

Acelerando Melhorias da Qualidade do Ar nas Cidades



Acelerando Melhorias da Qualidade do Ar nas Cidades

Agradecimentos

Coautores e principais colaboradores

Joshua Apte, Universidade do Texas, EUA; Michael Brauer, Universidade da Colúmbia Britânica, Canadá; Sarath Guttikunda, UrbanEmissions.info, Índia; Carisse Hamlet, Vital Strategies, EUA; Christa Hasenkopf, OpenAQ, EUA; Daniel Kass, Vital Strategies, EUA; Thomas Matte, Vital Strategies, EUA; Sumi Mehta, Vital Strategies, EUA; Vivian C. Pun, Vital Strategies, Cingapura; Solomon Teffera, SolTeff Environmental Consulting, EUA; Christine Wiedinmyer, Universidade do Colorado em Boulder, EUA.

Revisores externos

Lu Fu, Clean Air Asia; Iyad Kheirbek, C40; Michal Krzyzanowski, University College London; Drijana Ir Radan, Instituto de Tecnologia Bandung; Pallavi Pant, Health Effects Institute; Jon Samet, Universidade do Colorado; Sara Terry, Agência de Proteção Ambiental dos EUA; Supat Wangwongwatana, Instituto Asiático de Tecnologia; Simon Ng, Business Environment Council; Bidya Banmali Pradhan, Centro Internacional para o Desenvolvimento Integrado das Montanhas; Premakumara Jagath Dickella Amaralalage, Instituto de Estratégias Ambientais Globais.

Os autores e colaboradores deste guia agradecem aos envolvidos e parceiros governamentais e não governamentais de Addis Ababa, na Etiópia e de Jacarta, na Indonésia, que forneceram opiniões e conhecimentos de valor inestimável durante as consultas realizadas em 2019. Durante essas interações, a estrutura de planejamento aqui apresentada foi utilizada para orientar discussões sobre a capacidade e o planejamento da gestão da qualidade do ar de cada cidade. As opiniões recebidas foram utilizadas para compor o conteúdo deste guia, considerando seus desafios e suas oportunidades. Além disso, nos beneficiamos das perspectivas de vários dos contribuintes e revisores externos, cujo aporte foi baseado em anos de experiência consultando parceiros governamentais e não governamentais sobre a avaliação e política relativa à poluição atmosférica em países de baixa e média renda.

Esta publicação foi realizada com apoio financeiro da Bloomberg Philanthropies e sua tradução para português com apoio financeiro do Instituto Clima e Sociedade.

Créditos de fotografia

Capa:
Shutterstock | Hung Chung Chih

Página 9:
Shutterstock | Patrick Tr

Página 14:
Shutterstock | Virojt Changyencham

Página 33:
Shutterstock | Snapclickart

Página 53:
Shutterstock | IM_photo

Página 61:
Shutterstock | Hung Chung Chih

Página 80:
Shutterstock | CL-Medien

Contracapa:
Shutterstock | Ollinka

Índice

Sumário Executivo	6	Disponibilidade, Acessibilidade e Uso de Dados	44
Acelerando Melhorias da Qualidade do Ar Urbano em Países de Baixa e Média Renda	10	4.2 Princípios básicos de dados abertos e uso de dados: Definindo dados abertos e acessíveis	45
1.2 A oportunidade: Soluções comprovadas e inovações podem acelerar melhorias	12	4.3 Criando e utilizando dados abertos e acessíveis: Objetivos e abordagens por fase	46
1.3 Público deste guia	14	4.4 Criando dados abertos: Barreiras e soluções	48
1.4 Visão geral deste guia	15	4.5 Construindo um ecossistema de dados avançados e abertos sobre a qualidade do ar	51
Monitoramento da Qualidade do Ar	18	Organização para a Ação	54
2.2 Princípios básicos do monitoramento	19	5.2 Construindo e mantendo compromisso governamental: Quatro metas políticas essenciais	55
2.3 Monitoramento da qualidade do ar: Objetivos e abordagens por fase	24	5.3 Organização para a ação: Estratégias e recursos	56
2.4 Mais sobre as abordagens de monitoramento: Convencionais e inovadoras	28	5.4 Desenvolvendo e atualizando planos de ação para melhorias da qualidade do ar nas cidades	59
2.5 Um sistema integrado que combina as abordagens convencionais e inovadoras	32	5.5 Conclusão: O papel crucial do governo na aceleração de melhorias da qualidade do ar	60
Avaliando Emissões e Fontes	34	Estudos de Caso	62
3.2 Princípios básicos da avaliação de emissões e fontes	35	Anexos	82
3.3 Avaliação de emissões e fontes: Objetivos e abordagens por fase	37	Referências	108
3.4 Mais sobre as abordagens de avaliação de emissões e fontes	39		
3.5 Combinando as abordagens de avaliação de fontes para melhorar os dados	43		

Baixe o relatório completo:

www.vitalstrategies.org/cleanairguide

Sumário Executivo

Soluções inovadoras para um problema letal

A poluição atmosférica continua sendo o risco ambiental à saúde mais mortal no mundo, causando quase 5 milhões de mortes a cada ano, principalmente devido à exposição a material particulado (PM_{2,5}, na sigla em inglês). O fardo da poluição atmosférica é maior e está crescendo cada vez mais em países com rápido desenvolvimento econômico e urbanização, juntamente com a proliferação de emissões por parte da indústria, da geração de energia elétrica e do transporte motorizado. Em países com regulamentação limitada ou inexistente em relação à qualidade do ar, isso causa aumentos acentuados na poluição nociva. O desafio da poluição atmosférica em muitos desses países é ainda agravado pela persistência de fontes de poluição pré-industriais, como a queima de combustíveis sólidos domésticos, resíduos de cultivos e florestas para desmatamento, bem como a queima de lixo a céu aberto. A crise global de poluição atmosférica está intimamente ligada ao rápido agravamento dos impactos das mudanças climáticas que continuarão a crescer na ausência de ações céleres e incisivas para reduzir as emissões de poluentes que pressionam o clima.

Para muitos governos municipais em diversos países de baixa e média renda, a complexidade e o custo de compreender e controlar a poluição atmosférica têm sido barreiras para implementar ou sustentar ações efetivas em prol do ar limpo. As limitações das políticas nacionais relacionadas à poluição atmosférica também geram uma carência de direcionamento. Uma nova abordagem na gestão da qualidade do ar que combina soluções convencionais com inovações em monitoramento, avaliação, uso de dados e organização pode acelerar as ações voltadas para à melhoria da qualidade do ar, especialmente em cidades com capacidade técnica muito limitada. Décadas de progresso em países de alta renda revelaram que ações governamentais podem reduzir a poluição atmosférica, mesmo com o crescimento das economias e populações. Associados a soluções inovadoras, os investimentos e as estratégias desenvolvidas em países ricos para promover a eficiência, combustíveis limpos, e tecnologias de controle de emissões para veículos, geração de eletricidade, edifícios e indústrias agora podem ser aproveitados de maneira econômica para a implantação em países de baixa e média renda.

Este documento – *Acelerando Melhorias da Qualidade do Ar nas Cidades: Guia de Ação e Inovação* – fornece uma estrutura completa para a compreensão e a implementação de modelos de inovação e parcerias que informam, avaliam e constroem um suporte continuado para medidas locais, regionais e nacionais de qualidade do ar.

Este guia, produzido pela equipe da Vital Strategies e por outros especialistas em gestão da qualidade do ar, é destinado principalmente a funcionários de governos, parceiros técnicos e outros grupos interessados localizados em cidades e áreas metropolitanas com capacidade limitada de gestão da qualidade do ar local e com níveis de poluentes do ar muito acima dos padrões de saúde e/ou em constante aumento. Ele também é relevante para públicos semelhantes em níveis estaduais/municipais e nacionais que buscam acelerar as ações visando a qualidade do ar. O guia descreve como se basear em sucessos anteriores e implantar inovações e modelos de parceria recentes para reduzir a complexidade e o custo de obtenção e uso de dados para informar, implementar, avaliar e construir um suporte para ações continuadas visando a melhoria da qualidade do ar.

Uma nova abordagem na gestão da qualidade do ar

Este guia descreve uma nova abordagem para acelerar a melhoria da qualidade do ar nas cidades dos países de baixa e média renda. Ele reconhece a poluição atmosférica como uma enorme crise de saúde pública com desafios únicos, mas solucionáveis, enfrentados por áreas urbanas em países de baixa e média renda com capacidade limitada de gestão da qualidade do ar.

Cada uma das quatro principais seções do guia (monitoramento da qualidade do ar; avaliação de emissões e fontes; disponibilidade, acessibilidade e uso de dados; e organização para a ação) tem como objetivo responder a perguntas sobre o papel fundamental de cada componente na gestão da qualidade do ar urbano e estabelecer uma abordagem pragmática e dividida em fases para lançar e construir ações visando a melhoria da qualidade do ar, com métodos e atividades adequadas à capacidade local.

- Nas três seções técnicas, a capacidade local é classificada em quatro fases:
 1. Limitada ou inexistente
 2. Básica – suficiente para dar suporte a ações iniciais
 3. Ampla – capaz de sustentar ações continuadas
 4. Avançada – além da capacidade de diversas cidades de países de alta renda
- Este guia fornece indicações visuais para destacar os conteúdos mais relevantes para uma cidade com base em sua capacidade atual de gerir a qualidade do ar, bem como seus planos de aumentá-la a curto prazo.

Inovações para promover ações visando melhorias da qualidade do ar: Estrutura geral



- Oito estudos de caso oferecem exemplos práticos de como cidades ao redor do mundo, em diversos estágios de capacidade técnica e comprometimento político com a qualidade do ar, realizaram ações para controlar fontes importantes ou desenvolver dados úteis.

Monitoramento da qualidade do ar

Este capítulo analisa os pontos fortes e as limitações de abordagens convencionais e inovadoras de monitoramento – incluindo sensoriamento remoto por satélite, monitoramento avançado da superfície e monitoramento hiperlocal – ao mesmo tempo em que alinha cada abordagem com suas fases apropriadas de capacidade de monitoramento.

Objetivos por fase da capacidade local:

Fase 1: Estabelecer a necessidade e planejar um monitoramento oficial, principalmente de PM_{2.5}

Fase 2: Estabelecer e manter um monitoramento oficial de PM_{2.5} e planejar melhorias no monitoramento

Fase 3: Monitorar a composição de PM_{2.5} e poluentes adicionais, ampliar a cobertura do monitoramento

Fase 4: Aprimorar a resolução espacial dentro da área urbana com um sistema integrado e avançado

Inovações na tecnologia de monitoramento, sensoriamento remoto e modelagem podem fornecer dados úteis de poluição atmosférica de forma mais rápida e a um custo mais baixo que as abordagens regulatórias convencionais de monitoramento. No entanto, com a explosão das novas abordagens, produtos e dados de monitoramento, há também o potencial de aumentar a complexidade e os custos,

gerar dúvidas ao público em geral e dificultar a construção de uma compreensão compartilhada por governantes e cidadãos sobre o problema da poluição atmosférica das cidades e como enfrentá-lo. Uma abordagem passo a passo para priorizar inovações visando reforçar o monitoramento da qualidade do ar pode ajudar a reduzir a complexidade e evitar dificuldades no monitoramento, combinando abordagens regulatórias convencionais de monitoramento com as inovações. A combinação de abordagens de monitoramento pode embasar um programa consistente de gestão da qualidade do ar, apoiar as necessidades da gestão local, regional e nacional da qualidade do ar e fornecer dados para pesquisa e informações públicas.

Avaliando emissões e fontes

Este capítulo fornece orientações para a aplicação de diferentes dados da avaliação de emissões e fontes, além de abordagens em fases adaptadas à capacidade de base de uma cidade. A compreensão aprofundada das emissões e das fontes que contribuem para a poluição atmosférica numa cidade é essencial para identificar medidas de controle adequadas para o contexto local.

Objetivos por fase da capacidade local:

Fase 1: Identificar, avaliar e usar dados e ferramentas disponíveis

Fase 2: Estabelecer um monitoramento oficial de emissões e um processo de avaliação de fontes, e desenvolver procedimentos para o uso de dados

Fase 3: Sustentar a coleta, a melhoria e o uso frequentes dos dados de emissões e fontes

Fase 4: Construir capacidade avançada de previsão, fontes e emissões em intervalos de tempo e espaço

A aplicação inovadora de abordagens baseadas em fontes e em receptores para caracterizar as principais fontes de poluição permite aos avaliadores identificar consistências e discrepâncias nos dados e fornece uma base sólida para intervenções estratégicas para a obtenção de ar limpo. À medida que a capacidade técnica e a disponibilidade de dados crescem, todas as cidades podem implementar inovações e refinar dados para embasar melhorias contínuas na qualidade do ar.

Disponibilidade, acessibilidade e uso de dados

Este capítulo descreve o papel dos dados abertos e acessíveis na construção de alicerce para ações que visam a melhoria da qualidade do ar, promovendo a sua utilização por parte de usuários técnicos e não técnicos e embasando a política de ar limpo. Uma abordagem em fases para a criação e aplicação de dados abertos e acessíveis também é explorada aqui.

Objetivos por fase da capacidade local:

Fase 1: Compromisso governamental em coletar e compartilhar dados oficiais sobre a qualidade do ar

Fase 2: Comunicação periódica, acesso ampliado e desenvolvimento de interoperabilidade dos dados relevantes da qualidade do ar

Fase 3: Expansão do acesso, da integração e comunicação dos dados de qualidade do ar

Fase 4: Desenvolvimento de um sistema de dados avançado e integrado sobre a qualidade do ar

Neste capítulo, são apresentadas soluções inovadoras para barreiras técnicas, sociais, políticas e financeiras comuns a um sistema de dados sobre a qualidade do ar acessível ao público, juntamente com exemplos de plataformas de compartilhamento de dados bem-sucedidas que as cidades podem usar como modelo. Com a construção de um ecossistema avançado e de livre acesso sobre a qualidade do ar, todas as cidades podem maximizar a utilização de dados confiáveis por usuários finais oficiais e não oficiais.

Organização para a ação

Este capítulo explora o papel e os requisitos da liderança executiva do governo na coordenação do desenvolvimento e da implementação de uma gestão eficaz da qualidade do ar. O cumprimento de quatro metas essenciais é fundamental para a construção e manutenção do compromisso do governo:

1. Identificar e promover a liderança política;
2. Obter e manter o compromisso político;
3. Avaliar a capacidade técnica dentro dos órgãos governamentais e desenvolver capacidade com parcerias; e
4. Construir e engajar o eleitorado público para uma ação contínua de melhoria da qualidade do ar.

Parcerias inovadoras entre entidades governamentais, especialistas técnicos, sociedade civil, setor privado e outros são fundamentais para acelerar ações em prol da melhoria da qualidade do ar em todas as cidades, especialmente aquelas em locais de baixa e média renda. Além disso, traduzir as ferramentas técnicas descritas neste guia para um progresso efetivo, rápido e contínuo requer liderança política e compromisso governamental de promoção do direito ao ar limpo, bem como organização, parcerias, planejamento e implementação efetivos e continuados.



Acelerando Melhorias da Qualidade do Ar Urbano em Países de Baixa e Média Renda

1.1 O problema: A poluição atmosférica é o risco ambiental à saúde mais mortal no mundo

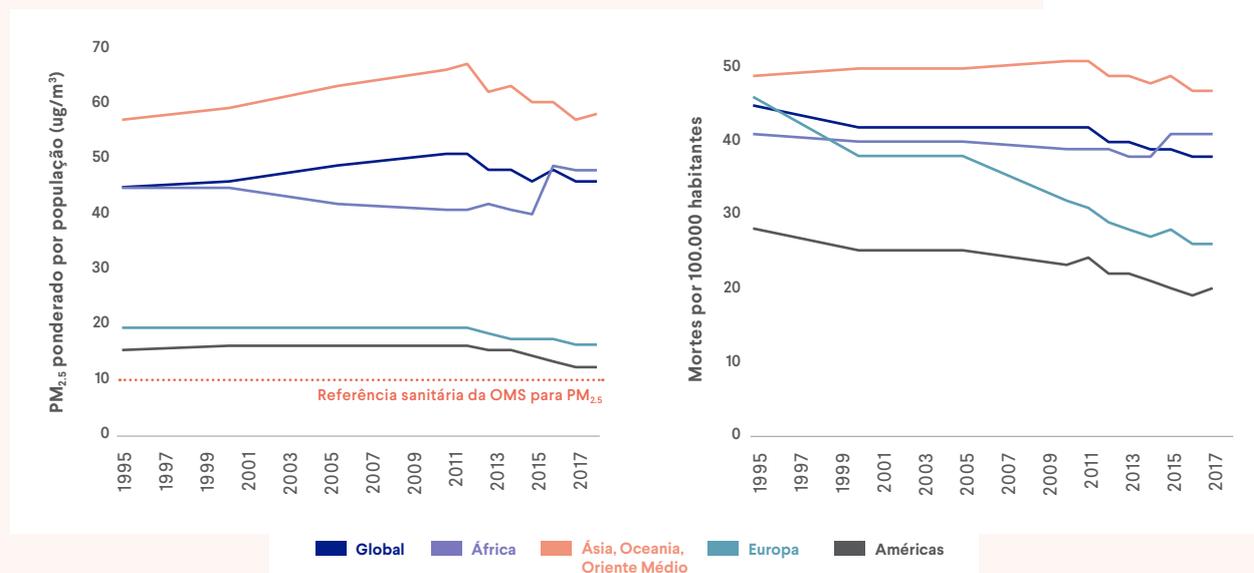
A poluição atmosférica é o quinto principal fator de risco para a mortalidade global, causando quase 5 milhões de mortes anuais, a maioria por exposição a material particulado (PM_{2,5}, na sigla em inglês)^a suspensas no ar externo e interno. (1) Mais de 90% da população mundial vive em locais onde a qualidade do ar não atende às diretrizes sanitárias (2).

Nas regiões mais poluídas da Ásia e África, as concentrações médias anuais de PM_{2,5} ao ar livre estão muito acima das normas sanitárias (3) e os níveis de poluição e mortes por poluição atmosférica estão aumentando ou se mantendo estáveis (Figura 1a e Figura 1b). Nos países de baixa e média renda, o rápido desenvolvimento econômico, a urbanização e a proliferação de emissões da indústria, da geração de energia elétrica e do transporte motorizado em países com regulamentação limitada ou inexistente quanto à qualidade do ar (4) têm causado aumentos acentuados em níveis de poluição nociva (Figura 1c). Durante o século XX, em muitos países de alta renda, essas mesmas fontes cresceram e acabaram sendo controladas (5, 6) por práticas modernas de gestão da qualidade do ar. O desafio da poluição atmosférica em muitos países de baixa e média renda é a persistência de fontes de poluição pré-industriais, como a queima ineficiente de resíduos agrícolas, de combustíveis sólidos usados em residências, de florestas para desmatamento e de lixo a céu aberto (7–10).

^a PM_{2,5} se refere a partículas aéreas com menos de 2,5 microns de tamanho, que penetram profundamente nos pulmões

Figuras 1a & 1b

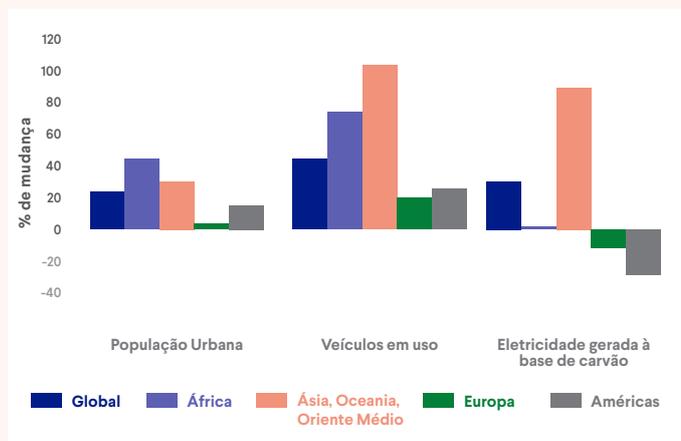
Média anual de PM_{2,5} no ambiente e índices de mortalidade, padronizados por idade, atribuídos às PM_{2,5} no ambiente, por região, 1995-2017



As concentrações de PM_{2,5} no ambiente são estimativas ponderadas por população, oriundas de modelos de sensoriamento remoto que combinam dados de estações de monitoramento de poluição atmosférica no nível do solo, observações de satélites e modelos de transporte global de produtos químicos. A mortalidade atribuída às PM_{2,5} é estimada a partir das concentrações de PM_{2,5} no ambiente, taxas de mortalidade por causas específicas e estimativas de relações entre exposição e mortalidade baseadas em estudos científicos globais. Fonte: State of Global Air, disponível em <https://www.stateofglobalair.org>

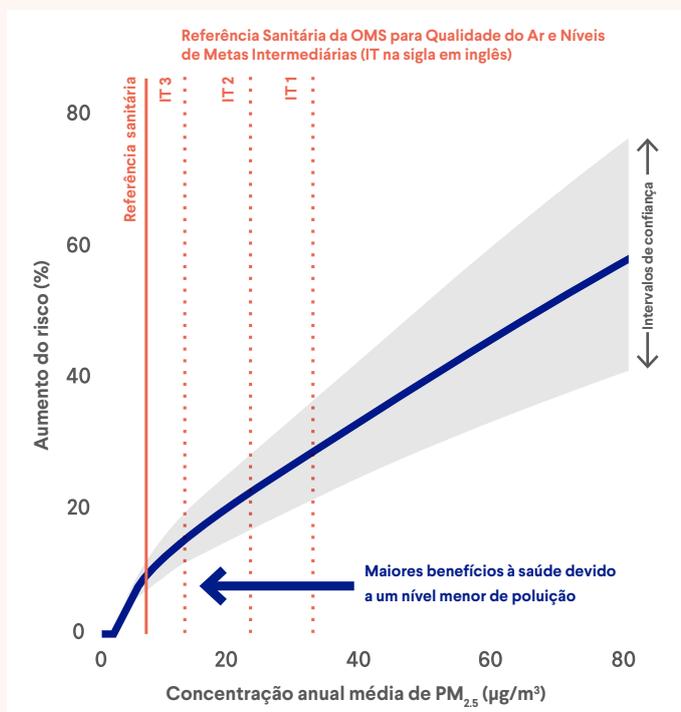


Figura 1c
Mudança percentual da população urbana, veículos em uso e geração de energia à base de carvão, 2005-2018



Fontes: 2018 Revision of World Urbanization Prospects, disponível em <https://population.un.org/wup/>; Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles (OICA) Vehicles in Use, disponível em <http://www.oica.net/category/vehicles-in-use/>; International Energy Agency (IEA) Statistics on Electricity Generation By Fuel, disponível em <https://www.iea.org/>.

Figura 1d
Aumento percentual do risco de mortalidade decorrente de doenças não transmissíveis ou infecções do trato respiratório inferior em relação à concentração média de PM_{2.5}



Função de risco baseada em dados de 41 estudos de coorte em 16 países, presumindo risco mínimo (aumento de 0% na concentração média anual de PM_{2.5} de 2,4 µg/m³, a menor concentração observada em todos os estudos), mapeado para idades entre 60 e 64 para ilustração. Para comparação, a média anual de 10 µg/m³ do nível de PM_{2.5} segundo as diretrizes sanitárias da Organização Mundial da Saúde e as metas intermediárias (IT, na sigla em inglês) de 15, 25 e 35 µg/m³. A forma da função de risco é semelhante para outras faixas etárias e implica uma carga global de mortalidade por exposição às PM_{2.5} no ambiente de 8,9 milhões, quase duas vezes maior do que o estimado para a Carga de Doença Global. Fonte: Adaptado de Burnett, 2018 (14).

As populações globais em processo de crescimento e envelhecimento e a crescente prevalência de doenças não transmissíveis estão aumentando a população com problemas de saúde, o que aumenta a suscetibilidade a doenças graves e morte em decorrência da poluição atmosférica, mesmo quando os níveis de poluição permanecem constantes ou apresentarem uma lenta melhora (8, 11, 12). O risco de morte por poluição atmosférica aumenta continuamente em níveis de PM_{2.5} acima das concentrações urbanas mais baixas observadas, mesmo em concentrações abaixo das Diretrizes de Qualidade do Ar da Organização Mundial da Saúde (OMS) (ou seja, 10 microgramas por metro cúbico (µg/m³))(13,14). Portanto, todas as melhorias significativas na qualidade do ar geram benefícios consideráveis para a saúde (Figura 1d). A carga global da saúde pública decorrente da poluição atmosférica tem sido extensivamente documentada em publicações e plataformas online (consulte o Anexo 1).

A crise global de poluição atmosférica está intimamente ligada à rápida aceleração das mudanças climáticas, que continuarão se não houver ações céleres e agressivas para reduzir as emissões de poluentes que desequilibram o clima (por exemplo, os gases de efeito estufa, como o CO₂) (15). Os poluentes climáticos e poluentes atmosféricos prejudiciais às populações locais têm muitas das mesmas fontes, soluções e estruturas regulatórias, e controlá-los requer os mesmos tipos de competência e capacidade. Além disso, dois poluentes climáticos de vida curta – carbono negro (um componente de PM_{2.5}) e metano – também contribuem diretamente para a má qualidade do ar local.

Ações urgentes são necessárias para combater essas ameaças interligadas, mas ações globais em prol da melhoria da qualidade do ar e do clima têm sido desiguais, lentas e não completamente embasadas no conhecimento do que de fato funciona. Ações mais coerentes, coordenadas e eficazes de mitigação das mudanças climáticas são possíveis com fortes conexões entre as políticas de melhoria da qualidade do ar (5, 16–19) e de mudanças climáticas, capacidade técnica e mobilização da sociedade civil.

b Poluentes que interferem no clima podem contribuir tanto para o aquecimento quanto para o resfriamento do clima da Terra (https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf). Em geral, medidas para reduzir a queima ineficiente de combustível reduzirão os poluentes atmosféricos prejudiciais às pessoas e os poluentes como CO₂ e carbono negro que contribuem para o aquecimento. Uma exceção relevante é o uso de lavadores para remover emissões de óxido de enxofre e partículas de sulfato, mas não CO₂ produzido a partir da queima de carvão.

1.2 A oportunidade: Soluções comprovadas e inovações podem acelerar melhorias

Décadas de progresso em países de alta renda revelaram que as ações governamentais podem reduzir a poluição atmosférica, mesmo com o crescimento das economias e populações (20–23). Esses sucessos rumo à limpeza do ar foram possibilitados por meio de diversas pesquisas científicas, tecnologias convencionais e inovadoras e soluções políticas eficazes que podem ser aplicadas pelos governos atuais para reverter o agravamento da poluição atmosférica e acelerar a melhoria global da qualidade do ar (Tabela 1e). Isso inclui conhecer os impactos na saúde causados pela poluição atmosférica, mecanismos biológicos e relações de exposição e resposta para os principais poluentes. Além disso, abordagens de monitoramento da poluição atmosférica, avaliação de exposição, estimativa de emissões e modelagem atmosférica foram desenvolvidas, refinadas, avaliadas e tiveram seu custo significativamente reduzido (24–26). Por fim, os investimentos dos países ricos para promover a eficiência, combustíveis mais limpos e tecnologia de controle de emissões para veículos, geração de eletricidade, edifícios e indústria, agora podem ser aproveitados de maneira econômica para sua implantação em países de baixa e média renda.

Tabela 1e
Soluções comprovadas para os principais setores

Principais fontes	Soluções dimensionáveis comprovadas	Exemplos de oportunidades e lacunas regionais	Exemplos de benefícios
Queima de combustível sólido doméstico para cozinha e aquecimento	Expandir o acesso, acessibilidade de preço e uso de combustíveis (por ex., GLP) e tecnologias (por ex., fogões por indução) domésticas limpas	O uso doméstico de combustível sólido ainda é comum em: <ul style="list-style-type: none"> África Subsaariana (> ¼ das residências) Sul, Sudeste e Leste da Ásia (> 30% das residências) 	<ul style="list-style-type: none"> China: Região Pequim-Tianjin-Hebei; plano de implementação expandida de combustíveis limpos até 2030 pode reduzir em 1/3 as mortes por poluição atmosférica interna e externa Índia: Acesso e uso de energia doméstica limpa (CHE, na sigla em inglês) tem o potencial de reduzir a média nacional de PM_{2,5} aos padrões da Índia
Indústria e energia elétrica	As convenções e regulamentos sobre o controle da poluição transfronteiriça, as reduções obrigatórias das emissões e o uso das melhores tecnologias de controle de emissões disponíveis, além de “cap-and-trade” e outros mecanismos de mercado. Fontes de energia limpa (por ex., gás natural, eólica, solar, hidráulica substituindo o carvão), uso mais eficiente da energia.	A indústria e geração de energia elétrica são as maiores fontes em: <ul style="list-style-type: none"> China: mais de 1/3 de PM_{2,5} no ambiente em 2013 Sudeste Asiático: centrais elétricas à base de carvão que estão em construção ou em planejamento podem causar um aumento de até 2,5 a 3 vezes na emissão de PM_{2,5}, SO₂ e NO_x até 2030 	<ul style="list-style-type: none"> Europa: Reduções de 92%, 65%, 40% e 31% de SO₂, sulfato particulado, NO₂ e PM_{2,5}, respectivamente Estados Unidos: Cumulativamente, SO₂ reduzido em mais de 85% em comparação aos níveis de 1995 e NO_x reduzido em mais de 80% em comparação aos níveis de 1990; concentração de sulfato particulado no ambiente reduzido em mais de 70% de 1989-91 a 2014-16.
Emissões por veículos	Emissões por veículos, economia de combustível e padrões de qualidade dos combustíveis	<ul style="list-style-type: none"> Europa: quase 4 em cada 5 mortes por poluição atmosférica relacionada ao trânsito foram devido ao excesso de emissões de NO_x de motores a diesel. Ásia e África: frota de veículos cresceu > 80% de 2005-15. Muitos países não possuem padrões de emissão e combustível reconhecidos mundialmente. 	<ul style="list-style-type: none"> Estados Unidos: Cumulativamente, 99% de redução nas emissões de PM, NO_x, CO e hidrocarbonetos comparado a veículos de 1970. Califórnia: 1993-2011 – 54% menos emissões de NO_x. Aumento no crescimento da função pulmonar de crianças e diminuição de sintomas.

As fontes mostradas não são exaustivas, mas ilustrativas de fontes que foram drasticamente reduzidas com abordagens comprovadas, regulatórias ou de mercado, tecnologias escaláveis ou mudanças de combustível. Fontes: Tendência de Poluição Atmosférica na Região do EMEP entre 1990 e 2012, disponível em <http://unece.org>. History of the Air District, disponível em <http://www.baaqmd.gov>. Cronologia das Principais Realizações em Transporte, Poluição Atmosférica e Mudanças Climáticas, disponível em <https://www.epa.gov/>.

c Bacias aéreas urbanas são áreas metropolitanas e outras áreas geográficas contíguas e altamente urbanizadas onde o clima, a topografia e as conexões econômicas e políticas dos principais setores de emissão contribuem para causas e possíveis soluções da má qualidade do ar

As abordagens formais da gestão da qualidade do ar (AQM, na sigla em inglês) aplicadas na América do Norte e na Europa na segunda metade do século XX se concentraram em estabelecer padrões nacionais de qualidade do ar. O avanço rumo ao cumprimento dessas normas exigiu ações alinhadas entre os níveis geográficos por parte de organizações estaduais, regionais, municipais, bacias aéreas urbanas^c e organizações das cidades, abordando tanto as fontes locais de poluição quanto aquelas provenientes de outras áreas. (18, 27, 28, 29, 30). Diversas estratégias de controle da poluição têm sido utilizadas, incluindo: padrões de desempenho para fontes como veículos; “cap-and-trade” e outros mecanismos de mercado; proibição dos combustíveis de construção mais poluentes; e, mais recentemente, zonas de baixa emissão para veículos (17, 18, 31-33). A capacidade técnica necessária para implementar os esforços formais nacionais de AQM utilizados em países de alta renda está além daquilo que está disponível atualmente em muitos países de baixa e média renda e suas cidades. Por causa disso, uma abordagem específica de AQM, que exige “a melhor tecnologia de controle disponível”, (BACT, na sigla em inglês) tem sido reconhecida como uma maneira pragmática para os países de baixa e média renda acelerarem seu progresso a curto prazo (34). Os padrões BACT para grandes fontes podem ser adotados rapidamente, enquanto se constrói a capacidade para um futuro sistema abrangente de gestão da qualidade do ar que depende de monitoramento intensivo, modelagem e desenvolvimento de estratégia para alcançar padrões de qualidade do ar.

Portanto, a melhoria rápida e contínua da qualidade do ar urbano envolve governos municipais, regionais e nacionais desempenhando papéis complementares, utilizando múltiplas estratégias e combinando ações viáveis e escaláveis de curto prazo com planos e melhoria de dados para o longo prazo. As cidades podem agir para controlar as emissões locais, moldando e contribuindo com as políticas regionais e nacionais de qualidade do ar.

1.3 Público deste guia

Este guia é destinado principalmente a funcionários de governos, parceiros técnicos e outros grupos interessados localizados em cidades e áreas metropolitanas com capacidade limitada de gestão da qualidade do ar local e com níveis de poluentes atmosféricos muito acima dos padrões sanitários e/ou em constante aumento. Ele também é relevante para públicos semelhantes em níveis estaduais/municipais e nacionais que buscam acelerar as ações visando a melhoria da qualidade do ar. O guia descreve como se basear em sucessos anteriores e implantar inovações e modelos de parceria recentes para reduzir a complexidade e o custo de obtenção e uso de dados para informar, implementar, avaliar e construir um alicerce para ações continuadas visando a melhoria da qualidade do ar.



1.4 Visão geral deste guia

Este guia aborda quatro aspectos de ações visando a melhoria da qualidade do ar: monitoramento da qualidade do ar; avaliação de emissões e fontes; acessibilidade e uso de dados; e organização governamental para a ação, e tem como objetivo responder perguntas práticas sobre cada tópico (Figura 1f).

Inovações no monitoramento da poluição atmosférica, incluindo sensores de baixo custo, vêm recebendo bastante atenção, mas o monitoramento é apenas um aspecto da gestão da qualidade do ar. Este guia também leva em consideração como dados e inovações disponíveis na avaliação das emissões e fontes de poluição atmosférica podem ser usados para embasar planos de ação em prol da melhoria da qualidade do ar, mesmo na ausência de redes concretas de monitoramento. O guia também aborda a importância da disponibilidade, acessibilidade e uso de dados para informar e avaliar medidas de controle e promover apoio público para ações focadas na melhoria da qualidade do ar. Finalmente, o guia aborda a necessidade de compromisso por parte dos níveis executivos do governo e da liderança para organizar e coordenar múltiplas agências, parceiros e grupos interessados e construir uma maior capacidade de ação.

Cada um dos capítulos técnicos, 2-4, estabelece uma abordagem pragmática e dividida em fases para o lançamento e construção de atividades visando a limpeza do ar e descreve abordagens e atividades adequadas à capacidade local. Essa capacidade local é classificada em quatro fases: 1) Limitada ou inexistente; 2) Básica, suficiente para dar suporte a ações iniciais; 3) Ampla, capaz de suportar ações continuadas; e 4) Avançada, além da capacidade de diversas cidades de países de alta renda. Dentro de uma única cidade, a capacidade pode ser mais desenvolvida em algumas áreas do que em outras.

Figura 1f
Inovações para promover ações visando melhorias da qualidade do ar: estrutura geral



Estão retratados quatro âmbitos de inovação considerados neste guia: monitoramento do ar ambiental (capítulo 2); avaliação de emissões e fontes (capítulo 3); disponibilidade, acessibilidade e uso dos dados (capítulo 4); e organização para a ação (capítulo 5). Usando inovações e abordagens convencionais nesses âmbitos, governos e parceiros em cidades e outras jurisdições urbanas podem obter e aplicar dados úteis, iniciar o controle das principais fontes locais de poluição a curto prazo, ao mesmo tempo em que melhoram os dados de monitoramento e fontes, aumentam a capacidade e impulsionam políticas adicionais locais, regionais e nacionais relacionadas a melhoria da qualidade do ar para melhorias continuadas da qualidade do ar.

1.4 Visão geral deste guia

Cada capítulo técnico

- Fornece uma breve visão geral do tópico;
- Descreve fases que classificam a capacidade atual;
- Resume conceitos básicos sobre o tópico; e
- Propõe objetivos e abordagens de implementação adequados para cada fase de capacidade.

Quando necessário, mais detalhes sobre uma abordagem são fornecidos no capítulo e nos anexos. Vários estudos de caso descrevendo ações realizadas em níveis urbanos regionais e municipais estão incluídos neste guia. Estudos de caso relevantes são referenciados dentro deste guia.

Este guia não pretende substituir a orientação disponível sobre a gestão abrangente da qualidade do ar, por exemplo (35). Em vez disso, foca em:

- Como combinar inovações recentes com abordagens convencionais de AQM
- Como agir em fases, começando com etapas adequadas para cidades altamente poluídas e com capacidade limitada de AQM
- Usar dados para informar ações locais em prol da melhoria da qualidade do ar a curto prazo enquanto planeja e constrói uma capacidade de progresso contínuo
- Distinguir dois papéis para as cidades: tomar medidas locais e engajar o apoio e a cooperação para ações regionais e nacionais
- Usar parcerias para aumentar e construir uma capacidade governamental de AQM

Leitores não técnicos deste guia podem achar útil consultar a Tabela 1g, “Fatos Essenciais sobre a Poluição Atmosférica Urbana”.

Tabela 1g

Fatos essenciais sobre a poluição atmosférica urbana

Apesar da complexidade da poluição atmosférica urbana, uma compreensão básica dos impactos à saúde, suas causas e soluções necessárias pode embasar o uso efetivo de inovações em prol de melhorias da qualidade do ar e evitar dificuldades.

Monitoramento do Ar

A poluição atmosférica prejudica mais que apenas os pulmões. Além do agravamento da asma e da DPOC, a poluição atmosférica causa doenças cardíacas, acidente vascular cerebral, hipertensão e cânceres de pulmão, laringe e nariz, além de baixo peso ao nascer.

A exposição crônica a baixos níveis de poluição prejudica a saúde. Estudos mostram maiores efeitos cumulativos à saúde resultantes de exposições de longo prazo do que aqueles resultantes de exposições de curto prazo. Quanto mais tempo uma pessoa ficar exposta à poluição atmosférica, maior seu risco de sofrer danos graves à saúde; melhorias contínuas na qualidade do ar levam à melhoria da saúde da população e maior expectativa de vida.

Alguns monitores bem posicionados podem identificar qualidade insalubre do ar urbano. Os níveis de PM_{2,5} muito acima dos padrões sanitários de base, detectados por um ou alguns monitores de alta qualidade bem posicionados ou por medições baseadas em satélite, demonstram se o ar está insalubre e se há necessidade de reduzir as emissões. Mais monitores podem ajudar a identificar pontos de maior concentração dentro de uma cidade. Os níveis de PM_{2,5} no ambiente tendem a subir e cair ao longo da área urbana com mudanças no clima e maior proximidade às fontes.

Ar limpo nem sempre significa ar limpo. Embora a poluição atmosférica em concentrações muito altas possa formar neblina e fumaça visíveis, concentrações de poluição atmosférica altas o suficiente para prejudicar a saúde podem estar presentes mesmo quando o céu está azul. Nove em cada dez pessoas em todo o mundo vivem em locais onde a qualidade do ar excede os limites das diretrizes sanitárias da Organização Mundial da Saúde (OMS).



<p>Emissões e Fontes</p>	<p>A soma da queima ineficiente de muitas pequenas fontes pode resultar numa grande parcela da poluição urbana. As fontes incluem combustíveis sólidos domésticos para cozinhar e aquecer, conjuntos de geradores a diesel e queima a céu aberto de lixo, resíduos agrícolas e queimadas para o desmatamento de terras. Os veículos automotores – especialmente os movidos a diesel, utilizando combustível de alto teor de enxofre ou sem controles modernos de emissões – podem ser fontes importantes, assim como instalações industriais como fornos de tijolos, instalações siderúrgicas e usinas elétricas, principalmente aquelas que queimam carvão.</p> <p>As poluições domésticas e externas estão relacionadas. As emissões decorrentes de combustíveis sólidos usados pelas famílias para cozinhar e aquecer o ambiente ou a água são uma das principais fontes de poluição interna e externa em muitas regiões. Partículas finas suspensas no ar livre também penetram no ambiente interno, se misturando com a poluição de fontes internas, como o cozimento doméstico e a fumaça do tabaco no ambiente. Fontes locais e regionais são igualmente importantes. A poluição atmosférica nas cidades vem tanto de fontes locais quanto de emissões regionais e carregadas por ventos fortes – às vezes por centenas de quilômetros.</p>
<p>Organização para a Ação</p>	<p>Ações em prol de melhorias da qualidade do ar são necessárias dentro e fora das cidades. As cidades devem reduzir as emissões dentro de sua jurisdição enquanto trabalham para avançar com as medidas que visam a melhoria da qualidade do ar em nível estadual, regional e nacional. Mover fontes de poluição para as periferias da cidade não cria ar limpo.</p> <p>Um ar mais limpo pode ser obtido numa economia crescente e de baixa renda. Décadas de investimento reduziram o custo de fontes de energia mais limpas, tecnologias de controle de emissões e eficiência energética. Os investimentos em ar limpo proporcionam benefícios econômicos – economia com atendimentos de saúde, vidas mais longas e produtivas e melhores resultados sociais e de desenvolvimento – com benefícios que excedem em muitos aspectos os outros custos.</p> <p>A gestão da qualidade do ar durante todo o ano é necessária para atingir melhorias contínuas da qualidade do ar. A resposta à crise frente aos episódios de poluição atmosférica (ou seja, poluição sazonal, poluição por incêndios florestais) e as notificações do Índice de Qualidade do Ar (AQI, na sigla em inglês) não são soluções que sustentam melhorias na qualidade do ar. Em vez disso, as cidades devem se concentrar na redução das emissões ainda nas fontes ao longo do ano para diminuir a exposição crônica a poluentes atmosféricos e seus efeitos prejudiciais à saúde.</p>
<p>Acesso aos Dados de Poluição Atmosférica</p>	<p>Dados abertos e acessíveis sobre a poluição atmosférica trazem diversos benefícios. Os funcionários de governos se beneficiam da disseminação mais ampla das informações ao público, aumentando sua confiança e reforçando seu apoio às políticas em prol da melhoria da qualidade do ar. Os dados abertos podem viabilizar o acesso a dados não oficiais confiáveis e dados para uso em pesquisas que, por sua vez, alimentam a modelagem ou avaliação de políticas relacionadas. O público ganha conhecimento dos riscos à saúde e das exposições por tempo e local.</p>

Tabela 1h

Questões práticas sobre a inovação para a ação pela qualidade do ar urbano

<p>Monitoramento da Qualidade do Ar</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Por que o monitoramento da qualidade do ar urbano é necessário para embasar as ações visando a melhoria da qualidade do ar? • Quais dados sobre os níveis de poluição atmosférica já estão disponíveis para preencher lacunas no monitoramento oficial? • Quais tipos de informações podem ser fornecidos por diferentes tipos de inovações de monitoramento? • Quais são as vantagens e desvantagens das diferentes abordagens de monitoramento? • Como abordagens e inovações de monitoramento podem ser divididas em fases para fornecer dados iniciais úteis e construir um sistema integrado de abordagens complementares?
<p>Caracterização de Fontes e Emissões</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Por que a caracterização das principais emissões e fontes de poluição atmosférica é essencial para o planejamento de ações visando a melhoria da qualidade do ar? • Quais dados sobre fontes e emissões que influenciam a qualidade do ar já estão disponíveis? • Quais informações podem ser fornecidas pelos diferentes métodos de caracterização de fontes? • Como abordagens inovadoras e de baixo custo podem ser usadas para melhorar os dados sobre as emissões e fontes locais de poluição atmosférica? • Como diferentes métodos de avaliação de fontes de poluição atmosférica podem ser usados em conjunto para avaliar e melhorar os dados? • Como os dados de emissões e fontes podem ajudar a identificar áreas locais de maior concentração, guiar a locação do monitor de poluição atmosférica e definir prioridades para o controle das fontes a curto prazo?
<p>Disponibilidade e Acessibilidade dos Dados</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Por que os dados de poluição atmosférica devem ser abertos e acessíveis? • O que define dados de poluição atmosférica abertos e acessíveis? • Quais são as barreiras para obter dados abertos e acessíveis e as estratégias para superá-las? • Como os dados confiáveis de poluição atmosférica coletados pelo governo e por instituições não governamentais podem ser integrados e organizados de modo a embasar programas em prol da melhoria da qualidade do ar? • Como os dados integrados de poluição no ar livre podem beneficiar o programa de melhoria da qualidade do ar de uma cidade, além de pesquisadores e outros usuários locais dos dados? • Como os dados de qualidade do ar podem ser efetivamente compartilhados com diferentes grupos interessados?
<p>Organização para a Ação</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Como uma cidade pode se organizar para desenvolver, implementar e sustentar ações em prol da melhoria da qualidade do ar? • Como as análises de políticas estratégicas podem ser usadas para embasar o processo de planejamento? • Quais são os elementos-chave dos planos de ação para melhoria da qualidade do ar bem-sucedida a curto e longo prazo?

Monitoramento da Qualidade do Ar

2.1 Introdução: Uso das inovações de maneira determinada e em fases

A infraestrutura e capacidade de monitoramento da qualidade do ar variam muito entre as cidades. Décadas de investimento em países de alta renda na Europa e na América do Norte estabeleceram um monitoramento contínuo e de alta qualidade da poluição em quase todas as cidades, enquanto milhares de cidades em países de baixa e média renda que estão em rápido desenvolvimento não possuem sequer um único monitor de PM_{2.5} (36). Inovações na tecnologia de monitoramento, sensoriamento remoto e modelagem podem fornecer dados úteis sobre a poluição atmosférica de forma mais rápida e a um custo menor do que as abordagens regulatórias convencionais de monitoramento. No entanto, com a explosão das novas abordagens, produtos e dados de monitoramento, há também o potencial para um aumento da complexidade e dos custos, gerando dúvidas ao público em geral e dificultando a construção de uma compreensão compartilhada entre os governos e cidadãos do problema da poluição atmosférica numa cidade e como enfrentá-lo.

Uma abordagem em fases para priorizar inovações visando reforçar o monitoramento da qualidade do ar pode ajudar a reduzir a complexidade e evitar dificuldades no monitoramento, combinando abordagens regulatórias convencionais de monitoramento com as inovações.

Cada cenário local é único e não há uma única abordagem igualmente adequada para todos no que se refere ao monitoramento da poluição atmosférica, mas uma abordagem em fases é recomendada para garantir que:

- O monitoramento seja planejado de modo a atender a metas, perguntas e necessidades de dados específicos do monitoramento.
- As abordagens de monitoramento escolhidas em cada fase sejam compatíveis com os recursos e a capacidade técnica para implantar e manter equipamentos e gerenciar, analisar e utilizar os dados que estão sendo coletados.
- Melhorias graduais ajudem a construir um sistema integrado de abordagens de monitoramento complementares.
- Os governos possam assumir compromissos realistas para fornecer financiamento, construir capacidade, manter o monitoramento da qualidade do ar, compartilhar dados sobre a qualidade do ar e tomar atitudes significativas e baseadas em dados para controlar a poluição atmosférica.

As fases de capacidade de monitoramento descritas neste capítulo são mostradas na tabela 2a abaixo. Para uma determinada fase, ícones numerados pelo capítulo apontam para o conteúdo do capítulo mais relevante.

Tabela 2a

Monitoramento da qualidade do ar – Fases de capacidade

<p>1</p> <p>Limitada ou inexistente</p> <p>Nenhum monitoramento de PM_{2.5} oficial de referência é utilizado</p>	<p>2</p> <p>Monitoramento básico para dar suporte a ações iniciais</p> <p>Pelo menos um monitor de PM_{2.5} oficial de referência é utilizado para a coleta contínua e utilização de dados (no mínimo, para informações públicas)</p>	<p>3</p> <p>Monitoramento amplo para ações continuadas</p> <p>Uma rede de vários monitores de PM_{2.5} de referência, pelo menos uma estação avançada de monitoramento coletando amostras de PM_{2.5} para análise da composição química e para mensurar poluentes gasosos. Dados foram utilizados no desenvolvimento de políticas.</p>	<p>4</p> <p>Sistema integrado avançado</p> <p>Monitoramento de Fase 3 mais monitoramento de alta resolução espacial periódico</p>
---	---	---	---

2.2

Princípios básicos do monitoramento

Leituras Relevantes para a Fase de Monitoramento



O que medir?

