

Coletânea Interfaces entre Ambiente, Saúde e Sustentabilidade:
construindo diálogos e atuações interdisciplinares, n. 7

SUSTENTABILIDADE EM MÚLTIPLAS DIMENSÕES

TERRITÓRIO, INOVAÇÃO E JUSTIÇA SOCIOAMBIENTAL

Leandro Luiz Giatti
Thiago Nogueira
Allan Santos de Oliveira
Organizadores



Coletânea Interfaces entre Ambiente, Saúde e Sustentabilidade:
construindo diálogos e atuações interdisciplinares, n. 7

SUSTENTABILIDADE EM MÚLTIPLAS DIMENSÕES

TERRITÓRIO, INOVAÇÃO E
JUSTIÇA SOCIOAMBIENTAL

Leandro Luiz Giatti
Thiago Nogueira
Allan Santos de Oliveira
Organizadores

Universidade de São Paulo
Faculdade de Saúde Pública

São Paulo

2026





“Esta obra é de acesso aberto. É permitida a reprodução parcial ou total desta obra, desde que citada a fonte e a autoria e respeitando a Licença Creative Commons indicada.”

Os autores são exclusivamente responsáveis pelas ideias, conceitos, citações e imagens apresentadas neste livro.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Reitor: Aluísio Augusto Cotrim Segurado

Vice-Reitora: Liedi Légi Bariani Bernucci

FACULDADE DE SAÚDE PÚBLICA

Diretor: José Leopoldo Ferreira Antunes

Vice-Diretora: Patricia Constante Jaime

CONSELHO EDITORIAL

Angela Maria Belloni Cuenca (Presidente)

Alisson Diego Machado

Cláudia Raulino Tramontt

Denise Pimentel Bergamaschi

Gizelton Pereira Alencar

José Luiz Negrão Mucci

Lucas Salvador Andrietta

Maria do Carmo Avamilano Alvarez

Maria Tereza Pepe Razzolini

Mônica Mendes Gonçalves

Rodrigo Cardoso Bonicença

Organizadores

Leandro Luiz Giatti

Thiago Nogueira

Allan Santos de Oliveira

Produção e Realização

Programa de Pós-Graduação em Ambiente, Saúde e Sustentabilidade – Faculdade de Saúde Pública – USP

Produção Editorial

Edu Ambiental Serviços

Secretaria Editorial

Soraia Fernandes

Foto da Capa

Leandro Luiz Giatti

Apoio técnico:

Equipe da Biblioteca da

Faculdade de Saúde Pública da USP

Av. Dr. Arnaldo, 715

01246-904 – Cerqueira César – São Paulo – SP

<http://www.biblioteca.fsp.usp.br>

markt@fsp.usp.br

Catálogo na Publicação

Universidade de São Paulo. Faculdade de Saúde Pública

Sustentabilidade em múltiplas dimensões [recurso eletrônico] :

território, inovação e justiça socioambiental / organizadores Leandro Luiz Giatti, Thiago Nogueira, Allan Santos de Oliveira. -- São Paulo : Faculdade de Saúde Pública da USP, 2026.

PDF (363 p.) : il. color. – (Coletânea Interfaces entre Ambiente, Saúde e Sustentabilidade: construindo diálogos e atuações interdisciplinares; n. 7)

ISBN:

978-65-88304-30-3

DOI: 10.11606/9786588304303

1. Sustentabilidade. 2. Agricultura urbana. 3. Desenvolvimento sustentável. 4. Saúde. I. Giatti, Leandro Luiz. II. Nogueira, Thiago. III. Oliveira, Allan Santos de.

2

Produtos de qualidade do ar via sensoriamento remoto: aplicação em estudos de saúde pública

Israel Henrique Ribeiro Rios
Helena Ribeiro

INTRODUÇÃO

A Organização Mundial da Saúde (OMS) estimou que a cada ano, 7 milhões de mortes prematuras no mundo estão relacionadas à poluição do ar (Nações Unidas Brasil, 2021).

A poluição do ar tornou-se um fator de risco significativo, uma vez que há associações causais robustas entre a exposição a longo prazo ao poluente e a redução da expectativa de vida. As populações mais vulneráveis são crianças, idosos e pessoas que já apresentam doenças respiratórias devido às suas peculiaridades fisiológicas (Bakonyi *et al.*, 2004; Castro *et al.*, 2009; Fernandes *et al.*, 2020; Gonçalves; Castro; Hacon, 2012; Gouveia; Fletcher, 2000a; 2000b; Gouveia; Junger, 2018; Nascimento *et al.*, 2017). As partículas atmosféricas inaláveis (PM_{10}), especialmente as finas ($PM_{2,5}$) têm um impacto pronunciado na saúde humana, pois podem penetrar nos pulmões e na corrente sanguínea, causando doenças cardiovasculares, cerebrovas-

culares e respiratórias. A poluição do ar ambiente também leva à redução da função pulmonar, a infecções respiratórias e a asma (Engel-Cox *et al.*, 2013).

Acker *et al.* (2014) afirmam que a investigação das conexões entre o meio ambiente e as questões de saúde pública pode ser consideravelmente aprimorada pela incorporação de dados de sensoriamento remoto.

Bagheri (2023) aponta o número insuficiente de estações de monitoramento da qualidade do ar no solo. Alternativamente, dados de Profundidade Óptica do Aerossol – *Aerosol Optical Depth* (AOD), de satélite de alta resolução, podem ser empregados para o mapeamento de $PM_{2,5}$ em alta resolução. Para esse propósito, diferentes métodos baseados em dados têm sido utilizados na literatura.

