

UM SOPRO DE VIDA ÀS CIDADES AMAZÔNICAS:

Um caso de investimento transformador visando ar puro,
saúde, equidade e oportunidades econômicas



getty images

PRODUÇÃO



APOIO



EM COLABORAÇÃO COM

MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE E
MUDANÇA DO CLIMA



AUTORES

Sergio Sanchez, Veronica Southerland, Tammy Thompson, Abhinand Krishnashankar, Phoebe Ward, Renata da Costa, Martina Horvath, Patricia Ferrini, Evangelina Araujo, Willy Hagi, Rodolfo Lacy, A. Juliana Klakamp, Stephanie Montero, Marcos Cárdenas, Karen Blanco

SOBRE O FUNDO DE DEFESA AMBIENTAL (EDF)

O EDF utiliza seus conhecimentos em ciência e economia para oferecer soluções climáticas ousadas e revolucionárias — desde incentivar companhias aéreas a zerar emissões líquidas de carbono, valorizar as florestas tropicais vivas em vez de desmatadas, até promover a medição da qualidade do ar por bairros, quarteirão a quarteirão.

Com o compromisso de ajudar pessoas que enfrentam ameaças climáticas hoje e reduzir drasticamente a poluição climática para um futuro melhor, tudo o que o EDF faz é construir uma Terra vital para todos.

SOBRE O INSTITUTO AR

O Instituto Ar é uma organização sem fins lucrativos dedicada à proteção da saúde humana, com foco no enfrentamento da mudança climática e da poluição do ar. A instituição transforma conhecimento científico em ação, influenciando políticas públicas e engajando a sociedade na busca por um clima equilibrado e um ar mais limpo e saudável. Saiba mais em institutoar.org.br

SOBRE O CLEAN AIR INSTITUTE

O Clean Air Institute surgiu como um subproduto da Clean Air Initiative para a América Latina e do Caribe, lançada originalmente pelo Banco Mundial e um grupo das maiores metrópoles da região. Fundado em 2006, o Clean Air Institute é uma organização independente impulsionada por princípios de sustentabilidade, ideias inovadoras e ações de alto impacto, além de uma base sólida de engajamento de múltiplas partes interessadas. Saiba mais em cleanairinstitute.org

SOBRE O BREATHE CITIES

Esta publicação foi apoiada pela Breathe Cities, uma iniciativa pioneira realizada pela Clean Air Fund, C40 Cities e Bloomberg Philanthropies para limpar o ar, reduzir as emissões de carbono e melhorar a saúde pública em cidades ao redor do mundo. Saiba mais em breathecities.org



AGRADECIMENTOS

Este relatório é fruto de esforço coletivo. Agradecemos especialmente à Coalizão Respira Amazônia¹ e seus membros, em particular Domingos de Jesus Rodrigues, Franciele Oliveira Campos Da Rocha, Valéria Moreira da Silva, Rodrigo Augusto Ferreira de Souza e Monique Rodrigues da Silva Andrade Maia, cujo envolvimento e feedback construtivo mantiveram este trabalho fundamentado nas realidades e aspirações das comunidades da região. Agradecemos a Ananya Roy por suas valiosas contribuições para o relatório.

Agradecemos também aos representantes governamentais, pesquisadores, organizações da sociedade civil e líderes comunitários que generosamente compartilharam seu tempo e conhecimento. Em particular, reconhecemos a Secretaria de Meio Ambiente Urbano, Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima por sua liderança e colaboração.

Suas contribuições enriqueceram a análise e serão explicitamente reconhecidas na versão final.

Um agradecimento especial à iniciativa Breathe Cities, cujo apoio e visão compartilhada por uma Amazônia mais saudável e equitativa foram essenciais ao longo deste processo.

Acima de tudo, homenageamos as próprias comunidades, cujos esforços diários e resiliência são o mais forte apelo à ação por um ar mais limpo, vidas mais saudáveis e maior equidade em toda a Amazônia.





CONTENTS

SUMÁRIO EXECUTIVO	7
A Dimensão da Crise	7
Recursos e Soluções Partilhados A Oportunidade Prioridades Estratégicas	8
Por que isso importa agora O Caminho Adiante	9
1. O AR LIMPO NÃO PODE ESPERAR: UM ALERTA	10
A tripla ameaça planetária na Amazônia	10
Metodologia	11
Avaliação da poluição atmosférica	11
Caracterização das emissões Avaliação do impacto na saúde Avaliação econômica Análise de equidade	12
Poluição atmosférica generalizada em toda a Amazônia Legal	12
Por que agir agora	13
2. O QUE ESTÁ EM JOGO: O QUE ESTAMOS PERDENDO	15
Impactos da poluição do ar na saúde: uma emergência regional	15
Impacto sobre a mortalidade na região	15
Impactos da morbidade na saúde	16
Injustiça ambiental: impacto desigual, acesso desigual	17
Custos econômicos: quantificando o custo do desenvolvimento	18
Qual é a causa? Emissões setoriais e fatores subjacentes	19
Impactos climáticos na Amazônia Legal	20
3. BENEFÍCIOS DE UM AR MAIS LIMPO PARA A SAÚDE E A ECONOMIA	21
Quantificação do impacto positivo da redução da poluição sobre a taxa de mortalidade	21
Ganhos econômicos: menores custos com saúde, maior produtividade e competitividade	22
Dividendos sociais: redução das disparidades para as populações marginalizadas	22
Intervenções comprovadas e acessíveis em prol do ar limpo:	
caminhos economicamente viáveis para ganhos em termos de saúde, clima e equidade	22
4. DESAFIOS E OPORTUNIDADES	24
Lacunas nas políticas Insuficiência no monitoramento da qualidade do ar Baixo incentivo econômico	25
Alinhando instituições, investidores e financiamento para ações em prol do ar limpo	25
1. Alinhando instituições com fluxos de financiamento	26
2. Fortalecendo a capacidade local	26
3. Inovando no financiamento e alavancando BMDs	26
4. Catalisando ações por meio do apoio de doadores	27
5. Mobilização de capital privado para expansão	27
5. MANAUS: ESTUDO DE CASO	28
Manaus: centro econômico com desafios significativos em qualidade do ar	28
Poluição e impacto na saúde: entre os mais elevados do Brasil Fontes locais e pressões regionais	29
Oportunidades para redução de emissões e uso tecnologias limpas	29
Políticas e estrutura institucional Conclusão	31
6. RUMO AO AR LIMPO NAS CIDADES AMAZÔNICAS	32
Intervenções prioritárias concretas	33
Monitoramento da qualidade do ar e sistema de alerta precoce na região amazônica	33
Fundamentos e sinérgias existentes Um apelo à ação	36
ENDNOTES	39
APÊNDICE	41

SUMÁRIO EXECUTIVO

A Amazônia é um lar para mais de 30 milhões de pessoas e mais da metade da população indígena do Brasil. Suas cidades, que hoje abrigam mais de 10 milhões de habitantes, estão se expandindo rapidamente. No entanto, os moradores respiram ar insalubre todos os dias. A poluição do ar se tornou uma crise urbana: custa vidas, sobrecarrega os sistemas de saúde e restringe o crescimento econômico.

Este relatório, que abrange 20 cidades amazônicas, explica por que ações urgentes são necessárias e possíveis. Ele quantifica os custos econômicos e à saúde, destaca os principais fatores que causam a poluição e identifica soluções práticas e viáveis para investimento que as cidades e seus parceiros podem adotar agora.

Com a COP30 se aproximando, a Amazônia tem a chance de mostrar como ações relacionadas à qualidade do ar podem trazer benefícios simultâneos à saúde, à equidade e ao clima.

A DIMENSÃO DA CRISE

- Estimamos que mais de 9.000 mortes prematuras por ano na Amazônia Legal estão relacionadas à exposição a partículas finas ($PM_{2,5}$) e 3.356 dessas mortes ocorrem nas 20 maiores cidades.
- Desde 2000, mais de 58.000 vidas foram perdidas devido à poluição do ar na região.
- O custo econômico acumulado relacionado à saúde é de R\$ 2,18 trilhões (US\$ 437 bilhões) entre 2000 e 2023.
- Em Manaus, os custos com saúde atribuíveis à exposição a $PM_{2,5}$ equivalem a cerca de 5% do PIB anual da cidade, enquanto os incêndios sazonais elevam os níveis de $PM_{2,5}$ acima de $100 \mu g/m^3$, forçando o fechamento de escolas e sobrecarregando hospitais.

Esses números colocam as cidades amazônicas entre as áreas urbanas mais afetadas das Américas.

Destaques



aumento de 477%
nas mortes relacionadas
à poluição em algumas
cidades da Amazônia
desde 2000



quase 60%
de redução potencial nas
mortes relacionadas à poluição
do ar ao atingir a meta de
 $PM_{2,5}$ do Brasil para 2044



US\$5 bilhões
são perdidos em custos
relacionados à saúde
causados pela poluição
do ar por ano em 20
cidades analisadas



1,5-3x + empregos
gerados para cada
1 milhão investido em ar
limpo em comparação com
combustíveis fósseis

Sem ações decisivas, o fardo provavelmente aumentará ainda mais à medida que a urbanização, a dependência de combustíveis fósseis e a atividade industrial se expandirem.

RECURSOS E SOLUÇÕES PARTILHADOS

Os mesmos fatores que causam a poluição do ar nessas cidades amazônicas também aceleram as mudanças climáticas:

- **O transporte rodoviário é responsável por aproximadamente 11 milhões de toneladas de CO₂ por ano**, representando 2,3% do total das emissões de combustíveis fósseis do Brasil.
- **A indústria contribui com aproximadamente 3,3 milhões de toneladas de CO₂ por ano.**
- Os processos de gestão de resíduos, principalmente o descarte descontrolado, são **responsáveis por aproximadamente 71.000 toneladas de metano emitidas anualmente.**
- **Incêndios e queima de biomassa resultam em mais de 4.000 toneladas de emissões de carbono negro por ano.**

A redução dessas emissões traz benefícios imediatos para a saúde, ao mesmo tempo em que promove o avanço das metas climáticas e de sustentabilidade.

A OPORTUNIDADE

O cumprimento das normas atualizadas de qualidade do ar no Brasil poderia trazer ganhos transformadores para as cidades da Amazônia:

- Alcançar a meta nacional para PM_{2,5} em 2044 (média anual de 10 µg/m³) **evitaria 1.280 mortes em áreas urbanas anualmente e R\$ 15,1 bilhões em custos.**
- **Os maiores benefícios seriam para grupos vulneráveis, incluindo famílias de baixa renda, moradores de favelas e povos indígenas** — que estão desproporcionalmente expostos à poluição.
- **Projetos de energia limpa, transporte e cozinha podem gerar retorno de 2 a 4 vezes o valor do investimento**, ao mesmo tempo em que criam mais empregos do que as alternativas baseadas em combustíveis fósseis.

PRIORIDADES ESTRATÉGICAS

Com base em evidências e amplas consultas realizadas no âmbito deste projeto — incluindo workshops regionais, discussões presenciais em

Manaus e entrevistas direcionadas —, identificamos setores e intervenções prioritários que podem proporcionar investimentos escaláveis em ar limpo, com benefícios colaterais rápidos e visíveis para saúde, aprimoramento climático, equidade e economia. As propostas são ilustrativas e preliminares, com faixas de custo baseadas em referências internacionais ajustadas de forma conservadora às condições amazônicas, e têm como objetivo informar uma futura iniciativa regional com vários doadores e investidores, alinhada com os planos federais, estaduais e municipais voltados à qualidade do ar e do clima:

Intervenções de alto impacto e alta viabilidade (2025-2026):

- **Instalar controles avançados de poluição** (filtros, purificadores, SCR) e Sistemas de Monitoramento Contínuo de Emissões em fábricas prioritárias na Zona Franca de Manaus e nos centros industriais/mineradores do Pará (cerca de US\$ 50-70 milhões, em fases).
- Em cidades como Manaus, a modernização de usinas a gás natural com queimadores de baixo NO_x ou sistemas SCR pode reduzir as emissões em até 90%, a um custo aproximado de US\$ 40 a US\$ 100 por kW.
- **Estabelecer um Sistema Regional de Monitoramento da Qualidade do Ar e Alerta Precoce** para lidar com a poluição transfronteiriça, garantir dados consistentes e fornecer alertas integrados de saúde e clima, utilizando estações regulatórias, sensores calibrados de baixo custo, centros de QA/QC e links para o MonitorAr, INPE Queimadas, Fiocruz e SUS (~US\$ 12-15 milhões + operação e manutenção).

Intervenções estratégicas de médio prazo (2026-2028):

- **Implantar 200 ônibus elétricos a bateria em Belém e Manaus**, com expansão para mais de 500 até 2027 (aproximadamente US\$ 110-135 milhões).
- **Fazer a transição do transporte fluvial de passageiros e de carga para embarcações com propulsão de baixa ou zero emissão** e instalar energia elétrica em terra nos principais portos

(Manaus, Belém, Santarém) (aproximadamente US\$ 150-200 milhões na primeira fase).

- **Lançar “Zonas de Bioeconomia² Positiva e Ar Limpo”** com práticas de queima zero, energia renovável e logística limpa para agrossilvicultura, açaí, aquicultura e produtos florestais (~US\$ 60-80 milhões).

Ações transformacionais de longo prazo (2028-2030):

- **Expandir as brigadas comunitárias de combate a incêndios e os projetos-piloto de Pagamento por Serviços Ambientais no Pará e no Amazonas** para fortalecer os sistemas de prevenção e controle de incêndios, conectá-los aos alertas de qualidade do ar e incentivar práticas que evitem incêndios, reduzindo a poluição, os riscos à saúde e os fatores que levam ao desmatamento (cerca de US\$ 20 a 25 milhões).
- **Conectar todas as intervenções por meio do Sistema Regional de Monitoramento da Qualidade do Ar e Alerta Precoce** descrito acima, incluindo estações de referência, sensores, integração de satélites e sistemas de vigilância da saúde.

Esses investimentos podem ser incorporados a programas importantes, como o Amazon Pro-Sustentabilidade do Banco Mundial (US\$ 592,5 milhões) e o Fundo Amazon Bioeconomy do BID/GCF (US\$ 598 milhões), ao mesmo tempo em que aproveitam recursos domésticos do Fundo Amazônia³, do BNDES, dos orçamentos federal e estadual e, potencialmente, de um futuro fundo federal baseado no princípio do poluidor pagador. Complementada por contribuições da

doadores bilaterais, filantropia e Responsabilidade Social Corporativa (RSC), essa abordagem de financiamento misto multiplicaria os retornos, garantiria benefícios conjuntos em termos de saúde, clima e equidade e asseguraria a sustentabilidade financeira a longo prazo.

POR QUE ISSO IMPORTA AGORA

- **As 20 cidades analisadas representam a maior parte da exposição e mortalidade urbana na Amazônia**, escolhidas por seu tamanho populacional, níveis de poluição e fatores setoriais.
- **O Brasil acaba de atualizar sua Política e Normas Nacionais de Qualidade do Ar**, criando uma nova estrutura legal que precisa ser implementada.
- **Com a COP30 em Belém, há uma atenção global sem precedentes** na região e novos fluxos financeiros para alinhar a qualidade do ar com as metas climáticas, de saúde e equidade.

O CAMINHO ADIANTE

Este relatório não é apenas um diagnóstico; é um roteiro para ação. Ele mostra onde os investimentos podem fazer a maior diferença, como as intervenções se alinham às políticas do Brasil e quais papéis as cidades, os estados, os bancos multilaterais e a sociedade civil podem desempenhar.

Atrasos significam custos mais elevados, mais desigualdade e oportunidades perdidas. Agir agora significa comunidades mais saudáveis, economias mais fortes e uma Amazônia mais resiliente, estabelecendo um modelo para a ação urbana em todo o mundo.



A EDF E O INSTITUTO AR REALIZARAM UM ENCONTRO HÍBRIDO EM MANAUS, AMAZONAS, BRASIL, REUNINDO MEMBROS DA COALIZÃO RESPIRA AMAZÔNIA E OUTRAS PARTES INTERESSADAS PARA VALIDAR, REFINAR E PRIORIZAR AS CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES DO PROJETO.

