



O ESTADO DA QUALIDADE DO AR NO BRASIL

ANDRÉ SANT'ANNA, ANE ALENCAR, BERTA PINHEIRO, CARMEN ARAÚJO, EVANGELINA VORMITTAG, HELIO WICHER, KAMYLA BORGES, MARCEL FARIA, MARIA DE FÁTIMA ANDRADE, PAULINA PORTO, PAULO ARTAXO, RUDI ROCHA, TALITA ESTURBA, WALTER FIGUEIREDO DE SIMONI (COORDENAÇÃO)

SUMÁRIO EXECUTIVO

Pontos-chave

- A poluição atmosférica consiste em um problema de extrema relevância para o Brasil. A poluição é responsável por danos à saúde humana e ao meio ambiente. Trata-se de um complexo desafio que envolve áreas transversais em inúmeros setores da economia e com impactos maiores em parcelas mais vulneráveis da população, como crianças e idosos.
- Este estudo sistematiza e analisa o atual conhecimento sobre qualidade do ar no Brasil e aponta caminhos possíveis para o país avançar no controle da poluição atmosférica. O estudo evidencia um relevante acúmulo de produção técnica e científica na área de qualidade do ar, em especial na interface com a saúde, e também identifica lacunas relevantes em áreas, como economia e implementação de políticas públicas.
- Existem caminhos factíveis para a redução de emissão de poluentes atmosféricos, sendo que o controle de emissões oriundas especialmente de transporte, processos industriais e queimadas é essencial para o desenvolvimento socioeconômico e a mitigação das mudanças climáticas.
- O estudo aponta que o país já dispõe de um arcabouço legal que estrutura um sistema de gestão da qualidade do ar. Ainda assim, também existe a necessidade urgente de que esse arcabouço tenha mais segurança jurídica, preveja recursos, crie um cronograma claro e mandatário para a implementação das próximas fases dos padrões nacionais de qualidade do ar e gere incentivos claros para a implementação das ferramentas previstas nele.

SUMÁRIO

Sumário executivo.....	1
Introdução	3
Fontes de poluição do ar no Brasil.....	6
Transporte.....	6
Queimadas.....	7
Indústria e setor elétrico.....	8
Outras fontes	9
Os impactos da poluição do ar	9
Saúde.....	9
Custos econômicos.....	13
Mudanças climáticas.....	15
O controle da poluição do ar no Brasil	15
Arcabouço federal para a qualidade do ar.....	15
Medição e controle.....	17
Implementação.....	18
Considerações finais.....	21
Referências	22

Os documentos de trabalho (working papers) contém pesquisas, análises, descobertas e recomendações preliminares. Eles são divulgados para estimular discussões e comentários críticos, além de influenciar o debate sobre questões emergentes. A maioria dos documentos de trabalhos é eventualmente publicada de outra forma e seu conteúdo pode ser revisado.

De Simoni, W. et al. 2021. "O Estado da Qualidade do Ar no Brasil". Working Paper. São Paulo, Brasil: WRI Brasil. Disponível online em <https://wribrasil.org.br/pt/publicacoes>

Contexto

A poluição do ar é um grande desafio para cidades e estados em todo o Brasil, sendo responsável por mais de 51 mil mortes anuais, de acordo com relatório publicado pela Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS, 2018b).

Historicamente, o controle da poluição do ar é tratado como um tema limitado à área ambiental, mas avanços no conhecimento científico evidenciam que o desafio vai além e é transversal em áreas estratégicas para o desenvolvimento sustentável do país.

Novos estudos e políticas que tratam do assunto de forma mais ampla, abrangendo setores como economia, saúde e clima, são fundamentais para melhores entendimento e gestão da poluição do ar em todo o território brasileiro, tanto em áreas urbanas quanto rurais.

Os impactos da poluição do ar na saúde humana estão conectados com a incidência de mortes prematuras, doenças pulmonares, cardiovasculares, acidentes vasculares cerebrais, disposição ao câncer e ao diabetes, além de prejuízo do desenvolvimento cognitivo em crianças e demência em idosos. Esses impactos são bem estabelecidos dentro do conhecimento científico e afetam mais profundamente grupos vulneráveis, como crianças e idosos. O setor de saúde é notoriamente ausente de governança da qualidade do ar em nível nacional.

A poluição do ar afeta negativamente a economia brasileira devido à queda de produtividade de trabalhadores, a mortes prematuras, às limitações para a aquisição de habilidades cognitivas relevantes para educação e a perdas na produtividade agrícola.

Estima-se que os custos associados a mortes prematuras equivaleram, em 2015, a 3,3% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro (Roy e Braathen, 2017). Além disso, o ozônio troposférico é responsável por perdas consideráveis na produção agrícola, em especial em regiões periurbanas e naquelas afetadas por queimadas associadas a mudança de uso do solo.

Poluentes como o ozônio e o carbono negro contribuem tanto para a poluição do ar quanto para mudanças climáticas. Essa sobreposição de efeitos adversos aponta que ganhos no controle desses poluentes, conhecidos como poluentes climáticos de vida curta (PCVC), geram benefícios em termos de qualidade do ar, bem como para a mitigação das mudanças climáticas.

No setor de transporte, os modos rodoviários são os principais responsáveis pela poluição local, considerando o transporte de carga e de passageiros, por caminhões e automóveis. Para reduzir as emissões desse setor, são necessários avanços tecnológicos em veículos e combustíveis, assim como estratégias e políticas robustas de planejamento territorial e de logística, minorando a dependência sobre esses modos.

Os setores industrial e de transportes são importantes emissores de poluentes no país devido à queima de combustíveis fósseis.

O desenvolvimento industrial, acompanhado do crescimento urbano, causou um aumento das emissões associadas à queima de combustíveis fósseis e também biocombustíveis, que, por sua vez, aumentaram a poluição atmosférica em todas as escalas, local, regional e global, afetando a saúde da população.

As queimadas de vegetação e florestas são uma realidade em todas as regiões brasileiras. As queimadas prejudicam a saúde de populações, emitem gases de efeito estufa (GEE) e comprometem o desenvolvimento econômico.

Os biomas Amazônia, Pantanal e Cerrado são muito afetados pela mudança do uso do solo e pelas queimadas, mas essa realidade não está restrita a esses biomas. O desmatamento da Amazônia é a principal fonte de emissão de GEE no Brasil.

Observa-se um aumento recente no uso de lenha para cocção em residências. Seu emprego como combustível merece destaque, pois em 2018, 14 milhões de famílias usavam lenha ou carvão vegetal, um aumento de 3 milhões de residências em relação a 2016, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019).

O Brasil possui uma série de leis e normas que estabelecem a gestão da qualidade do ar e o controle da poluição, mas grande parte da base normativa que dá sustentação ao Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar (Pronar) é infralegal, pois consta apenas em resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama). Isso representa uma relevante fragilidade para a criação de uma política nacional de controle de poluição do ar que seja robusta, integrada e transparente e, também, para a segurança jurídica a quem a lei é dirigida (emissores).

Um sistema nacional de monitoramento ambiental e compartilhamento de dados é central para a gestão e implementação de políticas de qualidade do ar baseadas no estado da arte do conhecimento científico. O país ainda possui desafios importantes no desenvolvimento de um programa abrangente de monitoramento, inventários de poluentes e ainda modelagem e previsão de qualidade do ar. Existem novas ferramentas e tecnologias que devem ser implementadas para um avanço nessa direção, em especial na ciência de dados e no uso de sensoriamento remoto.

Há uma grande lacuna entre as responsabilidades estabelecidas pelo Pronar e a implementação de ferramentas em nível estadual. Embora o programa nacional exija dos entes federados/dos estados a implementação de uma série de ferramentas e políticas, estas não se traduzem em realidade. Esse é um desafio estrutural para a gestão da qualidade do ar no país e exige estudos mais aprofundados em relação a seus gargalos e modos de superá-los.

Espera-se que este estudo seja um passo importante no fortalecimento do ecossistema de pesquisas sobre qualidade do ar, assim como no aprofundamento de debates sobre políticas relativas a essa questão.

INTRODUÇÃO

A qualidade do ar que os brasileiros respiram e seu impacto no desenvolvimento social e econômico do país são temas pouco discutidos nos diferentes níveis da sociedade e timidamente estudados no Brasil. Este estudo tem como objetivo analisar e discutir o estado da arte do conhecimento sobre a temática da poluição do ar no Brasil, bem como o arcabouço legal existente para gerenciar a qualidade do ar e suas possíveis implicações no cotidiano da população. A finalidade esperada é servir como fonte de informação qualificada para avançar discussões sobre o tema no país, proporcionando a implementação de medidas e políticas públicas baseadas em ciência que contribuam para salvar vidas.

A qualidade do ar é uma medida do nível de poluentes atmosféricos à qual a população está exposta. A ciência, especialmente no campo da medicina, demonstra cada vez com maior precisão e especificidade os efeitos desses poluentes na saúde humana. Os padrões de qualidade do ar, que estabelecem um nível máximo recomendável da concentração de um poluente, são peças centrais na organização de políticas públicas e no controle da poluição nos locais onde são adotados. Com base no melhor conhecimento científico disponível, a Organização Mundial de Saúde (OMS) passou a sugerir padrões de qualidade do ar transnacionais em 1987 e globais em 2005 (WHO, 2006a), e tem desenvolvido estudos e relatórios de apoio a gestores públicos interessados em melhor entender e controlar os níveis de poluição em suas regiões (WHO, 2017).

No caso brasileiro, os parâmetros nacionais de qualidade do ar foram estabelecidos pelo Conama, em 1990 (Brasil, 1990), tendo por base a legislação norte-americana em vigor datada da década de 1980, embora padrões estaduais de qualidade do ar já pudessem ser estabelecidos desde antes, como no caso de São Paulo que teve início em 1976 (São Paulo, 1976). Ainda que esses padrões de qualidade sejam o suporte de qualquer programa de controle de poluição de ar, são igualmente importantes as políticas e ferramentas que o transformarão em realidade. Portanto, é necessário um olhar tanto para a ambição dos padrões de qualidade do ar existentes quanto para a qualidade e implementação de políticas de melhorias desses padrões.

A poluição do ar é considerada a maior causa ambiental de doenças e mortes prematuras no mundo. Segundo levantamento da OMS (2016), mais de 90% da população mundial não respira ar de qualidade aceitável e está exposta a riscos diários, resultando em cerca de 11,6% de todas as mortes contabilizadas no mundo, o equivalente a 7 milhões de mortes anuais, das quais 600 mil são crianças. Esses números são 15 vezes maiores que o número de mortes causadas por guerras e outras formas de violência (Landrigan *et al.*, 2018; WHO, 2018a).

Este estudo está estruturado em cinco seções. Esta primeira introduz a temática da qualidade do ar e expõe os objetivos do trabalho. A segunda seção explora o conceito de poluição do ar e discute as principais fontes no Brasil. Em seguida, os principais impactos da qualidade do ar na vida dos brasileiros são analisados.

A quarta se propõe a caracterizar e analisar o arcabouço federal de políticas públicas, dedicando especial atenção à disponibilidade de dados sobre qualidade do ar e implementação dessas políticas. Por fim, nas considerações finais são apresentadas recomendações de oportunidades para o avanço de políticas de qualidade do ar no Brasil.

As análises do estudo foram realizadas a partir de uma revisão de literatura ampla de documentos nacionais, buscando priorizar, quando possível e disponíveis, dados primários, peças legislativas e bases de dados abertas. Em casos em que não havia estudos e fontes brasileiras, foram utilizados dados a partir de estudos internacionais como forma de ressaltar o conhecimento fora do Brasil, chamando atenção, também, para áreas específicas que ainda carecem de estudos no país.

Tabela 1 | Padrões brasileiros de qualidade do ar

POLUENTE ATMOSFÉRICO	PERÍODO DE REFERÊNCIA	PI-1 MG/M ³	PI-2 MG/M ³	PI-3 MG/M ³	PF MG/M ³	PPM
Material Particulado - MP10	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Material Particulado - MP2,5	24 horas	60	50	37	25	-
	Anual ¹	20	17	15	10	-
Dióxido de Enxofre - SO ₂	24 horas	125	50	30	20	-
	Anual ¹	40	30	20	-	-
Dióxido de Nitrogênio - NO ₂	1 hora ²	260	240	220	200	-
	Anual ¹	60	50	45	40	-
Ozônio - O ₃	8 horas ³	140	130	120	100	-
Fumaça	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Monóxido de Carbono - CO	8 horas ³					9
Partículas Totais em Suspensão - PTS	24 horas	-	-	-	240	-
	Anual ⁴	-	-	-	80	-
Chumbo - Pb ⁵	Anual ¹	-	-	-	0,5	-

¹ Média aritmética anual

² Média horária

³ Máxima média móvel obtida no dia

⁴ Média geométrica anual

⁵ Medido nas partículas totais em suspensão

Fonte: Brasil, 2018.

Box 1 | O que é a poluição do ar?

A atmosfera tem na sua composição natural principalmente nitrogênio (78%), oxigênio (21%), argônio, vapor de água e outros gases com menores concentrações, como ozônio, metano, óxidos de nitrogênio e óxidos de enxofre. Entre esses gases, temos os que estão associados com a manutenção da temperatura de equilíbrio da Terra, os chamados gases de efeito estufa (GEE), como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), ozônio (O_3), vapor de água e outros.

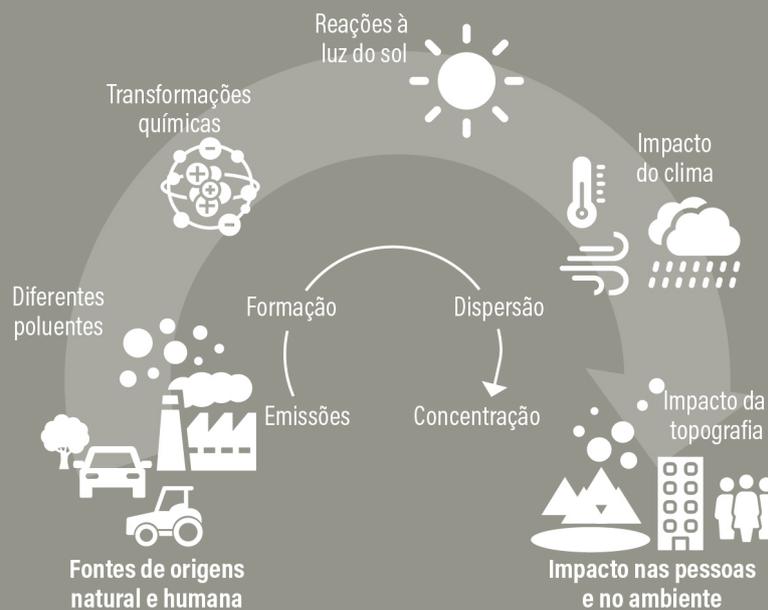
Assim pode-se considerar a atmosfera como uma mistura de compostos que ao longo de milhões de anos atingiu um equilíbrio que é essencial para a existência da vida no planeta. Pode-se dizer que nossa atmosfera é a interface entre nossa fonte de energia (o Sol) e a vida no nosso planeta (Ynoue *et al.*, 2014).

O comportamento dos poluentes na atmosfera é dependente não somente da emissão, mas também da química atmosférica, dispersão, meteorologia e topografia da região, assim como apresentado na Figura 1. Os poluentes são classificados como primários (aqueles emitidos diretamente na atmosfera a partir das fontes) e secundários (quando formados na atmosfera a partir de seus precursores)

(Seinfeld e Pandis, 2006). O melhor exemplo de poluente secundário é o ozônio troposférico, resultado da reação entre óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis (COV) na presença de radiação solar. De forma similar, o material particulado fino (MP2,5) também é na sua maior parte formado a partir de reações entre compostos orgânicos e inorgânicos (Pöschl e Shiraiwa, 2015).

Diferentes processos geram poluentes, tais como combustão, processos evaporativos, ressuspensão de partículas, desgaste de materiais. Os processos de queima de diversos materiais geram grandes quantidades de poluentes, incluindo os GEE. No processo da queima, há a emissão de dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), compostos orgânicos voláteis (COV), óxidos de nitrogênio (NO_x) e muitos outros compostos, como o material particulado inalável (MP10), o inalável fino (MP2,5) e o carbono negro (partículas compostas de carbono elementar oriundas de processos de queima). O material particulado é categorizado a partir do diâmetro de suas partículas, sendo o MP10 menor que 10 micrômetros e, da mesma maneira, o MP2,5 menor do que 2,5 micrômetros. (Donaldson *et al.*, 2001).

Figura 1 | Ciclo de poluentes – das fontes ao impacto no meio ambiente



Fonte: European Environmental Agency.

Além do impacto à saúde humana, são exemplos de efeitos danosos da poluição do ar ao meio ambiente a ação do ozônio na redução da produtividade agrícola, a ocorrência de chuva ácida e a acidificação de lagos e rios pela deposição de sulfato e nitrato, entre outros inúmeros desfechos. Não deixando de mencionar os efeitos no clima que serão explorados mais adiante (MMA, 2020).

A legislação brasileira estabelece que o ar está poluído quando os gases ou partículas estão presentes em concentrações (definidas como a massa de um poluente por volume de ar) que podem acarretar impactos negativos a saúde humana, fauna,

flora e materiais, e estabelece limites para os valores máximos de diferentes poluentes (Resolução Conama nº 491). A Tabela 1 reflete os atuais padrões em vigência no país para cada poluente, estabelecidos de modo a serem implementados em sequência (PI-1, PI-2 e PI-3), cada um mais restritivo que o anterior, até alcançar o padrão final (PF). Porém, embora o PI-1 tenha se iniciado em 2018, as outras fases ainda não tinham data definida até a publicação deste estudo. Isso cria uma insegurança em relação ao alcance desses padrões da OMS e não sinaliza para atores-chave, em especial os poluidores, que há uma necessidade real e previsível de adequação aos mesmos.

FONTES DE POLUIÇÃO DO AR NO BRASIL

A maior fonte de emissão de poluentes e de GEE no mundo é a queima de combustíveis fósseis líquidos (gasolina, diesel, óleo combustível) e sólidos (carvão e resíduos). Veículos têm obedecido limites mais restritivos de emissões de poluentes, mas ainda são as principais fontes em áreas urbanas, embora emissões por processos industriais também sejam relevantes em inúmeras áreas urbanas (IAP, 2020).

Mesmo que o Brasil não disponha de inventários nacionais completos e atualizados das emissões de poluentes atmosféricos pelas diferentes fontes, estimativas de iniciativas como a Emission Database for Global Atmospheric Research (Edgar) (European Commission, 2019) apontam que as principais fontes são o setor de transporte, os processos industriais e a queima de biomassa.

Transporte

O setor de transporte é uma importante fonte de poluentes urbanos, do qual 90% das emissões de gases poluentes e de dióxido de carbono são oriundos da queima de combustíveis de veículos do modal rodoviário (Corrêa, 2010). Vale ressaltar que, segundo Carvalho (2011), nos grandes centros urbanos brasileiros, o transporte individual responde por cerca de 57% das emissões de dióxido de carbono, o transporte público coletivo, por 27% das emissões, enquanto veículos pesados para transporte de carga, por 12%. Poluentes são emitidos pelos setores aéreo, marítimo, hidroviário e rodoviário por meio da queima de combustíveis, em especial combustíveis fósseis, mas também biocombustíveis.