Os instrumentos de satélite fornecem estimativas dos níveis de gases e partículas que são cruciais para avaliar a saúde humana, incluindo poluentes que não são detectáveis pelo olho humano. No entanto, a interpretação bem-sucedida dos dados de satélite requer uma compreensão de como os satélites se relacionam com outras fontes de dados, bem como os fatores que afetam sua aplicação aos desafios de saúde. A principal vantagem dos dados de satélite, em comparação com as medições *in situ*, por exemplo, de estações de monitoramento da qualidade do ar, é sua cobertura espacial. Os dados de satélite podem revelar onde os níveis de poluição são mais altos em todo o mundo, como os níveis mudaram nos períodos diários para decenais e onde os poluentes são transportados da escala urbana para a global. Até o momento, as aplicações de qualidade do ar e saúde utilizaram principalmente observações de satélite e produtos derivados de satélite relevantes para material particulado próximo à superfície $<2,5 \mu\text{m}$ de diâmetro ($PM_{2,5}$). De pesquisadores de saúde a gerentes de qualidade do ar e de aplicações globais a impactos na comunidade, os dados de satélite estão transformando a forma como a exposição à poluição do ar é avaliada (Holloway *et al.*, 2021, p. 2).

O uso de AOD para avaliar as concentrações de material particulado (MP) na atmosfera tem sido pesquisado ativamente há mais de uma década. Modelos mais avançados usando AOD podem estimar as concentrações diárias de $PM_{2,5}$ com acurácia relativamente alta. Essas estimativas são então calculadas espacialmente ou temporalmente.

Handschuh *et al.* (2022) discutem vários estudos realizados para derivar concentrações de $PM_{2,5}$ ao nível do solo a partir de medições colunares de AOD para diferentes regiões do mundo. Pesquisas anteriores demonstraram a existência de uma correlação linear entre AOD e concentrações

de MP no nível do solo (Donkelaar; Martin; Park, 2006; Gupta *et al.*, 2006; HIDY *et al.*, 2009; Schaap *et al.*, 2009; Zhang; Li, 2015). A associação entre as concentrações de AOD e MP baseadas em satélite varia principalmente devido a diferenças na composição do aerossol, condições climáticas e geografia local (Engel-Cox *et al.*, 2004; Schaap *et al.*, 2008; Yang *et al.*, 2019).

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivos explicar sucinatamente o uso da medição do AOD para estimar $PM_{2.5}$ a nível do solo, e apresentar os principais sistemas de coleta de dados e produtos de sensoriamento remoto para pesquisas na área de poluição atmosférica, contribuindo para estudos de saúde pública envolvendo este tema.

METODOLOGIA

Este capítulo é uma revisão narrativa da literatura sobre o tema de uso de imagens de satélite para avaliar a poluição atmosférica, identificando as tendências mais recentes. Para a realização deste texto, foi feita pesquisa em sites de busca acadêmica: Google Scholar, *PubMed* e sites de agências governamentais relacionados a dados de sensoriamento remoto *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e Copernicus (componente de observação da Terra do programa espacial da União Europeia).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As informações sobre os resultados da pesquisa, incluindo artigos e bancos de dados dos órgãos públicos espaciais, são mostradas no Quadro 2.1. Na busca, foram selecionados artigos, sites e documentações que tratassem de dados de sensoriamento coletados pela NASA e pelo Copernicus em estudos de qualidade do ar.

No Quadro 2.1, observa-se que o tema de uso de imagens de satélite para estudar poluição do ar, em artigos divulgados nas plataformas do Google Acadêmico e Pubmed, é relativamente recente. A maior parte dos artigos no tema data desta década. Para inclusão das informações referentes à interface de pesquisa de dados, foram utilizados os sítios eletrônicos de grupos de pesquisa e de órgãos públicos que disponibilizam dados de sensoriamento – como a NASA, o Copernicus e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), do Brasil.

Quadro 2.1 - Artigos encontrados na pesquisa e sites de produtos de sensoriamento

Google Acadêmico	PubMed	Sites universitários	Site da NASA	Site do Copernicus	Site do INPE
Wei <i>et al.</i> (2023)	Buya <i>et al.</i> (2025)	Washington University in St. Louis (2025)	EspectroRadiômetro de imagem multi-ângulo.	Reanálise global do CAMS (EAC4). CAMS [2025].	SISAM [2025]
Andreão (2020)	Bagheri (2023)				
Damascena (2020)	Xiao <i>et al.</i> (2022)		Hammer <i>et al.</i> (2020)		
Palmeira <i>et al.</i> (2019)	Holloway <i>et al.</i> (2021)				
Prados, Leptoukh e Gopalan (2008)					
Acker <i>et al.</i> (2014)				Schneider (2021)	

Fonte: Elaborado pelos autores.

Satélites e profundidade óptica de aerossóis (AOD)

No contexto dos satélites, AOD é uma medida da quantidade de MP que é derivada da energia solar refletida por essas partículas presentes na coluna atmosférica de volta ao espaço. Uma forma de caracterizar as partículas de aerossol é através da AOD, que indica a quantidade de MP suspenso em cada região. Valores baixos de AOD indicam uma baixa carga de aerossol em uma região, enquanto altos valores de AOD indicam uma alta carga de partículas. Os cálculos para estimativa deste parâmetro estão bastante detalhados nas informações de apoio de Hammer *et al.* (2020).

