

## Onde há fumaça, há fogo!

There's no smoke without fire!

¡Donde hay humo, hay fuego!

*Liana Oighenstein Anderson*<sup>1</sup>

*Sonaira Silva*<sup>2</sup>

*Antônio W. F. Melo*<sup>2</sup>

doi: 10.1590/0102-311XPT103823

Os dados de desmatamento da Amazônia são utilizados como um termômetro, nos âmbitos nacional e internacional, para sinalizar como está a gestão política de controle e combate desse processo, geralmente divulgados na mídia. Devido ao enfraquecimento das políticas ambientais nos últimos anos, havia a previsão de que o desmatamento para o ano de 2020<sup>1</sup> seria o maior da década, acima do de 2019, que superou 10.800km<sup>2</sup><sup>1</sup>, a maior taxa desde 2008. Ainda que em 2020 a taxa tenha sido um pouco inferior ao valor de 2019, os anos de 2021 e 2022 ultrapassaram os 12.000km<sup>2</sup><sup>2</sup>, novamente ganhando destaque na mídia mundial. Recentemente, devido à crise Yanomami, foi revelada outra ameaça crescente à vida amazônica: o avanço das atividades de mineração e garimpo na região. Estima-se um aumento nas taxas de mineração principalmente após 2010, e no ano de 2020 foi detectado que a área total de garimpo superou a de mineração industrial<sup>3</sup>. Entre os impactos negativos, identificam-se, além de rupturas sociais e culturais aos povos originários, aumento de doenças, contaminação ambiental e insegurança alimentar<sup>4</sup>.

O avanço do desmatamento revela uma pequena parte do problema socioambiental relacionado às florestas amazônicas. Um estudo recente<sup>5</sup> constatou que o fogo, a fragmentação florestal e a extração de madeira entre 2001 e 2018 já impactaram mais de 5,5% das florestas de toda a bacia amazônica – extensão que corresponde a 112% da área total desmatada nesse período. Se adicionarmos a essa lista de vetores de degradação florestal a ocorrência de secas extremas, a área aumenta para 38% do remanescente das florestas amazônicas.

É amplamente conhecido que o fogo é o principal instrumento para a eliminação da biomassa após o corte raso da floresta e que gera uma série de impactos negativos socioeconômicos e ambientais. Por exemplo, na escala global, as emissões de gases de efeito estufa por queimadas e incêndios afetam diretamente o regime de chuvas e a temperatura; na escala regional, geram diretamente a poluição atmosférica, afetando a qualidade do ar<sup>6,7</sup>. Localmente, os impactos negativos do fogo incluem a degradação dos solos e das florestas e a imposição de restrições e perdas aos que dependem deles, os quais têm seus bens, infraestruturas públicas ou mesmo serviços afetados<sup>8</sup>. No entanto, é bem menos conhecido que a fragmentação florestal<sup>9</sup>, a extração de madeiras da floresta<sup>10</sup>, assim como as áreas de florestas que já foram atingidas pelo fogo, têm maior susceptibilidade a novos incêndios<sup>11</sup>. Além disso, as secas extremas, que têm se intensificado e aumentado em taxas de recorrência devido às mudanças climáticas<sup>12</sup>, amplificam a extensão e magnitude dos incêndios<sup>7</sup>. Isso significa que mesmo controlando as taxas de desmatamento, ainda temos todas as demais forças que levam à ocor-

<sup>1</sup> Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais, Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, São José dos Campos, Brasil.

<sup>2</sup> Universidade Federal do Acre, Cruzeiro do Sul, Brasil.

### Correspondência

*L. O. Anderson*  
Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais, Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações.  
Estrada Doutor Altino Bondesan 500, São José dos Campos, SP 12630-000, Brasil.

*liana.anderson@gmail.com*



rência do fogo presentes nas práticas humanas e paisagens amazônicas<sup>13</sup>, as quais têm aumentado ao longo deste século<sup>14</sup>.