As emissões do setor de transporte rodoviário estão relacionadas à sua fonte energética, tecnologias de controle de poluição embarcadas, condições operacionais, participação de diferentes modais de transporte, tamanho da frota, entre outros fatores. Em relação à fonte energética, combustíveis fósseis como óleo diesel e gasolina ainda representam respectivamente cerca de 43% e 27% do consumo do modo rodoviário (EPE, 2020). Porém, é relevante ressaltar que biocombustíveis também geram poluentes atmosféricos (Guariero *et al.*, 2011), embora sua queima produza diferentes poluentes e, portanto, provocam impactos distintos na qualidade do ar.

Os veículos movidos a diesel, principalmente caminhões e ônibus, emitem óxidos de nitrogênio

(NO_x) e material particulado (MP) por combustão, representando respectivamente 91% e 96% do total emitido pelo transporte rodoviário em 2012 (MMA, 2014). Já os combustíveis como gasolina e etanol estão mais relacionados à emissão do monóxido de carbono (CO), dos hidrocarbonetos não metano (NMHC) e dos aldeídos (RCHO), representando respectivamente 86%, 78% e 98% do total desses gases emitidos pelo transporte rodoviário em 2012 (MMA, 2014).

Vale destacar o uso do transporte rodoviário como principal meio de deslocamento urbano, em 2018, responsável por cerca de 63% dos deslocamentos em cidades com mais de 1 milhão de habitantes (ANTP, 2020). Já o modal rodoviário por meio de caminhões foi amplamente utilizado para a circulação de carga no país e, em 2015, representava 65% dessa movimentação (EPL, 2018). Nos últimos dez anos, o setor de transporte apresentou a maior taxa média de crescimento de demanda por energia, tornando-se, a partir de 2018, seu principal consumidor (EPE, 2019, 2020; SEEG, 2018)

O consumo elevado não deve ser atribuído somente à representatividade no total de viagens realizadas, mas também à ineficiência no uso da energia. Toma-se como exemplo os automóveis, que apesar de representarem apenas 25% do total de viagens no país, consomem 60% do total de energia destinada à mobilidade urbana (ANTP, 2020). O mesmo se aplica ao transporte de carga, no qual o consumo de combustível para transportar uma tonelada de carga por caminhão é 2,7 vezes maior do que o consumo por trem (Roitman e Silva, 2018).

Adicionalmente, além das emissões geradas pelo processo de combustão, outra importante fonte de poluição do ar do transporte rodoviário é a ressuspensão do material depositado nas vias. Chamado de material particulado por desgaste, esse poluente é proveniente do desgaste de pneus, freios e pavimentos. Carvalho (2011) aponta que, por ser mais pesado, o material particulado (seja proveniente da combustão ou do desgaste) costuma se concentrar nas imediações da via.

A tecnologia do material rodante, a organização do tráfego urbano, o ordenamento do uso do solo e a política de transporte são alguns dos fatores determinantes na emissão de poluentes do transporte rodoviário (Cetesb, 2020a). Nesse sentido, estratégias de controle de emissões do setor devem abranger políticas que promovam modais mais eficientes e de menor impacto, o uso de combustíveis mais limpos e tecnologias veiculares mais eficientes.

Por fim, as emissões de poluentes do transporte aéreo incluídas no inventário nacional são aquelas provenientes da movimentação das aeronaves. Ainda que parte das emissões desse modal ocorram na fase de voo de cruzeiro, essas não possuem impacto relevante na qualidade do ar devido às emissões ocorrerem em altas altitudes (ANAC, 2019). Um estudo de caso conduzido por Braga e Albuquerque (2015), no Aeroporto Internacional de Salvador, analisou as emissões de diferentes tipos de aeronaves e aponta que os poluentes emitidos em maiores quantidades foram NO_x , CO , SO_2 e compostos voláteis orgânicos não metânicos (CVONM).

Queimadas

As queimadas e os incêndios florestais compõem a principal fonte de emissão de poluentes atmosféricos nas regiões do Brasil central e na Amazônia. A queima de biomassa decorrente das áreas desmatadas e do manejo de pastos, além de liberarem GEE, liberam também grandes quantidades de material particulado. Esse material particulado atua como núcleo de condensação de nuvens alterando a física das mesmas e influenciando as chuvas (Oliveira *et al.*, 2007). Portanto, a fumaça liberada pelas queimadas impacta diretamente o ciclo hidrológico, pois aumenta a disponibilidade de partículas na atmosfera que interferem na formação de gotículas de chuva, de modo que elas demoram para atingir seu tamanho ideal e precipitam como chuva, gerando um ciclo vicioso entre queimadas e secas (Lixia *et al.*, 2020; Artaxo *et al.*, 2013; Nepstad *et al.*, 2001).

Esse material particulado também se movimenta seguindo as correntes de ar que atuam na Amazônia, as mesmas que levam a umidade da região para o Centro-Oeste, Sul e Sudeste, conhecidas como rios voadores. Sendo assim, a fumaça das queimadas não somente polui a zona rural e as principais cidades da Amazônia, como também afeta o clima e a qualidade do ar em cidades de outras regiões do país. Os níveis de poluição do ar gerados pelas queimadas na região amazônica chegam a atingir valores de MP_{10} de 500 microgramas por metro cúbico, o que representa cerca de 25 vezes mais poluição do que a média normal da região (20 microgramas por metro cúbico) e de duas a três vezes o nível de concentração de material particulado encontrado na cidade de São Paulo quando em estado de alerta (150 microgramas metro cúbico) (HRW *et al.*, 2020).

Em agosto de 2019, quando foi registrado um dos maiores picos no número de focos de calor (relevante indicador de queimadas) no mês desde 2010, cerca

de 3 milhões a 4,5 milhões de pessoas foram expostas ao material particulado fino gerado pelas queimadas além dos limites estabelecidos como nocivos para a saúde (HRW *et al.*, 2020). Esse material particulado tem sido um dos principais causadores de doenças do aparelho respiratório que ocorrem no período de seca na Amazônia (Machado-Silva *et al.*, 2020). De acordo com Human Rights Watch *et al.* (2020), de julho a outubro de 2019, foram mais de 2 mil internações por doenças respiratórias diretamente relacionadas às queimadas, sendo que os mais afetados foram bebês e pessoas com mais de 60 anos, respondendo por 21% e 49% do total de internações, respectivamente. Importante ressaltar que esses números refletem apenas uma parte do problema, visto que a maioria das pessoas no interior da Amazônia não chega ao hospital devido à distância e às deficiências dos serviços de saúde, mesmo nas grandes cidades da região.

Box 2 | Queimadas na Amazônia

O fogo foi utilizado globalmente ao longo de milênios como técnica agrícola e agente de transformação da paisagem. Além de ser um elemento necessário aos ecossistemas dependentes ou adaptados ecologicamente a ele para seu processo de evolução (por exemplo, o bioma Cerrado), ele também é amplamente utilizado como técnica de manejo por produtores rurais, indígenas e populações tradicionais (Nepstad *et al.*, 2001; Shlisky *et al.*, 2009). No Brasil, a atividade de fogo medida pelos focos de calor que representam fogo ativo tem atingido principalmente os biomas Amazônia, com a média de cerca de 48% desses focos nos últimos cinco anos, seguido pelo Cerrado, com 34% no mesmo período (Inpe, 2020).

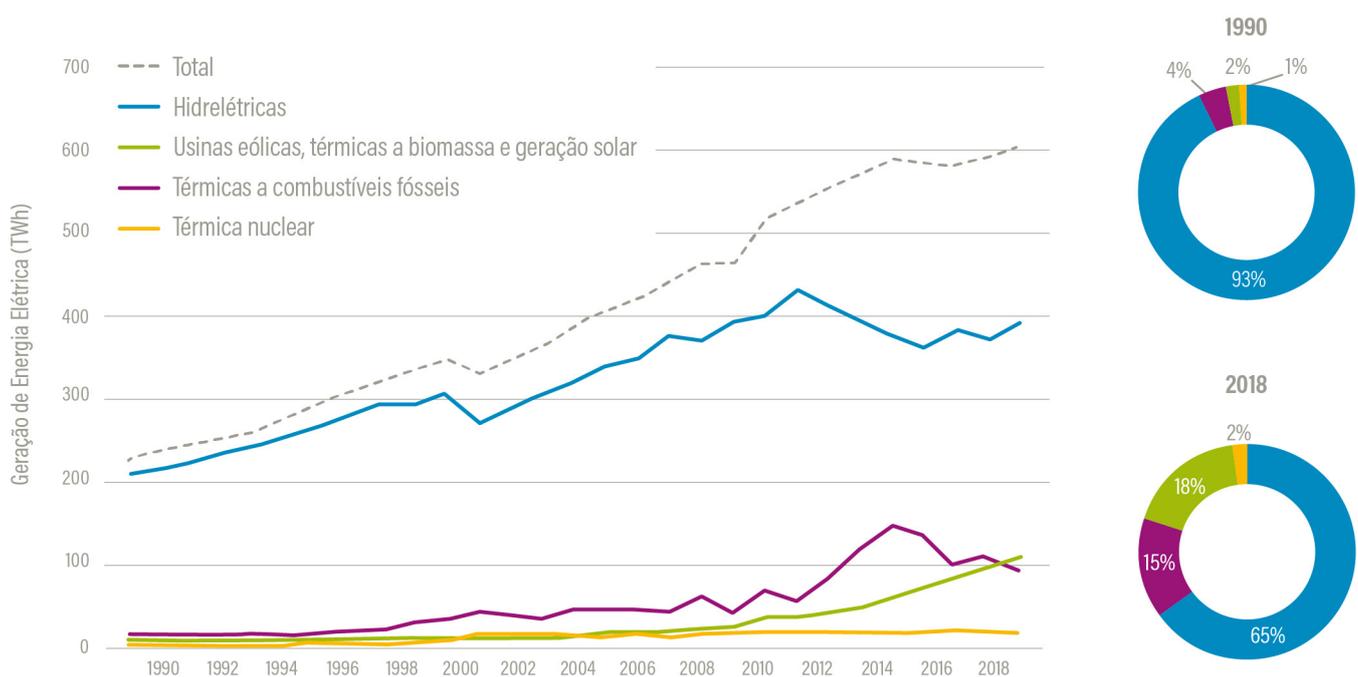
Apesar de a Amazônia responder por quase metade dos focos de incêndios detectados pelos satélites, ela não deveria queimar por motivos naturais, pois é composta por uma floresta úmida chuvosa, não adaptada ao fogo (Shlisky *et al.*, 2009; Morgan *et al.*, 2019). De fato, o fogo natural nas florestas da Amazônia é um fenômeno raro (Alencar *et al.*, 2015). Isso indica que o fogo que ocorre na região é antropogênico e pode ser classificado em três tipos: (1) queimadas diretamente ligadas ao ato do desmatamento, (2) queimadas decorrentes da limpeza de pastagens e áreas agrícolas para o seu reaproveitamento e (3) o fogo que escapa dos dois primeiros e invade a floresta adjacente (Alencar *et al.*, 2020). Barlow *et al.* (2019) classificam os tipos 1 e 2 como intencionais e o tipo 3 como accidental.

Indústria e setor elétrico

A poluição atmosférica resultante das atividades produtivas do setor industrial e da produção de energia por meio da queima de combustível fóssil e biomassa (usinas termelétricas) são decorrentes de fontes estacionárias ou fixas. As fontes fixas de emissão podem ser definidas como “qualquer instalação, equipamento ou processo, situado em local fixo, que libere ou emita matéria para a atmosfera, por emissão pontual ou

fugitiva” (Brasil, 2006, p. 2). De maneira geral, as emissões de poluentes dessas fontes são provenientes dos processos de fabricação e transformação dos produtos, da queima de combustíveis para a produção de energia ou mesmo da movimentação de materiais. A geração de energia por meio da queima de combustíveis fósseis cresceu no país nas últimas décadas, como exposto na Figura 2 (SEEG, 2019), e se caracteriza por ser uma fonte potencial de emissão de poluentes.

Figura 2 | Geração de energia elétrica segundo diferentes fontes e tecnologias



Fonte: Adaptado de Relatório de Análises das Emissões Brasileiras de GEE 1970-2018 (SEEG, 2019).

A regulação para as fontes fixas de emissão (tratada em profundidade na seção 4 deste trabalho) está fundamentada na Resolução Conama nº 005/1989, que instituiu o Pronar e estabeleceu que sua estratégia básica é “limitar, a nível nacional, as emissões por tipologia de fontes e poluentes prioritários, reservando o uso dos padrões de qualidade do ar como ação complementar de controle” (Brasil, 1989). Porém, é importante ressaltar que, para o setor industrial, o controle preventivo das emissões atmosféricas é realizado por meio do licenciamento ambiental, tendo como instrumentos básicos os limites de emissão e as informações sobre a qualidade do ar na região. Os

instrumentos de controle corretivos correspondem ao acompanhamento das licenças ambientais que, na maioria das vezes, têm como condicionante o monitoramento contínuo ou periódico das emissões atmosféricas. Em 2011, o Conama estabeleceu limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para diferentes atividades industriais¹.

Os aglomerados industriais em áreas suburbanas de grandes metrópoles são comuns no país. Na maioria dos casos, caracterizam-se por atividades produtivas anteriores à legislação ambiental e, durante muitos anos, não estiveram sob o poder fiscalizatório de um órgão

1. Processos de geração de calor pela combustão externa (foros e caldeiras) de óleo combustível, gás natural, bagaço de cana-de-açúcar e derivados de madeira; turbinas para geração de energia elétrica; processos de refino de petróleo, de fabricação de papel e celulose, de fusão secundária de chumbo; indústria de alumínio primário; fornos de fusão de vidro; indústria de cimento Portland; produção de fertilizantes e ácidos fosfórico, sulfúrico e nítrico; indústrias siderúrgicas integradas e usinas de pelotização de minério de ferro.

ambiental. A regulação ambiental surgiu posteriormente à implantação desses polos industriais. Há situações em que a obsolescência tecnológica demanda a troca efetiva de equipamentos para se obter reduções significativas de emissões. Também, é fato que tais atividades industriais, nos primórdios, tenderam a se instalar predominantemente em regiões mais afastadas de núcleos populacionais (Cavalcanti, 2010). Entretanto, o crescimento desordenado da malha urbana aproximou populações dessas áreas, expondo-as a sérios riscos (Cavalcanti, 2010). Somente o estado de São Paulo possui legislação específica para redução de emissões, condicionando a expansão de indústrias de alto potencial poluidor em regiões industriais, de acordo com variados níveis de comprometimento da qualidade do ar.

Outras fontes

COMBUSTÍVEIS SÓLIDOS E POLUIÇÃO INTERNA

Em nível global, a queima de combustíveis sólidos para a preparação de alimentos responde por uma contribuição importante de emissão de partículas, em especial de carbono negro e de compostos gasosos em ambientes internos que intensificam a exposição aos mesmos. Segundo a OMS, cerca de 3 bilhões de pessoas usam fogões a querosene, biomassa (incluindo madeira, resíduos de animais e de vegetação) e carvão (WHO, 2006b).

No Brasil, houve uma diminuição do uso de gás para preparação de alimentos em função do aumento da pobreza no período entre 2015 e 2019 e, por conseguinte, o aumento do uso de diferentes produtos para substituir o gás, como madeira, resíduos de poda de plantas, lixo e outros produtos (Gioda *et al.*, 2019). Um agravante é que esse uso de combustíveis ineficientes na queima gera muitos poluentes e atinge mais notadamente mulheres, crianças e idosos, que passam mais tempo em casa (WHO, 2014).

Dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) estimam que cerca de 24,4% da energia residencial provém do uso de lenha (EPE, 2017). Dados do IBGE mostram um aumento considerável dessa prática: em 2018, foram 14 milhões de famílias que usavam lenha ou carvão vegetal para cozinhar, um aumento de 3 milhões em relação a 2016 (IBGE, 2019).

EMISSIONES EVAPORATIVAS

Atualmente a emissão de COV por processos evaporativos é maior do que pela exaustão de veículos. O inventário de emissões veiculares disponibilizado

pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb) considera que a evaporação de COV ocorre por consequência da exposição ao sol com o veículo frio, devido ao aquecimento do motor após o uso, e das emissões evaporativas durante o funcionamento dos veículos (Cetesb, 2019).

Grandes emissões evaporativas também ocorrem durante o abastecimento do veículo, quando vapores de combustível do interior do tanque são liberados para o ambiente. Para se ter uma ideia da importância dos processos de evaporação, no Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, 40% dos hidrocarbonetos emitidos do total de emissão são provenientes dos processos evaporativos (MMA, 2011).

Esses compostos oriundos dos processos evaporativos são importantes na formação do ozônio e de outros poluentes secundários, tal como o aerossol orgânico secundário, que representa uma fração significativa do material particulado fino. Em São Paulo, entre 40% e 60% do MP_{2,5} é formado por material carbonáceo particulado (Andrade *et al.*, 2017).

OS IMPACTOS DA POLUIÇÃO DO AR

Saúde

A primeira série de estudos experimentais, epidemiológicos e clínicos que constituíram a base do conhecimento acerca dos efeitos adversos dos poluentes atmosféricos para a saúde humana datam das décadas de 1980 e 1990 (Schimmel, 1978; Böhm *et al.*, 1983, 1989; Saldiva *et al.*, 1985, 1995; Massad *et al.*, 1985; Dockery *et al.*, 1989).

Vale ressaltar o papel do Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo que, desde 1979, desenvolve estudos sobre poluição atmosférica e saúde (André *et al.*, 2000).

O vasto conhecimento produzido culminou na publicação do Guia de Qualidade do Ar pela OMS (WHO, 2006a), que trouxe à tona os principais conceitos sobre os efeitos da poluição do ar na saúde e estabeleceu os limites de segurança de exposição aos poluentes tóxicos para a maior parte da população, que subsidiou os padrões de qualidade do ar sugeridos pela organização.

Figura 3 | **Exposição humana a um poluente tóxico**



Fonte: WHO (2006a) modificado pelo Instituto Saúde e Sustentabilidade.

