

# Entre a fumaça de incêndios florestais, cinzas e rios: relato de campo para biomonitoramento de brigadistas florestais na Amazônia

## Between wildfire smoke, ash, and rivers: a field report on biomonitoring of wildfire brigade members in the Amazon

Alda Neis Miranda de Araújo<sup>1\*</sup>, Elizeu Chiodi Pereira<sup>1\*</sup>, Kamila de Almeida Piai<sup>1</sup>, Thiago da Costa Dias<sup>2</sup>, Kelly Polido Kaneshiro Olympio<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, Departamento de Saúde Ambiental, São Paulo, São Paulo, Brasil

<sup>2</sup> Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, Reserva Extrativista Renascer, Santarém, Pará, Brasil



### RESUMO

Este relato descreve as experiências de pesquisadores em atividades de biomonitoramento da saúde de brigadistas florestais na Amazônia brasileira, destacando os desafios metodológicos e logísticos enfrentados em áreas de difícil acesso. As atividades incluíram entrevistas, aplicação de questionários, coletas de amostras biológicas (sangue, urina, saliva e swab bucal), medidas antropométricas e fisiológicas, análise ergonômica do trabalho (AET) e amostragens ambientais, como ar inalado pelos brigadistas e cinzas de incêndios. A pesquisa contou com 411 participantes no estado do Pará, com amostras obtidas entre setembro e dezembro de 2024, organizados em dois grupos: grupo de referência/controlado ambiental (n = 239, composto por trabalhadores administrativos e moradores da região, expostos apenas a contaminantes ambientais, sem exposição ocupacional direta) e grupo ocupacionalmente exposto (n = 172, brigadistas atuantes no combate direto aos incêndios florestais). O êxito do trabalho decorreu da integração entre academia, órgãos ambientais federais e lideranças comunitárias, cujas colaborações foram fundamentais para o acesso aos territórios e adesão dos participantes. Ao enfatizar os aspectos metodológicos e logísticos, este relato contribui para o debate sobre pesquisa de campo em saúde ambiental na Amazônia, oferecendo subsídios para futuras iniciativas de vigilância e proteção da saúde de populações vulneráveis e potencialmente expostas a poluentes ambientais decorrentes de incêndios florestais.

**Palavras-chave:** Ecossistema Amazônico; Brigadistas Florestais; Exposição Ocupacional; Incêndios Florestais; Biomonitoramento.

### ABSTRACT

This experience report describes the activities of researchers involved in biomonitoring the health of wildfire brigade members in the Brazilian Amazon, highlighting the methodological and logistical challenges encountered in remote areas. The activities included interviews, questionnaire administration, collection of biological samples (blood, urine, saliva, and buccal swab), anthropometric and physiological measurements, ergonomic work analysis (EWA), and environmental sampling, such as air inhaled by wildfire brigade members and wildfire ashes. The study included 411 participants in the state of Pará, with samples collected between September and December 2024, organized into two groups: the reference/environmental control group (n = 239, consisting of administrative workers and local residents exposed only to environmental contaminants without direct occupational exposure) and the occupationally exposed group (n = 172, wildfire brigade members engaged in direct wildfire suppression). The success of the work resulted from the integration between academia, federal environmental agencies, and community leaders, whose collaboration was essential for territorial access and participant adherence. By emphasizing methodological and logistical aspects, this report contributes to the discussion on field research in environmental health in the Amazon, providing insights for future initiatives in surveillance and health protection of vulnerable populations potentially exposed to environmental pollutants resulting from wildfires.

**Keywords:** Amazon ecosystem; Wildfire Brigade Members; Occupational Exposure; Wildfires; Biomonitoring.

### Correspondência / Correspondence:

Alda Neis Miranda de Araújo e Kelly Polido Kaneshiro Olympio

Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, Departamento de Saúde Ambiental, Expossoma e Saúde do Trabalhador – eXsat.

Av. Dr. Arnaldo, 715, Cep: 01246-000 – Bairro: Cerqueira César – São Paulo, São Paulo, Brasil

Tel.: +55 11 30617712

E-mails: aldaaraujo@usp.br; kellypk@usp.br

\*Esses autores contribuíram igualmente para este trabalho e compartilham a primeira autoria



## INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas têm provocado alterações significativas nos padrões climáticos da Pan-Amazônia, particularmente no território brasileiro. Esse cenário intensificou eventos extremos, como secas e aumento de incêndios florestais. Assim, a emergência climática coloca em risco não apenas os ecossistemas locais, mas também a saúde humana<sup>1,2</sup>.

Entre 2019 e 2023, foram registrados quase 500 mil focos de incêndio na Amazônia brasileira<sup>3</sup>. Apenas em 2024, mais de 140 mil focos foram contabilizados, com o estado do Pará liderando essa estatística entre os estados brasileiros<sup>4</sup>. Estudos têm apontado o aumento das concentrações de material particulado (MP) no ar da região amazônica, associado à degradação da qualidade do ar, especialmente em dias de ocorrências de incêndios florestais<sup>5,6</sup>.

Dentre os diversos compostos químicos presentes na fumaça dos incêndios e nos MPs, destacam-se os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs)<sup>7,8</sup>, considerados poluentes atmosféricos persistentes de acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, *United States Environmental Protection Agency*)<sup>9</sup>. Os HPAs estão associados a efeitos adversos à saúde, incluindo câncer em diferentes órgãos, como pulmão, esôfago, pele e mama<sup>10,11</sup>. Também estão presentes no MP elementos potencialmente tóxicos (EPTs), como cádmio, chumbo, cromo, níquel e vários outros<sup>12</sup>. Nessa perspectiva, o biomonitoramento humano, entendido como a determinação de substâncias químicas ou de seus metabólitos em matrizes biológicas para estimar a exposição interna, é uma abordagem-chave para avaliar impactos de exposições ambientais e ocupacionais à fumaça<sup>13-16</sup>.

Nesse contexto, inserem-se os brigadistas florestais, trabalhadores essenciais no combate aos incêndios e cada vez mais requisitados diante da intensificação da crise climática. Entre os trabalhadores que atuam no combate aos incêndios na Floresta Amazônica, encontram-se três grupos: (1) brigadistas florestais contratados (com contratos de trabalho temporários, que possuem vínculos com instituições ambientais); (2) brigadistas florestais comunitários; e (3) voluntários<sup>17,18</sup>. Independentemente do vínculo formal ou informal, todo brigadista deve passar por treinamento específico para atuar no combate aos incêndios florestais; porém, no que diz respeito aos riscos ocupacionais, há diferenças significativas entre as três categorias. Os brigadistas contratados recebem Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) completos e padronizados, treinamento regular e apoio logístico das instituições às quais estão vinculados, enquanto voluntários e comunitários, na maior parte das vezes, não possuem EPIs adequados ou utilizam equipamentos improvisados, provenientes de doações ou adquiridos com recursos próprios. Os brigadistas contratados são mobilizados para atuar em diversos territórios, o que tende a prolongar a exposição aos fatores de risco relacionados aos incêndios florestais. Os brigadistas comunitários geralmente vivem nos territórios diretamente afetados, o que pode

umentar a exposição prolongada à fumaça. Já os brigadistas voluntários restringem sua atuação a áreas específicas, o que tende a limitar a frequência e a intensidade da exposição<sup>18-21</sup>.

As evidências disponíveis indicam que o desgaste físico e a sobrecarga do trabalho não se restringem a acidentes imediatos, mas podem resultar em um conjunto amplo de doenças de caráter crônico e cumulativo, que afetam diferentes sistemas do organismo<sup>22-24</sup>. No Brasil, embora a produção científica ainda seja limitada, já se observam relatos de fadiga persistente, dores musculares, problemas respiratórios e agravamento de condições pré-existentes, como hipertensão e diabetes<sup>25,26</sup>. A literatura sobre bombeiros reforça essa perspectiva, indicando impactos de maior gravidade, como risco elevado de câncer, doenças cardiovasculares e transtornos mentais, especialmente estresse pós-traumático e depressão<sup>22-24,27-29</sup>.

Esses efeitos são potencializados pela precariedade das condições de trabalho, como longas jornadas, privação de sono, dificuldade de hidratação adequada, restrição de alimentação, exposição solar prolongada e contato contínuo com insetos, configurando um cenário de vulnerabilidade multifacetada<sup>30</sup>.

Apesar da relevância do tema, ainda existe acentuada ausência de dados sobre a saúde dos brigadistas no Brasil, bem como de informações sistemáticas sobre os efeitos da exposição contínua à fumaça nas populações amazônicas<sup>31</sup>. Estudos nacionais já identificaram a presença de poluentes mutagênicos nas partículas da biomassa, como nitro- e oxi-HPAs, capazes de causar danos ao DNA e aumentar o risco de câncer<sup>32</sup>, além de evidências de estresse oxidativo, inflamação e morte celular em células pulmonares humanas expostas ao PM<sub>10</sub> de queimadas<sup>33</sup>. Embora ainda insuficientes, há mais estudos envolvendo bombeiros profissionais do que brigadistas florestais, que em sua maioria são trabalhadores temporários.