As partículas finas (PM_{2,5}) são o poluente mais importante a se monitorar e reduzir. Elas são um indicador de uma mistura de poluição^a que causa as mais sérias doenças e mortes ao redor do mundo, e causa uma carga especialmente elevada de doenças nas regiões e cidades mais poluídas (37). Além de serem uma causa comprovada de doenças graves e morte por doenças cardiovasculares e respiratórias, câncer e diabetes, que estão incluídos nas estimativas da carga global de doença, as PM_{2,5} também têm um impacto sobre os desfechos de nascimento e saúde das crianças, potencialmente prejudicando o bem-estar e a produtividade ao longo da vida (38, 39).

Outros poluentes importantes incluem o ozônio (O₃), um poluente regional secundário que atualmente causa cerca de um sexto das mortes em todo o mundo relativas à poluição de PM_{2,5} no ambiente (veja a Figura 2b). O dióxido de nitrogênio (NO₂) é um indicador útil da poluição atmosférica relacionada ao tráfego, sendo um fator de risco para o desenvolvimento da asma (40) e um poluente envolvido na produção de ozônio (41). O monitoramento do dióxido de enxofre (SO₂) é especialmente útil perto de fontes de queima de carvão e óleo com alto teor de enxofre, que também contribuem para a formação de PM_{2,5}.

Padrões da qualidade do ar

Para avaliar a gravidade de um problema local de poluição atmosférica, as concentrações de PM_{2,5} devem ser comparadas aos valores das diretrizes sanitárias da OMS, como um nível médio anual de PM_{2,5} de 10 microgramas por metro cúbico (µg/m³) ou um nível médio de 25 µg/m³ em 24 horas. Mesmo concentrações relativamente baixas de poluentes atmosféricos comuns são prejudiciais à saúde humana (42, 43). Com base nas evidências atuais, até mesmo a orientação da OMS para a poluição atmosférica ambiental (3) pondera proteção à saúde e viabilidade, em vez de estabelecer um nível “sem efeitos”. Para cidades altamente poluídas, alcançar metas provisórias de qualidade do ar, como as sugeridas pela OMS (44), pode mostrar um progresso em direção ao cumprimento de um padrão realmente sanitário (veja a Figura 1d).

Para a avaliação dos riscos à saúde pública, a exposição crônica, indicada por concentrações médias anuais ou sazonais, é mais útil do que a exposição a curto prazo, indicada por concentrações em 24 horas ou por hora (45). As tendências nas concentrações médias de PM_{2,5} sazonais ou anuais também são melhores indicadores de progresso contínuo do que as concentrações médias de curto prazo. Na maioria das cidades, episódios de poluição atmosférica de curto prazo não causam tanto dano cumulativo quanto concentrações cronicamente elevadas, ainda que menos extremas. No entanto, episódios graves de poluição atmosférica a curto prazo têm impactos graves, agudos e potencialmente duradouros na saúde e podem intensificar a atenção e preocupação do público e da mídia. Durante esses episódios, as assessorias de saúde pública (veja o Capítulo 4) podem aumentar a credibilidade do governo dando apoio às medidas contínuas de controle de emissões necessárias para proteger a saúde.

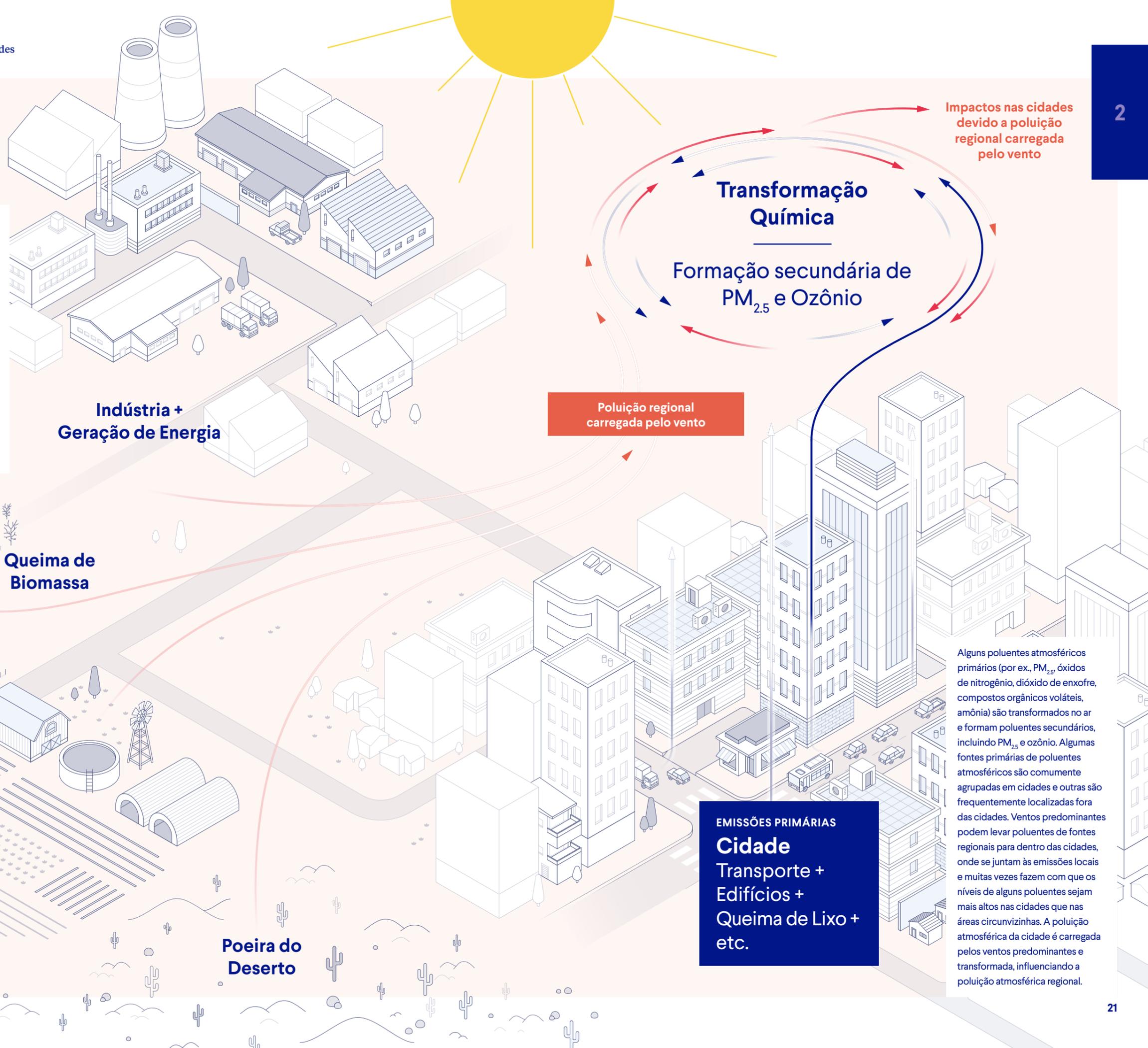
^a Foi demonstrado que o PM_{2,5} é prejudicial à saúde; além disso, sua concentração também é útil como um indicador de misturas de poluição atmosférica ambiental compostas de vários tipos de partículas e gases prejudiciais à saúde.

2.2 Variação da poluição atmosférica por local e tempo

Figura 2b

Transporte e transformação da poluição atmosférica

A Figura 2b é uma descrição simplificada de como as emissões de fontes locais, combinadas com as emissões de fontes regionais carregadas pelo vento e a transformação química em poluentes secundários afetam a qualidade do ar numa área urbana. Uma compreensão básica desses processos é essencial para criar metas de monitoramento relevantes para políticas e para que o público entenda os dados de poluição atmosférica.



**Indústria +
Geração de Energia**

**Queima de
Biomassa**

Agricultura

**Poeira do
Deserto**

**Poluição regional
carregada pelo vento**

**Transformação
Química**

**Formação secundária de
PM_{2.5} e Ozônio**

**Impactos nas cidades
devido a poluição
regional carregada
pelo vento**

EMISSÕES PRIMÁRIAS
Cidade
Transporte +
Edifícios +
Queima de Lixo +
etc.

Alguns poluentes atmosféricos primários (por ex., PM_{2.5}, óxidos de nitrogênio, dióxido de enxofre, compostos orgânicos voláteis, amônia) são transformados no ar e formam poluentes secundários, incluindo PM_{2.5} e ozônio. Algumas fontes primárias de poluentes atmosféricos são comumente agrupadas em cidades e outras são frequentemente localizadas fora das cidades. Ventos predominantes podem levar poluentes de fontes regionais para dentro das cidades, onde se juntam às emissões locais e muitas vezes fazem com que os níveis de alguns poluentes sejam mais altos nas cidades que nas áreas circunvizinhas. A poluição atmosférica da cidade é carregada pelos ventos predominantes e transformada, influenciando a poluição atmosférica regional.

2.2 Variação da poluição atmosférica por local e tempo

Figura 2c

Variação geográfica, fontes e escalas de poluição atmosférica para monitoramento e ações

As poluições atmosféricas regional e transportada contribuem para concentrações de fundo em áreas periurbanas. A maior densidade de emissões vindas de fontes como edifícios e veículos numa cidade muitas vezes produz uma média de poluição atmosférica maior do que a de áreas periurbanas ou rurais. Dentro de uma cidade, o agrupamento de fontes como veículos nas ruas e cruzamentos movimentados ou o aquecimento e cozimento em edifícios contribui para que se formem focos localizados com concentrações de poluentes primários como NO_2 e $\text{PM}_{2.5}$ acima da média.

Fonte: Adaptado de IEA, Airparif, disponível em <https://www.iea.org/>

Escala do Monitoramento da Poluição Atmosférica

Dentro da Cidade, Pontos de Maior Concentração

Bacias Aéreas Urbanas, Média e Tendências

Contexto Regional

Escala das Ações Necessárias para a Melhoria da Qualidade do Ar

Região do Bairro

Área Urbana/ Metropolitana

Regional, Estadual e Nacional

Fontes Agrupadas na Cidade

Cidade:
Transporte
+ Edifícios
+ Queima de Lixo
+ Construção
+ Etc

Poluição Regional Transportada



2.3

Monitoramento da qualidade do ar: Objetivos e abordagens por fase

Um programa para a qualidade do ar urbano deve escolher abordagens de monitoramento que se adequem a objetivos e questões relevantes para essa política e à fase da capacidade técnica desse programa.

1

Estabelecer as necessidades e planejar um monitoramento oficial, principalmente para PM_{2,5}.

Cidades sem monitoramento de base confiável e oficial ainda podem registrar seus níveis de PM_{2,5}. Em algumas cidades, monitores de alta qualidade operados por embaixadas estrangeiras ou por pesquisadores podem ser fontes iniciais confiáveis de medições diárias, sazonais e médias de PM_{2,5}. Nas cidades onde ocorre o monitoramento oficial do PM₁₀, mas não do PM_{2,5}, fatores de conversão (46–48) podem ser usados para estimar o PM_{2,5}. Uma campanha planejada de sensores de PM_{2,5} de baixo custo, seguindo as orientações resumidas abaixo, também pode ser útil para aumentar a conscientização e criar um alicerce para estabelecer o monitoramento oficial de referência. Estimativas baseadas em medições por satélite (veja a Seção 2.4) também podem ser usadas para estimar a exposição anual a PM_{2,5}. Se as concentrações de PM_{2,5} no ambiente derivadas de uma dessas fontes excederem muito os padrões sanitários, deve-se iniciar um trabalho (e prosseguir em paralelo) para avaliar os dados de fontes disponíveis (veja o Capítulo 3), identificar possíveis controles (veja o Capítulo 5) e iniciar ou aprimorar o monitoramento oficial.

Questões importantes a serem respondidas:

A qualidade do ar na região urbana/metropolitana é perigosa para a saúde?

Por que é importante ter um monitoramento oficial confiável?

Onde devem ser colocados monitores de referência iniciais?

2

Estabelecer e manter um monitoramento oficial de PM_{2,5} e planejar melhorias no monitoramento.

Uma prioridade inicial para uma área urbana sem monitoramento terrestre confiável deve ser estabelecer um número limitado de monitores de PM_{2,5} de referência fixos, situados de modo a melhor representar as concentrações médias da área urbana. Não há um único critério objetivo para determinar o número mínimo de monitores de PM_{2,5} necessários. Mundialmente, a densidade de monitores de PM_{2,5} varia muito, de zero a vários por milhão de habitantes (49). Em cidades com múltiplos monitores de PM_{2,5}, os níveis médios variam de um local para outro, mas essa variação espacial dentro das cidades pode ser relativamente pequena (50). As mudanças diárias nos níveis de PM_{2,5} no ambiente – muitas vezes influenciadas pelo clima – tendem a ser correlacionadas entre os monitores dentro de uma cidade e até mesmo numa região urbana (50, 51).

Instalar ao menos um ou mais monitores de PM_{2,5} de alta qualidade numa área urbana que não tem nenhum monitoramento é um primeiro passo importante para avaliar a gravidade da poluição ambiental, estabelecer uma linha de base para acompanhar o progresso e documentar eventos insalubres de qualidade do ar para assessorias públicas. Locais adicionais de monitoramento de concentrações de fundo (também conhecidos como locais de “contraste”) na região da rota do vento podem fornecer dados para comparar com os níveis de poluição nas cidades a fim de ajudar a avaliar as contribuições regionais para as concentrações urbanas. Durante essa fase, deve-se iniciar a determinação do escopo e o planejamento para atingir os objetivos de monitoramento de poluentes da Fase 3.

Questões importantes a serem respondidas:

Qual é o nível de base e a tendência de PM_{2,5} à medida que as ações em prol da melhoria da qualidade do ar são aplicadas?

Quando ocorrem os episódios de poluição atmosférica de curto prazo?

b A orientação da Agência de Proteção Ambiental (EPA) dos EUA recomenda que os monitores de PM_{2,5} de escala urbana fiquem localizados a > 1 km de distância de grandes instalações poluentes e a mais de 100 metros de estradas movimentadas.

2.3 Monitoramento da qualidade do ar: Objetivos e abordagens por fase

3

Monitorar a composição de PM_{2.5} e poluentes adicionais, ampliar a cobertura do monitoramento.

O monitoramento inicial limitado pode revelar a necessidade de ação, mas é necessário um monitoramento mais abrangente para avaliar melhor as fontes de PM_{2.5}, a variação quanto a espaço e tempo e medir outros poluentes nocivos. Estações avançadas de monitoramento de partículas da superfície seguem uma resolução temporal para o fornecimento das medidas de PM_{2.5} e dos dados da composição química de PM_{2.5} por meio de amostras integradas ao longo do tempo (veja a seção 2.4). Esses dados são úteis para a análise da atribuição de fontes baseada em receptores (veja o Capítulo 3). Pelo menos uma estação avançada de monitoramento de partículas da superfície deve ser considerada em cada bacia aérea distinta dentro de qualquer região de interesse. As bacias aéreas são comumente definidas por regiões geográficas/topográficas e meteorológicas.

Uma rede de monitoramento de Fase 3 deve incluir um ou mais locais onde todos os poluentes gasosos comuns sejam medidos, incluindo aqueles envolvidos na formação de ozônio e partículas secundárias: óxidos de nitrogênio (NO_x), dióxido de enxofre (SO₂), monóxido de carbono, ozônio e compostos orgânicos voláteis. A implantação temporária de uma rede de sensores confiáveis e de baixo custo, bem como métodos aprimorados de resolução espacial descritos na Fase 4 devem ser considerados para informar os locais de monitoramento.

4

Ampliar a resolução espacial dentro da área urbana com um sistema integrado avançado.

Tendo estabelecido um sistema confiável de monitoramento da qualidade do ar urbano capaz de acompanhar o progresso de medidas em prol da melhoria da qualidade do ar que tratam de múltiplos poluentes, um bom próximo passo é melhorar a resolução espacial usando campanhas de monitoramento móvel periódico e/ou modelos de regressão do uso do solo (veja a seção 2.4) ou de dispersão. Quando combinadas com padrões temporais de monitores convencionais do ambiente dentro da bacia aérea, estimativas espaço-temporais de alta resolução podem ser produzidas quase em tempo real.

Embora atualmente seja improvável que as redes de sensores de baixo custo (veja a seção 2.4) substituam diretamente tais estimativas, sua implantação pode ser embasada nos padrões espaciais e temporais de qualidade do ar. Uma vez calibrados para as estações convencionais de monitoramento da qualidade do ar, os dados de sensores de baixo custo poderiam ser usados para identificar desvios das estimativas e gerar hipóteses sobre atividades novas ou alteradas de uma fonte ou mudanças no uso do solo para investigação posterior por meio de visitas de campo e campanhas adicionais

Questões importantes a serem respondidas:

Quais são as fontes importantes de poluição atmosférica urbana/metropolitana?

As medidas de controle estão melhorando a qualidade do ar na região urbana/metropolitana?

Onde devem ser colocados monitores adicionais?

Questões importantes a serem respondidas:

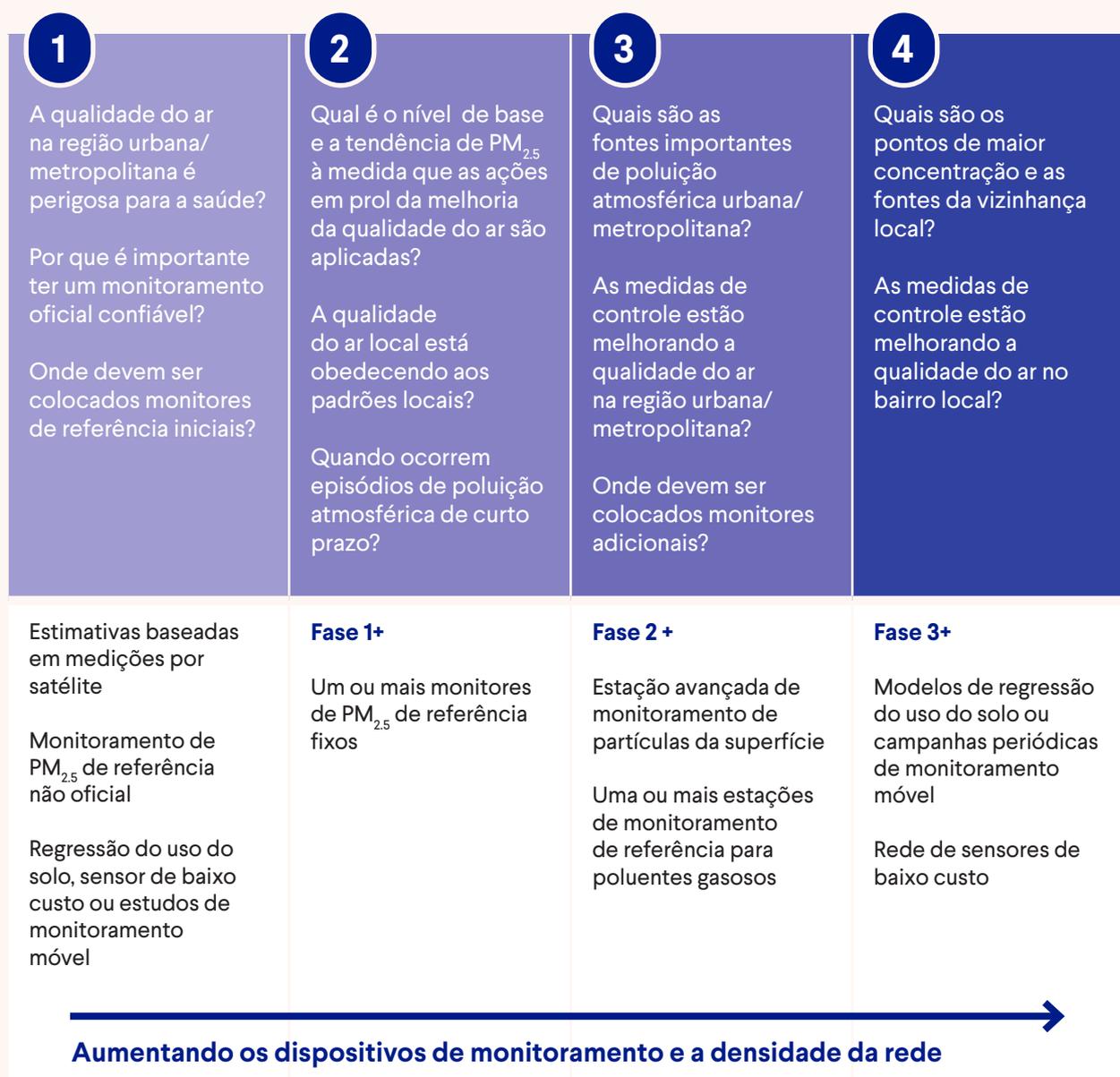
Quais são os pontos de maior concentração e as fontes da vizinhança local?

As medidas de controle estão melhorando a qualidade do ar no bairro local?

2.3 Monitoramento da qualidade do ar: Objetivos e abordagens por fase

de monitoramento direcionadas. Por sua vez, as redes de sensores podem fornecer informações que melhoram as estimativas de concentrações de poluição e a necessidade de monitores de alta qualidade em locais adicionais, além de poderem sugerir quando as campanhas de monitoramento móvel ou os exercícios de modelagem devem ser repetidos.

Figura 2d Fortalecendo o monitoramento: Uma abordagem em fases



2.3

Monitoramento da qualidade do ar: Objetivos e abordagens por fase

A abordagem em fases sugerida acima não é destinada a ser prescritiva, e o sequenciamento e a tecnologia específica utilizada dependerão do contexto, orçamento e capacidade do local. Por exemplo, métodos de alta resolução espacial, incluindo redes de sensores de baixo custo que podem já existir em algumas comunidades, têm o potencial de ajudar a expandir a conscientização da população sobre a poluição atmosférica e aumentar a confiança no monitoramento oficial que delinea os gradientes espaciais conhecidos e as populações sensíveis. Um princípio importante é que o monitoramento visa responder perguntas, fornecer dados úteis e contribuir para o desenvolvimento de um sistema integrado e sustentável.

Em todas as fases de monitoramento, uma série de abordagens, incluindo estudos de monitoramento de alta resolução espacial, mapeamento de emissões e estimativas baseadas em sensoriamento remoto por satélite, podem ajudar a identificar locais prioritários para o posicionamento de monitores de referência fixos adicionais (veja a Figura 2d). Monitores terrestres podem ser implantados com maior densidade em áreas de maior variabilidade, ponderados para áreas com maior densidade populacional e em locais onde se prevê um rápido aumento das emissões, como perto de parques industriais. Essa abordagem também facilita a modelagem e previsão em escalas regional e urbana com o objetivo de fornecer estimativas precisas de concentrações e contribuições de fontes regionais e locais.

2.4

Mais sobre as abordagens de monitoramento: Convencionais e inovadoras

Custos, mão de obra, infraestrutura e logística

Orientações detalhadas sobre os custos e as necessidades de recursos para diferentes abordagens de monitoramento estão além do escopo deste guia. Para obter mais informações sobre o tema, os leitores podem consultar o resumo de uma conferência de 2017 do Banco Mundial (36). Alguns dos principais custos a considerar são:

- Preço de compra dos equipamentos de monitoramento
- Materiais, peças, serviço e transporte para reparos e manutenção
- Materiais de consumo, envio, análise laboratorial para amostragem gasosa coletada por filtros ou passiva
- Estruturas e infraestrutura de apoio
- Arrendamentos de imóveis, caso aplicável
- Serviços públicos incluindo energia elétrica confiável e conexões sem fio
- Custos com mão de obra para implantação, calibragem e manutenção
- Equipamentos, taxas e funcionários para gestão de dados

Leituras Relevantes para a Fase de Monitoramento

1 2

Monitoramento de referência de local fixo convencional

Estações convencionais de monitoramento de referência normalmente contam com dispositivos consistentes e de alta qualidade para fornecer uma combinação de medições médias em tempo real ou integradas de poluentes atmosféricos comuns, como dióxido de enxofre (SO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio (NO₂), PM₁₀ e/ou PM_{2,5} e O₃. As redes de monitoramento devem priorizar o PM_{2,5} como um melhor indicador de risco à saúde do que o PM₁₀.

A versão convencional do monitoramento regulatório da qualidade do ar tem focado em estabelecer a instalação de um número geralmente limitado de monitores de método de referência com localização fixa para fornecer informações sobre concentrações e tendências em escala regional ou urbana. As concentrações são comparadas a padrões regulatórios de qualidade do ar ou aos níveis das diretrizes sanitárias. Monitores fixos também podem ser colocados em locais específicos para avaliar os impactos de fontes específicas, como veículos automotores, fontes industriais ou usinas elétricas.

Os custos para implantar e manter estações convencionais de monitoramento de referência é relativamente alto considerando os custos de cada instrumento, os requisitos do local de abrigo, o fornecimento de energia confiável e o controle climático, além da intensa manutenção contínua realizada por profissionais treinados, como a calibragem, trocas de filtro e outras manutenções. Como resultado, a densidade de monitores de referência acaba, por muitas vezes, sendo limitada, mesmo em países de alta renda. No entanto, como observado acima (compare com a Fase 2), mesmo um ou dois monitores de referência já podem indicar e rastrear a má qualidade do ar numa área urbana. Os investimentos em monitores de referência devem ser compatíveis com os recursos disponíveis para manter sua operação contínua. Em alguns países de baixa renda, as altas exigências de manutenção e mão de obra algumas vezes resultaram em equipamentos convencionais de monitoramento regulatório deixando de funcionar de forma confiável dentro de apenas alguns anos após sua instalação.

2.4

Mais sobre as abordagens de monitoramento: Convencionais e inovadoras

Abordagens inovadoras

A construção de uma rede oficial consistente para o monitoramento terrestre utilizando monitores de referência fixos deve fazer parte do objetivo dos programas de gestão da qualidade do ar urbano, mas abordagens inovadoras, estrategicamente implantadas, podem acelerar a coleta de dados úteis sobre a qualidade do ar (52).

Leituras Relevantes para a
Fase de Monitoramento

1 2 3 4

Monitoramento com base em sensoriamento remoto por satélite

O monitoramento com base em sensoriamento remoto por satélite pode preencher lacunas quanto ao monitoramento terrestre e acabou se tornando uma fonte essencial de informações sobre a qualidade do ar pelo mundo (53). As estimativas baseadas em sensoriamento remoto por satélite agora fornecem uma medida padronizada com cobertura global completa, sendo adequada para avaliar tendências desde aproximadamente o ano 2000 e para estimar a carga global de doença. Estimativas de concentrações de $PM_{2.5}$ e ozônio a nível nacional e, em alguns lugares, a nível estadual e urbano, além da atual carga sanitária da poluição atmosférica estão disponíveis on-line gratuitamente para todos os países (54–56). Embora não seja um substituto para o monitoramento terrestre, as estimativas de sensoriamento remoto por satélite são suficientes para demonstrar a necessidade de melhora na qualidade do ar em cidades altamente poluídas. Estimativas geradas por sensoriamento remoto requerem habilidades técnicas especializadas para sua análise e interpretação; a maioria das cidades que procurarem usar estimativas de sensoriamento remoto precisará de treinamento ou parceiros técnicos com essa capacidade. Informações e referências mais detalhadas são fornecidas nos **Anexos 2, 3 e 6**.

Leituras Relevantes para a
Fase de Monitoramento

2 3 4

Monitoramento avançado da superfície

Estações avançadas de monitoramento da superfície fornecem informações sobre a composição química de poluentes adicionais (por exemplo, poluentes atmosféricos perigosos ou tóxicos como benzeno) e $PM_{2.5}$ (52). Um exemplo são as estações avançadas de monitoramento implantadas pela Rede de Monitoramento de Especificação Química (CSN, na sigla em inglês) de $PM_{2.5}$ (57) dos EUA. A especificação é um método usado para identificar a mistura específica de compostos químicos que está presente na poluição atmosférica e é útil para identificar as fontes contribuintes mais importantes (veja o Capítulo 3). Outro exemplo é a Rede de Partículas Finas na Superfície (SPARTAN, na sigla em inglês), que é uma rede de 19 locais ativos em todo o mundo que fornecem dados disponíveis para o público sobre a massa e composição química de $PM_{2.5}$. Características especiais da SPARTAN incluem a colocação com fotômetros solares para a medição de profundidade óptica de aerossóis (58, 59), o que ajuda a melhorar as estimativas de $PM_{2.5}$ local, baseadas em dados de satélite, além de um laboratório centralizado e avançado para a análise da composição química (58, 59). Os dispositivos SPARTAN podem operar de maneira independente por 63 dias entre as coletas de cartuchos do filtro.

Em campanhas com prazos limitados, pode-se usar monitores PM de menor custo que operam à base de filtros [por exemplo, amostrador MiniVOL (Airmetrics)] ou coletores passivos de amostras gasosas, que medem concentrações de poluentes integradas ao longo do tempo sem o uso de bombas. Informações e referências mais detalhadas são fornecidas no **Anexo 2**.

2.4 Mais sobre as abordagens de monitoramento: Convencionais e inovadoras

Leituras Relevantes para a Fase de Monitoramento

3

4

Monitoramento de alta resolução espacial ou “hiperlocal” – identificando pontos urbanos de maior concentração

Como mencionado anteriormente, as redes convencionais de monitoramento não são projetadas para caracterizar a verdadeira variabilidade espacial das concentrações de poluentes dentro das áreas urbanas. Saber como as concentrações de poluentes variam dentro de uma cidade é importante para identificar como as fontes podem variar na cidade e para mobilizar comunidades a apoiarem ações em prol da melhoria da qualidade do ar (60, 61).

Gradientes espaciais de NO_2 , carbono negro, CO e, em alguns locais, SO_2 são geralmente melhores e mais acentuados indicadores de fontes de emissão locais que $\text{PM}_{2.5}$ e O_3 .

Três abordagens (às vezes usadas em conjunto) para caracterizar a variação espacial nos níveis de poluentes de alta resolução (~100m) estão resumidas abaixo. Essas abordagens de menor custo para caracterizar a variação espacial podem servir para guiar e avaliar intervenções localizadas geograficamente, como zonas de baixa emissão, e para orientar a instalação de monitores fixos mais caros dentro de uma área urbana. Consulte o **Anexo 2** para obter mais detalhes e referências sobre cada método.

A **modelagem de regressão do uso do solo** revolucionou a compreensão da variabilidade da poluição atmosférica nas áreas urbanas e se tornou cada vez mais a norma para investigações epidemiológicas de exposição a longo prazo à poluição atmosférica (62). Nessa abordagem, as medidas são coletadas em períodos temporários, mas definidos, num número relativamente alto de locais dentro de uma área urbana. Os resultados do monitoramento são combinados com dados geoespaciais que descrevem fontes de poluição atmosférica ou seus representantes para estimar, com alta resolução espacial, as concentrações de poluentes atmosféricos de frequência anual ou sazonal. Estudos de regressão do uso do solo exigem uma capacidade técnica que geralmente requer a colaboração de pesquisadores acadêmicos ou outros parceiros.

O **monitoramento móvel** é uma abordagem na qual instrumentos de alta qualidade que detectam um ou mais poluentes de interesse são instalados em um ou mais veículos para fazerem medições enquanto percorrem repetidamente uma rota planejada. As medidas coletadas são analisadas a fim de mapear a qualidade do ar – especialmente para poluentes primários com fortes gradientes espaciais, como NO_x , carbono negro e partículas ultrafinas (UFP, na sigla em inglês) – com alta resolução espacial em todas as áreas urbanas. O monitoramento móvel pode ser útil na identificação de fontes pequenas, mas mal controladas, de emissões locais desses poluentes. Em contrapartida, o monitoramento móvel pode ser menos útil para caracterizar poluentes que variam menos em áreas pequenas (por exemplo, $\text{PM}_{2.5}$, O_3).

2.4

Mais sobre as abordagens de monitoramento: Convencionais e inovadoras

Leituras Relevantes para a
Fase de Monitoramento

1 2 3 4

Sensores de baixo custo

Sensores de baixo custo são uma inovação promissora com muitas aplicações, especialmente quando integrados a outras abordagens de modelagem. Um aumento recente no interesse e desenvolvimento produziu dispositivos comercialmente disponíveis para o mercado consumidor (63). Sensores de baixo custo têm sido utilizados por grupos de cidadãos quando os dados de medição do governo não estão disponíveis ou não são considerados confiáveis. Um exemplo de uso de sensores de baixo custo é numa rede com um grande número de dispositivos implantados em alta densidade para avaliar mudanças nas concentrações de poluentes em pequenas áreas espaciais e períodos curtos (64).

Sensores de baixo custo têm limitações importantes (65, 66) que devem ser levadas em consideração ao determinar como serão usados e quais perguntas podem responder. Diversos programas de teste e avaliação com sensores específicos, bem como orientações sobre como devem ser implantados em redes, descrevem sua confiabilidade, validade e suas considerações logísticas. Esses programas descobriram que alguns dispositivos, quando usados em campo, fornecem estimativas de concentração muito próximas daquelas obtidas com monitores de referência, ao passo que muitos outros apresentam previsões muito ruins da qualidade real do ar. Como muitos dispositivos estão chegando rapidamente ao mercado, nem sempre se pode contar com a validade das suas avaliações independentes (67) (64, 68–71). Um resumo útil das melhores práticas para orientar a seleção de sensores de baixo custo foi publicado pela Organização Meteorológica Mundial (64) (veja o **Anexo 3**).

À medida que a qualidade e disponibilidade dos dados do governo melhoram (veja o Capítulo 4) e cada vez mais atendem às exigências dos cidadãos de terem informações acessíveis sobre a qualidade do ar, a demanda por sensores e redes utilizados pelos cidadãos para preencher as lacunas nos dados pode diminuir, mas suas aplicações em parcerias entre ciência e cidadãos, além do engajamento e da conscientização da população, provavelmente permanecerão.

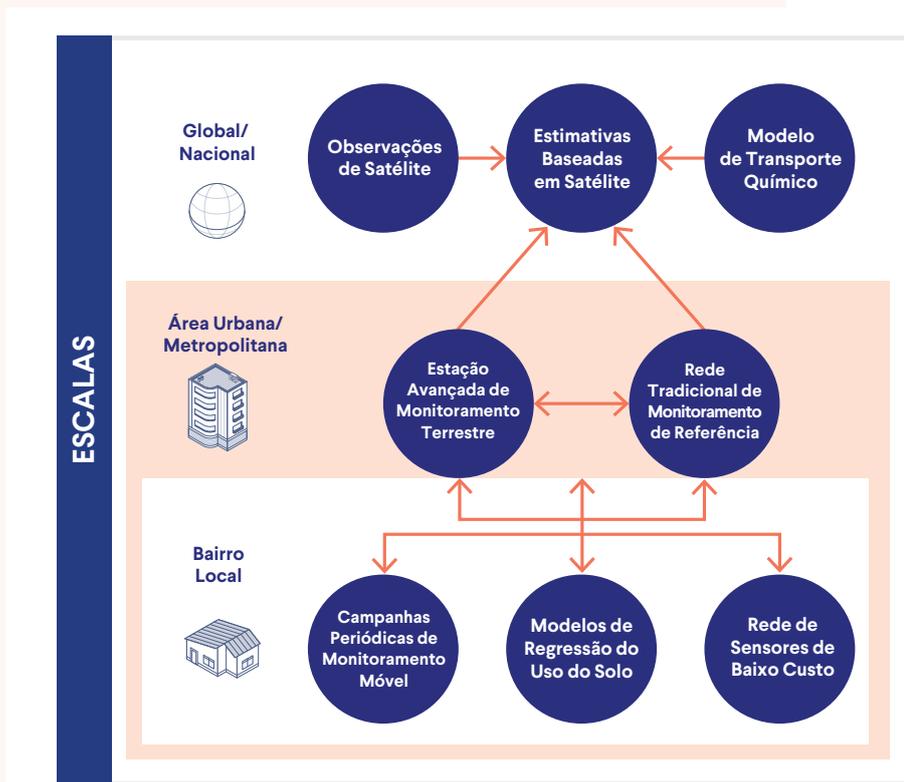
2.5 Um sistema integrado que combina abordagens convencionais e inovadoras

Leituras Relevantes para a Fase de Monitoramento

- 2
- 3
- 4

As abordagens convencionais e inovadoras que se complementam e a abordagem em fases, todas elas descritas acima, podem ser utilizadas para construir um sistema integrado para cada bacia aérea urbana (Figura 2e). Uma combinação de abordagens pode embasar um programa consistente de gestão da qualidade do ar, apoiar as necessidades da gestão local, regional e nacional da qualidade do ar e fornecer dados para pesquisa e informações públicas (49). O custo de implantação e operação de um sistema como esse variará muito de acordo com as circunstâncias locais (veja o Anexo 2), mas provavelmente seria muito menor do que uma rede regulatória convencional com muitos monitores de referência.

Figura 2e Sistema integrado de monitoramento da poluição atmosférica



A imagem representa uma estrutura para o uso de métodos de sensoriamento remoto por satélite, monitores de superfície avançados e tradicionais e monitoramento periódico com uma ou mais abordagens de alta resolução espacial: regressão do uso do solo, monitoramento móvel ou redes de sensores de baixo custo. Um sistema como esse é capaz de avaliar a variação da poluição atmosférica em diferentes resoluções espaciais e temporais, embasar o posicionamento de monitores de referência adicionais e incorporar outras inovações ao longo do tempo.



**Estudos de caso
em cidades com
inovações de
monitoramento
em ação:**

Cidade de Nova York
Oakland

Avaliando Emissões e Fontes

3.1 Introdução: Dados essenciais para o planejamento de ações em prol da melhoria da qualidade do ar

De maneira simplificada, enquanto o monitoramento da poluição atmosférica pode apontar para a necessidade de agir, **a avaliação de emissões e fontes é necessária para saber quais ações serão mais eficazes** ao possibilitarem:

1. O entendimento de como as emissões dentro e ao redor de uma área urbana afetam as concentrações de poluição ambiental em toda essa área urbana à medida que são transportadas e transformadas na atmosfera
2. A identificação das fontes de poluição atmosférica que mais impactam a exposição e a saúde da população
3. A caracterização dos benefícios das políticas e ações de redução de fontes

Décadas de atividade de gestão da qualidade do ar em países de alta renda produziram dados extensos sobre as emissões e fontes de poluição atmosférica, bem como

sistemas complexos para a atualização desses dados ao longo do tempo. Felizmente, as inovações na avaliação de fontes estão disponibilizando dados e ferramentas para cidades de países de baixa e média renda identificarem com mais facilidade as principais fontes de poluição e apontarem com mais rapidez para as prioridades para o controle de curto prazo (Figura 3a).

Este capítulo fornece orientações para a aplicação de diferentes dados da avaliação de emissões e fontes, além de abordagens em fases adaptadas à capacidade de base de cada cidade (Tabela 3b), enfatizando o uso dos dados disponíveis para definir prioridades e tomar medidas para reduzir as emissões. À medida que a capacidade técnica cresce, todas as cidades podem implementar inovações, refinar os dados de emissões e fontes para informar as melhorias contínuas na qualidade do ar.

Figura 3a
Usos da atribuição de fontes de poluição atmosférica para planos de ação em prol da melhoria da qualidade do ar

Implementar planos de ação visando a qualidade do ar afeta as emissões, o que afeta a qualidade do ar, a exposição à poluição e a saúde da população. Como os principais poluentes atmosféricos vêm de múltiplas fontes, os dados sobre emissões e contribuição das fontes para a poluição ambiental são essenciais para identificar ações prioritárias e estimar seus benefícios.

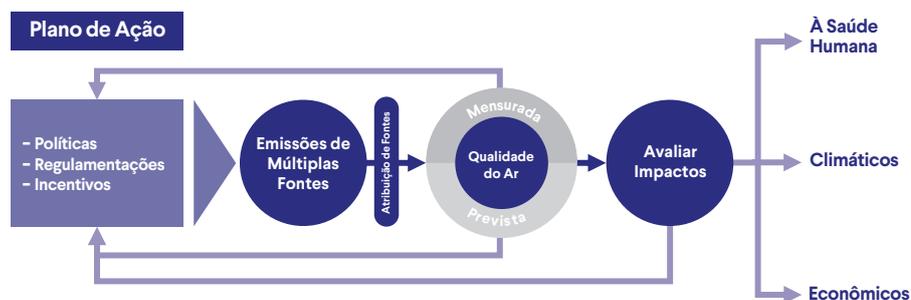


Tabela 3b
Fases da capacidade de avaliação de emissões e fontes de poluição atmosférica

1

Limitada ou inexistente

Os dados sobre as fontes de poluição atmosférica são limitados ou não são coletados regularmente.

2

Dados mínimos para ações iniciais

Há um processo oficial em vigor para avaliar e usar todos os dados relevantes disponíveis, incluindo dados internacionais, para o planejamento inicial de ações e o desenvolvimento de um inventário de emissões.

3

Dados abrangentes para ações continuadas

Os dados de fontes e atividade para os setores de emissão prioritários são coletados, aprimorados, utilizados e comunicados periodicamente.

4

Dados avançados

A resolução espacial e temporal dos dados sobre as emissões é aprimorada com o conhecimento local. Os resultados da contribuição das fontes provenientes de abordagens baseadas em receptores e fontes são conciliados e aprimorados.

3.2

Princípios básicos da avaliação de emissões e fontes

→
**Leitura Relevante
para a Fase de
Avaliação de Fontes**

1 2

A terminologia utilizada na avaliação das emissões de poluentes atmosféricos pode variar entre especialistas técnicos e pode não ser familiar para muitos leitores não técnicos. Diversos termos relevantes são explicados na Tabela 3c.

Para identificar as principais fontes de poluição atmosférica, existem duas abordagens complementares de avaliação de fontes (ou atribuição de fontes): a abordagem baseada em fontes (ou ascendente) e a abordagem baseada em receptores (ou descendente). A abordagem de atribuição baseada em fontes depende de um inventário de fontes e seus dados de emissões e meteorológicos que são usados por modelos computacionais para simular as contribuições que cada fonte tem para as concentrações ambientais de poluentes atmosféricos em escalas de tempo e espaço apropriadas. Em contraste, a abordagem de atribuição de fontes baseada em receptores coleta amostras de filtros de ar ambientais, analisa a composição química das amostras e faz a correspondência entre os perfis químicos e os de emissões de diferentes combustíveis. Em ambas as abordagens, a forma como os resultados são apresentados é a mesma. A atribuição de fontes produz estimativas do percentual e da magnitude de diferentes fontes e setores em relação à presença de um poluente atmosférico geral. A atribuição de fontes permite que uma cidade saiba qual parte do seu problema de poluição atmosférica é atribuível ao transporte, à indústria, à geração de energia, às queimadas e a diferentes atividades comerciais. **Cada abordagem tem diferentes pontos fortes e limitações (consulte o Anexo 4 para obter detalhes), e pode ser usada para identificar prioridades para ação inicial e investigação mais aprofundada.**

3.2 Princípios básicos da avaliação de emissões e fontes

Tabela 3c

Termos relativos à atribuição de fontes de poluição atmosférica

Termo	Definição
Atribuição de fontes (avaliação de fontes)	A atribuição de fontes (AS, na sigla em inglês) é a coleta e análise de dados para estimar a contribuição de diferentes fontes de emissões de poluentes (causadas pela atividade humana ou por eventos naturais) para os níveis de poluição atmosférica ambiental e as exposições sofridas pelos humanos. Isso é feito por meio de duas abordagens principais, descritas abaixo.
Atribuição de fontes baseada em receptores (descendente)	Um método de atribuição de fontes que envolve medir a composição química das amostras de poluição atmosférica ambiental e comparar sua composição com perfis conhecidos de fontes de emissão (ver abaixo) utilizando um ou mais modelos estatísticos.
Atribuição de fontes baseada em fontes (ascendente)	Um método de atribuição de fontes que envolve o uso de inventários e/ou estimativas de emissões para diferentes fontes numa área geográfica, um modelo de emissões para alocar as emissões por local e tempo, dados meteorológicos e um modelo de transporte químico.
Fator de emissões	Um fator de emissões é um valor representativo que descreve a relação entre a quantidade de um poluente liberado no meio ambiente e uma atividade associada à liberação desse poluente. Esses fatores geralmente são expressos como o peso do poluente dividido por uma unidade de peso, volume, distância ou duração da atividade emissora do poluente (por exemplo, quilogramas de partículas emitidas por megagrama de carvão queimado).
Perfis das fontes de emissões	Os perfis das fontes de emissões são a média da composição química relativa das emissões vindas de uma fonte de poluição, comumente expressa como a proporção da massa entre cada espécie em relação à emissão total. Esses perfis representam as emissões de uma categoria de fontes (por ex., usinas de carvão) em vez dos emissores individuais.
Dados de atividade	Informações que quantificam a atividade de um setor relevante que gera emissões (por ex., quantidade de carvão queimado por uma usina elétrica).
Medições diretas de emissões	As medições diretas de emissões são realizadas com poluentes emitidos por emissores individuais. Esse tipo de medida mostra a quantidade e o tipo de poluição expelida por fontes específicas.
Composição química (mensurada em amostras de poluição atmosférica)	A composição química das amostras de poluição atmosférica reúne a identidade e as quantidades relativas de cada substância química encontrada na amostra. (por ex., a quantidade de uma amostra de PM _{2,5} que consiste em amônio, sulfato, nitrato, matéria de carbono elementar, matéria de carbono orgânica, sódio e silício).

3.3

Avaliação de emissões e fontes: Objetivos e abordagens por fase

1

Identificar, avaliar e usar dados e ferramentas disponíveis

Para cidades carentes de programas bem desenvolvidos em prol da melhoria da qualidade do ar e de inventários oficiais de emissões ou atribuição de fontes, o primeiro passo é identificar quais são os dados e ferramentas disponíveis. Organizações e cientistas internacionais desenvolveram e disponibilizaram inventários de emissões de biomassa antropogênicos (decorrentes da atividade humana) e fatores de emissão globais e regionais (veja na seção 3.4 os dados e estudos disponíveis sobre a atribuição de fontes e mais detalhes no **Anexo 5**). Além disso, pesquisadores podem já ter realizado estudos úteis de atribuição de fontes locais, incluindo estudos baseados em receptores (veja a seção 3.4 sobre a atribuição baseada em receptores). Modelos de “forma reduzida” também estão disponíveis para comparar o impacto de diferentes medidas de controle na qualidade do ar em cidades com capacidade limitada (veja a seção 3.4 sobre ferramentas de forma reduzida). Esses dados e ferramentas disponíveis podem ser utilizados em áreas urbanas ao redor do mundo para indicar as prioridades iniciais para possíveis medidas de controle das fontes e melhoria dos dados.

Como discutido no Capítulo 5, parceiros técnicos internacionais e locais podem ajudar os governos a avaliarem os dados disponíveis e a construir capacidade para usá-los e melhorá-los.

2

Estabelecer um monitoramento oficial de emissões e um processo de avaliação de fontes, e desenvolver procedimentos para o uso de dados

Usando os dados disponíveis como ponto de partida, a Fase 2 estabelece um processo de construção, melhoria e manutenção da avaliação de emissões e fontes locais. Embora possa ser particularmente desafiador criar um inventário de emissões do zero, trabalhar com um conjunto inicial de dados de emissões, seja localizando um inventário global/regional ou adaptando um inventário existente de gases de efeito estufa (GEE), pode acelerar o processo. Um passo importante seria a coordenação entre agências de coleta e gestão de dados relevantes, por exemplo, entre agências que desenvolvem inventários de GEE e dados de emissões de poluição atmosférica (consulte o Capítulo 5 sobre como organizar ações em prol da melhoria da qualidade do ar).