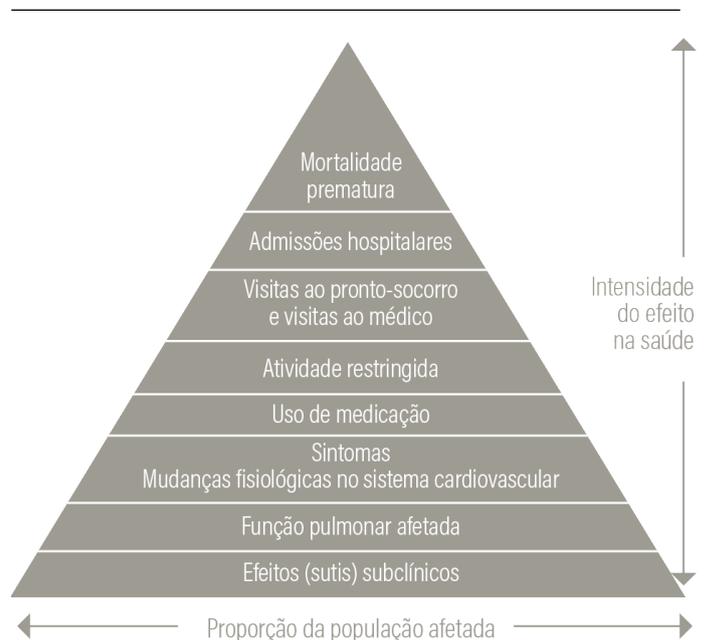
EFEITOS DA POLUIÇÃO DO AR EM SAÚDE

A exposição humana a um poluente tóxico pode ser definida segundo a Figura 3. Efeitos subclínicos ou ausência de sintomas podem ocorrer na maioria das pessoas expostas, tal qual as afecções do trato respiratório superior tratadas em consultórios médicos. Tais incidências são maiores do que a dos desfechos mais graves, sendo que a mortalidade ocorre apenas em alguns casos (Figura 4).

O potencial de um poluente para afetar a saúde humana é determinado tanto pelo grau de exposição quanto por sua toxicidade. Segundo a OMS e a OPAS, as principais associações que afetam o maior número de pessoas são: doenças pulmonares (mais de 50% dos casos de pneumonia em crianças); doenças cardiovasculares e acidentes vasculares cerebrais; disposição ao câncer e ao diabetes; prejuízo do desenvolvimento cognitivo em crianças e demência em idosos (WHO, 2018a, 2018b; OPAS, 2018a, 2018b). O material particulado e o ar tóxico entraram para o rol de substâncias carcinogênicas associadas ao câncer de pulmão e bexiga (Pope, 2002; IARC, 2013; Hamra *et al.*, 2014). A má qualidade do ar pode prejudicar a saúde por toda a vida – antes mesmo do nascimento (Veras *et al.*, 2010). Tais incidências são maiores do que as de desfechos mais graves, sendo que a mortalidade ocorre apenas em alguns casos (Figura 4).

O risco de se adquirir doenças também é determinado pela suscetibilidade e vulnerabilidade do indivíduo. Os fatores que afetam a vulnerabilidade individual incluem idade, gênero, raça, níveis educacionais e socioeconômicos, *status* nutricional, uso de medicação, acesso aos serviços de saúde, localização e tipo de moradia, combustíveis usados para cozinhar e ocupação. Outro grupo de fatores que favorecem doenças relacionadas à qualidade do ar são biológicos, como suscetibilidade genética e doenças pré-existentes (Gouveia e Fletcher, 2000a; WHO, 2006b);

Figura 4 | **Pirâmide dos efeitos em saúde associados com a poluição do ar**



Fonte: Adaptado de WHO (2006b).

Pope e Dockery, 2006; Benmarhnia *et al.*, 2014; Tessum *et al.*, 2019).

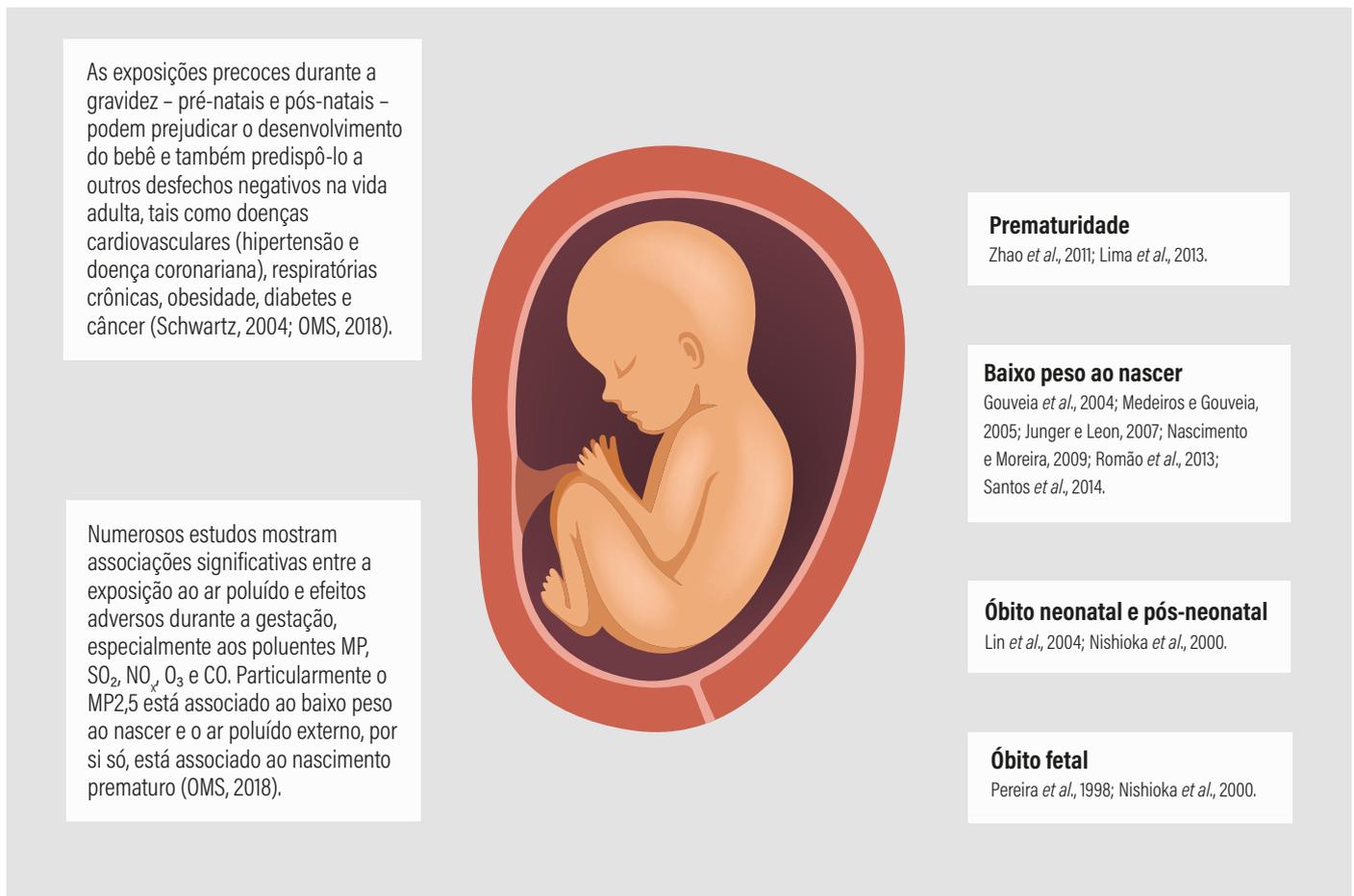
Populações particularmente sensíveis à poluição atmosférica incluem bebês ainda no útero (Veras *et al.*, 2010), crianças (Schwartz, 2004) idosos (Bell *et al.*, 2013) e pessoas com doenças crônicas pré-existentes, como asma, doenças cardíacas, pulmonares e diabetes, especialmente se pertencerem à população de baixa renda (Martins, 2004; Tonne *et al.*, 2008; Academy of Science of South Africa *et al.*, 2019).

Ademais, embora ainda vista com cautela (Villeneuve e Goldberg, 2020), a pandemia de Covid-19 tem mostrado

a delicada relação entre a vida no planeta e a poluição de ar. Um estudo revela que em cidades com maior concentração de poluentes, a exposição a longo prazo (mais de 15 anos) acarretou o aumento de até 15% da

taxa de mortalidade por Covid-19 (Wu *et al.*, 2020). As Figuras 5 e 6 a seguir destacam alguns dos efeitos sobre a saúde de fetos e crianças, respectivamente, com ênfase em estudos brasileiros.

Figura 5 | **Efeitos da poluição do ar na saúde do feto**



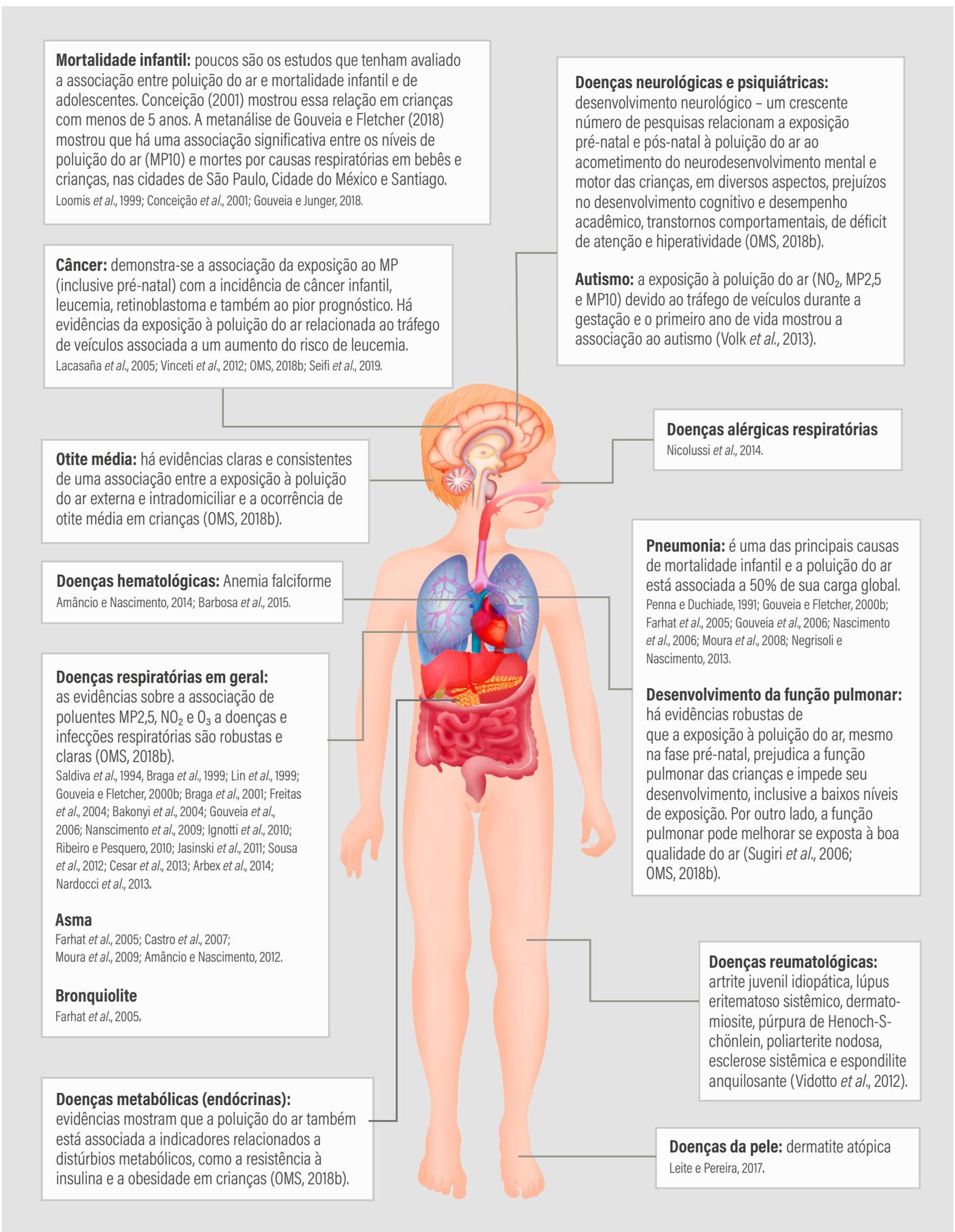
Fonte: elaborada pelos autores.

Box 3 | **Efeitos da poluição do ar na saúde da criança**

Por que as crianças são mais sensíveis aos efeitos da poluição do ar? Quando nascem, as crianças não têm seus sistemas respiratório, neurológico e imunológico (que responde por sua defesa) desenvolvidos, o que ocorrerá ao longo do crescimento e desenvolvimento. Além disso, as crianças estão mais expostas ao ar poluído do que os adultos, brincam e ficam ao ar livre, estão mais próximas do chão onde se acumulam mais poluentes e, no caso da poluição domiciliar, passam mais tempo em suas casas, fatores que contribuem para uma dose maior de exposição (Schwartz, 2004).

Curiosidades: o pulmão estará desenvolvido por completo aos seis anos. O número de alvéolos no pulmão humano aumenta de 24 milhões, ao nascer, para 257 milhões aos quatro anos, e o epitélio pulmonar não está totalmente desenvolvido. Isso levará à maior permeabilidade da camada epitelial e entrada de poluentes nos pulmões de crianças pequenas. As crianças também têm um pulmão maior em área de superfície por quilograma de peso corporal do que adultos e, sob respiração normal, respiram 50% mais ar por quilograma de peso corporal (Schwartz, 2004).

Figura 6 | Efeitos da poluição do ar na saúde da criança



Fonte: elaborada pelos autores.

A REALIDADE BRASILEIRA

Em 2018, a OPAS divulgou que a poluição do ar é responsável, anualmente, por 51 mil mortes no Brasil (OPAS, 2018b), número muito superior às 32.121 mortes no trânsito que aconteceram no mesmo ano, de acordo com a base de dados do Ministério da Saúde, o DataSUS (Ministério da Saúde, 2019). O Instituto Saúde e Sustentabilidade mostrou impacto semelhante em seis regiões metropolitanas brasileiras (onde vivem 23% da população do país) e concluiu que serão contabilizadas, de 2018 até 2025, cerca de 128 mil mortes precoces, que representarão um custo de R\$ 51,5 bilhões em perda de produtividade. Haverá ainda 69 mil internações públicas a um custo de R\$ 126,9 milhões para o Sistema Único de Saúde (SUS) (ISS, 2019a). Nenhum desses estudos considera os efeitos da pandemia de Covid-19 em 2020.

Uma série de estudos nacionais aponta os impactos em saúde por diferentes tipologias de fontes de emissões, tais como: queima de combustíveis fósseis para geração de energia no transporte (André *et al.*, 2009; Vormittag *et al.*, 2018; ISS, 2019b); processos industriais (Spektor *et al.*, 1991; Braga *et al.*, 2007); atividades agrossilvopastoris associadas a queimadas, incêndios florestais e movimentação do solo (Arbex *et al.*, 2014; Cançado *et al.*, 2006), além de queimadas nas regiões Norte e Centro-Oeste (Reddington *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2016; Alves, 2020), revelando um acúmulo de conhecimento e evidências suficientes para embasar ações de controle da poluição e gestão da qualidade do ar.

Custos econômicos

Além dos custos inerentes aos cuidados com saúde e mortalidade prematura, a morbidade decorrente da poluição também traz custos ao mercado de trabalho e perda de produtividade agrícola. Ainda, gera efeitos sobre a aquisição de habilidades educacionais com importantes custos econômicos. Em seguida, o estudo apresenta um panorama da literatura sobre custos econômicos da poluição atmosférica e evidências recentes por tipo de custo.

SAÚDE

Existem estudos que estimam os custos econômicos da poluição do ar para o Brasil. Rocha *et al.* (2019) apresentam distintas estimativas para a relação entre valor estatístico da vida (VSL) e PIB per capita, em que o VSL denota o valor que a sociedade ou cada indivíduo estaria disposto a pagar para reduzir o risco estatístico de mortalidade (Andersson e Treich, 2011). De acordo com o referido estudo, os valores

oscilam significativamente entre 69 e 911 vezes a renda per capita do Brasil. Mesmo a estimativa mais modesta implica custos importantes associados a morte prematura decorrente de poluição. Roy e Braathen (2017) estimam os custos associados a mortes prematuras em diversos países. Para o Brasil, os autores calculam que esses custos equivaleram a 3,3% do PIB em 2015.

He, Gouveia e Salvo (2019) ilustram a partir de um contexto específico, urbano, a relevância dessas estimativas. O referido estudo aponta os efeitos da redução da circulação de caminhões em São Paulo e, portanto, da menor queima de óleo diesel e emissão de NO_x . Embora não calculem o custo econômico associado à intervenção, os autores mostram que a redução da circulação causou uma diminuição substancial da ordem de 8% a 9% nas internações e mortes hospitalares por condições cardiovasculares e respiratórias. No contexto rural, incêndios e queima de biomassa também são importantes fontes de poluição atmosférica (Barcellos *et al.*, 2009; Ignotti *et al.*, 2010; do Carmo *et al.*, 2010, de Oliveira *et al.*, 2018) com relevantes efeitos na saúde da população, em particular crianças (Jacobson *et al.*, 2014). Sant'Anna e Rocha (2020), por exemplo, avaliam que a poluição do ar relacionada a queimadas e desmatamentos implicou custo para o SUS da ordem de US\$ 1,5 milhão, com cerca de 2 mil internações hospitalares em excesso em 2019.

MERCADO DE TRABALHO

Ao afetar a saúde, a poluição atmosférica também traz efeitos importantes sobre o mercado de trabalho através da perda de produtividade por morbidade. No Brasil, não foram encontrados estudos que demonstrem esses efeitos diretos, mas há evidências para outros países em desenvolvimento, em especial de estudos de caso que buscam estimar o impacto de variações em níveis de poluição do ar sobre participação no mercado de trabalho e produtividade.

Por exemplo, Hanna e Oliva (2015) analisam os efeitos do fechamento de uma refinaria na Cidade do México, em 1991, sobre a produtividade no trabalho. De acordo com as autoras, a redução de cerca de 20% na poluição, mensurada em SO_2 , acarretou um ganho equivalente a US\$ 126 ao ano para cada trabalhador que vivia perto da refinaria. Esse ganho na produtividade decorreu da redução em problemas de saúde por parte dos trabalhadores, resultando em menor absenteísmo. No agregado, isso gerou um ganho econômico de aproximadamente US\$ 112 milhões apenas no primeiro ano após o encerramento das operações da refinaria.

Já Graff Zivin e Neidell (2013) identificam um impacto negativo de 4,2% na produtividade no trabalho, medida pela quantidade de frutas colhidas por hora em regiões agrícolas dos EUA, para aumentos de 10 partes por bilhão nos níveis de ozônio. Os autores calculam que tornar o padrão regulatório de ozônio mais restritivo em 10 partes por bilhão acarretaria uma redução de US\$ 700 milhões ao ano no custo do trabalho nos EUA. Há evidências de que, mesmo em atividades *indoor*, a poluição do ar tem efeitos sobre a produtividade no trabalho. Chang *et al.* (2016) analisam como o material particulado fino (MP_{2,5}), capaz de entrar em ambientes internos, leva a perdas significativas de produtividade mesmo em níveis abaixo dos padrões da agência ambiental americana (EPA). Os autores estimam que a redução de material particulado observado nos EUA, entre 1999 e 2008, acarretou benefícios da ordem de US\$ 20 bilhões.

EDUCAÇÃO

Os efeitos da poluição do ar sobre a saúde das pessoas, em especial de crianças, são considerados amplamente documentados na literatura (Graff Zivin e Neidell, 2013). Esses efeitos podem se estender no tempo, de modo a prejudicar a aprendizagem. Evidências empíricas recentes indicam que a exposição a poluentes desde o útero até a primeira infância tem efeitos deletérios sobre a formação de capital humano (Bharadwaj *et al.*, 2017).