Essa lacuna reforça a necessidade urgente de investigações específicas sobre a saúde desse grupo que atua na linha de frente do combate aos incêndios florestais, assim como das comunidades que convivem cotidianamente com a fumaça. Nesse sentido, pesquisas que avaliem os efeitos da exposição ocupacional em brigadistas são essenciais, sobretudo nas regiões mais afetadas, onde são necessárias atividades de campo em áreas remotas. Assim, o objetivo do estudo foi relatar e analisar as experiências de campo na coleta de amostras biológicas e ambientais de brigadistas florestais no Pará, com vistas a: (a) identificar desafios logísticos, científicos e tecnológicos; (b) documentar estratégias de superação adotadas; e (c) subsidiar futuras pesquisas e políticas públicas de saúde ambiental voltadas a trabalhadores expostos a incêndios florestais.

## POPULAÇÃO DO ESTUDO E AMOSTRAS COLETADAS

O trabalho de campo foi conduzido em diferentes regiões do estado do Pará, incluindo áreas de difícil acesso, como a Terra Indígena Munduruku

(Jacareacanga em Novo Progresso), a Reserva Biológica Nascentes da Serra do Cachimbo (Altamira), a Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns (Santarém), a Reserva Extrativista Verde Para Sempre (Porto de Moz), Vila Cardoso (comunidade em Moju) e a Terra Indígena Sororó (São Geraldo do Araguaia). Nessas localidades, a aproximação com os brigadistas florestais foi possível graças à articulação com órgãos ambientais federais e lideranças comunitárias, que viabilizaram o acesso às bases, estabeleceram confiança com os participantes e garantiram a infraestrutura necessária para o desenvolvimento das atividades de pesquisa.

Trata-se de um estudo de biomonitoramento humano, com delineamento epidemiológico transversal. Foram incluídos dois grupos: (1) grupo exposto ocupacionalmente, formado por brigadistas diretamente envolvidos no combate aos incêndios florestais; e (2) grupo de referência (controle ambiental), composto por trabalhadores administrativos e moradores da região, sem exposição ocupacional a agentes químicos de origem ocupacional. Todos os participantes assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), em conformidade com a aprovação do Conselho Nacional de Ética em Pesquisa (CAAE 74890123.0.0000.5421).

Os critérios de inclusão para o grupo exposto foram: idade  $\geq 18$  anos; atuação direta na mitigação ou combate a incêndios florestais entre setembro e dezembro de 2024; e assinatura do TCLE. Para o grupo controle, os critérios de inclusão foram: idade  $\geq 18$  anos; ser trabalhador administrativo ou morador local sem exposição ocupacional direta ao combate a incêndios ou à queima de roçados; e assinatura do TCLE. O único critério de exclusão foi a recusa em assinar o TCLE ou a retirada do consentimento.

A coleta de dados e amostras ocorreu em condições adversas, que exigiram adaptações constantes: transporte de material biológico sensível por estradas precárias e rotas fluviais; montagem de espaços provisórios para coleta; e armazenamento seguro de amostras em ambientes com alta umidade e calor.

No total, 411 participantes foram recrutados. Desses, 400 responderam aos questionários (172 brigadistas e 228 controles), enquanto 11 participantes do grupo de referência não forneceram respostas ao questionário. Amostras biológicas foram coletadas de 370 indivíduos (131 brigadistas e 239 controles), incluindo sangue, urina, saliva e swabs bucais. Assim, 11 participantes do grupo de referência doaram amostras biológicas sem responder ao questionário; esses indivíduos permanecem nas análises que não requerem variáveis do questionário.

Adicionalmente, 41 brigadistas contratados responderam apenas ao questionário (Vila Cardoso, 16; Terra Indígena Sororó, 17; Santarém, 8), sem coleta de material biológico. Esses participantes não foram incluídos nas análises de biomarcadores. Os questionários foram aplicados preferencialmente em campo. Quando a aplicação presencial não foi possível devido às atividades ocupacionais dos participantes,

as respostas foram obtidas por ligação via *WhatsApp* em período subsequente. Apesar da existência de conexão via *Starlink* em muitos locais, a ausência de telefonia convencional dificultou a obtenção de todos os questionários: alguns controles optaram por não responder, enquanto outros não puderam ser contactados. Também foi tentado contato por e-mail. Essas limitações de infraestrutura podem ter influenciado a coleta de dados.

Foram realizadas medições antropométricas e fisiológicas (peso, altura, circunferência da cintura, pressão arterial e frequência cardíaca), bem como o registro de exposições anteriores e doenças autorreferidas, por meio de questionários adaptados<sup>34</sup>. Foram coletadas quatro amostras de ar na zona de respiração dos brigadistas durante o combate e cinco amostras de cinzas provenientes de incêndios (três de incêndios florestais e duas de queimadas controladas).

A Análise Ergonômica do Trabalho (AET) foi conduzida com 20 trabalhadores contratados pelos órgãos ambientais federais (brigadistas florestais, chefes de esquadrão e de brigada) que atuaram em operações na Reserva Biológica Nascentes da Serra do Cachimbo, na Terra Indígena Munduruku e em Vila Cardoso, permitindo observar detalhadamente, com metodologia científica, a organização do trabalho e o contraste entre trabalho prescrito e trabalho real<sup>35</sup> (ver Figura 1). A AET integrou o protocolo de campo nas duas primeiras campanhas e, por razões logísticas, foi retomada em fase pós-campanha, após o encerramento da coleta de amostras biológicas.

No momento da redação deste artigo (setembro de 2025), estão em andamento análises de biomarcadores de exposição a HPAs, elementos potencialmente tóxicos (EPTs) e biomarcadores de efeito genotóxico. Essas análises integrarão, em etapa futura, a avaliação da relação entre a exposição a contaminantes ambientais e ocupacionais e os potenciais efeitos adversos à saúde.



Fonte: Arquivo eXsat.

**Figura 1** – Análise Ergonômica do Trabalho com brigadistas florestais na Vila Cardoso (Comunidade de Moju, estado do Pará). Sessões adicionais de AET foram realizadas com brigadistas atuantes na Reserva Biológica Nascentes da Serra do Cachimbo (Altamira, estado do Pará) e em Jacareacanga (Novo Progresso, estado do Pará)

## REDE DE ATORES ENVOLVIDOS NO ARCABOUÇO DO PROJETO

A execução dessas atividades exigiu parcerias científicas capazes de viabilizar não apenas a coleta das amostras, mas também o processamento, armazenamento e transporte, considerando a localização remota dos locais de incêndios e as exigências específicas de processamento e conservação do material biológico.

Para viabilizar os primeiros contatos com os brigadistas florestais, foi essencial a parceria estabelecida com o Instituto de Pesquisas Ecológicas (IPÊ), que mapeou brigadas voluntárias e comunitárias em todo o país e desenvolveu, no estado do Pará ao longo de 2024, uma série de iniciativas voltadas à promoção do Manejo Integrado do Fogo (MIF) na região do Baixo Tapajós. A participação da equipe de pesquisa nas oficinas promovidas pelo IPÊ possibilitou iniciar o recrutamento de potenciais participantes e aproximar as demais instituições listadas a seguir.

Para o processamento e armazenamento das amostras, a equipe contou com o apoio da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), por meio do Laboratório de Epidemiologia Molecular (Lepimol); da Universidade Federal do Pará (UFPA), por meio do Laboratório de Biologia Estrutural e Funcional; e do Instituto Evandro Chagas (IEC), instituições que forneceram infraestrutura essencial para o armazenamento e as análises das amostras coletadas.

Também foi estabelecida parceria com o Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge, em Porto, Portugal. Essa colaboração é importante para a comparação de resultados de biomarcadores em estudos envolvendo brigadistas florestais e bombeiros portugueses no combate aos incêndios. Além disso, foi por meio dessa parceria que foi possível adaptar os questionários<sup>34</sup> à realidade brasileira.

O recrutamento contou com brigadistas formais contratados pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis/Centro Nacional de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais (IBAMA/Prevfogo) e pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). A partir desses contatos, também foram incluídas brigadas voluntárias, comunitárias e informais que atuavam no combate aos incêndios no estado do Pará. O acesso aos brigadistas durante as operações ocorreu sempre de forma articulada com as equipes do ICMBio e do Prevfogo, nunca de maneira independente.