Ao mesmo tempo, é possível iniciar o planejamento de melhorias de monitoramento para dar suporte a atribuição de fontes com base em receptores (veja a seção 2.4 sobre “Estações avançadas de monitoramento de partículas da superfície” para obter mais detalhes). O aprimoramento dos dados pode ocorrer em conjunto com o desenvolvimento e melhoria dos planos de ação em prol da melhoria da qualidade do ar. Como já ocorreu em países de alta renda, consultar e até mesmo usar dados limitados de emissões e fontes para fins políticos e regulatórios ajudará a revelar a importância da melhoria contínua dos dados.

3.3

Avaliação de emissões e fontes: Objetivos e abordagens por fase

3

Sustentar a coleta, a melhora e o uso frequente dos dados de emissões e fontes

Nesta fase, é um processo rotineiro e contínuo coletar dados de emissões, atualizar periodicamente os inventários e usar a modelagem baseada em fontes para avaliar as opções e os impactos das políticas. Os estudos de atribuição de fontes baseados em receptores devem estar em andamento, juntamente com a realização periódica do monitoramento e campanhas baseadas nas fontes. As informações das fontes de poluição atmosférica são comunicadas ao público. A capacidade da cidade nesta fase é funcionalmente semelhante à dos programas de nível estadual ou municipal em países de alta renda.

4

Construir uma capacidade avançada de previsão, fontes e emissões em intervalos de tempo e espaço

Abordagens inovadoras, dados de código aberto e avanços no poder da computação estão permitindo o desenvolvimento de modelos de atribuição de fontes e emissões com alta resolução espacial (por exemplo, 1 km²) que podem ser usados para criar modelos dos impactos de políticas sobre a qualidade do ar numa escala de bairro (veja a seção 2.4 sobre “Monitoramento de alta resolução espacial”). Assim como no monitoramento da qualidade do ar de alta resolução, isso pode ajudar a explicar melhor a vulnerabilidade da população aos danos causados pela poluição atmosférica (32) e avaliar controles delimitados pelo espaço, como zonas de baixa emissão.

3.4 Mais sobre as abordagens de avaliação de emissões e fontes

→ Atribuição de fontes baseada em fontes ou ascendente

Leitura Relevante para a Fase de Avaliação de Fontes

- 1
- 2
- 3
- 4

A abordagem de atribuição baseada em fontes utiliza inventários das fontes e seus dados de emissões, dados meteorológicos e modelos computacionais para simular as contribuições que cada fonte tem para as concentrações ambientais de poluentes atmosféricos em escalas de tempo e espaço apropriadas. A abordagem baseada em fontes pode avaliar possíveis impactos futuros dos setores e impactos de medidas de controle sobre a poluição atmosférica numa área urbana (Figura 3d).

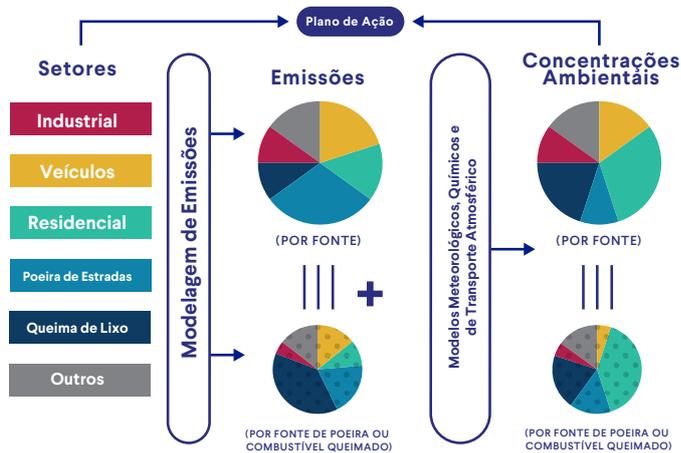
→ Desenvolvendo e mantendo inventários de emissões locais

Leitura Relevante para a Fase de Avaliação de Fontes

- 2
- 3

O desenvolvimento de um inventário de emissões para a abordagem de atribuição baseada em fontes requer dados sobre fatores de emissões, perfis das fontes de emissões, dados de atividade (por exemplo, vendas de combustível, dados de construção) e, num cenário ideal, medições diretas da quantidade e composição das emissões e dados baseados tanto em combustíveis quanto em fontes. Esses dados de emissões podem ser diretamente medidos e gerados por programas regulatórios (como programas de autorização, inspeção e manutenção), muitas vezes para instalações de grande porte, podendo ser acessados por meio de parcerias

Figura 3d A abordagem baseada em fontes (ou ascendente) para a atribuição de fontes



As fontes de emissão são agrupadas em setores, e os dados disponíveis sobre quantidade, atividade e localização das fontes são combinados com fatores e modelos de emissão para estimar a quantidade de diferentes emissões de poluentes por setor, localização e tempo. Para setores que envolvem queima de combustível, também é estimada a quantidade de emissões por combustível. Outras fontes envolvem processos mecânicos que produzem poeira. Os modelos podem combinar dados de emissões e meteorológicos para prever como os poluentes são transportados e quimicamente alterados, estimando a parcela da concentração de poluição ambiental por setor e por combustível. O impacto das fontes nas concentrações de poluição ambiental em diferentes locais pode ser usado para estimar as exposições sofridas pelas populações e os impactos à saúde causados por cada fonte. Os resultados podem ser usados para avaliar planos de ação em prol da melhoria da qualidade do ar.

entre órgãos governamentais locais e nacionais. Todos os inventários de emissões envolvem estimativas, suposições e extrapolações para pelo menos algumas das fontes.

Os dados de emissões também podem ser estimados, embora com maior incerteza, onde houver dados de atividade menos confiáveis e falta de regulamentações bem desenvolvidas para a poluição atmosférica. A obtenção de dados úteis de atividade é um desafio à parte, especialmente para fontes que não são grandes instalações. Abordagens criativas têm utilizado dados locais substitutos, como mapas comerciais e dados de tráfego. O programa da prefeitura para a avaliação do conhecimento sobre poluição atmosférica [Air Pollution Knowledge Assessment – ApnA] na Índia e a análise do ar na comunidade da cidade de Nova York [New York City Community Air Survey] (veja no Capítulo 6 o estudo de caso da cidade de Nova York) são exemplos de melhorias na qualidade e resolução dos dados de emissões locais.

Em alguns casos, as cidades podem já ter um inventário de GEE existente ou recém-desenvolvido realizados com estruturas padronizadas como o protocolo de GEE para cidades [GHG Protocol for Cities] (72), mas inventários limitados ou inexistentes sobre a poluição atmosférica. Nesses

3.4 Mais sobre as abordagens de avaliação de emissões e fontes

casos, o inventário de GEE pode servir como um bom ponto de partida para a construção de um inventário da poluição atmosférica, já que muitos GEE também contribuem para a poluição atmosférica, e a coleta de dados de atividade é semelhante para ambos os inventários

Uma vez montado um conjunto inicial viável de dados de emissões, é essencial desenvolver protocolos, processos e padrões para continuar a coleta de dados, as atualizações de inventário, e o gerenciamento, o compartilhamento e os relatórios de dados (ver Capítulo 4 sobre Acessibilidade de Dados e Capítulo 5 sobre Organização para a Ação).

A abordagem baseada em fontes requer habilidades técnicas e computacionais altamente especializadas. É necessário obter tanto o inventário de emissões quanto os dados meteorológicos do ano com os dados mais recentes ou confiáveis (73). Os dados então atuam como variáveis para modelos numéricos computacionais conhecidos como modelos de transporte químico ou modelos de dispersão, que simulam o transporte, a transformação e remoção de gases e partículas na atmosfera. Um exemplo desse modelo é o Modelo Abrangente de Qualidade do Ar com Extensões [Comprehensive Air Quality Model with Extensions – CAMx] (74) utilizado no programa APnA da Índia.

Ferramentas de forma reduzida estão disponíveis para simplificar a modelagem complexa feita com base nas fontes. Ferramentas como LEAP-IBC (75) e FASST (76) que não precisam de modelagem de transporte químico também estão disponíveis para fornecer resultados iniciais de fontes e uma comparação rápida de um grande número de cenários de políticas diferentes, antes que os modelos de grande escala sejam aplicados em análises mais detalhadas.

Outra característica importante da abordagem baseada em fontes é a capacidade de avaliar os impactos que as emissões não locais e a poluição transportada têm sobre a qualidade do ar urbano. Embora muitos inventários de emissões levem em consideração o perímetro da cidade, o inventário regional de emissões pode ser desenvolvido e analisado juntamente com o inventário em nível municipal usando o modelo de transporte químico (modelo aninhado) para quantificar as emissões não locais que afetam a área urbana. O modelo regional – geralmente realizado com uma grade mais grosseira – fornece as condições de fronteira para a área urbana, que mais tarde é traduzida como poluição importada originária de fora da bacia aérea. Os dados de satélite também podem ser usados para identificar plumas de poluição que percorrem longas distâncias. Previsões de modelos regionais e globais também podem ser utilizadas para esse fim (veja o Anexo 6).

Leitura Relevante para a Fase de Avaliação de Fontes

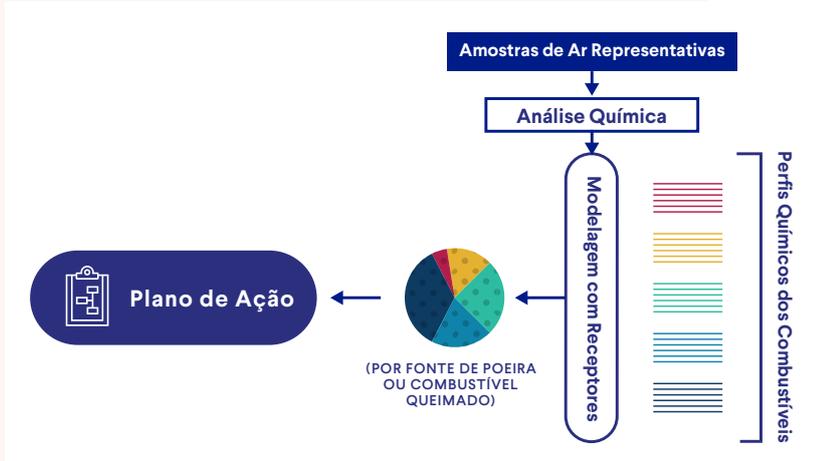
3 4

Usando inovações e dados locais para desenvolver modelos avançados de alta resolução baseados em emissões e fontes

Os inventários de emissões disponíveis geralmente têm uma resolução temporal limitada (por exemplo, anual) e espacial grosseira (por exemplo, apenas em escala nacional), e, portanto, podem não possibilitar estudos urbanos e locais de alta resolução. Nesses casos, dados de fontes oficiais e outras fontes sobre atividade de fontes locais ou substitutos – como o uso e a qualidade de combustíveis, as misturas e contagens de frotas de veículos, o tráfego, as centrais elétricas e indústrias – podem ser usados para complementar e melhorar os dados de emissões locais disponíveis, gerando assim inventários de emissões mais realistas e precisos. O programa municipal indiano APnA (26) é um exemplo dessa abordagem, e já foi usado para desenvolver inventários de emissões de alta resolução, modelos atmosféricos e previsões para mais de 50 grandes cidades em toda a Índia (26, 77). Outro exemplo é a cidade de Nova York, onde dados locais sobre boilers de edifícios, ti-

3.4 Mais sobre as abordagens de avaliação de emissões e fontes

Figura 3e
A abordagem baseada em receptores (ou descendente) para a atribuição de fontes



Amostras de ar são coletadas em diversos locais e horários para representarem uma área urbana de interesse em diferentes épocas do ano. Amostras de filtros de $PM_{2.5}$ são submetidas a análises químicas que determinam sua composição. Modelos estatísticos comparam a composição química de amostras de $PM_{2.5}$ com perfis de composição química de emissões de diferentes combustíveis queimados e fontes de poeira daquela área para estimar qual é a proporção do $PM_{2.5}$ no ambiente amostrado de cada fonte diferente. Essas informações podem ser usadas para identificar combustíveis e fontes prioritários a serem controlados em planos de ação em prol da melhoria da qualidade do ar.

pos de combustível e espaço interno de construções foram usados para substituir e alocar de forma espacial os dados de emissões em nível municipal que foram desenvolvidos de acordo com os protocolos nacionais de inventários (32).

Além de estimular as contribuições das fontes no ano de base, a abordagem baseada em fontes pode incorporar dados meteorológicos em tempo real ou projetados, monitoramento em nível terrestre ou dados de satélite e modelos de emissões dinâmicos para embasar previsões de curto prazo (um a três dias) dos níveis de poluição atmosférica. As previsões podem ser usadas para alertas de saúde pública (ver Capítulo 2 sobre Monitoramento do Ar) e para acionar medidas de mitigação de curto prazo (como proibições de

queima agrícola e limites na condução de veículos automotores privados).

Além disso, esses modelos de previsão com resoluções de espaço e tempo podem ser usados para prever áreas com maiores concentrações de poluentes (e exposições) e as fontes contribuintes, além da identificação dos locais mais eficazes para monitores de qualidade do ar destinados a refletir focos locais e para atribuição de fontes.

→ **Leitura Relevante para a Fase de Avaliação de Fontes**

- 1
- 2

Dados disponíveis de estudos sobre atribuição de fontes e emissões

Um exemplo do inventário global de emissões disponível é o Banco de Dados de Emissões para Pesquisa Atmosférica Global (EDGAR, na sigla em inglês), que fornece dados de emissões de poluição atmosférica passadas e atuais de grandes setores a nível global, regional e nacional (78). Para informar fontes relevantes de forma local, poderiam ser utilizados inventários regionais, como o de Emissões de Combustão Difusas e Ineficientes (DICE, na sigla em inglês) na África e o Inventário de Emissões de Multirresolução (MEIC, na sigla em inglês) na China (79, 80). Além disso, o programa APnA na Índia já desenvolveu inventários de emissões e informações de atribuição de fontes para um número crescente de cidades indianas (informações disponíveis em www.urbanemissions.info) (26).

Além dos inventários de emissões, estão disponíveis bancos de dados de fatores de emissões detalhados por tipos de fonte e combustível. Esses bancos de dados incluem o AP-42 da Agência de Proteção Ambiental (EPA, na sigla em inglês) dos Estados Unidos (81) e o Inventário de Emissões de Poluição Atmosférica da Agência Europeia do Meio Ambiente (82); no entanto, é necessário ter cautela ao aplicar esses fatores de emissões nos países em desenvolvimento, pois suas tecnologias e práticas podem diferir das utilizadas em países de alta renda. Consulte o **Anexo 5** para ver uma lista de recursos sobre inventários e fatores de emissões globais e regionais.

3.4 Mais sobre as abordagens de avaliação de emissões e fontes

Leitura Relevante para a Fase de Avaliação de Fontes



Atribuição de fontes baseada em receptores ou descendente

A abordagem de atribuição de fontes baseada em receptores mede as concentrações de poluição atmosférica ambiental coletando amostras de filtros de ar em locais específicos, e então analisa a composição química das amostras, compara e correlaciona os perfis químicos com assinaturas químicas de emissões de diferentes combustíveis usando modelos estatísticos de “receptor” (Figura 3e).

Os achados da abordagem baseada em receptores são representativos dos locais de origem das amostras e do período durante o qual uma amostra é coletada. Uma cidade ou região pode precisar de um ou mais locais de amostragem estrategicamente posicionados – muitas vezes coincidentes com monitores de referência de alta qualidade ou outros monitores de ar para capturar a exposição populacional tanto à poluição regional transportada quanto à poluição de fontes locais que são distribuídas de forma irregular (veja mais detalhes na seção 2.4 sobre “Estações avançadas de monitoramento de partículas da superfície”). Essa abordagem é retrospectiva, e amostras de filtro de ar devem ser coletadas ao longo de vários ciclos – a cada ciclo de 8 horas, 24 horas ou mais, dependendo do tipo de amostrador – que cobrem vários períodos de tempo de modo a representar diferentes épocas do ano com contribuições de diferentes fontes e com diferentes padrões climáticos.

Uma vez coletadas as amostras do filtro, elas passam por análises químicas para determinar as concentrações de espécies e elementos químicos individuais. Esse processo requer o acesso a equipamentos de laboratório sofisticados, geralmente encontrados em universidades e ministérios do meio ambiente nacionais. A especificidade da identificação da fonte depende das análises químicas utilizadas, com análise elementar e alguma especiação orgânica fornecendo perfis mais detalhados em vez de métodos mais simples utilizados para medir o carbono negro e alguns íons (83). A abordagem baseada em receptores também requer conhecimento de assinaturas químicas que representam diversos combustíveis (por exemplo, gasolina, diesel, gás, carvão, madeira, esterco, plástico e outros resíduos sólidos, ou partículas geradas de forma mecânica, como poeira e aerossóis de água salgada). Essas assinaturas podem ser correlacionadas estatisticamente para estimar o quanto cada um desses combustíveis contribui para as amostras de poluição ambiental. Para cidades com informações limitadas ou inexistentes sobre assinaturas químicas locais de fontes de poluição atmosférica, é possível consultar o banco de dados SPECIATE da EPA dos EUA, que é um repositório de perfis químicos de PM de fontes de poluição atmosférica (84). Uma limitação da abordagem baseada em receptores é que muitas vezes não é possível distinguir as emissões oriundas de diferentes fontes que queimam os mesmos combustíveis, nem localizar fontes específicas do espaço (73).

A abordagem baseada em receptores não precisa ser utilizada anualmente, mas pode ser repetida periodicamente para verificar as suposições do modelo e identificar possíveis discrepâncias entre os achados da abordagem baseada em fontes.

3.4 Mais sobre as abordagens de avaliação de emissões e fontes

Leitura Relevante para a Fase de Avaliação de Fontes

- 1
- 2

Dados disponíveis de estudos sobre atribuição de fontes com base em receptores
 Para países de baixa e média renda com um número limitado ou nulo de estudos sobre a atribuição de fontes baseada em receptores ou assinatura química de fontes de emissões, os bancos de dados existentes estão disponíveis para ajudar a entender tal abordagem. A OMS criou um banco de dados em 2015 para documentar mais de 400 estudos de atribuição de fontes de PM no ambiente realizados em 51 países do mundo (85). Embora o banco de dados possa não ter os estudos mais recentes, ele fornece um bom ponto de partida para entender as contribuições das fontes a partir do método de atribuição de fontes baseado em receptores utilizado em algumas cidades ou países. Além disso, pesquisadores locais ou internacionais podem estar realizando estudos baseados em receptores que não constam no banco de dados da OMS ou ainda não foram publicados.

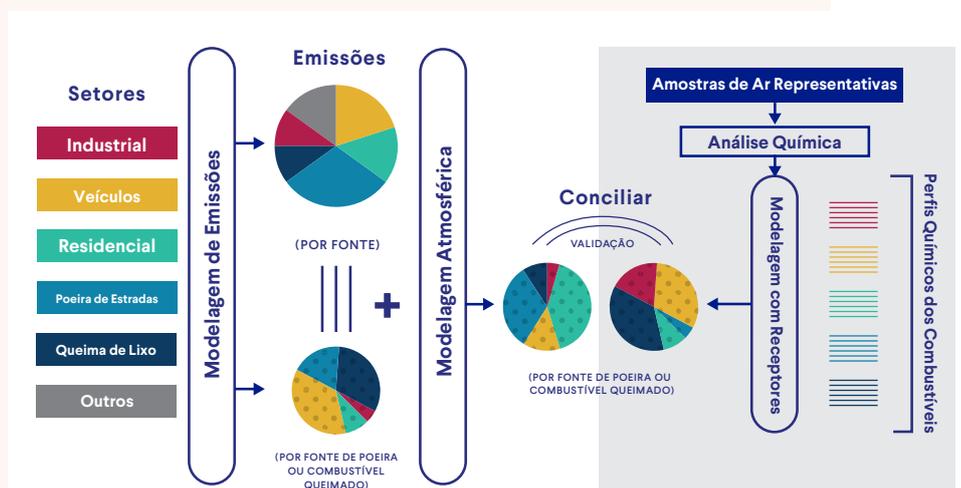
3.5 Combinando as abordagens de avaliação de fontes para melhorar os dados

Leitura Relevante para a Fase de Avaliação de Fontes

- 2
- 3
- 4

O uso e a comparação dos resultados de abordagens baseadas em fontes e em receptores permitem aos avaliadores identificar consistências e discrepâncias entre os resultados produzidos pelas duas abordagens; isso aumentará a confiança nos dados sobre algumas fontes e as prioridades de controle, enquanto planos e prioridades podem ser desenvolvidos para coletar novos dados de emissões e atividade e refinar os dados já existentes (Figura 3f). Exemplos do uso de abordagens de atribuição de fontes baseadas em receptores e em fontes utilizadas em diferentes cidades são discutidos mais detalhadamente nos estudos de caso do Capítulo 6.

Figura 3f
Combinando abordagens com base em receptores e em fontes para melhorar os dados



Ambos os métodos dependem de modelos imperfeitos, deduções e dados subjacentes. Discrepâncias entre os dois métodos podem ser usadas para embasar verificações e melhorar dos dados subjacentes.

Estudos de caso de cidades com inovações de monitoramento em ação:

- Cidade de Nova York
- Hong Kong
- Pequim
- Bangkok
- Vale de Katmandu
- Accra

Disponibilidade, Acessibilidade e Uso de Dados

4.1 Introdução: Os benefícios dos dados abertos e acessíveis

Tornar os dados de qualidade do ar abertos e acessíveis aos usuários oficiais e não oficiais é fundamental para garantir que as cidades possam:

1. Gerar confiança baseada no desejo do governo de melhorar a qualidade do ar, engajar o público/os grupos interessados e aumentar o apoio às ações em prol da melhoria da qualidade do ar;
2. Promover o uso de um conjunto comum de dados confiáveis de todas as fontes oficiais e não oficiais para múltiplas aplicações a fim de fornecer informações a funcionários do governo, órgãos, grupos da sociedade civil, pesquisadores e outras partes interessadas na qualidade do ar; e
3. Utilizar dados integrados para embasar análises de políticas, monitoramento e avaliação, saúde pública e outras pesquisas e aplicações no setor privado.

Um número crescente de cidades, estados e países estão disponibilizando seus dados ao público, à medida que percebem os benefícios mais amplos do aumento do acesso público a esses dados. Ao mesmo tempo, dados não oficiais, mas confiáveis,

gerados por pesquisadores acadêmicos, ONGs e outros, podem estar disponíveis para preencher lacunas nos dados de locais onde o monitoramento oficial da qualidade do ar é limitado ou inexistente. Este capítulo fornece orientações para aumentar a disponibilidade, integração e uso de dados sobre a qualidade do ar gerados pelo governo e por fontes não oficiais (coletados por pesquisadores e outros) para aplicação técnica (pesquisa e regulamentação), bem como para informar claramente os interessados não técnicos, incluindo as organizações públicas e da sociedade civil em geral.

Assim como ocorre com o monitoramento atmosférico e a avaliação de emissões e fontes, as cidades variam amplamente com relação a suas capacidades, políticas e práticas atuais para tornar os dados de poluição atmosférica abertos e acessíveis. A tabela abaixo pode ser usada para avaliar a capacidade de abertura dos dados numa cidade e servir como um guia para usar uma abordagem em fases a fim de fazer melhorias na disponibilidade, acessibilidade e uso dos dados.

Tabela 4a

Disponibilidade, acessibilidade e uso de dados – Fases da capacidade

<p>1</p> <p>Limitada ou inexistente</p> <p>Dados oficiais de qualidade do ar não são coletados, não são confiáveis ou não são divulgados publicamente.</p>	<p>2</p> <p>Dados mínimos para ações iniciais</p> <p>Dados oficiais confiáveis sobre PM_{2.5} são coletados e divulgados publicamente (por exemplo, em páginas de estáticas na internet); dados históricos legíveis por máquina (como arquivos .CSV) podem estar disponíveis apenas mediante solicitação.</p>	<p>3</p> <p>Dados abrangentes para ações continuadas</p> <p>Dados oficiais confiáveis estão disponíveis on-line em formatos legíveis por humanos e máquinas.</p>	<p>4</p> <p>Dados avançados</p> <p>Dados integrados, confiáveis e interoperáveis de fontes oficiais e não oficiais são acessíveis em formatos legíveis por humanos e máquinas.</p>
--	---	--	--

4.2

Princípios básicos de dados abertos e uso de dados: Definindo dados abertos e acessíveis

Leitura Relevante para a Fase de Dados Abertos

1 2

Dados de qualidade do ar totalmente abertos e acessíveis são fornecidos tanto em formatos brutos como analisados com acesso, metadados e informações explicativas adequadas para diferentes públicos interessados, amplamente categorizados como:

- **Público não técnico**, incluindo agentes eleitos, o público em geral, a mídia e organizações de defesa que exigem que os dados sejam resumidos, analisados e comunicados de forma sucinta, por meio de medidas de fácil compreensão, alertas (quando justificados) e exibições gráficas simples de informações. Por exemplo, as estimativas dos níveis e tendências de poluição atmosférica, bem como os impactos de curto e longo prazo para a saúde, devem ser comunicadas de forma simples e clara ao público e aos principais tomadores de decisão.
- **Os usuários técnicos**, incluindo órgãos regulatórios e pesquisadores, precisam ter acesso a níveis de poluentes com resolução temporal em formatos bem documentados, de dados legíveis por computador e em formato de metadados. Num cenário ideal, os dados de qualidade do ar devem ser fornecidos num formato que possa ser correlacionado a dados demográficos e de saúde relevantes para ser possível traduzir claramente as informações sobre os níveis de qualidade do ar em impactos associados à saúde.

Dados *oficiais* de monitoramento abertos e acessíveis promovem o uso expandido de dados para outras aplicações, incluindo pesquisas em saúde pública, análises de políticas e aplicações no setor privado. Por exemplo, sete em cada dez dos estudos epidemiológicos de grande escala mais citados que tratam dos efeitos da poluição atmosférica na saúde têm se apoiado em dados de estações de monitoramento ambiental do governo, e seus resultados influenciaram políticas nacionais e diretrizes internacionais. Da mesma forma, dados abertos e acessíveis, *não oficiais*, mas confiáveis, coletados para pesquisas ou outros fins, podem ser úteis aos governos para avaliar a qualidade do ar e embasar as medidas locais que visam a melhoria da qualidade do ar.

Por si só, a publicação na internet de relatórios diários do Índice de Qualidade do Ar (AQI, na sigla em inglês) ou relatórios de síntese anuais abrange apenas a disponibilidade mínima e muito limitada de dados e não é suficiente para atender plenamente às expectativas de transparência ou para fornecer suporte a uma ampla gama de usuários finais.

4.3

Criando e utilizando dados abertos e acessíveis: Objetivos e abordagens por fase

1

Compromisso governamental em coletar e compartilhar dados oficiais sobre a qualidade do ar

O compromisso em coletar dados oficiais confiáveis de monitoramento atmosférico com medidas claramente documentadas de garantia de qualidade e controle de qualidade em vigor é um primeiro passo óbvio e deve ser associado a um compromisso com a geração de dados abertos e acessíveis. Compartilhar dados incompletos ou não confiáveis apenas causará confusão e/ou desconfiança diante dos dados oficiais. Isso é sobretudo válido agora que é cada vez mais fácil para os membros do público comparar dados oficiais com informações não governamentais de acesso aberto que documentam um problema grave de poluição atmosférica, e isso inclui estimativas baseadas em satélites e monitores de poluição atmosférica em bases de embaixadas estrangeiras. Embora grande parte desses dados sejam confiáveis e tenham um alto controle de qualidade, a internet também fornece acesso generalizado e crescente a dados não validados de uma variedade de fontes menos confiáveis, incluindo sensores de menor custo que são vendidos como bens de consumo, resultando numa comunicação difundida sobre a qualidade do ar e que pode não estar fundamentada em fatos (86).

À medida que o planejamento e a implementação do monitoramento oficial estão ocorrendo, é necessário desenvolver políticas de compartilhamento de dados, planos e capacidade de gerenciamento de dados em paralelo para disponibilizar ao público dados oficiais sobre a qualidade do ar de forma transparente. Tais políticas exigirão apoio a nível executivo do governo, que deve ser avaliado e, se necessário, construído, como parte da organização geral em prol da melhoria da qualidade do ar para o processo de ação (veja no Capítulo 5). Como parte desse processo, devem ser avaliadas possíveis barreiras e soluções para tornar os dados abertos e acessíveis (consulte a seção 4.4).

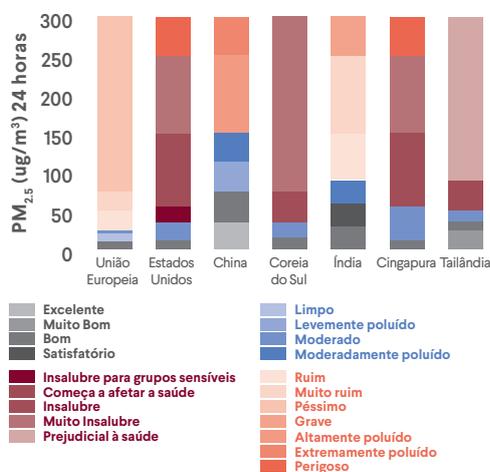
Em muitas cidades, pesquisadores, ONGs ou outras entidades (como embaixadas estrangeiras) podem estar coletando dados confiáveis de qualidade do ar. Tais entidades devem estar envolvidas no desenvolvimento de acordos de compartilhamento de dados e normas técnicas, tanto como provedores de dados quanto potenciais usuário

Episódios e avisos de poluição atmosférica de curto prazo

Sistemas de alerta ao público, como os que se baseiam em um índice de qualidade do ar (AQI, na sigla em inglês), já são utilizados há décadas. O AQI é geralmente uma dosagem de poluição atmosférica de curto prazo medida ou prevista para um parâmetro de curto prazo. Mais recentemente, o AQI tem sido amplamente adaptado em países de baixa e média renda. Embora úteis para aumentar a conscientização e promover mudanças de comportamento, os sistemas de alerta baseados em AQI têm sérias limitações para proteger a saúde pública, incluindo poucas evidências de benefícios à saúde em nível populacional ou prolongados. Em cidades altamente poluídas, grandes segmentos da população podem ter pouca ou nenhuma capacidade de reduzir suas exposições (38). Além disso, o AQI não considera os efeitos de multipoluentes e ignora os efeitos à saúde observados abaixo do nível mesmo sob normas regulatórias rigorosas para “poluentes de índice” isolados (39). Dizer que os níveis de poluição abaixo dos padrões regulatórios significam que a qualidade do ar está “boa” é sobretudo enganoso quando o AQI é baseado em índices limitados à viabilidade, em vez de um padrão verdadeiramente sanitário (Figura 4b – AQI).

Para tratar de algumas das limitações do AQI, o Índice de Salubridade da Qualidade do Ar do Canadá, também implementado em Hong Kong, reflete os riscos de multipoluentes à saúde abaixo dos padrões de qualidade do ar e distingue mensagens para populações com diferentes suscetibilidades à nocividade (40, 41).

Figura 4b
Categorias do índice de qualidade do ar (AQI) com base em concentrações de PM_{2,5} por países selecionados



Como o AQI é comumente baseado num padrão regulatório de qualidade do ar, as diferenças nos padrões de qualidade do ar e nas práticas locais levam a diferentes pontos de corte e termos para o AQI. As categorias do AQI são mais enganosas quando as normas regulatórias são baseadas principalmente na viabilidade, em vez de em evidências sobre os efeitos na saúde.

4.3

Criando e utilizando dados abertos e acessíveis: Objetivos e abordagens por fase

2

Comunicação periódica, acesso ampliado e desenvolvimento de interoperabilidade dos dados relevantes sobre a qualidade do ar

Durante esta fase, de forma oportuna, os dados oficiais sobre a qualidade do ar devem ficar facilmente disponíveis num formato adequado para grupos não técnicos interessados na qualidade do ar, incluindo o público em geral, e devem ser acompanhados de informações explicativas sobre conselhos e impactos à saúde, fontes e ações tomadas ou planejadas pelo governo (veja a seção 4.3 sobre “Episódios e avisos de poluição atmosférica de curto prazo”). As informações públicas sobre a qualidade do ar devem incluir informações diárias ou quase em tempo real, incluindo avisos sobre a qualidade do ar relacionados a saúde (barra lateral) e resumos periódicos (por exemplo, anuais).

Para usuários técnicos, os dados para pesquisa e modelagem devem ser compilados e disponibilizados mediante solicitação ou para serem baixados em formato legível por máquina. Se ainda não estiver em vigor, serão necessários esforços ativos para desenvolver padrões e sistemas para garantir a interoperabilidade de diferentes fontes de dados, estabelecendo as bases para o desenvolvimento de um sistema integrado (consulte a Figura 2e).

3

Expansão do acesso, da integração e comunicação dos dados sobre a qualidade do ar

Tendo sistemas em vigor para tornar rotineiro o monitoramento oficial atmosférico, que sejam facilmente acessíveis para usuários não técnicos e técnicos, o uso de dados, a vinculação e os relatórios devem ser expandidos para melhorar as informações públicas, tais como previsões de qualidade do ar, se disponíveis. Além disso, os relatórios de síntese devem se tornar mais relevantes para a política, vincular a qualidade do ar às principais fontes de poluição e, preferencialmente, fornecer estimativas quanto à carga de saúde da população relativas à poluição atmosférica, além dos benefícios para a saúde gerados pelas políticas de melhoria da qualidade do ar. Nesta fase, dados adicionais podem ser integrados e disponibilizados em formatos legíveis por humanos e máquinas, como dados sobre a atribuição de fontes e emissões, licenças de instalação e dados quanto a inspeção.

4

Desenvolvimento de um sistema de dados avançado e integrado sobre a qualidade do ar

Quando os dados oficiais sobre a poluição atmosférica forem totalmente abertos e acessíveis em formatos legíveis por humanos e máquinas, um monitoramento de maior resolução espacial pode ser capaz de embasar relatórios e mapas mais granulares. A integração numa única plataforma de dados não oficiais confiáveis, como de pesquisas de monitoramento e modelos, dados de tráfego, emissões de gases de efeito estufa e estimativas de sensoriamento remoto. Modelos de previsão mais complexos da qualidade do ar a curto e longo prazo podem ser automatizados e disponibilizados para o público geral. É necessário observar, no entanto, que esse nível de previsão intensa não é muito realizado, nem mesmo em países com sistemas de monitoramento da qualidade do ar muito avançados, e a aplicação prática dos resultados do modelo deve ser considerada antes da alocação de recursos adicionais.

4.4 Criando dados abertos: Barreiras e soluções

Leitura Relevante para a Fase de Dados Abertos

1 2

Apesar dos diversos benefícios potenciais, dados oficiais confiáveis sobre a poluição atmosférica não são acessíveis ao público em muitos países

Entre os países com monitoramento oficial ativo, o acesso a dados sobre a qualidade do ar gerados pelo governo varia significativamente. Com base em informações compiladas pela OpenAQ, uma plataforma de código aberto, há um certo nível de dados de poluição atmosférica disponíveis ao público em toda a Europa Ocidental, América do Norte, grande parte da Ásia e grande parte da América Latina. China, Nepal, Índia e outros países também tornaram seus dados de qualidade do ar, obtidos a partir de monitoramento terrestre, abertos em diferentes níveis. Lacunas nos dados disponíveis publicamente – somente às vezes devido à falta de monitoramento oficial – são vistas em grande parte da Europa Oriental, África e região do Caribe/América Central.

Mesmo em muitos países com dados disponíveis ao público, pode haver limites para dados totalmente acessíveis e legíveis por máquina. Na maioria dos casos em que são totalmente abertos, os dados de qualidade do ar de resolução subdiária (por exemplo, por hora) são fornecidos nos períodos atuais (por exemplo, quase em tempo real) e históricos por meio dos formulários para leitura humana (por exemplo, um site) e para leitura por computador (por exemplo, servidor FTP ou Interface de Programação de Aplicativos). Em casos em que são menos abertos, dados resumidos são fornecidos em formato de tabela ou gráfico em um site, talvez apenas em forma de índice de qualidade do ar específica para o país. Em casos cada vez mais raros, os dados de qualidade do ar não são disponibilizados, ou são apenas disponibilizados mediante solicitação formal a um funcionário do órgão.

Leitura Relevante para a Fase de Dados Abertos

1 2

Cidades e países podem expandir seus dados abertos sobre poluição atmosférica identificando barreiras técnicas, sociais, políticas ou financeiras existentes no local e implementando soluções adequadas

(1) Barreiras de alfabetização técnica e/ou capacidade: a falta de compreensão sobre a definição verdadeira de “dados abertos” pode ser uma barreira, já que os governos que compartilham diariamente dados sobre o Índice de Qualidade do Ar (AQI, na sigla em inglês) ao público podem acreditar que já estão fornecendo dados num formato apropriado. Os governos também podem não ter a capacidade e infraestrutura de tecnologia da informação para gerenciar e disponibilizar rotineiramente os dados de qualidade do ar.

Preocupações válidas quanto ao compartilhamento de dados de qualidade incerta podem impedir os esforços para a obtenção de um acesso aberto. Dados imprecisos podem prejudicar a confiança do público, gerar preocupação desnecessária e/ou perder eventos essenciais para a qualidade do ar. Superar essa barreira requer o estabelecimento e a garantia de (idealmente por meio de auditorias independentes):

- Procedimentos automatizados e claramente documentados para garantir a qualidade e a totalidade dos dados; e
- Verificação de que esses procedimentos estão sendo realizados e documentados de forma rotineira e precisa.

4.4

Criando dados abertos: Barreiras e soluções

Tabela 4c

Barreiras e soluções para os dados abertos sobre a qualidade do ar

	Barreiras	Soluções
Técnicas	Dados em formatos que não são facilmente compartilháveis ou disponíveis com detalhes suficientes	Parceria com especialistas técnicos; rotinas estabelecidas; scripts disponíveis; dados disponíveis legíveis por máquinas, de resoluções de estação, poluição e tempo
	Metadados e QA/QC não são acessíveis, qualidade dos dados incerta	Utilização e disseminação de padrões de metadados, implementação, documentação e compartilhamento de dados QA/QC e auditorias
	Dados indisponíveis em formato oportuno	Disponibilizar dados regularmente; automatizar a amostragem e o processamento de dados; combinar monitores em tempo real com amostragem integrada
Sociais/ Políticas	Coletores de dados díspares; falta de políticas de compartilhamento de dados	Acordos de coordenação e uso de dados; mudanças e desenvolvimento da política de dados abertos
	Medo do uso indevido de dados	Fornecer documentação clara dos dados; liberação e interpretação proativas dos dados; respostas em caso de interpretação errônea
	Medo da imprensa negativa; medo da recriminação pública	Promover plano de ação para a melhoria da qualidade do ar; envolver ministérios/especialistas em saúde para desenvolver informações sobre a saúde baseadas em fatos; treinar jornalistas
	Falta de reconhecimento/crédito quanto aos dados	Licenciamento de dados
	Falta de cultura de dados abertos	Desenvolver políticas de dados abertos; expectativas de liderança e incentivos para os dados que apoiem a política
Financeiras	Multas por excessos de poluição atmosférica que desencorajam os dados abertos	Mudanças nas políticas de aplicação
	Estruturas de taxas para acessar os dados	Cobrar pelo serviço de análise de dados em vez de cobrar pelos dados
	Capital e fundos contínuos insuficientes para ter um sistema de dados	Incorporar custos de dados abertos nos orçamentos e nas propostas de monitoramento

4

4.4

Criando dados abertos: Barreiras e soluções

Superar essas barreiras técnicas requer o desenvolvimento de padrões de dados, além de procedimentos e sistemas operacionais padronizados. Muitas vezes, é necessário fazer parcerias com especialistas externos que forneçam assistência técnica e treinamento.

(2) Barreiras Sociais e Políticas: hierarquias ou silos organizacionais também podem impedir a coordenação necessária para implementar dados abertos (87, 88). Essas barreiras são reforçadas em ambientes onde não existem políticas claras de dados abertos. Por exemplo, especialistas técnicos de órgãos governamentais podem não ter permissão para obter dados relevantes coletados por outros órgãos governamentais, ou os dados podem ser mantidos por diferentes órgãos de modo a dificultar a interoperabilidade e a integração. Embora isso raramente seja intencional ou projetado dessa forma, o compromisso político e recursos são necessários para quebrar esses silos de dados, possibilitando uma abordagem mais simplificada do gerenciamento de dados.

Em alguns casos, pode haver um receio de os dados serem mal utilizados, erroneamente atribuídos, ou questionados quando eles se tornam abertos. A abertura de dados pode ser percebida como uma abertura para reações negativas por parte do público sem ter meios para respondê-las. Assim, em cidades sem uma compreensão clara das fontes de poluição atmosférica e um plano realista visando a melhoria da qualidade do ar e capacidade de controlar as emissões, limitar o acesso a dados oficiais sobre a poluição atmosférica pode ser uma estratégia reflexiva. Comunicar um compromisso com um plano de ação em prol da melhoria da qualidade do ar, juntamente com o compartilhamento aberto de dados sobre a qualidade do ar, é uma alternativa construtiva e proativa a essa abordagem defensiva. Não fornecer dados abertos geralmente gera mais preocupação e desconfiança pública, pois muitas vezes isso é percebido como um movimento para minimizar a gravidade do problema e/ou atrasar a ação.

Outra possível barreira aos dados abertos sobre a qualidade do ar pode ser a falta de competência para comunicar com precisão os efeitos que a poluição atmosférica tem na saúde. A colaboração ativa com os órgãos de saúde pública e especialistas não governamentais pode construir capacidade para comunicá-los efetivamente e fornecer orientações sobre políticas eficazes e estratégias pessoais para reduzir o risco a curto e longo prazo. O treinamento de jornalistas por organizações independentes pode ser útil para promover informações baseadas em fatos que possam criar um suporte para as ações em prol da melhoria da qualidade do ar.

(3) Recursos financeiros: em situações com poucos recursos, investir na capacidade de compartilhamento de dados e infraestrutura pode ser uma preocupação secundária. Alguns órgãos governamentais temem que o fornecimento de dados abertos prejudique os fluxos de receita existentes, especialmente quando há uma taxa a pagar pelos dados que estão disponíveis atualmente. Dado o custo financeiro e de recursos humanos relativamente modesto necessário para criar e manter mecanismos de compartilhamento de dados legíveis por máquinas, os governos devem ser encorajados a investir na arquitetura de compartilhamento de dados, e os financiadores externos também devem ser encorajados a exigir a disponibilidade pública dos dados como condição para o financiamento, o que fortalece os sistemas de monitoramento da qualidade do ar.

4.5

Construindo um ecossistema de dados abertos e avançados sobre a qualidade do ar

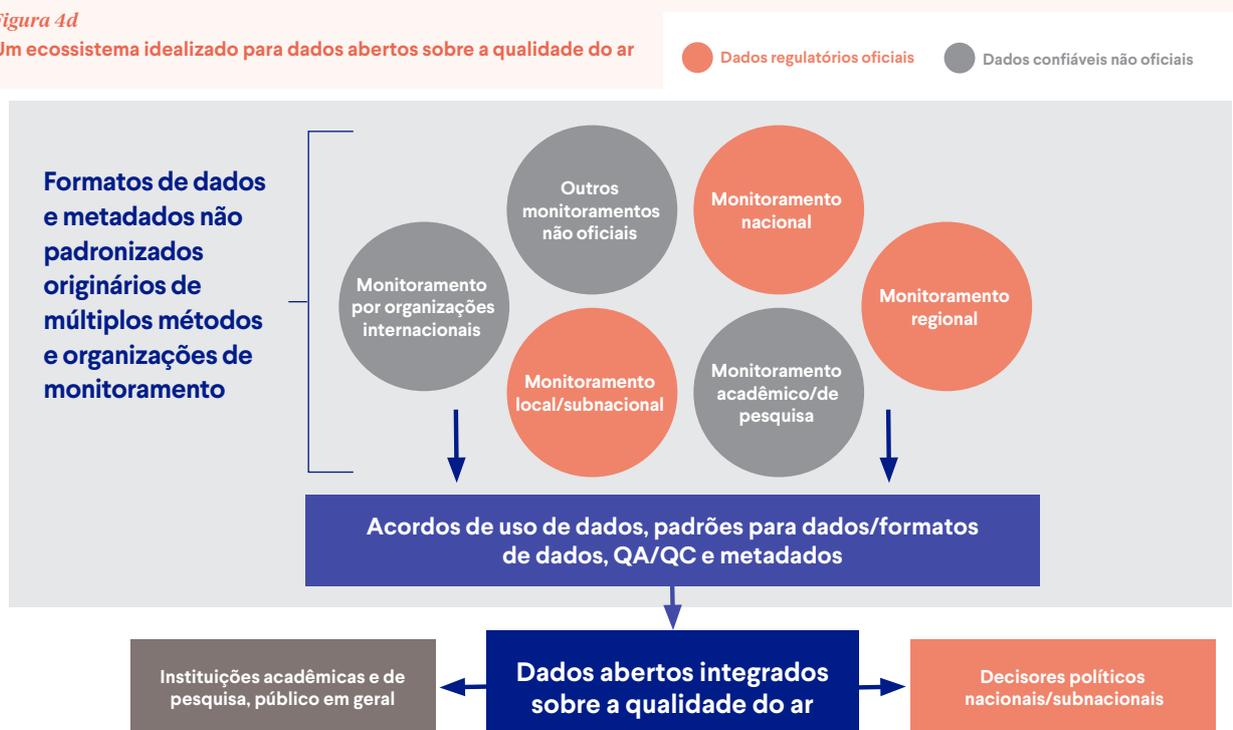
Leitura Relevante para a Fase de Dados Abertos

1 2 3

Um ecossistema ideal para dados abertos sobre a qualidade do ar deve maximizar a utilidade de dados oficiais e não oficiais confiáveis para usuários finais oficiais e não oficiais. Isso é análogo à concepção de sistemas eficazes de gestão da saúde, onde todos os dados de um único paciente podem ser acessados a partir de uma fonte comum pelo paciente e por seus profissionais da saúde para acompanhar e gerenciar sua saúde. Múltiplas aplicações podem ser sustentadas por uma abordagem técnica e plataformas que incluem uma série de fontes, formatos e usuários de dados.

Figura 4d

Um ecossistema idealizado para dados abertos sobre a qualidade do ar



Um sistema ideal deve acomodar dados de diversas fontes oficiais e não oficiais confiáveis.

O sistema deve ser capaz de:

- Incorporar dados de várias fontes oficiais governamentais e fontes confiáveis não oficiais e não governamentais;
- Compartilhar dados em formatos totalmente abertos e legíveis por computador que permitam que os dados sejam harmonizados e integrados (por exemplo, agregados e convertidos para um mesmo formato);
- Disponibilizar dados sobre a poluição atmosférica em camadas transparentes e abertas, incluindo:
 - dados brutos quase em tempo real
 - estimativas modeladas (por exemplo, com base em dados de sensoriamento remoto ou regressão do uso do solo)
 - formas sintetizadas de uso simplificado
 - metadados relevantes; e
- Habilitar ferramentas e aplicativos comunitários de código aberto que atendam usuários governamentais e não governamentais.

4.5 Construindo um ecossistema de dados abertos e avançados sobre a qualidade do ar

Idealmente, para maximizar a acessibilidade, os dados brutos e metadados correspondentes (por exemplo, uso do solo ao redor da estação, detalhes do instrumento etc.) devem ser disponibilizados num formato digital padrão, como um servidor FTP público ou uma API aberta e bem documentada para sua maior transparência e ampliada utilidade para múltiplos setores técnicos e científicos. Uma API de monitoramento atmosférico deve incluir, no mínimo, os seguintes elementos: nome do poluente do parâmetro, concentração, unidades de medida dos parâmetros (por exemplo, $\mu\text{g}/\text{m}^3$), data/hora, tempo médio em que a medição do intervalo foi feita, coordenadas geográficas da estação, nome da estação, atribuição/nome da fonte.

