301720/Evidence-future-update-AQGs-mtg-report-Bonn-sept-oct-15.pdf
50. https://www.gov.br/mre/pt-br/canais_atendimento/imprensa/notas-a-imprensa/2020/apresentacao-da-contribuicao-nacionalmente-determinada-do-brasil-perante-o-acordo-de-paris
51. <https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Brazil%20First/BRAZIL%20iNDC%20english%20FINAL.pdf>, p.3.