## DESAFIOS CIENTÍFICOS E TECNOLÓGICOS E MEIOS E MÉTODOS PARA SUPERÁ-LOS

As atividades de campo foram realizadas entre setembro e dezembro de 2024, período marcado por seca intensa e maior incidência de incêndios florestais na região Amazônica. A equipe permaneceu sediada em Santarém, estado do Pará, deslocando-se para diferentes municípios conforme a ocorrência dos incêndios e a agenda previamente articulada com as instituições parceiras.

Quando os incêndios ocorriam em unidades de conservação ou em terras indígenas sob gestão do ICMBio ou do IBAMA/Prevfogo, as instituições parceiras informavam rapidamente a localização e as condições de acesso, permitindo organizar a logística de forma coordenada entre pesquisadores e equipes ambientais. Nos incêndios combatidos por brigadistas voluntários ou comunitários, a comunicação ocorria diretamente com os membros dessas brigadas, cujos contatos haviam sido estabelecidos durante o desenho epidemiológico do estudo. O acesso aos locais de coleta, na maior parte das vezes, só era possível com veículos de tração 4x4, em comboios organizados com o apoio do ICMBio.

Dada a presença da maior bacia hidrográfica do mundo, foi frequentemente necessário o aluguel de lanchas para alcançar comunidades ribeirinhas. Essas áreas, em geral, não possuem acesso à internet, o que tornava inviável chegar aos locais sem articulação e suporte direto dos órgãos ambientais. As coletas foram realizadas imediatamente após o término do combate, respeitando o limite máximo de seis horas para garantir a detecção de biomarcadores de meia-vida curta, como alguns Hidrocarbonetos Polícíclicos Aromáticos Hidroxilados (OH-HPAs) mensurados em amostras de urina.

A escala de combate aos incêndios florestais depende diretamente do número de brigadistas em atuação, sendo o comando responsável por definir a escala de descanso, que pode ocorrer em regimes de 12×12 horas ou 12×36 horas. No âmbito do IBAMA, a rotina nas bases segue geralmente o regime de 7×7 dias de trabalho e descanso, enquanto no ICMBio predomina a escala de 15×15 dias<sup>17,19</sup>. Em muitos casos, as coletas ocorreram em acampamentos remotos de combate, acessíveis apenas após longas trilhas, o que aumentava significativamente a complexidade logística.

## POR QUE O ESTADO DO PARÁ?

O estado do Pará é o segundo maior do Brasil, com área de aproximadamente 1,25 milhão de km<sup>236</sup> e população estimada em 8,1 milhões de habitantes<sup>37</sup>. Historicamente, destaca-se pelos elevados índices de desmatamento da Amazônia, sendo responsável por cerca de 42% da área desmatada entre 2009 e 2019. Em 2021, segundo o Relatório Anual de Desmatamento no Brasil (RAD)<sup>38</sup>, foram registrados quase 1 milhão de acres desmatados no estado, representando um aumento de 24,3% em relação ao ano anterior. O Pará integra ainda o chamado "Arco do Desmatamento" ou "Arco do Fogo", que inclui também os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso, Rondônia, Roraima e Tocantins, região marcada por intensa pressão antrópica sobre os ecossistemas e elevada incidência de incêndios florestais<sup>39</sup>.

A escolha do estado para a realização do estudo não foi arbitrária. Ela se deve principalmente ao expressivo contingente de brigadistas florestais (contratados, voluntários e comunitários) atuantes na região, além da sólida infraestrutura científica e tecnológica disponível, que inclui órgãos vinculados ao

Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, o Instituto Evandro Chagas — referência internacional em pesquisas sobre a Amazônia — e universidades públicas como a UFPA e a UFOPA.

## DOS EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS PARA AS COLETAS À LINHA DO FOGO

Para a realização das coletas de material biológico, era necessário transportar um conjunto de materiais previamente organizados, de modo a agilizar o processo e garantir a segurança e a integridade das amostras. Os kits de coleta eram individualizados e previamente etiquetados, contendo itens para amostras de sangue, saliva, urina e swab bucal.

O material para coleta de sangue seguia as exigências da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), conforme a RDC nº 504/2021 e a RDC nº 786/2023<sup>40,41</sup>, e incluía insumos para o pré-processamento, como microtubos, tubos Falcon, crioboxes, ponteiras, pipetas, jalecos descartáveis, luvas, máscaras, toucas e centrífugas. Para as medidas antropométricas e fisiológicas, eram utilizados fita métrica, balança e aparelho de pressão digital calibrado. Alguns materiais dependiam de energia elétrica para uso; por isso, sempre que possível a equipe se alojava em locais com eletricidade ou fornecia combustível (gasolina e/ou diesel) para operar geradores, sem prejudicar os participantes e as comunidades visitadas.

O armazenamento e transporte das amostras biológicas foram realizados utilizando contêineres de nitrogênio líquido, com capacidade entre 26 e 60 kg, alcançando temperaturas de  $-192\text{ }^{\circ}\text{C}$ , garantindo a integridade dos biomarcadores. Esses contêineres eram carregados manualmente pelos pesquisadores em todos os trajetos, utilizando os diferentes meios de transporte empregados nas campanhas de campo. Para biomarcadores menos sensíveis à variação de temperatura, também foram utilizados gelo reciclável (gelox), gelo e caixas térmicas, em conformidade com a RDC nº 504/2021<sup>40</sup>.

Para cada participante, foram coletados aproximadamente 30 mL de sangue, distribuídos em 10 tubos (heparina lítica, heparina sódica,  $\text{K}_2\text{EDTA}$  e tubos sem anticoagulante); 50 mL de urina; 5 mL de saliva; uma amostra para dosagem de cortisol utilizando salivette; e dois swabs bucais. No processamento, as amostras de sangue e saliva foram submetidas à centrifugação para separação dos componentes necessários. Ao todo, cada participante gerou 32 alíquotas, abrangendo plasma, soro, sangue total, saliva e urina.

## CAMPANHAS DE COLETAS

Foram realizadas 11 campanhas de coleta em diferentes municípios do estado do Pará, abrangendo unidades de conservação, terras indígenas, comunidades ribeirinhas e áreas urbanas (Tabela 1). O mapa das áreas visitadas é apresentado na Figura 2, permitindo visualizar a ampla extensão territorial percorrida pela equipe de pesquisa.

A Tabela 1 apresenta a síntese de cada campanha, contendo local, data, participantes, tipo de coleta, número de amostras, principais destaques logísticos e registro fotográfico. Esses elementos evidenciam a viabilidade científica e a dimensão prática e humana do trabalho de campo na Amazônia, ilustrados nas Figuras 3–13.

## ENCERRAMENTO DE CAMPO

No dia 30 de novembro de 2024, foram encerradas oficialmente as coletas de campo de amostras biológicas. Após essa etapa, contratou-se uma empresa especializada para realizar o biotransporte das amostras até Belém, onde permaneceram armazenadas na UFPA até o momento das análises. O transporte entre a UFOPA, em Santarém, e a UFPA, em Belém, foi realizado por via terrestre e aérea, seguindo protocolos rigorosos de biossegurança.

O transporte terrestre foi utilizado para os tanques de nitrogênio líquido, cinco ao todo. Antes da viagem, que teve duração de três dias, todos os tanques foram reabastecidos com nitrogênio líquido para garantir a integridade das amostras, totalizando aproximadamente 60 L. O transporte aéreo foi utilizado para as amostras armazenadas a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (sangue total para elementos potencialmente tóxicos, urina para elementos potencialmente tóxicos e OH-HPAs, e swabs bucais).

Ao final do campo, 370 participantes tiveram amostras coletadas, resultando em cerca de 12.000 alíquotas acondicionadas em tubos tipo Eppendorf®, 700 tubos Falcon de 50 mL, aproximadamente 374 coletores de urina de 50 mL e cerca de 374 tubos Vacutainer® para análise de metais, todos devidamente organizados em caixas criogênicas (crioboxes) e armazenados em freezer a  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , conforme protocolos específicos.

O planejamento logístico da equipe exigiu divisão de responsabilidades após o encerramento das coletas. Parte da equipe que trabalhava em Santarém deslocou-se para Belém para o recebimento e armazenamento adequado das amostras. Seguindo um esquema de rodízio de pesquisadores, uma parcela retornou a São Paulo, enquanto outra viajou de São Paulo para a comunidade de Moju, estado do Pará, para dar continuidade à AET.

Essa etapa marcou o encerramento de uma extensa e desafiadora jornada de coleta de amostras biológicas e ambientais, conduzida ao longo de meses entre comunidades, florestas, estradas e rios, totalizando aproximadamente 8.546 km percorridos, considerando deslocamentos terrestres e fluviais.