(fotos de Ageu Felipe de Lima)

1. O AR LIMPO NÃO PODE ESPERAR: UM ALERTA

A TRIPLA AMEAÇA PLANETÁRIA NA AMAZÔNIA

Cobrindo mais de 5 milhões de km² em nove estados do Brasil, a Amazônia Legal⁴ (Figura 1) abriga 60% da maior floresta tropical e do maior sistema fluvial do mundo. Seus serviços ecossistêmicos, avaliados em trilhões de dólares, são essenciais para a subsistência, o desenvolvimento nacional e a regulação climática global. No entanto, suas cidades e comunidades enfrentam desafios crescentes decorrentes da poluição do ar, causada pela urbanização e pelos incêndios florestais, da intensificação dos extremos climáticos e meteorológicos e da vulnerabilização persistente à saúde. Esses desafios moldam a vida cotidiana e exigem respostas baseadas nas realidades locais e nas prioridades nacionais.

Hoje, a Amazônia Legal abriga mais de 30 milhões de pessoas⁵, incluindo mais da metade dos povos indígenas do Brasil⁶. A urbanização se acelerou nas

PONTOS PRINCIPAIS

- As cidades da Amazônia enfrentam uma ameaça tripla: poluição do ar, extremos climáticos e vulnerabilidades de saúde.
- A qualidade do ar urbano está piorando devido ao crescimento industrial descontrolado, ao transporte movido a combustíveis fósseis e à queima desenfreada de biomassa.
- Incêndios florestais sazonais e desmatamento causam picos de poluição perigosos, impactando milhões.
- A maioria das cidades amazônicas carece de monitoramento robusto e fiscalização da qualidade do ar.
- É necessária ação imediata para prevenir novas crises de saúde e ambientais.

Destaques



5 milhões de km²

Área coberta pela
Amazônia Legal nos nove
estados brasileiros



20

Número das maiores
cidades amazônicas
analisadas neste relatório



30 milhões

Número de pessoas
que vivem na
Amazônia Legal



Até 477%

De aumento nos níveis
de poluição em algumas
cidades amazônicas desde
2000

últimas décadas, com nossa análise estimando que mais de 70% dos habitantes vivem em áreas urbanas. Centros urbanos, como Manaus, Belém, Porto Velho e Rio Branco, estão enfrentando uma piora na qualidade do ar devido a uma combinação de fatores, incluindo emissões industriais, frotas de transporte rodoviário e fluvial dependentes de combustíveis fósseis, geração de energia a combustível fóssil e queima de biomassa. Os incêndios florestais sazonais ligados a desmatamento, queimadas e condições de seca, intensificam o problema, cobrindo periodicamente as cidades com fumaça e causando picos dramáticos de poluição a curto prazo. Juntas, essas fontes criam uma exposição persistente ao longo do ano, pontuada por episódios sazonais graves.

METODOLOGIA

Este estudo empregou uma abordagem interdisciplinar, baseada em dados, para avaliar a poluição do ar, suas fontes de emissão e os impactos associados à saúde, a economia e a equidade em 20 cidades da Amazônia brasileira.

Avaliação da Poluição Atmosférica

Para as concentrações de $PM_{2,5}$, utilizamos um conjunto de dados integrando informações da profundidade óptica do aerossol obtida por satélite, modelagem de transporte químico e dados de monitoramento terrestre, para criar estimativas da concentração média anual de $PM_{2,5}$ no período de 2000 a 2023 para as 20 áreas urbanas identificadas⁷. Este conjunto de dados de alta resolução (aproximadamente 1 km^2) integra informações da profundidade óptica do aerossol obtida por satélite a partir de três instrumentos satelitais (o Espectrorradiômetro de Imagem de Resolução Moderada, SeaWiFs e o Espectrorradiômetro de Imagem Multiangular), modelagem de transporte químico usando o modelo de transporte químico Goddard Earth Observing System-Chem e dados de monitoramento terrestre. As observações terrestres de $PM_{2,5}$ foram incorporadas usando uma regressão ponderada geograficamente. Embora nosso uso de um conjunto de dados de concentração derivado de satélite incorpore dados de monitoramento *in situ*, quando disponíveis, os dados limitados de monitoramento do ar disponíveis na região amazônica introduzem incerteza devido à capacidade reduzida de calibrar o modelo com base nos dados medidos.



FIGURA 1. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA AMAZÔNIA LEGAL

Caracterização das Emissões

Analisamos dados de emissões de duas fontes disponíveis ao público: EDGAR e BRAIN^{8, 9}. O EDGAR é um inventário global de emissões de gases de efeito estufa e poluição atmosférica com resolução de 10×10 km, incluindo três gases de efeito estufa principais (CO₂, CH₄, N₂O), partículas primárias (PM₁₀, PM_{2,5}, BC, OC), gases precursores do ozônio (CO, NO_x, NMVOC, CH₄) e gases acidificantes (NH₃, NO_x, SO₂). Os inventários de emissões são divididos em setores econômicos detalhados. O BRAIN é um banco de dados abrangente específico do Brasil com resolução de 20×20 km sobre a região amazônica, incluindo emissões dos setores de transporte, industrial, queimadas/queima de biomassa e biogênico.

Avaliação do Impacto na Saúde

Utilizamos uma função de impacto na saúde para estimar a mortalidade atribuível ao PM_{2,5}. A função de impacto na saúde incorpora concentrações médias anuais de PM_{2,5}, contagens populacionais, taxas de mortalidade de referência e funções de resposta à concentração derivadas epidemiologicamente. A fração atribuível à população (PAF) descreve a porcentagem de doenças em cada população que é atribuível ao PM_{2,5} com base em funções de resposta à concentração derivadas da literatura epidemiológica¹⁰. Utilizamos estimativas de risco relativo, por causas específicas, a partir do estudo GBD 2021 para mortalidade por doença cardíaca isquêmica, acidente vascular cerebral isquêmico e hemorrágico intracerebral, infecções respiratórias inferiores, câncer de pulmão, diabetes tipo 2 e doença pulmonar obstrutiva crônica.¹¹

Estimativas de contagem populacional em grade estão disponíveis no WorldPop para todas as idades de 2000 a 2020.¹² Para delimitação de áreas urbanas, usamos os limites urbanos definidos pela Global Human Settlement Grid.¹³ Para cada área urbana, calculamos a razão correlativa às concentrações médias ponderadas de PM_{2,5} pelo número populacional. Obtivemos taxas de doenças de referência específicas por país, idade e causa a partir da troca de dados do estudo GBD 2021 para o período de 2000 a 2021. Na ausência de um conjunto de dados em escala global sobre taxas de mortalidade urbana, aplicamos as taxas nacionais do Brasil às cidades amazônicas.

Avaliação Econômica

Para estimar os danos econômicos à saúde associados à mortalidade causada pelo PM_{2,5}, utilizamos a métrica do Valor Estatístico da Vida (VSL). Com base em Viscusi e Masterman (2017), o VSL para o Brasil é derivado do VSL para os EUA, com base na elasticidade da renda do Brasil em relação aos EUA.¹⁴ A abordagem utilizada é: $VSL(\text{Brasil}) = VSL(\text{EUA}) \times (\text{RNB per capita do Brasil} / \text{RNB per capita dos EUA})^{\text{Elasticidade da renda}}$, onde a elasticidade da renda é presumida como sendo 1.

Análise de Equidade

Para examinar as correlações espaciais entre as características sociodemográficas e as concentrações de PM_{2,5}, assim como a mortalidade atribuível ao PM_{2,5} nos estados da Amazônia brasileira, integramos nossos conjuntos de dados sobre poluição com fontes de dados sociodemográficos em resolução municipal. Analisamos o conjunto de dados fornecido por Trajetórias, uma coleção de indicadores ambientais, epidemiológicos e econômicos para municípios da Amazônia Legal brasileira, que inclui o Índice de Pobreza Multidimensional (IPM) para populações rurais e urbanas.¹⁵

POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA GENERALIZADA EM TODA A AMAZÔNIA

Nas últimas duas décadas, a poluição do ar aumentou drasticamente nas cidades da Amazônia Legal. Em nossa análise de 20 cidades brasileiras da Amazônia, onde vivem 10,7 milhões de pessoas, estimamos que as concentrações médias anuais de PM_{2,5} variam de 13,1 µg/m³ em Palmas a 38,3 µg/m³ em Porto Velho, todas bem acima da diretriz da OMS de 5 µg/m³ (Figura 2, Tabela 2 no Apêndice).

Em 2023, constatamos que a poluição do ar contribuiu para mais de 3.300 mortes prematuras e R\$ 24,5 bilhões (US\$ 4,9 bilhões) em custos com saúde. Nossa análise mostra que, desde 2000, a mortalidade relacionada à poluição aumentou de 47% a 477% em diferentes cidades, superando o crescimento populacional, com um total acumulado de mais de 58.000 mortes prematuras e uma estimativa de US\$ 437 bilhões em perdas econômicas. Somente em Manaus, estimamos uma média anual de níveis de PM_{2,5} de 33 µg/m³, quase o dobro da meta de qualidade do ar do Brasil para 2025 (17 µg/m³) e mais de seis vezes a diretriz da OMS (5 µg/m³).

As mesmas fontes que pioram a qualidade do ar local, particularmente a queima de biomassa e a combustão de combustível fóssil, também emitem grandes quantidades de CO₂ e poluentes climáticos de curta duração, como o carbono negro. Reduzir essas emissões não só melhoraria a qualidade do ar e protegeria a saúde localmente, como também traria benefícios mais amplos para a mitigação climática regional e global.

Os fatores que contribuem para esse problema são específicos da região. A expansão industrial em zonas de livre comércio, a motorização sem controle eficaz das emissões, a dependência do combustível fóssil para sistemas de energia locais e o rápido crescimento urbano combinam-se com a queima sazonal de biomassa e incêndios florestais para gerar episódios complexos de poluição.

POR QUE AGIR AGORA

Os padrões atualizados de qualidade do ar do Brasil (Resolução CONAMA 506/2024), alinhados com as metas provisórias da OMS, criam uma base jurídica sólida para a ação. No entanto, responsabilidades fragmentadas, fiscalização fraca e capacidade limitada de monitoramento representam

desafios na Amazônia. Ao mesmo tempo, a meta de Zero Emissões Líquidas até 2050 do Brasil, os compromissos do Acordo de Paris e a participação em coalizões globais oferecem oportunidades sem precedentes para vincular a qualidade do ar à ação climática. Este relatório destaca intervenções, desde energia e estratégias de mobilidade mais limpas até o fortalecimento do monitoramento da qualidade do ar, melhoria do gerenciamento de incêndios e planejamento urbano centrado na saúde, que proporcionam múltiplos benefícios colaterais para a saúde pública e as metas climáticas.

Além do diagnóstico, o relatório traça um roteiro para a ação: fortalecer a coordenação institucional, avançar no monitoramento e na transparência dos dados, controlar as emissões de setores de alto impacto e promover modelos sustentáveis de desenvolvimento urbano e econômico. Com a COP30 no horizonte e o impulso crescente para a Política Nacional de Qualidade do Ar do Brasil, agora é o momento de agir. Adiar a ação acarretará custos maiores, desigualdades mais profundas e oportunidades perdidas. Agir agora possibilitará comunidades mais saudáveis, economias resilientes e um futuro mais sustentável para a região amazônica e além.

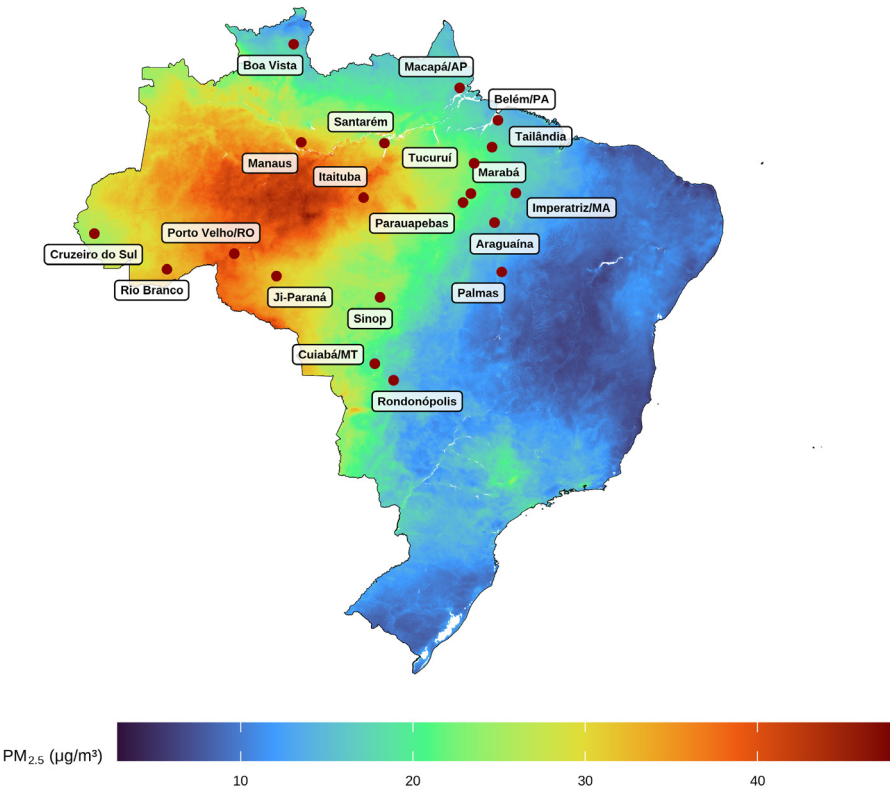


FIGURA 2. CONCENTRAÇÕES DE PM2,5 NO BRASIL (2023).¹⁶



DESCOBERTA PRINCIPAL
Manaus, 33,3 µg/m³
(7x as diretrizes da OMS)

O QUE ISTO SIGNIFICA
Respirar o ar de Manaus diariamente equivale a fumar 1,5 cigarro por dia para cada residente, incluindo recém-nascidos.

Fórmula de equivalência de cigarros da OMS: Pope III, C.A., et al. (2009). “Fine particulate air pollution and life expectancy in the United States.” New England Journal of Medicine, 360(4), 376-386.



**PADRÕES DE QUALIDADE DO AR DO BRASIL
(CONCENTRAÇÕES MÉDIAS ANUAIS DE PM_{2,5})**

Os padrões de qualidade do ar do Brasil para 2024 (Resolução CONAMA 506/2024) atualizam os valores de referência para PM_{2,5} e outros poluentes principais. Adotados legalmente como diretrizes para políticas de monitoramento e gestão, eles estabelecem metas progressivas e traçam um caminho para o alinhamento gradual com as diretrizes da OMS.

- Fase I (2024): Período de transição
- Fase II (2025): 17 µg/m³ (Meta Intermediária 4 da OMS)
- Fase III (2033): 15 µg/m³ (Meta Intermediária 3 da OMS)
- Fase IV (2044): 10 µg/m³ (Meta Intermediária 2 da OMS)
- Diretriz de Qualidade do Ar da OMS: 5 µg/m³ de média anual de PM_{2,5}

**DESCOBERTA
PRINCIPAL**

Níveis de PM_{2,5} de 13,1-38,3 µg/m³ nas cidades

WHAT THIS MEANS

Mesmo a cidade amazônica mais limpa tem o ar mais sujo do que 95% das cidades europeias. A qualidade do ar de Porto Velho se iguala à de Nova Deli durante dias de poluição moderada.

Qualidade do ar nas cidades europeias: European Environment Agency. (2024). Air Quality in Europe 2024 Report.

Dados de poluição de Nova Deli: Central Pollution Control Board, India. (2024). National Air Quality Index.



2. O QUE ESTÁ EM JOGO: O QUE ESTAMOS PERDENDO

IMPACTOS DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA NA SAÚDE: UMA EMERGÊNCIA REGIONAL

Para orientar nossas intervenções, realizamos uma avaliação abrangente do impacto na saúde em 20 cidades da Amazônia brasileira, revelando um estágio emergencial de saúde pública.