A exposição da população à fumaça tem diversas implicações, tanto a curto quanto a longo prazo, abrangendo desde crises alérgicas respiratórias até o câncer, impactando principalmente crianças e idosos. A fumaça oriunda de queimadas e incêndios florestais é geralmente composta tanto por poluentes primários – tais como materiais particulados (MP), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx) e compostos orgânicos não metânicos (CONM) – quanto por precursores de poluentes secundários, que incluem o ozônio (O<sub>3</sub>) e outros aerossóis orgânicos secundários (AOS)<sup>15</sup>. Diversos estudos demonstram a relação entre os materiais particulados finos (MP<sub>2,5</sub>) e a elevação de internações hospitalares por problemas respiratórios na Região Amazônica<sup>16,17</sup>.

No entanto, deve-se ressaltar que as pesquisas que verificam o impacto da poluição do ar devido às queimadas e aos incêndios enfrentam desafios metodológicos. O primeiro refere-se à própria detecção dos aerossóis atmosféricos, sua dispersão no espaço, na coluna de ar e no tempo, como a duração da exposição de pessoas em número de horas, dias, semanas etc. Por outro lado, os dados resultantes da busca dessas relações com casos de pessoas afetadas, geralmente atribuídos por número de óbitos e internações por problemas respiratórios, são subestimados, seja em razão da escala temporal curta, devido à falta de registro do número de pessoas que buscam automedicação para tratar os sintomas, ou por problemas de falta de postos de saúde ou dificuldade de acesso. Os registros de atendimentos ambulatoriais são limitados, pois, em geral, contabilizam-se somente internações. Além disso, na escala temporal de longo prazo, faltam trabalhos que relatem casos em que a exposição recorrente aos poluentes pode levar ao desenvolvimento de câncer e que identifiquem que a exposição à fumaça por longo prazo pode reduzir a expectativa de vida em mais de dois anos<sup>18</sup>. Estima-se que, somente entre junho e outubro de 2019, o custo de internações no Sistema Único de Saúde (SUS) na região amazônica associadas aos incêndios foi da ordem de R\$ 2,6 milhões<sup>19</sup>, além dos demais impactos econômicos na vida das pessoas que foram internadas, podendo comprometer sua renda, e de toda a geração de bens e serviços prejudicada devido ao adoecimento da população.

Um dos principais aspectos a ser considerado, tanto para mensurar e atribuir responsabilidade dos impactos dos incêndios na qualidade do ar quanto para estabelecer direcionamentos técnicos e políticos para gerar uma cultura de percepção do risco à sua exposição, refere-se à disponibilidade de dados de monitoramento em tempo quase real. No entanto, há carência de recursos destinados à compra e manutenção dos sensores, assim como para estabelecer e operar redes de monitoramento da qualidade do ar em toda a extensão do país. Um levantamento<sup>20</sup> publicado em 2021 apontou que apenas dez estados e o Distrito Federal realizam monitoramento da qualidade do ar, contando com uma rede de 371 sensores – 80% deles estão localizados na Região Sudeste do país. Esse vazio de dados leva a uma situação de imprevisibilidade por não haver bases quantitativas e, assim, dificultar a compreensão da magnitude desse problema crescente. Avanços tecnológicos no desenvolvimento de sensores de baixo custo têm representado uma alternativa, tanto para monitoramento da qualidade do ar quanto como estratégia de ciência cidadã e engajamento social<sup>21</sup>.

Uma iniciativa que contribuiu para avanços no entendimento da sazonalidade e exposição humana à fumaça foi a rede de sensores de baixo custo integrada à Internet das Coisas (*Internet of Things* – IoT) para monitoramento *in situ* de MP, instituída no Estado do Acre e, posteriormente, expandida para Peru e Bolívia<sup>22</sup>. Outro aspecto inovador dessa rede de monitoramento foi a parceria estabelecida entre pesquisadores e o Ministério Público do Estado do Acre, que viabilizou sua expansão para os demais estados da Amazônia brasileira<sup>23</sup>. Essa rede de coleta de dados quantitativos para o Estado do Acre revelou que, entre 2019 e 2022, somente no Município de Brasília, houve uma média anual de 77 dias com concentração de MP no ar superior à estabelecida pela Organização Mundial da Saúde (OMS) – de 15µg/m<sup>3</sup> em 24 horas. Outros nove municípios localizados no Acre também apresentaram média anual superior a dois meses de exposição a esse tipo de poluição durante o mesmo período<sup>24</sup>. Esse diagnóstico crítico revela que 19 dos 22 municípios do Acre exibiram em média mais de 30 dias com valores prejudiciais à saúde. Para o perímetro urbano e entorno da cidade de Rio Branco, estimou-se que a adoção de um limite de zero hectare de áreas queimadas resultaria em 1.393 casos evitados de internações por doenças respiratórias agudas por ano, durante os meses de pico de queimadas<sup>25</sup>.