## DESAFIOS E ESTRATÉGIAS DE CAMPO

A realização do estudo em território amazônico impôs desafios logísticos, técnicos e de pessoal que exigiram constante adaptação. Muitas áreas estavam situadas em regiões remotas, como a Reserva Extrativista Verde Para Sempre, no município de Porto de Moz, estado do Pará, com cerca de 1,3 milhão de hectares<sup>30</sup> — quase nove vezes a área do município de São Paulo (1.521 km<sup>2</sup>)<sup>46</sup>. Essa escala territorial demandou planejamento minucioso para cada incursão.

(continua)

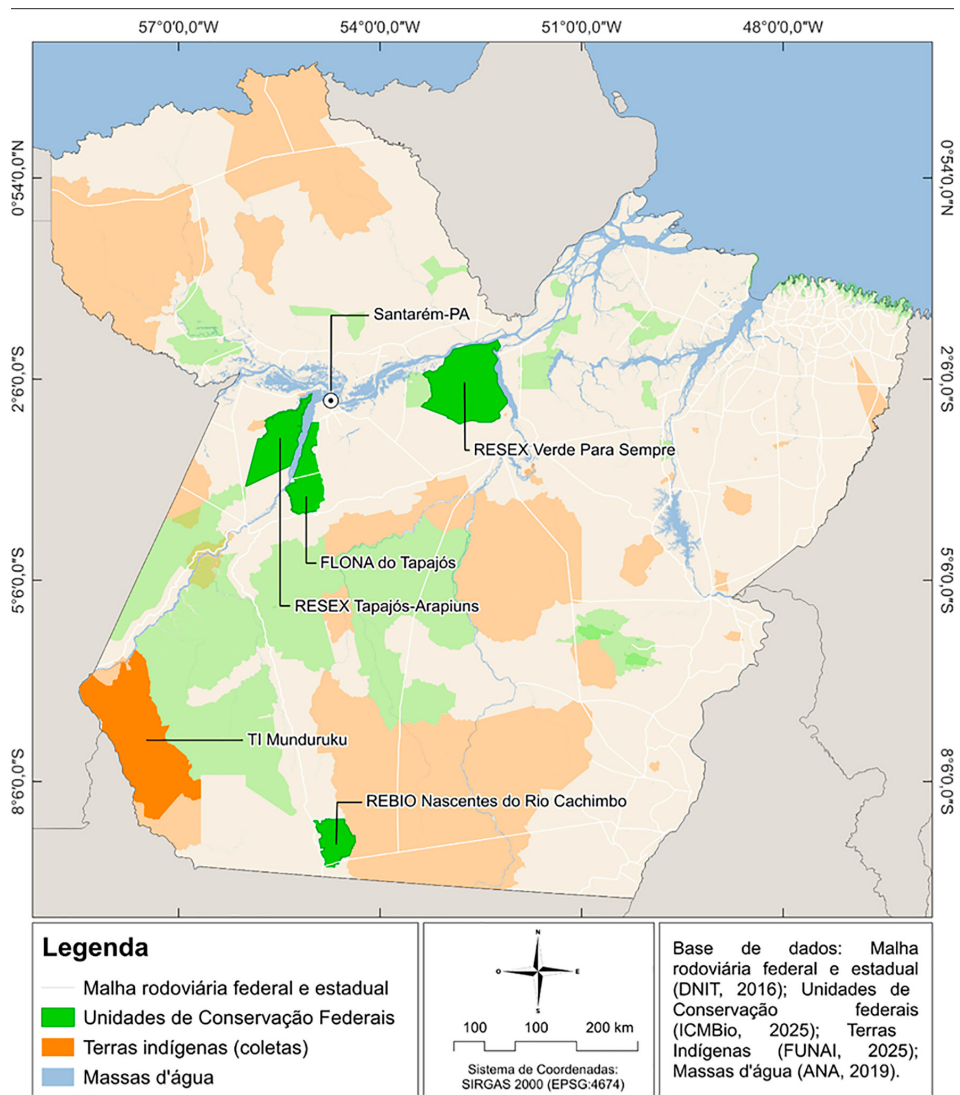
**Tabela 1** – Síntese das campanhas de coleta realizadas no Pará em 2024: locais, participantes, amostras e vivências de campo

Campanha	Local	Data	Participantes	Tipo de coleta	Nº de amostras/ participantes	Destques logísticos (vivência de campo)	Registro fotográfico
1	Reserva Biológica Nascentes da Serra do Cachimbo -REBIO (Altamira/PA).	21/09/2024 a 24/09/2024	Brigadistas Prevfogo, ICMBio e moradores locais.	Biológicas (sangue, urina, saliva, swab); ambientais (ar, cinzas); medidas antropométricas, questionários e AET.	31 participantes.	2.230 km terrestres; 38 h de estrada + Transamazônica (BR-230); trilha de 12 km; transporte manual de material e tanque de nitrogênio líquido de 40 L (50,4 kg); coleta em acampamento e em UBS local	Fig. 3 Fig. 4A-C
2	Base militar Tiro de Guerra (Alta Floresta/MT); REBIO (Altamira/PA); UBS (Cachoeira da Serra - Altamira/PA); FARMACIA local (Novo Progresso/PA).	03/10/2024 a 11/10/2024	Brigadistas atuantes na Terra Indígena e moradores locais.	Biológicas, ambientais, antropométricas, questionários e AET.	81 participantes.	3.047 km; 50 h de estrada + Transamazônica (BR-230); poeira intensa; apoio militar; acampamentos improvisados; transporte manual de material e tanque de nitrogênio líquido de 40 L (50,4 kg); apoio em farmácia local	Fig. 5-6
3	Reserva Extrativista Verde Para Sempre (Porto de Moz/PA).	19/10/2024 a 22/10/2024	Brigadistas ICMBio, comunitários, voluntários e controles, incluindo ribeirinhos.	Biológicas, ambientais, antropométricas e questionários.	31 participantes.	1.174 km terrestre/fluvial; 14 h terrestre + 14 h fluvial; uso de lancha; embarcação parcialmente afundou; transporte manual de material e tanque de nitrogênio líquido de 40 L (50,4 kg)	Fig. 7 Fig. 8A-B
4	Alter do Chão (Santarém/PA).	27/10/2024	Brigadistas comunitários, voluntários e indígenas.	Biológicas, antropométricas e questionários.	15 participantes.	Incêndio na RESEX Tapajós-Arapuins; transporte de brigadistas até o barco; coleta noturna realizada a bordo do barco do Projeto Saúde Alegria, em movimento, no rio Tapajós	Fig. 9
5	Reserva Extrativista Verde Para Sempre (Porto de Moz/PA).	01/11/2024 a 06/11/2024	Brigadistas ICMBio (Pará e Amapá), comunitários, voluntários e controles, incluindo ribeirinhos.	Biológicas, ambientais, antropométricas e questionários.	40 participantes.	174 km terrestre/fluvial; 14 h terrestre + 14 h fluvial; transporte manual de material e tanque de nitrogênio líquido de 40 L (50,4 kg); uso de gerador durante a noite e madrugada para processar amostras; transporte de gasolina; pernoites em campo; abandono de transporte contratado	Fig. 8A-B; Fig. 10

(fim)

**Tabela 1** – Síntese das campanhas de coleta realizadas no Pará em 2024: locais, participantes, amostras e vivências de campo

Campanha	Local	Data	Participantes	Tipo de coleta	Nº de amostras/ participantes	Destques logísticos (vivência de campo)	Registro fotográfico
6	ICMBio – (Santarém/ PA).	12/11/2024	Trabalhadores administrativos ICMBio.	Biológicas, antropométricas e questionários.	20 participantes.	Coleta urbana; logística simplificada; infraestrutura adequada	Fig. 11A
7	Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns – Comunidade indígena Solimões (Santarém/ PA).	21/11/2024	Brigadistas comunitários, controles, incluindo indígenas.	Biológicas, antropométricas e questionários.	18 participantes.	Acesso por barco e caminhada; transporte manual de material em faixa de areia; apoio de lideranças; coleta em aldeia indígena	Fig. 12
8	ICMBio – (Santarém/ PA).	22/11/2024	Trabalhadores administrativos ICMBio e moradores.	Biológicas e antropométricas.	40 participantes.	Grande número de coletas em um único dia; processamento intensivo de amostras por 12 h ao longo da madrugada; apoio institucional	–
9	Comunidade Ribeirinha de Maripá – Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns (Santarém/PA).	27/11/2024	Brigadistas ICMBio, comunitários, moradores locais.	Biológicas, ambientais, antropométricas e questionários.	30 participantes.	Coleta em contexto de queima tradicional; acesso fluvial e terrestre; áreas de difícil acesso; interlocação com lideranças comunitárias	–
10	Floresta Nacional do Tapajós – FLONA (Santarém/PA).	29/11/2024	Brigadistas ICMBio e comunitários.	Biológicas, ambientais e antropométricas.	15 participantes.	Coleta em áreas de roçados; manejo tradicional; integração com brigadas distribuídas em oito bases; 400 km de deslocamento; interlocação com responsável pelo roçado	Fig. 13A–B
11	Laboratório de análises clínicas local (Santarém/PA).	30/11/2024	Moradores de Santarém.	Biológicas e antropométricas.	48 participantes.	Grande número de amostras; processamento intensivo; mobilização comunitária; encerramento do campo; transporte terrestre e aéreo até Belém, estado do Pará	Fig. 11B



Legenda: Os locais acessados incluem Unidades de Conservação Federais<sup>42</sup> e Terras Indígenas<sup>43</sup>. Base de dados: malhas rodoviárias federal e estadual – DNIT<sup>44</sup>; massas d'água<sup>45</sup>. As coletas do grupo de controle ambiental foram realizadas em municípios e distritos próximos aos locais de incêndio, incluindo Santarém, Novo Progresso, Alter do Chão, Cachoeira da Serra (Altamira) e Porto de Moz.