Impacto sobre a mortalidade na região

Estimamos que 9.159 mortes prematuras por ano sejam atribuíveis à exposição a $PM_{2,5}$ em toda a Amazônia Legal em 2023, das quais **3.356 (37%) são devidas à poluição do ar nas 20 maiores cidades** da região. Vários centros urbanos da Amazônia registraram taxas de mortalidade comparáveis às de algumas cidades em industrialização, como Cali, na Colômbia (730 mortes atribuíveis ao $PM_{2,5}$), e Puebla,

PONTOS PRINCIPAIS

- A poluição do ar está causando milhares de mortes prematuras todos os anos nas cidades da Amazônia.
- O ônus econômico dos custos de saúde relacionados à poluição é assustador, atingindo centenas de bilhões de dólares.
- Grupos vulneráveis, incluindo comunidades indígenas e de baixa renda, provavelmente sofrerão os maiores impactos.
- Os índices de poluição e os riscos à saúde estão aumentando mais rapidamente do que o crescimento populacional.

Destaques



3.356 mortes
devidas à poluição do ar
por $PM_{2.5}$ nas 20 cidades
analisadas



15,6 milhões
de hectares de terras
queimadas no bioma
amazônico em 2024



20-38%
de aumento de nas
internações hospitalares
durante a temporada de
queimadas



Mais de 40%
da participação das
emissões de NO_x
provenientes do transporte
em 17 cidades amazônicas

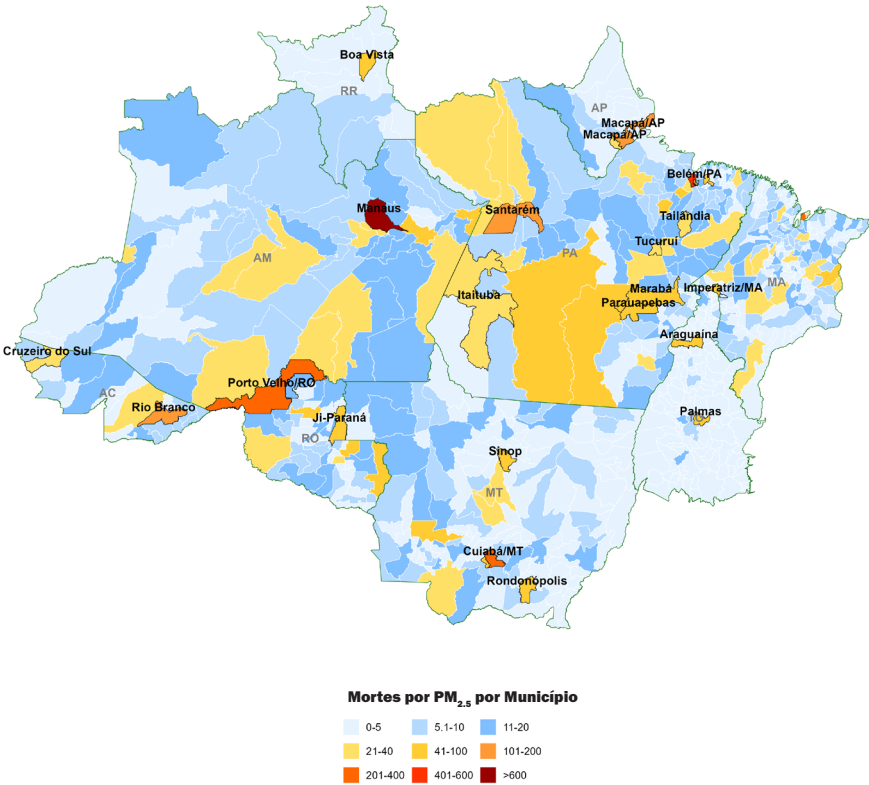
no México (690 mortes atribuíveis ao $PM_{2,5}$). Manaus lidera com 944 mortes anuais, refletindo tanto sua grande população (2,3 milhões) quanto os graves níveis anuais de poluição ($33,3 \mu g/m^3$). Belém vem em seguida, com 722 mortes por ano, enquanto Porto Velho, apesar de ser uma cidade menor, registra 237 mortes devido às concentrações anuais particularmente altas de poluição ($38,3 \mu g/m^3$). Outras áreas urbanas onde a mortalidade representa uma proporção substancial do total do estado são Boa Vista (65% do total de Roraima), Rio Branco (50% do total do Acre) e Macapá (72% do total do Amapá) (Figura 3).

O aumento da população e da poluição do ar criaram tendências temporais preocupantes. De 2000 a 2023, Manaus registrou um aumento de 173% (346 para 944; população total: 2,3 milhões) nas mortes relacionadas à poluição do ar, enquanto Parauapebas registrou um aumento de 477% no mesmo período (13 para 75; população total em 2023: 330.832) (Figura 4). Esses aumentos acentuados superam em muito o crescimento populacional de cada cidade. As informações sobre o tamanho e o crescimento da população de cada cidade estão disponíveis na Tabela 3, Apêndice.

Impactos da morbidade na saúde:

Embora a mortalidade represente o desfecho mais grave, os impactos mais amplos na saúde se estendem à diminuição do nível de escolaridade, menor qualidade de vida devido à saúde precária e custos mais elevados com cuidados de saúde para milhares de residentes acometidos por doenças respiratórias e cardiovasculares que exigem hospitalização, câncer e complicações na gravidez. A literatura revisada por pares indica que a exposição ao $PM_{2,5}$ no Brasil contribui para o aumento das internações por doenças cardíacas, derrames e câncer.” 17, 18, 19 As crianças são particularmente vulneráveis, com evidências sugerindo que a exposição à poluição do ar no Brasil prejudica o desenvolvimento cognitivo e diminui as notas em testes educacionais.²⁰ Durante as temporadas de incêndios (normalmente de agosto a outubro), as concentrações de $PM_{2,5}$ podem exceder $100 \mu g/m^3$, resultando em resultados adversos no nascimento²¹, um aumento nas hospitalizações de 20 a 38%,^{22,23} fechamento forçado de escolas e migração de populações em busca de ar mais limpo.

INJUSTIÇA AMBIENTAL:



DESCOBERTA PRINCIPAL
3.356 mortes
nas 20 maiores cidades

O QUE ISTO SIGNIFICA
Estes centros urbanos perdem mais residentes anualmente para a poluição do ar do que São Paulo perde para acidentes de trânsito. Para comparação, isso excede o total de mortes por dengue em todo o Brasil na maioria dos anos.

Mortes no trânsito em São Paulo: Companhia de Engenharia de Tráfego (CET-SP). (2024). Acidentes de Trânsito com Vítimas Fatais.

Mortalidade por dengue no Brasil: Ministério da Saúde. (2024). Boletim Epidemiológico - Monitoramento dos casos de arboviroses.

FIGURE 3. $PM_{2,5}$ -MORTALIDADE RELACIONADA NA AMAZÔNIA BRASILEIRA. MORTES POR $PM_{2,5}$ POR MUNICÍPIO (2023).

IMPACTO DESIGUAL, ACESSO DESIGUAL

Nas cidades da Amazônia Legal, a poluição do ar reflete e agrava as desigualdades sociais e econômicas profundamente enraizadas, reforçando padrões de exposição desigual à poluição, e nossa análise confirma essas disparidades. O Índice de Pobreza Multidimensional (IPM), desenvolvido para a região amazônica em nível municipal, mede a privação das famílias em termos de saúde, educação e condições de vida. Ao contrário das medidas tradicionais de pobreza baseadas em renda, o IPM captura desvantagens complexas e interconectadas.

Nossa análise revela gritantes desigualdades ambientais e de saúde nesses 20 municípios amazônicos, havendo cidades com proporções mais altas de populações indígenas e empobrecidas que apresentam as maiores taxas de mortalidade relacionada ao $PM_{2,5}$ (Tabela 3, Apêndice). A interseção entre injustiça ambiental e vulnerabilidade socioeconômica é particularmente evidente em cidades como Boa Vista, que combina uma população indígena relativamente alta (3,1%), com poluição atmosférica significativa ($16,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e os níveis mais altos de pobreza (IPM = 0,155), resultando em 304 mortes por 100.000

habitantes. De forma semelhante, Santarém demonstra esse padrão com $27,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $PM_{2,5}$, 0,83% de população indígena e desigualdade substancial (IPM = 0,144), resultando em 392 mortes por 100.000 habitantes. Em contrapartida, cidades com pontuações de JE mais baixas, como Palmas, apresentam taxas de mortalidade substancialmente mais baixas (283 por 100.000, respectivamente).

Manaus é um exemplo convincente de como os impactos ambientais se concentram nos bairros mais desfavorecidos da cidade. As comunidades que não vivem em favelas têm um ar comparativamente mais limpo, com concentrações médias anuais de $PM_{2,5}$ de $32,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Enquanto isso, 54% dos residentes de Manaus que vivem em favelas²⁴ respiram ar contendo $37,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $PM_{2,5}$. Embora pareça uma diferença pequena, nossa análise mostra que esse valor é estatisticamente significativo em relação aos bairros não favelizados. Essa exposição mais elevada agrava os riscos apresentados pela pobreza e pelos cuidados de saúde limitados nesses bairros.

Alcançar a meta de qualidade do ar do Brasil

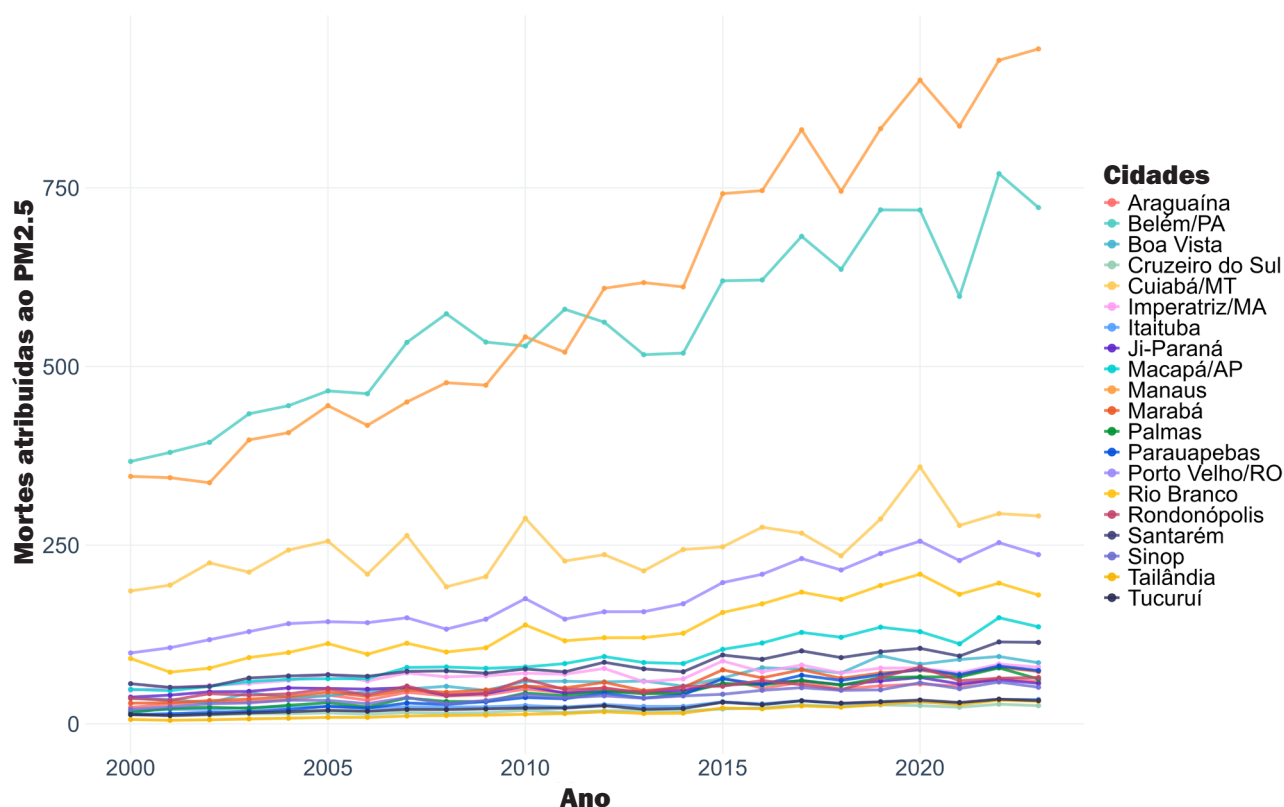


FIGURA4. TENDÊNCIAS NA MORTALIDADE ATRIBUÍVEL A $PM_{2,5}$ (N) ENTRE 2000 E 2023..

para 2025, de $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$, em Manaus, reduziria o risco de mortalidade por poluição do ar em aproximadamente 47% (evitando 19 das atuais 41 mortes por 100.000), enquanto o cumprimento da meta mais ambiciosa de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para 2044 reduziria o risco de mortalidade em 73% (evitando 30 mortes por 100.000 pessoas). Dada a grande população em assentamentos informais de Manaus (superior a 50%), uma parte substancial das mortes evitadas se concentraria nessas comunidades — normalmente localizadas perto de zonas industriais, centros de transporte e principais corredores de tráfego.

CUSTOS ECONÔMICOS: QUANTIFICANDO O CUSTO DO DESENVOLVIMENTO

Para estimar o custo econômico da poluição na região, aplicamos uma abordagem, específica para o Brasil, do Valor da Vida Estatística (VSL), usando a transferência de benefícios do VSL dos EUA de 2023. Nossa análise estima um custo econômico cumulativo da poluição do ar para a saúde de R\$ 2,185 bilhões (US\$ 437 bilhões) entre 2000 e 2023. O custo anual representa entre 3% e 18% do PIB local em diferentes cidades, com danos econômicos à saúde superiores a R\$ 500 bilhões cumulativamente, entre 2000 e 2023, em Manaus e Belém (R\$ 544 e R\$ 502 bilhões, respectivamente). O custo econômico acumulado desde 2000 (R\$ 2,18 trilhões) é equivalente a 19% de todo o PIB do Brasil em 2024 (R\$ 11,7 trilhões), representando um entrave ao desenvolvimento econômico da região.²⁵

Além dos custos diretos com mortalidade, evidências de todo o mundo mostram que a poluição do ar gera gastos substanciais com saúde devido ao aumento das internações hospitalares, visitas a pronto-socorros, custos com medicamentos e cuidados de longo prazo para doenças crônicas.^{27, 27, 28} Um estudo recente que analisou mais de 2 milhões de internações no Brasil descobriu que a exposição à poluição do ar relacionada a incêndios estava associada a um aumento de 23% nas internações respiratórias e de 21% nas internações circulatórias.²⁹ Essas estimativas são ainda maiores na Amazônia Legal brasileira, onde a poluição do ar relacionada a incêndios está associada a um aumento de 38% nas internações hospitalares respiratórias e de 27% nas circulatórias.³⁰ Estima-se que os incêndios florestais imponham um custo de até US\$ 14 milhões por ano em despesas com saúde no Brasil, principalmente devido ao aumento das hospitalizações por doenças respiratórias e cardiovasculares.³¹ Durante temporadas de incêndios severos, os aeroportos costumam fechar, o transporte fluvial pode ser interrompido e as atividades econômicas ao ar livre tornam-se perigosas, criando impactos econômicos em cascata nas cadeias de abastecimento, juntamente com danos diretos à infraestrutura energética (US\$ 130 milhões), pequenas propriedades agrícolas familiares (US\$ 75 milhões) e perda de biodiversidade. Outro estudo conclui que os incêndios no Acre em 2010 resultaram em uma perda econômica total de US\$ 243,36 ± 85,05 milhões, representando cerca de 9% do PIB do estado.³²



DESCOBERTA PRINCIPAL

5% do PIB de Manaus anualmente em danos à saúde

O QUE ISTO SIGNIFICA

Manaus gasta mais com custos de saúde relacionados à poluição do ar do que a cidade orça para serviços de educação e saúde combinados. Isso equivale à produção econômica de todo o setor de fabricação automotiva da cidade.

PIB de Manaus: IBGE. (2022). PIB dos Municípios 2021.

Orçamento municipal de Manaus: Prefeitura de Manaus. (2024). Lei Orçamentária Anual 2024.

Produção do setor automotivo: SUFRAMA. (2023). Indicadores de Desempenho do Polo Industrial de Manaus.