Ainda Hammer *et al.* (2020) afirmam que as concentrações de PM_{2,5} próximas da superfície não podem ser medidas diretamente a partir de satélites, mas sim inferidas usando modelos ou dados de monitoramento. Em vez de detectar PM_{2,5} diretamente, os satélites medem a AOD e outros mar-

cadores de carga de partículas na atmosfera. AOD é uma variável adimensional da luz solar por partículas na atmosfera; é determinada principalmente pela quantidade total, pelo tamanho e pelas características químicas das partículas. Como resultado, a relação entre AOD da coluna e $PM_{2,5}$ de superfície varia no espaço e no tempo.

As estimativas globais das concentrações e tendências anuais de $PM_{2,5}$ foram desenvolvidas usando avanços em observações de satélite, modelagem de transporte químico e monitoramento terrestre. Existem produtos derivados de reanálise, que são fruto de modelagem alimentados pelos dados de satélite; estes dados podem ser usados para suprir as lacunas de dados de poluição, sobretudo em países subdesenvolvidos – onde há deficiência no monitoramento da qualidade do ar por estações físicas.

No contexto brasileiro, Araujo e Rosário (2020) já utilizaram os dados de satélite para estudos de saúde em São Paulo. Ranjan, Patra e Gorai (2021), em trabalho feito no continente asiático, também utilizam esses tipos de dados. Bagheri (2023) utiliza método de aprendizado profundo a partir de dados de AOD. Buya *et al.* (2025) utilizam dados de satélite de alta resolução para evidenciar uma correlação entre exposição ao MP 2,5 e o aumento da mortalidade por doenças cardiorrespiratórias na Tailândia.

O *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) é um sensor de radiação de espectro visível a bordo dos satélites Terra e Aqua do *Earth Observing System* (EOS). O MODIS também mede as propriedades dos aerossóis – pequenas partículas líquidas ou sólidas na atmosfera. Os aerossóis entram na atmosfera a partir de fontes artificiais, como poluição e queima de biomassa, e fontes naturais, como tempestades de poeira, erupções vulcânicas e incêndios florestais.

Já os dados do sensor *Multi-angle Imaging Spectro-Radiometer* (MISR) podem distinguir diferentes tipos de nuvens, partículas de aerossol e superfícies. Especificamente, o MISR monitora tendências mensais, sazonais e de longo prazo: a quantidade e o tipo de partículas de aerossol atmosférico, incluindo aquelas formadas a partir de fontes naturais e atividades humanas; a quantidade, tipos e alturas das nuvens; e a distribuição da cobertura da superfície da terra, incluindo a estrutura do dossel da vegetação.

Há também o instrumento *SeaWiifs*. Sensores, incluindo o *SeaWiifs*, medem a irradiância em bandas específicas do espectro visível que são convertidas em valores de concentração de pigmento e atenuação de luz.

Alguns sensores que medem AOD são apresentados no Quadro 2.2, que também mostra os satélites associados a esses sensores.

Quadro 2.2 - Resumo das fontes de dados de aerossóis por Satélite

Satélite	Instrumento	Tempo de passagem (hora local no equador)	Algoritmo de recuperação	Período de tempo disponível	Resolução espacial	Resolução temporal
MODIS	Terra	10:30	Dark Target C6.1 / Deep Blue C6.1	2000 - presente	10 km × 10 km	Diariamente em condições viáveis
	Aqua	13:30	Deep Blue C6.1	2002 - presente	10 km × 10 km	Diariamente em condições viáveis
	Terra/Aqua Combined MAIAC	—	MAIAC	2000 - presente	1 km × 1 km	Semanalmente
MISR	Terra	10:30	MISR v23	2000 - presente	13 km × 13 km	Diariamente em condições viáveis
SeaWiFS	SeaStar	12:00	Deep Blue version 4	1997 - 2010	13 km × 13 km	Diariamente em condições viáveis

Fonte: Adaptado de Hammer *et al.* (2020).

A Figura 2.1 mostra os sensores dos satélites envolvidos no processamento de imagens para estimativa de AOD.

Instrumento	MODIS: Terra/Aqua (Sensor: Satélites que o contém)			MISR (Sensor)	SeaWiFS (Sensor)
					
Algoritmo de recuperação	Deep Blue	Dark Target	MAIAC	MISR	Deep Blue
Resolução horizontal	10 km	10 km	1 km	17.6 km	13.5 km

Figura 2.1 - Oito recuperações de AOD de quatro instrumentos diferentes
Fonte: Donkelaar *et al.* (2021).

Segundo Donkelaar *et al.* (2021), os instrumentos/sensores MODIS e MISR têm ampla cobertura espacial, permitindo que os sensores determinem o impacto de nuvens e aerossóis no balanço energético da Terra. O MODIS tem cobertura global quase diariamente (a cada 1-2 dias). O instru-

mento MISR voa a bordo do Terra, o principal satélite da frota do Sistema de Observação da Terra (EOS) da NASA. O ciclo de repetição da jornada terrestre é de cerca de 16 dias.

Além disso, os autores explicitam que o MODIS é usado para monitorar a concentração de massa de aerossol, propriedades ópticas e forçamento radiativo. Os algoritmos de produtos de dados de aerossóis aproveitam a ampla faixa espectral e a alta resolução espacial do MODIS com cobertura global diária. Esses recursos exclusivos do MODIS permitem uma excelente rejeição de nuvem, mantendo altas estatísticas de pixels sem nuvens.