No entanto, não foram identificados na literatura estudos sobre a relação entre poluição do ar e educação no Brasil. A literatura internacional baseada em variações exógenas de poluição e seus efeitos sobre resultados educacionais vem se expandindo. Ebenstein *et al.* (2016) avaliam o impacto da exposição a material particulado sobre o Bagrut, prova utilizada para admissão nas universidades em Israel, no período de 2000 a 2002. Os autores analisam os efeitos da concentração de material particulado no dia exato da prova, explorando variação geográfica e impactos ao longo do tempo. Os resultados apontam que a exposição a níveis altos do poluente no dia do exame faz com que o desempenho dos estudantes diminua. Além disso, como o resultado do Bagrut é fundamental para a escolha do curso pretendido (equivalente ao Enem/Sisu no Brasil),

a exposição à poluição tem efeitos de longo prazo, visto que as decisões sobre curso/universidade afetam os salários que esses estudantes obterão no futuro. Esses efeitos chegam a 1% do salário mensal, mesmo quando medidos dez anos depois do exame de entrada na universidade.

Bharadwaj *et al.* (2017) analisam o impacto da exposição a monóxido de carbono (CO) durante o período fetal sobre o desempenho das crianças, quando crescidas, em provas de línguas e matemática na quarta série, em Santiago, no Chile. Os resultados apontam que um aumento do desvio padrão na exposição a esse poluente durante o terceiro trimestre de gravidez ocasiona reduções significativas em notas nessas provas. Consistente com os resultados para o Chile, Zhang, Chen e Zhang (2018) estudam o impacto de poluição sobre aprendizado na China. Os resultados indicam que a exposição de longo prazo à poluição ocasiona desempenhos piores em testes, sobretudo para alunos mais velhos, homens e com menor nível de instrução.

CUSTOS ECONÔMICOS NA AGRICULTURA

A poluição do ar também causa perda da produtividade agrícola (Bulbovas *et al.*, 2007; Pacifico *et al.*, 2015). Altas concentrações, sobretudo de ozônio, podem afetar a produção agrícola em virtude de seu alto poder oxidativo (Cetesb, 2020b). Por exemplo, Rodrigues e Martins (2001) analisam problemas causados pela poluição por O₃ sobre as atividades agropecuárias no Brasil e apresentam estimativas de perdas entre 15% e 62% na produtividade da soja, quando a concentração de ozônio fica, respectivamente, entre 65 e 100 partes por bilhão. Os mesmos autores revisam estimativas de custos associados a exposição ao ozônio nas culturas norte-americanas. Os valores oscilam em torno de US\$ 3 bilhões de perdas anuais. Considerando que a formação de ozônio troposférico guarda relação com a queima de combustíveis fósseis e biocombustíveis (UCAR, 2020), a fonte desse tipo de poluente é prioritariamente urbana, embora ele tenha grande alcance espacial, podendo ser encontrado em locais distantes da emissão de seus precursores. Assim, a agricultura periurbana tende a sofrer mais com a poluição do ar (Agrawal *et al.*, 2003), o que traz importantes impactos sobre segurança alimentar das populações locais que dependem dessa produção (Carneiro *et al.*, 2019).

Mudanças climáticas

Existe uma sobreposição importante entre a emissão de poluentes urbanos e as mudanças climáticas (Hacon *et al.*, 2017; Barcellos *et al.*, 2009). Esse encontro se dá em duas frentes: a primeira, em razão de que alguns poluentes também contribuem para as mudanças climáticas, os chamados poluentes climáticos de vida curta (PCVC), e a segunda, em razão de que inúmeras fontes são emissoras de poluentes, assim como poluentes climáticos, em especial dióxido de carbono, uma importante sinergia para a implementação de políticas que buscam alcançar objetivos climáticos juntamente com a melhoria da qualidade do ar de forma eficiente (Artaxo, 2014).

Os PCVC são definidos como gases e partículas que possuem uma vida relativamente curta na atmosfera, de alguns dias a uma década (Boucher *et al.*, 2013; Jia *et al.*, 2019; IPCC, 2018a). Dessa forma, grande parte dos PCVC diferenciam-se de outros gases de efeito estufa que podem permanecer na atmosfera centenas, se não milhares de anos, como é o caso do dióxido de carbono, entre outros (IPCC, 2018b). Os principais PCVC são o carbono negro, o metano e os precursores de ozônio troposférico (como o monóxido de carbono e os COV), além de hidrocarbonetos (CCAC, 2019; Jia *et al.*, 2019). Juntos e depois do CO₂, eles representam os principais contribuintes para as mudanças climáticas (Boucher *et al.*, 2013). O carbono negro tem um papel muito importante no balanço climático atmosférico por absorver a radiação solar de onda curta (PBMC, 2014).

Um levantamento feito pelo Climate and Clean Air Coalition (CCAC) mostrou que o Brasil é o maior emissor de precursores de ozônio da América Latina e que, até a data de sua publicação, não havia publicado dados oficiais sobre emissões de carbono negro e tampouco exigia a inclusão de PCVC em seus inventários industriais (CCAC, 2019). Existe uma necessidade de avanço na compilação de dados dessas fontes para que políticas públicas baseadas em ciência possam ser aplicadas no controle da emissão desses poluentes.

O CONTROLE DA POLUIÇÃO DO AR NO BRASIL

No Brasil, o primeiro documento legal que reconheceu explicitamente uma ligação entre poluição do ar e danos aos indivíduos se deu na arbitragem de disputas civis, codificada na Lei das Contravenções Penais, de 1941 (Brasil, 1941). No artigo 38, define-se como contravenção passível de punição a “emissão de fumaça, vapor ou gás que possa ofender ou molestar alguém”. A poluição ainda não era um problema de caráter coletivo e ambiental, mas sim uma disputa entre partes envolvidas.

A Cetesb, órgão de referência em gestão de qualidade do ar no país, relata que a piora na qualidade do ar passou a ser frequentemente notada pela população nas décadas de 1960 e 1970 (Cetesb, 2020c). A consciência de que o problema da poluição era um problema coletivo a ser regulado e prevenido pelo poder público e não mais apenas uma questão de disputa civil, e sim um problema coletivo a ser regulado e prevenido pelo poder público, levou à criação da Comissão Intermunicipal de Controle da Poluição das Águas e do Ar (CICPAA), em 1960, cobrindo quatro municípios no estado de São Paulo. Foi a CICPAA que realizou as primeiras medições oficiais da qualidade do ar em 1965, com financiamento da OMS (Philippi, 1987; Andrade *et al.*, 2017). Em 1973, a Cetesb foi criada para gerir a poluição das águas no estado de São Paulo, que mais tarde, em 1975, unificou também toda a política de qualidade do ar, sobrepondo-se à CICPAA.

Um marco na discussão nacional sobre os reais impactos da poluição do ar foi o caso da repercussão global do município de Cubatão, no estado de São Paulo, nos anos 1980, considerado o mais poluído do mundo pela revista *Popular Science*. Entre os impactos, foram comprovados a chuva ácida e os danos à fauna e flora (Cetesb, 2018). Esse evento transformou Cubatão em um alerta de como a má gestão da poluição pode trazer impactos profundos para uma região, seguindo outros exemplos globais, como o episódio do *smog* em Londres, em 1952 (Seroa da Mota e Mendes, 1995; da Motta, 1995).

Arcabouço federal para a qualidade do ar

No Brasil, o arcabouço jurídico que disciplina a proteção da qualidade do ar encontra-se disperso em diferentes dispositivos normativos legais e infralegais. Assim como outros elementos que conformam o meio ambiente sadio, a qualidade do ar guarda proteção constitucional, notadamente no artigo 225, que a coloca, ainda que implicitamente, como direito fundamental indispensável à sadia qualidade de vida.

A principal ferramenta que permite o controle ambiental no país é a Lei Federal nº 6.938/1981, que institui a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) (Brasil, 1981). Essa lei traz as diretrizes gerais de suporte às principais medidas de gestão da qualidade do ar, das quais destacam-se:

- Monitoramento da qualidade do ar: implícito na lei como instrumento de acompanhamento da qualidade ambiental pelo estado – uma das diretrizes da PNMA (art. 2º, VII);
- Padrões de qualidade do ar: são qualificados como objetivos (art. 4º, III) e como instrumentos da PNMA (art. 9º, I);
- Controle de fontes de emissão: tido como diretriz da PNMA (art. 2º, V), o controle de atividades potencial ou efetivamente poluidoras é instrumentalizado por meio da exigência de licenciamento ambiental e de revisão dessas atividades (art. 9º, IV);
- Desenvolvimento tecnológico-científico: os incentivos ao estudo e à pesquisa direcionados ao uso racional dos recursos ambientais são colocados como diretriz (art. 2º, VI) e objetivo da PNMA (art. 4º, IV, V); e
- Informação ambiental: é colocada sob as perspectivas do direito ao acesso à informação e da obrigação de sistematização e divulgação (art. 4º, V e art. 9º, VII, X, XI).

Adicionalmente à PNMA, pode-se destacar outras normas que, direta ou indiretamente, afetam a gestão da qualidade do ar devido à sua característica interdisciplinar, assim como ressaltado na seção 3:

- Zoneamento industrial, disciplinado pela Lei nº 6.803/1980 (Brasil, 1980) e pelo Decreto-lei nº 1.413/1975 (Brasil, 1975) que adotam critérios de nível de emissões atmosféricas de poluentes para classificação de zonas industriais;
- Crimes de poluição, definidos tanto na Lei das Contravenções Penais (como, por exemplo, o art. 38) (Brasil, 1941) e no Código Penal (art. 252) (Brasil, 1940) quanto na Lei de Crimes Ambientais (Brasil, 1998);
- Lei nº 8.080/1990, que dispõe sobre a promoção, proteção e recuperação da saúde e sobre a organização do SUS (Brasil, 1990b);
- Política energética nacional, regulamentada na Lei nº 9.478/1997 (Brasil, 1997); e
- Estatuto da Cidade, regulamentado na Lei nº 10.257/2001 (Brasil, 2001).

É no nível infralegal que se identifica uma tentativa explícita de construção das bases para uma política nacional de proteção da qualidade do ar por meio da

Resolução do Conama nº 005/1989, que estabeleceu o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (Pronar) (Brasil, 1989).

PRONAR

O Pronar foi criado com o objetivo de “permitir o desenvolvimento econômico e social do país de forma ambientalmente segura, pela limitação dos níveis de emissão de poluentes por fontes de poluição atmosférica, com vistas à melhora da qualidade do ar, ao atendimento dos padrões estabelecidos e ao não comprometimento da qualidade do ar nas áreas consideradas não degradadas” (Brasil, 1989).

Para cumprir esse objetivo, o Pronar estabeleceu como instrumentos: a definição de limites de níveis de emissão de poluentes por fontes de poluição atmosférica; a adoção dos padrões de qualidade do ar; os elementos para uma política de zoneamento do território conforme classes de deterioração da qualidade do ar; o monitoramento da qualidade do ar e o inventário nacional de emissões atmosféricas. A Resolução Conama nº 005/1989 (Brasil, 1989) também trouxe para o Pronar o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (Proconve), criado em 1986 (Brasil, 1986).

Apesar de trazer em si as sementes para uma política nacional de qualidade do ar, o Pronar possui um nível relevante de fragilidade jurídica, já que a base legal que o sustenta é infralegal. A realidade da implantação de seus instrumentos mostra falhas importantes de efetividade. Entre elas, dificuldades de atualização periódica dos padrões nacionais de qualidade do ar, as carências financeiras e de recursos humanos para a sustentação de uma rede nacional de monitoramento e a ausência de um abrangente inventário nacional de emissões.

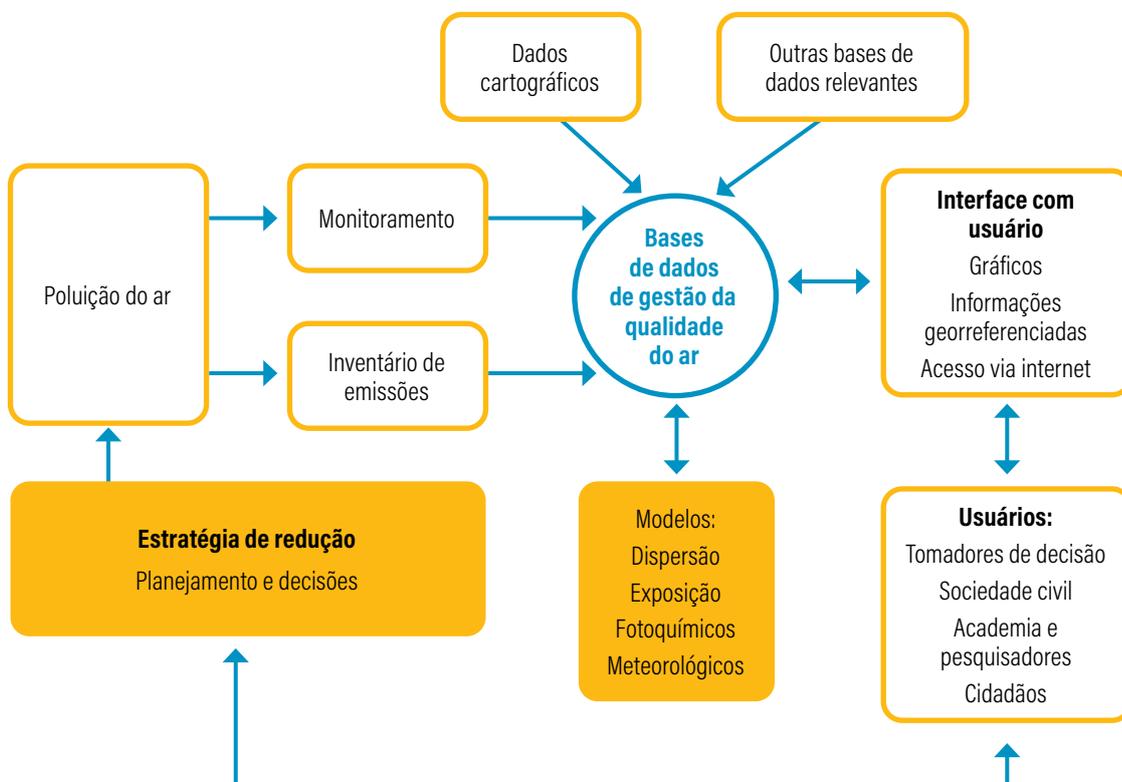
Parte dessas fragilidades se encontram na distribuição das competências em relação à gestão da qualidade do ar. Como é regra na área ambiental, a competência legislativa é concorrente entre a União e os estados, ou seja, à União cabe estabelecer o regramento geral básico, podendo os estados definir regras próprias, desde que mais protetivas à qualidade do ar do que as normas nacionais. A lógica da competência concorrente é permitir que as normas de proteção da qualidade do ar se adaptem às especificidades regionais.

Aos municípios, cabe o estabelecimento de normas de interesse eminentemente local, mas sem responsabilização explícita no Pronar, embora esses sejam responsáveis por políticas relevantes que afetam a qualidade do ar. Pode-se citar, por exemplo, as normas de

desenvolvimento urbano, como arborização, zoneamento territorial e estruturação do sistema de transporte. A ausência dos municípios no arcabouço federal, assim como a responsabilidade e o controle quase exclusivo de secretarias e ministério do meio ambiente sobre o tema indicam um desafio de governança para que políticas possam ser mais eficazes. Não foram encontrados estudos que analisem os desafios por trás da governança da qualidade do ar no país.

Já as competências administrativas são comuns aos três entes federativos, estruturando-se a partir do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama) (Brasil, 1981). Em tese, a estruturação do Sisnama pressuporia uma sistemática coordenada de gestão, mas, na prática, tem levado a sobreposições e, principalmente, a lacunas e vazios na gestão.

Figura 7 | Esquema demonstrativo de sistema de dados e qualidade do ar



Fonte: Adaptado de Norwegian Institute for Air Research (2001).

Medição e controle

Dados e suas análises servem de insumo para diferentes momentos de um sistema de gestão de qualidade do ar, desde sua formulação até sua avaliação e adequação. Sistemas de gestão da qualidade do ar têm desenhos diferentes ao redor do mundo, mas compartilham a mesma estrutura básica, assim como na Figura 7 (Gulia *et al.*, 2015).

Esse sistema permite que um gestor defina padrões de emissões para fontes específicas, assim como padrões gerais para regiões e se essas fontes e regiões estão

alcançando os padrões de qualidade do ar determinados por lei. Ele também permite avaliar a implementação de políticas e utilizar dados para readequá-las se necessário.

Entretanto, a manutenção e o desenvolvimento dessa estrutura de dados requerem que recursos de implementação e manutenção sejam utilizados de forma eficaz e estratégica, o que demanda um reconhecimento e priorização da temática dentro do planejamento público. Existem custos para a manutenção de redes de monitoramento e a necessidade de mão de obra técnica capacitada para operacionalizá-la e processar e analisar seus dados.

Inventários: podem ser definidos como uma lista do tipo e concentração de poluentes de diferentes fontes, entrando no ar em um determinado intervalo de tempo, em um recorte geográfico definido (Seika *et al.*, 1996). As metodologias utilizadas no Brasil para a criação de inventários normalmente seguem a metodologia desenvolvida e recomendada pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA) (Porto, 2010).

Modelagem: modelos de poluição do ar correlacionam informações sobre a emissão de poluentes com fatores de dispersão e processos químicos, determinando a variação temporal e espacial dos poluentes. A modelagem pode ser definida como uma ferramenta numérica que descreve uma relação causal entre emissões, meteorologia, concentrações atmosféricas, deposição e outros fatores que afetam a dinâmica de dispersão e concentração de poluentes em determinado espaço geográfico (Daly e Zannetti, 2007). Os tipos de modelos disponíveis são inúmeros, sofisticados e vêm sendo aprimorados para o uso de técnicas modernas de ciência de dados (Amorim, 2019) e de modelagem numérica da atmosfera (Vara-Vela *et al.*, 2016).

Monitoramento: previsto no Pronar como uma das principais ferramentas na gestão da qualidade do ar, a criação de um sistema de monitoramento prevê o uso de dispositivos para medição repetitiva, discreta ou contínua, ou a observação sistemática da qualidade do ar como recurso (ABNT, 1987). Esses dispositivos podem ser de diferentes naturezas, que vão de monitores estáticos em grandes estações a monitoramento por satélite, compondo o sensoriamento remoto (Réquia Júnior, 2015). Eles permitem um conhecimento contínuo sobre a concentração de poluentes em determinada região, propiciando o desenvolvimento de políticas públicas apropriadas, avaliação de intervenções existentes, calibração de modelos, ações de emergência durante picos de poluição, avaliação de impactos da concentração de poluição nos ecossistemas naturais e na saúde da população local, entre outros (Iema, 2014; Santi *et al.*, 2000).