QUAL É A CAUSA? EMISSÕES SETORIAIS E FATORES SUBJACENTES

A poluição do ar nas cidades amazônicas representa uma convergência de diversos fatores, dentre os quais o transporte local de médio e de longo alcance e a transformação das emissões provenientes de múltiplas fontes interconectadas, refletindo os padrões de desenvolvimento, as pressões e o contexto geográfico únicos da região. Embora tenha havido poucas investigações sistemáticas sobre as fontes de emissão nas cidades da Amazônia Legal, os poucos estudos existentes indicam que as emissões provenientes de incêndios desempenham um papel dominante na poluição atmosférica sazonal em toda a região, enquanto as emissões antropogênicas urbanas, como as de usinas de energia e veículos, também contribuem para a formação de aerossóis.^{33,34,35}

Para compreender as fontes antropogênicas de emissões nas cidades, utilizamos uma combinação de fontes de dados globais e nacionais sobre emissões.³⁶ Manaus, Belém, Cuiabá, Porto Velho, Boa Vista e Rondonópolis contribuem com a maior parcela do total de emissões antropogênicas no ar. O setor de energia industrial contribuiu com mais de 40% das emissões primárias de partículas em 13 das 20 cidades avaliadas. Além disso, o setor de transportes foi responsável por mais de 40% das emissões de NO_x em 17 das 20 cidades (Figura 5). O transporte surge como um setor crítico devido à rápida motorização do transporte rodoviário e fluvial, dependente de combustíveis fósseis sem controle

adequado de emissões. Muitas cidades amazônicas carecem de programas de inspeção veicular, padrões de combustível limpo ou alternativas de transporte público, levando a emissões do tráfego de passageiros e de carga pesada devido ao crescimento populacional e às cadeias de abastecimento das indústrias agrícola, extrativa e manufatureira.

As emissões residenciais contribuíram com mais de 10% das emissões primárias de PM em 90% das cidades avaliadas e foram uma fonte dominante nas cidades de Tucuruí, Cruzeiro do Sul, Tailândia e Macapá, refletindo as desigualdades no acesso à energia dentro e entre as cidades, e o uso de combustíveis sólidos e diesel para atender às necessidades de cozinha, aquecimento e outras necessidades energéticas. Cidades menores, como Itaituba e Parauapebas, com atividades relacionadas à mineração, apresentam altas emissões do setor industrial (>50% de PM primário).

A geração de energia contribuiu significativamente para as emissões de NO_x em Manaus e Boa Vista.^{36,37,38} Em Manaus e na maioria das cidades amazônicas deste projeto, mais de 70 a 80% da eletricidade é fornecida pelo Sistema Interligado Nacional (SIN) do Brasil, principalmente por hidrelétricas. Usinas termelétricas a gás natural em configuração de ciclo simples complementam esse fornecimento, representando cerca de 10 a 20% da capacidade de geração local. Boa Vista (Roraima) permaneceu desconectada do SIN até 2025, com a maior parte da eletricidade sendo gerada localmente em sistemas isolados, principalmente usinas termelétricas a diesel.

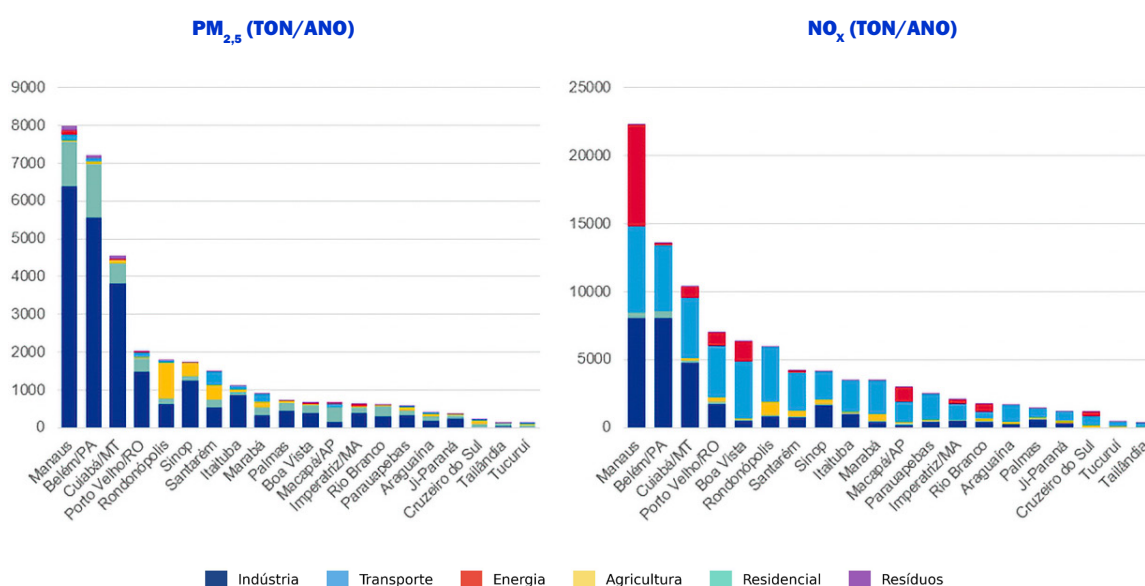


FIGURA 5. DISTRIBUIÇÃO DAS FONTES DE EMISSÃO POR CIDADE AMAZÔNICA.

Pequenos geradores a diesel em comunidades urbanas vulneráveis — embora com capacidade limitada — ainda podem causar significativa degradação localizada da qualidade do ar e riscos à saúde. O setor agrícola contribuiu para as emissões em cidades como Rondonópolis, Marabá, Sinop e Santarém, refletindo a expansão da agricultura industrial para a soja e a pecuária ao longo do arco de desmatamento e da região amazônica.³⁹

IMPACTOS CLIMÁTICOS NA AMAZÔNIA LEGAL

As cidades da Amazônia Legal já enfrentam os impactos das mudanças climáticas, evidenciados por secas recordes, incêndios florestais e calor extremo. Em 2024, estima-se que 30 milhões de hectares foram queimados em todo o Brasil. Desse total, 15,6 milhões de hectares estavam no bioma amazônico, o que significa que mais da metade (52%) de todas as áreas queimadas no país ocorreram somente na Amazônia.³⁷ Os períodos de seca na Amazônia resultaram no ressecamento dos cursos d'água, criando uma crise de saúde pública, isolando comunidades e interrompendo o acesso a serviços essenciais e básicos.^{38,39} Um estudo recente sobre ondas de calor e mortalidade em 32 cidades amazônicas no Brasil constatou que há um aumento de 15% e 27% na mortalidade por todas as causas e maior mortalidade cardiovascular, respectivamente, após ondas de calor de alta

intensidade.⁴⁰ Além disso, sabe-se que incêndios florestais e calor agravam os resultados de saúde relacionados à poluição do ar. Nos cenários atuais de emissões, as ondas de calor na região devem aumentar.⁴¹

As mudanças climáticas globais estão intensificando as secas, as ondas de calor e os incêndios florestais na Amazônia. Ao mesmo tempo, as emissões das cidades — incluindo carbono negro, metano, CO₂ e precursores do ozônio troposférico — pioram a qualidade do ar e contribuem para o forçamento climático. Muitos desses poluentes têm origem nas mesmas fontes, ligando a poluição do ar local aos impactos climáticos regionais e globais. Nossa análise de emissões estima que o transporte rodoviário contribui com 11 milhões de toneladas de CO₂ por ano, enquanto o setor industrial contribui com aproximadamente 3,3 milhões de toneladas por ano. Estima-se que as emissões de carbono negro dos setores industrial, residencial e de transporte contribuam com 2.986, 736 e 653 toneladas por ano, respectivamente, enquanto as emissões de metano são dominadas pelo setor de resíduos, emitindo cerca de 71,1 mil toneladas de metano por ano. As cidades da Amazônia Legal enfrentam desafios distintos ligados às suas atividades econômicas e sistemas energéticos, que se traduzem em perfis de emissões específicos. Manaus e Boa Vista apresentam altas emissões provenientes da geração de energia. Em Rondonópolis, Marabá, Sinop e Santarém, o cultivo de soja, a pecuária e as queimadas relacionadas ao desmatamento são os principais fatores das emissões agrícolas. Esses desafios refletem os caminhos de desenvolvimento únicos da região, ao mesmo tempo em que destacam oportunidades para intervenções direcionadas em setores-chave.



DESCOBERTA PRINCIPAL

Apenas 50% da eletricidade do Amazonas vêm da rede nacional

O QUE ISTO SIGNIFICA

O Amazonas é o estado mais isolado energeticamente do Brasil, com uma dependência de diesel 5 vezes maior do que a média nacional. Isso faz com que os custos de eletricidade sejam 3-4 vezes mais altos do que em São Paulo ou Rio de Janeiro.

Dados de conectividade da rede: Empresa de Pesquisa Energética (EPE). (2023). Isolated Systems Supply Planning 2024-2028..

Comparação da dependência de diesel: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). (2024). Sistema de Informações de Geração da ANEEL (SIGA).

Comparação de custos de eletricidade: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). (2024). Ranking das Tarifas.

3. BENEFÍCIOS DE UM AR MAIS LIMPO PARA A SAÚDE

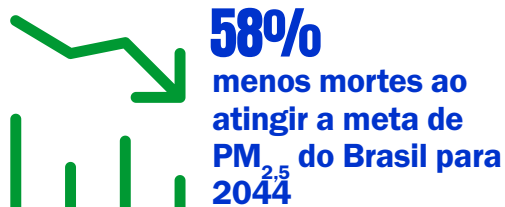
Quantificação do impacto positivo da redução da poluição sobre a taxa de mortalidade

Nossa análise mostra que atingir a meta do Brasil para 2044 de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de média anual de $\text{PM}_{2,5}$ em todas as cidades amazônicas poderia evitar aproximadamente **1.280 mortes por ano** (redução de 58% na taxa de mortalidade atual), com uma estimativa de economia de R\$ 15,1 bilhões em custos com saúde. A meta intermediária de $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para 2025, também geraria benefícios substanciais, evitando cerca de 680 mortes. Atingir a meta da OMS de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, em todas as cidades, poderia evitar 2.914 dessas mortes, representando uma redução de 86% na mortalidade. Os benefícios seriam particularmente pronunciados em grandes centros urbanos como Manaus, onde 896 (95%) das 945 mortes atuais poderiam ser evitadas, e Belém, onde 656 (91%) das 723 mortes poderiam ser evitadas.

PONTOS PRINCIPAIS

- O cumprimento dos novos padrões de qualidade do ar no Brasil poderia salvar mais de mil vidas anualmente.
- Um ar mais limpo reduziria drasticamente os custos com saúde.
- Investimentos em ar limpo criam mais empregos do que alternativas a combustíveis fósseis.
- Intervenções direcionadas podem oferecer benefícios rápidos para a saúde e o clima.
- Os maiores ganhos provavelmente seriam sentidos nas comunidades mais poluídas e desfavorecidas.

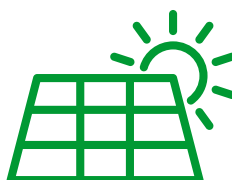
Destaques



1,5 - 3 vezes
mais empregos gerados para cada 1 milhão de dólares investidos em ar limpo em comparação com combustíveis fósseis



Retorno de 33x
estimado por dólar investido em infraestrutura para caminhada e ciclismo



Retorno de 4x
estimado por dólar investido em sistemas solares fotovoltaicos

Ganhos econômicos: menores custos com saúde, maior produtividade e competitividade

No entanto, os benefícios econômicos das melhorias na qualidade do ar vão muito além da redução dos custos com saúde, abrangendo ganhos de produtividade, melhorias na competitividade das empresas e maior desenvolvimento econômico regional. Os investimentos em ar limpo criariam oportunidades de emprego substanciais em vários setores. Estudos indicam que os investimentos em ar limpo geram de 1,5 a 3 vezes mais empregos para cada US\$ 1 milhão investido do que seus equivalentes em combustíveis fósseis⁴² e também podem ajudar a aumentar a segurança energética em comunidades de difícil acesso⁴³.

Dividendos sociais: redução das disparidades para as populações marginalizadas

As cidades mais preocupantes em matéria de justiça ambiental (Tabela 3, Apêndice) registrariam as melhorias mais substanciais: Porto Velho poderia evitar 30 mortes por 100.000 habitantes ao atingir a meta intermédia, enquanto Ji-Paraná

poderia evitar 31 mortes por 100.000 habitantes. Os maiores benefícios marginais seriam alcançados concentrando os esforços nas cidades com taxas elevadas de PM_{2,5} e alta pontuação no âmbito da justiça ambiental. Por exemplo, passar dos níveis atuais para 10 µg/m³, resultaria em 25 mortes evitadas por 100.000 habitantes em Itaituba.

INTERVENÇÕES COMPROVADAS E ACESSÍVEIS EM PROL DO AR LIMPO: CAMINHOS ECONOMICAMENTE VIÁVEIS PARA GANHOS EM TERMOS DE SAÚDE, CLIMA E EQUIDADE

Evidências de uma revisão de 36 intervenções relacionadas ao ar limpo e ao clima no Sul Global, incluindo contextos como o Brasil, confirmam sua relação custo-benefício e a amplitude dos benefícios que trazem para os setores de energia, transporte, indústria, agricultura e gestão de resíduos. Abordagens integradas proporcionam consistentemente não apenas ar mais limpo e redução das emissões de gases de efeito estufa, mas também melhorias na saúde, resiliência e eficiência econômica. A Figura 6 demonstra as relações custo-



FIGURA 6. RELAÇÕES CUSTO-BENEFÍCIO (RCB) DE 36 INTERVENÇÕES RELACIONADAS AO AR LIMPO E AO CLIMA ANALISADAS NO SUL GLOBAL.⁴⁶ MA RCB SUPERIOR A UM INDICA QUE OS BENEFÍCIOS SÃO MAIORES DO QUE OS CUSTOS.

benefício (RCB) das intervenções analisadas. Uma RCB representa o retorno econômico para cada dólar investido: uma RCB de 10x significa que, para cada US\$ 1 gasto, são gerados US\$ 10 em benefícios (por meio da redução de custos com saúde, aumento da produtividade etc.). Uma RCB superior a 1 indica que os benefícios excedem os custos.

As intervenções com os maiores ganhos combinados em termos de clima e qualidade do ar incluem: implantação de energia limpa por meio da transição para energia renovável⁴⁴ variável; eletrificação das frotas de transporte público⁴⁵; e substituição do cozimento tradicional a lenha e carvão vegetal por alternativas limpas.

Além dos benefícios diretos para a saúde e a produtividade, os investimentos em ar limpo também podem reforçar as iniciativas regionais em andamento na Amazônia que promovem reformas de governança e estratégias de desenvolvimento

sustentável, incluindo a bioeconomia. O AM Pro-Sustentabilidade, do Banco Mundial, e o Fundo de Bioeconomia da Amazônia, do BID/GCF, já estão mobilizando recursos para a proteção florestal, a reforma fiscal e cadeias de valor sustentáveis. A incorporação de indicadores de qualidade do ar e saúde nesses programas garantiria que eles não apenas conservassem as florestas e estimulassem novos mercados, mas também reduzissem a carga de doenças, diminuíssem os poluentes climáticos de curta duração e aumentassem a equidade entre as cidades amazônicas.

Os benefícios de um ar mais limpo são evidentes, mas para concretizá-los é necessário incorporar a qualidade do ar na governança, no desenvolvimento e nas finanças. A próxima seção descreve as condições necessárias para superar barreiras e garantir que esses benefícios gerem um impacto duradouro para as cidades amazônicas.



4. DESAFIOS E OPORTUNIDADES

Alcançar os ganhos em saúde, economia, clima e equidade destacados neste relatório só será possível se soluções comprovadas e de alto impacto forem ampliadas e implementadas sem demora. Isso requer:

- Ação decisiva de todos os níveis do governo — local, estadual e nacional.
- Forte coordenação entre instituições e setores.
- Envolvimento inclusivo com comunidades, sociedade civil e setor privado.
- Financiamento doméstico e internacional sustentável para preencher lacunas críticas de capacidade e financiamento.

PONTOS PRINCIPAIS

- Lacunas nas políticas, fiscalização fraca e financiamento limitado dificultam o progresso em relação ao ar limpo.
- O monitoramento da qualidade do ar é esparso e precisa de expansão para cobrir mais poluentes.
- Uma coordenação mais forte entre os governos federal, estadual e local é essencial.
- A mobilização de bancos de desenvolvimento, doadores e investidores privados pode destravar soluções em larga escala.
- O fechamento de lacunas institucionais e financeiras permitirá investimentos transformadores.