De acordo com Araujo e Rosário (2020), em relação ao MP, a AOD é o principal produto derivado de medições de satélite capazes de fornecer uma estimativa da abundância desse contaminante na atmosfera. Com o aumento da resolução espacial dos sensores que monitoram o AOD para escalas consistentes com as dimensões urbanas (< 10 km), há um aumento no potencial de aplicação dessa medida, estimada por meio de satélites para avaliar a qualidade do ar ao redor da superfície terrestre (Donkelaar *et al.*, 2015).

Os aerossóis também podem alterar o balanço de energia terra-atmosfera e, portanto, contribuir para mudança climática, uma vez que podem afetar significativamente a temperatura, o ciclo hidrológico, os ecossistemas, a qualidade do ar, com impactos importantes na saúde humana e no meio ambiente.

Medidas de aerossóis são normalmente usadas [...] para a estimativa da concentração de MP no nível do solo, que é altamente ameaçadora para a saúde humana. Portanto, o monitoramento contínuo da concentração de aerossóis na região da baixa troposfera é muito necessário em grande e pequena escala para vários fins de planejamento e implementação (Ranjan; Patra; Gorai, 2021, p. 680, tradução nossa).

Segundo Hammer *et al.* (2020), o primeiro passo no cálculo das estimativas combinadas de $PM_{2,5}$ é a calibração comum das fontes de AOD. Cada fonte de informação é traduzida em uma grade comum de $0,05^\circ \times 0,05^\circ$. As calibrações locais são então expandidas globalmente, calculando cada pixel como a média ponderada de todas as calibrações locais específicas. Assim, existem duas etapas principais no algoritmo: a intercalibração do satélite e das fontes AOD simuladas e a estimativa de $PM_{2,5}$ combinada das fontes AOD calibradas. A Figura 2.2 mostra o gráfico referente ao processo de calibração dos dados com estações de monitoramento *in situ*.

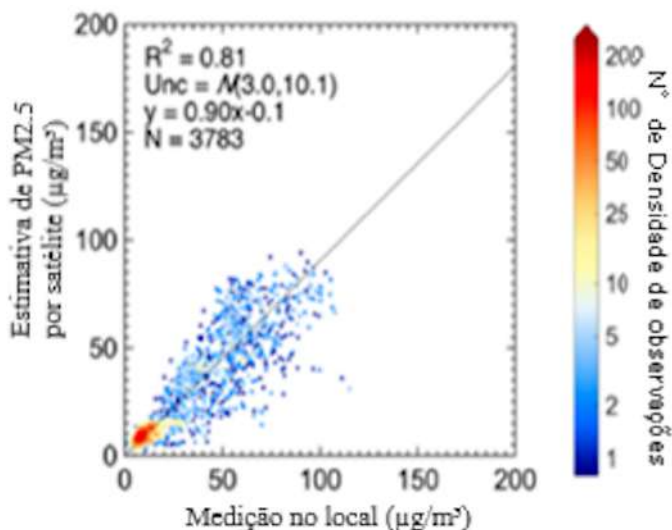


Figura 2.2 – Média anual mensurada por satélite de PM_{2.5} versus média anual coincidente in situ para ano de 2015

Fonte: Adaptado de Hammer *et al.* (2020).

Plataformas/sistemas de informação de dados de produtos de poluição

Centro de Dados e Aplicações Socioeconômicas (SEDAC)

O SEDAC é um dos Centros de Arquivo Ativo Distribuído (DAACs) no Sistema de Dados e Informações do Sistema de Observação da Terra (EOSDIS) da NASA. O conjunto de dados do sistema combina recuperações AOD de vários algoritmos de satélite, incluindo a coleção derivada de espectrorradiômetros de alta resolução da NASA. Os dados de MP e outros parâmetros estão dentro do conjunto de dados de “*Health and Environment*” no site SEDAC da NASA conforme interface mostrada na Figura 2.3.

Imagens de satélite podem ser baixadas na plataforma *EarthData* da NASA, um sistema de dados de satélite com vários tipos de informações para estudos de usuários e pesquisadores interessados.

SEDAC
Socioeconomic Data and Applications Center

NASA's Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC) focuses on archiving and distributing data related to human interactions in the environment. SEDAC synthesizes Earth science and socioeconomic data and information in ways useful to a wide range of decision-makers and other applied users, and seeks to improve access to and use of key socioeconomic and interdisciplinary data that are or can be integrated with remote sensing data.

SEDAC develops and maintains extensive fundamental data on human settlements, infrastructure, and population that underpin many different science and application areas.

LOCATION
Palisades, NY

MANAGER
Alex de Sherbinin
[View All Projects](#)

FOUNDED
1984

PARTNERS
CIRESIN, Columbia University

Overview Mission Projects Partners

SEDAC has extensive geospatial data holdings covering the following thematic areas:

- Agriculture and Food Security
- Climate Impacts, Vulnerability, and Adaptation
- Biodiversity, Conservation, and Protected Areas
- Environmental Governance and International Treaties
- Hazards and Disaster Risk
- Health and the Environment

Figura 2.3 – Plataforma do Centro de Aplicações e Dados Socioeconômicos (SEDAC – NASA)

Fonte: NASA [2025b].

Giovanni

Giovanni é uma ferramenta baseada na web para visualização e exploração de dados de Ciências da Terra da NASA. Os produtos de dados de satélite de qualidade do ar disponíveis através da Giovanni incluem observações de AOD de modo fino e total em grade do instrumento MODIS; Índice de Aerossol UV, AOD, coluna de SO₂ e coluna troposférica de NO₂ do Instrumento de Monitoramento de Ozônio (OMI); AOD do MISR.