Listadas abaixo estão várias plataformas de compartilhamento de dados – algumas específicas para cidade e algumas globais – que foram desenvolvidas e fornecem algumas características de um ecossistema totalmente aberto:

1. [SIATA-Medelín \(Colômbia\)](#) (89) e [AirNow da EPA \(Estados Unidos\)](#) (90): os dados sobre a qualidade do ar quase em tempo real são compartilhados por meio de uma interface de usuário de simples acesso para o público, bem como uma API e/ou servidor FTP abertos. Isso permite que os dados sejam captados por ferramentas técnicas e harmonizados com outras fontes de dados em outras plataformas.
2. [Central de Controle para Gestão da Qualidade do Ar \[Central Control Room for Air Quality Management\] – toda a Índia](#) (91): portal da web para visualizar o status operacional contínuo da estação de monitoramento da qualidade do ar, além de possibilitar a seleção e o download de dados para análise suplementar por local e parâmetro.
3. [Londonair](#) (92): um abrangente portal de dados da web para a *London Air Quality Network*, fornecendo acesso a dados em tempo real, previsão e dados anteriores, visualizações de dados e informações explicativas para Londres e o sudeste da Inglaterra. É gerenciado pela *King's College London* em nome de autoridades locais e outras organizações que financiam o monitoramento e a gestão de dados. Londonair está entre os portais de dados de qualidade do ar urbano mais flexíveis e fáceis de usar.
4. [Análise do Ar na Comunidade da Cidade de Nova York \[New York City Community Air Survey\] \(Estados Unidos\)](#) (93): a plataforma [NYCOpenData](#) (94) fornece um conjunto de dados e metadados atualizados anualmente para estimativas de resolução de 300 metros e nível raster para múltiplos poluentes derivados de modelos de regressão do uso do solo. Estimativas desses dados resumidas a nível de bairro, bem como gráficos e tabelas de dados de monitoramento regulatório estão disponíveis num [Portal Interativo de Dados Ambientais e Sanitários de NYC](#) (95).
5. Compartilhamento de dados globalmente harmonizados: o [OpenAQ](#) (96) fornece uma alimentação de dados legíveis por back-end/máquinas para mais de 10.000 estações em mais de 70 países, harmonizando várias fontes governamentais para facilitar a análise dos dados e o desenvolvimento de ferramentas de fonte aberta para utilizar ainda mais os dados.



**Estudos
de caso de
cidades com
inovações de
dados abertos
em ação:**

**Cidade de
Nova York**

Organização para a Ação

5.1 Introdução: A importância da liderança e coordenação executiva do governo

O desenvolvimento e a implementação bem-sucedida de uma gestão eficaz da qualidade do ar requerem mais do que apenas possuir os dados e conhecimentos técnicos certos; a vontade política, liderança governamental, abordagem intersetorial e coordenação de parceiros são essenciais para:

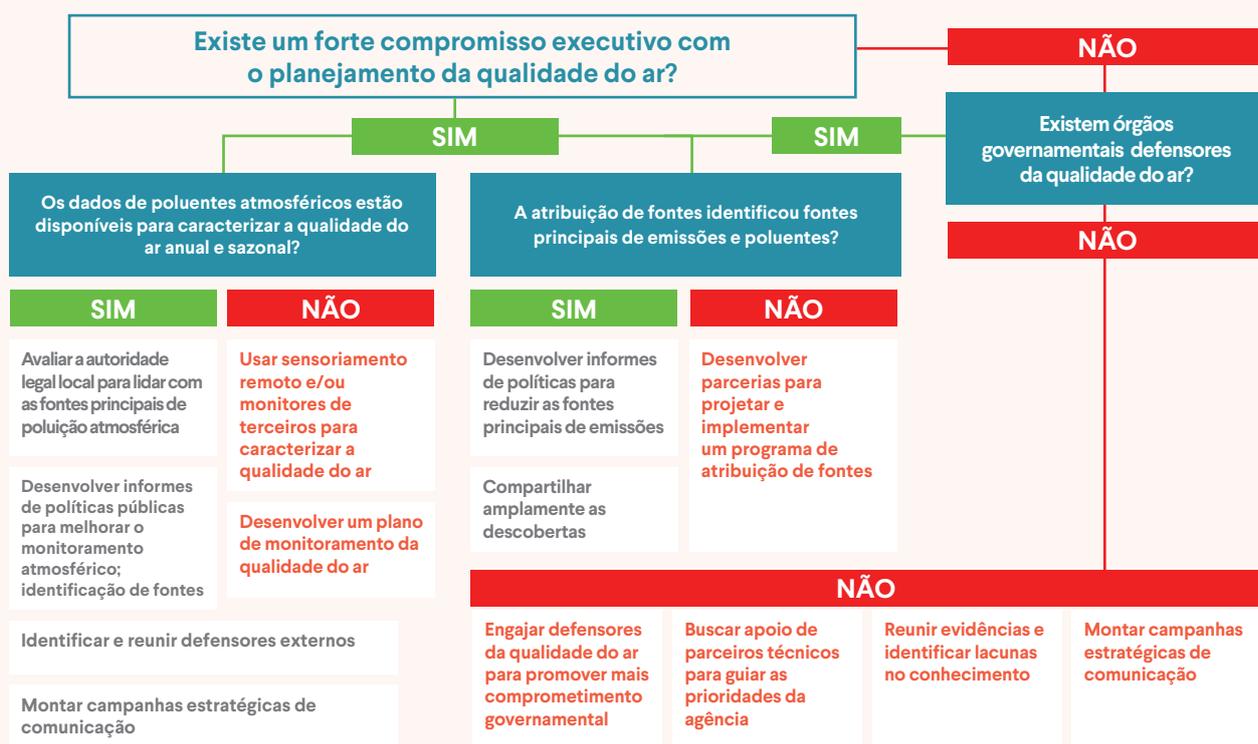
1. Construir e sustentar sistemas para monitorar a qualidade do ar e avaliar fontes;
2. Usar dados para estabelecer prioridades e planejar medidas de controle;
3. Implementar e assegurar ações visando a melhoria da qualidade do ar; e
4. Comunicar avanços, riscos à saúde e benefícios dos controles para sustentar o apoio público.

Em áreas urbanas altamente poluídas, o planejamento inicial de ações para a melhoria da qualidade do ar lideradas pela prefeitura exige uma abordagem mais flexível que

o planejamento convencional de gestão da qualidade do ar em países de alta renda. Independente da situação local, o ponto de partida da organização para melhorar a qualidade do ar depende do nível de engajamento e comprometimento do governo. Garantir o compromisso do nível executivo (prefeito, governador ou equivalente) é necessário para obter avanços concretos, mas se falta comprometimento, medidas podem ser tomadas para ajudar a convencer o governo da necessidade de agir e para impulsionar a demanda por um maior engajamento. O fluxograma abaixo (Figura 5a) fornece uma visão geral dos próximos passos para aprimorar esse compromisso em cada fase de engajamento, e como a avaliação da capacidade técnica e o uso de dados contribuem para o apoio à ação governamental e à política de informação. Os estudos de caso em cidades anexados a este guia oferecem exemplos de como as cidades em várias etapas da compreensão da qualidade do ar e do compromisso político tomaram atitudes iniciais específicas para progredir.

Figura 5a

Pontos de partida e passos para organizar ações em prol da melhoria da qualidade do ar



5.2

Construindo e mantendo um compromisso governamental: Quatro metas políticas essenciais

Identificar e promover a liderança política. A nível municipal, prefeitos ou outros executivos têm uma influência significativa sobre o discurso e a direção dos recursos. Os órgãos legislativos também podem liderar o processo político para conduzir uma cidade em direção a um ar mais limpo. Seu engajamento direto é fundamental. Caso não haja esse engajamento, os defensores geralmente podem ser encontrados em agências técnicas que estão cumprindo missões mais direcionadas em torno de transporte, planejamento, energia e desenvolvimento econômico.

Obter e manter o compromisso político. O compromisso político pode ser iniciado por uma liderança forte, mas é mais provável que sobreviva à mudança de liderança quando for sustentado por meio da descentralização do conhecimento, do engajamento público contínuo, do compartilhamento de avanços e da justificativa contínua para o investimento de recursos humanos e fiscais. O compromisso político ocorre quando a questão da qualidade do ar se torna um objetivo aceito e explicitamente articulado, assim como a maioria das cidades já percebeu e agora está trabalhando para melhorar a qualidade da água, das ruas e estradas, aprimorar o manejo de resíduos, aumentar as oportunidades de trabalho e educação.

Avaliar a capacidade técnica atual (consulte os Capítulos 2, 3 e 4), identificar e desenvolver conhecimentos relevantes dentro de órgãos governamentais e utilizar parcerias técnicas com instituições de pesquisa e/ou consultoria especializada para construir capacidade rapidamente. Mão de obra experiente e especializada atuando dentro de órgãos públicos apoia a continuidade da geração de dados e conhecimentos e permite que as tarefas de gestão e melhoria da qualidade do ar se incorporem às missões de entidades governamentais permanentes. Em muitos casos, pode ser apropriado que as agências terceirizem o trabalho técnico por meio de convênios formais com parceiros acadêmicos ou outros. Exemplos dessas parcerias são o GeoHealth Hub em Adis Abeba (97), a London Air Quality Network da King's College London (92), o Marine Emission Inventory da Universidade de Ciência e Tecnologia de Hong

Kong (98), bem como o New York City Community Air Survey da Queens College (93) (consulte os estudos de caso de Hong Kong e Nova York para ver mais detalhes). Mas mesmo que tais parcerias sejam usadas, as agências de saúde, meio ambiente, transporte, energia e outros órgãos devem continuar liderando a disseminação de dados e o desenvolvimento e a avaliação de políticas. Para impulsionar o engajamento governamental, as parcerias podem incluir o destacamento de pessoal para órgãos governamentais de acadêmicos ou outros parceiros técnicos.

Construir e engajar um eleitorado público para uma ação contínua de melhoria da qualidade do ar. Todas as políticas de saúde ambiental podem parecer terem vencedores e perdedores. Promover e implementar políticas de proteção à saúde e ao meio ambiente custa dinheiro, e frequentemente envolve perturbações temporárias no status quo político e orçamentário. Tributação, mudança de subsídios, gasto de recursos na melhoria do monitoramento atmosférico, regulamentação das emissões, obrigatoriedade do combustível limpo e coisas semelhantes, dependem da crença do público de que essas mudanças são benéficas, necessárias e melhores que as alternativas. Cidadãos comuns, defensores, ONGs e outras organizações precisam e merecem dados e engajamento; e sua contribuição deve ser solicitada e valorizada. Em alguns cenários, os esforços estratégicos de comunicação precisarão abordar percepções equivocadas generalizadas sobre os efeitos, as fontes e soluções da poluição atmosférica (99). Assim como a capacidade para aspectos técnicos da gestão da qualidade do ar pode exigir a assistência de parceiros especializados externos, pode ser necessária uma assistência estratégica de comunicação para apoiar um programa ambicioso visando a melhoria da qualidade do ar.

5

5.3

Organização para a Ação: Estratégias e recursos

Prefeituras possuem alavancas e autoridades importantes para promover a melhoria da qualidade do ar

Um passo importante no desenvolvimento de um plano de ação para a melhoria da qualidade do ar na cidade é avaliar a autoridade atual de uma cidade para regulamentar ou tomar outras atitudes que possam reduzir as emissões locais. Embora a divisão de autoridade entre governos locais, estaduais e nacionais varie amplamente, na maioria dos casos, as cidades podem usar uma ou mais das seguintes alavancas para apoiar a ação para a melhoria da qualidade do ar.

1. As prefeituras podem atuar para controlar fontes dentro de sua jurisdição, por exemplo, investindo em transporte público limpo e dando mais prioridade aos veículos de transporte público que aos veículos automotores privados nas ruas da cidade. Elas podem ter autoridade para estabelecer padrões de tecnologia limpa para outras frotas de veículos de propriedade ou regulamentadas pela cidade, ou investindo numa melhor gestão de resíduos sólidos para reduzir a queima de lixo;
2. Os executivos da cidade podem aproveitar sua autoridade para convocar agências muitas vezes ensiladas para alinhar iniciativas e políticas relevantes, como a mitigação das mudanças climáticas, que podem influenciar na melhoria da qualidade do ar. Por exemplo, o desenvolvimento do plano de ação climático de uma cidade é uma oportunidade para avaliar os níveis de poluição atmosférica, fontes locais, além de custos e benefícios de estratégias alternativas de controle (por exemplo, veículos elétricos ou combustíveis limpos e excelentes controles de emissões). Outros exemplos são os investimentos em transporte público e subsídios para promover a adesão, melhorar a caminhabilidade e a infraestrutura para bicicletas, bem como a política de zoneamento e habitação, e a expansão de áreas verdes.
3. As cidades podem convocar os principais interessados locais para promover ações voluntárias de conservação de energia, mudança de modo de tráfego, uso pertinente dos gastos de responsabilidade social corporativa e mitigação do clima.
4. As cidades podem coordenar a assistência técnica de especialistas relevantes de governos internacionais em cooperação e credores multilaterais, instituições acadêmicas locais e internacionais, ONGs, organizações multinacionais e de classes (como o C40 e alianças entre prefeitos).

Políticas nacionais de habilitação também são necessárias para apoiar a melhoria da qualidade do ar nas cidades

Cidades em países onde não há leis concretas sobre a melhoria da qualidade do ar muitas vezes enfrentam limitações legais e práticas de sua capacidade de agir localmente, como estabelecer padrões de emissões por combustíveis e veículos privados, limitar as emissões de usinas elétricas e direcionar opções de combustível para fontes mais limpas e renováveis. Embora a maioria dos países em todo o mundo agora tenha padrões ambientais para a qualidade do ar, o progresso para alcançar esses padrões é dificultado não apenas por carência de dados, mas também por uma capacidade limitada de monitoramento e aplicação, leis e regulamentações inadequadas para controlar as principais fontes, além de barreiras políticas para ações efetivas (100). Atualmente em falta em muitos países, por exemplo, estão as normas modernas de combustíveis e emissões de veículos, usinas elétricas e indústrias limpas, ou a capacidade de implementar alternativas e controles para a queima de resíduos agrícolas (101, 102).

5.3

Organização para a ação: Estratégias e recursos

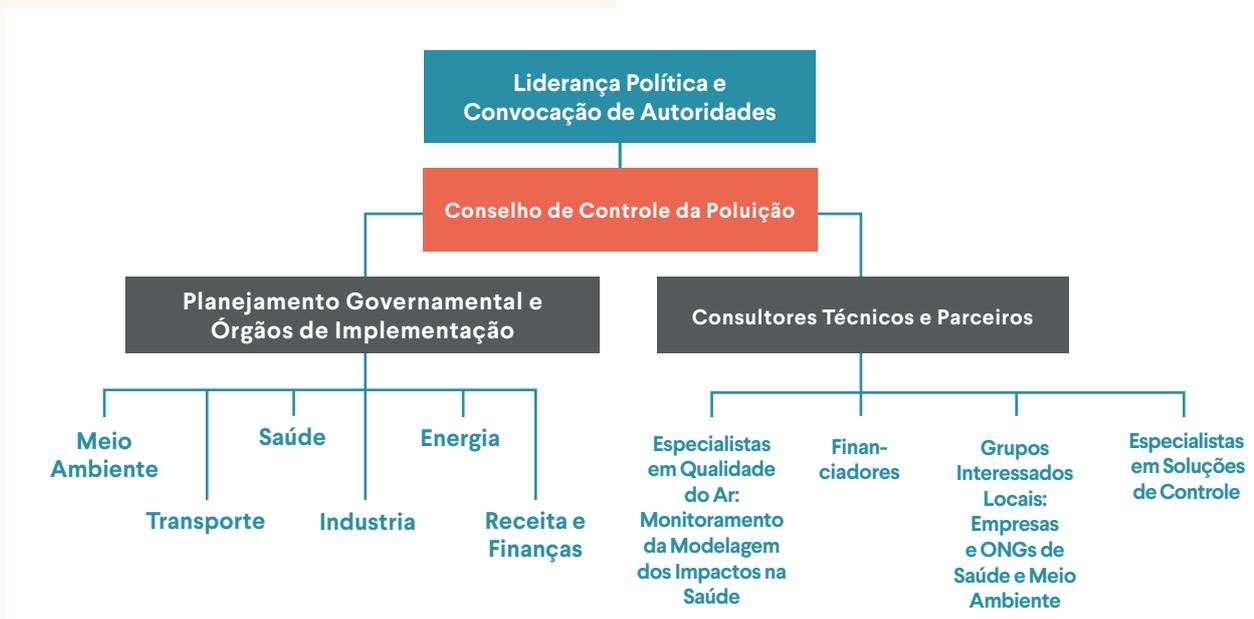
As prefeituras podem usar sua influência para ajudar a moldar políticas de melhoria da qualidade do ar regionais e nacionais mais amplas. Além de serem polos de mobilização da sociedade civil, as cidades podem promover e participar do estabelecimento do planejamento e das organizações regionais de gestão da qualidade do ar ou colaborar com organizações de parcerias municipais para o fomento dessas ações.

A parceria organizada entre entidades governamentais, especialistas técnicos, sociedade civil, setor privado e outros é necessária para acelerar e sustentar ações em prol da melhoria da qualidade do ar

As cidades devem envolver e coordenar o trabalho de agências e parceiros relevantes em seus esforços para melhorar a qualidade do ar.

Parceiros e consultores técnicos, como engenheiros, cientistas ambientais, economistas, epidemiologistas e outros de universidades locais ou internacionais e organizações de pesquisa, podem ter um valor inestimável na aceleração do planejamento e da ação inicial e na construção de capacidade sustentável que os governos podem não dominar, como a seleção e instalação de monitores de poluição atmosférica, modelagem de emissões e atribuição de fontes, modelagem do impacto na saúde e na economia, soluções de controle multissetorial e tecnologia. As parcerias técnicas são mais eficazes na construção e manutenção da capacidade quando operam sob uma relação formal com o governo.

Figura 5b
Como organizar múltiplos órgãos e parceiros



Os elementos essenciais incluem liderança executiva do governo e função de convocação, representação e coordenação entre os principais órgãos governamentais e parceiros não governamentais. Dependendo das autoridades do contexto local, podem estar envolvidos vários níveis de governo (local, estadual, nacional) com mandato para regulamentação, execução, investimento e planejamento.

5

5.3

Organização para a ação: Estratégias e recursos

Consultores jurídicos e políticos também podem ser parceiros valiosos na concepção de soluções para a melhoria da qualidade do ar. Cidades e regiões normalmente têm mais autoridade para regular fontes de emissões locais do que fontes além de suas fronteiras. As cidades podem envolver seus escritórios de advocacia, poderes judiciários e especialistas jurídicos acadêmicos externos para fazer inventários e interpretar leis relevantes, bem como decisões judiciais e de apelação que permitam às cidades oportunidades de política regulatória, jurídica e fiscal. Especialistas podem ajudar a elaborar soluções criativas. Por exemplo, a maioria das cidades pode fazer escolhas cientificamente embasadas sobre a compra de frotas veiculares que estão sob controle municipal, mesmo que não possam regular as normas de emissões para veículos particulares. Em alguns países, as cidades podem optar por comprar eletricidade usada pelo governo a partir de fontes de combustível renováveis, mesmo que não possam proibir o uso de carvão ou outros combustíveis fósseis que afetam a qualidade do ar.

Defensores e organizações da sociedade civil podem ser úteis e até essenciais para a construção dos círculos eleitorais necessários para o apoio da ação. Associações de médicos e professores de medicina podem ajudar na comunicação pública, legitimando os riscos e benefícios à saúde, além de poderem fornecer o respaldo necessário para propostas de políticas de melhoria da qualidade do ar. Organizações de defesa ambiental e outras organizações de defesa civil podem oferecer apoio para melhorias no monitoramento e na identificação de fontes, além de uma maior transparência governamental. Eles podem ser encorajados a mobilizar o apoio público para as políticas de melhoria da qualidade do ar. Onde existe autoridade fora da cidade ou do controle regional, as cidades podem engajar os defensores para socializar com os formuladores de políticas e o público a esperar uma ação nacional em seu nome. Conforme discutido no Capítulo 4, a construção de uma relação construtiva com a sociedade civil depende, em parte, do compartilhamento de dados e informações confiáveis sobre a qualidade do ar, fontes de poluição, impactos à saúde e planos de ação.

Parceiros financiadores como filantropos, doadores e credores podem dar apoio ao planejamento e à assistência técnica e podem compartilhar as lições aprendidas com outras jurisdições. Governos nacionais são mais propensos que as prefeituras a desenvolver propostas de financiamento para grandes melhorias de capital que podem ser utilizadas para melhorias na qualidade do ar, mas muitos conjuntos de financiamentos internacionais são inexplorados por falta de propostas significativas e impactantes. As cidades devem considerar o desenvolvimento de propostas para acessar o Banco Mundial, bancos de desenvolvimento regional, o Fundo Verde para o Clima e capital de risco para modernizar frotas, melhorar o transporte público, redesenhar ruas, promover combustíveis renováveis e mais limpos e construir capacidade dentro do governo para essas atividades.

Embora financiamento externo possa ajudar a catalisar o planejamento inicial e o desenvolvimento de políticas, é importante planejar e orçar recursos governamentais locais sustentáveis para funções fundamentais de gestão da qualidade do ar, como monitoramento, inspeções e aplicação. A experiência mostrou que é insustentável depender apenas de subsídios externos e financiamentos por tempo limitado.

Organizações internacionais também estão disponíveis para ajudar as cidades que buscam avaliar e controlar a poluição atmosférica e aumentar a capacidade local para uma gestão contínua da qualidade do ar. Essas parcerias entre as prefeituras servem como um mecanismo de troca de conhecimento ou de estabelecimento de redes regionais para tratar das fontes compartilhadas de poluição transfronteiriça. Consulte no Anexo 7 uma lista com algumas organizações internacionais que fornecem assistência técnica adicional ou suporte para convocação.

5.4

Desenvolvendo e atualizando planos de ação para melhorias da qualidade do ar nas cidades

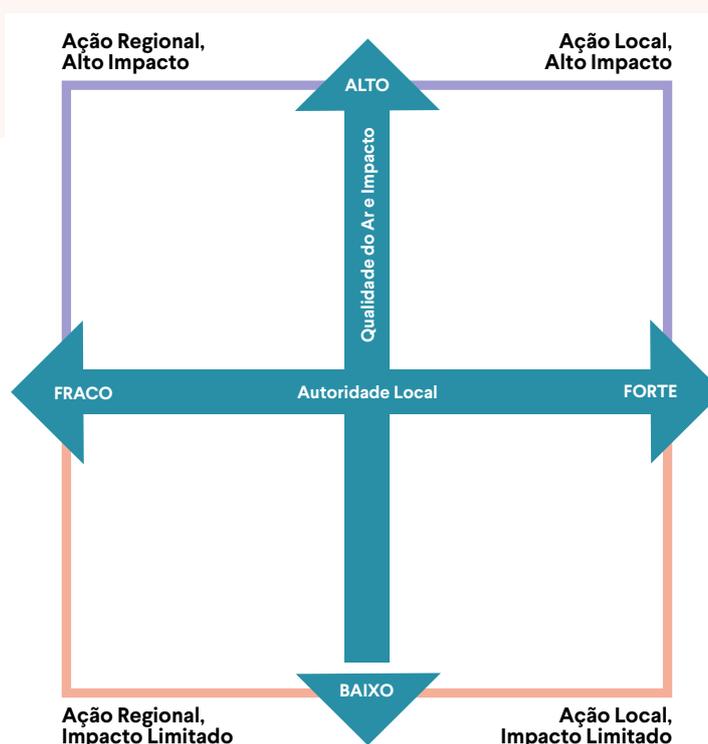
O processo de formalização e publicação de um plano de ação para a melhoria da qualidade do ar deve envolver a participação de grupos interessados governamentais e não governamentais multissetoriais. O plano pode assumir muitas formas – abrangentes ou modulares à medida que os componentes são concluídos; impresso ou on-line – mas deve evoluir à medida que mais dados se tornam disponíveis e mais políticas são selecionadas para abordar os poluentes atmosféricos. Os objetivos abordados pelo plano devem incluir:

1. A confirmação e documentação de que os níveis de poluição atmosférica são altos o suficiente para prejudicar a saúde pública e de que as ações em prol da melhoria da qualidade do ar são necessárias (veja o Capítulo 2 sobre o monitoramento).
2. A avaliação e divulgação das emissões e fontes locais (consulte o Capítulo 3 sobre emissões e fontes). O resumo dos dados disponíveis sobre emissões locais.
3. A avaliação das opções de controle local, atenção à autoridade legal e regulatória, os custos estimados e outras necessidades de recursos, oportunidades e limitações.
4. A categorização de fontes locais e opções de controle e definição de prioridades de acordo com seu potencial impacto sobre as emissões, autoridade local, custo-efetividade e viabilidade. A Figura 5c fornece uma estrutura sugerida para essa etapa. Se possível, modele ou use dados, abordagens e ferramentas descritas no Capítulo 3 para avaliar potenciais impactos na qualidade do ar.
5. A identificação e priorização das limitações de dados e necessidades de melhoria em áreas incluindo o monitoramento ambiental e a avaliação de emissões e fontes.
6. A avaliação das limitações de capacidade e identificação das necessidades adicionais de recursos físicos e humanos para controlar prioridades e dados.
7. O desenvolvimento de um plano de ação de curto prazo (de dois a cinco anos) visando a melhoria da qualidade do ar, que inclua:
 - Medidas de controle prioritário, com responsabilidades do órgão;
 - Indicadores de dados de progresso da implementação;
 - Planos de melhoria de dados; e
 - Planos de construção de capacidade.
8. O desenvolvimento uma agenda de políticas e de ação nacional de longo prazo (cinco a 20 anos) para a bacia aérea regional.

Figura 5c

Matriz de planejamento do controle de fontes

Classificação das prioridades iniciais para a ação visando a melhoria da qualidade do ar com base na avaliação das emissões e fontes que contribuem para a poluição atmosférica ambiental (Capítulo 3) e autoridades locais (este capítulo). A maior prioridade para ações de curto prazo são as principais fontes locais favoráveis a controles escaláveis e viáveis (alto impacto na qualidade do ar) que o governo local tem autoridade para implementar.



5.5

Conclusão: O papel crucial do governo na aceleração de melhorias da qualidade do ar

As inovações, combinadas com abordagens convencionais e comprovadas de gestão da qualidade do ar, fornecem ferramentas técnicas que possibilitam um progresso muito mais rápido rumo à melhoria da qualidade do ar do que aquele alcançado em países de alta renda nas últimas décadas. As estruturas para a aplicação dessas ferramentas técnicas foram descritas nos Capítulos 2, 3 e 4 deste guia.

Traduzir essas ferramentas técnicas para progressos efetivos, rápidos e contínuos **requer liderança política e compromisso com o avanço do direito ao ar limpo**, bem como organização eficaz e sustentada, parcerias, planejamento e implementação.



Estudos de caso de cidades com inovações de monitoramento em ação:

Cidade de Nova York

Hong Kong

Pequim

Bangkok

Vale de Katmandu

Cidade de Battambang

Accra

Estudos de Caso



Resumo de estudos de casos de inovação



Cidade	Inovações Aplicadas	Ações
Cidade de Nova York, EUA		Eliminação gradual do óleo de aquecimento com alto teor de enxofre
Hong Kong, China		Redução de emissões marinhas
Pequim, China		Troca do carvão para o gás natural
Bangkok, Tailândia		Estratégia de controle da poluição veicular
Vale de Katmandu, Nepal		Reprojeto de olarias de tijolos
Cidade de Battambang, Camboja		Mitigação da queima de lixo a céu aberto
Accra, Gana		Compreensão da contribuição de uma fonte específica para embasar sua priorização
Oakland, EUA		Mapeamento de alta resolução espacial na poluição atmosférica em áreas urbanas

Cidade de Nova York, EUA



Uma transição para combustíveis de aquecimento mais limpos por meio de inovações no monitoramento, nos dados de emissão e na modelagem



A cidade de Nova York (NYC, na sigla em inglês) tem a maior população (mais de 8,6 milhões em 2017) e densidade populacional de qualquer cidade dos Estados Unidos (179). Embora já abrigue muitas indústrias, a economia de Nova York hoje, medida pelos empregos, é dominada por setores de serviços, incluindo saúde e educação, tecnologia da informação, varejo, finanças, imobiliário, lazer e hotelaria (180). Depois de passar por uma estagnação e um declínio populacional da década de 1960 até grande parte da década de 1980, a população de Nova York tem crescido constantemente, tendo aumentado mais de 5% desde 2010.

Principais grupos interessados envolvidos no esforço de Nova York para melhorar a qualidade do ar

- **Ministérios governamentais** (por exemplo, o Departamento de Saúde de Nova York)
- **Parceiros e consultores técnicos**
- **Consultores jurídicos e políticos**

O problema

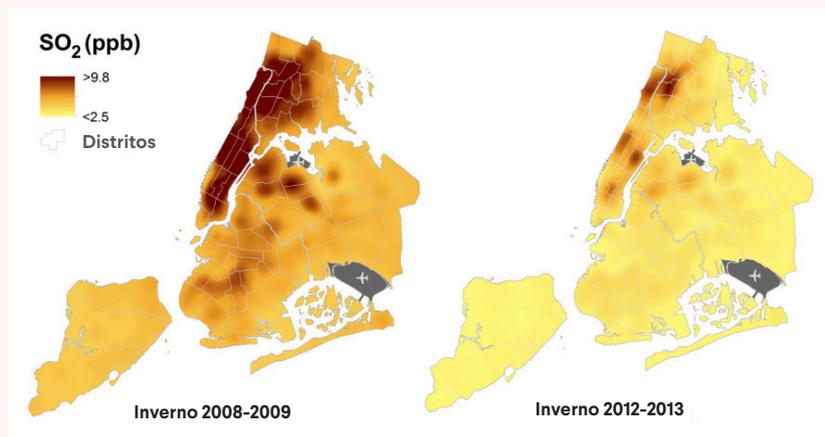
A qualidade do ar em Nova York vinha melhorando desde 2007, com níveis de $PM_{2.5}$ próximos de atingir os Padrões Nacionais de Qualidade do Ar (NAAQS, na sigla em inglês) desde 2000 (181). No entanto, a poluição atmosférica seguiu sendo uma das ameaças ambientais mais significativas aos residentes de Nova York, contribuindo para cerca de 6% das mortes prematuras anualmente (182).

O sistema de monitoramento regulatório do ar de Nova York, gerenciado pelo Departamento de Conservação Ambiental do Estado de Nova York, condiz com as normas nacionais para atender à exigência legal do Estado de desenvolver programas para alcançar os NAAQS. O sistema de monitoramento incluiu 22 monitores de $PM_{2.5}$, mas apenas três para monitorar os poluentes gasosos dióxido de enxofre (SO_2) e óxido de nitrogênio (NO_x) pela cidade de aproximadamente 780 quilômetros quadrados, o que era uma quantidade muito escassa para identificar focos de poluição locais e fontes de emissões (181).

Monitoramento local aprimorado identifica uma grande fonte de poluição

Em 2007, a cidade de Nova York iniciou seu primeiro plano multissetorial de sustentabilidade ambiental de longo prazo, conhecido como PlaNYC, para melhorar os principais sistemas de infraestrutura, ambientes naturais e indicadores ambientais da cidade. O PlaNYC incluiu uma série de iniciativas de qualidade do ar com o objetivo de alcançar o “ar mais limpo” que o de qualquer grande cidade dos Estados Unidos (183). Dada a cobertura espacial limitada do sistema de monitoramento atmosférico já existente em Nova York, o Departamento de Saúde da cidade lançou um monitoramento de poluição mais geograficamente intensivo sob o PlaNYC conhecido como *New York City Com-*

Concentrações estimadas de SO₂, inverno 2008-2009 e inverno 2012-2013



Source: New York City Trends in Air Pollution and its Health Consequences, Sept 2013 Report, available at <https://www1.nyc.gov/assets/doh/downloads/pdf/environmental/air-quality-report-2013.pdf>

munity Air Survey (NYCCAS, na sigla em inglês) em 2008, para avaliar a variação espacial da poluição atmosférica entre os bairros, identificar importantes fontes locais e informar as medidas locais para a melhoria da qualidade do ar.

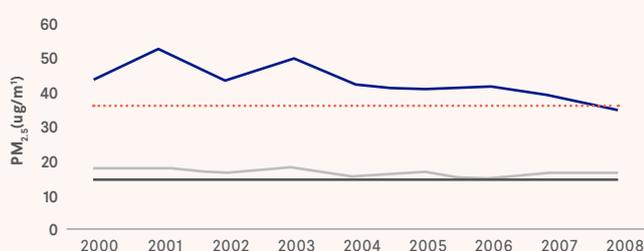
A NYCCAS implantou uma rede de forma espacial densa com 100 a 150 amostradores integrados – projetados por uma universidade local parceira – para medir os poluentes mais relevantes. Os dados dos amostradores foram analisados juntamente com monitores regulatórios localizados em conjunto para validar medidas e ajustar segundo a variação temporal. Os dados foram então combinados com dados do SIG sobre indicadores de emissões locais de tráfego, edifícios e outras fontes em modelos de regressão do uso do solo que estimavam a variação espacial da poluição em toda a cidade (184).

A análise revelou uma forte associação entre as concentrações médias de SO₂ e níquel em partículas finas (PM_{2,5}, na sigla em inglês) e o número de caldeiras de edifícios queimando óleo com alto teor de enxofre no raio de um quilômetro da localização da amostra durante o inverno de 2008-2009, o que sugere que o combustível de aquecimento rico em enxofre é uma das principais fontes de poluição atmosférica do bairro (185, 186). Na época, estima-se que 10.000 edifícios de Nova York queimaram os combustíveis de aquecimento com mais poluentes (ou seja, os de número 4 e 6), que produziram maiores emissões tanto de SO₂ quanto de PM_{2,5}. Esses edifícios – que representam apenas 1% de todos os edifícios da cidade – causaram emissões de PM_{2,5} semelhantes àsquelas de todos os veículos automotivos rodando por toda a cidade (187).

Melhorando as emissões locais e modelagens

Uma avaliação subsequente do impacto na saúde usou dados de emissões refinados e es-

Tendência das concentrações anuais de PM_{2,5} no ambiente na Cidade de Nova York entre 2000 e 2008



As máximas mostradas são a concentração de 58% de PM_{2,5} em 24 horas e a quarta maior concentração máxima diária de ozônio dentro de oito horas num ano.

Fonte: Sistema de Qualidade do Ar (AQS, na sigla em inglês) da EPA dos EUA

■ Concentração Máxima em 24 Horas ■ Concentração Média Anual
 ■ Padrão Regulatório de 24 Horas ■ Concentração Anual do Padrão Regulatório

Fonte: Sistema de Qualidade do Ar (AQS, na sigla em inglês) da EPA dos EUA

parcialmente alocados – que foram atualizados pelos dados fiscais de Nova York sobre o tamanho do edifício e os dados de licenças ambientais do tipo de combustível da caldeira – para refletir melhor as localizações e quantidades do uso de óleo no sistema de aquecimento.

A avaliação utilizou a modelagem atmosférica para estimar reduções de PM_{2,5} numa resolução de 1 quilômetro, benefícios para a saúde resultantes de mudanças para sistemas de aquecimento limpos até 2013 e benefícios adicionais da eliminação por completo do óleo de aquecimento com alto teor de enxofre antes do prazo de 2030 (188). Em comparação com um cenário sem nenhuma mudança, com o uso de óleo para aquecimento igual ao de 2008, o estudo estimou que a eliminação completa do óleo de aquecimento com alto teor de enxofre poderia evitar impactos anuais na saúde relativos a 290 mortes prematuras, 180 internações por doenças respiratórias e cardiovasculares e 550 atendimentos de emergência para crises de asma.



Exaustão de uma caldeira usando óleo de aquecimento com alto teor de enxofre.

Fonte: <https://www.nyccleanheat.org/content/problem>
 Créditos de fotografia: Patti McConville

Organizando ações em prol da melhoria da qualidade do ar

Os resultados da NYCCAS ajudaram a estimular regulamentações e leis locais e estaduais que exigiram uma eliminação gradual do óleo de aquecimento número 6 até 2015, do óleo de aquecimento número 4 até 2030 e uma redução do teor de enxofre nos óleos número 2 e 4 em 2012 (188). As conversões para combustíveis de aquecimento mais limpos começaram na preparação antecipada a esses prazos, auxiliadas pela queda nos preços do gás natural e por um programa municipal para auxiliar os proprietários de edifícios no planejamento de suas conversões. Em 2013, as concentrações de SO₂ no inverno caíram 69%, enquanto as concentrações de níquel diminuíram 35% (187).

O prefeito de Nova York criou um Gabinete de Planejamento e Sustentabilidade de Longo Prazo como parte do processo do PlaNYC para convocar várias agências municipais, coordenar suas atividades e estabelecer sistemas para rastrear e relatar avanços na implementação de muitos programas de sustentabilidade. O financiamento resultante estabeleceu um novo programa de monitoramento e epidemiologia da poluição atmosférica integrado a uma vigilância da saúde ambiental com diversos cargos técnicos e parcerias acadêmicas. A liderança do prefeito promoveu a colaboração entre agências facilitando o programa de aquecimento limpo e outras ações para a melhoria da qualidade do ar que ele defendeu. Após ter sido estabelecido o impacto local do óleo de aquecimento com alto teor de enxofre baseado nos dados de monitoramento do departamento de saúde, foram utilizadas licenças de caldeiras do Departamento de Proteção Ambiental e dados em construção para melhor alocar de forma espacial os dados

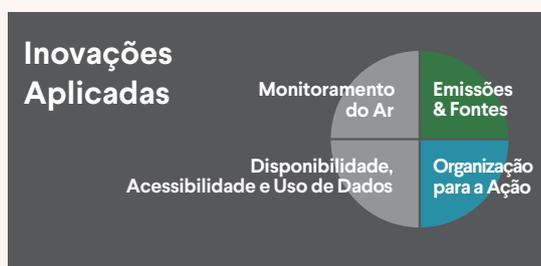
de emissões de aquecimento para dar apoio à modelagem de atribuição de fontes ascendente. Parcerias entre agências levaram a mais iniciativas de política em prol da melhoria da qualidade do ar e das ações climáticas. As melhorias no monitoramento, nos dados de emissões e na capacidade de modelagem também ajudaram a embasar outras iniciativas políticas locais, incluindo uma revisão das regulamentações locais sobre poluição atmosférica. Isso faz de Nova York a primeira jurisdição nos Estados Unidos, depois da Califórnia, a exigir controles para reduzir as emissões de PM_{2,5} por aquecimento usando carvão em estabelecimentos comerciais, realizar uma análise do impacto que veículos pesados movidos à diesel têm sobre a saúde, monitorar outras exposições, incluindo compostos tóxicos atmosféricos, ruído e pólen, e gerar uma estimativa da exposição para estudos de saúde (189-192). Os dados de monitoramento da NYCCAS e as estimativas modeladas de poluição foram disponibilizados por meio de portais de dados abertos e destinados a pesquisadores. Em 2015, uma lei local foi aprovada obrigando a continuação da NYCCAS.

Lição aprendida

O esforço da cidade de Nova York para adotar combustíveis de aquecimento mais limpos foi guiado por um monitoramento inovador, dados de emissões melhorados e capacidade de modelagem. O esforço de Nova York destaca a importância da liderança política, da convocação e da coordenação entre várias agências; o seguimento da implementação e das políticas baseadas em dados; e acesso a dados abertos que engajaram os grupos interessados a apoiarem o monitoramento contínuo da qualidade do ar.

Hong Kong, Região Administrativa Especial

Experiência de mitigação da emissão de poluição atmosférica por embarcações marítimas



A Região Administrativa Especial (SAR, na sigla em inglês) de Hong Kong na República Popular da China é uma cidade urbana costeira subtropical na região da fronteira do continente asiático e do Oceano Pacífico, com uma população de 7,4 milhões de pessoas em 2018 (137). Hong Kong iniciou seu rápido desenvolvimento econômico e urbano na década de 1960, e gradativamente deixou de ser uma economia baseada em manufatura (têxtil, por exemplo) e se tornou uma economia baseada em serviços (138, 139). Atualmente, as quatro principais indústrias de Hong Kong são serviços financeiros, comércio e logística, turismo e serviços profissionais e de produção (140).

Principais grupos interessados envolvidos no esforço de Hong Kong para melhorar a qualidade do ar

- **Ministérios do governo** (por exemplo, Departamento de Proteção Ambiental de Hong Kong)
- **Empresas privadas** (como a Fair Winds Charter)
- **Parceiros e consultores técnicos**
- **Defensores e organizações da sociedade civil** (por exemplo, Civic Exchange)
- **Parceiros do governo regional**
- **Consultores jurídicos e políticos**

O problema

O Porto de Hong Kong é um centro marítimo internacional reconhecido mundialmente, que atende a região do Pacífico Sul asiático e atua como ponto de entrada para a China continental (141). Em 2017, o porto movimentou mais de 185.000 navios marítimos e fluviais (142–144). Estima-se que o porto dobraria sua capacidade de carga para 43 milhões de unidades equivalentes a 20 pés (uma unidade de capacidade de carga) até 2030 (145). No entanto, esses navios foram legalmente autorizados a usar combustíveis marítimos com alto teor de enxofre (< 4,5% de enxofre) (146), que contribuem para níveis extremamente elevados de SO₂ e PM₁₀ no ambiente (147, 148). As emissões do transporte marítimo têm sido responsáveis por 60.000 mortes por doença cardiopulmonar e câncer de pulmão em todo o mundo e por 14.500 a 37.500 mortes prematuras no leste da Ásia a cada ano (149, 150). Dado que cerca de 3,8 milhões de pessoas correm o risco de exposição direta à poluição atmosférica da navegação devido à proximidade do porto ao Victoria Harbour e a vários quilômetros da densamente povoada Península de Kowloon, as emissões marítimas representam uma séria ameaça à saúde pública (146, 148).

Inventário de emissões aprimorado

O principal esforço de Hong Kong para lidar com a poluição atmosférica causadas pelas emissões marítimas foi refinar o inventário de emissões de seus navios locais. Em 2000, o inventário oficial de emissões de poluição atmosférica mostrou que apenas 5% das emissões de SO₂ eram de embarcações marítimas (151). No entanto, vários estudos de atribuição de fontes relataram o contrário, que os navios eram de fato a principal fonte do SO₂, sugerindo que as emissões da indústria naval foram intensamente subestimadas (151, 152).

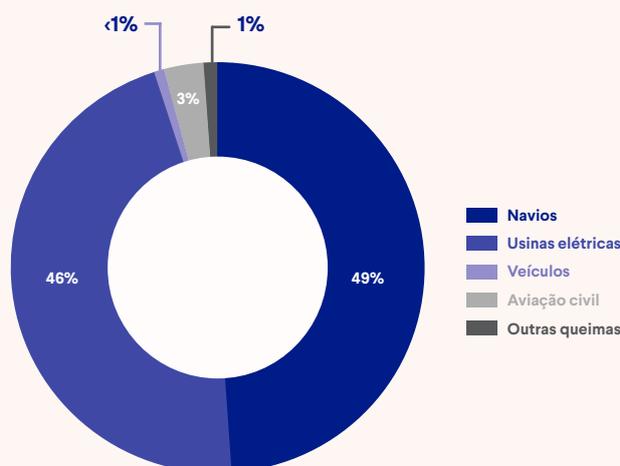
Um estudo de atribuição de fontes baseado em receptores mostrou que as emissões de navegações contribuíram para 36% do SO₂ em nível terrestre, enquanto apenas 7% eram de usinas elétricas (151). Dadas as evidências, o inventário oficial de emissões foi revisado utilizando os dados aprimorados de atividade dos navios locais e as metodologias de compilação de emissões mais recentes (por exemplo, observações de radar e informações de navios do Sistema de Informações Automáticas – AIS, na sigla em inglês) para fornecer estimativas mais realistas sobre as emissões das atividades de navegação (153). O inventário revisado de emissões mostrou que a contribuição das embarcações marítimas para as emissões de SO₂ vinha aumentando ao longo do ano, e ela contribuiu para as últimas emissões de SO₂ em Hong Kong em 2016 (154).

Organizando ações em prol da melhoria da qualidade do ar

Outra tática essencial foi a parceria estratégica e o engajamento ativo entre as principais grupos interessados na mitigação das emissões pelo transporte marítimo em Hong Kong. Uma das iniciativas mais notáveis foi a Fair Winds Charter, um programa de troca de combustível marítimo atracado, liderado pela indústria e voluntário, para embarcações marítimas que atracam em Hong Kong, o que resultou numa queda perceptível nas concentrações de SO₂ no ambiente perto do porto (155, 156). Os benefícios da troca de combustível, juntamente com o apoio da sociedade civil, como o laboratório de ideias Civic Exchange, levaram o governo de Hong Kong a implementar um esquema de incentivo e, posteriormente, projetos de lei em 2014 e 2015 sobre combustível marítimo mais limpo e troca de combustíveis no cais, respectivamente (157, 158). A implementação dessas medidas resultou na redução imediata das emissões de SO₂ e PM por embarcações marítimas, e na queda das concentrações de SO₂ e PM₁₀ nos ambientes próximos ao porto nos anos seguintes (159).

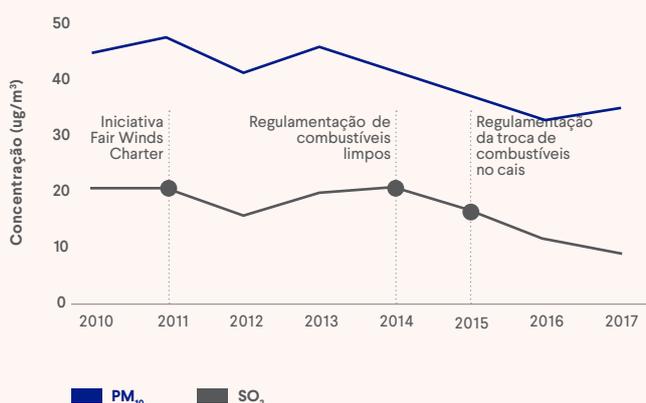
Além disso, a experiência de Hong Kong em lidar com as emissões da navegação suscitou o interesse no continente da China. Num esforço para combater a poluição atmosférica das emissões marítimas da região vizinha de Pearl River Delta e outros grandes portos da China, o Ministério do Transporte adotou uma nova política para estabelecer áreas de controle de emissões domésticas e introduzir uma troca de combustível semelhante à regulamentação de Hong Kong sobre o combustível de navios marítimos atracados (160). De 2019 em diante, todas

Inventário de emissões de SO₂ revisado, 2016



Fonte: Ng SKW, Lin C, Chan J, Yip ACK, Lau AKH, Fung JCH. Estudo do Inventário de Emissões de Embarcações Marítimas [Study on Marine Vessels Emission Inventory]; 2012. https://www.epd.gov.hk/epd/sites/default/files/epd/english/environmentinhk/air/studytrpts/files/EPD_MVEIS_Final_Report_v7_approved_120528.pdf. Acessado em 5 de setembro de 2019.

Concentrações anuais de poluição ambiental perto do porto entre 2010 e 2016



as embarcações dentro das Áreas de Controle de Emissões Domésticas de Pearl Delta River são obrigadas a utilizar combustível com baixo teor de enxofre, não superior a 0,5% (161).

Lição aprendida

A experiência de Hong Kong com a regulamentação e redução das emissões liberadas por embarcações marítimas ilustra a importância de 1) avaliar e refinar dados de inventário de emissões, mesmo numa jurisdição de alta renda com um sistema AQM bem desenvolvido; 2) empregar uma combinação de medidas de incentivo e regulamentação para o controle da poluição atmosférica, adequadas ao contexto local; 3) convocar e engajar vários grupos interessados locais, a fim de trocar e revisar evidências e conhecimentos, e alinhar a consciência e os interesses dos principais grupos interessados para um processo de formulação de políticas rápido e integrado; 4) atuar local e regionalmente.

Pequim, China



Usando a atribuição de fontes para embasar uma iniciativa regional para substituir o uso doméstico de carvão por combustíveis mais limpos



Pequim é a capital da República Popular da China, localizada no norte do país. É a segunda maior cidade chinesa, com uma população de 21,7 milhões de habitantes em 2017 (120). Pequim e duas regiões vizinhas formam a região metropolitana de Pequim-Tianjin-Hebei, que é um dos mega-aglomerados de cidades priorizados na China, representando aproximadamente 10% do produto interno bruto do país (121, 122). Pequim tem uma economia pós-industrial que é fortemente dominada pelo setor terciário (por exemplo, serviços profissionais, pesquisa científica), e abriga a sede da maioria das empresas estatais da China, bem como muitas empresas da Fortune Global 500 (121).