Previsão: a previsão da qualidade do ar é uma forma específica de modelagem que permite estimar com alguma antecedência a concentração de poluentes esperada para os próximos dias. Utilizando ferramentas cada vez mais complexas, instituições têm sido mais bem sucedidas na elaboração de previsões que possibilitam a criação de gatilhos para políticas públicas específicas que protejam a saúde da população afetada (Bai *et al.*, 2018). Essa previsão pode ser realizada com métodos estatísticos, por exemplo, redes neurais ou modelos de transporte químico (Andrade *et al.*, 2015).

Por outro lado, existem novas ferramentas sendo aplicadas no Brasil e no mundo que podem contribuir para um sistema de dados de qualidade do ar mais eficaz, comum a todo território nacional e que reduza os custos de operação para o setor público. Entre essas novas tecnologias destacam-se: sensoriamento remoto por satélites; sensores móveis e de baixo custo (cujo uso é recomendado com cuidado para que a ciência que conecta dados com qualidade do ar seja sólida, uma vez que existem inúmeros modelos, níveis de incerteza e formas de uso e que não substituem um sistema de monitoramento tradicional (Lung *et al.*, 2018); técnicas de aprendizado de máquina (*machine learning*), inteligência artificial e o uso de megadados (*big data*) como potenciais ferramentas de gestão da qualidade do ar (Amorim, 2019; Nandini e Fathima, 2019; Du *et al.*, 2019; Ghasemi e Amanollahi, 2019); além de uso de redes neurais artificiais para o preenchimento de falhas em coletas de dados (Depiné *et al.*, 2014) ou reconstrução de séries históricas (Lucio *et al.*, 2006). O uso de ferramentas de dados abertos é central para esses avanços (Carslaw e Ropkins, 2012).

Todas essas ferramentas compõem um sistema complexo de gestão de dados de qualidade do ar que é indispensável para o entendimento científico da questão, calibração e priorização de políticas públicas e comunicação com a população. A transparência de dados e direito à informação por parte da população é fundamental nessa construção de políticas públicas (Machado, 2009).

Implementação

Não existem estudos sobre a implementação das ferramentas e políticas federais de qualidade do ar no Brasil. A implementação das políticas nacionais pode ser analisada por duas perspectivas distintas: 1) implementação de ferramentas delineadas nos principais programas e políticas ou 2) uma verificação da qualidade do ar no território brasileiro e sua adequação aos padrões de qualidade do ar determinados pelo Conama. A primeira perspectiva enfoca a implementação da ferramenta e não o resultado ou impacto que é desejado (Hill e Huppe, 2003). Ela oferece uma lente de análise para governança, capacidades estatais e instrumentos específicos (Gomide e Pires, 2014; Souza, 2016). A segunda enfoca o impacto desejado de todo o Pronar, mas limita as possibilidades de análise de políticas específicas e abre espaço para impactos de políticas locais.

A última atualização oficial do Ministério do Meio Ambiente sobre a implementação das ferramentas de gestão da qualidade do ar foi feita em 2009. O resumo se encontra na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 | Estágio de implementação de ferramentas de gestão de qualidade do ar

	NORTE							CENTRO-OESTE				NORDESTE							SUL			SUDESTE						
	PA	TO	AP	AM	RR	RO	AC	MT	MS	GO	DF	BA	SE	AL	PE	PB	RN	CE	PI	MA	RS	SC	PR	SP	MG	ES	RJ	
Institucional																												
Cooperações interinstitucionais																												
Legislação																												
Para gestão																												
Para aplicação de penalidades																												
Para implantar o Pronar																												
Gestão																												
Planos e programas																												
Cooperação internacional/financiamentos																												
Padrões de qualidade e limites de emissão																												
Padrões mais restritivos que o Conama																												
Limites mais restritivos que os nacionais																												
Monitoramento																												
Programa																												
Equipe técnica própria																												
Feito por terceiros																												
Exigência de licenciamento																												
Áreas críticas de poluição do ar																												
Enquadramento em áreas críticas																												
Plano de emergência																												
Fontes naturais																												
Inventário de emissões																												
Banco de dados sobre fontes																												
Elaboração de inventários																												
Controle e fiscalização																												
Interface, licenciamento e monitoramento																												
Amostragem de chaminés																												
Acompanhamento dos programas do EIA*																												
Sistema de informações																												
Banco informatizado																												
Validação de dados do monitoramento																												
Aplicação de modelos de dispersão																												
Comunicação de dados de qualidade do ar																												
Incorporação de dados da rede privada																												

■ Sim
■ Previsto
■ Não
■ Parcialmente implantado ou em andamento
■ Sem Informação

*Estudo de impacto ambiental
Fonte: MMA, 2009.

Evidencia-se uma grande lacuna entre o que é previsto pelo Pronar e o que existe em termos de gestão nos estados brasileiros, mostrando um significativo problema de implementação de ferramentas. É clara a existência de maior presença desses instrumentos de gestão na região Sudeste, mas as informações públicas disponíveis dificultam uma análise mais profunda sobre as razões dessas assimetrias e, por conseguinte, caminhos para saná-las.

Especificamente um programa alvo de análises de implementação é o Proconve. O governo federal instituiu a Comissão de Acompanhamento e Avaliação (CAP) do Proconve – Resolução Conama nº 414/2009 (Brasil, 2009) – para acompanhar a execução dos requerimentos e estabelecer medidas a fim de garantir o cumprimento do programa. A CAP possui pautas disponíveis no site do MMA, referentes ao período entre 2009 e 2017, as quais contêm aspectos descritivos, mas não analíticos, sobre o andamento das ações previstas pelo programa (Brasil, 2009). Não foram encontradas evidências do funcionamento efetivo da CAP desde 2018.

Avaliações independentes feitas pela academia ou por institutos de pesquisa focam na insuficiência do Proconve como ferramenta de redução de emissão

por veículos rodoviários (Szwarcfiter, 2004; Mendes, 2004; Abe e Miraglia, 2018). As postergações de fases do programa também são um empecilho para a efetiva melhora da qualidade do ar do Brasil, algo reconhecido pelo próprio Ministério do Meio Ambiente em seu último relatório público que contém um resumo do Proconve até então (MMA, 2013). Avaliações detalhadas sobre a efetivação de suas ferramentas como programas de inspeção e manutenção não foram encontradas.

Por fim, o Brasil não dispõe de um inventário nacional completo de poluentes locais. O 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários foi elaborado em 2011 (MMA, 2011) e o 2º, em 2014 (MMA, 2014). O Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas do Transporte Ferroviário de Cargas foi realizado em 2012 (ANTT, 2012) e o Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas da Aviação Civil, em 2019 (ANAC, 2019). Apenas 1,7% dos municípios brasileiros apresenta cobertura de monitoramento de qualidade do ar (ISS, 2019). Porém, estudo realizado pelo Instituto de Energia e Meio Ambiente (Iema) sugere que concentrações de MP10, MP2,5, ozônio troposférico, importantes poluentes com relevante impacto na saúde humana, têm superado os padrões vigentes no país, assim como os padrões internacionais e as recomendações da OMS (IEMA, 2014).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A temática da poluição do ar é de grande importância para a sociedade brasileira devido aos seus potenciais impactos sociais, econômicos e ambientais. Ela ganha complexidade a partir de sinergias e sobreposições com grandes desafios contemporâneos da política pública brasileira, como a melhoria da saúde pública, o desenvolvimento econômico sustentável, a redução de queimadas e a mitigação das mudanças climáticas.

O Brasil possui um arcabouço legal relevante na área ambiental, embora haja fragilidades que precisam ser sanadas. Os padrões de qualidade do ar estabelecidos pelo Conama não são atendidos na maioria das grandes cidades brasileiras, e não existem penalidades se a legislação não é cumprida pelos órgãos competentes. Uma importante fragilidade é a ausência de dados que permitam uma análise mais profunda do nível de implementação dessas políticas, assim como dos impactos alcançados por elas. Outra fragilidade é o arcabouço jurídico existente, que na prática não configura uma política de qualidade do ar robusta e abrangente, com brechas jurídicas e incertezas que afetam sua eficácia.

Os benefícios econômicos e sobre a saúde promovidos pela redução da poluição do ar são grandes. Medidas como a adoção de transporte com baixas emissões nas grandes cidades trazem benefícios secundários à economia urbana. Os cobenefícios da redução de emissão de GEE, em particular os PCVC, são significativos e aumentam a competitividade econômica do país. A demora em executar políticas consistentes já custa vidas e produtividade, além de atrasos no campo da educação e aprofundamento de desigualdades.

Baseado nas evidências elencadas neste estudo, algumas prioridades são destacadas para o avanço das políticas de melhoria da qualidade do ar no Brasil. Essas prioridades passam por avanços políticos e científicos e devem acontecer de forma simultânea para fortalecer esse importante nexos que embasa os avanços no tema. O caminho para alcançar essas prioridades deve ser construído pelo amplo ecossistema de formulação e implementação de políticas públicas, e os autores deste estudo se disponibilizam para participar desse processo.

Essas prioridades são:

1. Criar uma política nacional sistêmica de qualidade do ar garantida por lei;
2. Definir um cronograma claro para a execução das próximas fases dos padrões nacionais de qualidade do ar, assim como punições explícitas para o não cumprimento das mesmas;
3. Criar políticas e incentivos que busquem reduzir as assimetrias regionais na gestão de qualidade do ar no país, como o aprimoramento técnico das equipes dos órgãos estaduais de meio ambiente;
4. Fortalecer a ciência de dados por trás das políticas de qualidade do ar, principalmente pela ampliação e pelo aperfeiçoamento do sistema de monitoramento atmosférico nacional, priorizando áreas críticas e uso de novas tecnologias;
5. Alinhar, de forma estratégica, as políticas nacionais de controle de poluentes atmosféricos e de redução de emissões de GEE;
6. Fortalecer sinergias e compatibilização entre políticas de qualidade do ar e políticas estruturantes de planejamento urbano, como o plano diretor e os planos de mobilidade urbana;
7. Promover pesquisas sobre a economia da qualidade do ar e a análise de implementação de políticas públicas, incluindo desafios de governança;
8. Promover pesquisas sobre a interface entre a qualidade do ar e a desigualdade socioeconômica no Brasil;
9. Desenvolver políticas regionais e nacionais para gestão de queimadas e prevenção aos riscos à saúde; e
10. Incluir de forma mais equitativa representantes da sociedade civil e do setor de saúde na governança da qualidade do ar, com poderes de decisão e participação plena equivalentes aos representantes do meio ambiente.

Este documento busca contribuir com um novo ciclo de debates e ações sobre a melhoria da qualidade do ar e seus avanços no Brasil. Como aqui exposto, existe ampla base de conhecimento científico para nortear e assistir essa discussão. Existem lideranças acadêmicas e pesquisadores brasileiros que podem participar de forma a qualificar esse debate, somando a lideranças políticas e de diversas áreas da sociedade civil organizada atuantes no tema e que podem apoiar a construção de políticas públicas relevantes e implementáveis.

REFERÊNCIAS

- Abe, K.C., e S.G.E.K. Miraglia. 2018. Avaliação de Impacto à Saúde do Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores no Município de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais** (Online), nº 47 (março): 61-73. doi: 10.5327/Z2176-947820180310.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). 1987. **ABNT NBR 9896: Poluição das águas - Terminologia**. <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=79417>
- Academy of Science of South Africa; Brazilian Academy of Sciences; German National Academy of Sciences Leopoldina; U. S. National Academy of Medicine; U. S. National Academy of Sciences. Air Pollution and Health. 2019. **A Science-Policy Initiative. Ann Glob Health. 85(1):140. Published 2019 Dec 16. DOI:** <http://doi.org/10.5334/aogh.2656>
- Agrawal, M., B. Singh, M. Rajput, F. Marshall, e J. N. B. Bell. 2003. Effect of Air Pollution on Peri-Urban Agriculture: A Case Study. **Environmental Pollution**, v. 126, n. 3, p. 323-329.
- Alencar, A. A., P. M., Asner, G. P., & Putz, F. E. 2015. Landscape fragmentation, severe drought, and the new Amazon forest fire regime. **Ecological Applications**, 25, 1493-1505. <https://doi.org/10.1890/14-1528.1>
- Alencar, A., P. Moutinho, V. Arruda, e D. Silvério. 2020. **Amazônia em chamas - O fogo e o desmatamento em 2019 e o que vem em 2020**. Nota técnica nº3. Brasília: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, 2020. <https://ipam.org.br/bibliotecas/amazonia-em-chamas-3-o-fogo-e-o-desmatamento-em-2019-e-o-que-vem-em-2020>.
- Alves, L. 2019. Surge of respiratory illnesses in children due to fires in Brazil's Amazon region. **The Lancet Respiratory Medicine**, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 21-22. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s2213-2600\(19\)30410-2](http://dx.doi.org/10.1016/s2213-2600(19)30410-2)
- Amâncio, C. T.; Nascimento, L. F. C. 2012. Asma e poluentes ambientais: um estudo de séries temporais. **Revista da Associação Médica Brasileira**, [S.L.], v. 58, n. 3, p. 302-307, maio 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-42302012000300009>
- Amancio, C. T., e L. F. Nascimento. 2014. Poluição ambiental e mortes por acidente vascular cerebral em uma cidade com baixos níveis de poluição do ar: estudo de séries temporais ecológicas. **São Paulo Med. J.** vol.132, n.6 [citado em 2021-01-15], pp.353-358. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-31802014000600353&lng=en&nrm=iso
- Amorim, W.N. de. 2019. **Ciência de dados, poluição do ar e saúde**. Doutorado em Estatística, São Paulo: Universidade de São Paulo. doi: 10.11606/T.45.2019.tde-30052019-145057.
- Anac (Agência Nacional de Aviação Civil). 2019. **Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas da Aviação Civil - 2019 - Ano base 2018**. https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/meio-ambiente/arquivos/inventario-nacional-de-emissoes_v6.pdf.
- Andersson, H., N. Treich. 2011. The Value of a Statistical Life. pp. 396-424. In: de Palma, A., R. Lindsey, E. Quinet and R. Vickerman (eds.) **Handbook in Transport Economics**. Edward Elgar, Cheltenham, UK. https://www.tse-fr.eu/sites/default/files/medias/doc/by/andersson/andersson_treich_handbook_vsl_chapter_2011.pdf
- Andrade, M. F., Kumar, P. Freitas, E. D., Ynoue, R. Y., Martins, J., Martins, L. D., Nogueira, T., Perez-Martinez, P., Miranda, R. M., Albuquerque, T., Gonçalves, F. L. T., Oyama, B., Zhang, Y. 2017. Air Quality in the Megacity of São Paulo: Evolution over the Last 30 Years and Future Perspectives. **Atmospheric Environment** 159 (junho): 66-82. doi:10.1016/j.atmosenv.2017.03.051.
- Andrade, M.F.; Ynoue R. Y.; Freitas E. D.; Todesco E.; Vara-Vela A.; Ibarra S.; Martins L. D.; Martins J. A.; Carvalho V. S. B. 2015. Air quality forecasting system for Southeastern Brazil. **Frontiers in Environmental Science**, Vol. 3, DOI: 10.3389/fenvs.2015.00009.
- Andre, P. A., M. M. Veras, S. G. K. Miraglia, e P. H. N. Saldiva. 2012. Lean diesel technology and human health: a case study in six Brazilian metropolitan regions. **Clinics** [online], vol.67, n.6, pp.639-646. ISSN 1807-5932. [https://doi.org/10.6061/clinics/2012\(06\)15](https://doi.org/10.6061/clinics/2012(06)15).
- ANTP (Associação Nacional de Transportes Públicos). 2020. **Sistema de Informações da Mobilidade Urbana da Associação Nacional de Transportes Público - SIMOB/ANTP**.
- ANTT (Agência Nacional de Transportes Terrestres). 2012. **Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas do Transporte Ferroviário de Cargas**.
- Arbex, M.A.; Pereira, L.A.; Carvalho-Oliveira, R.; Saldiva, P.H.; Braga, A.L. 2014. The effect of air pollution on pneumonia-related emergency department visits in a region of extensive sugar cane plantations: a 30-month time-series study. **J Epidemiol Community Health**. 68(7):669-674. DOI: 10.1136/jech-2013-203709.
- Artaxo, P., L. V. Rizzo, J. F. Brito, H. M. J. Barbosa, A. Arana, E. T. Sena, G. G. Cirino, W. Bastos, S. T. Martin, M. O. Andreae. 2013. **Atmospheric aerosols in Amazonia and land use change: from natural biogenic to biomass burning conditions**. Faraday Discussions, DOI: 10.1039/C3FD00052D, <http://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2013/fd/c3fd00052d>, 2013.
- Artaxo, P., Mudanças climáticas e o Brasil. **Revista USP**, número 103, p.8-12, 2014.
- Bai, L., J. Wang, X. Ma, e H. Lu. 2018. Air Pollution Forecasts: An Overview. **International Journal of Environmental Research and Public Health**. 15 (4): 780. doi:10.3390/ijerph15040780.
- Bakonyi, S. M. C., I. M. Danni-Oliveira, L. C. Martins, e A. L. F. Braga. 2004. Poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba, PR. **Revista de Saúde Pública**, [S.L.], v. 38, n. 5, p. 695-700, out. 2004. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0034-89102004000500012>
- Barbosa, S. M. De M.; Farhat, S. C. L.; Martins, L. C.; Pereira, L. A. A.; Saldiva, P. H. N.; Zanobetti, A.; Braga, A. L. F. 2015. Air pollution and children's health: sickle cell disease. **Cadernos de Saúde Pública**, [S.L.], v. 31, n. 2, p. 265-275, fev. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0102-311x00013214>