**Figura 2** – Locais de ocorrência de incêndios florestais e queimas de roçados onde foram coletadas amostras biológicas (brigadistas e controles ambientais), cinzas e ar



Fonte: Arquivo eXsat.

**Figura 3** – Ponte de madeira em estrada de terra utilizada para acesso à Reserva Biológica Nascentes da Serra do Cachimbo, Altamira, estado do Pará



Fonte: Arquivo eXsat.

Legenda: (A) Deslocamento da equipe por trilha de 6 km até o acampamento dos brigadistas, com transporte manual do material de coleta; (B) Realização das coletas biológicas em ambiente improvisado no acampamento, durante a noite; (C) Hidratação da equipe com água de nascente em área sem infraestrutura de abastecimento.

**Figura 4** – Logística de campo em área remota da Reserva Biológica Nascentes da Serra do Cachimbo, Altamira, estado do Pará



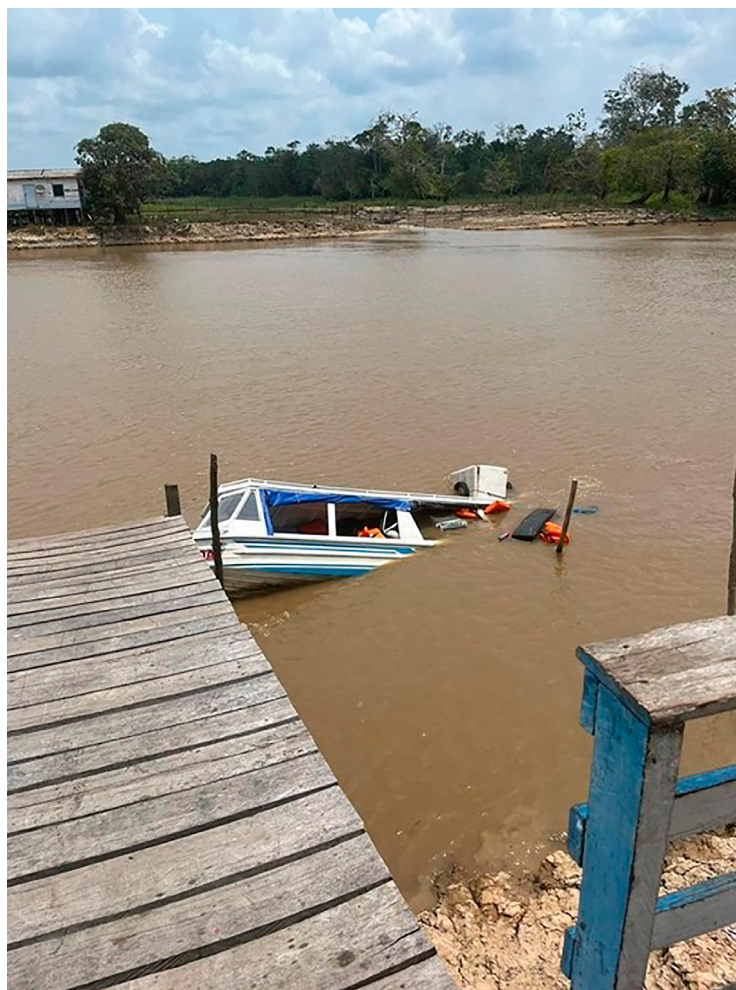
Fonte: Arquivo eXsat.

**Figura 5** – Visibilidade comprometida devido à poeira levantada pelo tráfego de caminhões na BR-230 (Transamazônica), em trecho não pavimentado



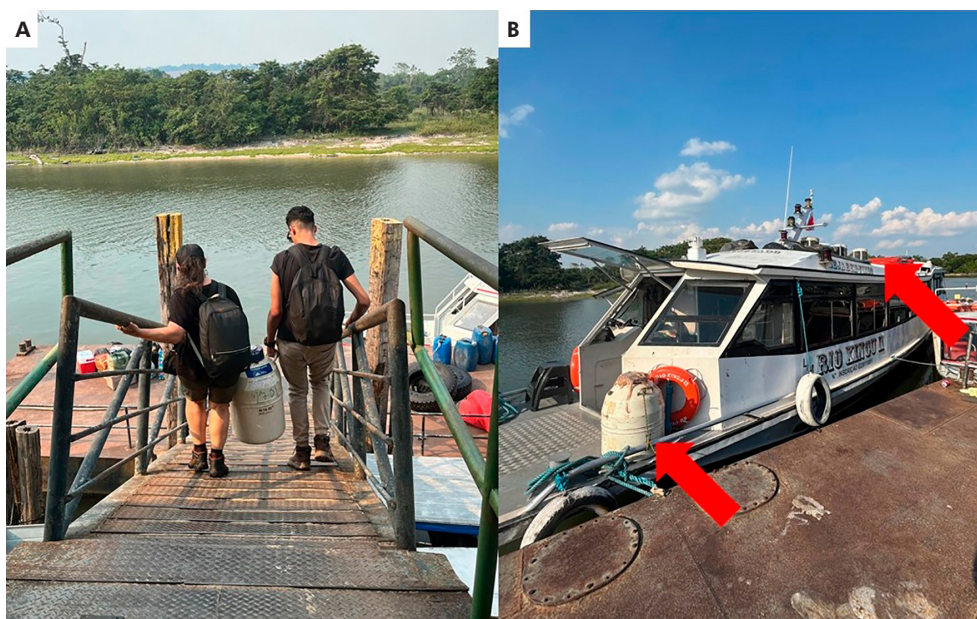
Fonte: Arquivo eXsat.

**Figura 6** – Apoio à etapa de coleta em farmácia local no município de Novo Progresso, estado do Pará



Fonte: Arquivo eXsat.

**Figura 7** – Lancha parcialmente submersa no rio Xingu, comunidade de São Sebastião (Porto de Moz, estado do Pará), durante atividade de campo na chegada da equipe



Fonte: Arquivo eXsat.

Legenda: **(A)** Integrantes da equipe de pesquisa transportando manualmente tanque de nitrogênio líquido de 40 L (aproximadamente 50,4 kg) durante o trajeto de acesso à embarcação; **(B)** Acondicionamento do material de coleta no compartimento externo da lancha (setas vermelhas).

**Figura 8** – Transporte de materiais de coleta



Fonte: Arquivo Um Grau e Meio.

**Figura 9** – Coleta noturna realizada a bordo do barco do Projeto Saúde Alegria, em movimento, no rio Tapajós, Alter do Chão, estado do Pará



Fonte: Arquivo eXsat.

**Figura 10** – Processamento de amostras biológicas na comunidade ribeirinha de São Sebastião (Porto de Moz, estado do Pará), durante atividade noturna com uso de gerador a gasolina



Fonte: Arquivo eXsat.

Legenda: (A) Trabalhadores administrativos do ICMBio; (B) Moradores da cidade, com apoio de laboratório parceiro.

**Figura 11** – Coleta de amostras de controles em área urbana, Santarém, estado do Pará



Fonte: Arquivo eXsat.

**Figura 12** – Transporte manual de materiais de campo durante o acesso à aldeia indígena Solimões (etnia Kumaruara), localizada na Reserva Extrativista Tapajós-Arapuins, Alter do Chão, estado do Pará



Fonte: Arquivo eXsat.

Legenda: (A) Brigadistas do ICMBio acompanhando queima de roçado tradicional; (B) Coleta de ar na zona de respiração de brigadista em área de roçado, utilizando bomba de amostragem fixada ao corpo.