Destaques



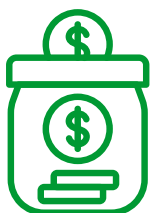
2024

ano em que a nova lei de qualidade do ar do Brasil e padrões mais rigorosos entraram em vigor



0

número de estações de monitoramento de qualidade do ar de referência na Amazônia brasileira



+ de US\$1 bilhão

tamanho dos fundos multilaterais de grande escala focados na sustentabilidade da região amazônica



Quase não

há agentes dedicados à qualidade do ar na maioria das prefeituras

No entanto, as cidades amazônicas — na linha de frente da exposição — enfrentam déficits persistentes na implementação de políticas, monitoramento, financiamento e na capacidade institucional que limitam sua resposta.

Preencher essas lacunas é mais do que remover barreiras — é uma oportunidade de alinhar governos, bancos de desenvolvimento, doadores, investidores privados e parceiros internacionais em torno de uma agenda comum. Esta seção destaca onde estão as barreiras e como seu enfrentamento pode desbloquear investimentos transformadores e impactos duradouros em toda a Amazônia.

Lacunas nas políticas

A Lei Nacional de Política da Qualidade do Ar (Lei nº 14.850/2024) e os Padrões Nacionais de Qualidade do Ar atualizados pela Resolução CONAMA 506/2024, ambos adotados em 2024, marcam um passo importante na modernização da estrutura regulatória do país. Juntas, elas estabelecem metas numéricas vinculativas para os principais poluentes, exigem o monitoramento padronizado por meio do novo programa MonitorAr e criam mecanismos de coordenação federal, estadual e municipal. As normas adotaram metas provisórias que avançam progressivamente em direção às Diretrizes de Qualidade do Ar da OMS.

Os desafios de capacidade institucional e coordenação continuam graves. Órgãos federais como o IBAMA e o Ministério do Meio Ambiente definem a política nacional, mas têm recursos limitados para a implementação no terreno. Os órgãos ambientais estaduais da Amazônia Legal muitas vezes operam com menos de 50 funcionários técnicos em vastos territórios, enquanto a maioria dos governos municipais não possui nem mesmo um único funcionário dedicado à qualidade do ar.

Insuficiência no Monitoramento da Qualidade do Ar

O monitoramento da qualidade do ar na Amazônia Legal é escasso e continua fortemente focado em $PM_{2,5}$, deixando lacunas significativas para outros poluentes com grandes impactos na saúde e no clima. Atualmente, não há estações de monitoramento de referência na Amazônia

brasileira; em vez disso, as medições dependem de redes de sensores operadas por universidades e alguns governos estaduais e locais. A medição sistemática do ozônio troposférico, NO_2 , SO_2 e compostos orgânicos voláteis é rara, limitando a capacidade de rastrear esses poluentes prejudiciais à saúde, alguns dos quais também contribuem para a formação secundária de PM. Apesar das emissões de carbono negro da Amazônia provenientes da queima de biomassa e de diesel, o monitoramento do carbono negro ocorre apenas em locais de pesquisa limitados. O metano e outros potentes agentes climáticos estão amplamente ausentes dos programas de monitoramento do ar.

Baixo incentivo econômico

As políticas fiscais, as práticas de aquisição e os processos de licenciamento raramente reconhecem ou recompensam melhorias voluntárias na qualidade do ar além do cumprimento mínimo. O acesso ao financiamento verde é escasso, de modo que a maioria dos bancos não possui capacidade para avaliar projetos de qualidade do ar ou fornecer orientação técnica para a adoção de tecnologia limpa. Embora o financiamento climático internacional esteja disponível, seus procedimentos de aplicação complexos e requisitos técnicos exigentes muitas vezes excedem a capacidade das empresas locais.

ALINHANDO INSTITUIÇÕES, INVESTIDORES E FINANCIAMENTO PARA AÇÕES EM PROL DO AR LIMPO

Realizar investimentos em ar limpo nas cidades amazônicas requer não apenas o fortalecimento das instituições federais, estaduais e municipais, mas também a mobilização de bancos multilaterais de desenvolvimento (BMDs), bancos nacionais de desenvolvimento, doadores e investidores privados para ir além dos diagnósticos e avançar para investimentos em escala e sustentáveis. Em particular, os BMDs podem desempenhar um papel catalisador, alinhando o financiamento com as prioridades nacionais e locais e construindo a capacidade institucional necessária para transformar recursos em impacto duradouro.

O ponto de entrada estratégico mais eficaz é a abordagem de co-benefícios: enquadrar o ar limpo como um investimento integrado em saúde, clima

e equidade, porque essa perspectiva libera uma vontade política mais ampla, atrai diversos fluxos de financiamento e garante que as intervenções proporcionem retornos múltiplos e mensuráveis, para além da qualidade do ar. Essa estrutura cria alinhamento entre as carteiras dos BMDs (incluindo resiliência urbana, saúde, transição energética e adaptação climática), bem como entre os próprios BMDs, garantindo que instituições como o Banco de Desenvolvimento da América Latina e do Caribe (CAF) e o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) aproveitem os investimentos uns dos outros e trabalhem em prol de co-benefícios compartilhados de ar limpo, ao mesmo tempo em que se alinham às prioridades dos doadores e aos mandatos ESG dos investidores privados. Ancorar os investimentos nas normas atualizadas de qualidade do ar do Brasil (CONAMA 506/2024) e no impulso da COP30 proporciona credibilidade e urgência.

Com base nessa fundação, o conjunto de oportunidades a seguir descreve como a ambição pode ser traduzida em ações concretas e escaláveis.

1. Alinhando instituições com fluxos de financiamento

O alinhamento entre instituições, investidores e fontes de financiamento é fundamental para ampliar as ações em prol do ar limpo nas cidades amazônicas.

- Aproveitar a experiência federal para liderar programas de infraestrutura e monitoramento em grande escala.
- Permitir que os governos estaduais ampliem as intervenções (por exemplo, eletrificação de frotas, sistemas de alerta precoce de incêndios) por meio de bancos estaduais de desenvolvimento como o BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social) e o BASA (Banco da Amazônia).
- Fortalecer os municípios com capacitação e financiamento de longo prazo para transporte, resíduos e planejamento urbano.
- Aproveitar a sociedade civil e a academia para expandir o monitoramento de baixo custo, a ciência cidadã e as campanhas de conscientização.
- Apoiar as PMEs (pequenas e médias empresas) para superar barreiras técnicas e financeiras na adoção de tecnologias limpas.

2. Fortalecendo a capacidade local

- Investimentos em pessoas e instituições possibilitam a concepção e a execução de projetos viáveis financeiramente relacionados ao ar limpo.
- Estabelecer unidades municipais de qualidade do ar, treinar funcionários e criar instalações para preparação de projetos.
- Integrar métricas de qualidade do ar no planejamento de mobilidade urbana, gestão de resíduos e saúde em níveis subnacionais.
- Expandir os sistemas de monitoramento e alerta precoce, visando comunidades vulneráveis, escolas e clínicas com sensores de baixo custo, dados de satélite e alertas públicos.

3. Inovando no financiamento e alavancando BMDs

Os bancos multilaterais de desenvolvimento e os bancos nacionais podem preencher a lacuna entre a capacidade institucional e o financiamento escalável.

- Integrar indicadores de ar limpo e saúde em programas de grande escala já existentes, como o Amazon Pro-Sustentabilidade, do Banco Mundial (US\$ 592 milhões), e o Fundo de Bioeconomia da Amazônia, do BID/GCF (US\$ 598 milhões), para que as reformas de governança e as cadeias de valor da bioeconomia não apenas mobilizem bilhões, mas também proporcionem maiores benefícios para a saúde, o clima e a equidade por meio de metas de ar limpo incorporadas em suas estruturas de projeto e monitoramento.
- Expandir instalações (por exemplo, o Programa Cidades Emergentes e Sustentáveis do BID, e o Ciudades con Futuro, da CAF) para levar os municípios amazônicos do planejamento à prontidão para investimentos, com capacidade técnica, institucional e financeira para atrair e gerenciar financiamentos.
- Projetar instrumentos combinados que unam financiamento concessionário, garantias e pagamentos baseados em resultados (garantias de crédito para PMEs, compartilhamento de risco de eletrificação de frotas).
- Vincular os desembolsos a resultados, como reduções de $PM_{2,5}$, conformidade com a CONAMA 506/2024) ou ampliação da cobertura de monitoramento.
- Apoiar títulos subnacionais, vinculados à redução da poluição e aos resultados de saúde.

4. Catalisando ações por meio do apoio de doadores

Doadores multilaterais, bilaterais e filantrópicos podem desbloquear intervenções em fase inicial e focadas em equidade:

- Financiar lacunas críticas na infraestrutura de monitoramento, fortalecimento institucional e intervenções-piloto, como corredores de transporte de baixa emissão, soluções de cozinha limpa, projetos-piloto de gestão de resíduos ou programas comunitários de prevenção de incêndios.
- Apoiar a inovação com equidade, como abrigos com ar limpo, plataformas cidadãs e gestão de incêndios promovida pela comunidade.
- Fortalecer o envolvimento com grupos urbanos de base e vulneráveis, reconhecendo as comunidades indígenas presentes nas cidades da Amazônia, para garantir que as intervenções sejam inclusivas e baseadas no contexto local.

5. Mobilização de capital privado para expansão

O capital privado pode trazer escala e inovação quando combinado com financiamento público e concessional:

- Atrair investidores de impacto e fundos ESG, canalizando capital para projetos de mobilidade limpa, energia renovável e logística verde que demonstrem benefícios claros e mensuráveis para a saúde e o clima.
- Envolver as empresas por meio de empréstimos vinculados à sustentabilidade e títulos de transição ligados à redução de emissões.
- Ampliar as PPPs (parcerias público-privadas) na gestão de resíduos, mobilidade e reformas industriais com garantias de BMDs ou de doadores.
- Apoiar startups para capital de risco e aceleradoras verdes para monitoramento, tecnologias de gestão de incêndios e soluções em distribuição de energia.
- Canalizar capital por meio de financiamento misto, incluindo o Fundo de Bioeconomia da Amazônia, para reduzir os riscos de investimentos em cadeias de valor sustentáveis, como agrossilvicultura, aquíicultura, indústrias de base biológica e ecoturismo.



5. MANAUS: ESTUDO DE CASO

Esta seção apresenta as conclusões de um estudo de caso aprofundado sobre Manaus, realizado por meio de pesquisa documental, análise espacial e envolvimento direto das partes interessadas, incluindo um workshop com autoridades governamentais, pesquisadores e representantes da sociedade civil no verão de 2025.

MANAUS: CENTRO ECONÔMICO COM DESAFIOS SIGNIFICATIVOS EM QUALIDADE DO AR

Manaus está na encruzilhada entre a riqueza natural da Amazônia (Figura 7) e as pressões do desenvolvimento urbano. Capital do estado do Amazonas, é a maior área metropolitana da região. Com 2,3 milhões de habitantes e um PIB de R\$ 103,2 bilhões em 2021, Manaus é o centro econômico e político da Amazônia. Historicamente moldada pelo *boom* da borracha (1879-1912) e pelo modelo

PONTOS PRINCIPAIS

- Manaus é uma potência econômica, mas também um ponto de alta poluição do ar
- Emissões industriais, veículos a diesel antigos e geração de energia local impulsionam altos níveis de poluição.
- Os custos de saúde decorrentes da poluição do ar equivalem a uma parte significativa do PIB da cidade.
- Apesar das políticas existentes, Manaus carece de um plano abrangente de gestão da qualidade do ar.
- A cidade tem oportunidades únicas para liderar em mobilidade limpa, energia renovável e inovação em bioeconomia.

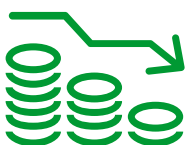
Destaques



Quase 7x
quantidade pela qual a
média anual de $PM_{2,5}$ de
Manaus excede a diretriz
da OMS



Aumento de 3x
no número de
veículos automotores
em Manaus
desde 2010



5% do PIB
em danos econômicos
relacionados à saúde
devido à poluição do ar
em Manaus



80 %
de contribuição da indústria
para as $PM_{2,5}$ primárias em
Manaus

industrial da Zona Franca (criada em 1967), Manaus enfrenta agora a deterioração da qualidade do ar, riscos climáticos crescentes e desigualdade estrutural. Ao mesmo tempo, novos compromissos financeiros e políticos, incluindo iniciativas de bioeconomia, estão surgindo para apoiar uma trajetória mais sustentável, inclusiva e com baixo índice de carbono para a Amazônia.

Poluição e impacto na saúde: entre os mais elevados do Brasil

O ar de Manaus está longe de ser limpo. As concentrações anuais de $PM_{2,5}$ atingem uma média de $33,3 \mu g/m^3$, quase sete vezes mais do que o recomendado pela OMS. Isso se traduz em 944 mortes prematuras a cada ano e R\$ 7 bilhões (US\$ 1,4 bilhão) em prejuízos econômicos relacionados à saúde, o equivalente a 5% do PIB da cidade. Desde 2000, a mortalidade relacionada à poluição do ar aumentou 173%, um claro sinal da rápida expansão urbana, agravada por temporadas de incêndios cada vez mais intensas e frequentes.

Fontes locais e pressões regionais

As fontes dessa poluição são complexas e interligadas. A Zona de Livre Comércio (ZFM) é o coração da economia industrial de Manaus e produz eletrônicos, automóveis, plásticos, produtos alimentícios e maquinário pesado. Essas atividades geram NO_x , compostos orgânicos voláteis e partículas provenientes dos processos de fabricação, geração de energia local e transporte da cadeia de suprimentos. Existem licenças ambientais, mas a fiscalização é limitada e muitas instalações ainda operam sem controles modernos de emissões. As necessidades

energéticas impulsionam grandes emissões de combustão: a indústria contribui com 36% do NO_x e 80% do $PM_{2,5}$ primário; o transporte é responsável por 29% do NO_x ; a geração de eletricidade por 33%; e a combustão residencial por 15% do $PM_{2,5}$ (Figura 8).

A frota de veículos motorizados da cidade triplicou desde 2010, ultrapassando agora os 950.000 veículos, um quarto dos quais são veículos de duas rodas,⁴⁷ com os transportes públicos dominados por autocarros a diesel envelhecidos e sem controle de emissões. O transporte fluvial liga as comunidades e transporta mercadorias de forma eficiente, mas quase exclusivamente a diesel e óleo combustível. Apenas metade da eletricidade do estado vem da rede nacional; o restante é gerado localmente em sistemas isolados que funcionam com óleo combustível, diesel e gás natural, complementados por inúmeros geradores de reserva na indústria. Estudos confirmam que as fontes estacionárias são os principais contribuintes para a poluição do ar da cidade.⁴⁸ Somam-se a essas pressões locais forças regionais que estão além do controle direto da cidade. Incêndios agrícolas e florestais sazonais podem elevar o $PM_{2,5}$ acima de $100 \mu g/m^3$.

Oportunidades para redução de emissões e uso de tecnologias limpas

Manaus possui vantagens estratégicas para promover o ar puro e o crescimento sustentável.

- A administração da Zona de Livre Comércio (SUFRAMA) pode incentivar os fabricantes a adotarem práticas de produção limpa, monitoramento de emissões e energia renovável.
- Apesar dos incentivos estaduais (a Política Estadual de Incentivo ao Uso de Fontes Renováveis de Energia e Eficiência Energética), o estado do



Amazonas está entre os que menos utilizam energia solar. Parcerias público-privadas na ZFM poderiam acelerar a implantação de energia solar fotovoltaica, reduzindo a dependência da geração a diesel.

- Como centro de produção de veículos de duas rodas do Brasil, Manaus poderia liderar a produção de motocicletas elétricas (e-moto), abastecendo os mercados interno e de exportação e, ao mesmo tempo, reduzindo as emissões urbanas. O programa MOVER (Programa Mobilidade Verde e Inovação) oferece alavancagem regulatória e financeira para essa mudança.
- Expandir as opções de mobilidade limpa por meio de ônibus elétricos e híbridos, corredores BRT aprimorados, redes de ciclovias e infraestrutura favorável aos pedestres para reduzir o congestionamento e a poluição do ar. A integração de soluções de frete urbano, como centros de consolidação de carga e sistemas de entrega de baixa emissão, também melhorará a eficiência e reduzirá os custos.
- A modernização de barcos de médio e grande porte com controle de poluição, sistemas híbridos ou solares-elétricos reduziria as emissões e, ao mesmo tempo, melhoraria a conectividade e a inclusão social.