- Barcellos, C.; Monteiro, A. M. V.; Corvalán, C.; Gurgel, H. C.; Carvalho, M. S.; Artaxo, P.; Hacon, S.; Ragoni, V. 2009. Mudanças climáticas e ambientais e as doenças infecciosas: cenários e incertezas para o Brasil. *Climatic and Environmental Changes and their Effect on Infectious Diseases: Scenarios and Uncertainties for Brazil*. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, Brasília, 18(3):285-304, 2009.
- Barlow, J., E. Berenguer, R. Carmenta, and F. França. 2019. Clarifying Amazonia's burning crisis. **Global Change Biology** 26:319–321.
- Bell, M. L.; Zanobetti, A.; Dominici, F. 2013. Evidence on Vulnerability and Susceptibility to Health Risks Associated with Short-Term Exposure to Particulate Matter: a systematic review and meta-analysis. *American Journal of Epidemiology*, [S.L.], v. 178, n. 6, p. 865–876. **Oxford University Press (OUP)**. <http://dx.doi.org/10.1093/aje/kwt090>
- Benmarhnia, T.; Rey, L.; Cartier, Y.; Clary, C. M.; Deguen, S.; Brousselle, A. 2014. Addressing equity in interventions to reduce air pollution in urban areas: a systematic review. **International Journal of Public Health, [S.L.]**, v. 59, n. 6, p. 933-944. **Springer Science and Business Media LLC**. <http://dx.doi.org/10.1007/s00038-014-0608-0>.
- Bharadwaj, P., J. Graff Zivin, M. Gibson, C. A. Neilson. 2017. Gray matters: fetal pollution exposure and human capital formation. **Journal of the Association of Environmental and Resource Economists** 4.2. 505-542.
- Böhm, G. M.; Saldiva, P. H. N.; Pasqualucci, C. A. G.; Massad, E.; Martins, M. De A.; Zin, W. A.; Cardoso, W. V.; Criado, P. M. P.; Komatsuzaki, M.; Sakae, R. S. 1989. Biological effects of air pollution in São Paulo and Cubatão. **Environmental Research**, [S.L.], v. 49, n. 2, p. 208-216. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0013-9351\(89\)80066-0](http://dx.doi.org/10.1016/s0013-9351(89)80066-0)
- Böhm, G.M.; Massad, E.; Saldiva, P.H.N.; Gouveia, M. A.; Pasqualucci, C.A.G.; Cardoso, L.M.N.; Caldeira, M.P.R.; Calheiros, D. 1983. Comparative toxicity of alcohol and gasoline fueled automobile exhaust fumes. **Dev Toxicol Environ Sci**. 11:479-482.
- Boucher, O., D. Randall, P. Artaxo, C. Bretherton, G. Feingold, P. Forster, V.-M. Kerminen, Y. Kondo, H. Liao, U. Lohmann, P. Rasch, S. K. Satheesh, S. Sherwood, B. Stevens and X. Y. Zhang, 2013: **Clouds and Aerosols. In: Climate Change 2013 - The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.)]. Pg. 571- Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Braga, A. L. F.; Pereira, L. A. A.; Procópio, M.; André, P. A. De; Saldiva, P. H. Do N. 2007. Associação Entre Poluição Atmosférica e Doenças Respiratórias e cardiovasculares na cidade de Itabira, Minas Gerais, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, 23(Suppl. 4), S570-S578. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2007001600017>
- Braga, A.L.F.; Conceição, G. M.S.; Pereira, L.A.A.; Kishi, H. S.; Pereira, J.C.R.; Andrade, M. F.; Gonçalves, F. L.T.; Saldiva, P. H.N.; Latorre, M. R.D.O. 1999. Air pollution and pediatric respiratory hospital admissions in São Paulo, Brazil. **Journal of Environmental Medicine**, [S.L.], v. 1, n. 2, p. 95-102, abr. 1999. Wiley. [http://dx.doi.org/10.1002/\(sici\)1099-1301\(199904/06\)1:23.0.co;2-s](http://dx.doi.org/10.1002/(sici)1099-1301(199904/06)1:23.0.co;2-s)
- Braga, A.L.F.; Saldiva, P.H.N.; Pereira, L.A.A.; Menezes, J.J.C.; Conceição, G. M.S.; Lin, C. A.; Zanobetti, A.; Schwartz, J.; Dockery, D. W. 2001. Health effects of air pollution exposure on children and adolescents in São Paulo, Brazil. **Pediatric Pulmonology**, [S.L.], v. 31, n. 2, p. 106-113, 2001. Wiley. [http://dx.doi.org/10.1002/1099-0496\(200102\)31:23.0.co;2-m](http://dx.doi.org/10.1002/1099-0496(200102)31:23.0.co;2-m)
- Braga, T. C.; de Albuquerque, E. L. 2015. **Emissões de Poluentes Provenientes do Tráfego de Aeronaves no Aeroporto Internacional de Salvador**. ISSN: 2359-1757. DOI: 10.5151/chemeng-cobeqic2015-440-34060-261757
- Brasil. 1940. **Decreto-Lei nº 2.848, de 7 de dezembro de 1940**. Código Penal. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del2848compilado.htm
- Brasil. 1941. **Decreto-Lei nº 3.688, de 3 de outubro de 1941**. Lei das Contravenções Penais. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/Del3688.htm.
- Brasil. 1975. **Decreto-Lei nº 1.413, de 31 de julho de 1975**. Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente provocada por atividades industriais. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/1965-1988/Del1413.htm
- Brasil. 1980. **Lei nº 6.803, de 2 de julho de 1980**. Dispõe sobre as diretrizes básicas para o zoneamento industrial nas áreas críticas de poluição, e dá outras providências. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6803.htm
- Brasil. 1981. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm
- Brasil. 1986. **Resolução Conama nº 18, de 6 de maio de 1986**. Dispõe sobre a criação do Programa de Controle de Poluição do Ar por veículos Automotores – Proconve <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=41>
- Brasil. 1989. **Resolução Conama nº 5, de 15 de junho de 1989**. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=81>
- Brasil. 1990. **Resolução Conama nº 3, de 28 de junho de 1990**. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. http://www.ibram.df.gov.br/images/resol_03.pdf
- Brasil. 1990b. **Lei nº 8.080, de 19 de setembro de 1990**. Dispõe sobre as condições para a promoção, proteção e recuperação da saúde, a organização e o funcionamento dos serviços correspondentes e dá outras providências. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8080.htm
- Brasil. 1997. **Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997**. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9478.htm

Brasil. 1998. **Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998**. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm

Brasil. 2001. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001**. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10257.htm#:~:text=LEI%20No%2010.257%2C%20DE%2010%20DE%20JULHO%20DE%202001.&text=Regulamenta%20os%20arts%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAs.&text=Art%20de%20que%20trata%20os%20arts.

Brasil. 2006. **Resolução Conama nº 382, de 26 de dezembro de 2006**. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res38206.pdf>

Brasil. 2009. **Resolução Conama nº 414, de 24 de setembro de 2009**. Altera a Resolução Conama nº 18, de 06 de maio de 1986, e reestrutura a Comissão de Acompanhamento e Avaliação do Proconve – CAP, em seus objetivos, competência, composição e funcionamento. <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=614>

Brasil. 2016. **Síntese de Evidências para Políticas de Saúde: Reduzindo a emissão do poluente atmosférico: material particulado em benefício da saúde no ambiente urbano**. Ministério da Saúde, Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos, Departamento de Ciência e Tecnologia. – Brasília: Ministério da Saúde. 52 p.: il. ISBN 978-85-334-2406-7

Brasil. 2018. **Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018**. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Diário Oficial da União. Publicado em: 21/11/2018, Edição: 223, Seção: 1, Página: 155. Órgão: Ministério do Meio Ambiente/Conselho Nacional do Meio Ambiente.

Bulbovas, P.; Souza, S.; Moraes, R.; Luizão, P. e Artaxo, P., 2007. Respostas de Glycine max 'Tracajá' exposta ao ozônio sob condições controladas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n.5, pg. 641-646.

Cançado, J. E.D.; Saldiva, P. H.N.; Pereira, L. A.A.; Lara, L. B.L.S.; Artaxo, P.; Martinelli, L. A.; Arbex, M. A.; Zanobetti, A.; Braga, A. L.F. 2006. The Impact of Sugar Cane-Burning Emissions on the Respiratory System of Children and the Elderly. *Environmental Health Perspectives*, [S.L.], v. 114, n. 5, p. 725-729. **Environmental Health Perspectives**. DOI: <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.8485>.

Carneiro, M. F. B., L. A. G. Pereira, e T. M. Gonçalves. 2019. Agricultura Urbana e Segurança Alimentar no Brasil: desafios e perspectivas. **Revista Desenvolvimento Social**, v. 19, n. 3, p. 51-61.

Carslaw, D.C., e K. Ropkins. 2012. Openair - An R Package for Air Quality Data Analysis. **Environmental Modelling & Software** 27-28 (janeiro): 52-61. doi:10.1016/j.envsoft.2011.09.008.

Carvalho, C. H. 2011. **Emissões relativas de poluentes do transporte urbano**. Boletim regional, urbano e ambiental - Instituto de Pesquisa Econômica. http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/5574/1/BRU_n05_emiss%C3%B5es.pdf.

Castro, H. A.; Hacon, S.; Argento, R.; Junger, W. L.; Mello, C. F. De; Castiglioni Júnior, N.; Costa, J. G. Da. 2007. Air pollution and respiratory diseases in the Municipality of Vitória, Espírito Santo State, Brazil. **Cadernos de Saúde Pública**, [S.L.], v. 23, n. 4, p. 630-642, 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-311x2007001600023>.

Cavalcanti, P.M.P.S. 2010. **Modelo de Gestão da Qualidade do Ar – abordagem preventiva e corretiva**, Tese de Doutorado, PPE-COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

CCAC (Climate and Clean Air Coalition). 2019. **LAC Full Assessment**.

Cesar, A. C. G.; Nascimento, L. F. C.; Carvalho Jr, J. A. De. 2013. Associação entre exposição ao material particulado e internações por doenças respiratórias em crianças. **Rev. Saúde Pública**, São Paulo, v. 47, n. 6, p. 1209-1212, Dec. 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-8910.2013047004713>

Cetesb (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). 2018. **50 anos de história e estórias**. <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2018/12/Livro-CETESB-50-anos.pdf>

Cetesb (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). 2019. **Emissões veiculares no Estado de São Paulo, 2018**. Série Relatórios, São Paulo, 214 pp, ISBN 978-85-9467-072-4. <https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2019/07/Relat%C3%B3rio-de-Qualidade-do-Ar-2018.pdf>.

Cetesb (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). 2020a. **Emissão veicular**. <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/transporte-sustentavel/>.

Cetesb (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). 2020b. **Ozônio troposférico**: Bioindicador vegetal para ozônio troposférico. <https://cetesb.sp.gov.br/solo/biomonitoramento/ozonio-troposferico/>

Cetesb (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). 2020c. **Qualidade do Ar - Histórico**. <https://cetesb.sp.gov.br/ar/#:~:text=H%C3%A1%20registros%20em%20jornais%20da,os%20servi%C3%A7os%20m%C3%A9dicos%20de%20emerg%C3%AAs>

Chang, T., J. Graff Zivin, T. Gross, e M. Neidell, 2016. Particulate Pollution and the Productivity of Pear Packers. **American Economic Journal: Economic Policy**, v. 8, n. 3, p. 141-69.

Conceição, G. M., S.G. Miraglia, H. S. Kishi, P. H. Saldiva, e J. M. Singer. 2001. Poluição do ar e mortalidade infantil: um estudo de série temporal em São Paulo, Brasil. **Perspectiva de saúde da Environ**. 109 Suppl 3 (Suppl 3): 347-350. doi: 10.1289 / ehp.109-1240551.

Corrêa, C. 2010. **Setor de Transporte é o que causa mais impactos na qualidade do ar**. Ministério do Meio Ambiente. <https://www.mma.gov.br/informma/item/6191-setor-de-transporte-e-o-que-causa-mais-impactos-na-qualidade-do->.

Daly, A., P. Zannetti. 2007. Air Pollution Modeling – An Overview. Chapter 2 of **Ambient air pollution. The Arab School for Science and Technology (ASST) e The EnviroComp Institute**.

- De Oliveira Galvão, M.F.; Alves, N.O.; Ferreira, P.A.; Caumo, S.; Vasconcellos, P.C.; Artaxo, P.; Hacon, S.S.; Roubicek, D.A. e Medeiros, S.R.B, 2018b. Biomass Burning Particles in the Brazilian Amazon Region: Mutagenic Effects of Nitro and Oxy-PAHs and Assessment of Health Risks. **Environmental Pollution** 233 (fevereiro): 960–70. doi: "https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.09.068" 10.1016/j.envpol.2017.09.068.
- De Oliveira, B.F.A., de Carvalho, L.V.B., de Souza Mourão, D., de Cássia Oliveira da Costa Mattos, R., de Castro, H.A., Artaxo, P., Junger, W.L. and Hacon, S. 2018. Environmental Exposure Associated with Oxidative Stress Biomarkers in Children and Adolescents Residents in Brazilian Western Amazon. **Journal of Environmental Protection**, **9**, n. 4, 347-367. 2018.
- De Oliveira, G., Chen, J.M., Stark, S.C., Berenguer, E., Moutinho, P., Artaxo, P., Anderson, L.O., Aragão, L.E.O.C. Smoke pollution's impacts in Amazonia. **Science**, Vol. 369, issue 6504, pages 634-635, DOI: 10.1126/science.abd5942, 2020.
- Depiné, H., N. M. R. Castro, e A. Pinheiro, Pedrolho. 2014. O. Preenchimento de falhas de dados horários de precipitação utilizando redes neurais artificiais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)**, Volume 19 n.1 –Jan/Mar 2014, 51-63
- Do Carmo, C.; Hacon, S.; Longo, K.; Freitas, S.; Ignotti, E.; de Leon, A. e Artaxo, P., 2010. Association between particulate matter from biomass burning and respiratory diseases in the southern region of the Brazilian Amazon. **Revista Panamericana de Salud Publica-Pan American Journal of Public Health**. Vol. 27, Issue: 1, Pages: 10-16, 2010.
- Donaldson K, Stone V, Clouter A, MacNee W. 2001. Ultrafine Particles. **Occup Environ Med** 2001; 58: 211-6.
- Du, S., T. Li,Y. Yang, e S. Horng. 2019. Deep Air Quality Forecasting Using Hybrid Deep Learning Framework. in **IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering**, doi: 10.1109/TKDE.2019.2954510.
- Ebenstein, A., V. Lavy, S. Roth, 2016. The Long-Run Economic Consequences of High-Stakes Examinations: Evidence from Transitory Variation in Pollution. **American Economic Journal: Applied Economics**, v. 8, n. 4, p. 36-65.
- EPE (Empresa de Pesquisa Energética). 2017. **Balanco Energético Nacional**. Ano base 2016. Relatório Final Julho 2017. Rio de Janeiro: EPE.
- EPE (Empresa de Pesquisa Energética). 2019. Superintendência de Derivados de Petróleo e Biocombustíveis. **Abastecimento de Derivados de Petróleo**. <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-442/08%20-%20Abastecimento.pdf>.
- EPE (Empresa de Pesquisa Energética). 2020. **Balanco Energético Nacional 2020** – ano base 2019. Rio de Janeiro.
- EPL (Empresa de Planejamento e Logística S.A.). 2018. **Transporte inter-regional de carga no Brasil** – Panorama 2015. <https://www.epl.gov.br/plano-nacional-de-logistica-pnl>.
- European Commission, 2019. **Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR), release version 5.0**. <http://edgar.jrc.ec.europa.eu>
- Farhat, S.C.L.; Paulo, R.L.P.; Shimoda, T.M.; Conceição, G.M.S.; Lin, C.A.; Braga, A.L.F.; Warth, M.P.N.; Saldiva, P.H.N. 2005. Effect of air pollution on pediatric respiratory emergency room visits and hospital admissions. **Brazilian Journal of Medical And Biological Research**, [S.L.], v. 38, n. 2, p. 227-235, fev. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-879x2005000200011>.
- Freitas, C.; A Bremner, S.; Gouveia, N.; A Pereira, L. A; Saldiva, P. H. N. 2004. Interações e óbitos e sua relação com a poluição atmosférica em São Paulo, 1993 a 1997. **Revista de Saúde Pública**, [S.L.], v. 38, n. 6, p. 751-757, dez. 2004. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0034-89102004000600001>
- Gioda, A., Tonietto, G. B., Leon, A. P. 2019. **Exposição ao uso da lenha para cocção no Brasil e sua relação com os agravos à saúde da população**. <http://dx.doi.org/10.1590/1413-81232018248.23492017>
- Gioda, A., G. B. Tonietto, A. P. Leon. 2019. Exposição ao uso da lenha para cocção no Brasil e sua relação com os agravos à saúde da população. **Ciência & Saúde Coletiva** vol.24 no.8 Rio de Janeiro Aug. 2019 Epub Aug 05, 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/1413-81232018248.23492017>
- Gomide, A.; Pires, R. 2014. **Capacidades estatais e democracia**. Arranjos institucionais de políticas públicas. Brasília: Ipea.
- Gouveia, N., e T. Fletcher. 2000. Análise de séries temporais de poluição do ar e mortalidade: efeitos por causa, idade e nível socioeconômico. **J Epidemiol Community Health**, 54 (10): 750-755. doi: 10.1136 / jech.54.10.750
- Gouveia, N; Fletcher, T., 2000b. Respiratory diseases in children and outdoor air pollution in Sao Paulo, Brazil: a time series analysis. **Occupational and Environmental Medicine**, [S.L.], v. 57, n. 7, p. 477-483, 1 jul. 2000. BMJ. <http://dx.doi.org/10.1136/oem.57.7.477>
- Gouveia, N., Bremner, S. A.; Novaes, H.M.D. 2004. Association between ambient air pollution and birth weight in Sao Paulo, Brazil. **Journal of Epidemiology & Community Health**, [S.L.], v. 58, n. 1, p. 11-17. BMJ. <http://dx.doi.org/10.1136/jech.58.1.11>
- Gouveia, N.; Freitas, C. U. De; Martins, L. C.; Marcilio, I. O., 2006. Hospitalizações Por Causas Respiratórias E Cardiovasculares Associadas À Contaminação Atmosférica No Município De São Paulo, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, [S.L.], V. 22, N. 12, P. 2669-2677, Dez. 2006. Fapunifesp (SciELO). [Http://Dx.Doi.Org/10.1590/S0102-311x2006001200016](http://Dx.Doi.Org/10.1590/S0102-311x2006001200016)
- Gouveia, N., e W.L. Junger. 2018. Effects of air pollution on infant and children respiratory mortality in four large Latin-American cities. **Environ Pollut** Jan;232:385-391. doi: 10.1016/j.envpol.2017.08.125. Epub 2017 Sep 29. PMID: 28966023.

Graff Zivin, J., e M. Neidell, 2013. Environment, Health, and Human Capital. **Journal of Economic Literature**, 51.3. 689-730.

Guariero, L.L.N., P.C. Vasconcellos, e M.C. Solci. 2011. Air Pollutants from the Burning of Fossil Fuels and Biofuels: A Brief Review. **Revista Virtual de Química** 3 (5). doi:10.5935/1984-6835.20110047.

Gulia, S., S.M. Shiva Nagendra, M. Khare, e I. Khanna. 2015. Urban Air Quality Management-A Review. **Atmospheric Pollution Research** 6 (2): 286-304. doi:10.5094/APR.2015.033.

Hacon, S.; Barcellos, C.; Xavier, D.R.; Gracie, R.; de Oliveira, B.F.A.; Artaxo, P.; Ignotti, E., 2017. **Mudanças climáticas e impactos na saúde**. Mudanças Climáticas em Rede – um olhar interdisciplinar - Contribuições do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas. Pag. Ed. Carlos Nobre e José Marengo, ISBN 978-85-7917-463-6. 608 pag. 165-188, 2017.

Hamra, G. B.; Guha, N.; Cohen, A.; Laden, F.; Raaschou-Nielsen, O.; Samet, J. M.; Vineis, P.; Forastiere, F.; Salvidi, P.; Yorifuji, T.; Loomis, D. 2014. Outdoor Particulate Matter Exposure and Lung Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Environmental Health Perspectives**, [S.l.], v. 122, p. 906-911. National Institute of Environmental Health Sciences. 2014. DOI:10.1289/ehp.1408092.

Hanna, R., e P. Oliva. 2015. The Effect of Pollution on Labor Supply: Evidence From a Natural Experiment in Mexico City. **Journal of Public Economics** 122. 68-79.

He, J., N. Gouveia, e A. Salvo. 2019. **External Effects of Diesel Trucks Circulating Inside the Sao Paulo Megacity**. Journal of the European Economic Association, v. 17, n. 3, p. 947-989.