Principais grupos interessados envolvidos no esforço de Pequim para melhorar a qualidade do ar

- **Ministérios do governo** (por exemplo, Ministério de Proteção Ambiental)
- **Parceiros do governo regional**
- **Parceiros e consultores técnicos**
- **Consultores jurídicos e políticos**

O problema

A poluição atmosférica contribuiu para 1,2 milhões de mortes prematuras na China em 2017, com impactos ainda maiores na morbidade (123). O problema da poluição atmosférica é particularmente grave dentro e ao redor de Pequim. A região de Pequim-Tianjin-Hebei está entre as mais poluídas da China, por causa de sua enorme indústria, sua dependência do carvão e do transporte majoritariamente feito por estradas. A concentração anual dos níveis de $PM_{2.5}$ na região foi superior a $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em 2013 (124). Desde 2005, o governo chinês implementou ambiciosos programas de política e redução de emissões com foco específico na redução da queima de carvão para a produção de eletricidade visando melhorar a qualidade do ar. No entanto, a mitigação no setor residencial (ou seja, da biomassa sólida doméstica e do carvão para cozimento e aquecimento) foi negligenciada (125). Como resultado, os eventos graves de neblina causados pelo $PM_{2.5}$, especialmente durante os períodos de inverno, continuaram acontecendo.

Atribuição de fontes

Na última década, estudos de atribuição de fontes baseada em fontes mostraram que o setor residencial (ou seja, a biomassa sólida doméstica e o carvão para cozimento e aquecimento) foi responsável pelo maior percentual (~50%) de níveis de $PM_{2.5}$ na região de Pequim-Tianjin-Hebei durante a temporada de uso do aquecimento (123, 126). Estima-se que mais de 177.000 mortes prematuras possam ser atribuídas à poluição atmosférica por fontes domésticas na China em 2017.

Organizando ações em prol da melhoria da qualidade do ar

Dada a crescente evidência da contribuição que as fontes residenciais têm para a baixa

Em 2017, a poluição atmosférica causou **1,2 milhões de mortes prematuras** na China; entre elas, **mais de 850.000 mortes** foram causadas pela poluição ambiental de PM_{2.5}.

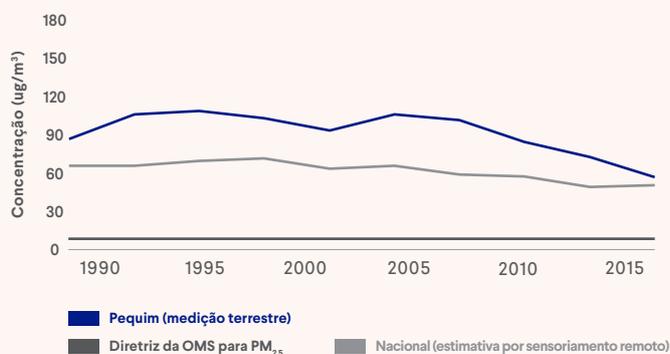
qualidade do ar durante a temporada de uso do aquecimento, a Comissão Nacional de Desenvolvimento e Reforma e a Administração Nacional de Energia formularam uma campanha, “Plano de Aquecimento Limpo no Inverno para o Norte da China (2017-2021)”, que propõe substituir o carvão por eletricidade ou gás natural entregue por gasodutos para o aquecimento, englobando 70% das famílias que usam carvão dentro da região 2+26 (ou seja, Pequim, Tianjin e outros 26 municípios da região circundante) no norte da China até 2021 (127).

Além disso, o Ministério da Proteção Ambiental chinês publica anualmente um “Plano de Ação para Controle Abrangente da Poluição Atmosférica no Outono e Inverno em Pequim-Tianjin-Hebei e Regiões Vizinhas” para tratar das emissões residenciais por uso de carvão, substituindo o carvão por gás natural e outros combustíveis limpos, controlando a qualidade do carvão, promovendo o uso de briquetes de carvão em áreas rurais e monitorando seu progresso (125, 128). Até outubro de 2019, as autoridades haviam concluído a substituição da queima de carvão residencial em pequena escala em 5,24 milhões de domicílios (129). Um estudo recente avaliando os potenciais impactos da campanha de substituição do carvão constatou que a campanha é geralmente eficaz na eliminação do uso de carvão, na redução da poluição atmosférica e no aumento da satisfação com a vida em famílias ricas, e sugeriu que mais subsídios e apoios são necessários para limitar as dificuldades da transição para famílias menos abastadas (130).

Lição aprendida

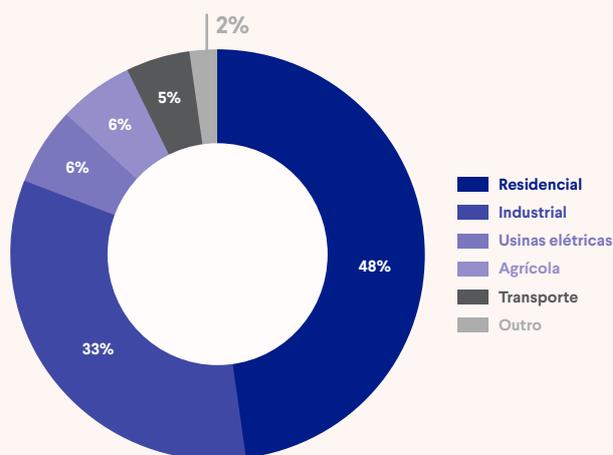
A experiência de Pequim demonstra o valor do uso da atribuição de fontes com uma análise da bacia aérea regional, juntamente com a identificação de intervenções disponíveis e escaláveis para priorizar ações para a melhoria da qualidade do ar onde elas terão um efeito maior.

Tendência de concentrações médias anuais de PM_{2.5} em Pequim e a nível nacional em comparação com as Diretrizes de Qualidade do Ar da Organização Mundial da Saúde



Fonte: Departamento do Estado dos Estados Unidos. AirNow. https://airnow.gov/index.cfm?action=airnow.global_summary. Acessado em 8 de janeiro de 2019; State of Global Air, disponível em <https://www.stateofglobalair.org>

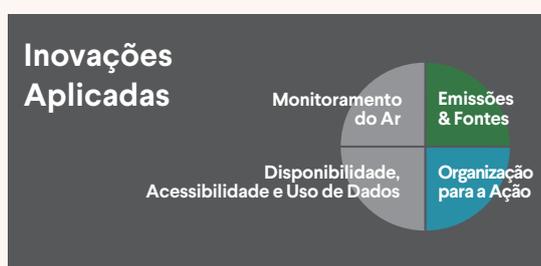
Resultados da atribuição de fontes de PM_{2.5} na região de Pequim-Tianjin-Hebei, inverno de 2013



Fonte: Li X, Zhang Q, Zhang Y, et al. Contribuições das fontes urbanas de PM_{2.5} na região de Pequim-Tianjin-Hebei: Mudanças entre 2006 e 2013 e impactos relativos das emissões e da meteorologia. [Source contributions of urban PM 2.5 in the Beijing-Tianjin-Hebei region: Changes between 2006 and 2013 and relative impacts of emissions and meteorology.] Atmos Environ. 15;123:229-239. doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.10.048

Bangkok, Tailândia

Combatendo a poluição atmosférica veicular por meio de uma estratégia abrangente de controle da poluição veicular



Bangkok é a capital da Tailândia, o terceiro maior país do Sudeste Asiático em termos de extensão territorial (109). Localizada no centro da Tailândia ao longo do Rio Chao Phraya, Bangkok é a cidade mais populosa do país, com uma estimativa de 8,28 milhões de habitantes em 2016, e mais de 14 milhões em sua região metropolitana (110). A cidade é o centro econômico da Tailândia, contribuindo para 29% do produto interno bruto (111). O comércio atacadista e varejista é o maior setor da economia da cidade, seguido por manufatura, imobiliário, transporte, comunicação e intermediação financeira (112).

Principais grupos interessados envolvidos no esforço de Bangkok para melhorar a qualidade do ar

- **Ministérios do governo** (por exemplo, Conselho de Controle da Poluição, Administração Metropolitana de Bangkok)
- **Consultores jurídicos e políticos**
- **Parceiros e consultores técnico**

O problema

A rápida urbanização em Bangkok começou na década de 1950, ocasionando um aumento da densidade populacional e uma maior demanda por infraestrutura, redes públicas e serviços. Apesar da extensa malha viária existente, a capacidade de transporte público foi limitada, levando ao crescimento explosivo de veículos automotores e motocicletas particulares na cidade, de 2 milhões em 1992 para mais de 9 milhões em 2016. Os poluentes atmosféricos emitidos por veículos automotores usando combustíveis poluidores, juntamente com veículos poluidores, resultaram na deterioração da qualidade do ar em Bangkok nas últimas décadas, com níveis de PM_{10} de $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à beira da estrada em 1997 (113). Níveis elevados de poluição por partículas em Bangkok têm sido considerados um fator de risco significativo para a diminuição da função pulmonar, o aumento dos sintomas respiratórios e internações por problemas cardiopulmonares (114, 115).

Atribuição de fontes

Um inventário local de emissões identificou veículos automotores como a maior fonte (54%) das emissões totais de PM na cidade. Entre as emissões automotivas de PM, 83% vieram de motores à diesel (116). A significância das emissões automotivas para a poluição atmosférica também é apoiada por achados de um estudo de atribuição de fontes baseada em receptores, o qual mostra que uma grande porcentagem das concentrações ambientais de PM_{10} e $PM_{2,5}$ advêm das emissões de escapamentos de veículos automotores (117).

Organizando ações em prol da melhoria da qualidade do ar

O Governo Real tailandês implementou uma série de medidas de controle de poluição automotiva para mitigar os problemas de poluição atmosférica.

Em 2017, a poluição atmosférica causou até **30.600 mortes prematuras** na Tailândia; a poluição de PM_{2.5} no ambiente foi responsável por **78% dessas mortes**

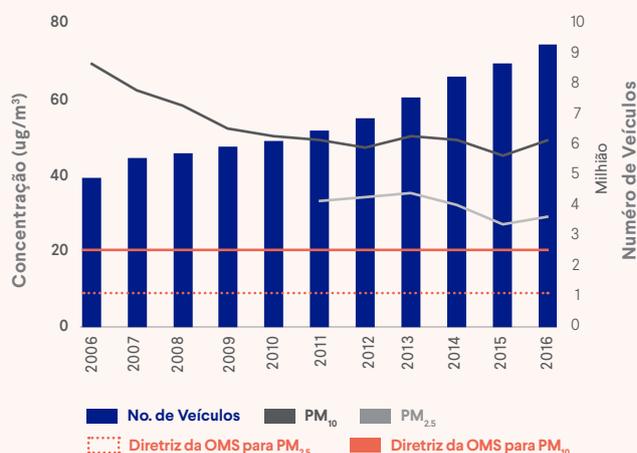
ca de Bangkok, com o objetivo final de reduzir as emissões e melhorar a qualidade do ar até níveis compatíveis com os Padrões Nacionais de Qualidade do Ar ou melhores (118).

Um dos marcos importantes foi a eliminação completa da gasolina com chumbo no final de 1995, o que resultou na redução observada nos níveis de chumbo no ambiente e uma diminuição significativa dos níveis de chumbo no sangue em populações sensíveis (por exemplo, crianças em idade escolar e fiscais de trânsito), particularmente em áreas urbanas, desde o início da década de 1990 (119). A adoção de combustíveis mais limpos (por exemplo, a redução gradativa do enxofre e eliminação gradativa do chumbo), e tecnologias automotivas mais limpas (por exemplo, do pré-Euro ao Euro IV, de motores de motocicletas de dois tempos para quatro tempos), juntamente com um programa aprimorado de inspeção e manutenção de veículos, são os principais fatores contribuintes para a melhora substancial da qualidade do ar em Bangkok (119). Além disso, um melhor planejamento de transporte e uso do solo (como o desenvolvimento da rede de Transporte Rápido em Massa em 2004) tem desempenhado um papel importante na redução da dependência de veículos automotores, na redução das emissões de poluição e na melhoria da qualidade do ar (118). A média anual da concentração de PM₁₀ caiu de 90 µg/m³ em 1997 para 49 µg/m³ em 2016.

Lição aprendida

Bangkok conseguiu melhorar a poluição atmosférica urbana por emissões veiculares. O sucesso foi guiado pela identificação aprimorada das fontes e por estratégias abrangentes e sinérgicas de controle da poluição veicular que visam a qualidade dos combustíveis, as tecnologias dos veículos e a manutenção dos veículos.

Tendência de concentrações médias anuais de PM₁₀ e PM_{2.5}, e o número de veículos registrados em Bangkok entre 2006 e 2016

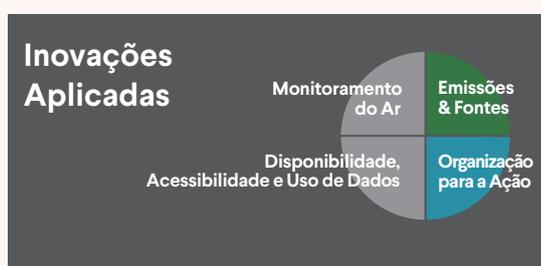


Fonte: Departamento de Controle da Poluição, Departamento de Transportes Terrestres (Subdivisão de Estatísticas de Transporte, Divisão de Planejamento) da Administração Metropolitana de Bangkok.

Vale de Katmandu, Nepal



Oportunidade única de remodelar olarias de tijolos por um ar mais limpo



O Vale de Katmandu está localizado na região central do Nepal, e abrange Katmandu, a capital do Nepal, e as áreas metropolitanas de Lalitpur e Bhaktapur, juntamente com várias outras cidades e cidades menores (162). O vale abriga 29% (~2,5 milhões) da população urbana nepalesa, e é um dos aglomerados urbanos que mais crescem no sul da Ásia (163, 164). As atividades econômicas no Vale de Katmandu estão centradas principalmente no setor de serviços, como turismo, finanças, comércio, educação e imóveis (165).

Principais grupos interessados envolvidos no esforço do Vale de Katmandu para melhorar a qualidade do ar

- **Parceiros do governo regional** (por exemplo, o Centro Internacional para o Desenvolvimento Integrado das Montanhas)
- **Empresas privadas** (por exemplo, proprietários de olarias de tijolos)
- **Parceiros e consultores técnicos**
- **Organizações internacionais** (por exemplo, a Coalizão do Clima e Ar Limpo)

O problema

No Nepal, os níveis de poluição de $PM_{2,5}$ são 10 vezes maiores que os níveis recomendados pela OMS. Cerca de 12.700 nepaleses morrem prematuramente por doenças relacionadas à poluição atmosférica a cada ano (105). Os gastos de saúde devido à poluição atmosférica urbana no Nepal foram estimados em US\$ 21 milhões por ano, e a carga econômica real poderia ser significativamente maior se fosse levada em conta a perda de produtividade por mortes prematuras ou impactos a longo prazo como baixo peso ao nascer etc. (166).

O tijolo é um dos materiais de construção mais comuns no Nepal, e a fabricação de tijolos é um dos ofícios tradicionais do Vale de Katmandu (167,168). Operado sazonalmente no inverno (de novembro a maio), mais de 1.000 olarias de tijolos no país produzem aproximadamente 6 bilhões de tijolos por ano, representando 2% dos tijolos produzidos no Sudeste Asiático (169). Olarias de tijolos tradicionais são consideradas uma das maiores fontes de poluição atmosférica no vale. O carvão é o principal combustível para queimar tijolos no Nepal. Todos os anos, olarias de tijolos consomem cerca de 450.000 toneladas de carvão, ou ~30% do consumo total de carvão no setor industrial (170). Um estudo recente descobriu que olarias de tijolos são a principal fonte de carbono negro (~40%) no Vale de Katmandu durante o inverno (171). Além do uso excessivo de carvão, o uso de tecnologias antiquadas e ineficientes de queima de tijolos também é outra razão primária para as altas emissões de poluição atmosférica por parte das indústrias de tijolos (167). No Nepal, a construção de olarias frequentemente é feita sobretudo com essa finalidade. Nem uma única olaria de tijolos no país foi construída usando projetos de engenharia (172).

A oportunidade

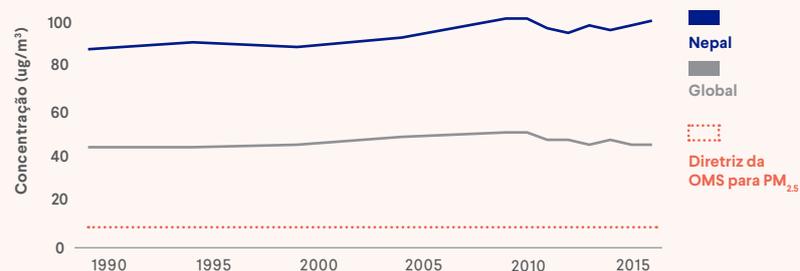
Um terremoto de magnitude 7.8 atingiu o centro do Nepal em 25 de abril de 2015, causando danos catastróficos a pessoas e propriedades em todo o país (173). A indústria de tijolos do país também foi muito abalada, com mais de 40% (~350) das olarias completamente ou parcialmente destruídas e mais de US\$ 1 milhão em danos (172). Quase todas as olarias de tijolos no Vale de Katmandu foram danificadas. Apesar da devastação, surgiu uma rara oportunidade de reconstruir as olarias com tecnologia aprimorada, e limpar o ar poluído no vale.

Organizando ações em prol da melhoria da qualidade do ar

Com o apoio da Coalizão Clima e Ar Limpo [*Climate and Clean Air Coalition*], o Centro Internacional para o Desenvolvimento Integrado das Montanhas em parceria com a Federação da Indústria de Tijolos do Nepal e a MinErgy explorou maneiras de redesenhar os fornos e empilhar os tijolos de forma diferente para que seja emitido um ar menos poluído (174). A iniciativa realizou um estudo de viabilidade em 2017 que constatou que a adoção da tecnologia de olaria de tijolos mais eficiente (ou seja, fornos zigue-zague) poderia reduzir as emissões de $PM_{2.5}$ em ~20% e as emissões de carbono negro em ~30% por quilograma de combustível (175).

Considerando que não havia diretrizes adequadas para a construção de olarias de tijolos ambientalmente apropriadas no Nepal, uma equipe de empreendedores locais de tijolos, engenheiros, cientistas, arquitetos e especialistas internacionais desenvolveu um manual de design no final de 2015, com a contribuição de grupos interessados do governo, setor privado, organizações de desenvolvimento, ONGs e mídia, para orientar proprietários de olarias e engenheiros civis a reconstruir olarias em zigue-zague resistentes a terremotos e mais eficientes de tiragem induzida e de tiragem natural (174, 176). O manual, o primeiro do gênero no sul da Ásia, leva em conta a eficiência energética, as

Tendência de concentrações médias anuais de $PM_{2.5}$ no Nepal e no mundo em comparação com as Diretrizes da Organização Mundial da Saúde



Fonte: State of Global Air, disponível em <https://www.stateofglobalair.org>

preocupações ambientais e outros aspectos sociais, e serve como uma ferramenta básica para delinear os parâmetros essenciais para a construção de olarias. Posteriormente, um manual operacional foi desenvolvido em 2016 para fornecer diretrizes sobre procedimentos adequados de empilhamento e queima. Estratégias e ações políticas relativas à indústria de olarias de tijolos também foram recomendadas mediante revisão dos documentos políticos existentes, e discussões bilaterais com grupos interessados do governo, reuniões de consultoria com empresários e especialistas do setor de tijolos (167).

Embora as tecnologias de olarias de tijolos mais limpas exijam grandes investimentos iniciais (~US\$ 100.000) por parte dos proprietários e empreendedores de olarias, em comparação com a tecnologia antiquada, o período de retorno da economia de combustível deve ser inferior a dois anos, o que dizem ser uma situação de ganha-ganha para a indústria, o meio ambiente e a saúde pública (172). Esse investimento e compra liderados pelo setor resultou na rápida adoção das tecnologias mais limpas. Em 2017, nove olarias foram reconstruídas usando os novos projetos, e outras olarias adotaram as técnicas de empilhamento e queima dos tijolos. Isso resultou numa redução de 40% a 50% no consumo de carvão por esses fornos, bem como uma redução de 60% nas emissões de PM (172). Ao mesmo tempo, o número e a qualidade dos tijolos produzidos também aumentaram significativamente devido ao movimento eficiente do fogo. Desde maio de 2018, a

maioria dos 100 fornos de tijolos do Vale de Katmandu já havia adotado a nova tecnologia mais limpa (177).

Além disso, o esforço do Nepal em redesenhar olarias de tijolos e fazer olarias em zigue-zague e a experiência de empresários progressistas do setor de tijolos no Vale de Katmandu atraem muita atenção regionalmente. Inúmeros treinamentos para a exibição de olarias foram realizados, bem como visitas de exposição por empresários de outras regiões do Nepal, Índia, Bangladesh e Paquistão. Dado que existem mais de 130.000 olarias de tijolos no sul da Ásia, foi formada uma Federação das Associações de Olarias de Tijolos da Ásia para promover o intercâmbio de conhecimento e enfrentar diversos desafios por meio da cooperação e colaboração regional (178).

Lição aprendida

A experiência em redesenhar olarias de tijolos no Vale de Katmandu mostra a importância de 1) aproveitar oportunidades de reconstruir a indústria e desenvolver novas indústrias e infraestruturas para adotar tecnologias menos poluentes e mais eficientes; 2) o uso de dados científicos e projetos de engenharia para diretrizes de design e recomendações políticas; 3) a compreensão dos benefícios a longo prazo da adoção das tecnologias e dos projetos mais limpos que levaram ao aumento do investimento e da participação liderados pelo setor; e 4) a convocação e o engajamento de múltiplos grupos interessados locais e regionais para a troca de conhecimento, além da conscientização e dos interesses para enfrentar os desafios.

Cidade de Battambang, Camboja

Melhoria da gestão de resíduos sólidos para a redução de emissões e múltiplos benefícios associados



A cidade de Battambang é a capital da província de Battambang, uma província localizada no oeste do Camboja. Com uma população de quase 200.000 habitantes em 2012, a cidade de Battambang é a terceira maior cidade do Camboja, e um centro comercial e destino turístico popular (131, 132). Em geral, os níveis de poluição de PM_{2,5} no Camboja são de duas a três vezes mais altos que os níveis recomendados pela OMS; cerca de 11.000 cambojanos morrem prematuramente por doenças relacionadas à poluição atmosférica a cada ano (105). Estima-se que as concentrações de ozônio no Camboja sejam típicas para a região do Sudeste Asiático (inferior à média global), mas vêm aumentando gradualmente à medida que o país se desenvolve.

Principais grupos interessados envolvidos no esforço da Cidade de Battambang para melhorar a qualidade do ar

- **Ministérios do governo** (por exemplo, governo da Cidade de Battambang)
- **Organizações não governamentais locais** (por exemplo, Organização Cambojana de Educação e Gestão de Resíduos – COMPED, na sigla em inglês)
- **Organizações internacionais** (por exemplo, Instituto de Estratégias Ambientais Globais – IGES, na sigla em inglês, Coalizão do Clima e Ar Limpo)
- **Empresas privadas e membros da comunidade** (por exemplo, CINTRI)

O problema

A Prefeitura de Battambang enfrenta uma série de desafios, como saneamento precário, gestão inadequada de resíduos, inundações e poluição, devido à falta de infraestrutura principal (131). O problema com a gestão de resíduos sólidos é especialmente preocupante, pois não há um orçamento anual consistente destinado aos serviços de gestão desses resíduos (133). Devido às deficiências na gestão de resíduos sólidos, a queima de resíduos a céu aberto é uma forma comum de descarte (134). Essas queimas podem ser incêndios em aterros, queima de lixões ou queima aberta residual. Uma vez que um incêndio começa, ele pode durar horas, ou até meses (no caso de incêndios em aterros sanitários), causando poluição atmosférica e afetando catadores e moradores de comunidades próximas.

A queima de resíduos sólidos libera uma variedade de poluentes tóxicos atmosféricos (por exemplo, carbono negro, benzeno, dióxido de carbono) que têm sido associados a casos graves de doenças cardiorrespiratórias e cânceres entre adultos e crianças (135). Aterros podem liberar grandes quantidades de metano, um forte gás de efeito estufa e precursor do ozônio.

Organizando ações em prol da melhoria da qualidade do ar

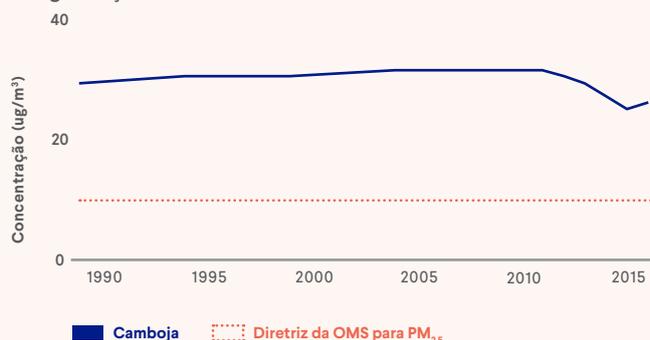
Com apoio técnico do Instituto de Estratégias Ambientais Globais e da Organização Cambojana de Educação e Gestão de Resíduos, a Cidade de Battambang lançou uma Iniciativa Participativa de Gestão de Resíduos em 2011 para criar o planejamento em parceria com a comunidade e a implementação da gestão de resíduos de maneira ambientalmente adequada, baseada numa abordagem 3R (redução, reutilização e reciclagem) e também para desenvolver capacidade (133). Além disso, por meio dessa iniciativa, o governo de Battambang abriu suas portas para

Em 2017, a poluição atmosférica causou **10.700 mortes prematuras** no Camboja

a participação ativa e parceria importantes com grupos interessados (ou seja, organizações não governamentais locais, empresas privadas e membros da comunidade) nas áreas de planejamento de projetos, tomada de decisões, implementação, e monitoramento e avaliação. As principais atividades implementadas na iniciativa incluem (133):

- 1. Programa de treinamento de cidade para cidade:** treinamento intensivo no local foi realizado pelo município de Phitsanulok, no norte da Tailândia, para compartilhar sua experiência bem-sucedida com a superação de seus desafios de gestão de resíduos e como a abordagem comunitária para a gestão de resíduos pode ter sucesso em Battambang. A estratégia de gestão de resíduos elaborada durante o treinamento foi adotada, e uma regulamentação local para a separação de resíduos na fonte também foi desenvolvida em apoio à estratégia, e introduzida em diversas áreas piloto ao redor da cidade.
- 2. Promover a separação e coleta na fonte:** considerando que quase três quartos dos resíduos municipais são orgânicos e havia uma instalação de compostagem pré-existente disponível na cidade de Battambang, a prioridade foi estabelecida para a separação, coleta e compostagem dos resíduos orgânicos.
- 3. Controlar incêndios em aterros sanitários:** foram realizados treinamentos sobre a extinção de incêndios com operadores do local, catadores de lixo e agricultores próximos ao lixão; além disso, foram realizadas campanhas para promover a separação de lixo para reduzir o volume de resíduos.
- 4. Combater a queima e o descarte de lixo a céu aberto:** os moradores da cidade de Battambang queimam, em média, cerca de

Tendência de concentrações médias anuais de $PM_{2.5}$ no Camboja e a nível nacional em comparação com as Diretrizes de Qualidade do Ar da Organização Mundial da Saúde



duas toneladas de resíduos por dia devido aos serviços falhos de coleta de lixo. Para tratar dessa questão, foram implementadas diversas intervenções para proibir queimadas e descarte de lixo a céu aberto, melhorar os serviços de coleta e apoio, além de realizar campanhas periódicas de limpeza e conscientização.

Esse esforço foi ampliado quando o município de Battambang aderiu à Iniciativa Municipal de Resíduos Sólidos da Coalizão do Clima e Ar Limpo em 2014 – a primeira cidade cambojana a fazê-lo – e recebeu apoio técnico para realizar a avaliação das emissões de poluentes climáticos de curta duração do setor de resíduos (136). Em 2017, o município de Battambang foi a primeira cidade cambojana a elaborar uma regulamentação local de gestão de resíduos como ferramenta legal para traduzir o subdecreto nacional 113 sobre gestão de resíduos sólidos urbanos [*Urban Solid Waste Management – USWM*, na sigla em inglês] em contextos locais em termos de plano de ação e implementação.

Lição aprendida

O exemplo da mitigação de queimas de lixo a céu aberto na cidade de Battambang mostra que: 1) certos setores (neste caso, gestão de resíduos) são acessíveis para as cidades começarem a combater a redução das emissões de poluição atmosférica; 2) abordagens comunitárias por meio da convocação e do engajamento de múltiplos grupos interessados locais e regionais para o intercâmbio de conhecimento e conscientização são fundamentais para enfrentar esses desafios.

Accra, Gana

Entender como a energia doméstica contribui para a qualidade do ar para ajudar a priorizar a ação em prol de sua melhoria



Accra é a capital e maior cidade de Gana. Localizada na ponta mais ao sul de Gana, a cidade abriga cerca de 2,3 milhões de habitantes urbanos (2015) (103). A rápida migração, tanto do interior quanto de outras nações da África Ocidental, trouxe uma série de transformações para a economia urbana de Accra (104). Accra é um grande centro de indústria e setores financeiros, bem como o setor de serviços e a indústria pesqueira.

Principais grupos interessados envolvidos no esforço de Accra para melhorar a qualidade do ar

- **Ministérios do governo** (por exemplo, a Agência de Proteção Ambiental de Gana)
- **Parceiros e consultores técnicos** (por exemplo, Health Effects Institute)

O problema

Em Gana, 73% da população ainda usa combustíveis sólidos e querosene para atender às suas necessidades energéticas domésticas, resultando em poluição atmosférica doméstica e contribuindo para quase 10.000 mortes prematuras em 2017 (105). A Agência de Proteção Ambiental de Gana e o Instituto do Meio Ambiente de Estocolmo estimaram que 65% das emissões primárias totais de $PM_{2.5}$ em Gana em 2010 eram atribuíveis a fontes residenciais, ou internas (por exemplo, cozimento doméstico, iluminação e aquecimento) (106). No entanto, a incerteza permanece sobre até que ponto a poluição atmosférica doméstica (poluição atmosférica dentro e ao redor da casa vinda de combustíveis domésticos) contribui para a poluição atmosférica ambiental em Gana. Em 2018, a região da Grande Accra adotou um projeto de Plano de Gestão da Qualidade do Ar para tratar da poluição atmosférica ambiental (ao ar livre); no entanto, o plano não inclui itens de ação específicos sobre a poluição atmosférica doméstica.

Atribuição de fontes

Estudos locais de atribuição de fontes baseados em receptores relataram a queima de biomassa como um importante contribuinte para concentrações de $PM_{2.5}$ no ambiente em Accra. Em média, 36% (variando de 15% a 42%) de $PM_{2.5}$ no ambiente foi atribuído à queima de biomassa (relacionada à biomassa como combustível para cozimento, aquecimento e/ou queima a céu aberto) em Accra (107). No entanto, os resultados desses estudos são específicos para o local, e as estimativas das contribuições de queima de biomassa não são específicas para o uso doméstico de combustíveis sólidos, mas podem incluir outras formas de queima de biomassa, como queimadas a céu aberto ou atividades comerciais (106).

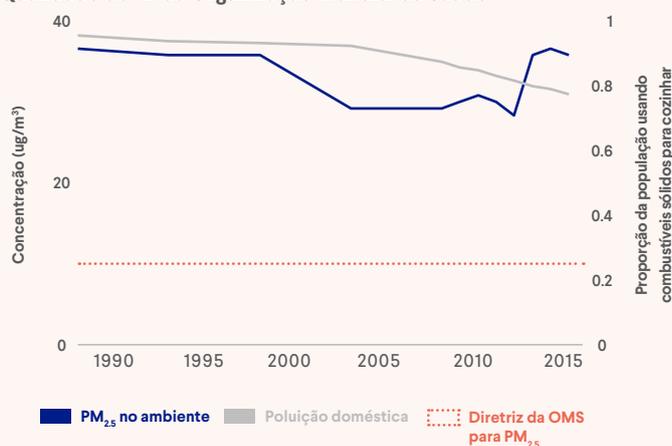
Em 2017, a poluição atmosférica causou **15.100 mortes prematuras** em Gana; entre elas, **9.780 mortes** foram causadas pela poluição atmosférica domiciliar resultante de combustíveis sólidos.

Para complementar os achados de estudos de atribuição de fontes baseada em receptores, várias avaliações baseadas nas fontes das emissões de PM_{2.5} foram usadas para delinear as emissões residenciais em Gana na situação atual e para vários cenários futuros. Esses estudos não só encontraram contribuição significativa das emissões primárias de PM_{2.5} pelo uso residencial de combustível, mas também permitiram mapear essas contribuições a nível local em toda Gana, especialmente em Accra (106). Trabalhos preliminares do grupo de pesquisa de emissões urbanas (www.urbanemission.info) sugerem taxas de emissões consideravelmente maiores para partículas finas relacionadas ao cozimento nas principais áreas urbanas (108).

Lição aprendida

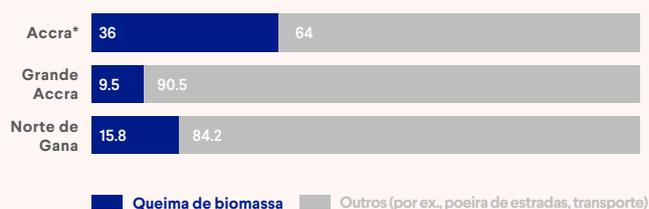
Estudos locais de atribuição de fontes e inventários aprimorados de emissões com foco especial na contribuição da energia doméstica foram usados para reforçar a necessidade de enfrentar uma fonte líder de poluição em Gana, especialmente para a expansão do acesso e o uso de energia domiciliar limpa para ter um ar externo mais limpo. Desde então, a Agência de Proteção Ambiental de Gana vem realizando um programa maior para criar instalações que realizem estudos de atribuição de fontes com abordagem descendente.

Tendência de concentrações ambientais de PM_{2.5} e poluição atmosférica doméstica em Gana em comparação com as Diretrizes de Qualidade do Ar da Organização Mundial da Saúde



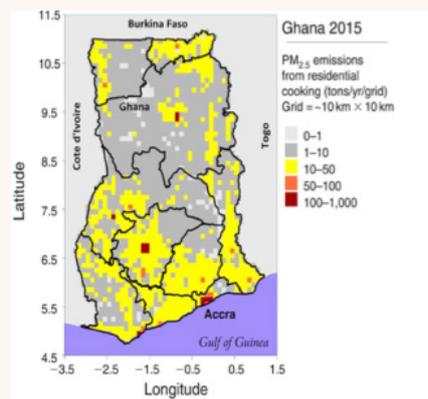
Fonte: State of Global Air, disponível em <https://www.stateofglobalair.org>

Percentual de contribuição para a concentração de PM_{2.5} no ambiente com base em estudos de atribuição de fontes descendente



Fonte: HEI Communication 19: Contribution of Household Air Pollution to Ambient Air Pollution in Ghana: Using Available Evidence to Prioritize Future Action, 2019, disponível em <https://www.healtheffects.org/system/files/Comm19-HAP-Ghana.pdf>

Distribuição espacial das emissões primárias de PM_{2.5} por cozimento doméstico em Gana, 2015



Fonte: HEI Communication 19: Contribution of Household Air Pollution to Ambient Air Pollution in Ghana: Using Available Evidence to Prioritize Future Action, 2019, disponível em <https://www.healtheffects.org/system/files/Comm19-HAPGhana.pdf>

Oakland, Califórnia, EUA

Experiência em mapeamento de alta resolução espacial da poluição atmosférica em áreas urbanas



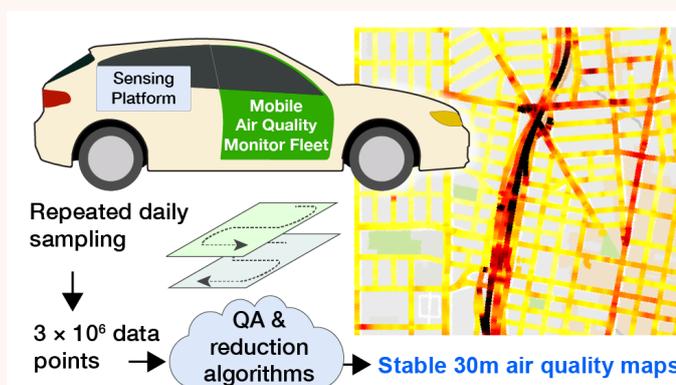
A cidade de Oakland é uma das cidades mais populosas da Califórnia, com 431.000 habitantes em 2018 (193). Antes conhecida por sua baía e seu porto de águas profundas, Oakland agora tem uma economia altamente diversificada e abriga várias grandes corporações (194, 195). As principais indústrias de Oakland, medidas pelo emprego, são serviços profissionais, científicos e técnicos, assistência médica e social, serviços educacionais, comércio varejista, construção e manufatura (196).

Principais grupos interessados envolvidos no esforço de Oakland para melhorar a qualidade do ar

- Parceiros e consultores técnicos
- Empresas privadas

O problema

As concentrações de poluição atmosférica, especialmente de partículas ultrafinas, monóxido de nitrogênio e carbono negro, podem variar drasticamente a uma curta distância dentro de uma área urbana devido a fontes de emissões distribuídas irregularmente, diluição e transformações físicoquímicas (197, 198). No entanto, a maioria das redes de monitoramento da qualidade do ar, que são usadas para fornecer informações sobre concentrações de poluição de fundo urbano, muitas vezes não capturam adequadamente a variabilidade espacial da exposição à poluição em áreas urbanas. Mesmo em países de alta renda, monitores de rotina são geralmente situados de maneira dispersa. Nos EUA, há uma média de dois a cinco monitores de qualidade do ar de rotina por milhão de pessoas e por 1.000 km² (197). Dado que as medições são necessárias para a gestão da qualidade do ar e proteção da saúde pública, é necessária uma abordagem alternativa de monitoramento para fornecer a alta resolução espacial necessária para caracterizar exposições humanas heterogêneas e focos localizados de poluição atmosférica.



Abordagem das medições de poluição atmosférica em Oakland, Califórnia, usando dois carros especialmente equipados do Google Street View.

Fonte: disponível em <https://apte.cae.utexas.edu/google-air-mapping/>

Monitoramento aprimorado do ar

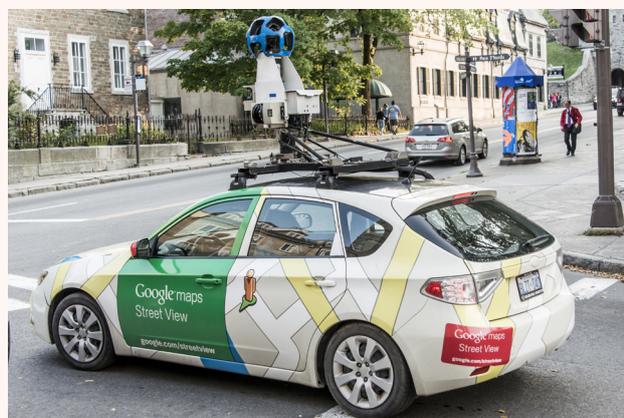
Foi desenvolvida uma nova abordagem usando carros especialmente equipados do Google Street View para identificar padrões urbanos de poluição atmosférica numa área de 30 km² de Oakland em escalas muito finas (~30 m), com quatro a cinco vezes mais precisão espacial do que é possível ter com o atual monitoramento ambiental em pontos fixos (197). As campanhas de monitoramento móvel se concentraram em três bairros socioeconomicamente diversos dentro de Oakland: West Oakland (um bairro de baixa renda perto do porto de Oakland e das indústrias; ~10 km²), Downtown Oakland (um misto de edifícios residenciais e comerciais de altura média e alta; ~5 km²) e East Oakland (um bairro com áreas residenciais, industriais e de renda mista; ~15 km²).

O monitoramento móvel foi realizado por cerca de seis a oito horas diurnas nas rotas designadas dos diferentes bairros em cada dia da semana ao longo de mais de um ano, coletando mais de 3 milhões de pontos de dados e registrando mais de 24.000 quilômetros (199). Uma plataforma de medição de poluição de resposta rápida em cada carro do Google amostrava repetidamente as concentrações de partículas de carbono negro, óxidos de nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO₂). Os mapas resultantes das concentrações anuais de poluentes atmosféricos diurnos em escala de alta resolução mostram concentrações de poluição atmosférica altamente variáveis (entre cinco e oito vezes) dentro de um único quarteirão da cidade, além de mostrarem os níveis de poluição atmosférica em muitas ruas dentro de bairros onde pequenos pontos de maior concentração de poluição consistentes (por exemplo, congestionamentos de tráfego, emissões industriais e de cozimento) estão presentes.



Pontos de maior concentração de multipoluentes identificados a partir de concentrações médias de BC medidas usando os carros do Google Street View em Oakland, Califórnia.

Fonte: Apte JS, Messier KP, Gani S, et al. High-Resolution Air Pollution Mapping with Google Street View Cars: Exploiting Big Data. Environ Sci Technol. 2017;51(12):6999-7008. doi: 10.1021/acs.est.7b00891



Um carro do Google Street View mapeando as ruas

Organizando ações em prol de melhorias da qualidade do ar

A disponibilidade de dados de alta resolução sobre a qualidade do ar em Oakland tem implicações importantes para a epidemiologia, uma vez que as estimativas de exposição por resolução espacial podem reduzir erros de medição de exposição que podem influenciar as estimativas de efeito na saúde. Uma análise epidemiológica utilizando as medições de alta resolução para poluentes atmosféricos confirmou que a poluição do trânsito afeta a saúde cardiovascular, trazendo evidências para apoiar a redução das exposições em áreas urbanas e focos em vizinhanças de Oakland (200). Além disso, os mapas de qualidade do ar de alta resolução são propostos para serem usados como um indicador na avaliação da equidade ambiental no Plano Específico do Centro de Oakland para enfrentar disparidades e promover saúde (201). Dados úteis da campanha também estão sendo usados para informar o novo Seaport Air Quality 2020 e Beyond Plan sobre medidas de redução de emissões (202), e para defender um ar mais limpo sob a lei AB 617 da Califórnia, que desenvolve um novo programa focado na comunidade para reduzir de forma mais efetiva a exposição à poluição atmosférica e proteger a saúde pública (203).

Lição aprendida

A experiência de Oakland em mapeamento de dados de alta resolução da qualidade do ar usando campanha de monitoramento móvel complementa a rede existente de monitoramento ambiental com pontos fixos, preenchendo as lacunas de dados importantes em relação aos focos de poluição localizados e permitindo medidas de redução e controle de poluição bem direcionadas.

A

Anexos

Anexo 1

Fontes de dados on-line sobre a carga global da poluição atmosférica à saúde

Anexo 2

Inovações de monitoramento da qualidade do ar

Anexo 2 | Tabela 1

Componentes e considerações das abordagens de monitoramento

Anexo 2 | Referências

Anexo 3

Melhores práticas para redes operacionais para a produção de conjuntos de dados de alta qualidade de acordo com a Organização Meteorológica Mundial

Anexo 4

Comparação entre atribuição de fontes baseada em fontes e atribuição baseada em receptores

Anexo 5 | Tabela 1

Recursos de atribuição de fontes e emissões
Lista de inventários globais de emissões antropogênicas

Anexo 5 | Tabela 2

Recursos de atribuição de fontes e emissões
Lista de inventários regionais de emissões antropogênicas

Anexo 5 | Tabela 3

Recursos de atribuição de fontes e emissões
Lista de inventários de emissões de queima de biomassa

Anexo 5 | Tabela 4

Recursos de atribuição de fontes e emissões
Exemplos de bancos de dados de fatores de emissões

Anexo 6

Usando previsões de modelos regionais e globais

Anexo 7

Organizações e agências internacionais para apoiar o trabalho de qualidade do ar urbano

Anexo 1**Fontes de dados on-line sobre a carga global da poluição atmosférica à saúde****State of the Global Air** – <https://www.stateofglobalair.org/data/>

O *State of the Global Air* (SOGA) apresenta dados globais, regionais e específicos de países sobre qualidade do ar e saúde. Além do relatório anual, os dados nacionais sobre qualidade do ar e carga à saúde estão disponíveis em gráficos, mapas e tabelas para PM no ambiente, ozônio, poluição domiciliar, óbitos e anos de vida perdidos ajustados por incapacidade (DALY, na sigla em inglês).

GBD Compare – <https://vizhub.healthdata.org/gbd-compare/>

O GBD Compare é uma ferramenta de visualização altamente interativa desenvolvida pelo Instituto de Métricas e Avaliação em Saúde (IHME, na sigla em inglês). Use essa ferramenta para explorar e comparar os diferentes riscos à saúde e as cargas de doenças impostas pela poluição atmosférica dentro e entre diferentes demografias, países e regiões.

WHO Global Health Observatory – <http://www.who.int/gho/phe/en/>

A base de dados do Observatório de Saúde da Organização Mundial da Saúde (OMS) detalha as estatísticas de saúde de mais de mil indicadores de progresso relacionados à saúde para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) para 194 estados-membros da OMS.

Map Gallery – <http://gamapserver.who.int/mapLibrary/app/searchResults.aspx>

Pesquise na galeria de mapas para ver como as cargas à saúde da poluição atmosférica em seu país se comparam às dos outros. Comece pesquisando “poluição atmosférica” em palavras-chave ou selecionando o Tópico “Meio Ambiente e Saúde”.

Outdoor air pollution death and disease burden – http://www.who.int/gho/phe/outdoor_air_pollution/burden/en/

Explore as taxas de mortalidade e as cargas de doenças da poluição atmosférica externa dos países que utilizam este mapa interativo e seu gráfico.

Outdoor Air Pollution Data Repository – Carga de Doenças – <http://apps.who.int/gho/data/node.main.BODAMBIENTAIR?lang=en>

Explore e baixe o repositório de dados da carga de doenças da poluição atmosférica externa em termos de mortes, DALY e anos de vida perdidos (YLL, na sigla em inglês).

Household air pollution death and disease burden – http://www.who.int/gho/phe/indoor_air_pollution/burden/en/

Explore as taxas de mortalidade e as cargas de doenças da poluição atmosférica doméstica dos países que utilizam este mapa interativo e seu gráfico.

Household Air Pollution Data Repository – Carga de Doenças – <http://apps.who.int/gho/data/node.main.139?lang=en>

Explore e baixe o repositório de dados da carga de doenças da poluição atmosférica doméstica em termos de mortes e DALY.

Joint Effects of Air Pollution Data Repository – <http://apps.who.int/gho/data/node.main.ENVHEALTHJOINTAAPHAP?lang=en>

Explore e baixe os dados combinados de mortalidade para poluição atmosférica externa e doméstica por país ou região.

WHO World Health Statistics Annual Report – <http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272596/9789241565585-eng.pdf?ua=1>

A Organização Mundial da Saúde (OMS) fornece um relatório anual de estatísticas de saúde para os estados-membros da OMS que monitoram a saúde para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). A seção do relatório anual de 2018 sobre Mortalidade por Poluição Atmosférica (p. 39) mostra a taxa de mortalidade atribuída à poluição atmosférica domiciliar e externa em cada país.

Anexo 2

Inovações de monitoramento da qualidade do ar

Leitura Relevante
para a Fase de
Monitoramento

1 2 3 4

Estimativas baseadas em sensoriamento remoto de satélite preenchem lacunas no monitoramento terrestre

O sensoriamento remoto por satélite tem sido uma fonte essencial de informações globais sobre a qualidade do ar (1), especialmente em locais sem qualquer monitoramento terrestre. Essa abordagem também pode preencher lacunas de dados em áreas com monitoramento terrestre extensivo (2–5). Quando combinadas com modelos de transporte químico para relacionar medições de colunas atmosféricas a concentrações superficiais, as estimativas baseadas em satélites estão disponíveis em resolução espacial variada (~1-10 km) para todos os poluentes atmosféricos comuns ($PM_{2.5}$, NO_2 , CO , SO_2) exceto o ozônio; essas estimativas são cada vez mais utilizadas para estimar a exposição em estudos que demonstram os efeitos da exposição crônica na saúde (por exemplo, Li et al., (6)).