A variedade de dados disponíveis torna o Giovanni uma ferramenta valiosa para investigar diferentes questões de saúde pública. Um dos principais atributos de Giovanni é a facilidade de uso. Pesquisadores que geralmente não estão familiarizados com dados de sensoriamento remoto podem usar o sistema para encontrar dados aplicáveis à sua área de estudo e empregá-los. Para Acker *et al.* (2014), o uso de Giovanni para pesquisar conexões entre questões de saúde pública e o meio ambiente e clima da Terra, potencialmente exacerbado pela influência antrópica, tem sido cada vez mais demonstrado.

A Figura 2.4 mostra a interface de pesquisa de dados de Giovanni, obtida pelo site Giovanni NASA.

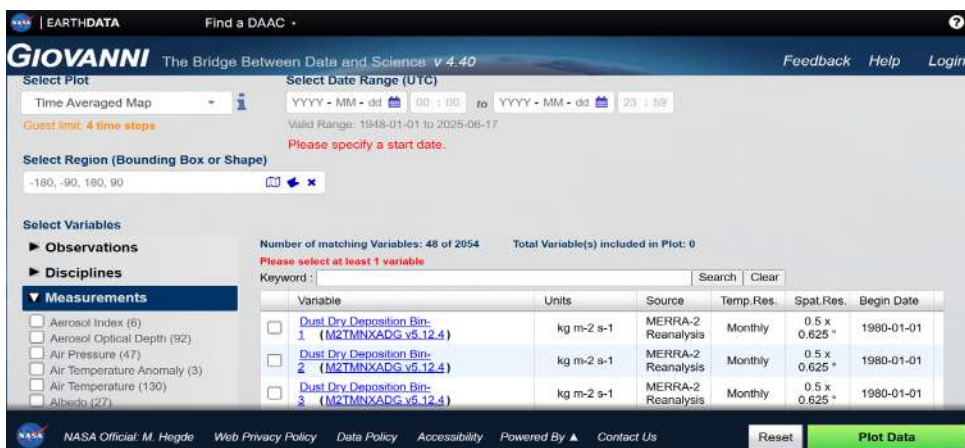


Figura 2.4 – Interface de busca de dados GIOVANNI-NASA

Fonte: NASA [2025a].

No âmbito dos estudos em saúde, pode-se descrever a relevância de diversos parâmetros para a saúde pública, como MP e monóxido de carbono, por exemplo. Outra situação em que pode ser útil é o uso de dados de sensoriamento remoto de Giovanni para avaliar as associações entre influenza (gripe) sazonal e parâmetros meteorológicos.

CAMS

Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) fornece informações consistentes e com controle de qualidade relacionadas com a poluição atmosférica e a saúde, a energia solar, os gases de efeito estufa e as forças climáticas em todo o mundo.

O CAMS é um dos seis serviços que formam o Copernicus, o programa de observação da Terra da União Europeia, que monitora nosso planeta e seu meio ambiente para o benefício final de todos os cidadãos europeus. O Copernicus oferece serviços de informação baseados na observação da Terra por satélite, dados in situ (não gerados por satélites) e por modelagem.

Xiao *et al.* (2022) discutem que os conjuntos de dados de reanálise existentes integram principalmente a precisão de várias observações, por meio de técnicas sofisticadas de assimilação e modelagem de dados que podem preservar a consistência espacial e a continuidade temporal. Os produtos típicos de reanálise são a reanálise do CAMS produzida pelo Centro Europeu de Previsões Meteorológicas de Médio Prazo (ECMWF) e o conjunto de dados de repetição no sistema de previsão de composição do *God-*

ard Earth Observing System (GEOS-CF) do Escritório Global de Modelagem e Assimilação da NASA (GMAO).

Nos últimos anos, o Copernicus tem fornecido uma quantidade sem precedentes de dados ambientais sobre os dias ou meses passados, presentes e futuros, bem como de projeções climáticas. Esses dados cobrem todo o globo e geralmente combinam observações de satélite e não satélite com modelos numéricos para fornecer informações robustas e atualizadas regularmente para usuários do setor de bem-estar e saúde. Os dados são pesquisados conforme mostrado na Figura 2.5, no site COPERNICUS DATASETS.

The image shows the Copernicus DATASETS interface for CAMS global reanalysis (EAC4). The interface is organized into several sections:

- Header:** Includes logos for Copernicus, ECMWF, and Atmosphere Monitoring Service, along with navigation links for Home, Search, Datasets, and Support.
- Navigation:** Tabs for Overview, Download data, and Documentation.
- Fast vs slow data:** A section with a warning: "PLEASE NOTE: any data labelled as 'slow access' is stored on tape instead of disk. Retrieval of this data will be MUCH SLOWER than disk-resident data. You should not select any tape-resident data unless absolutely required for your purposes."
- Surface data:** A section with the instruction: "To obtain surface values of three dimensional (multi-level) variables, select the variable required and model level 60."
- Variable:** A section with a dropdown menu showing options: Single level, Multi level, and Slow access. A "Select all" link is visible at the bottom right.
- Date:** A section with "Start" and "End" date pickers, both set to 2003-01-01.
- Time:** A section with a dropdown menu showing time intervals: 00:00, 03:00, 06:00, 09:00, 12:00, and 15:00. A "Select all" link is visible at the bottom right.
- Area:** A section with a dropdown menu showing "Full model area".

Figura 2.5 – Interface de pesquisa de dados CAMS

Fonte: CAMS [202-].