Hill, M.J., e P.L. Hupe. 2002. **Implementing public policy: governance in theory and practice**. Sage politics texts. London; Thousand Oaks, Calif: Sage.

HRW (Human Rights Watch), IPAM, e IEPS. 2020. **O ar é insuportável: Os impactos das queimadas associadas ao desmatamento da Amazônia brasileira na saúde**. Disponível em: https://ipam.org.br/wp-content/uploads/2020/08/brazil0820pt_web.pdf.

IAP (Instituto Ambiental do Paraná). 2020. **Fontes de Poluição Atmosférica**. <http://www.iap.pr.gov.br/pagina-1415.html>

IARC (International Agency for Research on Cancer). 2013. **Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths**. Lyon: WHO, 2013. [S.l.], v. 122, p. 906-911, Sept. 2014. http://www.iarc.fr/en/media-centre/iarcnews/pdf/pr221_E.pdf

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2019. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD) Contínua**.

Iema (Instituto de Energia e Meio Ambiente). 2014. **1º Diagnóstico da rede de monitoramento da qualidade do ar no Brasil**. <http://energiaambiente.org.br/produto/1o-diagnostico-da-rede-de-monitoramento-da-qualidade-do-ar-no-brasil>

Ignotti, E., J. G. Valente, K. M. Longo, S.R. Freitas, S. S. Hacon, and P. Artaxo. Impact on human health of particulate matter emitted from burnings in the Brazilian Amazon region. **Revista Saúde Pública** 44, N. 1, 121-130, ISSN 0034-8910, DOI: 10.1590/S0034-89102010000100013, 2010.

Inpe (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). 2020. **Monitoramento dos Focos Ativos por Estado**. http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal-static/estatisticas_estados/

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2018a. **Task Force on National Greenhouse Gas Inventories (TFI): Expert Meeting on SLCFs**. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/02/1805_Expert-Meeting_on_SLCF_Report.pdf.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2018b. **Atmosphere Chemistry and Greenhouse Gases**. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/TAR-04.pdf>

ISS (Instituto de Saúde e Sustentabilidade). 2019a. **Avaliação dos impactos na saúde pública e sua valoração devido à implementação do gás natural veicular na matriz energética de transporte público – ônibus e veículos leves em seis regiões metropolitanas no Brasil**. <https://www.saudeesustentabilidade.org.br/publicacao/avaliacao-dos-impactos-na-saude-publica-e-sua-valoracao-devido-a-implementacao-do-gas-natural-veicular-na-matriz-energetica-de-transporte-publico-onibus-e-veiculos-leves-em-seis-regioes-metr/>

ISS (Instituto de Saúde e Sustentabilidade). 2019b. **Avaliação do impacto da implementação da fase P-8 do Proconve para a frota de veículos pesados na saúde pública com sua respectiva valoração econômica em seis regiões metropolitanas brasileiras**. https://www.saudeesustentabilidade.org.br/wp-content/uploads/2019/06/PROCONVE_ISS_ICS_2019.pdf

ISS (Instituto Saúde e Sustentabilidade). 2019c. **Análise do monitoramento de qualidade do ar no Brasil**. https://www.saudeesustentabilidade.org.br/wp-content/uploads/2019/06/An%C3%A1lise-do-Monitoramento-de-Qualidade-do-Ar-no-Brasil_ISS.pdf.

Jacobson L. S. V., Hacon S, Castro HAd, Ignotti E, Artaxo P, Saldiva, P., Leon, A.C.M. P., (2014) Acute Effects of Particulate Matter and from Seasonal Fires on Peak Expiratory Flow of Schoolchildren in the Brazilian Amazon. **PLoS ONE** Vol., 9, Issue 8: e104177. doi: 10.1371/journal.pone.0104177. <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0104177>, 2014.

Jasinski, R.; Pereira, L. A. A.; Braga, A. L. F. 2011. Poluição atmosférica e internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças e adolescentes em Cubatão, São Paulo, Brasil, entre 1997 e 2004. **Cadernos de Saúde Pública**, [S.L.], v. 27, n. 11, p. 2242-2252, nov. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-311x2011001100017>

Jia, G., E. Shevliakova, P. Artaxo, N. De Noblet-Ducoudré, R. Houghton, J. House, K. Kitajima, C. Lennard, A. Popp, A. Sirin, R. Sukumar, L. Verchot, 2019: Land-climate interactions. In: **Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems** [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. In press, 2020.

- Junger, W. L.; Leon, A. P. De. 2007 Poluição do ar e baixo peso ao nascer no Município do Rio de Janeiro, Brasil, 2002. **Cadernos de Saúde Pública**, [S.L.], v. 23, n. 4, p. 588-598, 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-311x2007001600019>
- Lacasaña, M.; Esplugues, A.; Ballester, F. 2005. Exposure to ambient air pollution and prenatal and early childhood health effects. **European Journal of Epidemiology**, [S.L.], v. 20, n. 2, p. 183-199, fev. 2005. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10654-004-3005-9>
- Landrigan, P. J.; Fuller, R.; Acosta, N. J. R.; Adeyi, O.; Arnold, R.; Basu, N.; Baldé, A. B.; Bertollini, R.; Bose-O'Reilly, S.; Boufford, J. I. 2018. The Lancet Commission on pollution and health. **The Lancet**, [S.L.], v. 391, n. 10119, p. 462-512. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0140-6736\(17\)32345-0](http://dx.doi.org/10.1016/s0140-6736(17)32345-0).
- Leite, J. O. B., B. B. Pereira. 2017. Doenças da pele relacionadas à poluição do ar: uma revisão sistemática. **Journal of Health & Biological Sciences**, [S.L.], v. 5, n. 2, p. 171-177 <http://dx.doi.org/10.12662/2317-3076jhbs.v5i2.1231.p171-177.2017>
- Lima, T. A. C. de, L. F. C. Nascimento, A. P. P. Medeiros, e V. de P. Santos. 2014. Association between maternal exposure to particulate matter and premature birth. **Rev. Ambient. Água** [online] vol.9, n.1 [cited 2021-01-14], pp.27-36. ISSN 1980-993X. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1262>.
- Lin, C.A.; Pereira, L.A.A.; Nishioka, D.C.; Conceição, G.M.S.; Braga, A.L.F.; Saldiva, P.H.N. 2004. Air pollution and neonatal deaths in São Paulo, Brazil. **Brazilian Journal of Medical And Biological Research**, [S.L.], v. 37, n. 5, p. 765-770, maio 2004. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-879x2004000500019>
- Lin, C.A., M.A. Martins, S.C. Farhat, C.A. Pope 3rd, G.M. Conceição, V.M. Anastácio, M. Hatanaka, W.C. Andrade, W.R. Hamaue, G.M. Böhm, P.H. Saldiva. 1999. Air pollution and respiratory illness of children in Sao Paulo, Brazil. **Paediatric and Perinatal Epidemiology**, [S.L.], v. 13, n. 4, p. 475-488, out. 1999. Wiley. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1365-3016.1999.00210.x>
- Lixia L.; Yafang C.; Siwen W.; Chao W.; Pöhlker M.; Pöhlker C.; Artaxo P.; Shrivastava M.; Andreae M.; Pöschl U.; Su H. 2020. Impact of biomass burning aerosols on radiation, clouds, and precipitation over the Amazon during the dry season: dependence of aerosol-cloud and aerosol-radiation interactions on aerosol loading. **Atmospheric Chemistry and Physics Discussions**. <https://doi.org/10.5194/acp-2020-191>
- Loomis, D.; Castillejos, M.; Gold, D.R.; McDonnell, W.; Borja-Aburto, V.H. 1999 Air pollution and infant mortality in Mexico City. **Epidemiology**.10(2):118-123.
- Lucio, P. S., F. C. Conde, I. F. A. Cavalcanti, A. M. Ramos, e A. O. Cardoso. 2006. Reconstrução de séries meteorológicas via redes neurais artificiais. In: **Anais XIV CBMET**, Florianópolis — SC.
- Lung, S. C., R. Jones, C. Zellweger, A. Karppinen, M. Penza, T. Dye, C. Hüglin, Z. Ning, R. Leigh, D. Hagan, O. Laurent, e G. Carmichael. 2018. **Low-cost sensors for the measurement of atmospheric composition**. Overview of topic and future applications. Geneva, Schweiz: World Meteorological Organization (WMO), (C.Lewis, A., von Schneidmesser, E., E.Peltier, R., Eds.), 46 p. <https://publications.iass-potsdam.de/pubman/faces/ViewItemFullPage.jsp?itemId=item_4411888_9&view=EXPORT
- Machado, P. A. L. 2009. **Direito à Informação Ambiental e Qualidade do Ar**. 1. Ed. São Paulo: Instituto de Energia e Meio Ambiente. 44p. ISBN 978-85-63187-00-0
- Martins, M. C. H. 2004. Influence of socioeconomic conditions on air pollution adverse health effects in elderly people: an analysis of six regions in Sao Paulo, Brazil. **Journal of Epidemiology & Community Health**, [S.L.], v. 58, n. 1, p. 41-46. BMJ. <http://dx.doi.org/10.1136/jech.58.1.41>
- Massad, E.; Saldiva, P. H. N.; Saldiva, C. D.; Caldeira, M. P. Do R.; Cardoso, L. M. N.; Morais, A. M. S. De; Calheiros, D. F.; Silva, R. Da; Miklós Böhm, G. 1985. Acute Toxicity of gasoline and ethanol automobile engine exhaust gases. **Toxicology Letters**, v. 26,p. 187-192.
- Medeiros, A.; Gouveia, N. 2005. Relação entre baixo peso ao nascer e a poluição do ar no Município de São Paulo. **Revista de Saúde Pública**, [S.L.], v. 39, n. 6, p. 965-972, dez. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0034-89102005000600015>
- Mendes, F. E. 2004. **Avaliação de Programas de Controle de Poluição Atmosférica por Veículos Leves no Brasil**. Tese de Doutorado. <http://antigo.ppe.ufrj.br/ppes/production/tesis/femendes.pdf>
- Ministério da Saúde. 2019. **Saúde Brasil 2018 uma análise de situação de saúde e das doenças e agravos crônicos: desafios e perspectivas**. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Vigilância de Doenças e Agravos Não Transmissíveis e Promoção da Saúde – Brasília: Ministério da Saúde. 424 p. il. ISBN 978-85-334-2701-3
- MMA (Ministério do Meio Ambiente), 2009. **Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar - PRONAR**
- MMA (Ministério do Meio Ambiente). 2011. **1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários**. https://www.mma.gov.br/estruturas/163/_publicacao/163_publicacao27072011055200.pdf
- MMA (Ministério do Meio Ambiente). 2013. **Resumo do Proconve**. https://www.mma.gov.br/images/arquivo/80060/Arquivos/PROCONVE_atualizado%20em%2021nov13.pdf.
- MMA (Ministério do Meio Ambiente). 2014. **2º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por veículos automotores rodoviários**. <https://iema-site-staging.s3.amazonaws.com/2014-05-27inventario2013.pdf>
- MMA (Ministério do Meio Ambiente). 2020. **Poluentes Atmosféricos**. <https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-atmosf%C3%A9ricos.html>

- Morgan, W. T.; Darbyshire, E.; Spracklen, D.V.; Artaxo, P. e Coe, H., 2019. Non-deforestation drivers of fires are increasingly important sources of aerosol and carbon dioxide emissions across Amazonia. **Scientific Reports Nature** 9:16975 <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53112-6>
- Moura, M.; Junger, W. L.; Mendonça, G. A. E S.; Leon, A. P. 2008. de. Qualidade do ar e transtornos respiratórios agudos em crianças. **Revista de Saúde Pública**, [S.L.], v. 42, n. 3, p. 503-511, jun. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0034-89102008000300016>
- Moura, M.; Junger, W. L.; Mendonça, G. A. E S.; Leon, A. P. De. 2009. Air quality and emergency pediatric care for symptoms of bronchial obstruction categorized by age bracket in Rio de Janeiro, Brazil. **Cadernos de Saúde Pública**, [S.L.], v. 25, n. 3, p. 635-644, mar. 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-311x2009000300018>
- Nandini, K., e G. Fathima. 2019. **Urban Air Quality Analysis and Prediction Using Machine Learning**. 1st International Conference on Advanced Technologies in Intelligent Control, Environment, Computing & Communication Engineering (ICATIECE), Bangalore, India, 2019, pp. 98-102, doi: 10.1109/ICATIECE45860.2019.9063845.
- Nardocci, A. C.; Freitas, C. U. De, Ponce De Leon, A. C. M.; Junger, W. L.; Gouveia, N. Da C. 2013. Poluição do ar e doenças respiratórias e cardiovasculares: estudo de séries temporais em Cubatão, São Paulo, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, 29(9), 1867-1876. <https://doi.org/10.1590/0102-311X00150012>
- Nascimento, L. F. C.; Pereira, L. A.; Braga, A. L. F.; Módolo, M. C. C.; Carvalho Junior, J. A. 2006. Efeitos da poluição atmosférica na saúde infantil em São José dos Campos, SP. **Revista de Saúde Pública**, [S.L.], v. 40, n. 1, p. 77-82, fev. 2006. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0034-89102006000100013>
- Nascimento, L. F. C., e D. A. Moreira. 2009. Os poluentes ambientais são fatores de risco para o baixo peso ao nascer?. **Saúde Pública** [online], vol.25, n.8 [cited 2021-01-15], pp.1791-1796. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2009000800015>.
- Negrissoli, J.; Nascimento, L. F. C. 2013. Atmospheric pollutants and hospital admissions due to pneumonia in children. **Revista Paulista de Pediatria**, [S.L.], v. 31, n. 4, p. 501-506, dez. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-05822013000400013>
- Nepstad, D., G. Carvalho, A. C. Barros, A. Alencar, J. P. Capobianco, J. Bishop, P. Moutinho, P. Lefebvre, U. L. Silva, and E. Prins. 2001. Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon forests. **Forest Ecology and Management** 154:395-407.
- Nicolussi, F. H.; Santos, A. P. M. Dos; André, S. C. Da S.; Veiga, T. B.; Takayanagui, A. M. M. 2014. Poluição do ar e doenças respiratórias alérgicas em escolares. **Revista de Saúde Pública**, [S.L.], v. 48, n. 2, p. 326-330, abr. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0034-8910.2014048004940>
- Nishioka, D.; Coura, F. L.; Pereira, L. A.; Conceição, G. M. De. 2000. Estudo dos efeitos da poluição atmosférica na mortalidade neonatal e fetal na cidade de São Paulo, Brasil. **Revista de Medicina**, 79(2-4), 81-89. <https://doi.org/10.11606/issn.1679-9836.v79i2-4p81-89>
- Oliveira, P.H. F.; P. Artaxo; C. Pires; S. De Lucca, A. Procópio; B. Holben; J. Schafer; L. F. Cardoso; S. C. Wofsy; H. R. Rocha. 2007. The effects of biomass burning aerosols and clouds on the CO2 flux in Amazonia, Tellus B: **Chemical and Physical Meteorology**, 59:3, 338-349, DOI: 10.1111/j.1600-0889.2007.00270.x.
- OMS (Organização Mundial da Saúde), 2018. **Air pollution and child health: prescribing clean air**. Summary. Geneva; (WHO/CED/PHE/18.01). Licence: CC BY-NC-SA 3.0. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/275545/WHO-CED-PHE-18.01-eng.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- OPAS (Organização Pan-Americana da Saúde). 2018a. **Nove em cada dez pessoas em todo o mundo respiram ar poluído**. https://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=5654:nove-em-cada-dez-pessoas-em-todo-o-mundo-respiram-ar-poluido&Itemid=839.
- OPAS (Organização Pan-Americana da Saúde). 2018b. **Não polua o meu futuro! O impacto do ambiente na saúde das crianças**. Licença: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. Brasília, DF, 2018b. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/49123>
- Pacífico, F., G. A. Folberth, S. Stith, J. M. Haywood, P. Artaxo, and L. V. Rizzo. Biomass burning related ozone damage on vegetation over the Amazon forest. **Atmos. Chem. Phys.**, 15, 2791-2804, 2015. doi:10.5194/acp-15-2791-2015.
- PBMC (Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas). 2014: **Base científica das mudanças climáticas**. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas [Ambrizzi, T., Araujo, M. (eds.)]. Capítulo 6 Aerossóis Atmosféricos e Nuvens. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 464 pp. ISBN: 978-85-285-0207-7
- Penna, M.L.; Duchiate, M.P. 1991. Air pollution and infant mortality from pneumonia in the Rio de Janeiro metropolitan area. **Bulletin of the Pan American Health Organization** 1991; 25 (1):47-54.
- Pereira, L. A. A.; Loomis, D.; Conceição, G. M.; Braga, A. L.; Arcas, R. M.; Kishi, H. S.; Singer, J. M.; Böhm, G. M.; Saldiva, P. H. 1998. Association Between Air Pollution and Intrauterine Mortality In São Paulo, Brazil. **Environmental Health Perspectives**, [S.L.], v. 106, N. 6, P. 325-329, Jun. 1998. Environmental Health Perspectives. [Http://Dx.Doi.Org/10.1289/Ehp.98106325](http://Dx.Doi.Org/10.1289/Ehp.98106325)
- Philippi Junior, A. 1987. **Controle de Poluição Ambiental: Implantação de Sistema de Financiamento**. Doutorado em Saúde Ambiental, São Paulo: Universidade de São Paulo. doi:10.11606/T.6.2016.tde-26072016-145516.