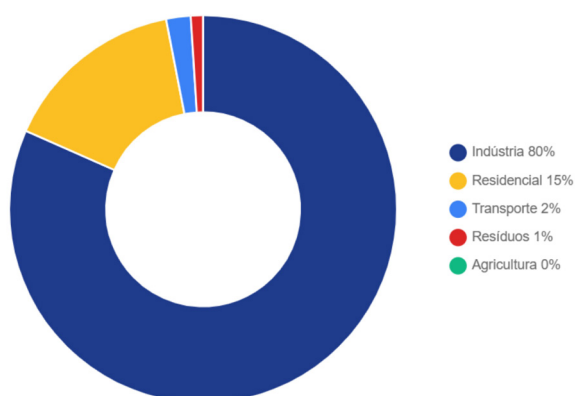
Novas oportunidades de bioeconomia ampliam ainda mais esse horizonte. Manaus está tomando medidas para se posicionar como um centro de cadeias de valor sustentáveis de base biológica, aproveitando sua base industrial, zona de incentivos fiscais, instituições de pesquisa (como o INPA e o Centro de Biotecnologia da Amazônia) e

proximidade com a biodiversidade amazônica. As oportunidades incluem a produção sustentável de açaí e outros produtos agroflorestais, aquicultura, ecoturismo e biofármacos. Essa direção está alinhada com esforços multilaterais, como o programa AM Pro-Sustentabilidade, do Banco Mundial, que visa explicitamente estimular empresas de bioeconomia e reformas de governança no Amazonas⁴⁹, e o Fundo de Bioeconomia da Amazônia, do GCF/BID, que mobiliza recursos para setores baseados na floresta e na natureza em países da Amazônia.⁵⁰ As novas iniciativas de bioeconomia do BID Lab na Amazônia reforçam ainda mais o potencial de inovação da região.⁵¹

O ar puro é uma dimensão ausente, mas fundamental, nos programas do MDB para a Amazônia. Integrar metas de ar puro nessas iniciativas pode criar sinergias, pois métodos de produção mais limpos, redução da queima e transporte com baixas emissões não apenas melhoram a qualidade do ar local, mas também fortalecem as credenciais de sustentabilidade e o valor de mercado desses produtos. Um ar mais saudável contribui para o bem-estar da comunidade e a produtividade da força de trabalho, enquanto a resiliência climática traz benefícios por meio da redução do desmatamento, do uso sustentável da terra e da implantação de energia renovável.

Por sua vez, uma bioeconomia próspera e bem projetada poderia gerar novas fontes de receita e empregos locais que ajudariam a financiar e sustentar intervenções para melhorar a qualidade do ar — criando um ciclo virtuoso no qual o crescimento econômico, a proteção ambiental e a saúde pública se reforçam mutuamente, aumentando o apelo de

Manaus PM_{2,5} emissions



Manaus NO_x emissions

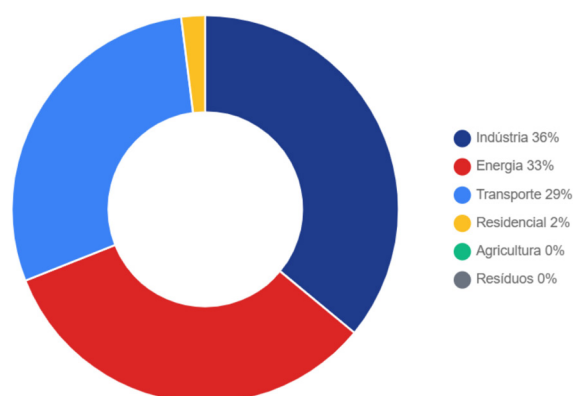


FIGURA 8. PRINCIPAIS FONTES DE EMISSÃO LOCAIS EM MANAUS: INDÚSTRIA, TRANSPORTE, ENERGIA, QUEIMA DE BIOMASSA.

Manaus para parceiros globais interessados tanto em conservação quanto em inovação. Iniciativas recentes do BID, como os Centros de Ecossistemas de Bioeconomia⁵³ e a Amazon Journey⁵³, também destacam o potencial de Manaus para servir como um centro regional onde inovação, ar puro e desenvolvimento sustentável convergem.

Atualmente, Manaus carece de estações de monitoramento da qualidade do ar de referência, dependendo, em vez disso, de redes limitadas de sensores operadas por universidades. Para colocar em prática as ambições políticas existentes, Manaus precisa de uma rede de monitoramento multi-poluentes de referência, complementada por uma rede de sensores calibrados de baixo custo, acoplada a um sistema integrado regional de monitoramento da qualidade do ar e de alerta precoce. Esse sistema rastreador a conformidade com os padrões nacionais, revelaria disparidades de exposição e mediria o progresso, fornecendo os dados necessários para direcionar e avaliar as intervenções.

Políticas e estrutura institucional

Como capital do estado e núcleo de agências federais, Manaus tem influência política para promover políticas mais robustas:

- Suas instituições de pesquisa incluem a Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), enquanto a SUFRAMA oferece um canal estratégico para envolver a indústria na adoção de práticas de produção mais limpas.
- A cidade também possui uma estrutura avançada de governança municipal. As principais instituições incluem a SEMMAS (Secretaria Municipal do Meio Ambiente e Sustentabilidade), responsável pela conservação ambiental, licenciamento e conformidade com as regulamentações ambientais⁵⁴; o IMPLURB

(Instituto Municipal de Planejamento Urbano), responsável pelas regulamentações de uso do solo e zoneamento⁵⁵; o IMMU (Instituto Municipal de Mobilidade Urbana) – responsável pela gestão do tráfego, infraestrutura de transporte e implementação de planos de mobilidade que possam apoiar alternativas de transporte mais limpas, bem como auxiliar entidades federais e estaduais no monitoramento das emissões veiculares⁵⁶; a SEMSA (Secretaria Municipal de Saúde), que lidera a política de saúde local e tem competência para monitorar e responder aos resultados de saúde relacionados à poluição por meio da vigilância ambiental.

- Manaus está entre as poucas cidades amazônicas com um marco legal ambiental explícito. Ela adotou um Código Ambiental Municipal⁵⁷, uma Política Climática Municipal⁵⁸ e um Plano de Mobilidade Urbana⁵⁹. Essas estruturas fornecem uma base para ação, mas permanecem desconectadas de uma abordagem sistemática de gestão da qualidade do ar.
- Apesar da presença de instituições e políticas relevantes, Manaus carece de um plano municipal específico para a qualidade do ar, inventário de emissões ou estratégia de monitoramento, e não há programas abrangentes de monitoramento do ar em nível local.⁶⁰

Conclusão

Manaus ilustra tanto os riscos do crescimento industrial-urbano descontrolado quanto as oportunidades de alinhar estratégias de bioeconomia com ações para a qualidade do ar. Com as políticas certas, infraestrutura de monitoramento e caminhos de investimento, a cidade pode passar de um ponto crítico de poluição a um modelo de desenvolvimento inclusivo e de baixo carbono na Amazônia.



DESCOBERTA PRINCIPAL Aumento de 55% em PM_{2,5} em Manaus desde 2000

O QUE ISTO SIGNIFICA

A poluição do ar está piorando 5 vezes mais rápido do que o crescimento populacional da cidade.

Dados de crescimento populacional: IBGE. (2022). Censo 2022: Tendências Históricas da População por Município. Razão poluição vs. crescimento populacional: 55% de aumento da poluição ÷ 11% de aumento da poluição per capita (contabilizando o crescimento populacional) ≈ 5x mais rápido

6. RUMO AO AR LIMPO NAS CIDADES AMAZÔNICAS

O caminho para um ar mais limpo nas cidades amazônicas deve se basear nas estruturas políticas em evolução do Brasil, incluindo a Política Nacional de Qualidade do Ar, a Resolução CONAMA 491/2018 atualizada com padrões progressivos de PM_{2,5}, até 2044, a Política Nacional de Mudanças Climáticas e o próximo Plano Nacional de Qualidade do Ar, com projeção de 20 anos. Essas estruturas estabelecem prazos de conformidade, prestação de contas e instrumentos como o Sistema Nacional de Informações sobre Qualidade do Ar e os Planos Estaduais e Municipais.

Os investimentos devem estar alinhados com os ciclos de financiamento e sincronizados com os orçamentos federal e estadual, o Fundo Amazônia e as operações dos BMDs, como o AM Pro-Sustentabilidade, do Banco Mundial, e o Fundo de Bioeconomia da Amazônia, do BID/GCF, para garantir que os projetos possam passar do planejamento ao desembolso em um prazo de 12 a 24 meses. Eles também devem estar conectados a compromissos internacionais, incluindo o NDC do Brasil no âmbito do Acordo de Paris, o Compromisso Global com o Metano e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, que criam pontos de entrada para cofinanciamento e reconhecimento das melhorias na qualidade do ar como conquistas climáticas e de saúde. A realização da COP30 no Brasil, em Belém, atrairá a atenção global para a sustentabilidade da Amazônia, criando um momento para mostrar medidas específicas que unem ar puro, clima, saúde, equidade e oportunidades econômicas.

Essa transformação requer uma coalizão na qual: os governos federal, estadual e municipal compartilhem a liderança; o setor privado se

PONTOS PRINCIPAIS

- Os arcabouços políticos em evolução do Brasil preparam o cenário para ações ambiciosas de ar limpo.
- Os investimentos devem alinhar-se com as principais fontes de financiamento e alavancar o financiamento climático internacional.
- A COP30 em Belém é uma chance de mostrar soluções integradas para saúde, clima e equidade.
- As intervenções prioritárias incluem controles industriais, transporte limpo, energia renovável e sistemas de monitoramento regionais.
- O ar mais limpo é a chave para desbloquear a saúde, a prosperidade e a resiliência climática para as cidades da Amazônia.

comprometa com práticas mais limpas; e a sociedade civil, incluindo a Coalizão Respira Amazônia e parceiros acadêmicos como a Fiocruz e o IMPA, garanta a supervisão e a inclusão.

Este relatório pode servir como um momento de grande visibilidade para:

- Construir um entendimento comum sobre os argumentos relacionados à saúde, ao clima, à equidade e à economia para investir em ar limpo nas cidades amazônicas, com base nas evidências apresentadas aqui, a fim de orientar intervenções prioritárias e informar oportunidades futuras de financiamento.
- Promover conversas sobre o avanço do ar limpo, da saúde, do clima e da equidade nas cidades amazônicas por meio de redes e coalizões existentes, com as seguintes ações:

- Aumentar a conscientização sobre os níveis, as fontes e os impactos da poluição do ar, bem como os benefícios de um ar mais limpo.
- Desenvolver intervenções prioritárias e compartilhar planos emergentes para informar oportunidades de financiamento.
- Apoiar os esforços estaduais e municipais em prol do ar limpo, alinhando-se às políticas e normas nacionais.
- Conectar-se com iniciativas regionais e envolver o setor privado para vincular o ar limpo, o clima e o desenvolvimento inclusivo.

INTERVENÇÕES PRIORITÁRIAS CONCRETAS

A lista preliminar a seguir de investimentos prioritários de alto impacto para as cidades amazônicas (Tabela 1) é resultado da análise científica deste projeto sobre poluição do ar, fontes de emissão e impactos, bem como de consultas com os principais *stakeholders*, incluindo um workshop virtual regional, discussões presenciais em Manaus, entrevistas e reuniões específicas.

Apresentada apenas para fins ilustrativos, esta tabela não prescreve ações específicas ou escalas de intervenção, mas ilustra a magnitude das oportunidades e o nível de ambição necessário. As faixas de custo são indicativas, com base em referências internacionais e ajustes conservadores para as condições específicas da Amazônia. A lista destaca intervenções nas principais fontes de emissão — controles industriais, transporte urbano e fluvial e acesso à energia — juntamente com medidas transversais, como um Sistema Regional de Monitoramento da Qualidade do Ar e Alerta Precoce na Região Amazônica. Coletivamente, essas propostas apontam para investimentos escalonáveis que podem proporcionar um ar mais limpo e maximizar os benefícios colaterais para a saúde, o clima, a equidade e a economia, ao mesmo tempo em que reforçam os caminhos do desenvolvimento sustentável na região.

Esses investimentos propostos têm como objetivo informar uma futura iniciativa regional com vários doadores e investidores, alinhada com os planos federais, estaduais e municipais de qualidade do ar e clima. Os investimentos em ar limpo devem priorizar setores que proporcionem os benefícios colaterais mais rápidos e visíveis para a saúde, o clima, a equidade e a economia, criando ao mesmo tempo

sinergias com áreas dinâmicas, como bioeconomia, turismo sustentável e agricultura regenerativa.

Incorporar, por exemplo, indicadores de qualidade do ar, saúde e equidade por meio de grandes investimentos, como o AM Pro-Sustentabilidade, do Banco Mundial (US\$ 592,5 milhões), e o Fundo de Bioeconomia da Amazônia, do BID/GCF (US\$ 598 milhões), multiplicaria os retornos, protegeria contra impactos indesejados e ajudaria a garantir que o desenvolvimento impulsionado por esses fatores emergentes seja totalmente compatível com as metas de ar limpo, saúde e clima para todos.

MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR E SISTEMA DE ALERTA PRECOCE NA REGIÃO AMAZÔNICA

Uma menção especial deve ser feita à oportunidade de investir no desenvolvimento de um sistema regional de monitoramento da qualidade do ar e alerta precoce para a Amazônia Legal, identificado por meio de análises técnicas e consultas a *stakeholders* como uma ação transversal prioritária para possibilitar esforços de purificação do ar em toda a região. O monitoramento eficaz é a espinha dorsal dos investimentos inteligentes: ele garante a prestação de contas, orienta a fiscalização e comprova os ganhos para a saúde e o clima. No contexto amazônico, é essencial um sistema regional integrado e coordenado, que vá além de iniciativas fragmentadas, cidade por cidade, em direção a uma plataforma compartilhada que reflita as realidades ecológicas e transfronteiriças da região. Quando integrado a sistemas de alerta precoce, ele também fornece alertas oportunos sobre incêndios, picos de poluição e riscos à saúde — protegendo as comunidades e possibilitando o financiamento baseado no desempenho.