O Copernicus também pode ser muito útil para identificar áreas propensas ao surgimento e à propagação de epidemias, que dependem muito de fatores ambientais, como presença de água, de condições de sa-

neamento, de alimentos ou qualidade do ar. Estudos de cientistas como Rochelle Schneider, pesquisadora da Agência Espacial Europeia, usam o CAMS e mostram que dados de satélites de observação da Terra, modelos climáticos e atmosféricos oferecem a cobertura espaço-temporal necessária para reconstruir exposições humanas históricas à poluição do ar. Schneider (2021) apresenta as contribuições das plataformas de dados utilizadas, que são usadas em artigos nos anos subsequentes.

SISAM

Para Setzer e Ferreira (2022), o Sistema de Informações Ambientais Integrado à Saúde (SISAM), desenvolvido desde 2008 para o Ministério da Saúde (MS) em conjunto com a Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Saúde (Fiotec) e Universidade do Estado de Mato Grosso (Unemat), é destinado a estudos de impacto na saúde humana em função da ocorrência de queimadas, das condições meteorológicas e dos níveis de poluentes atmosféricos. Segundo Palmeira *et al.* (2019), estudos epidemiológicos e dados hospitalares, sobretudo em grupos mais vulneráveis de crianças e idosos, levaram o MS a incluir as queimadas entre os indicadores na vigilância em saúde pública a partir de 2006. Consequentemente, a localização dos focos de queima e as estimativas de poluentes de suas emissões passaram a ser relevantes na análise de seus efeitos na saúde humana.

O INPE, dentro do sistema de dados do SISAM, consolida um conjunto de dados ambientais, meteorológicos e de poluentes atmosféricos para todos os municípios do Brasil. O banco de dados do SISAM é composto por variáveis obtidas a partir de imagens de satélite e análises numéricas. As variáveis disponibilizadas pelo sistema são: concentrações de monóxido de carbono, ozônio, dióxido de nitrogênio, dióxido de enxofre e MP de 2,5 μm ; velocidade e direção do vento, temperatura do ar, umidade relativa, precipitação acumulada e manchas de queima de vegetação. Os dados de qualidade do ar estão disponíveis desde o ano 2000. Se localizam no site: SISAM DADOS.

Sites de pesquisas e estudos universitários

O Grupo de Análise da Composição Atmosférica, associado à Universidade de Washington em St. Louis, oferece versões mais antigas e atuais envolvendo o campo da estimativa de $\text{PM}_{2,5}$ via sensoriamento remoto. Os dados contêm arquivos em diferentes resoluções e a incerteza prevista para estimar esse parâmetro.

Também os dados fornecidos pela Universidade de Maryland produzem um conjunto de dados globais de poluentes do ar ambiente de alta resolução e alta qualidade sobre a Terra. É um conjunto de dados global de $PM_{2,5}$ sem lacunas (cobertura espacial de 100%) derivados de cobertura diária, mensal e anual de 1 km sobre a Terra. A Figura 2.6 mostra as plataformas de coleta de dados mencionadas, localizadas nos sites do Arquivo de $PM_{2,5}$ da Washington University e Produtos de $PM_{2,5}$ da University of Maryland.

The image shows two screenshots. The top one is from the Washington University in St. Louis Atmospheric Composition Analysis Group website, specifically the 'Satellite-derived PM2.5 Archive' page. It features a navigation bar with links like 'RESEARCH', 'PUBLICATIONS & PRESENTATIONS', 'GEOS-CHEM', 'SATELLITES', 'DATASETS', 'SPARTAN', and 'GROUP INFO'. The main content area includes a 'Contents' section with links to 'V5.GL.03' and 'V4.NA.03', and a 'Global/Regional Estimates (V5.GL.03):' section. On the right, there is a 'Datasets' sidebar with a list of datasets including 'Satellite-derived PM2.5', 'Satellite-derived PM2.5 Archive', 'GEO-MAPS - Global', 'Surface NO2', 'Historical PM2.5 across North America', 'Inverse Visibility', 'OH/OC Dataset', 'Surface Area', 'NOy Deposition', and 'Dry Deposition'. The bottom screenshot is from Zenodo, showing a record for 'GHAP: Global High-resolution and High-quality Ambient Air Pollutants Dataset over Land'. It includes the title, URL, project name 'University of Maryland, College Park', and a list of versions with dates and download links.

Figura 2.6 – Interface de pesquisa de dados das Washington University e University of Maryland

Fonte: Washington University in St. Louis (2025), Wei *et al.* (2022).

CONCLUSÃO

Os sistemas de informação de dados de qualidade do ar, incluindo os de MP obtidos por satélites, podem ser ferramentas importantes para estudar as condições de poluição em países ao redor do mundo e sua possível relação com a saúde da sociedade. Em países de baixa e média renda, principalmente, com recursos financeiros limitados, o custo do monitoramento dos parâmetros de qualidade do ar em terra, com equipamentos tradicionais, é elevado, tornando necessárias abordagens alternativas para estudos de saúde relacionados à poluição atmosférica.

No entanto, muitos dos dados de monitoramento terrestre, usados para calibração em estudos com dados de satélite, são de países europeus, asiáticos (principalmente China e Índia) e norte-americanos. Nessas circunstâncias, é importante fortalecer os sistemas globais de informação de qualidade alimentados por tecnologia avançada de sensoriamento remoto e realizar calibrações e validações de dados com estações de monitoramento, envolvendo especificamente países da América Latina, África e Oceania. Isso fornecerá evidências mais robustas para o uso desses dados e aprimorará o campo do monitoramento baseado em satélite, bem como refinará seus benefícios para pesquisas em saúde pública e global.