- Pope, C. A. 2002. Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution. **Jama**, [S.L.], v. 287, n. 9, p. 1132-1141. American Medical Association (AMA). <http://dx.doi.org/10.1001/jama.287.9.1132>
- Pope, C. A.; Dockery, D. W. 2006. Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: lines that connect. **Journal of The Air & Waste Management Association**, [S.L.], v. 56, n. 6, p. 709-742. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10473289.2006.10464485>
- Pöschl, U.; Shiraiwa, M. 2015. Multiphase Chemistry at the Atmosphere-Biosphere Interface Influencing Climate and Public Health in the Anthropocene. **Chem. Rev.** 2015, 115, 10, 4440-4475 <https://doi.org/10.1021/cr500487s>
- Reddington, C. L.; Butt, E. W.; Ridley, D. A.; Artaxo, P.; Morgan, W. T.; Coe, H.; Spracklen, D. V. 2015. Air quality and human health improvements from reductions in deforestation-related fire in Brazil. **Nature Geoscience**, [S.L.], v. 8, n. 10, p. 768-771. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/ngeo2535>
- Réquia Júnior, W.J. 2015. **Modelagem espacial da exposição humana às fontes de poluição do ar no Distrito Federal: o uso e ocupação do solo como variável preditora**. Doutorado, Brasília: Universidade de Brasília. doi:10.26512/2015.11.T.20255.
- Ribeiro, H. Pesquero, C. 2010. Queimadas de cana-de-açúcar: avaliação de efeitos na qualidade do ar e na saúde respiratória de crianças. **Estudos Avançados**, [S.L.], v. 24, n. 68, p. 255-271, 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142010000100018>
- Rocha, G.; R. L. de Moraes, e L. Klug. 2019. **O Custo Econômico da Poluição do ar: Estimativa de Valor da Vida Estatística para o Brasil**. Texto para Discussão.
- Rodrigues, G. S., e R. A. Martins. 2001. **Efeitos potenciais do ozônio troposférico sobre as plantas cultivadas e o biomonitoramento ambiental**. Embrapa Meio Ambiente-Capítulo em livro científico
- Roitman, T., Silva, T. B. 2018. Concorrência Interenergética e intermodal no setor de transportes: possibilidades para o Brasil. **Caderno de opinião - FGV Energia**. https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/julho-_concorrenca_interenergetica.pdf.
- Romão, R.; Pereira, L. A. A.; Saldiva, P. H. N.; Pinheiro, P. M.; Braga, A. L. F.; Martins, L. C. 2013. The relationship between low birth weight and exposure to inhalable particulate matter. **Cadernos de Saúde Pública**, [S.L.], v. 29, n. 6, p. 1101-1108, jun. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-311x2013000600007>
- Roy, R., e N. A. Braathen. 2017. The Rising Cost of Ambient Air Pollution thus far in the 21st Century: Results from the BRICS and the OECD Countries. **OECD Environment Working Papers**, No. 124, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/d1b2b844-en>.
- Saldiva, P.H.N.; Lichtenfels, A.J.F.C.; Paiva, P.S.O.; Barone, I.A.; Martins, M.A.; Massad, E.; Pereira, J.C.R.; Xavier, V.P.; Singer, J.M.; Bohm, G.M. 1994. Association between Air Pollution and Mortality Due to Respiratory Diseases in Children in São Paulo, Brazil: a preliminary report. **Environmental Research**, [S.L.], v. 65, n. 2, p. 218-225. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1006/enrs.1994.1033>
- Saldiva, P. H. N.; Pope, C. A.; Schwartz, J.; Dockery, D. W.; Lichtenfels, A. J.; Salge, J. M.; Barone, I.; Bohm, G. M. 1995. Air Pollution and Mortality in Elderly People: a time-series study in Sao Paulo, Brazil. **Archives of Environmental Health: An International Journal**, [S.L.], v. 50, n. 2, p. 159-163. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00039896.1995.9940893>
- Sant'Anna, A. A., e R. Rocha. 2020. **Health Impacts of Deforestation-Related Fires in the Brazilian Amazon**. ISBN: 978-1-62313-8448.
- Santi, A. M. M.; Rosa, A. C.; Suzuki, R. Y. 2000. Monitoramento da qualidade do ar: avaliação de metodologia baseada no licenciamento ambiental. In: **XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitaria y Ambiental**, Porto Alegre. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitaria y Ambiental, 2000. v. CD-ROM. p.1-12.<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/impactos/vi-038.pdf>
- Santos, V. De P.; Medeiros, A. P. P. De; Lima, T. A. C. De; Nascimento, L. F. C. 2014. The effect of air pollutants on birth weight in medium-sized towns in the state of São Paulo. **Revista Paulista de Pediatria**, [S.L.], v. 32, n. 4, p. 306-312, dez. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-05822014000400005>
- São Paulo. 1976. **Decreto nº 8.468, de 31 de maio de 1976**. Aprova o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1976/decreto-8468-08.09.1976.html#:~:text=Publicado%20na%20Casa%20Civil%2C%20aos%206%20de%20setembro%20de%201976.&text=Das%20Disposi%C3%A7%C3%B5es%20Preliminares-,Artigo%201.,no%20ar%20ou%20no%20solo.>
- Schimmel, H. 1978. Evidence for possible acute health effects of ambient air pollution from time series analysis: methodological questions and some new results based on new york city daily mortality, 1963-1976. **Bull N Y Acad Med**. 54(11):1052-1108.
- Schwartz, J. 2004. Air Pollution and Children's Health. **Pediatrics**. 113. 1037-43.
- SEEG (Sistema de Emissões de Gases de Efeito Estufa). 2018. **Emissões dos setores de energia, processos industriais e uso de produtos** – Documento de Análise. <http://energiaambiente.org.br/wp-content/uploads/2018/01/Emissoes-dos-Setores-de-Energia-e-Processos-Industrias-Documento-de-Analise-2018.pdf>.

SEEG (Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa). 2019. **Análise das Emissões Brasileiras de Gases de Efeito Estufa e Suas Implicações para as Metas do Brasil: 1970-2018**. http://www.observatoriodoclima.eco.br/wp-content/uploads/2019/11/OC_SEEG_Relatorio_2019pdf.pdf

SEEG (Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa). 2020. **Plataforma SEEG**. <http://seeg.eco.br/>

Seifi, M.; Niazi, S.; Johnson, G.; Nodehi, V.; Yunesian, M. 2019. Exposure To Ambient Air Pollution And Risk Of Childhood Cancers: A Population-Based Study In Tehran, Iran. **Science of the Total Environment**, [S.L.], V. 646, P. 105-110, Jan. 2019. Elsevier Bv. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.219>

Seika, M., N. Metz, e R. Harrison. 1996. Characteristics of urban and state emission inventories—A comparison of examples from Europe and the United States. **Sci. Total Environ.** 189-190, 221-234

Seinfeld, J. H.; Pandis, S. N. 2006. **Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change**. John Wiley & Sons., New York.

Seroa da Mota, R., e A.P. Fernandes Mendes. 1995. Custos de Saúde Associados à Poluição do Ar no Brasil. **Pesquisa e Planejamento Econômico** 25 (1).

Shlisky, A., A. Alencar, M. Manta, and L. M. Curran. 2009. Overview: Global fire regime conditions, threats, and opportunities for fire management in the tropics. Pages 65-83. In: M. A. Cochrane, editor. **Tropical fire ecology: Climate Change, Land Use, and Ecosystem Dynamics**. Springer, New York.

Silva, P. R. De S.; Ignotti, E.; Oliveira, B. F. A. De; Junger, W. L.; Morais, F.; Artaxo, P.; Hacon, S. 2016. High risk of respiratory diseases in children in the fire period in Western Amazon. **Revista de Saúde Pública**, 50, 29. Epub June 10. <https://doi.org/10.1590/S1518-8787.2016050005667>

Sousa, S.I.V.; Pires, J.C.M.; Martins, E.M.; Fortes, J.D.N.; Alvim-Ferraz, M.C.M.; Martins, F.G. 2012. Short-term effects of air pollution on respiratory morbidity at Rio de Janeiro — Part II: health assessment. **Environment International**, [S.L.], v. 43, p. 1-5, ago. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2012.02.004>

Souza, C. 2016. Capacidade burocrática no Brasil e na Argentina: quando a política faz a diferença. In: GOMIDE, A.; BOSCHI, R. (Eds.). **Capacidades estatais em países emergentes: o Brasil em perspectiva**. Rio de Janeiro: Ipea, p. 51-103.

Spektor, D. M.; Hofmeister, V. A.; Artaxo, P.; Bague, J. A. P.; Echelar, F.; Nogueira, D. P.; Hayes, C.; Thurston, G. D.; Lippmann, M. 1991. Effects of Heavy Industrial Pollution on Respiratory Function in the Children of Cubatão, Brazil: a preliminary report. **Environmental Health Perspectives**, [S.L.], v. 94, p. 51-54. JSTOR. <http://dx.doi.org/10.2307/3431292>

Sugiri, D.; Ranft, U.; Schikowski, T.; Krämer, U. 2006. The Influence of Large-Scale Airborne Particle Decline and Traffic-Related Exposure on Children's Lung Function. **Environmental Health Perspectives**, [S.L.], v. 114, n. 2, p. 282-288, fev. 2006. Environmental Health Perspectives. <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.8180>

Szwarcfiter, L. 2004. **Opções para o Aprimoramento do Controle de Emissões de Poluentes Atmosféricos por Veículos Leves no Brasil: Uma Avaliação do Potencial de Programas de Inspeção e Manutenção e de Renovação Acelerada da Frota**. Tese de Doutorado. <http://antigo.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/lila.pdf>

Tessum, C. W.; Apte, J. S.; Goodkind, A. L.; Muller, N. Z.; Mullins, K. A.; Paoletta, D. A.; Polasky, S.; Springer, N. P.; Thakrar, S. K.; Marshall, J. D. 2019. Inequity in consumption of goods and services adds to racial-ethnic disparities in air pollution exposure. **Proceedings of The National Academy of Sciences**, [S.L.], v. 116, n. 13, p. 6001-6006. Proceedings of the National Academy of Sciences. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1818859116>.

Tonne, C.; Beevers, S.; Armstrong, B.; Kelly, F.; Wilkinson, P. 2008. Air pollution and mortality benefits of the London Congestion Charge: spatial and socioeconomic inequalities. **Occupational And Environmental Medicine**, [S.L.], v. 65, n. 9, p. 620-627. BMJ. <http://dx.doi.org/10.1136/oem.2007.036533>

UCAR (University Corporation for Atmospheric Research). 2020. **Ozone in the Troposphere**. <https://scied.ucar.edu/ozone-troposphere#:~:text=Tropospheric%20ozone%20is%20formed%20by,occur%20during%20warm%20summer%20months>

Vara-Vela, A.; Andrade, M. F.; Kumar, P.; Ynoue, R. Y.; Muñoz, A. G. 2016. Impact of vehicular emissions on the formation of fine particles in the Sao Paulo Metropolitan Area: a numerical study with the WRF-Chem model. **Atmospheric Chemistry and Physics** (Online), v.16, p.777 - 797.

Vara-Vela, A., M. F. Andrade, P. Kumar, R. Y. Ynoue, e A. G. Muñoz. 2016. Impact of vehicular emissions on the formation of fine particles in the Sao Paulo Metropolitan Area: a numerical study with the WRF-Chem model. **Atmospheric Chemistry and Physics** (Online), v.16, p.777 - 797.

Veras, M. M.; Caldini, E. G.; Dolhnikoff, M.; Saldiva, P. H. N. 2010. Air Pollution and Effects on Reproductive-System Functions Globally with Particular Emphasis on the Brazilian Population. **Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B**, [S.L.], v. 13, n. 1, p. 1-15. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10937401003673800>

Vidotto, J.P.; Pereira, L.A.A.; Braga, A.L.F.; Silva, C.A.; Amsallum, C.; Campos, L.M.; Martins, L.C.; Farhat, S.C.L. 2012. Atmospheric pollution: influence on hospital admissions in paediatric rheumatic diseases. **Lupus**, [S.L.], v. 21, n. 5, p. 526-533, 22 fev. 2012. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0961203312437806>

Villeneuve, P. J.; Goldberg, M. S. 2020. Methodological Considerations for Epidemiological Studies of Air Pollution and the SARS and COVID-19 Coronavirus Outbreaks. **Environmental Health Perspectives**, [S.L.], v. 128, n. 9, p. 095001. **Environmental Health Perspectives**. <http://dx.doi.org/10.1289/ehp7411>.

Vinceti, M.; Rothman, K. J.; Crespi, C. M.; Sterni, A.; Cherubini, A.; Guerra, L.; Maffei, G.; Ferretti, E.; Fabbri, S.; Teggi, S. 2012. Leukemia risk in children exposed to benzene and PM10 from vehicular traffic: a case control study in an Italian population. **European Journal of Epidemiology**, [S.L.], v. 27, n. 10, p. 781-790, 15 ago. 2012. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10654-012-9727-1>

- Volk, H. E.; Lurmann, F.; Penfold, B.; Hertz-Picciotto, I.; McConnell, R. 2013. Traffic-Related Air Pollution, Particulate Matter, and Autism. **Jama Psychiatry**, [S.L.], v. 70, n. 1, p. 71-77, 1 jan. 2013. American Medical Association (AMA). <http://dx.doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2013.266>
- Vormittag, E. M.P.A.; Rodrigues, C. G.; André, P. A. De; Saldiva, P. H. N. 2018. Assessment and Valuation of Public Health Impacts from Gradual Biodiesel Implementation in the Transport Energy Matrix in Brazil. **Aerosol and Air Quality Research**, [S.L.], v. 18, n. 9, p. 2375-2382. Taiwan Association for Aerosol Research. <http://dx.doi.org/10.4209/aaqr.2017.11.0449>.
- WHO (World Health Organization). 2006a. **Air quality guidelines: Global Update 2005**. https://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/outdoorair_agq/en/
- WHO (World Health Organization). 2006b. **Fuel for Life: household energy and health**. ISBN 92 4 156316 8. <https://www.who.int/airpollution/publications/fuelforlife.pdf>.
- WHO (World Health Organization). 2014. **Indoor air quality guidelines: household fuel combustion**. Geneva: WHO.
- WHO (World Health Organization). 2017. **Evolution of WHO Air Quality Guidelines: Past, Present, and Future**. BN 9789289052306. https://www.euro.who.int/___data/assets/pdf_file/0019/331660/Evolution-air-quality.pdf.
- WHO (World Health Organization). 2018a. **Burden of disease from the joint effects of household and ambient Air pollution for 2016**. Geneva; https://www.who.int/airpollution/data/AP_joint_effect_BoD_results_May2018.pdf?ua=1
- WHO (World Health Organization). 2018b. **Air pollution and child health: prescribing clean air**. Summary. Geneva: (WHO/CED/PHE/18.01). Licence: CC BY-NC-SA 3.0. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/275545/WHO-CED-PHE-18.01-eng.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Wu, X, R.C. Nethery, B.M. Sabath, D. Braun, e F. Dominici. 2020. **Exposure to air pollution and COVID-19 mortality in the United States: A nationwide cross-sectional study**. Preprint. medRxiv. 2020;2020.04.05.20054502. doi:10.1101/2020.04.05.20054502
- Ynoue, R. Y., Reboita, M. S., Ambrizzi, T., Silva, G. A. M. da, Boiaski, N. T. 2014. **Meteorologia**. São Paulo: USP/Univesp/Edusp.
- Zhao, Q., Z. Liang, S. Tao, J. Zhu, e Y. Du. 2011. Effects of air pollution on neonatal prematurity in Guangzhou of China: a time-series study. **Environ Health** Jan 10;10:2. doi: 10.1186/1476-069X-10-2. PMID: 21214958; PMCID: PMC3024279.
- Zhang, X., X. Chen, e X. Zhang. 2018 The impact of exposure to air pollution on cognitive performance. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 115, n. 37, p. 9193-9197.

AGRADECIMENTOS

O WRI Brasil e os autores deste estudo agradecem ao Instituto Clima e Sociedade (ICS) pelos apoios técnico, institucional e financeiro, sem os quais este trabalho e suas aspirações não seriam possíveis.

Agradecemos aos revisores que acompanharam o desenvolvimento deste estudo em diferentes etapas (em ordem alfabética): Américo Sampaio, André Ferreira, Andressa Anastacio, Angela Barbarulo, Beatriz Cárdenas, Carolina Genin, Cristina Albuquerque, David Tsai, Hannah Machado, Marina Barros, Rafael Feltran-Barbieri, Robin King, Samirys Rodrigues, Tatsatom Gonçalves e Viviane Romeiro.

Agradecemos a toda a equipe de comunicação do WRI Brasil, em especial a Bruno Felin, Fernanda Boscaini e Joana Oliveira.

Agradecemos também a Anaelena Lima e André Caramoni pela preparação e revisão do texto para publicação, e à Design de Maria pela diagramação deste estudo.

SOBRE OS AUTORES

Coordenação do Estudo: Walter Figueiredo De Simoni

André Albuquerque Sant'Anna é economista, doutor em economia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, economista do BNDES e professor colaborador da Universidade Federal Fluminense.

Contato: andrealbuquerque@id.uff.br

Ane Alencar é geógrafa, com mestrado em sensoriamento remoto e sistema de informação Geográfica pela Universidade de Boston, doutorado em recursos florestais e conservação pela Universidade da Flórida, é diretora de ciência do Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (Ipam).

Berta Pinheiro é geógrafa, mestre em engenharia de transportes e especialista em transportes e clima no WRI Brasil.

Contato: berta.pinheiro@wri.org

Carmen Araújo é engenheira de produção pela Escola Politécnica da USP, com especialização em gestão ambiental (Unicamp) e MBA em gestão de tecnologia da informação (FIA). Atualmente é diretora geral do ICCT Brasil (Conselho Internacional de Transporte Limpo Brasil).

Contato: carmen.araujo@theicct.org

Evangalina da M. P. A. de Araujo Vormittag é médica, doutora em patologia pela Faculdade de Medicina da USP e especialista em gestão de sustentabilidade pela Faculdade de Administração Getúlio Vargas SP. É idealizadora e diretora do ISS (Instituto Saúde e Sustentabilidade).

Contato: vanjav@saudeesustentabilidade.org.br

Hélio Wicher Neto é advogado e cientista social, mestre em planejamento e gestão do território pela Universidade Federal do ABC e coordenador de *advocacy* do ISS (Instituto Saúde e Sustentabilidade).

Contato: helio@saudeesustentabilidade.org.br

Kamyla Borges da Cunha é advogada formada pela Faculdade de Direito da USP, mestre e doutora em planejamento de sistemas energéticos pela Faculdade de Engenharia Mecânica da Unicamp. Trabalha no Instituto Clima e Sociedade na coordenação da Iniciativa de Eficiência Energética.

Contato: kamyla@climaesociedade.org

Marcel Martin Baptista de Faria é arquiteto e urbanista formado pela Universidade de São Paulo, mestre em planejamento e gestão do território pela Universidade Federal do ABC.

Contato: marcel@climaesociedade.org

Maria de Fatima Andrade é física, professora titular do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP. Membro da Academia Brasileira de Ciências. Desenvolve pesquisas na área de poluição do ar.

Contato: maria.andrade@iag.usp.br

Paulina Maria Porto Silva Cavalcanti é engenheira química, doutora em planejamento energético e ambiental e pesquisadora do Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente (Lima/Coppe-UFRJ).

Contato: paulina@lima.coppe.ufrj.br

Paulo Artaxo é professor do Instituto de Física da USP, onde coordena o Laboratório de Física Atmosférica. É membro do IPCC e da Academia Brasileira de Ciências.

Contato: artaxo@if.usp.br

Rudi Rocha é economista, com mestrado e doutorado em economia, é professor associado da FGV EAESP e diretor de pesquisa do IEPS.

Talita Esturba, engenheira ambiental e mestre em energia. Analista de Clima no WRI Brasil.

Contato: talita.esturba@wri.org

Walter Figueiredo De Simoni é economista formado pela Universidade de Tufts. É coordenador de clima e cidades do WRI Brasil.

Contato: wdesimoni@gmail.com

SOBRE O WRI BRASIL

O WRI Brasil é um instituto de pesquisa que transforma grandes ideias em ações para promover a proteção do meio ambiente, oportunidades econômicas e bem-estar humano. Atua no desenvolvimento de estudos e implementação de soluções sustentáveis em clima, florestas e cidades. Alia excelência técnica à articulação política e trabalha em parceria com governos, empresas, academia e sociedade civil.

O WRI Brasil faz parte do World Resources Institute ([WRI](http://wri.org)), instituição global de pesquisa com atuação em mais de 60 países. O WRI conta com o conhecimento de aproximadamente 1000 profissionais em escritórios no Brasil, China, Estados Unidos, Europa, México, Índia, Indonésia e África.