A poluição oriunda de queimadas e incêndios florestais não é um fator isolado. Desde os primeiros meses de 2020, a pandemia de COVID-19 gerou mais um elemento de ameaça ao mundo, sobretudo à Região Amazônica, em que muitas vulnerabilidades sociais e ambientais são acentuadas em relação a outras regiões do país. Por exemplo, estimou-se que a taxa de mortalidade de indígenas infectados pelo coronavírus foi cerca de 150% maior que a média brasileira, revelando maior vulnerabilidade dessa população <sup>26</sup>. Em janeiro de 2021, o colapso do sistema de saúde de Manaus (Amazonas) foi assombroso, com os hospitais sem oxigênio, os doentes sendo levados para outros estados, os cemitérios sem vagas e a abertura de valas com retroscavadeiras, demonstrando uma fragilidade política e institucional sem precedentes. Em meio a essa situação, soma-se uma ameaça externa: em fevereiro de 2021, houve uma grande cheia no oeste da Amazônia, alagando o Estado do Acre e atingindo a região central da Amazônia, em Manaus, no mês de junho do mesmo ano. Esse cenário é um exemplo de como calamidades compostas, como COVID-19 e inundações ou COVID-19 e incêndios florestais, podem amplificar os riscos de cada um desses elementos isoladamente, aumentando os riscos para a saúde em todos os casos.

Há ainda mais elementos nessa construção socioambiental das multiameaças à saúde humana. Dados observacionais mostram redução de chuvas de 34% no leste e 20% no oeste da Amazônia durante os meses da estação seca em comparação com os índices de 40 anos atrás. Os dados de temperatura mostram um aumento para a mesma estação e período, variando entre 2,5°C no sul do bioma, 1,7°C no oeste e 1,9°C no leste <sup>27</sup>. Aliado a isso, há o avanço cada vez maior do desmatamento e da degradação florestal no interior da floresta, expondo a população a novos vetores de doenças, como mosquitos e alguns tipos de vírus, além de propiciar um ambiente mais favorável à ocorrência de incêndios.

Neste ano de 2023, enfrentaremos o El Niño, que causa secas e/ou aumento de temperatura em algumas regiões da Amazônia. Os dados indicam que deverá ser de intensidade maior que a média histórica, desenvolvendo-se ao longo dos próximos meses. Já sabemos das altas taxas de desmatamento dos últimos anos, antecipando que essas áreas queimarão, o que pode acarretar grandes incêndios. Observamos os desafios do atual governo em manter a promessa de retomar a pauta ambiental, ainda com sucesso limitado e retrocessos se consagrando. Ao mesmo tempo, estão planejados o encontro da Cúpula da Amazônia para o mês de agosto deste ano, em Belém (Pará), e a realização da Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (COP 30), que também ocorrerá em Belém em 2025 – em meio ao debate sobre a exploração de petróleo na foz do Amazonas, com apoio de todos os governadores da região. Nessa gangorra política, em que predomina uma visão fragmentada, separando as questões ambientais das econômicas e sociais, o Estado brasileiro segue sem planos integrados de curto e longo prazo que permitam desenvolvimento sustentável, social e ambiental para a Amazônia e para o Brasil, com indicadores e metas claras e recursos assegurados, passíveis de monitoramento pela sociedade.

## Colaboradores

L. O. Anderson contribuiu com a escrita do artigo e aprovou a versão final. S. Silva contribuiu com a escrita do artigo e aprovou a versão final. A. W. F. Melo contribuiu com a escrita do artigo e aprovou a versão final.