As comunidades de cientistas, governos e organizações não-governamentais, que estudam saúde e qualidade do ar, têm se tornado cada vez mais engajadas no uso de dados de satélite, e essa tendência deve continuar em vista dos desenvolvimentos científicos e das necessidades de evidências para tomada de decisões em políticas públicas. De pesquisadores de saúde a gerentes de qualidade do ar e de aplicações globais a impactos na comunidade, os dados de satélite estão transformando a forma como a exposição à poluição do ar é avaliada.

Com esses desafios em mente, este manuscrito explorou como os avanços nas tecnologias de monitoramento da Terra podem fornecer melhores estimativas de aerossóis para estudos de saúde. É importante correlacionar esses dados com informações de saúde para subsidiar evidências científicas, sejam elas relacionadas a internações por doenças cardiorrespiratórias ou à compreensão dos anos de vida perdidos devido à poluição do ar por inúmeras outras doenças, principalmente nas grandes metrópoles.

REFERÊNCIAS

ACKER, J. *et al.* Use of the NASA Giovanni data system for geospatial public health research: example of weather-influenza connection. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, v. 3, n. 4, p. 1372-1386, 2014. <https://doi.org/10.3390/ijgi3041372>

ANDREÃO, W. L. *Estimate of public health benefits resulting from an air quality improvement*. 2020. Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2020.

ARAÚJO, J. M.; ROSÁRIO, N. M. E. Poluição atmosférica associada ao material particulado no estado de São Paulo: análise baseada em dados de satélite. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais (RBCIAMB)*, v. 55, n. 1, p. 32-47, 2020. <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820200552>

BAKONYI, S. M. C. *et al.* Poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba, PR. *Revista de Saúde Pública*, v. 38, p. 695-700, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0034-89102004000500012>

BAGHERI, H. Using deep ensemble forest for high-resolution mapping of PM_{2.5} from MODIS MAIAC AOD in Tehran, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 195, n. 3, p. 377, 2023.

BUYA, S. *et al.* Spatiotemporal association between monthly PM_{2.5} levels and cardiorespiratory mortality in Thailand (2015–2019). *International Journal of Environmental Health Research*, p. 1-12, 2025.

CAMS. Datasets. *CAMS global reanalysis (EAC4)*. [202-]. Copernicus. Disponível em: <https://ads.atmosphere.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/cams-global-reanalysis-eac4?tab=form>. Acesso em: 09 abr. 2024.

CASTRO, H. A. *et al.* Effect of air pollution on lung function in school children in Rio de Janeiro, Brazil. *Revista de Saúde Pública*, v. 43, p. 1-8, 2009. <https://doi.org/10.1590/s0034-89102009000100004>

COPERNICUS. *Copernicus and Public Health*. 2021. Disponível em: <https://www.copernicus.eu/en/events/events/copernicus-and-public-health>. Acesso em: 09 abr. 2024.

DAMASCENA, A. S. *Modelo espaço-temporal para a predição da concentração de material particulado fino na Região Metropolitana de São Paulo*. 2020. Tese (Doutorado em Patologia) – Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2020.

DONKELAAR, A. V.; MARTIN, R. V.; PARK, R. J. Estimating ground-

-level PM_{2.5} using aerosol optical depth determined from satellite remote sensing. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v. 111, D21201, 2006. <https://doi.org/10.1029/2005JD006996>

DONKELAAR, A. V.; MARTIN, R. V.; BRAUER, M.; BOYS, B. L. Use of satellite observations for long-term exposure assessment of global concentrations of fine particulate matter. *Environmental Health Perspectives*, v. 123, n. 2, p. 135-143, 2015. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25343779/> Acesso em: 10 dez. 2025.

DONKELAAR, A. V. *et al.* Monthly global estimates of fine particulate matter and their uncertainty. *Environmental Science & Technology*, v. 55, n. 22, p. 15287-15300, 2021.

ENGEL-COX, J. A., HOLLOMAN, C. H., COUTANT, B. W., HOFF, R. M. Qualitative and quantitative evaluation of MODIS satellite sensor data for regional and urban scale air quality. *Atmospheric Environment*, v. 38, n. 16, p. 2495-2509, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.01.039>

ENGEL-COX, J. *et al.* Toward the next generation of air quality monitoring: particulate matter. *Atmospheric Environment*, v. 80, p. 584-590, 2013.

FERNANDES, M. A. O.; ANDREÃO, W. L.; MACIEL F. M.; ALBUQUERQUE, T. T. A. Avoiding hospital admissions for respiratory system diseases by complying to the final Brazilian air quality standard: an estimate for Brazilian southeast capitals. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 27, p. 35889-35907, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07772-x>

GONÇALVES, K. S.; CASTRO, H. A.; HACON, S. S. As queimadas na região amazônica e o adoecimento respiratório. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 17, p. 1523-1532, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232012000600016>

GOUVEIA, N.; FLETCHER, T. Time series analysis of air pollution and mortality: effects by cause, age and socioeconomic status. *Journal of Epidemiology and Community Health*, v. 54, p. 750-755, 2000a.

GOUVEIA, N.; FLETCHER, T. Respiratory diseases in children and outdoor air pollution in São Paulo, Brazil: a time series analysis. *Occupational and Environmental Medicine*, v. 57, p. 477-483, 2000b.

GOUVEIA, N.; JUNGER, W. L. Effects of air pollution on infant and children respiratory mortality in four large Latin-American cities. *Environmental Pollution*, v. 232, p. 385-391, 2018.