**Figura 13** – Queima prescrita na Floresta Nacional do Tapajós

O acesso às comunidades envolvia longas jornadas por rodovias precárias, seguidas por deslocamentos em embarcações leves, conhecidas regionalmente como *voadeiras*, e, em muitos momentos, por caminhadas em trilhas ou margens de rios, transportando materiais como caixas térmicas com amostras biológicas. A ausência de energia elétrica em diversas localidades exigiu o uso de geradores a gasolina ou diesel, além da realização de coletas e processamentos durante a madrugada para garantir a integridade das amostras. Hospedagens improvisadas incluíram redes instaladas em casas de palafita e alojamentos de brigadas florestais. Embora as parcerias previamente estabelecidas tenham facilitado o acesso às regiões, a interlocução com lideranças locais foi fundamental para o sucesso das coletas, especialmente por viabilizar a identificação de opções de hospedagem, alimentação e apoio comunitário durante as atividades.

Em algumas localidades, sobretudo em comunidades ribeirinhas, para evitar custos aos voluntários, a equipe transportou pequenas quantidades de combustível, uma forma de reciprocidade amplamente aceita localmente, para viabilizar o deslocamento de moradores e brigadistas comunitários até os pontos de coleta, evitando qualquer prejuízo financeiro a potenciais participantes. Essa prática foi essencial em áreas cujo acesso dependia exclusivamente de embarcações.

Imprevistos como ausência de motoristas, naufrágio de embarcação e reorganização emergencial do transporte de amostras exigiram respostas rápidas e apoio das lideranças locais. A execução de trabalhos dessa natureza não se sustenta apenas no delineamento epidemiológico prévio ou nas atividades rotineiras de laboratório. São indispensáveis parcerias sólidas e diálogo contínuo com organizações não governamentais e instituições como o ICMBio e o IBAMA/Prevfogo, além da articulação com realidades locais. É igualmente fundamental assegurar a devolutiva dos resultados às comunidades, reforçando o papel social das pesquisas científicas. Somente por meio de ações integradas entre pesquisadores, instituições e lideranças comunitárias é possível garantir o êxito de um projeto dessa natureza.

Um dos principais desafios encontrados em campo foi a ausência de dados prévios sobre a saúde de brigadistas florestais obtidos por meio de biomarcadores, o que dificultou a definição de parâmetros comparativos. Embora existam estudos com populações expostas à fumaça de queimadas na Amazônia como o realizado em 2013, que identificou impactos respiratórios, sobretudo em crianças<sup>47</sup> e relatórios institucionais que sistematizam efeitos adversos à saúde<sup>48</sup>, esses referenciais não contemplam as especificidades do trabalho dos brigadistas. Assim, além das dificuldades logísticas inerentes à coleta em áreas remotas, a escassez de evidências científicas nacionais sobre esse grupo impôs o desafio adicional de estruturar metodologias capazes de gerar dados inéditos. Essa lacuna ressalta a importância de estratégias que integrem a avaliação das condições ambientais e de saúde em populações vulnerabilizadas,

reconhecendo que a exposição não é homogênea e tende a recair de forma desproporcional sobre grupos mais suscetíveis<sup>45</sup>.

## RECOMENDAÇÕES

Com base na experiência de campo, recomendam-se:

**a.** Ampliação de estudos voltados ao monitoramento da saúde de brigadistas florestais e populações expostas à fumaça de incêndios na Amazônia, utilizando biomarcadores de exposição e de efeito como ferramentas centrais de avaliação. Os bombeiros florestais já contam com evidências científicas que documentam os riscos ocupacionais a que estão submetidos, incluindo sobrecarga física, exposição a calor extremo, inalação de fumaça e contato com produtos químicos liberados durante a combustão, além do uso de retardantes de chama com potenciais efeitos tóxicos<sup>50-53</sup>. Em muitos países, são esses profissionais os principais responsáveis pelo combate ao fogo, e, portanto, sua exposição é mais amplamente caracterizada. No caso dos brigadistas florestais, embora enfrentem condições de trabalho semelhantes, as investigações científicas ainda são limitadas. No Brasil, destaca-se um estudo realizado em 2024<sup>21</sup> que trouxe informações iniciais sobre o tema, mas sem utilização de biomonitoramento. Nesse sentido, levantamentos recentes, como o presente, representam iniciativas pioneiras na identificação dos riscos reais vivenciados por esse grupo. Torna-se urgente o desenvolvimento de pesquisas que aprofundem a compreensão dos impactos dessas exposições sobre a saúde, subsidiando ações de prevenção, vigilância e cuidado direcionadas a esse grupo.

**b.** Integração dos resultados de pesquisas científicas às políticas públicas de saúde do trabalhador e segurança no trabalho, com a criação de protocolos específicos de vigilância epidemiológica para esses grupos. Destacam-se, nesse contexto, as Diretrizes de Vigilância em Saúde do Trabalhador Brigadista Florestal, publicadas em 2024 pelo Ministério da Saúde, que representam um marco importante na institucionalização de ações de proteção. Entretanto, tais diretrizes demandam atualização contínua e elaboração de documentos complementares, acompanhando os avanços recentes das pesquisas sobre riscos ocupacionais relacionados ao combate a incêndios florestais.

**c.** Fortalecimento de parcerias entre instituições de pesquisa, órgãos ambientais, organizações não governamentais e lideranças comunitárias, ampliando a capilaridade das ações e assegurando a devolutiva dos resultados às comunidades.

**d.** Ampliação de editais de financiamento dedicados a estudos de biomonitoramento ambiental e em saúde de trabalhadores que combatem incêndios e populações residentes na Amazônia, reconhecendo o papel estratégico desses trabalhadores e a vulnerabilidade das populações que habitam e defendem esse território essencial para a manutenção da vida no planeta.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho de campo representou um esforço pioneiro de biomonitoramento humano, em estudo transversal, focado na exposição ambiental e ocupacional de brigadistas florestais expostos à fumaça de incêndios na Amazônia brasileira. A complexidade logística, as extensas distâncias percorridas e as condições adversas evidenciam os desafios de realizar pesquisas dessa natureza em regiões de acesso remoto. O mérito central deste relato reside em apresentar a experiência de campo, destacando aspectos metodológicos e organizacionais fundamentais para viabilizar investigações científicas capazes de contribuir com a saúde pública na Amazônia.

Embora as amostras coletadas estejam, no momento da redação deste manuscrito, em fase de análises químicas e bioquímicas, os potenciais resultados obtidos neste estudo poderão subsidiar a formulação de políticas públicas voltadas à promoção e proteção da saúde de trabalhadores e comunidades expostas, além de orientar estratégias de prevenção e resposta a incêndios. Apesar das limitações impostas por restrições orçamentárias, os avanços alcançados reforçam a importância de manter e ampliar o financiamento para projetos dessa natureza. Em um cenário de escassez de dados sobre os impactos da fumaça na saúde, a continuidade de pesquisas de biomonitoramento é fundamental para integrar ciência, gestão ambiental e saúde pública, garantindo proteção àqueles que vivem e atuam na linha de frente contra o fogo.

Por fim, a contribuição da realização de trabalhos de campo dessa natureza não se limita ao domínio das técnicas laboratoriais, mas envolve também a sensibilização social dos pesquisadores diante das diferentes realidades encontradas. O contato direto com brigadistas florestais, comunidades ribeirinhas e povos indígenas amplia a compreensão sobre o impacto que os dados produzidos na bancada podem ter na vida das pessoas. Para além disso, evidencia como a ciência dialoga com a sociedade e como o convívio com comunidades tradicionais da Amazônia enriquece a formação de pesquisadores, especialmente no que se refere ao respeito às águas e à floresta. Essa vivência demonstra que, ao chegar a um território para pesquisa, ocorre uma troca de experiências, e as populações estudadas ensinam práticas de acolhimento e de manejo sustentável dos recursos naturais. Tal experiência contribui para uma formação ética e engajada, aproximando a ciência das demandas sociais e ambientais e fortalecendo a responsabilidade de produzir conhecimento relevante e socialmente transformador.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos colegas que contribuíram para o desenvolvimento deste estudo. Manifestamos agradecimento especial à técnica de laboratório Maria do Carmo Dória de Oliveira (LEHCA/FSP/USP) e à técnica de análises clínicas Lara

Sthephanni Pereira de Castro pelo apoio durante as atividades de campo e no processamento das amostras.

Agradecemos ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio); ao Centro Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais (Prevfogo); ao Instituto Evandro Chagas (IEC); à Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), por meio do Laboratório de Epidemiologia Molecular (Lepimol), coordenado pela professora Heloísa Menezes Nascimento; e à Universidade Federal do Pará (UFPA), por meio do Laboratório de Biologia Estrutural e Funcional, coordenado pelo Prof. Dr. Rafael Rodrigues Lima e ao Dr. Leonardo Bittencourt, pelo suporte logístico, técnico e estrutural.