## Informações adicionais

ORCID: Liana Oighenstein Anderson (0000-0001-9545-5136); Sonaira Silva (0000-0003-2177-4577); Antônio W. F. Melo (0000-0003-0893-8602).

## Agradecimentos

L. O. Anderson agradece à equipe do projeto Voices of Recovery [Vozes da Recuperação], apoiado pela Plataforma Transatlântica (Trans-Atlantic Platform; <http://www.transatlanticplatform.com/>); Centro de Pesquisa para o Desenvolvimento Internacional do Canadá (International Development Research Centre – IDRC; projetos 109835-002 e 109835-003); Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação da Colômbia (Minciencias) e Fundo Francisco José de Caldas (Colômbia; projeto 80740-094-2022); Fundação de Amparo à Pesquisa de São Paulo (FAPESP; projeto 2021/07660-2); e Conselho de Pesquisa em Artes e Humanidades do Reino Unido (Arts and Humanities Research Council – AHRC; projeto AH/X001733/1). As opiniões expressas neste material são de responsabilidade dos autores e não necessariamente refletem a visão das agências financiadoras.

## Referências

1. Silva Junior CHL, Pessoa ACM, Carvalho NS, Reis JBC, Anderson LO, Aragão LEOC. The Brazilian Amazon deforestation rate in 2020 is the greatest of the decade. *Nat Ecol Evol* 2021; 5:144-5.
2. Coordenação-Geral de Observação da Terra, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Monitoramento do desmatamento da Floresta Amazônica brasileira por satélite. <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes> (accessed on 10/Jul/2023).
3. MapBiomas. Coleção [versão 7.1] da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil. <https://mapbiomas.org/> (accessed on 10/Jul/2023).
4. Codeço CT. CSP starts a Thematic Section dedicated to the Amazon. *Cad Saúde Pública* 2023; 39:e00023223.
5. Lapola DM, Pinho P, Barlow J, Aragão LEOC, Berenguer E, Carmenta R, et al. The drivers and impacts of Amazon forest degradation. *Science* 2023; 379:eabp8622.
6. Reddington CL, Butt EW, Ridley DA, Artaxo P, Morgan WT, Coe H, et al. Air quality and human health improvements from reductions in deforestation-related fire in Brazil. *Nat Geosci* 2015; 8:768-71.
7. Aragão LEOC, Anderson LO, Fonseca MG, Rosan TM, Vedovato LB, Wagner FH, et al. 21st century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. *Nat Commun* 2018; 9:536.
8. Anderson LO, Trivedi M, Queiroz J, Aragão L, Marengo J, Young C, et al. Counting the costs of the 2005 Amazon drought: a preliminary assessment. *Ecosystem services for poverty alleviation in Amazonia*. [https://www.researchgate.net/publication/290379571\\_counting\\_the\\_costs\\_of\\_the\\_2005\\_amazon\\_drought\\_a\\_preliminary\\_assessment](https://www.researchgate.net/publication/290379571_counting_the_costs_of_the_2005_amazon_drought_a_preliminary_assessment) (accessed on 10/Jul/2023).
9. Silva-Junior CHL, Buna ATM, Bezerra DS, Costa OS, Santos AL, Basson LOD, et al. Forest fragmentation and fires in the Eastern Brazilian Amazon – Maranhão State, Brazil. *Fire* 2022; 5:77.
10. Berenguer E, Ferreira J, Gardner TA, Aragão LEOC, De Camargo PB, Cerri CE, et al. A large-scale field assessment of carbon stocks in human-modified tropical forests. *Glob Chang Biol* 2014; 20:3713-26.
11. Brando PM, Balch JK, Nepstad DC, Morton DC, Putz FE, Coe MT, et al. Abrupt increases in Amazonian tree mortality due to drought-fire interactions. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2014; 111:6347-52.
12. Ribeiro GG, Anderson LO, Barretos NJC, Abreu R, Alves L, Dong B, et al. Attributing the 2015/2016 Amazon basin drought to anthropogenic influence. *Climate Resilience and Sustainability* 2022; 1:e25.
13. Aragão LEOC, Shimabukuro YE. The incidence of fire in Amazonian forests with implications for REDD. *Science* 2010; 328:1275-8.