GUPTA, P. *et al.* Satellite remote sensing of particulate matter and air qua-

lity assessment over global cities. *Atmospheric Environment*, v. 40, n. 30, p. 5880-5892, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.03.016>

HAMMER, M. S. *et al.* Supporting information for Global estimates and long-term trends of fine particulate matter concentrations (1998–2018). *Environmental Science & Technology*, v. 54, n. 13, p. 7879-7890, 2020. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c01764>

HANDSCHUH, J. *et al.* Estimating PM_{2.5} surface concentrations from AOD: A combination of SLSTR and MODIS. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v. 26, p. 100716, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100716>

HIDY, G. M. *et al.* Remote Sensing of Particulate Pollution from Space: Have We Reached the Promised Land? *Journal of the Air & Waste Management Association*, v. 59, n. 6, p. 645-675, 2009. <https://doi.org/10.3155/1047-3289.59.10.1130>

HOLLOWAY, T. *et al.* Satellite Monitoring for Air Quality and Health. *Annual Review of Biomedical Data Science*, v. 4, p. 417-447, 2021. <https://doi.org/10.1146/annurev-biodatasci-110920-093120>

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. *Novas diretrizes da OMS sobre qualidade do ar reduzem valores seguros para poluição*. 23 set. 2021. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/145721-novas-diretrizes-da-oms-sobre-qualidade-do-ar-reduzem-valores-seguros-para-polui%C3%A7%C3%A3o> Acesso em: 11 jun. 2025.

NASCIMENTO, A. P. *et al.* Associação entre concentração de partículas finas na atmosfera e doenças respiratórias agudas em crianças. *Revista de Saúde Pública*, v. 51, p. 1-10, 2017.

NASA. *Giovanni*. [2025a]. Disponível em: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/> Acesso em: 13 out. 2025.

NASA. Socioeconomic Data and Applications Center. *Data Catalog*. [2025b]. Disponível em: <https://www.earthdata.nasa.gov/centers/sedac-daac> Acesso em: 14 out. 2025.

PALMEIRA, A. F. *et al.* The Environmental Health Information System-SISAM INPE-MS/PAHO. *Brazilian Biodiversity*, v. 9, n. 1, p. 245-245, 2019.

PRADOS, A. I.; LEPTOUKH, G.; GOPALAN, A. Visualization, exploration, and model comparison of nasa air quality: remote sensing data via Giovanni. In: *7th Annual CMAS Conference*, Chapel Hill. 2008. p. 6-8. Dis-

ponível em: https://www.cmascenter.org/conference/2008/abstracts/prados_visualization_exploration_cmas08.pdf. Acesso em: 04 out. 2024.

RANJAN, A. K.; PATRA, A. K.; GORAI, A. K. A review on estimation of particulate matter from satellite-based aerosol optical depth: Data, methods, and challenges. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, v. 57, p. 679-699, 2021. <https://doi.org/10.1007/s13143-020-00215-0>

SCHAAP, M. *et al.* Evaluation of MODIS aerosol optical thickness over Europe using sun photometer observations. *Atmospheric Environment*, v. 42, n. 9, p. 2187-2197, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.11.044>

SCHAAP, M. *et al.* Exploring the relation between aerosol optical depth and PM_{2.5} at Cabauw, the Netherlands. *Atmospheric Chemistry and Physics*, v. 9, p. 909-925, 2009. <https://doi.org/10.5194/acp-9-909-2009>

SCHNEIDER, R. *Using CAMS data for downscaling in support of public health applications*. 2021. Disponível em: https://www.copernicus.eu/sites/default/files/2021-09/September%2016_%2014h20_Rochelle%20Schneider.pdf Acesso em: 09 abr. 2024.

SETZER, A. W.; FERREIRA, N. J. (Ed.). *Queimadas e incêndios florestais: mediante monitoramento orbital*. São Paulo: Oficina de Textos, 2022.

SISAM. *Sistema de Transferência de Dados*. [202-]. Disponível em: <https://dataserver-coids.inpe.br/queimadas/queimadas/sisam/> Acesso em: 04 set. 2024.

WASHINGTON UNIVERSITY IN ST. LOUIS. *Atmospheric Composition Analysis Group*. 2025. Disponível em: <https://sites.wustl.edu/acag/datasets/surface-pm2-5-archive/> Acesso em: 09 abr. 2024.

WEI, J. *et al.* GlobalHigh PM_{2.5}: Global Daily Seamless 1 km Ground-Level PM_{2.5} Dataset over Land (2017–Present). *Nature Communications*, v. 14, 8349, 2022. Disponível em: <https://zenodo.org/records/10800980> Acesso em: 14 out. 2025.

WEI, J. *et al.* First close insight into global daily gapless 1 km PM_{2.5} pollution, variability, and health impact. *Nature Communications*, v. 14, p. 8349, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-43862-3>

YANG, Q.; YUAN, Q.; YUE, L.; LI, T.; SHEN, H.; ZHANG, L. The relationships between PM_{2.5} and aerosol optical depth (AOD) in mainland China: about and behind the spatio-temporal variations. *Environmental Pollution*, v. 248, p. 526-535, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.02.071>

XIAO, Y. *et al.* Generating a long-term (2003–2020) hourly 0.25° global PM_{2.5} dataset via spatiotemporal downscaling of CAMS with deep learning (DeepCAMS). *Science of The Total Environment*, v. 848, 157747, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157747>

ZHANG, Y.; LI, Z. Remote sensing of atmospheric fine particulate matter (PM_{2.5}) mass concentration near the ground from satellite observation. *Remote Sensing of Environment*, v. 160, p. 252-262, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.02.005>