Estendemos os agradecimentos ao Instituto de Pesquisas Ecológicas (IPÊ), em especial, à Dra. Ângela Pellin e ao Assessor Técnico Fernando Rodvalho (Programa Biosfera GIZ Brasil / Projeto CoRAMazonia), pelo apoio nas articulações e colaboração com a equipe de campo, que viabilizaram a identificação de brigadas voluntárias no estado do Pará. Finalmente, expressamos nosso reconhecimento e gratidão a todos os voluntários que participaram desta pesquisa.

## APOIO FINANCEIRO

Este trabalho foi apoiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Processos nº 2023/04212-4 e nº 2024/01326-1.

Os autores recebem bolsas de estudo: ANMA (FAPESP nº 2024/17990-8; CNPq nº 176822/2024-0; Processo nº 401415/2023-6), ECP (FAPESP nº 2023/04803-2) e KAP (FAPESP nº 2023/04877-6). KPKO é bolsista de produtividade do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq nº 314637/2021-4; nº 310502/2025-0).

## CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram que a pesquisa foi conduzida na ausência de quaisquer relações comerciais ou financeiras que possam ser interpretadas como potencial conflito de interesses. Todos os autores revisaram e aprovaram a versão final do manuscrito submetido para publicação.

## CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

**ANMA:** Conceitualização, Metodologia, Redação, preparação e organização do rascunho original, Estruturação textual, Organização das referências, Colaboração nas etapas de campo, Aprovação final. **ECP:** Conceitualização, Metodologia, Redação, preparação e estruturação do texto, Colaboração em todas as etapas de campo, Aprovação final. **KAP:** Redação, revisão e edição, Colaboração nas etapas de campo, Aprovação final. **TCD:** Redação, revisão e edição, Elaboração da figura do mapa, Aprovação final. **KPKO:** Coordenação do projeto, Supervisão, Correções do manuscrito, Obtenção de financiamento, Aprovação final. Todos os autores participaram da redação, revisão, edição e aprovaram a versão final do manuscrito.



## REFERÊNCIAS

- 1 World Health Organization (WHO) – Regional Office for Europe. Human biomonitoring: assessment of exposure to chemical pollutants [Internet]. Copenhagen: WHO/Europe; 2023 [acesso em 18 out 2025]. Disponível em: <https://www.who.int/europe/publications/i/item/WHO-EURO-2023-7574-47341-69480>
- 2 Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Biomonitoring Glossary | National Biomonitoring Program [Internet]. Atlanta (GA): CDC; 2024 [acesso em 18 out 2025]. Disponível em: <https://www.cdc.gov/biomonitoring/glossary/index.html>
- 3 Centers for Disease Control and Prevention (CDC). National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals (National Exposure Report) [Internet]. Atlanta (GA): CDC; 2024 [acesso em 18 out 2025]. Disponível em: <https://www.cdc.gov/biomonitoring/resources/national-exposure-report.html>
- 4 Centers for Disease Control and Prevention (CDC), National Center for Health Statistics (NCHS). National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES): About/Overview [Internet]. Hyattsville (MD): NCHS; 2024 [acesso em 18 out 2025]. Disponível em: <https://www.cdc.gov/nchs/nhanes/index.html>
- 5 Oliveira BFA, Bottino MJ, Nobre P, Nobre CA. Deforestation and climate change are projected to increase heat stress risk in the Brazilian Amazon. *Commun Earth Environ*. 2021;2(1):207.
- 6 CNN Brasil. Seca extrema avança na Região Norte, aponta previsão do Cemaden [Internet]. São Paulo: CNN Brasil; 2024 [cited 2025 Jan 12]. Available from: <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/seca-extrema-avanca-na-regiao-norte-aponta-previ-sao-do-cemaden/>.
- 7 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). TerraBrasilis: focos de queimada (queimadas x desmatamentos) de 2019 a 2023 [Internet]. São José dos Campos: INPE; 2023 [cited 2024 Jan 15]. Available from: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/fires/biomes/aggregated/>.
- 8 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). BDQueimadas – Focos de incêndios por Estado entre 01 jan. 2024 e 31 dez. 2024 [Internet]. São José dos Campos: INPE; 2025 [cited 2025 Jun 13]. Available from: <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/#graficos>.
- 9 Oliveira IN, Oliveira BFA, Silveira IHD, Machado LMG, Villardi JWR, Ignotti E. Air pollution from forest burning as environmental risk for millions of inhabitants of the Brazilian Amazon: an exposure indicator for human health. *Cad Saude Publica*. 2023;39(6):e00131422.
- 10 Moura FR, Machado PDW, Ramires PF, Tavella RA, Carvalho H, Silva Júnior FMR. In the line of fire: Analyzing burning impacts on air pollution and air quality in an Amazonian city, Brazil. *Atmos Pollut Res*. 2024;15(4):102033.
- 11 Oliveira M, Costa S, Vaz J, Fernandes A, Slezakova K, Delerue-Matos C, et al. Firefighter’s exposure to fire emissions: impact on levels of biomarkers of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons and genotoxic/oxidative-effects. *J Hazard Mater*. 2020;383:121179.
- 12 Silva RA, Pereira EC, Olympio KPK, Paiva MJN, Martins I. Human biomonitoring and risks of hazardous occupational exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in wildland fires: a critical review. *Crit Rev Toxicol*. 2025;Ahead of print:1-19.
- 13 United States Environmental Protection Agency (EPA). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) [Internet]. Washington, DC: EPA; 2009 [cited 2023 Apr]. Available from: [https://www.epa.gov/sites/default/files/20143/documents/pahs\\_factsheet\\_cdc\\_2013.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/20143/documents/pahs_factsheet_cdc_2013.pdf)
- 14 Roshandel G, Semnani S, Malekzadeh R, Dawsey SM. Polycyclic aromatic hydrocarbons and esophageal squamous cell carcinoma. *Arch Iran Med*. 2012;15(11):713-22.
- 15 Zhang C, Luo Y, Zhong R, Law PTY, Boon SS, Chen Z, et al. Role of polycyclic aromatic hydrocarbons as a co-factor in human papillomavirus-mediated carcinogenesis. *BMC Cancer*. 2019;19(1):138.
- 16 Scaramboni C, Farias CN, Castro Vasconcellos P, Levi M, Sadiktsis I, Pozza SA, et al. Characterization of cross-continental PM2.5: Insights into emissions and chemical composition. *Atmos Res*. 2024;305:107423.
- 17 Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). Ministério do Meio Ambiente. Emergências ambientais [Internet]. Brasília (DF): ICMBio; 2021 [cited 2025 Aug 12]. Available from: <https://salve.icmbio.gov.br/#/>.
- 18 Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. Diretrizes de vigilância em saúde do trabalhador: brigadista florestal [Internet]. 1st ed. Brasília (DF): Ministério da Saúde; 2024 [cited 2025 Aug 11]. Available from: [http://bvsm.sau.gov.br/bvsm/publicacoes/diretrizes\\_vigilancia\\_saude\\_trabalhador\\_brigadistaflorestal.pdf](http://bvsm.sau.gov.br/bvsm/publicacoes/diretrizes_vigilancia_saude_trabalhador_brigadistaflorestal.pdf)