14. Silveira MVF, Silva-Junior CHL, Anderson LO, Aragão LEOC. Amazon fires in the 21st century: the year of 2020 in evidence. *Glob Ecol Biogeogr* 2022; 31:2026-40.
15. Reisen F, Duran SM, Flannigan M, Elliott C, Rideout K. Wildfire smoke and public health risk. *Int J Wildland Fire* 2015; 24:1029-44.
16. Hacon SS, Gonçalves KS, Barcellos C, Oliveira-da-Costa M. Amazônia brasileira: potenciais impactos das queimadas sobre a saúde humana no contexto da expansão da COVID-19. [https://wwfbr.awsassets.panda.org/downloads/nota\\_tecnica\\_covid\\_x\\_queimadas\\_na\\_amazonia\\_arquivo\\_final.pdf](https://wwfbr.awsassets.panda.org/downloads/nota_tecnica_covid_x_queimadas_na_amazonia_arquivo_final.pdf) (accessed on 10/Jul/2023).
17. Campanharo WA, Morello T, Christofolletti MAM, Anderson LO. Hospitalization due to fire-induced pollution in the Brazilian Legal Amazon from 2005 to 2018. *Remote Sens (Basel)* 2022; 14:69.
18. Ebenstein A, Fan M, Greenstone M, He G, Zhou M, Chen S, et al. New evidence on the impact of sustained exposure to air pollution on life expectancy from China's Huai River Policy. Chicago: Becker Friedman Institute for Research in Economics, The University of Chicago; 2017. (Working Paper Series, 2017-11).
19. Sant'anna AA, Rocha R. Impactos dos incêndios relacionados ao desmatamento na Amazônia brasileira sobre saúde. [https://ieps.org.br/wp-content/uploads/2021/11/NT11\\_Amazon\\_pt-vf.pdf](https://ieps.org.br/wp-content/uploads/2021/11/NT11_Amazon_pt-vf.pdf) (accessed on 07/Jul/2023).
20. Vormittag EMPAA, Cirqueira SSR, Wicher Neto H, Saldiva PHN. Análise do monitoramento da qualidade do ar no Brasil. *Estud Av* 2021; 35:7-30.
21. Lu T, Liu Y, Garcia A, Wang M, Li Y, Bravo-villasenor G, et al. Leveraging citizen science and low-cost sensors to characterize air pollution exposure of disadvantaged communities in Southern California. *Int J Environ Res Public Health* 2022; 19:8777.
22. Brown IF, Fonseca Duarte A, Torres M, Ascorra C, Reyes JF, Rioja-Ballivián G, et al. Monitoramento de fumaça em tempo real mediante sensores de baixo custo na Amazônia sul-ocidental. In: Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais; 2019. <https://proceedings.science/sbsr-2019/trabalhos/monitoramento-de-fumaca-em-tempo-real-mediante-sensores-de-baixo-custo-instalado?lang=pt-br>.
23. Vormittag EMPAA, Wicher Neto H, Rodrigues PF, Lima B. Iniciativa Acre de Monitoramento da Qualidade do Ar: implementação e impactos de uma rede de monitoramento do ar com equipamentos de baixo custo. São Paulo: Instituto Saúde e Sustentabilidade; 2021.
24. Laboratório de Geoprocessamento Aplicado ao Meio Ambiente. Qualidade do ar no Acre. <http://www.acrequalidadedoar.info/> (accessed on 10/Jul/2023).
25. Morello T, Silva R, Silva S, Duarte A, Maciel R, Moreira D, et al. Queimadas e saúde: uma análise do caso de Rio Branco, Acre. In: Anais do XIX Simpósio de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais; 2019. p. 199-202.
26. Instituto Socioambiental. COVID-19 e os povos indígenas. <https://covid19.socioambiental.org/> (accessed on 10/Jul/2023).
27. Gatti LV, Basso LS, Miller JB, Gloor M, Gatti Domingues L, Cassol HLG, et al. Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. *Nature* 2021; 595:388-93.

---

Recebido em 03/Jun/2023

Versão final rerepresentada em 11/Jul/2023

Aprovado em 21/Jul/2023