Esse sistema também deve estar ancorado no desenvolvimento de inventários regionais de:

- **Emissões, modelos atmosféricos e ferramentas analíticas** capazes de identificar fontes e pontos críticos quase em tempo real, permitindo que as autoridades distingam entre emissões relacionadas a incêndios, transporte, indústria e queima de resíduos, melhorando tanto a elaboração quanto a fiscalização de políticas.
- **Integração com sistemas nacionais e regionais:** vincular-se a sistemas como MonitorAr, INPE

TABELA 1. INVESTIMENTOS PRELIMINARES EM AR LIMPO PARA CIDADES DA AMAZÔNIA:
AÇÕES PARA O AR LIMPO COM BENEFÍCIOS ADICIONAIS PARA SAÚDE, CLIMA, EQUIDADE E ECONOMIA

ÁREA PRIORITÁRIA	INTERVENÇÃO PROPOSTA	ESCALA E CUSTO	PARCEIRO POTENCIAL
Emissões Industriais	Instalar controles avançados (filtros, depuradores, SCR) e Sistemas de Monitoramento Contínuo de Emissões (CEMS) em fábricas prioritárias na Zona Franca de Manaus e nos centros industriais/mineradores do Pará.	~US\$ 50–70M (em fases)	SUFRAMA, agências ambientais estaduais, Banco Mundial/IFC, setor privado
Bioeconomia e Inovação	Lançar “Zonas de Bioeconomia Positiva e Ar Limpo” (sem queimadas, energia renovável, logística limpa para agrossilvicultura, açaí, aquicultura e produtos florestais) em duas regiões-piloto.	~US\$ 60–80M	Fundo Bioeconomia Amazônica do BID/GCF, Centro de Bionegócios, investidores privados
Transporte Urbano (terrestre)	Implantar 200 ônibus elétricos a bateria em Belém e Manaus, com depósitos e carregadores; preparar projetos de expansão para mais de 500 até 2027.	~US\$ 110–135M	CAF/BID, municipalidades
Transporte fluvial e portuário (navios de grande porte e carga)	Transição das frotas de passageiros e carga para propulsão de baixa e zero emissão (balsas elétricas-híbridas, pilotos de GNL/hidrogênio) e instalação de energia elétrica em terra nos principais portos (Manaus, Belém, Santarém, Santarém)	~US\$ 150–200M (primeira onda)	PAC Mobilidade, Banco Mundial, BID, CAF, autoridades portuárias, transporte marítimo privado
Transetorial: monitoramento e alerta precoce em toda a região	Estabelecer um Sistema Regional de Monitoramento e Alerta Precoce da Qualidade do Ar com estações regulatórias, sensores de baixo custo em locais de alta exposição e centros de QA/QC integrados ao MonitorAr, INPE Queimadas, MapBiomass Fogo, Fiocruz, SUS e órgãos estaduais.	~US\$ 12–15M + operação e manutenção (O&M)	MMA, Fiocruz, IMPA, universidades, filantropia
Transetorial: incêndios e uso dos solos	Expandir as brigadas comunitárias de combate a incêndios e os projetos-piloto do PES no Pará e no Amazonas, vinculados a alertas de qualidade do ar e fiscalização em nível municipal.	~US\$ 20–25M	Fundo Amazônia, GIZ, USAID, ICMBio, defesa civil estadual

SCR: Selective Catalytic Reduction; CEMS: Continuous Emissions Monitoring Systems; SUFRAMA: Superintendência da Zona Franca de Manaus (Manaus Free Trade Zone Superintendency); WB: World Bank; IFC: International Finance Corporation; IDB: Inter-American Development Bank; GCF: Green Climate Fund; CAF: Development Bank of Latin America; LNG: Liquefied Natural Gas; PAC: Programa de Aceleração do Crescimento (Growth Acceleration Program); BNDES: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (Brazilian Development Bank); ESCOs: Energy Service Companies; QA/QC: Quality Assurance/Quality Control; INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (National Institute for Space Research); SUS: Sistema Único de Saúde (Unified Health System); Fiocruz: Fundação Oswaldo Cruz (Oswaldo Cruz Foundation); IMPA: Instituto de Matemática Pura e Aplicada (Institute for Pure and Applied Mathematics); MMA: Ministério do Meio Ambiente (Ministry of the Environment); O&M: Operations and Maintenance; PES: Payment for Environmental Services; GIZ: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (German Corporation for International Cooperation); USAID: United States Agency for International Development; ICMBio: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (Chico Mendes Institute for Biodiversity Conservation); AQ: Air Quality

Queimadas⁶¹, MapBiomass Fogos⁶² e Vigiar⁶³, para que os alertas combinem dados sobre poluição do ar, incêndios, clima e saúde em uma plataforma unificada de alerta precoce.

- **Conexão institucional com instituições científicas e de saúde pública existentes:** aproveitar a expertise do IMPA, da Fiocruz, das universidades federais e estaduais e das agências ambientais estaduais para garantir credibilidade científica, relevância para a saúde e sustentabilidade operacional.
- **Estações (de referência) de monitoramento regulatórias:** Cada cidade de médio porte (100.000 a 500.000 habitantes) deve ter pelo menos uma estação regulatória; cidades maiores (Manaus, Belém e São Luís) devem ter uma rede de 3 a 5 estações regulatórias distribuída por tipos de locais considerando observância, focada em pontos críticos/fontes, exposição da população, contexto e pesquisa.
- **Principais poluentes e parâmetros a serem medidos:** partículas finas (PM_{2,5}), partículas inaláveis (PM₁₀), ozônio (O₃), dióxido de nitrogênio (NO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO₂), carbono negro (BC) e compostos orgânicos voláteis (COV), quando relevante. Os parâmetros meteorológicos (temperatura, umidade, velocidade/direção do vento, precipitação, radiação solar) também são essenciais para interpretar os padrões de poluição e modelar o transporte.
- **Sensores calibrados de baixo custo:** implantados em ambientes de alta exposição, como escolas, instalações de saúde, corredores de transporte, portos e áreas propensas a incêndios, para expandir a cobertura de maneira econômica e detectar pontos críticos locais em tempo real.
- **Centros regionais para garantia de qualidade e treinamento:** estabelecer centros compartilhados para QA/QC, treinamento, calibragem e gerenciamento de dados, reduzindo os encargos municipais e garantindo a comparabilidade regional, a eficiência e a sustentabilidade a longo prazo.

CUSTOS ESTIMADOS

As faixas de custo a seguir são derivadas de fontes de referência internacionais e dos valores atuais de mercado. A combinação de orçamentos federais e estaduais, bancos multilaterais de desenvolvimento, filantropia e contribuições do setor privado (por exemplo, responsabilidade social corporativa), por meio de financiamento misto, será essencial para sustentar o sistema e prepará-lo para mecanismos orientados por desempenho.

- Estações regulatórias (de referência):
 - Equipamento individual para poluentes críticos principais e meteorologia custa aproximadamente US\$ 240.000–270.000, incluindo analisadores para PM_{2,5}, PM₁₀, O₃, NO₂, SO₂, CO, sistemas de calibração, registrador de dados e torre meteorológica.
 - Com a instalação no local (energia, controle climático, cercamento), o custo completo instalado fica em média US\$ 260.000–300.000 por estação.
 - Entretanto, adotando configurações modulares, permitindo a montagem local de abrigos e componentes do sistema, e utilizando instrumentação seletiva, como analisadores multipoluentes ou híbridos focados em poluentes prioritários (ex.: PM_{2,5}, O₃ e NO₂), as estações regulatórias otimizadas podem custar entre US\$ 120.000 e US\$ 180.000. Essa faixa representa um limite inferior realista para instalações bem projetadas e adaptadas localmente em cidades da região amazônica.
 - Operação e manutenção anual por estação: aproximadamente US\$ 8.000–12.000, dependendo da logística, frequência de calibração e pessoal.
- Unidades de sensores de baixo custo:
 - US\$ 400–2.000 por unidade, dependendo do tipo de sensor, abrigo, conectividade e requisitos de calibração.
 - Operação e manutenção anual: cerca de US\$ 200–400 para recalibração, gerenciamento de dados e ciclos de substituição.

- Centros regionais de QA/QC:
 - US\$ 400.000–600.000 por centro, incluindo laboratórios de calibração, instalações de treinamento, servidores de dados e equipe.
- Investimento total estimado para uma rede regional integrada de 10 cidades:
 - Considerando ~25 estações de referência e ~250 sensores de baixo custo, o investimento agregado é de aproximadamente US\$ 10–14 milhões, além de US\$ 1–1,5 milhão/ano para operação e manutenção.

FUNDAMENTOS E SINERGIAS EXISTENTES

Várias iniciativas já fornecem bases sólidas para construir uma agenda integrada de ar limpo e saúde para as cidades amazônicas, conforme mostrado na Tabela 2. Em monitoramento e alerta precoce, o programa federal MonitorAr, a Fiocruz, o INPA, o IMPA e agências estaduais estão construindo uma base regional sólida, complementada pelo MapBiomass Fogo e pelo sistema Queimadas do INPE para detecção de incêndios. A Coalizão Respira Amazônia reforça esse ecossistema com mais de 180 sensores de baixo custo em toda a Amazônia Legal, gerando dados abertos e vinculando o monitoramento cidadão ao novo sistema de Vigilância da Qualidade do Ar e da Saúde, da Fiocruz. Paralelamente, a Fundação Amazônia Sustentável (FAS) está promovendo a eletrificação solar e soluções energéticas comunitárias que reduzem o uso de diesel e melhoram a saúde. Juntamente com esforços mais amplos em inovação no transporte, gestão de resíduos, indústria verde e grandes programas de financiamento multilateral, essas iniciativas mostram que os pilares técnico, social e financeiro já estão se alinhando para incorporar o ar puro e a saúde na trajetória de desenvolvimento da Amazônia.

UM APELO À AÇÃO

O futuro da Amazônia depende do empenho de suas cidades. Com a COP30 sendo sediada em Belém, o Brasil pode apresentar um pacote coordenado de investimentos em ar limpo, endossado por governos, financiado por bancos de desenvolvimento e fundos climáticos, e co-administrado por comunidades e empresas. Isso não

é apenas um imperativo ambiental, mas também uma oportunidade de aprimoramento em saúde, clima, equidade e economia de relevância global.

A promessa é clara:

- Milhares de vidas salvas a cada ano por meio da redução da exposição ao PM_{2,5} e a poluentes tóxicos.
- Bilhões em valor econômico liberados pela redução dos custos com saúde, aumento da produtividade do trabalho e viabilização de indústrias sustentáveis.
- Reduções rápidas nos poluentes climáticos, incluindo metano, carbono negro e outros SLCPs, acelerando o progresso em direção às metas climáticas globais e do NDC do Brasil.
- Justiça e dignidade restauradas para populações vulneráveis e marginalizadas que sofrem desproporcionalmente com a poluição.
- Para concretizar essa promessa, as cidades amazônicas devem agir em conjunto para:
- Priorizar investimentos de alto impacto e múltiplos benefícios que visem diretamente as principais fontes de poluição, desde o transporte e a geração de energia a partir de combustíveis fósseis até a queima de resíduos e incêndios ilegais.
- Coordenar os níveis federal, estadual e municipal, eliminando lacunas institucionais e tornando obrigatórios os Planos de Qualidade do Ar como parte do desenvolvimento sustentável.
- Promover o monitoramento e a transparência por meio da implantação de redes regionais, do fortalecimento dos inventários de emissões e da integração de dados terrestres e de satélite.
- Garantir o cofinanciamento dos orçamentos subnacionais e nacionais, complementado por parceiros internacionais, investidores e fundos climáticos, para apoiar o desenvolvimento urbano compacto e uma bioeconomia limpa.
- Alinhar os investimentos em ar limpo com a ação climática e a transformação econômica sustentável, garantindo que as ações de qualidade do ar proporcionem benefícios colaterais.

Um ar mais limpo é a ponte que une saúde, clima, equidade e prosperidade. ***Para as cidades amazônicas, o momento de investir e respirar livremente é agora.***

TABELA 2. INICIATIVAS ATUAIS EM ANDAMENTO PARA ALCANÇAR UM AR MAIS LIMPO NAS CIDADES AMAZÔNICAS.

TIPO	INICIATIVAS ATUAIS
Monitoramento e sistemas de alerta precoce	A Coalizão Respira Amazônia está ampliando o monitoramento da qualidade do ar na Amazônia Legal com mais de 180 sensores de baixo custo, fornecendo dados abertos para apoiar a ciência, as políticas públicas e a conscientização da comunidade sobre poluição e saúde.
	O programa federal MonitorAr, os projetos do IMPA (Instituto de Matemática Pura e Aplicada), a Fiocruz (Fundação Oswaldo Cruz) e várias universidades formam uma base para uma rede regional de monitoramento e alerta.
	O Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) contribui com infraestrutura e conhecimento científico, complementados por programas hidrometeorológicos.
	O MapBiomass Fogo e o sistema Queimadas do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) são ferramentas operacionais para o gerenciamento de incêndios, prontas para serem vinculadas ao monitoramento local e aos alertas de saúde.
	Uma nova Plataforma de Monitoramento da Qualidade do Ar e Vigilância da Saúde para a Amazônia, liderada pela Fiocruz com o apoio do Ministério do Meio Ambiente e Mudanças Climáticas (MMA), fornece uma âncora fundamental.
	Iniciativas estaduais e municipais, incluindo aquelas lideradas pelas SEMA (Secretarias Estaduais do Meio Ambiente), trazem capacidade local para o sistema.
Transição Energética	As mini-redes solares + armazenamento já estão substituindo o diesel em comunidades isoladas, melhorando a saúde, reduzindo as emissões e ampliando o acesso.
Inovação em Mobilidade e Transporte	ONGs e parceiros acadêmicos testaram barcos movidos a energia solar, demonstrando soluções limpas de mobilidade fluvial.
	O PAC Mobilidade, um programa federal, oferece oportunidades de financiamento para ampliar a eletrificação do transporte fluvial.
Gestão Urbana e de Resíduos	O PAC Mobilidade, um programa federal, oferece oportunidades de financiamento para ampliar a eletrificação do transporte fluvial.
Indústria	As iniciativas da indústria verde da SUFRAMA (Superintendência da Zona Franca de Manaus) podem servir como plataformas para introduzir controles de emissões industriais e modelos de produção mais limpos.
Finanças e investimento	Programas de grande escala, como o AM Pro-Sustentabilidade do Banco Mundial e o Fundo de Bioeconomia da Amazônia do BID/GCF, mobilizam juntos mais de US\$ 1,1 bilhão, proporcionando alavancagem para incorporar o ar puro e a saúde à história de crescimento da bioeconomia da Amazônia.