As estimativas baseadas em sensoriamento remoto por satélite agora fornecem uma medida padronizada com cobertura global completa, sendo adequada para avaliar tendências temporais desde aproximadamente o ano 2000 e para estimar a carga global de doença. Estimativas de concentrações de $PM_{2.5}$ e ozônio a nível nacional e, em alguns lugares, estadual, além da atual carga à saúde da poluição atmosférica estão disponíveis on-line gratuitamente para todos os países e podem ser comparadas ao impacto de outros fatores de risco (7, 8). Estão previstas melhorias futuras na tecnologia e recursos de sensoriamento remoto por satélite [por exemplo, MAIA (9)]. Além disso, o uso de fluxos de dados quase em tempo real fornecidos por satélites geoestacionários focados, por exemplo, na Índia (em comparação aos satélites em órbita polar atuais que fornecem capturas de imagem instantâneas de uma a duas vezes por dia) poderia fornecer mais informações para melhorar as comunicações públicas, previsões e análises de fontes.

Uma limitação essencial das estimativas derivadas de satélite é a falta de informação durante períodos com muitas nuvens e à noite. Além disso, os satélites medem a poluição em toda a coluna ou ar entre a superfície da Terra e o satélite, em vez dos níveis de superfície necessários para o gerenciamento da qualidade do ar. No caso das PM, os satélites medem a quantidade de luz solar refletida espalhada pelas PM nessa coluna inteira, uma medida conhecida como Profundidade Óptica do Aerossol (AOD, na sigla em inglês). A AOD é normalmente relacionada com concentrações de PM da superfície simulando essa relação com um modelo de transporte químico. A vinculação de medições de AOD terrestre por meio de um fotômetro solar com medições de $PM_{2.5}$ pode ajudar a melhorar as simulações, corrigir potenciais vieses e melhorar a exatidão das estimativas baseadas em satélites tanto de perspectivas globais quanto regionais.

Por causa das lacunas no monitoramento terrestre, é verdade que “Ninguém sabe qual cidade tem a maior concentração de material particulado” (10). No entanto, o monitoramento baseado em sensoriamento remoto por satélite torna cada vez mais possível identificar com confiança áreas urbanas com concentrações médias de $PM_{2.5}$

Anexo 2 Inovações de monitoramento da qualidade do ar (cont.)

no ambiente bem acima dos padrões adequados para a saúde. Assim, embora não seja um substituto para o monitoramento terrestre, o sensoriamento remoto por satélite pode acelerar o progresso no monitoramento da qualidade do ar urbano, preenchendo lacunas espaciais, orientando colocações de monitores e estimando tendências temporais de longo prazo.

Estimativas de sensoriamento remoto requerem habilidades técnicas especializadas para sua análise e interpretação. Embora haja treinamento disponível, (11) a maioria das cidades que buscam usar estimativas de sensoriamento remoto para avaliação inicial ou para guiar a locação de monitores precisará identificar parceiros técnicos com essa capacidade.

Leitura Relevante
para a Fase de
Monitoramento

2 3 4

Estações avançadas de monitoramento da superfície

Redes convencionais de monitoramento terrestre podem ser complementadas por um número limitado de estações avançadas de monitoramento da superfície que fornecem informações sobre a composição química de poluentes adicionais (por exemplo, poluentes atmosféricos perigosos ou tóxicos como benzeno) ou $PM_{2.5}$ (12). Por exemplo, as estações avançadas de monitoramento implantadas pela Rede de Monitoramento de Especiação Química (CSN, na sigla em inglês) de $PM_{2.5}$ dos EUA (13) realizam medições de massa e especiação química de PM com alta qualidade, dando suporte à quantificação da contribuição das fontes de emissão para a poluição atmosférica ambiental (Saiba mais sobre a atribuição de fontes baseada em receptores no Capítulo 3).

Outros instrumentos de monitoramento atmosférico baseados em filtros que estão disponíveis para coleta de amostras de filtro para especiação incluem, mas não se limitam a: Amostrador de Especiação de Aerossol em Massa [*Mass Aerosol Speciation Sampler, URG Corporation*], Amostrador de Especiação do Ambiente em Espiral [*Spiral Ambient Speciation Sampler, Met One Instruments*], Amostrador de Ar Ambiente de Referência [*Reference Ambient Air Sampler, Thermo Anderson*] (14).

Nas situações dos países de baixa e média renda, onde os recursos para monitores de referência convencionais permanentes não estão disponíveis, os monitores de PM baseados em filtros [por exemplo, amostradores MiniVOL (Airmetrics)] ou coletores passivos de amostras gasosas, que medem concentrações de poluentes integradas ao longo do tempo sem o uso de bombas, podem ser usados em campanhas por tempo limitado para convencer a população da necessidade de maiores investimentos em monitoramento. Estes últimos têm sido usados tanto em áreas urbanas (15) quanto em áreas remotas e altamente poluídas (16, 17) e podem ser combinados com monitores de PM baseados em filtros de menor custo em unidades integradas de amostragem de múltiplos poluentes. Uma ou mais abordagens podem ser implantadas em campanhas de monitoramento em toda a cidade para estudos de regressão do uso do solo.

Estações avançadas de monitoramento da superfície, especialmente quando localizadas em conjunto com medições de AOD terrestre, podem fornecer dados de avaliação importantes para simulações de modelos de transporte químico. Essas saídas podem ajudar a melhorar a previsão da qualidade do ar e a avaliação das opções e ações de gestão da qualidade do ar. Um exemplo é a Rede de Partículas Finas da Superfície [Surface Particulate Matter Network – SPARTAN], que é uma rede de 19 locais ativos em todo o mundo que fornecem dados disponíveis para o público sobre a massa e a composição química de $PM_{2.5}$ e as características da AOD para a conexão com sensoriamento remoto por satélite

Anexo 2

Inovações de monitoramento da qualidade do ar (cont.)

(18, 19). Os monitores SPARTAN estão localizados em conjunto com fotômetros solares – operados como parte da AERosol ROBotic NETwork (AERONET) coordenada pela Administração Nacional da Aeronáutica e do Espaço (NASA, na sigla em inglês) – para medição da AOD (18, 19). Combinados com a medição contínua da dispersão da luz de partículas usando um nefelômetro, esses monitores podem coletar sete pares de amostras de filtro, cada uma integrando $PM_{2,5}$ e PM granular ($PM_{2,5-10}$) cobrindo um período de nove dias, e operar por 63 dias sem vigilância entre substituições do cartucho do filtro e outras tarefas de manutenção. Outra vantagem única da rede SPARTAN é o uso de um laboratório central que utiliza métodos avançados para análise da composição química de amostras obtidas de filtros, fornecendo capacidade, dados de comparação e controle de qualidade além da capacidade da maioria dos governos municipais de países de baixa e média renda.

Estações avançadas de monitoramento da superfície também podem servir como nodos que estão ligados a estações convencionais de monitoramento da qualidade do ar dentro de cada bacia aérea, fornecendo informações adicionais sobre a variabilidade espacial das concentrações de poluentes em alta resolução temporal e conectando a rede diretamente a estimativas baseadas em satélite.

Leitura Relevante para a Fase de Monitoramento

3

4

Monitoramento de alta resolução espacial ou “hiperlocal” – identificando pontos urbanos de maior concentração

Como observado no Capítulo 2, as fontes de emissão locais agrupadas contribuem para a variação espacial e os pontos de maior concentração dentro das cidades. A ênfase histórica na especificidade temporal e na vigilância dos episódios de poluição atmosférica fez com que a cobertura espacial limitada dos monitores de referência de locais fixos fosse menos preocupante. Mas as redes convencionais de monitoramento caracterizam precariamente a verdadeira variabilidade espacial das concentrações de poluentes dentro das áreas urbanas e podem mascarar a variabilidade temporal se as principais fontes de localização específica tiverem padrões temporais de emissão diferentes. Isso pode ser relevante em economias em rápido desenvolvimento, onde diversas gamas de numerosas pequenas fontes estão presentes e a crescente ênfase na caracterização da variação espacial da poluição atmosférica e das fontes associadas é justificada (20, 21).

Gradientes espaciais de NO_2 , carbono negro (BC, na sigla em inglês), CO e, em alguns locais, SO_2 , são geralmente indicadores melhores e mais acentuados de fontes de emissão locais que as $PM_{2,5}$, que é derivado de fontes locais e das carregadas pelo vento. Da mesma forma, o O_3 , que se origina inteiramente em emissões de NO_x e COV na rota do vento e por transformação química, é menos variável espacialmente que os poluentes primários. Três abordagens de monitoramento para caracterizar a variação espacial dos níveis de poluentes em resolução alta (~100m) estão descritas abaixo. Os modelos de dispersão operacional são outro tipo de método que requer dados de emissões de alta resolução de espaço e tempo (22) e serão discutidos no próximo capítulo. Essas abordagens de menor custo para caracterizar a variação espacial podem servir para guiar e avaliar intervenções localizadas geograficamente, como zonas de baixa emissão ou zonas livres de veículos automotivos, e para orientar a instalação de monitores fixos mais caros dentro de uma área urbana.

A modelagem de **regressão do uso do solo** revolucionou a compreensão da variabilidade da poluição atmosférica nas áreas urbanas e se tornou cada vez mais a norma para investigações epidemiológicas de exposição a longo prazo à poluição atmosférica (23). Nessa abordagem, as medidas específicas são coletadas em períodos definidos, num número relativamente alto de locais (~50-100) dentro de uma área urbana. Essas medições espacialmente densas da poluição atmosféricas são usadas com dados geoespaciais que descrevem fontes de poluição atmosférica (por exemplo, densidade

rodoviária ou de tráfego, uso do solo, proximidade da fonte) num modelo de regressão simples. Como os dados geoespaciais estão normalmente disponíveis em alta resolução em áreas urbanas (10-100m), os modelos podem estimar concentrações anuais ou sazonais de poluentes atmosféricos com alta resolução espacial. Como o foco de tais estudos é a compreensão de gradientes espaciais persistentes, eles muitas vezes utilizam métodos que integram amostras durante um período de uma a duas semanas, utilizando métodos passivos para poluentes gasosos, como o NO_2 (24), e amostradores ativos para medições baseadas em filtros para determinar a massa das PM, do carbono negro e de outros componentes químicos.

As abordagens de regressão do uso do solo são normalmente limitadas quanto à resolução temporal de estimativas modeladas (muitas vezes sazonais ou anuais); a prontidão dos dados é limitada pelo tempo necessário para o processamento laboratorial de amostras integradas e a análise dos dados.

Estudos de regressão do uso do solo exigem capacidade técnica que está além da maioria dos governos municipais e, na maioria das vezes, exigirá colaboração com pesquisadores acadêmicos ou outros parceiros técnicos.

O **monitoramento móvel** é uma abordagem na qual instrumentos de alta qualidade que detectam um ou mais poluentes de interesse são instalados em um ou mais veículos para fazerem medições enquanto percorrem repetidamente uma rota planejada. As medidas coletadas são analisadas a fim de mapear a qualidade do ar – especialmente para poluentes primários com fortes gradientes espaciais, como NO_x ($\text{NO} + \text{NO}_2$), carbono negro e partículas ultrafinas (UFP, na sigla em inglês) – com alta resolução espacial em áreas urbanas. Um exemplo recente demonstrou o processamento automatizado dos dados e uma abordagem altamente escalonável (25) com instrumentos implantados em veículos designados para essa finalidade, os quais identificaram fontes pequenas, mas mal controladas de emissões locais que podem ser comuns até mesmo em cidades que geralmente têm uma boa qualidade do ar. A maior força potencial do monitoramento móvel é sua eficiência e seu custo-benefício, que poderiam ser ainda mais aprimorados com monitores implantados em frotas comerciais (como Uber, táxis, veículos de entrega) ou frotas públicas (ônibus, veículos policiais etc.) já existentes.

Em contrapartida, o monitoramento móvel pode ser uma abordagem menos eficiente para caracterizar poluentes que tenham variabilidade espacial mais limitada (por exemplo, $\text{PM}_{2.5}$, ozônio). Além disso, a maioria dos conjuntos de dados de monitoramento móvel por si só é insuficiente para caracterizar padrões espaciais de poluição em locais longe das estradas e a variação temporal nos padrões por dia e semana, uma vez que uma pequena frota de monitoramento não pode estar em todos os lugares ao mesmo tempo. Finalmente, como o monitoramento móvel pode gerar rapidamente grandes quantidades de dados complexos, uma aplicação bem-sucedida dessa técnica requer uma equipe bem treinada e experiente na análise desse tipo específico de dados.

Redes de sensores de baixo custo são uma inovação promissora com muitas aplicações, especialmente quando integradas a outras abordagens de modelagem. Dispositivos portáteis e de baixo custo para detectar contaminantes atmosféricos em tempo real têm um longo histórico, mas nos últimos anos, os avanços na tecnologia de sensores e microeletrônica capturaram a imaginação de vários grupos interessados e inovadoras do setor de qualidade do ar, incluindo organizações da sociedade civil. O aumento recente no interesse e desenvolvimento produziu dispositivos comercialmente disponíveis para o mercado consumidor (26). Sensores de baixo custo têm sido usados por grupos de cidadãos quando os dados de medição do governo não estão disponíveis ou não são considerados confiáveis (por exemplo, devido a lacunas espaciais que não registram pontos de maior concentração de poluição).

Até o momento, várias limitações dos sensores de baixo custo impediram a compreensão de seu potencial. A precisão dos sensores tem sido um grande problema (27). Além disso, muitos sensores de baixo custo foram desenvolvidos por empresas iniciantes (startups), gerando preocupações quanto à sua disponibilidade de longo prazo, propriedade dos dados e falta de transparência sobre algoritmos de dispositivos exclusivos e dados de teste de desempenho para alguns dispositivos. Em resposta, várias agências locais, nacionais e internacionais iniciaram programas de teste e avaliação para sensores específicos, bem como orientações sobre sua implantação em redes (28–32). Uma limitação adicional dos sensores de baixo custo é que a precisão e imunidade à interferência são atualmente limitadas para contaminantes que não sejam material particulado (massa ou contagem), monóxido de carbono e COV.

Entre as aplicações propostas para os sensores de baixo custo está a de redes conectadas a um grande número deles, implantados em alta densidade para avaliar mudanças nas concentrações de poluentes em pequenas áreas espaciais e períodos curtos (32). No entanto, a utilidade dos dados coletados por uma grande rede densa de tais dispositivos está longe de ser clara. Um pequeno pico (de segundos a minutos) nos níveis medidos por um único sensor pode indicar um sensor defeituoso ou um aumento transitório na poluição atmosférica de modo altamente localizado. Este último tem pouca relevância para a gestão da qualidade do ar ou para a saúde pública, a menos que afete uma grande população ou ocorra periodicamente.

As considerações operacionais também representam uma barreira para a operação continuada de uma rede de sensores de baixo custo. Os dados de poluição atmosférica coletados com sensores imprecisos ou defeituosos ou coletados sem um protocolo de amostragem bem documentado e projetado e dando atenção às operações, à manutenção e a QA/QC limitarão seu valor (33). Embora o baixo custo das unidades de sensores seja atrativo, os custos de mão de obra e outros recursos de implantação, manutenção, calibragem e substituição do dispositivo, juntamente com o gerenciamento e a manutenção da rede de dados (34) poderiam anular grande parte ou toda a economia feita na compra dos instrumentos. Além disso, a complexidade e as necessidades de computação para gestão de dados, análise e QA/QC podem sobrecarregar a capacidade das agências governamentais dos países de baixa e média renda. Há também o potencial de que esses dados coletados por grupos de cidadãos desviem o pessoal e os recursos já limitados para o controle da qualidade do ar do governo dos esforços para controlar as fontes de poluição identificadas e importantes.

À medida que a qualidade dos sensores e algoritmos de rede melhoram, há potencial para que essas abordagens melhorem nossa compreensão da qualidade do ar, particularmente onde um monitor de referência de alta qualidade serve como um nodo de dados para ajudar a calibrar uma rede maior de sensores de baixo custo e onde grupos acadêmicos, governamentais e de cidadãos colaboram para projetar implantações de sensores, captura, análise e interpretação de dados. Um resumo das melhores práticas para orientar tais esforços foi publicado pela Organização Meteorológica Mundial e está disponível no Anexo 2 do documento (32).

À medida que os produtos de dados do governo melhoram e cada vez mais atendem às exigências dos cidadãos de terem informações acessíveis sobre a qualidade do ar, a demanda por sensores e redes utilizados pelos cidadãos para preencher as lacunas nos dados pode diminuir, mas suas aplicações em parcerias entre ciência e cidadãos, além de seu engajamento e sua conscientização provavelmente permanecerão.

Anexo 2 | Tabela 1

Componentes e considerações das abordagens de monitoramento

Método	Capacidades e considerações	Resolução espacial e temporal	Custos* de equipamentos e recursos necessários	Pontos fortes	Limitações
Monitor de referência em local fixo	Medições precisas, adequadas para comparação com normas regulatórias, monitoramento de tendências a longo prazo, suporte para previsões e avisos de saúde de curto prazo	Até 1 a cada 2-4 km ² de área para avaliar a poluição atmosférica numa escala de bacia aérea urbana. Resolução temporal diária a horária ou mais fina	<ul style="list-style-type: none"> Moderados (US\$ 20-30 mil ou mais) para monitor de PM_{2.5} Altos (US\$ 100-200 mil) para o local com múltiplos poluentes (incluindo gasoso) Custos adicionais para estrutura, terra, energia e mão de obra 	Qualidade de medição padrão-ouro	Altos requisitos de custo e local, incluindo fonte de alimentação de energia confiável, número limite de locais e resolução espacial
Inovações de monitoramento					
Monitoramento avançado de partículas da superfície	Amostrador baseado em filtro de PM com qualidade de referência para medir a concentração de massa e a composição química	1 ou 2 monitores por bacia aérea urbana. Resolução temporal pode ser entre um a vários dias	<ul style="list-style-type: none"> 1 ou 2 monitores por bacia aérea urbana. Resolução temporal pode ser entre um a vários dias Moderado (US\$ 50 mil para instrumento SPARTAN) Baixo custo operacional (US\$ 10.000/ano) Localização conjunta com instrumentos de profundidade óptica do aerossol (AOD, na sigla em inglês) melhora as medições baseadas em sensoriamento remoto 	Alta qualidade de composição de massa e partículas de PM para atribuição de fontes. Bom custo-benefício para medição local e melhoria das estimativas de sensoriamento remoto	Altos requisitos de custo e local, incluindo fonte de alimentação de energia confiável, número limite de locais e resolução espacial
Estimativas com base em sensoriamento remoto por satélite	Estimativas para qualquer localização de PM _{2.5} e NO ₂ , usando medições via satélite e na superfície, além de modelos de transporte.	~10 km ² ou melhor. Média anual ou concentrações diárias	Sem custo para cidades ou outros usuários individuais	Cobertura global de baixíssimo custo, de múltiplos anos, incluindo regiões com monitoramento oficial esparsas	Mais incerto em regiões com monitores de superfície esparsos. Perde alguns pontos de maior concentração
Modelos de regressão do uso do solo	Modelos utilizam medições da poluição e preditores espaciais para estimar concentrações, em alta resolução espacial dentro de áreas urbanas	Resolução espacial de 50-300 m ² . Resolução temporal média sazonal ou anual	<ul style="list-style-type: none"> Custo moderado por estudo (US\$ 45-75 mil) Requer dados de predição locais e habilidades de modelagem especializadas 	Alta resolução espacial, baixo custo, especialmente útil para a poluição atmosférica relacionada ao tráfego	Estimativas modeladas, não medições, limitadas por conjuntos de dados preditores
Monitoramento móvel	Medição móvel de múltiplos poluentes com monitores de qualidade de referência em tempo real enquanto percorre repetidamente as ruas da cidade	<ul style="list-style-type: none"> ~30-100m² de resolução espacial Resolução temporal média sazonal ou anual 	<ul style="list-style-type: none"> Custo moderado por campanha (US\$ 75 mil) Alto custo de capital inicial para instrumentos e construção do pacote de medição em veículos 	<ul style="list-style-type: none"> Múltiplos poluentes, instrumentos de alta qualidade, resolução espacial fina Um pacote de veículos e instrumentos pode mapear muitas áreas 	<ul style="list-style-type: none"> Medição e mapeamento de poluentes limitados a vias de tráfego Baixa resolução temporal Alto custo de capital inicial e conhecimento técnico necessários
Rede de sensores de baixo custo	Rede de múltiplos sensores de baixo custo para monitorar com alta resolução espacial e temporal. Tecnologia de sensores de PM _{2.5} mais madura	Resolução espacial e número de sensores variáveis. Resolução temporal de < 1 minuto	<ul style="list-style-type: none"> Custo baixo por sensor (US\$ 100-500) Moderado (US\$ 30 mil) para integração de dados Custos adicionais com mão de obra para implantação, calibração e manutenção contínuas do instrumento 	<ul style="list-style-type: none"> Informações semiquantitativas sobre a qualidade do ar e as fontes em alta resolução de espaço e tempo Pode promover o engajamento dos cidadãos 	<ul style="list-style-type: none"> A má qualidade dos dados e as interferências limitam a qualidade dos dados além dos sensores de PM O baixo custo do sensor pode ser contrabalanceado pela qualidade limitada dos dados dos sensores e sua vida útil, além de altos custos de entrada de pessoal Valor incerto de ação em saúde pública dos "picos" breves e altamente localizados

* Os custos são apenas estimativas para ilustração. Os custos reais dependerão de taxas de câmbio, tarifas e outros fatores.

Anexo 2 | Referências

- 1 van Donkelaar A, Martin R, Verdusco C, Brauer M, Kahn R, Levy R, et al. A hybrid approach for predicting PM_{2.5} exposure: Van donkelaar et al. respond. *Environ Health Perspect*. 2010;118(10).
- 2 Kloog I, Koutrakis P, Coull BA, Lee HJ, Schwartz J. Assessing temporally and spatially resolved PM_{2.5} exposures for epidemiological studies using satellite aerosol optical depth measurements. *Atmos Environ*. 1 de novembro de 2011;45(35):6267–75.
- 3 van Donkelaar A, Martin R V, Spurr RJD, Burnett RT. High-Resolution Satellite-Derived PM_{2.5} from Optimal Estimation and Geographically Weighted Regression over North America. *Environ Sci Technol*. 1 de setembro de 2015;49(17):10482–91.
- 4 de Hoogh K, Gulliver J, Donkelaar A van, Martin R V, Marshall JD, Bechle MJ, et al. Development of West-European PM_{2.5} and NO₂ land use regression models incorporating satellite-derived and chemical transport modelling data. *Environ Res*. 1 de novembro de 2016;151:1–10.
- 5 Ma Z, Hu X, Huang L, Bi J, Liu Y. Estimating Ground-Level PM_{2.5} in China Using Satellite Remote Sensing. *Environ Sci Technol*. 13 de julho de 2014;48(13):7436–44.
- 6 Li T, Zhang Y, Wang J, Xu D, Yin Z, Chen H, et al. All-cause mortality risk associated with long-term exposure to ambient PM_{2.5} in China: a cohort study. *Lancet Public Health*. Outubro de 2018;3(10):e470–7.
- 7 Health Effects Institute. State of Global Air [Internet]. State of Global Air. 2019 [citado em 1 de set., 2019]. Disponível em: <https://www.stateofglobalair.org/sites/default/files/soga-2018-report.pdf>
- 8 Institute for Health Metrics and Evaluation [Internet]. Institute for Health Metrics and Evaluation. [citado em 18 de out., 2018]. Disponível em: <http://www.healthdata.org/institute-health-metrics-and-evaluation>
- 9 MAIA | Investigation [Internet]. [citado em 7 de nov., 2019]. Disponível em: <https://maia.jpl.nasa.gov/investigation/>
- 10 Martin RV, Brauer M, van Donkelaar A, Shaddick G, Narain U, Dey S. No one knows which city has the highest concentration of fine particulate matter. *Atmospheric Environ X*. 24 de junho de 2019;10:0040.
- 11 Uz S. Applied Remote Sensing Training | ARSET [Internet]. [citado em 18 de out., 2019]. Disponível em: /home
- 12 Brauer M, Guttikunda SK, K a N, Dey S, Tripathi SN, Weagle C, et al. Examination of monitoring approaches for ambient air pollution: A case study for India. *Atmos Environ*. 1 de novembro de 2019;216:116940.
- 13 U.S. National PM_{2.5} Chemical Speciation Monitoring Networks—CSN and IMPROVE: Description of networks: *Journal of the Air & Waste Management Association*: Vol 64, No 12 [Internet]. [citado em 10 de out., 2019]. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10962247.2014.956904>
- 14 Solomon PA, Mitchell W, Tolocka M, Norris G, Gemmill D, Wiener R, et al. Evaluation of PM_{2.5} chemical speciation samplers for use in the EPA National PM_{2.5} Chemical Speciation Network. Office of Air Quality Planning and Standards; 2000.
- 15 Matte TD, Ross Z, Kheirbek I, Eisl H, Johnson S, Gorczynski JE, et al. Monitoring intraurban spatial patterns of multiple combustion air pollutants in New York City: design and implementation. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2013;23(3):223–231.
- 16 Carmichael GR, Ferm M, Thongboonchoo N, Woo J-H, Chan LY, Murano K, et al. Measurements of sulfur dioxide, ozone and ammonia concentrations in Asia, Africa, and South America using passive samplers. *Atmos Environ*. 1 de março de 2003;37(9):1293–308.
- 17 Krupa SV, Legge AH. Passive sampling of ambient, gaseous air pollutants: an assessment from an ecological perspective. *Environ Pollut*. 1 de janeiro de 2000;107(1):31–45.
- 18 Snider G, Weagle CL, Murdymootoo KK, Ring A, Ritchie Y, Stone E, et al. Variation in global chemical composition of PM_{2.5}/inf: emerging results from SPARTAN. *Atmospheric Chem Phys*. 2016;16(15).
- 19 Snider G, Weagle CLL, Martin RV V., van Donkelaar A, Conrad K, Cunningham D, et al. SPARTAN: a global network to evaluate and enhance satellite-based estimates of ground-level particulate matter for global health applications. *Atmospheric Meas Tech*. 30 de janeiro de 2015;8(1):505–21.
- 20 Both AF, Balakrishnan A, Joseph B, Marshall JD. Spatiotemporal Aspects of Real-Time PM_{2.5}: Low- and Middle-Income Neighborhoods in Bangalore, India. *Environ Sci Technol*. 1 de julho de 2011;45(13):5629–36.
- 21 Zhou Z, Dionisio KL, Arku RE, Quaye A, Hughes AF, Vallarino J, et al. Household and community poverty, biomass use, and air pollution in Accra, Ghana. *Proc Natl Acad Sci*. 5 de julho de 2011;108(27):11028–33.
- 22 Guttikunda SK, Nishadh KA, Jawahar P. Air pollution knowledge assessments (APnA) for 20 Indian cities. *Urban Clim*. 1 de março de 2019;27:124–41.
- 23 Hoek G, Beelen R, de Hoogh K, Vienneau D, Gulliver J, Fischer P, et al. A review of land-use regression models to assess spatial variation of outdoor air pollution. *Atmos Environ*. 2008;42(33):7561–78.
- 24 Beelen R, Hoek G, Vienneau D, Eeftens M, Dimakopoulou K, Pedeli X, et al. Development of NO₂ and NO_x land use regression models for estimating air pollution exposure in 36 study areas in Europe—the ESCAPE project. *Atmos Environ*. 2013;72:10–23.
- 25 Apte JS, Messier KP, Gani S, Brauer M, Kirchstetter TW, Lunden MM, et al. High-Resolution Air Pollution Mapping with Google Street View Cars: Exploiting Big Data. *Environ Sci Technol*. 20 de junho de 2017;51(12):6999–7008.
- 26 Dye T. Brief History of Air Quality Sensing [Internet]. TD Environmental Services. 2019 [citado em 20 de fev., 2019]. Disponível em: <http://tdenviro.com/brief-history-air-quality-sensing/>
- 27 Zheng T, Bergin MH, Johnson KK, Tripathi SN, Shirodkar S, Landis MS, et al. Field evaluation of low-cost particulate matter sensors in high and low-concentration environments. *Atmospheric Meas Tech*. 22 de agosto de 2018;11(8):4823–46.
- 28 Jiao W, Hagler G, Williams R, Sharpe R, Brown R, Garver D, et al. Community Air Sensor Network (CAIRSENSE) project: evaluation of low-cost sensor performance in a suburban environment in the southeastern United States. *Atmospheric Meas Tech*. 1 de novembro de 2016;9(11):5281–92.
- 29 AQ-SPEC Home Page [Internet]. [citado em 19 de mar., 2019]. Disponível em: <http://www.aqmd.gov/air-spec/home>
- 30 US EPA O. Air Sensor Toolbox for Citizen Scientists, Researchers and Developers [Internet]. US EPA. 2016 [citado em 2 de set., 2019]. Disponível em: <https://www.epa.gov/air-sensor-toolbox>
- 31 Air Quality Map | Cowichan Valley Regional District [Internet]. [citado em 2 de set., 2019]. Disponível em: <https://www.cvrtd.bc.ca/2187/Air-Quality-Map>
- 32 Alastair C. Lewis, Erika von Schneidmesser and Richard E. Peltier (editors). Low-cost sensors for the measurement of atmospheric composition: overview of topic and future applications [Internet]. [citado em 19 de mar., 2019]. Disponível em: http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/documents/Low_cost_sensors_18_Oct.pdf
- 33 Aoki P, Woodruff A, Yellapragada B, Willett W. Environmental Protection and Agency: Motivations, Capacity, and Goals in Participatory Sensing. In: *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems – CHI '17* [Internet]. Denver, Colorado, USA: ACM Press; 2017 [citado em 26 de fev., 2019]. p. 3138–50. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=3025453.3025667>
- 34 Lewis AC, Von Schneidmesser E, Peltier R, Lung C, Jones R, Zellweger C, et al. Low-cost sensors for the measurement of atmospheric composition: overview of topic and future applications. Draft copy for public review.

Anexo 3

Melhores práticas para redes operacionais para a produção de conjuntos de dados de alta qualidade de acordo com a Organização Meteorológica Mundial

Atributos da rede	Redes de pesquisa	Redes regulatórias	Redes de sensores
Padrão primário estabelecido	●	●	●
Rastreabilidade para o padrão primário via comparação direta	●	●	●
Melhores práticas para diretrizes de medição e procedimentos operacionais padrão	●	●	●
Uso de objetivos de qualidade de dados (por ex., precisão, estabilidade, desvio) para uma aplicação	●	●	●
Manutenção no local	●	●	●
Implementação dos procedimentos de qualidade do ar (por ex., calibragem, validação)	●	●	●
Comparação entre instrumentos/sensores de rede	●	●	●
Auditorias independentes de locais e instrumentos	●	●	●
Algoritmos de processamento de dados abertos/transparentes	●	●	●
Compartilhamento aberto de dados	●	●	●
Registro de operações do local e instrumento	●	●	●
Treinamento aprofundado disponível	●	●	●

Fonte: Organização Meteorológica Mundial

- Exigido e realizado de modo consistente
- Prática comum, mas não ocorre de modo consistente
- Encorajado, mas são necessárias novas técnicas

Anexo 4

Comparação entre atribuição de fontes baseada em fontes e atribuição baseada em receptores

	Abordagem baseada em fontes (ascendente)	Abordagem baseada em receptores (descendente)
Descrição	Nesta abordagem, é estabelecido um inventário de emissões para todos os setores de fontes conhecidos e analisados com modelos atmosféricos para estimar a contribuição de cada fonte para a poluição ambiental e sua composição numa área geográfica.	Nesta abordagem, as amostras ambientais são analisadas quanto à composição química e comparadas aos perfis químicos de emissões de diferentes combustíveis. Um modelo estatístico é utilizado para estimar a cota de contribuição de cada combustível para a amostra ambiental medida.
Definição de “fonte”	Normalmente, “fonte” se refere a um setor e, em alguns casos, pode se referir a uma região.	Normalmente, “fonte” se refere ao tipo de combustível e com algumas suposições pode se referir a um setor.
Principais limitações	A qualidade e o detalhamento dos dados de inventário de emissões dependem da exatidão dos fatores de emissão, que podem variar de acordo com a região e as tecnologias de combustão, a precisão dos dados de consumo de combustível e de dados relevantes de atividade, como quilometragens rodadas por veículos.	É difícil separar as contribuições dos setores que queimam os mesmos combustíveis. Por exemplo, os perfis químicos são semelhantes entre geradores, caminhões e equipamentos de construção movidos a diesel; entre a poeira da erosão do vento e a poeira suspensa novamente pelo tráfego rodoviário; e entre biomassa queimada num campo aberto e aquela queimada dentro de casas para cozinhar.
Representatividade espacial	Os resultados da análise são representativos de todo o ar selecionado para as emissões e do exercício de modelagem de transporte químico.	Os resultados da análise são representativos dos locais onde as amostras são coletadas e locais semelhantes em termos de impactos da fonte, para um monitor individual. A representatividade do resultado geral para uma cidade ou região depende do número e da representatividade dos locais de amostragem em relação à cidade ou região.
Representatividade temporal	Os resultados da análise estarão disponíveis em diversas escalas temporais – por hora, por dia, por mês e por estação, dependendo da resolução temporal dos dados de emissões e do exercício de modelagem do transporte químico. Para o planejamento, futuros impactos da fonte podem ser estimados para vários cenários de emissões.	Os resultados da análise são representativos do período durante o qual uma amostra é coletada. Por isso, várias amostras são necessárias por mês e estação para verificar as tendências temporais das contribuições da fonte durante um determinado período. Não é adequado para estimar contribuições setoriais de cenários futuros.

Anexo 4

Comparação entre atribuição de fontes baseada em fontes e atribuição baseada em receptores (cont.)

	Abordagem baseada em fontes (ascendente)	Abordagem baseada em receptores (descendente)
Custo	VARIÁVEL – dependendo da coleta primária de dados necessária, das ferramentas de modelagem empregadas e da granularidade do exercício de modelagem de emissões e transporte químico. Alguns dados de emissões e atividade podem ser coletados para outros fins (por ex., receitas fiscais de combustível, gerenciamento de tráfego) e disponibilizados por pouco ou nenhum custo.	ALTO – Amostradores, equipamentos de laboratório para análise química e outras logísticas, como viagens de ida e volta aos locais de amostragem, e o tempo de pessoal é ALTO. O custo total depende do número de locais amostrais na bacia aérea e do número de amostras coletadas por estação do ano.
Necessidades laboratoriais	VARIÁVEIS – somente quando a coleta de dados primários é realizada para verificar os fatores de emissão por combustível e por setor.	ALTAS – um conjunto rigoroso de protocolos deve ser seguido a partir de amostragem, armazenamento, análise química, geração de perfil das fontes, QA/QC e modelagem de receptores.
Necessidade de mão de obra	BAIXA a MÉDIA – Uma vez reunidos os dados de emissões e meteorológicos, vários exercícios de modelagem podem ser implementados cobrindo vários cenários e períodos de tempo em toda uma região ou bacia aérea urbana.	ALTA – Inclui funcionários para realizar tarefas de campo, laboratório e modelagem estatística conforme descrito abaixo. Amostradores avançados e semiautônomos podem reduzir o tempo de pessoal no campo.
Necessidade de mão de obra habilitada	ALTA – é necessária uma equipe experiente para reunir/gerenciar/mapear/analisar o inventário de emissões da bacia aérea; é necessária uma equipe experiente para operar/calibrar/analisar os modelos de transporte químico atrelados à meteorologia da bacia aérea, a fim de verificar as contribuições das fontes.	ALTO – é necessário pessoal experiente para coletar/armazenar/registrar as amostras durante o experimento de campo; é necessária uma equipe experiente para operar/calibrar/analisar as amostras no laboratório; e é necessária uma equipe experiente para realizar o exercício de modelagem de receptores envolvendo a seleção e o uso de perfis de fontes relevantes.
Necessidades computacionais	ALTAS – dependendo do modelo de transporte químico escolhido, o mecanismo químico selecionado, a resolução espacial e temporal do sistema de modelagem e o alcance dos parâmetros de saída, as necessidades computacionais podem variar de ALTAS a MUITO ALTAS.	MÍNIMAS – pacotes estatísticos de modelagem de receptores podem ser executados num computador pessoal.
Tempo necessário para completar um estudo	Normalmente, menos de um ano para estudos que abrangem vários cenários, incluindo projeções prospectivas.	Normalmente, um ano para os exercícios amostrais e 1-2 anos para análise química e modelagem de receptores (dependendo da capacidade laboratorial). Cada análise se aplica a uma seção transversal retrospectiva do tempo.

Anexo 5 | Tabela 1

Recursos de atribuição de fontes e emissões

Lista de inventários globais de emissões antropogênicas

Recurso	Site	Resolução geográfica, cobertura, período de dados e setores incluídos	Breve descrição	Comentários, pontos fortes, limitações
Inventários Globais (todas as espécies consideradas)				
HTAPv2.2 (Transporte Hemisférico da Poluição Atmosférica)	<p>Documentação: https://www.atmos-chem-phys.net/15/11411/2015/acp-15-11411-2015.pdf</p> <p>Dados: http://edgar.jrc.ec.europa.eu/htap_v2/</p>	<ul style="list-style-type: none"> Global, regional (por ex., EUA, Europa, China, África) Tamanho da grade 0,1° Anos 2008 e 2010 Antropogênicos: sete setores (energia elétrica, indústria, residencial, agrícola, transporte terrestre, aviação e navegação marítima) 	HTAPv2 é uma compilação de inventários de emissões regionais e nacionais oficialmente aceitos e complementados com mapas de grade EDGAR v4.3 para países ou setores sem dados reportados.	<p>Pontos Fortes</p> <ul style="list-style-type: none"> Um conjunto harmonizado de dados de emissões com cobertura global de alta resolução espacial Coleta de inventários oficiais Recomendado como um inventário global de emissões de base <p>Limitações</p> <ul style="list-style-type: none"> As emissões excluem a queima de biomassa em larga escala (incêndios florestais, incêndios de turfa e sua decomposição) e queima de resíduos agrícolas ou de pastos Inconsistências nas fronteiras do país entre dois inventários adjacentes, gerando alta variação de emissões em grades transfronteiriças
EDGARv4.3.2 (Banco de Dados de Emissões para Pesquisa Atmosférica Global)	<p>Documentação: https://www.earth-syst-sci.data.net/10/1987/2018/essd-10-1987-2018.pdf</p> <p>Dados: http://edgar.jrc.ec.europa.eu/overview.php?v=432</p>	<ul style="list-style-type: none"> Global, regional, específica por país Tamanho da grade 0,1° 1970 – 2012 (até 2017 para emissões de CO₂ fóssil) Antropogênicos: cinco principais categorias de emissões (energia elétrica, indústria e processamento, transporte, residencial e agrícola) e 32 subsetores agregados de emissões 	<p>O conjunto de dados EDGAR v4.3.2 fornece emissões antropogênicas globais passadas e atuais de gases de efeito estufa e poluentes atmosféricos com base em estatísticas disponíveis para o público.</p> <p>Versão 5: CO₂ Versão 4.3.2: GEE (CO₂, CH₄, N₂O) e PA (gases e aerossóis), SOV e COVNM</p>	<p>Pontos Fortes</p> <ul style="list-style-type: none"> Metodologia ascendente consistente de cálculo de emissões aplicada para todos os países do mundo numa estrutura setorial Permite a comparação de fontes específicas de cada país e setor <p>Limitações</p> <ul style="list-style-type: none"> Sem emissões de BC e OC Informações menos precisas em enfoque subnacional ou urbano Falta modelagem detalhada das emissões de subsetores
ACCMIP (Projeto Intercomparativo de Química Atmosférica e Modelo Climático)	<p>Documentação: https://www.atmos-chem-phys.net/10/7017/2010/acp-10-7017-2010.pdf</p> <p>https://www.giss.nasa.gov/projects/accmip/</p> <p>Dados: https://eccad3.sedoo.fr/</p>	<ul style="list-style-type: none"> Estimativas globais e regionais Tamanho da grade 0,5° 1850 – 2100 Antropogênicos: oito setores (transporte, energia elétrica, indústrias, residencial, solventes, agricultura, resíduos agrícolas, resíduos) Queima de biomassa: dois setores (queima de savanas e incêndios florestais) 	O ACCMIP é um conjunto de dados setoriais em grade de emissões antropogênicas e de biomassa, com o ano 2000 como ponto de ancoragem para emissões históricas (de 1850 a 2000) e emissões futuras (até 2100). Foi desenvolvido em conjunto com as projeções de emissões das RCP e para uso necessário ao CMIP5 em apoio ao relatório de avaliação 5 do IPCC.	<p>Pontos Fortes</p> <ul style="list-style-type: none"> Fornecer consistentes emissões em grade de gases reativos e aerossóis para uso em simulações de modelos químicos necessárias aos modelos climáticos para CMIP5 <p>Limitações</p> <ul style="list-style-type: none"> Falta consistência total entre emissões de CO₂, gases reativos e de aerossóis devido ao uso de uma variedade de inventários Não é possível reproduzir a variabilidade entre anos devido ao enfoque em mudanças de longo prazo Subestimação das tendências de longo prazo no ozônio da superfície e no meio da troposfera
RCP (Rotas de Concentração Representativas)	<p>Documentação: http://sedac.ipcc-data.org/ddc/ar5_scenario_process/RCPs.html</p> <p>Dados: http://www.iiasa.ac.at/webapps/tnt/RcpDb</p>	<ul style="list-style-type: none"> Estimativas globais e regionais Tamanho da grade 0,5° 2000 – 2300 Antropogênicos: nove setores (transporte, energia elétrica, indústrias, embarcações, residencial, solventes, agricultura, resíduos agrícolas, resíduos) Queima de biomassa: dois setores (queima de savanas e incêndios florestais) 	O banco de dados de RCP contém projeções de emissões futuras com base em diferentes níveis de força radiativa (ou seja, RCP 2.6 ou 3PD, 4.5, 6.0 e 8.5), e é gerado por Modelos de Avaliação Integrada, que utilizam as emissões de 2000 como ponto de ancoragem. As projeções são estendidas para experimentos de modelagem climática para 2300	<p>Pontos Fortes</p> <ul style="list-style-type: none"> As RCP são compatíveis com toda a gama de cenários de estabilização, mitigação e de linha de base de emissões disponíveis na literatura científica atual <p>Limitações</p> <ul style="list-style-type: none"> As RCP não são nem previsões nem recomendações políticas As quatro RCP juntas não podem ser tratadas como um conjunto com lógica socioeconômica interna consistente

Recurso	Site	Resolução geográfica, cobertura, período de dados e setores incluídos	Breve descrição	Comentários, pontos fortes, limitações
MACCity (Projetos da UE MACC/ CityZEN)	Documentação: http://hdl.handle.net/10.1007/s10584-011-0154-1 https://www.atmos-chem-phys.net/6/3423/2006/acp-6-3423-2006.pdf Dados: https://eccad3.sedoo.fr/	<ul style="list-style-type: none"> Estimativas globais e regionais Tamanho da grade 0.5° 1960 – 2010 Antropogênicos: nove setores (transporte, energia elétrica, indústrias, embarcações, residencial, solventes, agricultura, resíduos agrícolas, resíduos) Queima de biomassa: dois setores (queima de savanas e incêndios florestais) 	MaCCity, desenvolvido como parte dos projetos MACC e CityZen, é um novo inventário de emissões antropogênicas globais que fornece estimativas atualizadas para uso nos modelos MACC globais. O conjunto de dados de emissões de queima de biomassa (baseado em RETRO e GFEDv2; 1960–2008).	<p>Pontos Fortes</p> <ul style="list-style-type: none"> O inventário é uma extensão das emissões de décadas do ACCMIP (para CMIP5) e RCP 8.5 para valores anuais com um ciclo sazonal (baseado no RETRO) <p>Limitações</p> <ul style="list-style-type: none"> Imprecisão devido a uma fonte potencial de erro comum às simulações climáticas químicas de longo prazo de espécies troposféricas e seu impacto na força radiativa
HYDE1.3 (ou EDGAR-HYDE; banco de dados de cem anos para avaliação ambiental integrada)	Documentação: https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2000GB001265 Dados: https://themasites.pnl.nl/tridion/en/themasites/edgar/emission_data/edgar-hyde-100yr/edgar-hyde-1-3-griddedemissions.html	<ul style="list-style-type: none"> Estimativas com bases global, regional e nacional Tamanho da grade 1° 1980 – 1990 Antropogênicos: cinco setores (uso de energia, processos industriais, agricultura (sem queimadas), queima de biomassa, queima de resíduos agrícolas e aterros sanitários) 	Um conjunto de dados de emissões antropogênicas é construído para CO ₂ , CO, CH ₄ , compostos orgânicos voláteis não metânicos (COVNM), SO ₂ , NO _x , N ₂ O e NH ₃ usando uma abordagem de fator de emissões. O inventário se baseia nos fatores de emissão de fontes descontroladas em EDGARv2.0 para 1990.	<p>Pontos Fortes</p> <ul style="list-style-type: none"> As estimativas de emissão de gases de efeito estufa e gases reativos residuais são calculadas consistentemente usando o sistema EDGAR para que melhorias futuras em relação às atividades e aos fatores de emissão possam ser facilmente implementadas. <p>Limitações</p> <ul style="list-style-type: none"> Incertezas significativas sobretudo para as emissões históricas Distinção pouco clara entre fontes antropogênicas e naturais Efeitos secundários negligenciados das atividades humanas sobre fontes naturais, como as emissões de metano por mudanças em áreas pantanosas
RETRO (Reanálise da composição química TROposférica)	Documentação: http://gains.iiasa.ac.at https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815211001733 https://www.atmos-chem-phys.net/15/10529/2015/acp-15-10529-2015.pdf Dados: http://www.iiasa.ac.at/web/home/research/researchPrograms/air/ECLIPSEv5.html http://gains.iiasa.ac.at/gains	<ul style="list-style-type: none"> Estimativas com bases global, regional e nacional Tamanho da grade 0.5° 1990 – 2050 Antropogênicos: oito setores (transporte, energia elétrica, indústrias, residencial, solventes, agricultura, resíduos agrícolas, resíduos) 	<p>O conjunto de dados ECLIPSE é um inventário para emissões antropogênicas de poluentes climáticos de vida curta (SLCP, na sigla em inglês) passadas e futuras, e sua distribuição espacial. Foi criado com o modelo GAINS [Greenhouse Gas – Air Pollution Interactions and Synergies], que calcula as emissões de poluentes atmosféricos e gases de efeito estufa de Quioto num quadro consistente.</p> <p>O modelo GAINS contém informações essenciais sobre as principais fontes de emissões, políticas ambientais e mais oportunidades de mitigação para 172 regiões.</p>	<p>Pontos Fortes</p> <ul style="list-style-type: none"> O inventário é atualizado para a legislação vigente passada recente e até 2050 Comparações detalhadas entre distribuições medidas e modeladas de aerossóis, O₃ e outros gases SLCP mostraram que para muitas substâncias, os modelos estão de acordo com as observações de fundo disponíveis <p>Limitações</p> <ul style="list-style-type: none"> O inventário não inclui transporte marítimo e aviação internacionais, nem estimativas independentes de emissões vindas de incêndios florestais e queimadas na savana, poeira e estradas não pavimentadas
CEDS (Sistema de Dados de Emissões Comunitárias)	Documentação: https://www.geosci-model-dev.net/11/369/2018/ https://www3.epa.gov/ttn/chief/conference/ei21/session2/ssmith.pdf http://www.globalchange.umd.edu/ceds/ Dados: https://esgf-node.ipsl.upmc.fr/search/esgf-ipsl/	<ul style="list-style-type: none"> Estimativas com bases global, regional e nacional Tamanho da grade 0.5° 1750 – 2014 Antropogênicos: oito setores (transporte, energia elétrica, processo industrial, embarcações, residenciais, solventes, agricultura, resíduos) 	O CEDS utiliza inventários de emissões existentes, fatores de emissões e dados de atividade/piloto para estimar emissões anuais por país, setor e combustível ao longo do tempo para uso no modelo CMIP6. As estimativas de emissões são desenvolvidas utilizando estatísticas energéticas da IEA e fatores de emissões, principalmente derivados do GAINS (combustão), EDGARv4.3 (não combustão) e CDIAC (para emissões de CO ₂).	<p>Pontos Fortes</p> <ul style="list-style-type: none"> Combina as estimativas de emissões existentes com os dados piloto (por ex., uso de combustível) para estimativas consistentes de emissões ao longo do tempo Incerteza estimada para todas as emissões como parte da saída do sistema <p>Limitações</p> <ul style="list-style-type: none"> As tendências de emissões para os principais setores de não combustão são menos precisas, sobretudo durante anos em que os conjuntos de dados de emissões a nível de país não estão disponíveis Falta de valores de aproximação de grade espaciais construídos consistentemente ao longo do tempo
CAMS-GLOBAL (Serviço de Monitoramento da Atmosfera Copernicus)	Documentação: https://atmosphere.copernicus.eu/sites/default/files/2018-05/CAMS81_2017SC1_D81.2.2-201802_v3_APPROVED_Ver3.pdf Dados: https://atmosphere.copernicus.eu/anthropogenic-and-naturelemissions	<ul style="list-style-type: none"> Estimativas globais e europeias Tamanho da grade 0.1° 2000 – 2020 Antropogênicos: 11 setores (navios, emissões fugitivas, geração de energia, transporte rodoviário e fora das estradas, processo industrial, residencial, solventes, agricultura, pecuária agrícola, resíduos sólidos e águas residuais) Inventários globais adicionais para navios, oceânico, solo, biogênico, cupins, vulcânico, aviação 	O CAMS fornece distribuições em grades diárias e mensais das emissões antropogênicas europeias e globais, bem como emissões naturais globais. As emissões do CAMS são baseadas em vários conjuntos de dados existentes (por ex., emissões nacionalmente relatadas, EDGAR, ECLIPSE, CEDS, POET), o que garante boa consistência entre as emissões de gases de efeito estufa, gases reativos e partículas de aerossol e seus precursores. Baseia-se no trabalho que está sendo feito nos projetos MACC, -II e -III.	<p>Pontos Fortes</p> <ul style="list-style-type: none"> É baseado nos dados mais realistas relatados a nível nacional e perfis sazonais mais realistas e detalhados