- 19 Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. Diretrizes de vigilância em saúde do trabalhador: brigadista florestal [Internet]. Brasília (DF): Ministério da Saúde; 2022 [cited 2025 Aug 11]. Available from: [https://bvsm.sau.gov.br/bvs/publicacoes/diretrizes\\_vigilancia\\_saude\\_trabalhador\\_brigadistaflorestal.pdf](https://bvsm.sau.gov.br/bvs/publicacoes/diretrizes_vigilancia_saude_trabalhador_brigadistaflorestal.pdf).
- 20 Instituto de Pesquisas Ecológicas (IPÊ). Manejo integrado do fogo (MIF) [Internet]. Nazaré Paulista: IPÊ – Instituto de Pesquisas Ecológicas; 2024 [cited 2025 Aug 11]. Available from: [https://ipe.org.br/downloads/st\\_voluntariado\\_mif\\_ipe\\_2024-vmif.pdf](https://ipe.org.br/downloads/st_voluntariado_mif_ipe_2024-vmif.pdf).
- 21 Rede Nacional de Brigadas Voluntárias. Combatendo de forma voluntária os incêndios florestais no Brasil [Internet]. [place unknown]: Rede Nacional de Brigadas Voluntárias; 2025 [cited 2025 Aug 25]. Available from: <https://rnbv.org.br/>.
- 22 Adetona O, Simpson CD, Li Z, Sjodin A, Calafat AM, Naeher LP. Hydroxylated polycyclic aromatic hydrocarbons as biomarkers of exposure to wood smoke in wildland firefighters. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2015;27(1):78–83.
- 23 Pinkerton LE, Zeitz WF, He XM, Ward EM. Mortality in a cohort of US firefighters from San Francisco, Chicago and Philadelphia: an update. *Occup Environ Med*. 2020;77(2):84-93.
- 24 Rice MB, Henderson SB, Lambert AA, Cromar KR, Hall JA, Cascio WE, et al. Respiratory impacts of wildland fire smoke: future challenges and policy opportunities. *Ann Am Thorac Soc*. 2021;18(6):921-30.
- 25 Fiedler NC, Rodrigues TO, Medeiros MB. Análise das condições de trabalho de brigadistas de combate a incêndios florestais no Distrito Federal. *Floresta*. 2004;34(2):89-94.
- 26 Queiroz MTA, Queiroz CA, Queiroz FA, Queiroz VA. Estudo de caso: análise dos riscos ocupacionais da brigada de incêndio florestal na região metropolitana do Vale do Aço, Minas Gerais, Brasil. *Iberoam J Ind Eng*. 2021;13(25):71-89.
- 27 National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Alert: preventing fire fighter fatalities due to heart attacks and other sudden cardiovascular events [Internet]. Cincinnati: NIOSH; 2007 [cited 2025 Jan 11]. Available from: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2007-133/default.html>.
- 28 Groot E, Caturay A, Khan Y, Copes R. A systematic review of the health impacts of occupational exposure to wildland fires. *Int J Occup Med Environ Health*. 2019;32(2):121-40.
- 29 Vilas Boas J. Riscos psicossociais em bombeiros portugueses: contributos para a promoção da saúde ocupacional [dissertation on the Internet]. Viana do Castelo: Instituto Politécnico de Viana do Castelo; 2019 [cited 2025 Jan 11]. Available from: [http://repositorio.ipvc.pt/bitstream/20.500.11960/2438/1/Jose\\_Vilas\\_Boas.pdf](http://repositorio.ipvc.pt/bitstream/20.500.11960/2438/1/Jose_Vilas_Boas.pdf).
- 30 Martins HDS, Amaral PHC, Fernandes KA, Salomão RR. Avaliação da pressão humana na Reserva Extrativista Verde para Sempre no oeste do Pará. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. Anais. São José dos Campos: INPE; 2007. p. 2817-24.
- 31 Urrutia-Pereira M, Rizzo LV, Chong-Neto HJ, Solé D. Impact of exposure to smoke from biomass burning in the Amazon rain forest on human health. *J Bras Pneumol*. 2021;47(5):e20210219.
- 32 Oliveira Galvão MF, Oliveira Alves N, Ferreira PA, Caumo S, Castro Vasconcellos P, Artaxo P, et al. Biomass burning particles in the Brazilian Amazon region: mutagenic effects of nitro and oxy-PAHs and assessment of health risks. *Environ Pollut*. 2018;233:960-70.
- 33 Oliveira Alves N, Vessoni AT, Quinet A, Fortunato RS, Kajitani GS, Peixoto MS, et al. Biomass burning in the Amazon region causes DNA damage and cell death in human lung cells. *Sci Rep*. 2017;7(1):10937.
- 34 Teixeira JPF, Morais, SB, et al. A panel of (bio) markers for the surveillance of firefighter's health and safety (BioFirEx). Projeto ref. PCIF/SSO/0017/2018. Lisbon: Fundação para a Ciência e a Tecnologia; 2018.
- 35 Guerin F, Laville A, Daniellou F, Duraffourg J, Kerguelen A. Compreender o trabalho para transformá-lo: a prática da ergonomia. São Paulo: Edgard Blücher; 2001.
- 36 Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Cidades e Estados: Pará – área territorial (2024) [Internet]. Rio de Janeiro: IBGE; 2024 [cited 2025 Jun 13]. Available from: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa.html>.
- 37 Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Cidades e Estados: Pará – população no último censo (2022) [Internet]. Rio de Janeiro: IBGE; 2022 [cited 2025 Jun 13]. Available from: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa.html>.
- 38 MapBiomas. Relatório anual de desmatamento (RAD) [Internet]. São Paulo: MapBiomas; 2021 [cited 2022 Jul 21]. Available from: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/desmatamento>.
- 39 Barcellos C, Xavier D, Hacon S. Queimadas na Amazônia e seus impactos na saúde: a incidência de doenças respiratórias no sul da Amazônia aumentou significativamente nos últimos meses. 3º Informe Técnico do Observatório de Clima e Saúde. Rio de Janeiro: Fundação Oswaldo Cruz; 2019.

- 40 Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução da Diretoria Colegiada – RDC n° 504, de 27 de maio de 2021. Dispõe sobre as boas práticas para o transporte de material biológico humano. Brasília (DF): ANVISA; 2021.
- 41 Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução da Diretoria Colegiada – RDC n° 786, de 5 de maio de 2023. Dispõe sobre os requisitos técnico-sanitários para o funcionamento de laboratórios clínicos, de anatomia patológica e outros serviços que executam atividades relacionadas aos exames de análises clínicas (EAC). Brasília (DF): ANVISA; 2023.
- 42 Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). Unidades de conservação federais no Estado do Pará. Brasília (DF): ICMBio; 2025. Informação institucional.
- 43 Fundação Nacional dos Povos Indígenas (FUNAI). Terras indígenas reconhecidas no Estado do Pará. Brasília (DF): Funai; 2025. Informação institucional.
- 44 Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Malha rodoviária federal e estadual [Internet]. Brasília (DF): DNIT; 2016 [cited 2025 Aug 28]. Available from: <http://www.dnit.gov.br/>.
- 45 Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – SNIRH: bases cartográficas de massas d'água [Internet]. Brasília (DF): ANA; 2019 [cited 2025 Aug 28]. Available from: <https://www.snirh.gov.br/>.
- 46 Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Cidades e Estados: São Paulo (SP) [Internet]. Rio de Janeiro: IBGE; 2022 [cited 2025 Aug 31]. Available from: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/sao-paulo.html>.
- 47 Gonçalves KS, Hacon SS, Barrocas PRG, Valente J, Oliveira B, Oliveira R, et al. Avaliação de risco à saúde de crianças expostas à poluição atmosférica na região amazônica. *Rev Saude Publica*. 2013;47(2):239-47.
- 48 Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz). Instituto de Comunicação e Informação Científica e Tecnológica em Saúde. Informe do Observatório de Queimadas: impactos das queimadas na saúde [Internet]. Rio de Janeiro: Fiocruz; 2019 [cited 2025 Aug 23]. Available from: [https://climaesaude.iciet.fiocruz.br/sites/climaesaude.iciet.fiocruz.br/files/informe\\_observatorio\\_queimadas.pdf](https://climaesaude.iciet.fiocruz.br/sites/climaesaude.iciet.fiocruz.br/files/informe_observatorio_queimadas.pdf).
- 49 Carvalho LVB, Costa-Amaral IC, Mattos RCOC, Larentis AL. Exposição ocupacional a substâncias químicas, fatores socioeconômicos e saúde do trabalhador: uma visão integrada. *Saude Debate*. 2017;41(spe2):313-26.
- 50 Abreu A, Costa C, Pinho E Silva S, Morais S, do Carmo Pereira M, Fernandes A, et al. Wood smoke exposure of Portuguese wildland firefighters: DNA and oxidative damage evaluation. *J Toxicol Environ Health A*. 2017;80(13–15):596-604.
- 51 Navarro KM, Kleinman MT, Mackay CE, Reinhardt TE, Balmes JR, Broyles GA, et al. Wildland firefighter smoke exposure and risk of lung cancer and cardiovascular disease mortality. *Environ Res*. 2019 Jun; 173:462-468. Epub 2019 Mar 26. PMID: 30981117.
- 52 Oliveira MA, Oliveira S. A face humana do herói: análise do processo saúde-doença de bombeiros a partir de comunidades virtuais. *Interface (Botucatu)*. 2020;24:e190252.
- 53 Barros B, Paiva AM, Azevedo R, Alves S, Esteves F, Fernandes A, et al. Impact of wildfire emissions exposure on the associations between levels of lung injury, lipid peroxidation, DNA oxidation, and exposure biomarkers. *Sci Total Environ*. 2025; 993:180012.

Recebido em / Received: 1/9/2025  
Aceito em / Accepted: 28/10/2025

Este artigo compõe a Seção Temática "Saúde e Meio Ambiente na Pan-Amazônia: Ciência, Território e Resistência em tempos de crise climática" em alusão à 30ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP 30).

Como citar este artigo / How to cite this article:

Araújo ANM, Pereira EC, Piai KA, Dias TC, Olympio KPK. Entre a fumaça de incêndios florestais, cinzas e rios: relato de campo para biomonitoramento de brigadistas florestais na Amazônia. *Rev Pan Amaz Saude*. 2025;16:e202501792. Doi: <https://doi.org/10.5123/S2176-6223202501792>