- 1 Legal Amazon: An administrative region established by Brazilian law in 1953 to promote regional planning and development. It covers nearly 60% of Brazil's territory across nine states (Acre, Amapá, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, and Tocantins), encompassing all the Brazilian Amazon biome and parts of the Cerrado and Pantanal.
- 2 Based on 2020 Worldpop data. <https://www.worldpop.org/>
- 3 Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). "Brazil has 1.7 million indigenous persons and more than half of them live in the Legal Amazon." IBGE News Agency, August 9, 2023. <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/en/agencia-news/2184-news-agency/news/37575-brazil-has-1-7-million-indigenous-persons-and-more-than-half-of-them-live-in-the-legal-amazon>
- 4 Southerland VA, Brauer M, Moheg A, Hammer MS, van Donkelaar A, Martin RV, et al. Global urban temporal trends in fine particulate matter (PM_{2.5}) and attributable health burdens: estimates from global datasets. *Lancet Planet Health*. 2022 Feb;6(2):e139–e146.
- 5 Hoinaski L, Will R, Ribeiro CB. Brazilian Atmospheric Inventories – BRAIN: a comprehensive database of air quality in Brazil. *Earth Syst Sci Data*. 2024 May 16;16(5):2385–2405
- 6 Shen S, Li C, Van Donkelaar A, Jacobs N, Wang C, Martin RV. Enhancing Global Estimation of Fine Particulate Matter Concentrations by Including Geophysical A Priori Information in Deep Learning. *ACS EST Air*. 2024 May 10;1(5):332–345.
- 7 Tatem AJ. WorldPop, open data for spatial demography. *Sci Data*. 2017 31;4:170004.
- 8 Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Government of Brazil, 2022 Population Census, Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). Website: <https://www.ibge.gov.br/en/statistics/social/labor/22836-2022-census-3.html?edicao=37268#:~:text=The%20whole%20set%20of%20information,the%20page%20of%20the%20survey>
- 9 Pesaresi M, Florczyk, Aneta, Schiavina, Marcello, Melchiorri, Michele, Maffeni, Luca. GHS settlement grid updated and refined REGIO model 2014 in application to GHS-BUILT R2018A and GHS-POP R2019A, multitemporal (1975–1990–2000–2015), R2019A. *Eur Comm Jt Res Cent JRC*. 2019
- 10 GBD 2021 Causes of Death Collaborators. Global burden of 288 causes of death and life expectancy decomposition in 204 countries and territories and 811 subnational locations, 1990–2021: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021. *Lancet Lond Engl*. 2024 May 18;403(10440):2100–2132.
- 11 Viscusi, W.K. and Masterman, C.J., 2017. Income elasticities and global values of a statistical life. *Journal of Benefit-Cost Analysis*, 8(2):226–250.
- 12 Rorato, A.C., Dal'Asta, A.P., Lana, R.M., Dos Santos, R.B., Escada, M.I.S., Vogt, C.M., Neves, T.C., Barbosa, M., Andreazzi, C.S., Dos Reis, I.C. and Fernandes, D.A., 2023. Trajetórias: a dataset of environmental, epidemiological, and economic indicators for the Brazilian Amazon. *Scientific Data*, 10(1), p.65. Zenodo DOI: 10.5281/zenodo.7098053
- 13 Hammer, M. S., van Donkelaar, A., Bindle, L., Sayer, A. M., Lee, J., Hsu, N. C., Levy, R., Sawyer, V., Garay, M., Kalashnikova, O. V., Kahn, R., Lyapustin, A., & Martin, R. (2023). Assessment of the impact of discontinuity in satellite instruments and retrievals on global PM_{2.5} estimates. *Remote Sensing of Environment*, 294, 113624. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113624>
- 14 Requia, W. J., et al. (2023). Short-term air pollution exposure and hospital admissions for cardiorespiratory diseases in Brazil: A nationwide time-series study between 2008 and 2018. *Environmental Research*, 217. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114794>
- 15 Yu, P. et al. (2021). The impacts of long-term exposure to PM_{2.5} on cancer hospitalizations in Brazil. *Environment International*, 154. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106671>
- 16 Moore, J. P., et al. (2024). Ambient air pollution and low birth weight in Brazil: A nationwide study of more than 10 million births between 2001 and 2018. *Chemosphere*, 366. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143469>
- 17 Carneiro, J., Cole, M. A. & Strobl, E. (2024). Foetal Exposure to Air Pollution and Students' Cognitive Performance: Evidence from Agricultural Fires in Brazil. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 86, 156–186. <https://doi.org/10.1111/obes.12579>
- 18 Brito, J., et al. (2014). Ground-based aerosol characterization during the South American Biomass Burning Analysis (SAMBBA) field experiment. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14, 12069–12083. <https://doi.org/10.5194/acp-14-12069-2014>
- 19 Cândido da Silva, A. M., et al. (2024). "Low birth weight at term and the presence of fine particulate matter and carbon monoxide in the Brazilian Amazon: a population-based retrospective cohort study." *BMC pregnancy and childbirth*, 14(309). <https://doi.org/10.1186/1471-2393-14-309>
- 20 Machado-Silva, F., et al. (2020). Drought and fires influence the respiratory diseases hospitalizations in the Amazon. *Ecological Indicators*, 109. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105817>
- 21 de Souza Tadano, Y., et al. (2024). Predicting health impacts of wildfire smoke in Amazonas basin, Brazil. *Chemosphere*, 367. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143688>
- 22 Rorato, A. C., et al. (2023). Trajetórias: a dataset of environmental, epidemiological, and economic indicators for the Brazilian Amazon. *Scientific Data*, 10(65). <https://doi.org/10.1038/s41597-023-01962-1>
- 23 IBGE. (2025, January 7). 2022 Census: 16.4 million persons in Brazil lived in Favelas and Urban Communities. IBGE News Agency. <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/en/agencia-news/2184-news-agency/news/41813-2022-census-16-4-million-persons-in-brazil-lived-in-favelas-and-urban-communities>
- 24 IBGE municipal GDP data by sector for 2021, available through Sistema de Contas Regionais do Brasil.
- 25 Pimpin, L., et al. (2018). Estimating the costs of air pollution to the National Health Service and social care: An assessment and forecast up to 2035. *PLoS medicine*, 15(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002602>
- 26 Barwick, P. J., et al. (2024). The healthcare cost of air pollution: evidence from the world's largest payment network. *Review of Economics and Statistics*, 1–52. https://doi.org/10.1162/rest_a_01430
- 27 Wei, Y., et al. (2019). Short term exposure to fine particulate matter and hospital admission risks and costs in the Medicare population: time stratified, case crossover study. *BMJ*, 367. <https://doi.org/10.1136/bmj.l6258>
- 28 Requia, W. J., et al. (2021). Health impacts of wildfire-related air pollution in Brazil: a nationwide study of more than 2 million hospital admissions between 2008 and 2018. *Nature communications*, 12(6555). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26822-7>
- 29 Requia, W. J., et al. (2021). Health impacts of wildfire-related air pollution in Brazil: a nationwide study of more than 2 million hospital admissions between 2008 and 2018. *Nature communications*, 12(6555). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26822-7>
- 30 Sobreira, E., et al. (2025). Wildfires and their toll on Brazil: Who's counting the cost? *Perspectives in Ecology and Conservation*, 23(3), 214–217. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2025.06.003>
- 31 Campanharo, W. A., et al. (2019). Translating fire impacts in Southwestern Amazonia into economic costs. *Remote Sensing*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/rs11070764>
- 32 de Oliveira Alves, N, et al. (2015). Biomass burning in the Amazon region: Aerosol source apportionment and associated health risk assessment. *Atmospheric Environment*, 120, 277–285. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.08.059>
- 33 Artaxo, P., et al. (2013). Atmospheric aerosols in Amazonia and land use change: from natural biogenic to biomass burning conditions. *Faraday discussions*, 165, 203–235. <https://doi.org/10.1039/C3FD00052D>

- 34 Shrivastava, M., et al. (2019). Urban pollution greatly enhances formation of natural aerosols over the Amazon rainforest. *Nature communications*, 10(1046). <https://doi.org/10.1038/s41467-019-08909-4>
- 35 EDGAR (Emissions Database for Global Atmospheric Research) provides global estimates of anthropogenic emissions for air pollutants and greenhouse gases by sector. FINN (Fire INventory from the National Center for Atmospheric Research – NCAR) offers global high-resolution estimates of pollutant emissions from open biomass burning. BRAVES (Brazilian Biomass Burning Emission Model) is a national dataset that estimates emissions from biomass burning across Brazil using satellite data and modeling.
- 36 World Bank. (2023). *Urban Competitiveness in Brazil's State of Amazonas: A Green Growth Agenda*. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099050423200532551/pdf/P1734570fba47a0530aa7800735273e7c03.pdf>
- 37 Ferreira, J., Giskele, R. & Nascimento, D. (2021). Logistics challenges of distribution of electric energy inside the Brazilian Amazon: The case of the state of Amazonas. *Brazilian Journal of Policy and Development*, 3(2), 73-91. <https://bio10publicacao.com.br/brjpd/article/download/350/192>
- 38 Empresa de Pesquisa Energética. (2023). *Isolated Systems - Supply Planning 2024 - 2028 - Cycle: 2023*. <https://www.epe.gov.br/sites-en/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublishingImages/Paginas/Forms/AllItems/Isolated%20Systems%20Supply%20Planning%20-%202023%20cycle.pdf>
- 39 Arc of Deforestation: A region along the southern and eastern edges of the Amazon rainforest, spanning parts of the states of Rondônia, Acre, Amazonas, Roraima, Pará, Amapá, Tocantins, Maranhão, and Mato Grosso. This area represents the agricultural frontier where forest conversion to cattle pasture and soybean cultivation is most intense, accounting for the majority of Amazon deforestation.
- 40 MapBiomass. (s.f.). *40 anos de fogo nos biomas brasileiros: coleção 4 do mapbiomas fogo (1985 A 2024)*. https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2025/06/Fact_Fogo_colecao4.pdf
- 41 Santos de Lima, L., et al. (2024). Severe droughts reduce river navigability and isolate communities in the Brazilian Amazon. *Communications Earth & Environment*, 5(370). <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01530-4>
- 42 UNICEF. (November 7, 2024). *Over 420,000 children affected by record-breaking drought in the Amazon region*. <https://www.unicef.org/press-releases/over-420000-children-affected-record-breaking-drought-amazon-region>
- 43 Silveira, I. H., et al. (2023). Heat waves and mortality in the Brazilian Amazon: Effect modification by heat wave characteristics, population subgroup, and cause of death. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 248. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2022.114109>
- 44 Ramarao, M. V. S., et al. (2024). Projected changes in heatwaves over Central and South America using high-resolution regional climate simulations. *Scientific reports*, 14(23145). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-73521-6>
- 45 Jaeger, J., et al. (2021). The Green Jobs Advantage: How Climate Friendly Investments are Better Job Creators. [Working Paper]. World Resources Institute. <https://doi.org/10.46830/wriwp.20.00142>
- 46 Suarez, W. (2025). *Renewables point the way to Mexico's energy security*. Ember. <https://ember-energy.org/app/uploads/2025/05/EN-Report-Renewables-Mexicos-energy-security.pdf>
- 47 Howard, D. B., et al. (2020). The energy-climate-health nexus in energy planning: A case study in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 132. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110016>
- 48 C40 Cities. (2019). *Benefits of Urban Climate Action: C40 Cities Technical Assistance Report 2019*. <https://www.c40.org/wp-content/uploads/2022/02/Rio-de-Janeiro-%E2%80%93-Electrification-of-the-Bus-Fleet-English.pdf>
- 49 The MonitorAr Program, managed by Brazil's Ministry of Environment (MMA), is the national air quality system that integrates and publishes real-time data from air monitoring stations across the country. <https://monitorar.mma.gov.br/termo>
- 50 Ministry of Transport, SENATRAN. (2025). *Estatísticas - Frota de Veículos - SENATRAN*. <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/estatisticas-frota-de-veiculos-senatran>
- 51 Abou Rafee, S.A., et al. (2017). Contributions of mobile, stationary and biogenic sources to air pollution in the Amazon rainforest: a numerical study with the WRF-Chem model. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 17, 7977-7995. <https://doi.org/10.5194/acp-17-7977-2017>
- 52 Law No. 5350, of December 22, 2020. <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=406837>
- 53 Ministry of Mines and Energy - EPE. (2025). *Brazilian Energy Balance 2025. Summary Report 2025. Reference year 2024*. https://www.epe.gov.br/sites-en/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-270/BEN_S%C3%ADntese_2025_EN.pdf
- 54 <https://www.gov.br/planalto/pt-br/acompanhe-o-planalto/noticias/2023/12/mover-novo-programa-amplia-acoes-para-mobilidade-verde-e-descarbonizacao>
- 55 <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2025/08/28/new-world-bank-operation-links-fiscal-sustainability-and-forest-conservation-in-amazonas>
- 56 <https://www.greenclimate.fund/project/fp173>
- 57 <https://www.greenclimate.fund/project/fp173>
- 58 <https://www.iadb.org/en/project/BR-G1015>
- 59 <https://www.iadb.org/es/proyecto/BR-T1622>
- 60 Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Mudança do Clima. [Website] <https://www.manaus.am.gov.br/semmas/>
- 61 Law No. 1474, of July 8, 2010. <http://leismunicipa.is/cgorh>
- 62 Decree No. 4555, of August 29, 2019. <http://leismunicipa.is/xrtja>
- 63 Decree No. 5,954, of August 2, 2024. <http://leismunicipa.is/1kogk>
- 64 Law No. 605, of July 24, 2001. <http://leismunicipa.is/hraeo>
- 65 Law No. 254, of December 7, 2010. <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=175842>
- 66 Law No. 2074, of December 29, 2015. <http://leismunicipa.is/upfqa>
- 67 Cartaxo, E., et al. (2018). Issuances of Automotive Vehicles and the Impacts on Air Quality in the Largest City in the Brazilian Amazon. *Sustainability*, 10(11). <https://doi.org/10.3390/su10114091>
- 68 <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/portal/>
- 69 **Why Such Large Variations? Industry** (0.0-106x BCR): The extreme variation reflects fundamentally different intervention types and contexts. The highest performer was the use of electrostatic precipitators (106x BCR), while the lowest performers (approaching 0x) involve costly pollution control retrofits in South Africa with limited health impact relative to expense. **Transport** (0.4-33x BCR): Active mobility infrastructure (33x BCR) delivers exceptional returns in dense urban areas where it reduces both traffic congestion and emissions exposure for large populations. Lower-performing interventions like some clean fuel programs (0.4x BCR) reflect high implementation costs relative to health benefits, often due to limited fleet turnover or weak enforcement mechanisms. **Clean Cooking** (0.7-6x BCR): Clean cookstoves (6x BCR) show strong returns where traditional biomass burning is prevalent and replacement fuels are affordable. Success depends on fuel price ratios, household income levels, cultural cooking practices, and ongoing support for maintenance and fuel supply chains.

TABELA 3. POPULAÇÃO DAS 20 CIDADES AMAZÔNICAS MAIS POPULOSAS ENTRE 2000 E 2023.

CIDADE	2000 POPULAÇÃO	2023 POPULAÇÃO	MUDANÇA POPULACIONAL	VARIAÇÃO PERCENTUAL
Belém/PA	1.921.114	2.535.185	614.071	32%
Manaus	1.405.051	2.311.842	906.791	64.5%
Cuiabá/MT	698.188	925.417	227.230	32.5%
Macapá/AP	363.650	686.655	323.005	88.8%
Porto Velho/RO	349.241	576.320	227.079	65%
Rio Branco	252.984	445.670	192.686	76.2%
Boa Vista	200.401	402.862	202.460	101%
Palmas	137.436	379.480	242.043	176.1%
Parauapebas	71.494	330.832	259.338	362.7%
Marabá	167.983	324.033	156.050	92.9%
Santarém	249.029	314.010	64.981	26.1%
Imperatriz/MA	242.490	278.493	36.002	14.8%
Rondonópolis	150.312	254.764	104.452	69.5%
Araguaína	113.076	200.036	86.959	76.9%
Sinop	74.842	170.912	96.070	128.4%
Tailândia	38.469	162.897	124.428	323.5%
Tucuruí	73.759	127.933	54.174	73.4%
Ji-Paraná	107.142	127.517	20.375	19%
Itaituba	95.392	100.507	5.115	5.4%
Cruzeiro do Sul	68.141	92.887	24.745	36.3%

TABELA 4. CONCENTRAÇÕES MÉDIAS ANUAIS DE PM2,5 PARA 20 CIDADES DA AMAZÔNIA ENTRE 2000 E 2023. CONCENTRAÇÕES MÉDIAS ANUAIS DERIVADAS DE CONCENTRAÇÕES EM GRADE OBTIDAS POR SATÉLITE, DE HAMMER E COLEGAS (2023).

CIDADE	2000 (ug/m3)	2023 (ug/m3)	MUDAR	VARIAÇÃO PERCENTUAL (%)
Porto Velho/RO	30.1	38.3	8.2	27%
Itaituba /PA	25.2	34.5	9.3	37%
Manaus /AM	21.5	33.3	11.8	55%
Rio Branco /AC	26.8	32.1	5.3	20%
Ji-Paraná /RO	29.9	31.5	1.5	5%
Santarém /PA	16.5	27.3	10.8	65%
Cruzeiro do Sul /AC	18.0	25.6	7.7	43%
Sinop /MT	27.5	24.1	-3.4	-12%
Tucuruí /PA	16.6	22.5	5.9	35%
Parauapebas /PA	19.7	22.2	2.6	13%
Marabá /PA	18.8	22.1	3.3	17%
Cuiabá/MT	21.7	20.1	-1.6	-7%
Tailândia /PA	15.2	19.1	3.9	26%
Imperatriz/MA	14.6	17.8	3.2	22%
Araguaína /TO	16.1	17.3	1.2	8%
Macapá/AP	13.7	17.0	3.3	24%
Belém/PA	13.8	16.7	2.9	21%
Boa Vista /RO	18.8	16.6	-2.2	-12%
Rondonópolis /MT	15.6	15.9	0.3	2%

TABELA 5. COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE PARTÍCULAS FINAS (PM_{2,5}) (2023), MORTES ATRIBUÍVEIS A PM_{2,5} POR 100.000 HABITANTES (2023), PERCENTUAL DA POPULAÇÃO INDÍGENA (2010) E ÍNDICE DE POBREZA MULTIDIMENSIONAL (IPM).

CIDADE	PM_{2.5} (ug/m3)	Taxa de mortalidade (por 100.000)	Percentagem (%) da população indígena	IPM
Santarém	27.29	393	0.83	0.144
Itaituba	34.45	3.578	0.78	0.086
Cruzeiro do Sul	25.64	340	1.10	0.089
Tucuruí	22.51	334	0.52	0.101
Boa Vista	16.58	304	3.10	0.155
Manaus	33.27	1.081	0.26	0.091
Parauapebas	22.24	503	0.74	0.034
Ji-Paraná	31.46	501	1.03	0.042
Macapá/AP	17.41	261	0.00	0.115
Cuiabá/MT	20.32	734	0.34	0.019
Belém/PA	17.40	675	0.14	0.048
Rio Branco	32.07	561	0.14	0.053
Porto Velho/RO	38.27	554	0.41	0.079
Sinop	24.08	464	0.23	0.007
Araguaína	17.31	416	0.16	0.042
Tailândia	19.06	414	0.07	0.063
Rondonópolis	15.90	344	0.41	0.037
Marabá	22.11	333	0.22	0.08
Imperatriz/MA	18.20	311	0.22	0.053
Palmas	13.07	283	0.18	0.018

PRODUÇÃO



**Environmental
Defense
Fund**



Instituto Ar



**Clean Air
Institute**

APOIO



**Breathe
Cities**