Recurso	Site	Resolução geográfica, cobertura, período de dados e setores incluídos	Breve descrição	Comentários, pontos fortes, limitações
POET (Precursores do Ozônio e seus Efeitos na Troposfera)	<p>Documentação: http://accent.aero.jussieu.fr/Documents/POET_documentation.pdf</p> <p>Dados: http://www.aeris-data.fr/redirect/POET</p> <p>http://accent.aero.jussieu.fr/database_table_inventories.php</p>	<ul style="list-style-type: none"> Estimativas nacionais e setoriais Tamanho da grade 1° 1990 – 2000 Antropogênicos: 14 setores (por ex., indústria, geração de energia, estrada de transporte, cimento, resíduos) Queima de biomassa: dois setores (queima de savanas e incêndios florestais) 	POET trata das emissões globais de gases (precursores do ozônio) a partir de fontes antropogênicas, naturais e de queima de biomassa para o período de 1990-2000. As emissões antropogênicas, de queima de biomassa, de biocombustível e de resíduos agrícolas do POET se baseiam nas emissões do sistema EDGAR v3.2.	<p>Pontos Fortes</p> <ul style="list-style-type: none"> Cenários da evolução dos precursores do ozônio, que não estão incluídos nos estudos do IPCC, foram desenvolvidos para levar em conta políticas de redução de emissões que sejam compatíveis com acordos europeus ou internacionais. <p>Limitações</p> <ul style="list-style-type: none"> Incerteza inerente devido a estimativas modeladas em vez de medidas

Inventários Globais (número seletivo de espécies)

BOND ou SPEW v5.6 (Assistente de Emissão de Poluentes Especificados; BC e OC)	<p>Documentação: https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2006GB002840</p> <p>Dados: http://www.hiwater.org/</p>	<ul style="list-style-type: none"> Estimativas nacionais e setoriais Tamanho da grade 1° 1850 – 2000 Antropogênicos: sete setores (geração de energia, indústria siderúrgica, transporte marítimo, doméstico, transporte rodoviário e fora das estradas, ferrovias, biocombustível) 	<p>BOND é um inventário de emissões de aerossóis primários de BC e de OC oriundos da queima de combustíveis fósseis e biocombustíveis.</p> <p>A gestão de dados foi tratada pelo Assistente de Emissão de Poluentes Especificados (SPEW).</p>	<p>Pontos Fortes</p> <ul style="list-style-type: none"> Reflete mudanças na tecnologia de base nacional e setorial <p>Limitações</p> <ul style="list-style-type: none"> Exclui a queima de vegetação aberta (por ex., florestas) Incertezas significativas associadas à reconstituição histórica A suposição de tempos de transição tecnológica semelhantes entre as regiões é questionável
Junker-Lioussé (BC e OC)	<p>Documentação: https://www.atmos-chem-phys.net/8/1195/2008/acp-8-1195-2008.pdf</p> <p>Dados: http://eccad.aeris-data.fr</p>	<ul style="list-style-type: none"> Estimativas por país Tamanho da grade 1° 1860 – 2003 Antropogênicos: três setores (tráfego, doméstico e industrial) 	J&L é um novo inventário de emissões para as emissões de BC e de catalisadores de oxidação de partículas (POC, na sigla em inglês) por um período que remonta ao início da industrialização com base em dados históricos de produção de combustível.	<p>Pontos Fortes</p> <ul style="list-style-type: none"> Leva em conta as mudanças do fator de emissão ao longo do tempo usando diferentes níveis de desenvolvimento econômico e tecnológico em cada país <p>Limitações</p> <ul style="list-style-type: none"> Viés elevado nas emissões anuais anteriores a 1988 devido aos maiores fatores de emissão do BC de carvão em usinas e caldeiras industriais
PKU (Universidade de Peking; carbono total, BC, OC, PM ₁₀ e PM _{2.5})	<p>Documentação: https://pubs-acsc-org.ezproxy.neu.edu/doi/pdfplus/10.1021/es5021422</p> <p>https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25347079</p> <p>Dados: http://inventory.pku.edu.cn/data/data.html/</p>	<ul style="list-style-type: none"> Estimativas em escalas global e nacional Tamanho da grade 0,1° 1960 – 2014 Antropogênicos: sete setores (petróleo, carvão, gás, queima de biomassa, processo industrial, resíduos, processos de não combustão, incêndios abertos) 	O inventário de emissões da PKU é uma compilação de produtos de dados de alta resolução em escala global sobre o consumo de combustível e emissões de gases de efeito estufa e poluentes atmosféricos oriundos de todas as fontes de combustão.	<p>Pontos Fortes</p> <ul style="list-style-type: none"> A simulação de Monte Carlo foi utilizada durante todo o processo para abordar e quantificar as incertezas das estimativas Dados subnacionais de consumo de energia, modelos empíricos e valores de aproximação adequados utilizados <p>Limitações</p> <ul style="list-style-type: none"> A dependência do consumo de energia em certos parâmetros pode não ser refletida com precisão nos modelos A não ortogonalidade de algumas variáveis socioeconômicas é inevitável e a qualidade exógena delas não pode ser totalmente garantida Os dados disponíveis para a validação do modelo são bastante limitados Incerteza associada ao consumo de combustível, e consequentemente, às emissões de poluentes, no setor residencial
AeroCom Fase III (Comparações de aerossóis entre observações e modelos)	<p>Documentação: https://wiki.met.no/aerocom/phase3-experiments</p> <p>https://www.atmos-chem-phys.net/17/12911/2017/</p> <p>Dados: http://aerocom.met.no/data.html</p>	<ul style="list-style-type: none"> Estimativas globais Tamanho da grade 1° Vários anos, dependendo dos experimentos do modelo 	AeroCom, em seus experimentos de modelos de fase I, II e III, coordenou uma série de estudos com múltiplos modelos, utilizando várias emissões globais (por ex., HTPA, ACCIMP, GFED) para avaliar sistematicamente a presença e o impacto dos principais aerossóis antropogênicos e naturais atmosféricos sobre o clima	<p>Pontos Fortes</p> <ul style="list-style-type: none"> Monta um conjunto de simulações de modelos representando o mais alto nível de modelagem de aerossóis <p>Limitações</p> <ul style="list-style-type: none"> Grande diversidade em simulações de aerossol entre modelos

Recurso	Site	Resolução geográfica, cobertura, período de dados e setores incluídos	Breve descrição	Comentários, pontos fortes, limitações
PNNL (Laboratório Nacional do Noroeste do Pacífico; Inventário de SO ₂)	Documentação: https://www.atmos-chem-phys.net/11/1101/2011/acp-11-1101-2011.pdf	<ul style="list-style-type: none"> Estimativas globais e nacionais Tamanho da grade 0.5° 1850 – 2005 <i>Antropogênicos</i>: dez setores (queima de carvão, queima de petróleo, processamento e queima de gás natural, processamento de petróleo, queima de biomassa, combustível de transporte marítimo, fundição metálica, processamento de celulose e papel, outros processos industriais e queima de resíduos agrícolas) 	O PNNL fornece estimativas anuais de emissões antropogênicas globais e regionais de SO ₂ usando um método de equilíbrio de massa ascendente, calibrado para dados de inventário a nível de país.	<p>Pontos Fortes</p> <ul style="list-style-type: none"> As emissões de enxofre são menos incertas do que as emissões da maioria dos outros poluentes atmosféricos, uma vez que as emissões dependem em grande parte do conteúdo de enxofre em vez das condições de combustão <p>Limitações</p> <ul style="list-style-type: none"> A incerteza na alocação espacial não foi avaliada
Ito-Penner (BC e OM)	Documentação: https://www.atmos-chem-phys.net/11/1101/2011/acp-11-1101-2011.pdf	<ul style="list-style-type: none"> Estimativas em escalas global e nacional Tamanho da grade 1° 1870 – 2000 <i>Antropogênicos</i>: dois setores (queima de combustíveis fósseis e biomassa) e subsetores 	I&P construíram um conjunto de dados históricos de emissões de aerossol carbonáceo, que podem ser usados em estudos de tendência de aerossóis troposféricos e em avaliações ambientais.	<p>Pontos Fortes</p> <ul style="list-style-type: none"> Leva em conta grande parte das variações espaciais e temporais esperadas <p>Limitações</p> <ul style="list-style-type: none"> Apenas estimou as mudanças na tecnologia e os valores líquidos dos fatores de emissão resultantes das emissões de veículos a diesel. Mudanças nas tecnologias e na divisão entre caldeiras/fornos e geradores podem causar grandes mudanças no inventário histórico
Novakov (BC)	Documentação: https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2002GL016345	<ul style="list-style-type: none"> Estimativas globais e regionais Sem grade 1875 – 2000 <i>Antropogênicos</i>: quatro setores (residencial/comercial, indústria, diesel, serviços públicos) 	Novakov et al. estimam tendências históricas de emissões de BC de combustíveis fósseis em seis regiões (por ex., EUA, Reino Unido, China) e as extrapolam para as emissões globais de 1875 em diante.	<p>Pontos Fortes</p> <ul style="list-style-type: none"> Falhas espaciais e temporais em emissões globais e, sobretudo, regionais do BC de combustíveis fósseis foram extrapoladas <p>Limitações</p> <ul style="list-style-type: none"> Maior incerteza da força do BC na mudança climática
Van Aardenne (CO ₂ , CO, CH ₄ , compostos orgânicos voláteis não metânicos, SO ₂ , NO _x , N ₂ O e NH ₃)	Documentação: https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2000GB001265	<ul style="list-style-type: none"> Estimativas em escalas global e nacional Tamanho da grade 1° 1890 – 1990 <i>Antropogênicos</i>: três setores (energia/indústria, agricultura/resíduos e queima de biomassa) 	Um conjunto de dados de emissões antropogênicas construído para gases residuais é baseado no EDGAR v2.0	<p>Pontos Fortes</p> <ul style="list-style-type: none"> Um conjunto de dados de emissões pressupostos para modelos atmosféricos que investigam o efeito de tendências de longo prazo nas emissões de gases residuais <p>Limitações</p> <ul style="list-style-type: none"> Grandes incertezas devido à limitação de dados de atividade e fatores de emissão, e o uso de fatores de emissão agregados constantes para o período de 1890-1970 em vez de fatores representativos de emissão
CDIAC (Centro de Análise de Informações sobre Dióxido de Carbono; CO ₂)	Documentação: https://cdiac.ess-dive.lbl.gov/trends/emis/overview_2014.html Dados: https://data.ess-dive.lbl.gov/view/doi:10.3334/CDIAC/00001_V2017	<ul style="list-style-type: none"> Global, regional e nacional Tamanho da grade 1° 1751-2014 <i>Antropogênicos</i>: quatro setores (combustíveis de navegação, queima de gás, calcário calcinado, usos de não combustíveis) 	Uma série cronológica das emissões de CO ₂ em unidades de milhões de toneladas métricas de carbono por ano, oriundas de fontes antropogênicas no período de 1950 a 2014.	<p>Pontos Fortes</p> <ul style="list-style-type: none"> Estimativas globais históricas (1751) disponíveis <p>Limitações</p> <ul style="list-style-type: none"> Propenso a modelar incertezas

Anexo 5 | Tabela 2

Recursos de atribuição de fontes e emissões

Lista de inventários regionais de emissões antropogênicas

Recurso	Site	Resolução geográfica, cobertura, período de dados e setores incluídos	Breve descrição	Comentários, pontos fortes, limitações
Inventários Globais (todas as espécies consideradas)				
TNO_MACC-III (Monitoramento da Composição Atmosférica e do Clima, Fase III)	Documentação: https://atmosphere.copernicus.eu/sites/default/files/repository/MACCIII_FinalReport.pdf https://www.atmos-chemphys.net/14/10963/2014/acp-14-10963-2014.pdf	<ul style="list-style-type: none"> Europa 2000-2011 Tamanho da grade 0/8x1/16° (~7x7km pela Europa Central) <i>Antropogênicos</i>: dez setores (energia, residencial, indústria, petróleo e gás, uso de produtos, transporte rodoviário, outros transportes, resíduos, agricultura) 	O projeto MACC-III foi a última fase intermediária no desenvolvimento do CAMS operacional: seu objetivo geral era funcionar como uma ponte entre os projetos precursores do desenvolvimento – GEMS, PROMOTE, MACC e MACC-II – e o início das operações do Copernicus.	Pontos Fortes <ul style="list-style-type: none"> Distribuição espacial específica do ano
CAMS_REGv2.0	Documentação: https://atmosphere.copernicus.eu/sites/default/files/2018-11/5-CAMS_User_workshop_Zagreb_Emissions_TNO.pdf https://atmosphere.copernicus.eu/sites/default/files/2018-05/CAMS81_2017SC1_M81.1.1-M6-201802_v3_APPROVED_Ver2.pdf	<ul style="list-style-type: none"> Europa 2000-2015 Tamanho da grade 0.1°x0.05° (~6x6km pela Europa Central) Setores <i>antropogênicos</i> semelhantes aos do MACC 	Inventários CAMS_REG são uma atualização dos inventários TNO_MACC, TNO_MACC-II e TNO_MACC-III, utilizando os dados mais recentes relatados e com melhorias na distribuição espacial	<ul style="list-style-type: none"> Consulte o CAMS-GLOBAL
EMEP (Programa Europeu de Monitoramento e Avaliação)	Documentação: http://emep.int/publ/reports/2018/EMEP_Status_Report_1_2018.pdf Dados: http://www.ceip.at/ms/ceip_home1/ceip_home/webdab_emepdatabase/	<ul style="list-style-type: none"> Europa (área geográfica entre 30°N-82°N de latitude e 30°W-90°E de longitude) 1980-2016 Tamanhos de grade 0.5° e 0.1° <i>Antropogênicos</i>: 13 setores (aviação, combustão não industrial, energia pública, indústria, compras, emissões fugitivas, outras combustões, transporte rodoviário e fora das estradas, solventes, agricultura/pecuária, resíduos) 	O inventário para a Europa contém as emissões totais nacionais dos principais poluentes, metais pesados, poluentes orgânicos persistentes e PM, bem como dados setoriais e dados de emissões em grade. Também estão incluídas no inventário as projeções para 2020, 2025, 2030 e 2050.	Pontos Fortes <ul style="list-style-type: none"> As emissões não relatadas têm suas lacunas preenchidas para criar emissões completas setoriais para toda a área do EMEP Limitações <ul style="list-style-type: none"> A qualidade dos dados de emissões enviados difere significativamente entre os países, resultando em grande incerteza nos dados Valores de aproximação e metodologias de emissões industriais devem ser verificados, uma vez que, para todos os poluentes, foram relatados valores muito inferiores aos dos outros inventário

Anexo 5 | Tabela 2

Recursos de atribuição de fontes e emissões

Lista de inventários regionais de emissões antropogênicas (cont.)

Recurso	Site	Resolução geográfica, cobertura, período de dados e setores incluídos	Breve descrição	Comentários, pontos fortes, limitações
EMP-INERIS (Instituto nacional francês do meio ambiente industrial e seus riscos)	Documentação: https://cordis.europa.eu/docs/results/212/212095/final1-final-report-v24nov2011.pdf https://www.geosci-model-dev.net/10/2397/2017/gmd-10-2397-2017.pdf	<ul style="list-style-type: none"> Europa 1998-2007 Tamanho da grade 0,1° (10x10km²) Antropogênicos: similares ao EMEP e MACCity 	O inventário EMEP-INERIS foi criado pelo parceiro do CityZen (megaCITY – Zoom for the ENvironment), INERIS, reduzindo os dados do EMEP para resolução de 10x10 km ² e usando dados de cobertura terrestre (GLOBCOVER). INERIS utiliza o modelo CHIMERE para composição atmosférica regional. O inventário EMEP-INERIS também foi implementado no inventário MACCity (desenvolvido pelo CityZen e parceiro) pela fusão das emissões do INERIS para a Europa no inventário global.	Veja acima no EMEP. Limitações <ul style="list-style-type: none"> A desagregação espacial das emissões do tráfego rodoviário deve ser verificada para algumas cidades orientais (Bucareste, Sófia) para as quais valores muito mais baixos são relatados
JRC07 (Centro de Pesquisa Conjunta)	Documentação: https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/downscaling-methodology-produce-high-resolution-gridded-emission-inventory-support-locality	<ul style="list-style-type: none"> Europa 2010-2030 Tamanhos de grade 1/8° e 1/16° (100m) Antropogênicos: dez setores (combustão em indústrias de energia e transformação, combustão não industrial, indústria de manufatura, extração de combustíveis fósseis, solventes, transporte rodoviário, outras fontes móveis, tratamento pluvial, agricultura) 	O inventário JRC07 é desenvolvido para o uso em estratégias integradas de Modelagem de Avaliação (IAM, na sigla em inglês) nas áreas de qualidade do ar regional e uso do solo e modelagem territorial (LUIA). O inventário é baseado em dados de emissão total do país obtidos do GAINS.	Pontos Fortes <ul style="list-style-type: none"> Inventário de emissões de alta resolução espacial e setorial com cenários multitemporais até o ano de 2030 Limitações <ul style="list-style-type: none"> A variabilidade interna dos países quanto às emissões residenciais urbanas (queima de madeira e carvão) na Europa Oriental não foi devidamente tratada
NAEI (Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas)	Documentação: https://naei.beis.gov.uk/ Dados: http://naei.beis.gov.uk/data/	<ul style="list-style-type: none"> Reino Unido 1990-2016 Resolução da grade de 1km Antropogênicos: 11 setores (por ex., combustão em diversos setores, produção, extração/distribuição de combustíveis fósseis, solventes, transporte rodoviário, outros transportes, tratamento de resíduos, agricultura/ florestas etc.) 	O NAEI estima as emissões anuais de poluentes de 1970 até o ano de publicação mais atual para a maioria dos poluentes atmosféricos e GEE.	Pontos Fortes <ul style="list-style-type: none"> O inventário é baseado em métodos de cálculo altamente detalhados, suposições e medições representativas sobre a quantidade de cada poluente atmosférico gerado a partir de diferentes atividades e o nível de cada atividade no Reino Unido Limitações <ul style="list-style-type: none"> Incertezas associadas à disponibilidade e qualidade dos dados de atividade, fatores de emissão e metodologias utilizadas nos cálculos de emissões ao longo da série cronológica
EPA-NEI (Agência de Proteção Ambiental; Inventário Nacional de Emissões)	Documentação: https://www.epa.gov/air-emissions-inventories/air-pollutant-emissions-trends-data	<ul style="list-style-type: none"> Estados Unidos 1970-2017 Sem grade Antropogênicos: quatro setores e seus subsetores (queima de combustível estacionário, combustão industrial e outros tipos, transporte, diversos) 	Esses dados foram obtidos por meio do banco de dados de tendências de emissões de poluentes atmosféricos do inventário nacional de emissões da EPA. As tendências apresentadas são para poluentes atmosféricos e precursores dos critérios abrangidos pelos Padrões Nacionais de Qualidade do Ar, excluindo o chumbo.	Pontos Fortes <ul style="list-style-type: none"> Métodos de estimativa de inventário aprimorados e dados recentemente disponibilizados são aplicados "retroativamente" às estimativas de tendência do ano anterior Limitações <ul style="list-style-type: none"> Os conjuntos de dados de tendências da EPA não incluem informações sobre o BC Os arquivos de modelagem não incluíam dados sobre locomotivas, embarcações marítimas comerciais e aeronaves

Anexo 5 | Tabela 2

Recursos de atribuição de fontes e emissões

Lista de inventários regionais de emissões antropogênicas (cont.)

Recurso	Site	Resolução geográfica, cobertura, período de dados e setores incluídos	Breve descrição	Comentários, pontos fortes, limitações
REAS v2.1 (Inventário Regional de Emissões na Ásia)	Documentação: https://www.atmos-chem-phys.net/13/11019/2013/acp-13-11019-2013.html Dados: https://www.nies.go.jp/REAS/	<ul style="list-style-type: none"> Regiões Leste, Sul, Sudeste e Central da Ásia. Parte asiática da Rússia 2000-2008 Tamanho da grade 0.25° Antropogênicos: quatro setores e seus subsetores [queima de combustível; processos industriais; atividades agrícolas; e outros (emissões fugitivas, uso de solventes, humanos etc.)] 	O REAS integra emissões históricas, atuais e futuras na Ásia utilizando uma metodologia consistente; utiliza fatores de emissão representativos para cada setor. Versões anteriores do REAS se concentram nos períodos de 1980–2003 para emissões históricas e 2010–2020 para projeções futuras.	<p>Pontos Fortes</p> <ul style="list-style-type: none"> Fatores de emissão atualizados na China e seus dados de atividade Melhor potência computacional e modelos de química atmosférica em resoluções espaciais e temporais mais elevadas <p>Limitações</p> <ul style="list-style-type: none"> Maiores incertezas quanto ao inventário de emissões nos países do Sudeste e Sul da Ásia
TRACE-P & INTEX-B do sistema ACCESS (ACE Ásia e Sistema de Suporte de Modelagem e Emissões Trace-P)	Documentação: https://www-air.larc.nasa.gov/missions/intex-b/intexb.html Dados: https://www-air.larc.nasa.gov/missions/intex-b/dataaccess.htm	<ul style="list-style-type: none"> Países asiáticos (por ex., Megaplex da Cidade do México) 2006 Tamanho da grade 0.5° Antropogênicos: oito setores (combustão residencial ou não, combustão industrial ou não, transporte rodoviário e fora das estradas, energia, outros) e regiões de origem (por ex., Sibéria, Japão, China) 	O TRACE-P (2001) e o INTEX-B (2006) quantificam o transporte transpacífico e a evolução da poluição asiática em direção à América do Norte, e avaliam suas implicações para a qualidade do ar e o clima da região. Ambos os inventários são distribuídos como parte do ACCESS.	<p>Pontos Fortes</p> <ul style="list-style-type: none"> Valida e refina observações por satélite da composição troposférica Mapeia as emissões de gases residuais e aerossóis e relaciona a composição atmosférica a fontes e dissipadores <p>Limitações</p> <ul style="list-style-type: none"> Tendências de curto prazo do ambiente atmosférico asiático
MEIC (Inventário de emissões de resolução múltipla para a China)	Documentação: http://www.meicmodel.org https://academic.oup.com/nsr/article/4/6/834/4775139	<ul style="list-style-type: none"> China continental Tamanhos de grade 0.2°, 0.5° e 1° 1990-2015 Antropogênicos: seis setores (energia, indústria, residencial, transporte, uso de solventes, agricultura) 	O MEIC é um inventário de emissões antropogênicas baseado em tecnologia ascendente para dez poluentes atmosféricos e gases de efeito estufa na China.	<p>Pontos Fortes</p> <ul style="list-style-type: none"> O modelo MEIC é baseado numa série de modelos de inventário de emissões aprimorados com mapeamento de alta resolução das emissões para usinas de energia e veículos rodoviários <p>Limitações</p> <ul style="list-style-type: none"> Tende a superestimar as emissões nos centros urbanos, mas subestima as emissões nas áreas rurais, levando a gradientes de emissões urbanas-rurais maiores de forma não realista
Garg	Documentação: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231006003645	<ul style="list-style-type: none"> Índia 1985-2005 Sem grade Antropogênicos: 12 setores (energia, estradas, ferrovias, navegação, aviação, cimento, aço, tijolos, outras indústrias, queima de biomassa, produção de ácido nítrico, outros) 	O inventário Garg usa os dados fornecidos por bancos de dados de atividades internacionais, como a IEA, bem como dados de administrações nacionais, estaduais e distritais na Índia para fornecer tendências de emissão de GEE e poluentes atmosféricos locais.	<p>Pontos Fortes</p> <ul style="list-style-type: none"> Usa dados reais de atividade (na medida em que estiverem disponíveis) para várias categorias de fontes e para todos os gases no período de estudo Usa os fatores de emissão específicos da Índia em grande parte <p>Limitações</p> <ul style="list-style-type: none"> Não atualizado para o ano mais recente

Anexo 5 | Tabela 2

Recursos de atribuição de fontes e emissões

Lista de inventários regionais de emissões antropogênicas (cont.)

Recurso	Site	Resolução geográfica, cobertura, período de dados e setores incluídos	Breve descrição	Comentários, pontos fortes, limitações
<p>Emissões Urbanas</p> <p>APnA (Avaliação do conhecimento sobre poluição atmosférica)</p> <p>IAQI (Informações sobre a Qualidade do Ar na Índia)</p>	<p>Documentação: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212095518302402</p> <p>https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1309104218304835</p> <p>http://www.indiaairquality.info</p>	<ul style="list-style-type: none"> Índia – escala nacional e urbana 2010-2030 Tamanho da grade 0.01° (~1km) para 50 cidades indianas Tamanho da grade 0.25° (~25km) para toda a Índia Múltiplos setores [transporte (rodoviário, ferroviário, aéreo e marítimo), doméstico (cozinha, aquecimento e iluminação), poeira (ressuspensão rodoviária, erosão causada pelo vento e atividades de construção), indústrias (indústria de trabalho manual como olarias de tijolos, ferro e aço, refinarias, fertilizantes, processamento mineral, cimento, usinas, pedreiras e indústrias leves), queima de resíduos a céu aberto (<i>in situ</i> e em aterros), conjuntos de geradores a diesel, fontes externas/regionais (incêndios abertos, relâmpagos, sal marinho, tempestades de poeira e inventário, não sobre a Índia, para o subcontinente) 	<p>Um inventário atualizado de emissões multipoluentes, ascendente, para o ano-base de 2010 e atribuição de fontes de PM_{2.5} com base na modelagem do transporte de produtos químicos de fontes locais e não locais.</p>	<p>Pontos Fortes</p> <ul style="list-style-type: none"> Inventário atualizado dinamicamente, vinculado a parâmetros meteorológicos regionais e urbanos (para setores como transporte, aquecimento de ambientes, construção e poeira) e big data como mapas de velocidade em grade do Google Maps O inventário de emissões está atualmente em uso para previsão da qualidade do ar com 3 dias de antecedência para divulgação ao público de modo contínuo, incluindo a comparação em tempo real das previsões com dados de monitoramento terrestre <p>Limitações</p> <ul style="list-style-type: none"> Propenso a modelar incertezas
<p>DICE-África (Emissões de Combustão Difusas e Ineficientes na África)</p>	<p>Documentação: https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.5b02602</p> <p>Dados: https://www2.acom.ucar.edu/modeling/dice-africa</p>	<ul style="list-style-type: none"> África 2006 e 2013 Tamanho da grade 0.1° Antropogênicos: oito setores (biocombustíveis sólidos, produção de carvão vegetal, querosene, geradores reserva, carros, motocicletas, queima de gás e refinamento de petróleo <i>ad hoc</i>) 	<p>O DICE-África é um inventário atualizado de poluição oriunda de fontes de combustão difusas e ineficientes na África, que podem estar associadas ao rápido crescimento populacional.</p>	<p>Pontos Fortes</p> <ul style="list-style-type: none"> O inventário é incorporado no modelo de transporte químico GEOS-Chem para avaliar o impacto do DICE-África na qualidade do ar ambiental <p>Limitações</p> <ul style="list-style-type: none"> Devido às limitações de dados, o inventário inclui poucas emissões de compostos químicos relativos a querosene, e muitas fontes estão faltando por conta de dados indisponíveis (por exemplo, poeira rodoviária, incêndios de resíduos eletrônicos)
<p>Assamoi-Lioussé</p>	<p>Documentação: http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/9/3/035003</p>	<ul style="list-style-type: none"> África 2005 e 2030 Tamanho da grade 0.25° Antropogênicos: queima de combustíveis fósseis e biocombustíveis (por ex., uso de combustíveis diesel, resíduos animais, lenha, fabricação de carvão vegetal e carvão 	<p>Um inventário de emissões africanas de combustão, que fornece emissões de 2005. Três cenários são considerados para o período de 2005-2030. O inventário considera as emissões específicas da África. As emissões foram calculadas com base no método utilizado por Junker e Lioussé (ver acima).</p>	<p>Pontos Fortes</p> <ul style="list-style-type: none"> Um inventário integrativo levando em conta partículas e gases usando a mesma metodologia <p>Limitações</p> <ul style="list-style-type: none"> Como em muitos inventários, há grandes incertezas nas estimativas de emissões devido à falta de dados adequados

Anexo 5 | Tabela 3

Recursos de atribuição de fontes e emissões

Lista de inventários de emissões de queima de biomassa

Recurso	Site	Resolução geográfica, cobertura, período de dados e setores incluídos	Breve descrição	Comentários, pontos fortes, limitações
Inventário global de queima de biomassa				
GFAS (Sistema Global de Assimilação de Incêndios)	Documentação: https://www.biogeosciences.net/9/527/2012/ Dados: http://apps.ecmwf.int/datasets/data/cams-gfas/	<ul style="list-style-type: none"> • Global e regional • Tamanho da grade 0,1° • 2003-presente 	Os dados GFAS são uma série temporal de emissões diárias de queima de biomassa (abordagem descendente) por meio da assimilação de observações da potência radiativa do fogo (FRP, na sigla em inglês) dos instrumentos MODIS a bordo dos satélites Terra e Aqua. As estimativas de emissão são fornecidas ao modelo de composição atmosférica operado pelo CAMS: o Sistema Integrado de Previsão.	<p>Pontos Fortes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Detecta incêndios em tempo real com alta resolução espacial e temporal, bem como pequenos incêndio <p>Limitações</p> <ul style="list-style-type: none"> • Frequência amostral limitada do produto MODIS FRP
GFED4 (Banco global de emissões de incêndios)	Documentação: https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/jgrg.20042 https://www.earth-syst-sci-data.net/9/697/2017/essd-9-697-2017.pdf Dados: https://www.globalfiredata.org/data.html https://daac.ornl.gov/VEGETATION/guides/fire_emissions_v4_R1.html	<ul style="list-style-type: none"> • Global e regional • Tamanho da grade 0,25° • 1997-presente (e julho de 1995 – junho de 1996) • Setor: seis tipos de incêndio (incluindo queima de resíduos agrícolas, incêndios florestais boreais, incêndios de desmatamento, incêndios em turfas e queimas de savana) 	O GFED4 fornece estimativas globais de séries temporais da área queimada e emissão proveniente da queima (abordagem ascendente) e contribuições fracionadas de diferentes tipos de incêndio. O inventário está sendo desenvolvido usando informações de satélite (área queimada MODIS) sobre a atividade do fogo e a produtividade da vegetação. GFED4s se refere a GFED4 para pequenos incêndios.	<p>Pontos Fortes</p> <ul style="list-style-type: none"> • As novas estimativas de emissões são feitas utilizando um conjunto de fatores de emissão de maior resolução. Algoritmos de área queimada foram melhorados consideravelmente desde as versões anteriores, e agora incluem uma estimativa preliminar do impacto <p>Limitações</p> <ul style="list-style-type: none"> • Não incluir pequenos incêndios resulta numa subestimação das emissões • As incertezas sobre as novas estimativas de emissões permanecem substanciais e são difíceis de quantificar
FINN (Inventário de Incêndios da NCAR)	Documentação: https://www2.acom.ucar.edu/modeling/finn-fire-inventory-ncar https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es502250z Dados: http://bai.acom.ucar.edu/Data/fire/	<ul style="list-style-type: none"> • Global e regional • 2002 – presente • Tamanho da grade 1km • Setor: queima de biomassa a céu aberto (incluindo incêndios florestais, incêndios agrícolas e queimadas controladas) 	O FINN usa observações de satélite de incêndios ativos (anomalias térmicas MODIS) e cobertura terrestre, juntamente com fatores de emissão e cargas de combustível estimadas para fornecer estimativas globais diárias de alta resolução de GEE, gases residuais reativos, PM e emissão tóxica de queimas de resíduos a céu aberto (abordagem ascendente).	<p>Pontos Fortes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quase em tempo real com base nas contagens de incêndio do sistema de resposta rápida MODIS • Está pronto para ser usado com WRF/Chem (modelo de pesquisa e previsão do tempo aliado à química) <p>Limitações</p> <ul style="list-style-type: none"> • Subestimação do número de incêndios devido a incêndios faltantes • Momento de passagem do satélite e cobertura por nuvens podem impedir a detecção de incêndios • Superestima o tamanho dos pequenos incêndios detectados • Relação incerta entre as detecções de incêndio e a área queimada • Identificação da cobertura terrestre
QFEDv3.1 (Conjunto rápido de dados de emissões de incêndio)	Documentação: https://gmao.gsfc.nasa.gov/research/science_snapshots/global_fire_emissions.php Dados: http://ftp.as.harvard.edu/gcgrid/data/ExtData/HEMCO/QFED/v2018-07/	<ul style="list-style-type: none"> • Global e regional • 2000 – presente • Tamanhos de grade 0,1°, 0,25°x0,3125° (1km horizontal) 	O QFED usa observações por satélite (produto de incêndio ativo MODIS) de FRP para estimar, quase em tempo real, as emissões de constituintes atmosféricos pela queima de biomassa, e está incluído nos sistemas de modelagem e assimilação de dados do NASA Goddard Earth Observing System (GEOS).	<p>Pontos Fortes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Boa cobertura sobre latitudes mais altas • Emprega tratamento mais sofisticado de áreas terrestres não observadas (por ex., encobertas por nuvens) <p>Limitações</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tem uma área menor de incêndios detectados • Tenha cuidado ao usar essa emissão em outros modelos além do GEOS-5

Anexo 5 | Tabela 3

Recursos de atribuição de fontes e emissões

Lista de inventários de emissões de queima de biomassa (cont.)

Recurso	Site	Resolução geográfica, cobertura, período de dados e setores incluídos	Breve descrição	Comentários, pontos fortes, limitações
GBBEPx v2 (Produto combinado de emissões de queima de biomassa global do MODIS e satélites geoestacionários)	Documentação: https://www.ospo.noaa.gov/Products/land/gbbepx/docs/GBBEPx_EUM.pdf Dados: https://satepsanone.nesdis.noaa.gov/pub/FIRE/GBBEPx/	<ul style="list-style-type: none"> Global e regional 2000-presente Tamanho da grade 0.25°x0.3125° 	O GBBEPx produz diariamente observações combinadas de emissões globais de queima de biomassa em incêndios a partir do MODIS, VIIRS e satélites geoestacionários (uma mistura de QFED e GBBEP-Geo).	<p>Pontos Fortes</p> <ul style="list-style-type: none"> Normalmente, tem maiores valores de emissão em geral Desenvolvido usando padrões diurnos de FRP que reduzem os impactos de observações de incêndios perdidas pela cobertura de nuvens e saturação do sensor <p>Limitações</p> <ul style="list-style-type: none"> Detecta menos incêndios em latitudes mais altas
FEER (Pesquisa de Energia do Fogo e Emissões)	Documentação: https://www.atmos-chem-phys.net/14/6643/2014/ Dados: https://feer.gsfc.nasa.gov/data/emissions/	<ul style="list-style-type: none"> Global e regional 2003-presente Tamanho da grade 0.1° 	FEER desenvolve um produto global de energia de incêndio em grade (ou seja, coeficientes de emissão) para partículas finas totais de fumaça (TPM, na sigla em inglês) com base numa abordagem descendente usando medições coincidentes de FRP e AOT do MODIS, bem como um produto de emissão global, convertido a partir de dados de FRP integrados no tempo obtidos por meio do produto do GFAS para calcular as emissões regionais de TPM da fumaça.	<p>Pontos Fortes</p> <ul style="list-style-type: none"> Abordagem descendente (em relação aos coeficientes de emissão utilizados) significa uma semelhança mais próxima às observações de aerossóis por satélite <p>Limitações</p> <ul style="list-style-type: none"> Não tinha coeficientes de emissão para espécies constituintes de fumaça (por ex., OC, BC, PM_{2.5})
FLAMBE (Localização de incêndios e modelagem de emissões de queimadas)	Documentação: https://ieeexplore.ieee.org/document/5208306 Dados: www.nrlmry.navy.mil/flambe/	<ul style="list-style-type: none"> Global e regional 2000-2017 Tamanho da grade 1° 	O FLAMBE fornece, a cada hora, áreas queimadas e emissões de carbono com base em contagens de incêndio por MODIS e Satélites Ambientais Operacionais Geoestacionários (GOES, na sigla em inglês) (abordagem ascendente).	<p>Limitações</p> <ul style="list-style-type: none"> Não contém especificamente as emissões de BC e OC
IS4FIRESv2.0 (Sistema Integrado para Incêndios Florestais)	Documentação & dados: https://is4fires.fmi.fi/	<ul style="list-style-type: none"> Global e regional Março de 2000-2017 Tamanho da grade 0.1° Sector: incêndios florestais em florestas boreais, temperadas e tropicais, cultura residual, grama, arbusto e turfa. 	O inventário IS4FIRES fornece fluxos de emissão diários, com alta resolução espacial, originados de incêndios florestais. Ele captura grandes incêndios florestais usando sensoriamento remoto por satélite (MODIS), modelando tanto a propagação do fogo quanto a dispersão atmosférica da pluma de fogo, e para determinar as áreas de origem usando uma combinação de qualidade do ar terrestre, medições e um sistema de modelagem de transporte de longo alcance.	<p>Pontos Fortes</p> <ul style="list-style-type: none"> O sistema conta com o dimensionamento direto da intensidade do fogo para os fluxos de emissões, evitando incertezas de abordagens baseadas em áreas queimadas e permitindo considerações explícitas dos incêndios individuais ou localizados próximo a ele

Inventário regional da queima de biomassa

AMMABB (Análises Multidisciplinares de Monções Africanas – Inventário de Emissões de Queima de Biomassa) (Análises Multidisciplinares de Monções Africanas – Inventário de Emissões de Queima de Biomassa)	Documentação: https://www.atmos-chem-phys.net/10/9631/2010/acp-10-9631-2010.pdf	<ul style="list-style-type: none"> África 2000 e 2007 Tamanho da grade 0.5° (até 1km) Emissões de incêndios em savanas, florestas e agrícolas 	Um inventário africano de queima de biomassa diária relatando espécies gasosas e partículas.	<p>Pontos Fortes</p> <ul style="list-style-type: none"> O inventário foi bem reproduzido pelo modelo global ao usar emissões atualizadas de queima de biomassa <p>Limitações</p> <ul style="list-style-type: none"> Grandes incertezas inerentes à determinação das emissões de queima de biomassa
WFEI (Inventário de Emissões de Incêndios Florestais)	Documentação: https://www.atmos-chem-phys.net/11/12973/2011/	<ul style="list-style-type: none"> EUA contíguos 2003-2008 Resolução da grade de 500m diariamente Emissões de CO e PM_{2.5} 	WFEI é um modelo de alta resolução para queima de biomassa não agrícola a céu aberto nos Estados Unidos contíguos.	<p>Pontos Fortes</p> <ul style="list-style-type: none"> O modelo combina observações dos sensores MODIS nos satélites Terra e Aqua, análises meteorológicas, mapas de carregamento de combustível, banco de dados de fatores de emissão e modelos de condição de combustível e consumo de combustível para estimar as emissões de incêndios florestais

Anexo 5 | Tabela 4

Recursos de atribuição de fontes e emissões

Exemplos de bancos de dados de fatores de emissões

Recurso	Site	Breve descrição	Características
Compilação dos fatores de emissões de poluentes atmosféricos (AP-42)	Documentação: https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emissions-factors	AP-42 é a compilação primária das informações do fator de emissões da EPA dos EUA. Contém fatores de emissões e informações de processo para mais de 200 categorias de fontes de poluição atmosférica.	A extensão da integralidade e dos detalhes das informações de emissão no AP-42 é determinada apenas pelas informações disponíveis nas referências publicadas. Os fatores de emissão no AP-42 não constituem nem limites de emissão recomendados pela EPA (por ex., a melhor tecnologia de controle disponível) nem padrões (por ex., Padrão Nacional de Emissão de Poluentes Atmosféricos Perigosos ou NESHAP, na sigla em inglês).
Inventário de emissões de poluentes atmosféricos do Programa Europeu de Monitoramento e Avaliação (EMEP, na sigla em inglês)/ Agência Europeia do Meio Ambiente (EEA, na sigla em inglês)	Guia técnico: https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019 Banco de dados de fatores de emissão: http://efdb.apps.eea.europa.eu/	O Guia tem duas funções fundamentais: fornecer procedimentos para permitir que os usuários compilem inventários de emissões que atendam a critérios de qualidade para transparência, consistência, completude, comparabilidade e exatidão; e fornecer métodos de estimativa e fatores de emissão para compiladores de inventários com vários níveis de sofisticação.	<ul style="list-style-type: none"> • Cuidado ao utilizar as metodologias incluídas no Guia para compilar inventários para países em desenvolvimento, onde as tecnologias e práticas podem diferir radicalmente daquelas utilizadas em países industrializados. • Disposição limitada de fatores de emissão de carbono orgânico.
Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas	https://naei.beis.gov.uk/data/ef-all	O banco de dados contém fatores de emissão detalhados por fonte e combustível.	<ul style="list-style-type: none"> • Os fatores de emissão são válidos exclusivamente para o Reino Unido.
O banco de dados de fatores de emissão CEPMEIP (Programa Europeu Coordenado de Inventários, Projeções e Orientações sobre Emissões de Partículas Finas)	http://www.air.sk/tno/cepmeip/	O CEPMEIP desenvolve métodos padrão e fatores de emissão para uso por especialistas nacionais ao enviarem inventários de emissões de partículas finas ao Programa Europeu de Monitoramento e Avaliação.	<ul style="list-style-type: none"> • Os fatores de emissão são derivados da literatura internacional, podendo ser diferentes das estimativas derivadas no local.

Anexo 6

Usando previsões de modelos regionais e globais

A poluição atmosférica não reconhece fronteiras. A poluição atmosférica de uma cidade muitas vezes inclui uma contribuição significativa de fontes fora de sua jurisdição administrativa. Isso ocorre especialmente em regiões com fontes naturais como tempestades de poeira ou incêndios florestais, cidades próximas a outras cidades, áreas industriais, centrais elétricas movidas a combustíveis fósseis ou áreas rurais com fontes significativas (por exemplo, queima de combustíveis sólidos domésticos ou resíduos de lavouras). É crucial que os legisladores saibam qual parte da poluição ambiental é originária de fontes locais dentro da jurisdição de uma cidade e qual vem de fontes não locais que possam exigir um plano de ação regional.

Vários modelos de previsões regionais e globais podem ser usados para quantificar contribuições não locais da poluição atmosférica. A tabela a seguir destaca alguns desses resultados de modelos.

Recurso	Breve descrição
Previsões de Química e Aerossol do Modelo Climático Comunitário da Atmosfera Inteira (WACCM)	O WACCM cria previsões globais e regionais para uma variedade de indicadores de qualidade do ar e clima (por ex., CO, PM _{2.5} , NO _x , O ₃ , SO ₂ , carbono negro). Há diversas ferramentas disponíveis para visualizar os produtos da previsão. <ul style="list-style-type: none"> Previsão global e regional diária para 9 dias Resolução de 1.9 x 2.5° Site: https://www2.acom.ucar.edu/acresp/forecasts-and-near-real-time-nrt-products
Serviço de Monitoramento da Atmosfera Copernicus (CAMS)	Todos os dias, o CAMS fornece previsões para cinco dias sobre aerossóis (por ex., poeira, biomassa), poluentes atmosféricos (por ex., PM _{2.5} , PM ₁₀ , NO ₂), gases de efeito estufa, ozônio estratosférico, e índice UV. <ul style="list-style-type: none"> Previsão global e regional (por ex., Sudeste Asiático) diária para 5 dias Resolução de 0.35 x 0.35° Site: https://atmosphere.copernicus.eu/global-forecast-plots
Modelo Global de Aerossóis NAAPS (sistema global de análise e previsão de aerossóis da Marinha)	O NAAPS é um modelo global tridimensional de aerossóis e poluição atmosférica, baseado principalmente no modelo euleriano hemisférico dinamarquês (DEHM). Ele combina os fluxos de dados de satélite atuais e esperados com outros dados disponíveis e a simulação e previsão global de aerossóis, e fornece previsões de poeira, fumaça, sal, sulfato e SO ₂ . <ul style="list-style-type: none"> Previsão global e regional (por ex., Sudeste Asiático) diária para 6 dias Grade de 1 x 1°, em intervalos de 6 horas Site: https://www.nrlmry.navy.mil/aerosol/
Sistema Global de Observação da Terra – Previsão de Composição (GEOSCF)	O sistema GEOS-CF combina o sistema de análise e a previsão meteorológica do GEOS para fornecer uma análise química detalhada de uma ampla gama de poluentes atmosféricos, incluindo O ₃ , CO ₂ , NO e PM _{2.5} . <ul style="list-style-type: none"> Previsão global e regional/país (por ex., Indonésia) diária para 5 dias Resolução de 0.25 x 0.25° Site: https://fluid.nccs.nasa.gov/cf/ (visualization); https://portal.nccs.nasa.gov/datashare/gmao/geos-cf (data access)
Sistema para Modelagem Integrada de Composição Atmosférica (SILAM)	O modelo de transporte químico SILAM, desenvolvido em institutos meteorológicos finlandeses, fornece previsões de qualidade do ar quanto a concentrações, cargas totais de colunas e deposições de poluentes atmosféricos (por ex., SO ₂ , NO, NO ₂ , O ₃ , PM _{2.5} , PM ₁₀). <ul style="list-style-type: none"> Previsão diária para 4 dias sobre o mundo e a Europa, Norte da Europa e Sudeste Asiático Resolução de 1.44° Site: http://silam.fmi.fi
Modelo de Transporte de Radiação Espectral para Espécies de Aerossol (SPRINTARS)	O SPRINTARS é um modelo numérico que foi desenvolvido para simular efeitos no sistema climático e na condição de poluição atmosférica causada por aerossóis atmosféricos (PM _{2.5} e poeira do solo) em escala global. <ul style="list-style-type: none"> Previsão diária para 7 dias sobre o mundo, Leste da Ásia e Ásia Resolução horizontal de 35km Site: https://sprintars.riam.kyushu-u.ac.jp/forecast.html
O Modelo Unificado do Programa Europeu de Monitoramento e Avaliação para o Reino Unido (EMEP4UK)	O EMEP4UK é um modelo de transporte de química atmosférica off-line que simula médias, por hora e até por ano, da composição atmosférica e deposição de vários poluentes (por ex., PM ₁₀ , PM _{2.5} , SO ₂ , O ₃). A deposição seca e úmida de poluentes é calculada sistematicamente pelo modelo <ul style="list-style-type: none"> Previsão diária para 3 dias sobre o mundo, União Europeia e Reino Unido Resolução horizontal de 100 km a 1 km Site: http://www.emep4uk.ceh.ac.uk/emepglobalforecast

Anexo 7

Organizações e agências internacionais para apoiar o trabalho de qualidade do ar urbano

Tipo	Organização/Agência	URL
ONGs internacionais	Coalizão pelo Clima e Ar Limpo [<i>Climate and Clean Air Coalition</i>]	https://ccacoalition.org/en
	Clean Air Asia	https://cleanairasia.org/
	Clean Air Institute	https://www.cleanairinstitute.org/
	C40	https://www.c40.org/
	Vital Strategies	https://www.vitalstrategies.org/
Organizações globais e multinacionais	OMS	https://www.who.int/
	PNUD (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento)	https://www.undp.org/
	PNUMA (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente)	https://www.unenvironment.org/
	UNICEF	https://www.unicef.org/
	Banco Mundial	https://www.worldbank.org/
Organizações regionais e multinacionais	União Africana (UA)	https://www.ecowas.int/
	Associação de Nações do Sudeste Asiático (ASEAN, na sigla em inglês)	https://asean.org/
	CEDEAO (Comunidade Econômica dos Estados da África Ocidental)	https://www.ecowas.int/
Parcerias de pesquisa	Saúde Ambiental e Ocupacional Global [<i>Global Environmental and Occupational Health – GEOHealth</i>]	https://www.fic.nih.gov/Programs/Pages/environmental-occupational.aspx
Agências Governamentais dos EUA	Agência de Proteção Ambiental [<i>Environmental Protection Agency – EPA</i>]	https://www.epa.gov/
	Distrito de Gestão da Qualidade do Ar da Costa Sul [<i>South Coast Air Quality Management District</i>]	http://www.aqmd.gov/
	Administração Nacional da Aeronáutica e do Espaço [<i>National Aeronautics and Space Administration – NASA</i>]	https://www.nasa.gov/
	Departamento do Estado: embaixadas, gabinetes ambientais regionais e parceiros da qualidade do ar	https://www.state.gov/

Referências

- 1 GBD Compare | IHME Viz Hub [Internet]. [citado em 27 de jun. de 2018]. Disponível em: <http://vizhub.healthdata.org/gbd-compare>
- 2 World Health Organization. Global Urban Ambient Air Pollution Database (update 2016) [Internet]. WHO. 2016. [citado em 21 de out. de 2016]. Disponível em: http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/cities/en/
- 3 WHO | Air quality guidelines – global update 2005 [Internet]. WHO. [citado em 14 de set. de 2016]. Disponível em: http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/outdoorair_aqg/en/
- 4 United Nations Environment Program (UNEP). Actions on Air Quality: Policies & Programmes for improving Air Quality Around the World [Internet]. 2015. [citado em 10 de set. de 2019]. Disponível em: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/17203/AQ_GlobalReport_Summary.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- 5 Chow JC, Watson JG, Feldman HJ, Nolen JE, Wallerstein B, Hidy GM, et al. Will the Circle Be Unbroken: A History of the U.S. National Ambient Air Quality Standards. *J Air Waste Manag Assoc.* Outubro de 2007;57(10):1151–63.
- 6 Longhurst JWS, Barnes JH, Chatterton T.J, Hayes ET, Williams WB. Progress with air quality management in the 60 years since the UK clean Air Act, 1956. Lessons, failures, challenges and opportunities. *Int J Sustain Dev Plan.* 31 de agosto de 2016;11(4):491–9.
- 7 Marais EA, Wiedinmyer C. Air Quality Impact of Diffuse and Inefficient Combustion Emissions in Africa (DICE-Africa). *Environ Sci Technol.* 4 de outubro de 2016;50(19):10739–45.
- 8 GBD MAPS Working Group. Burden of Disease Attributable to Major Air Pollution Sources in India [Internet]. [citado em 10 de jan. de 2018]. Disponível em: <https://www.healtheffects.org/system/files/GBDMAPS-SpecRep21-India.pdf>
- 9 Chafe ZA, Brauer M, Klimont Z, Van Dingenen R, Mehta S, Rao S, et al. Household Cooking with Solid Fuels Contributes to Ambient PM_{2.5} Air Pollution and the Burden of Disease. *Environ Health Perspect.* Dezembro de 2014;122(12):1314–20.
- 10 Reddington CL, Yoshioka M, Balasubramanian R, Ridley D, Toh YY, Arnold SR, et al. Contribution of vegetation and peat fires to particulate air pollution in Southeast Asia. *Environ Res Lett.* 2014;9(9):094006.
- 11 Publication: World Energy Outlook Special Report 2016: Energy and Air Pollution [Internet]. [citado em 15 de set. de 2016]. Disponível em: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/weo-2016-special-report-energy-and-air-pollution.html>
- 12 Burden of Disease Attributable to Coal-Burning and Other Air Pollution Sources in China [Internet]. Health Effects Institute. 2016. [citado em 18 de ago. de 2016]. Disponível em: <https://www.healtheffects.org/publication/burden-disease-attributable-coal-burning-and-other-air-pollutionsources-china>
- 13 Burnett RT, Pope CA III, Ezzati M, Olives C, Lim SS, Mehta S, et al. An Integrated Risk Function for Estimating the Global Burden of Disease Attributable to Ambient Fine Particulate Matter Exposure. *Environ Health Perspect* [Internet]. 11 de fevereiro de 2014 [citado em 16 de jan. de 2018]; Disponível em: <http://ehp.niehs.nih.gov/1307049/>
- 14 Burnett R, Chen H, Szyszkowicz M, Fann N, Hubbell B, Pope CA, et al. Global estimates of mortality associated with long-term exposure to outdoor fine particulate matter. *Proc Natl Acad Sci.* 18 de setembro de 2018;115(38):9592–7.
- 15 Global Warming of 1.5 oC – [Internet]. [citado em 28 de jan. de 2019]. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- 16 Scovronick N, Dora C, Fletcher E, Haines A, Shindell D. Reduce short-lived climate pollutants for multiple benefits. *The Lancet.* 7 de novembro de 2015;386(10006):e28–31.
- 17 Zhang Y, Loh C, Louie PKK, Liu H, Lau AKH. The roles of scientific research and stakeholder engagement for evidence based policy formulation on shipping emissions control in Hong Kong. *J Environ Manage.* 1 de outubro de 2018;223:49–56.
- 18 Bachmann J. Will the Circle Be Unbroken: A History of the U.S. National Ambient Air Quality Standards. *J Air Waste Manag Assoc.* Junho de 2007;57(6):652–97.
- 19 Guidance Document: National Planning for reducing short-lived climate pollutants (SNAP) | Climate & Clean Air Coalition [Internet]. [citado em 28 de jun. de 2017]. Disponível em: <http://www.ccacoalition.org/en/resources/guidance-document-nationalplanning-reducing-short-lived-climatepollutants-snap>
- 20 Air quality in Europe 2017 [Internet]. European Environment Agency. [citado em 3 de abr. de 2018]. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-ineurope-2017>
- 21 Crippa M, Janssens-Maenhout G, Dentener F, Guizzardi D, Sindelarova K, Muntean M, et al. Forty years of improvements in European air quality: regional policy-industry interactions with global impacts. *Atmos Chem Phys.* 22 de março de 2016;16(6):3825–41.
- 22 Guerreiro CBB, Foltescu V, de Leeuw F. Air quality status and trends in Europe. *Atmos Environ.* 1 de dezembro de 2014;98:376–84.
- 23 US EPA O. The Clean Air Act and the Economy [Internet]. 2016 [citado em 25 de nov. de 2016]. Disponível em: <https://www.epa.gov/clean-air-act-overview/clean-air-act-andeconomy>
- 24 Matthias V, Arndt JA, Aulinger A, Bieser J, Gon HD van der, Kranenburg R, et al. Modeling emissions for three-dimensional atmospheric chemistry transport models. *J Air Waste Manag Assoc.* 3 de agosto de 2018;68(8):763–800.
- 25 Kadaverugu R, Sharma A, Matli C, Biniwale R. High Resolution Urban Air Quality Modeling by Coupling CFD and Mesoscale Models: a Review. *Asia-Pac J Atmospheric Sci* [Internet]. 28 de fevereiro de 2019 [citado em 21 de mai. de 2019]; Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13143-019-00110-3>
- 26 Guttikunda SK, Nishadh KA, Jawahar P. Air pollution knowledge assessments (APNA) for 20 Indian cities. *Urban Clim.* 1 de março de 2019;27:124–41.
- 27 Clean Air Plans [Internet]. [citado em 28 de mai. de 2019]. Disponível em: <http://www.aqmd.gov/home/air-quality/clean-air-plans>
- 28 LADCO [Internet]. [citado em 9 de out. de 2019]. Disponível em: <https://www.ladco.org/>
- 29 OTC Home Page – Ozone Transport Commission – OTCAir.org [Internet]. [citado em 9 de out. de 2019]. Disponível em: <https://otcair.org/>
- 30 US EPA O. Cross-State Air Pollution Rule (CSAPR) [Internet]. US EPA. 2016. [citado em 9 de out. de 2019]. Disponível em: <https://www.epa.gov/csapr>
- 31 Clancy L, Goodman P, Sinclair H, Dockery DW. Effect of air-pollution control on death rates in Dublin, Ireland: an intervention study. *Lancet Lond Engl.* 19 de outubro de 2002;360(9341):1210–4.
- 32 Kheirbek I, Haney J, Douglas S, Ito K, Caputo Jr S, Matte T. The public health benefits of reducing fine particulate matter through conversion to cleaner heating fuels in New York City. *Environ Sci Technol.* 2014;48(23):13573–13582.
- 33 Holman C, Harrison R, Querol X. Review of the efficacy of low emission zones to improve urban air quality in European cities. *Atmos Environ.* 1 de junho de 2015;111:161–9.
- 34 Bachmann J. Managing Air Quality: Lessons from the American Experience. :14.
- 35 Integrated Programme for Better Air Quality in Asia [Internet]. Clean Air Asia. 2015 [citado em 1 de set. de 2019]. Disponível em: <http://cleanairasia.org/ibaq-programme/>
- 36 Pinder RW, Klopp JM, Kleiman G, Hagler GSW, Awe Y, Terry S. Opportunities and challenges for filling the air quality data gap in low- and middle-income countries. *Atmos Environ.* 15 de outubro de 2019;215:116794.
- 37 Cohen AJ, Brauer M, Burnett R, Anderson HR, Frostad J, Estep K, et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *The Lancet* [Internet]. 10 de abril de 2017 [citado em 12 de abr. de 2017];0(0). Disponível em: [http://thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(17\)30505-6/abstract](http://thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(17)30505-6/abstract)
- 38 Backes CH, Nelin T, Gorr MW, Wold LE. Early life exposure to air pollution: how bad is it? *Toxicol Lett.* 10 de janeiro de 2013;216(1):47–53.
- 39 Barakat-Haddad C, Elliott SJ, Pengelly D. Health Impacts of Air Pollution: A Life Course Approach for Examining Predictors of Respiratory Health in Adulthood. *Ann Epidemiol.* 1 de abril de 2012;22(4):239–49.
- 40 Achakulwisut P, Brauer M, Hystad P, Anenberg SC. Global, national, and urban burdens of paediatric asthma incidence attributable to ambient NO₂ pollution: estimates from global datasets. *Lancet Planet Health* [Internet]. 10 de abril de 2019 [citado em 15 de abr. de 2019];0(0). Disponível em: [https://www.thelancet.com/journals/lanplh/article/PIIS2542-5196\(19\)30046-4/abstract](https://www.thelancet.com/journals/lanplh/article/PIIS2542-5196(19)30046-4/abstract)

Referências

- 41 Héroux M-E, Anderson HR, Atkinson R, Brunekreef B, Cohen A, Forastiere F, et al. Quantifying the health impacts of ambient air pollutants: recommendations of a WHO/Europe project. *Int J Public Health*. 1 de julho de 2015;60(5):619–27.
- 42 Di Q, Wang Y, Zanobetti A, Wang Y, Koutrakis P, Choirat C, et al. Air Pollution and Mortality in the Medicare Population. *N Engl J Med*. 29 de junho de 2017;376(26):2513–22.
- 43 Beelen R, Raaschou-Nielsen O, Stafoggia M, Andersen ZJ, Weinmayr G, Hoffmann B, et al. Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project. *The Lancet*. Março de 2014;383(9919):785–95.
- 44 WHO | Air quality guidelines – global update 2005 [Internet]. WHO. [citado em 11 de jan. de 2019]. Disponível em: <http://www.who.int/airpollution/publications/aqg2005/en/>
- 45 Künzli N, Medina S, Kaiser R, Quénel P, Horak F, Studnicka M. Assessment of deaths attributable to air pollution: should we use risk estimates based on time series or on cohort studies? *Am J Epidemiol*. 1 de junho de 2001;153(11):1050–5.
- 46 Lall R, Kendall M, Ito K, Thurston GD. Estimation of historical annual PM2.5 exposures for health effects assessment. *Atmos Environ*. 1 de outubro de 2004;38(31):5217–26.
- 47 AAP_database_methods_2014.pdf [Internet]. [citado em 13 de fev. de 2019]. Disponível em: https://www.who.int/airpollution/data/AAP_database_methods_2014.pdf
- 48 Li L, Wu AH, Cheng I, Chen J-C, Wu J. Spatiotemporal estimation of historical PM2.5 concentrations using PM10, meteorological variables, and spatial effect. *Atmos Environ*. 1 de outubro de 2017;166:182–91.
- 49 Martin RV, Brauer M, van Donkelaar A, Shaddick G, Narain U, Dey S. No one knows which city has the highest concentration of fine particulate matter. *Atmospheric Environ X*. 24 de junho de 2019;100040.
- 50 Xu L, Batterman S, Chen F, Li J, Zhong X, Feng Y, et al. Spatiotemporal characteristics of PM2.5 and PM10 at urban and corresponding background sites in 23 cities in China. *Sci Total Environ*. 1 de dezembro de 2017;599–600:2074–84.
- 51 Pinto JP, Lefohn AS, Shadwick DS. Spatial Variability of PM2.5 in Urban Areas in the United States. *J Air Waste Manag Assoc*. 1 de abril de 2004;54(4):440–9.
- 52 Brauer M, Guttikunda SK, K a N, Dey S, Tripathi SN, Weagle C, et al. Examination of monitoring approaches for ambient air pollution: A case study for India. *Atmos Environ*. 1 de novembro de 2019;216:116940.
- 53 van Donkelaar A, Martin R, Verduzco C, Brauer M, Kahn R, Levy R, et al. A hybrid approach for predicting pm2.5 exposure: Van donkelaar et al. respond. *Environ Health Perspect*. 2010;118(10).
- 54 Health Effects Institute. State of Global Air [Internet]. State of Global Air. 2019. [citado em 1 de set. de 2019]. Disponível em: <https://www.stateofglobalair.org/sites/default/files/soga-2018-report.pdf>
- 55 Institute for Health Metrics and Evaluation [Internet]. Institute for Health Metrics and Evaluation. [citado em 18 de out. de 2018]. Disponível em: <http://www.healthdata.org/institutehealth-metrics-and-evaluation>
- 56 Anenberg SC, Achakulwisut P, Brauer M, Moran D, Apte JS, Henze DK. Particulate matter-attributable mortality and relationships with carbon dioxide in 250 urban areas worldwide. *Sci Rep*. 9 de agosto de 2019;9(1):1–6.
- 57 U.S. National PM2.5 Chemical Speciation Monitoring Networks—CSN and IMPROVE: Description of networks: *Journal of the Air & Waste Management Association: Vol 64, No 12* [Internet]. [citado em 10 de out. de 2019]. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10962247.2014.956904>
- 58 Snider G, Weagle CL, Murdymootoo KK, Ring A, Ritchie Y, Stone E, et al. Variation in global chemical composition of PM<inf>2.5</inf>: emerging results from SPARTAN. *Atmospheric Chem Phys*. 2016;16(15).
- 59 Snider G, Weagle CLL, Martin RV V., van Donkelaar A, Conrad K, Cunningham D, et al. SPARTAN: a global network to evaluate and enhance satellite-based estimates of ground-level particulate matter for global health applications. *Atmospheric Meas Tech*. 30 de janeiro de 2015;8(1):505–21.
- 60 Both AF, Balakrishnan A, Joseph B, Marshall JD. Spatiotemporal Aspects of Real-Time PM2.5: Low- and Middle-Income Neighborhoods in Bangalore, India. *Environ Sci Technol*. 1 de julho de 2011;45(13):5629–36.
- 61 Zhou Z, Dionisio KL, Arku RE, Quaye A, Hughes AF, Vallarino J, et al. Household and community poverty, biomass use, and air pollution in Accra, Ghana. *Proc Natl Acad Sci*. 5 de julho de 2011;108(27):11028–33.
- 62 Hoek G, Beelen R, de Hoogh K, Vienneau D, Gulliver J, Fischer P, et al. A review of land-use regression models to assess spatial variation of outdoor air pollution. *Atmos Environ*. 2008;42(33):7561–78.
- 63 Dye T. Brief History of Air Quality Sensing [Internet]. TD Environmental Services. 2017. [citado em 20 de fev. de 2019]. Disponível em: <http://tdenviro.com/brief-history-air-quality-sensing/>
- 64 Alastair C. Lewis, Erika von Schneidemesser and Richard E. Peltier (editors). Low-cost sensors for the measurement of atmospheric composition: overview of topic and future applications [Internet]. [citado em 19 de mar. de 2019]. Disponível em: http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/documents/Low_cost_sensors_18_Oct.pdf
- 65 Aoki P, Woodruff A, Yellapragada B, Willett W. Environmental Protection and Agency: Motivations, Capacity, and Goals in Participatory Sensing. In: *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems – CHI '17* [Internet]. Denver, Colorado, USA: ACM Press; 2017. [citado em 26 de fev. de 2019]. p. 3138–50. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=3025453.3025667>
- 66 Lewis AC, Von Schneidemesser E, Peltier R, Lung C, Jones R, Zellweger C, et al. Low-cost sensors for the measurement of atmospheric composition: overview of topic and future applications. Draft copy for public review.
- 67 Zheng T, Bergin MH, Johnson KK, Tripathi SN, Shirodkar S, Landis MS, et al. Field evaluation of low-cost particulate matter sensors in high- and low-concentration environments. *Atmospheric Meas Tech*. 22 de agosto de 2018;11(8):4823–46.
- 68 Jiao W, Hagler G, Williams R, Sharpe R, Brown R, Garver D, et al. Community Air Sensor Network (CAIRSENSE) project: evaluation of low-cost sensor performance in a suburban environment in the southeastern United States. *Atmospheric Meas Tech*. 1 de novembro de 2016;9(11):5281–92.
- 69 AQ-SPEC Home Page [Internet]. [citado em 19 de mar. de 2019]. Disponível em: <http://www.aqmd.gov/aq-spec/home>
- 70 US EPA O. Air Sensor Toolbox for Citizen Scientists, Researchers and Developers [Internet]. US EPA. 2016 [citado em 2 de set. de 2019]. Disponível em: <https://www.epa.gov/air-sensor-toolbox>
- 71 Air Quality Map | Cowichan Valley Regional District [Internet]. [citado em 2 de set. de 2019]. Disponível em: <https://www.cvrld.bc.ca/2187/Air-Quality-Map>
- 72 GHG Protocol for Cities | Greenhouse Gas Protocol [Internet]. [citado em 24 de out. de 2019]. Disponível em: <https://ghgprotocol.org/greenhouse-gas-protocol-accountingreporting-standard-cities>
- 73 LMIC Urban Air Pollution Solutions [Internet]. [citado em 23 de out. de 2019]. Disponível em: https://breathelife2030.org/wp-content/uploads/2019/08/USAID_CAMSolutionsDoc_070219.pdf
- 74 Home – CAMx [Internet]. [citado em 24 de out. de 2019]. Disponível em: <http://www.camx.com/>
- 75 Heaps C, Kuylenstierna JCI, Hicks K, Vallack H, Malley C. The Long-range Energy Alternatives Planning Integrated Benefits Calculator (LEAP-IBC). 30 de novembro de 2017 [citado em 24 de out. de 2019]; Disponível em: <https://www.sei.org/publications/leapibc/>
- 76 FASST – European Commission [Internet]. [citado em 24 de out. de 2019]. Disponível em: <http://tm5-fasst.jrc.ec.europa.eu/>
- 77 urbanemissions.info [Internet]. [citado em 18 de out. de 2018]. Disponível em: <http://www.urbanemissions.info/>
- 78 Crippa M, Guizzardi D, Muntean M, Schaaf E, Dentener F, van Aardenne JA, et al. Gridded emissions of air pollutants for the period 1970–2012 within EDGAR v4.3.2. *Earth Syst Sci Data*. 26 de outubro de 2018;10(4):1987–2013.
- 79 Marais EA, Wiedinmyer C. Air Quality Impact of Diffuse and Inefficient Combustion Emissions in Africa (DICE-Africa). *Environ Sci Technol*. 4 de outubro de 2016;50(19):10739–45.
- 80 Multi-resolution Emission Inventory for China [Internet]. [citado em 23 de out. de 2019]. Disponível em: <http://www.meicmodel.org/>
- 81 US EPA O. AP-42: Compilation of Air Emissions Factors [Internet]. US EPA. 2016. [citado em 1 de mai. de 2019]. Disponível em: <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emissions-factors>
- 82 EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook [Internet]. European Environment Agency. [citado em 4 de nov. de 2019]. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/themes/air/emep-eea-air-pollutant-emission-inventory-guidebook/emep>
- 83 Guttikunda DS. Urban Particulate Pollution Source Apportionment. :16.
- 84 US EPA O. SPECIATE [Internet]. US EPA. 2015. [citado em 24 de out. de 2019]. Disponível em: <https://www.epa.gov/air-emissions-modeling/speciate>
- 85 WHO | Database on source apportionment studies for particulate matter in the air (PM10 and PM2.5) [Internet]. WHO. [citado em 24 de out. de 2019]. Disponível em: http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/global/source_apport/en/

- 86 Murukutla N, Negi NS, Puri P, Mullin S, Onyon L. Online media coverage of air pollution risks and current policies in India: A content analysis. *WHO South-East Asia J Public Health*. 1 de julho de 2017;6(2):41.
- 87 Wirtz BW, Piehler R, Thomas M-J, Daiser P. Resistance of Public Personnel to Open Government: A cognitive theory view of implementation barriers towards open government data. *Public Manag Rev*. 20 de outubro de 2016;18(9):1335–64.
- 88 Huang R, Lai T, Zhou L. Proposing a framework of barriers to opening government data in China: A critical literature review. *Libr Hi Tech Bradf*. 2017;35(3):421–38.
- 89 SIATA, EAFIT, SIATA. SIATA – Sistema de Alerta Temprana del valle de Aburrá [Internet]. [citado em 2 de set. de 2019]. Disponível em: https://siata.gov.co/siata_nuevo/
- 90 AirNow [Internet]. [citado em 2 de set. de 2019]. Disponível em: <https://airnow.gov/>
- 91 CCR [Internet]. [citado em 29 de out. de 2019]. Disponível em: <https://app.cpcbcr.com/ccr/#/caaqm-dashboard-all/caaqm-landing>
- 92 London Air Quality Network – King's College London [Internet]. [citado em 26 de fev. de 2019]. Disponível em: <https://www.londonair.org.uk/LondonAir/Default.aspx>
- 93 New York City Community Air Survey (NYCCAS) [Internet]. [citado em 20 de mar. de 2019]. Disponível em: <https://commoncenter.org/nyccas.html>
- 94 Data C of NY NYC Open. NYC Open Data [Internet]. [citado em 2 de set. de 2019]. Disponível em: <http://nycod-wpengine.com/>
- 95 Environment & Health Data Portal [Internet]. [citado em 2 de set. de 2019]. Disponível em: http://a816-dohbsp.nyc.gov/IndicatorPublic/Subtopic.aspx?theme_code=1,4&subtopic_id=122
- 96 OpenAQ [Internet]. [citado em 2 de set. de 2019]. Disponível em: https://openaq.org/#/?_k=wyyvih5
- 97 USC training launches a new era of air pollution health research in eastern Africa – Eastern Africa GEOHealth Hub [Internet]. [citado em 20 de mar. de 2019]. Disponível em: <https://geohealthhub.org/2016/06/30/usc-training-launchesa-new-era-of-air-pollution-healthresearch-in-eastern-africa/>
- 98 Simon Ng; Chubin Lin; Jimmy Chan. Tender Reference AS 08-068: Study on Marine Vessels Emission Inventory Final Report [Internet]. 2012. Disponível em: https://www.epd.gov.hk/epd/sites/default/files/epd/english/environmentinhk/air/studyreports/files/EPD_MVEIS_Final_Report_v7_approved_120528.pdf
- 99 Hazy Perceptions – A new report on air pollution [Internet]. Vital Strategies. [citado em 2 de set. de 2019]. Disponível em: <https://www.vitalstrategies.org/resources/hazy-perceptions-a-newreport-on-air-pollution/>
- 100 Moses E. Fighting for Clean Air Around the Globe. *Conf Proc*. :19.
- 101 UNEP Air Pollution Country Actions Information [Internet]. 2016. [citado em 31 de out. de 2016]. Disponível em: <http://www.unep.org/Transport/airquality/>
- 102 Abdoun A. Fuel Quality and Emission Standard Developments in Africa. :23.
- 103 World Population Review. Accra Population 2019 (Demographics, Maps, Graphs) [Internet]. [citado em 24 de jul. de 2019]. Disponível em: <http://worldpopulationreview.com/worldcities/accra-population/>
- 104 Jorge Ubaldo Colin Pescina. The Economic Base of Accra, Ghana – Advanced Issue in Development Planning. 2013.
- 105 State of Global Air. Explore the Data [Internet]. [citado em 5 de set. de 2019]. Disponível em: <https://www.stateofglobalair.org/data/#/air/plot>
- 106 HEI Household Air Pollution–Ghana Working Group. Contribution of Household Air Pollution to Ambient Air Pollution in Ghana: Using Available Evidence to Prioritize Future Action. Communication 19. Boston, MA; 2019.
- 107 Zhou Z, Dionisio KL, Verissimo TG, Kerr AS, Coull B, Howie S, et al. Chemical characterization and source apportionment of household fine particulate matter in rural, peri-urban, and urban West Africa. *Environ Sci Technol*. 2014;48(2):1343–51.
- 108 Guttikunda SK. Urban Emissions [Internet]. 2019. Disponível em: www.urbanemissions%0A.info/
- 109 The ASEAN Secretariat. ASEAN Statistical Yearbook 2018. Jakarta; 2018.
- 110 World Population Review. Bangkok Population 2019 (Demographics, Maps, Graphs) [Internet]. [citado em 24 de jul. de 2019]. Disponível em: <http://worldpopulationreview.com/worldcities/bangkok-population/>
- 111 Arunmas P. Businesses downbeat on prospects [Internet]. Bangkok Post. 2016. [citado em 24 de jul. de 2019]. Disponível em: <https://www.bangkokpost.com/business/995133/businesses-downbeat-on-prospects>
- 112 Office of the National Economic and Social Development Board, Office of the Prime Minister. The Twelfth National Economic and Social Development plan (2017–2021). 2017.
- 113 Chongpoonphol T. Source of PM and Health Impacts in Bangkok.
- 114 Chestnut LG, Ostro BD, Vichit-Vadakan N, Laixuthai A, Smith KR, Tsai FC, et al. Executive summary health effects of particulate matter air pollution in Bangkok. 1998.
- 115 Arphorn S, Ishimaru T, Hara K, Mahasandana S. Considering the effects of ambient particulate matter on the lung function of motorcycle taxi drivers in Bangkok, Thailand. *J Air Waste Manag Assoc*. 1 de fevereiro de 2018;68(2):139–45.
- 116 Pollution Control Department, Ministry of Natural Resources and Environment. Thailand State of Pollution Report 2003. Bangkok, Thailand; 2003.
- 117 Chuersuwat N, Nimrat S, Lekphet S, Kerdumrai T. Levels and major sources of PM2.5 and PM10 in Bangkok Metropolitan Region. *Environ Int*. 2008;34(5):671–7.
- 118 UN Habitat. Case Study: Bangkok's strategy to tackle air pollution. In: *State of the World's Cities 2008/2009*. 2008.
- 119 Perera R. Promoting travel demand reduction in transport sector in cities of Asian developing countries: Case of Bangkok. In: *Workshop paper, Urban Environmental Management (UEM), SERD, Asian Institute of Technology*. 2006.
- 120 Beijing Municipal Bureau of Statistics, NBS Survey Office in Beijing. Beijing Statistical Yearbook – Annual Data [Internet]. 2018. [citado em 10 de mai. de 2019]. Disponível em: <http://tj.beijing.gov.cn/English/AD/>
- 121 China Briefing. Beijing City Profile – Industry, Economics, and Policy [Internet]. 2019. [citado em 10 de mai. de 2019]. Disponível em: <https://www.chinabriefing.com/news/beijing-industryeconomics-policy/>
- 122 National Bureau of Statistics of China. National Data [Internet]. 2019. [citado em 10 de mai. de 2019]. Disponível em: <http://data.stats.gov.cn/english/>
- 123 GBD MAPS Working Group. Special Report 20: Burden of Disease Attributable to Coal-Burning and Other Major Sources of Air Pollution in China. Health Effects Institute. 2016.
- 124 The United States Department of State. AirNow [Internet]. [citado em 8 de jan. de 2019]. Disponível em: https://airnow.gov/index.cfm?action=airnow.global_summary
- 125 Liu J, Kiesewetter G, Klimont Z, Cofala J, Heyes C, Schöpp W, et al. Mitigation pathways of air pollution from residential emissions in the Beijing–Tianjin–Hebei region in China. *Environ Int*. 2019;236–44.
- 126 Li X, Zhang Q, Zhang Y, Zheng B, Wang K, Chen Y, et al. Source contributions of urban PM2.5 in the Beijing–Tianjin–Hebei region: Changes between 2006 and 2013 and relative impacts of emissions and meteorology. *Atmos Environ*. 2015;123:229–39.
- 127 National Development and Reform Commission. Clean winter heating plan for Northern China (2017–2021). 2017.
- 128 Wang L, Zhang F, Pilot E, Yu J, Nie C, Holdaway J, et al. Taking action on air pollution control in the Beijing–Tianjin–Hebei (BTH) region: Progress, challenges and opportunities. *Int J Environ Res Public Health*. 2018;15(2).
- 129 Ministry of Environment. Action Plan for Comprehensive Control of Air pollution in Autumn and Winter 2019–2020 in Beijing, Tianjin, Hebei and surrounding areas. 2019.
- 130 Barrington-Leigh C, Baumgartner J, Carter E, Robinson BE, Tao S, Zhang Y. An evaluation of air quality, home heating and well-being under Beijing's programme to eliminate household coal use. *Nat Energy*. 2019;4(5):416–23.
- 131 UNESCAP Battambang, Cambodia – City Overview. 2018.
- 132 World Population Review. Population of Cities in Cambodia [Internet]. 2019. Disponível em: <http://worldpopulationreview.com/countries/cambodia-population/cities/>
- 133 UNEP IGES. Participatory waste management approach for climate change mitigation – the case of Battambang city. 2018.
- 134 Sothea K. Status of Air Quality Management in Phnom Penh City, Cambodia. In: *Launch Meeting on Cambodia And Laos Initiative for Building Human Resources for the Environment (CALBRE) Project*. 2008.
- 135 Cogut A. Open Burning of Waste: A Global Health Disaster. R20 Regions of Climate Change. 2016.
- 136 Climate and Clean Air Coalition. Battambang, Cambodia [Internet]. Municipal solid waste knowledge platform. Disponível em: <https://www.waste.ccacoalition.org/participant/battambang-cambodia>

- 137 Hong Kong Department of Health. Health Facts of Hong Kong. 2018.
- 138 Chen EKY. Foreign trade and economic growth in Hong Kong: experience and prospects. *Trade Struct Change Pac Asia*. 1987;333–78.
- 139 To WM, Lee PKC. Energy consumption and economic development in Hong Kong, China. *Energies*. 2017;10(11):1–13.
- 140 Census and Statistics Department. The Four Key Industries and Other Selected Industries – Concepts and Methods [Internet]. 2005. [citado em 20 de nov. de 2018]. Disponível em: <https://www.censtatd.gov.hk/hkstat/sub/sc80.jsp>
- 141 Marine department. The Port – fact sheet. 2018.
- 142 Hong Kong Marine Department. Port Benchmarking for Assessing Hong Kong's Maritime Services and Associated Costs with other Major International Ports. 2006.
- 143 Hong Kong Marine Department. Time Series Statistics – Vessel Arrivals by Ocean/River and Cargo/Passenger Vessels. 2018.
- 144 Hong Kong Marine Department. Ranking of Container Ports of the World. 2018.
- 145 145 GHK. Study on Hong Kong Port Cargo Forecasts 2005/2006 Executive Summary. 2008.
- 146 Gall C, Rafelghem M Van, Exchange C. Marine Emission Reduction Options for Hong Kong and the Pearl River Delta Region. Hong Kong; 2006.
- 147 Natural Resources Defense Council. Prevention and Control of Shipping and Port Air Emissions in China. 2014.
- 148 Environmental Bureau. A Clean Air Plan for Hong Kong. 2013.
- 149 Corbett JJ, Winebrake JJ, Green EH, Kasibhatla P, Eyring V, Lauer A. Mortality from ship emissions: a global assessment. *Environ Sci Technol*. 15 de dezembro de 2007;41(24):8512–8.
- 150 Liu H, Fu M, Jin X, Shang Y, Shindell D, Faluvegi G, et al. Health and climate impacts of ocean-going vessels in East Asia. *Nat Clim Change*. 2016;6(Novembro):6–11.
- 151 Lau K, Wu WM, Fung JCH, Henry RC, Barron B. Significant Marine Source for SO₂ levels in Hong Kong. *Analysis*. 2005.
- 152 Lau AK, Yu J, Wong T-W, Yu TI, Poore MW. Assessment of Toxic Air Pollutant Measurements in Hong Kong. 2003.
- 153 Ng SKW, Loh C, Lin C, Booth V, Chan JWM, Yip ACK, et al. Policy change driven by an AIS-assisted marine emission inventory in Hong Kong and the Pearl River Delta. *Atmos Environ*. 2013;76:102–12.
- 154 Ng SKW, Lin C, Chan J, Yip ACK, Lau AKH, Fung JCH. Study on Marine Vessels Emission Inventory. 2012.
- 155 Ng S. Fair Winds Charter: How Civic Exchange Influenced Policymaking to Reduce Ship Emissions in Hong Kong 2006–2015. Hong Kong; 2018.
- 156 Li Y, Lau A, Wong A, Fung J. Decomposition of the wind and nonwind effects on observed year-to-year air quality variation. *J Geophys Res Atmospheres*. 2014;119:6207–20.
- 157 Legislative Council of The Hong Kong Special Administrative Region of The People's Republic of China. Cap 311Y – Air Pollution Control (Marine Light Diesel) Regulation. Hong Kong; 2014.
- 158 Legislative Council of The Hong Kong Special Administrative Region of The People's Republic of China. Air Pollution Control (Ocean Going Vessels) (Fuel at Berth) Regulation. 2015;
- 159 Hong Kong Environmental Protection Department. Air [Internet]. Hong Kong Environmental Protection Department. 2016. [citado em 16 de mai. de 2016]. Disponível em: http://www.epd.gov.hk/epd/english/environmentinhk/air/air_maincontent.html
- 160 Hong Kong Environment Bureau. Clean air plan for Hong Kong: 2013–2017 Progress Report. 2017.
- 161 Legislative Council of The Hong Kong Special Administrative Region. Cap 311 AB – Air Pollution Control (Fuel for Vessels) Regulation [Internet]. 2019. Disponível em: <https://www.elegislation.gov.hk/hk/cap311AB>
- 162 Ishtiaque A, Shrestha M, Chhetri N, Ishtiaque A, Shrestha M, Chhetri N. Rapid Urban Growth in the Kathmandu Valley, Nepal: Monitoring Land Use Land Cover Dynamics of a Himalayan City with Landsat Imageries. *Environments*. 8 de outubro de 2017;4(4):72.
- 163 Shivit Bakrania. Urbanisation and urban growth in Nepal (GSDRC Helpdesk Research Report 1294). Birmingham, UK;; 2015.
- 164 Ministry of Population and Environment. National Population Report 2017. 2017.
- 165 Nepal Rastra Bank Research Department. Survey Report on the Share of Kathmandu Valley in the National Economy. 2012.
- 166 World Bank. Nepal – Country Environmental Analysis: Strengthening Institutions and Management Systems for Enhanced Environmental Governance. Washington, DC; Dezembro de 2007.
- 167 MinErgy Nepal, International Centre for Integrated Mountain Development, Climate and Clean Air Coalition. Brick Sector in Nepal: National Policy Framework. 2017.
- 168 Joshi SK, Dudani I. Environmental health effects of brick kilns in Kathmandu valley. *Kathmandu Univ Med J KUMJ*. 6(1):3–11.
- 169 169 Baum E. Present Status of Brick Production in Asia. In: Proceedings of the Workshop on public policies to mitigate environmental impact of artisanal brick production. 2012.
- 170 Maskey U, Sanu M, Dangol B. Study on Evaluating Energy Conservation Potential of Brick Production in SAARC Countries – A Report on Nepal. Islamabad, Pakistan; 2013.
- 171 Kim BM, Park J-S, Kim S-W, Kim H, Jeon H, Cho C, et al. Source apportionment of PM₁₀ mass and particulate carbon in the Kathmandu Valley, Nepal. *Atmos Environ*. 2015;123:190–9.
- 172 Climate & Clean Air Coalition. CCAC Annual Report 2015–2016.
- 173 Benfield A. 2015 Nepal Earthquake Event Recap Report. 2015.
- 174 ICIMOD. Building back better brick kilns in Nepal. 2016.
- 175 Nepal S, Mahapatra PS, Adhikari S, Shrestha S, Sharma P, Shrestha KL, et al. A comparative study of stack emissions from straight-line and zigzag brick kilns in Nepal. *Atmosphere*. 2019;10(3).
- 176 International Centre for Integrated Mountain development, Climate and Clean Air Coalition, Greentech Knowledge Solution, MinErgy. Design Manual – Improved Fixed Chimney Brick Kiln. 2015.
- 177 The Hindu. Nepal leads the way in cutting emissions in brick kilns [Internet]. 2018 [citado em 13 de mai. de 2019]. Disponível em: <https://www.thehindu.com/sci-tech/energy-and-environment/nepal-leads-the-way-in-cutting-emissions-in-brickkilns/article24039609.ece>
- 178 Pradhan BB. Case Study of the Brick Kiln Experience – Solutions to Reduce Air Pollution in South Asia. In: Better Air Quality Conference. Kuching, Malaysia; 2018.
- 179 City of New York. NYC Population: Current and Projected Populations [Internet]. [citado em 8 de mai. de 2019]. Disponível em: <https://www1.nyc.gov/site/planning/data-maps/nyc-population/currentfuture-populations.page>
- 180 NYC Planning. Employment Patterns in New York City – Trends in a growing economy. 2016.
- 181 New York City Department of Health and Mental Hygiene. The New York City Community Air Survey – Results from Winter Monitoring 2008–2009. 2008.
- 182 New York City Department of Health and Mental Hygiene. Air Pollution and the Health of New Yorkers: The Impact of Fine Particles and Ozone. 2011.
- 183 City of New York. PlaNYC – a greener, greater New York. 2007.
- 184 Matte TD, Ross Z, Kheirbek I, Eisl H, Johnson S, Gorczynski JE, et al. Monitoring intraurban spatial patterns of multiple combustion air pollutants in New York City: Design and implementation. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 16 de maio de 2013;23(3):223–31.
- 185 Clougherty JE, Kheirbek I, Eisl HM, Ross Z, Pezeshki G, Gorczynski JE, et al. Intraurban spatial variability in wintertime street-level concentrations of multiple combustion-related air pollutants: The New York City Community Air Survey (NYCCAS). *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 30 de maio de 2013;23(3):232–40.
- 186 Clougherty Iyad Kheirbek Sarah Johnson Grant Pezeshki J Bryan Jacobsen Daniel Kass Thomas Matte JE, Strickland CH, Kizzy Charles-Guzman J, Eisl John E Gorczynski Alyssa Benson Andres Camacho Jordan Werbe-Fuentes Jonah Haviland-Markowitz Rolando Munoz Anna Tilles Steven Markowitz Zev Ross Spatial Analysis Zev Ross HM. The New York City Community Air Survey Supplemental Report – Nickel Concentrations in Ambient Fine Particles: Winter Monitoring Background and Methods. 2008.
- 187 Iyad Kheirbek, Sarah Johnson, Kazuhiko Ito, Thomas Matte, Daniel Kass, Steven A Caputo, et al. New York City Trends in Air Pollution and its Health Consequences. 2013.
- 188 Kheirbek I, Haney J, Douglas S, Ito K, Caputo S, Matte T. The Public Health Benefits of Reducing Fine Particulate Matter through Conversion to Cleaner Heating Fuels in New York City. *Environ Sci Technol*. 2 de dezembro de 2014;48(23):13573–82.
- 189 Kheirbek I, Johnson S, Ross Z, Pezeshki G, Ito K, Eisl H, et al. Spatial variability in levels of benzene, formaldehyde, and total benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes in New York City: a land-use regression study. *Environ Health*. 31 de dezembro de 2012;11(1):51.
- 190 Kheirbek I, Ito K, Neitzel R, Kim J, Johnson S, Ross Z, et al. Spatial Variation in Environmental Noise and Air Pollution in New York City. *J Urban Health*. 1 de junho de 2014;91(3):415–31.
- 191 Kheirbek I, Haney J, Douglas S, Ito K, Matte T. The contribution of motor vehicle emissions to ambient fine particulate matter public health impacts in New York City: a health burden assessment. *Environ Health*. 26 de dezembro de 2016;15(1):89.

- 192 Weinberger KR, Kinney PL, Robinson GS, Sheehan D, Kheirbek I, Matte TD, et al. Levels and determinants of tree pollen in New York City. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 21 de dezembro de 2016;28(2):119.
- 193 California Department of Finance. E-1 Population Estimates for Cities, Counties, and the State – January 1, 2018 and 2019 [Internet]. [citado em 9 de mai. de 2019]. Disponível em: <http://www.dof.ca.gov/Forecasting/Demographics/Estimates/E-1/>
- 194 Port of Oakland. History of Port of Oakland [Internet]. [citado em 9 de mai. de 2019]. Disponível em: <https://www.portofoakland.com/port/history/>
- 195 City of Oakland. Economic & Workforce Development [Internet]. [citado em 9 de mai. de 2019]. Disponível em: <https://www.oaklandca.gov/departments/economicand-workforce-development>
- 196 U.S. Census Bureau. American FactFinder – Community Facts [Internet]. [citado em 9 de mai. de 2019]. Disponível em: https://factfinder.census.gov/faces/nav/jsf/pages/community_facts.xhtml?src=bkmk
- 197 Apte JS, Messier KP, Gani S, Brauer M, Kirchstetter TW, Lunden MM, et al. High-Resolution Air Pollution Mapping with Google Street View Cars: Exploiting Big Data. *Environ Sci Technol*. 2017;51(12):6999–7008.
- 198 J.D. M, E. N, M. B. Within-urban variability in ambient air pollution: Comparison of estimation methods. *Atmos Environ*. 2008;42(5):1359–69.
- 199 Apte JS. Mapping air pollution with Google Street View cars. Austin, TX; 2019.
- 200 Alexeeff SE, Roy A, Shan J, Liu X, Messier K, Apte JS, et al. High-resolution mapping of traffic related air pollution with Google Street view cars and incidence of cardiovascular events within neighborhoods in Oakland, CA. *Environ Health Glob Access Sci Source*. 2018;17(1).
- 201 Oakland Planning and Building Department. Downtown Oakland Disparity Analysis. City of Oakland; 2018.
- 202 Oakland P of. Revised Draft Seaport Air Quality 2020 and Beyond Plan. 2018.
- 203 Air Quality Management District. California AB 617 Background [Internet]. [citado em 22 de mai. de 2019]. Disponível em: <http://www.airquality.org/air-qualityhealth/community-air-protection/ab-617-background>
- 204 Kloog I, Koutrakis P, Coull BA, Lee HJ, Schwartz J. Assessing temporally and spatially resolved PM2.5 exposures for epidemiological studies using satellite aerosol optical depth measurements. *Atmos Environ*. 1 de novembro de 2011;45(35):6267–75.
- 205 van Donkelaar A, Martin R V, Spurr RJD, Burnett RT. High-Resolution Satellite-Derived PM2.5 from Optimal Estimation and Geographically Weighted Regression over North America. *Environ Sci Technol*. 1 de setembro de 2015;49(17):10482–91.
- 206 de Hoogh K, Gulliver J, Donkelaar A van, Martin R V., Marshall JD, Bechle MJ, et al. Development of West-European PM2.5 and NO2 land use regression models incorporating satellite-derived and chemical transport modelling data. *Environ Res*. 1 de novembro de 2016;151:1–10.
- 207 Ma Z, Hu X, Huang L, Bi J, Liu Y. Estimating Ground-Level PM2.5 in China Using Satellite Remote Sensing. *Environ Sci Technol*. 13 de julho de 2014;48(13):7436–44.
- 208 Li T, Zhang Y, Wang J, Xu D, Yin Z, Chen H, et al. All-cause mortality risk associated with long-term exposure to ambient PM2.5 in China: a cohort study. *Lancet Public Health*. Outubro de 2018;3(10):e470–7.
- 209 MAIA | Investigation [Internet]. [citado em 7 de nov. de 2019]. Disponível em: <https://maia.jpl.nasa.gov/investigation/>
- 210 Uz S. Applied Remote Sensing Training | ARSET [Internet]. [citado em 18 de out. de 2019]. Disponível em: /home
- 211 Solomon PA, Mitchell W, Tolocka M, Norris G, Gemmill D, Wiener R, et al. Evaluation of PM2.5 chemical speciation samplers for use in the EPA National PM2.5 Chemical Speciation Network. Office of Air Quality Planning and Standards; 2000.
- 212 Matte TD, Ross Z, Kheirbek I, Eisl H, Johnson S, Gorczynski JE, et al. Monitoring intraurban spatial patterns of multiple combustion air pollutants in New York City: design and implementation. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2013;23(3):223–231.
- 213 Carmichael GR, Fero M, Thongboonchoo N, Woo J-H, Chan LY, Murano K, et al. Measurements of sulfur dioxide, ozone and ammonia concentrations in Asia, Africa, and South America using passive samplers. *Atmos Environ*. 1 de março de 2003;37(9):1293–308.
- 214 Krupa SV, Legge AH. Passive sampling of ambient, gaseous air pollutants: an assessment from an ecological perspective. *Environ Pollut*. 1 de janeiro de 2000;107(1):31–45.
- 215 Beelen R, Hoek G, Vienneau D, Eeftens M, Dimakopoulou K, Pedeli X, et al. Development of NO2 and NOx land use regression models for estimating air pollution exposure in 36 study areas in Europe—the ESCAPE project. *Atmos Environ*. 2013;72:10–23.
- 216 Apte JS, Messier KP, Gani S, Brauer M, Kirchstetter TW, Lunden MM, et al. High-Resolution Air Pollution Mapping with Google Street View Cars: Exploiting Big Data. *Environ Sci Technol*. 20 de junho de 2017;51(12):6999–7008.
- 217 Global Atmosphere Watch Programme (GAW) | World Meteorological Organization [Internet]. [citado em 13 de jan. de 2020]. Disponível em: <https://community.wmo.int/activity-areas/gaw>

