

PERFIL EPIDEMIOLÓGICO E DISPARIDADES SOCIODEMOGRÁFICAS DAS INTOXICAÇÕES POR METAIS NO BRASIL: UMA ANÁLISE DA REGIÃO SUDESTE (2020–2025)

EPIDEMIOLOGICAL PROFILE AND SOCIODEMOGRAPHIC DISPARITIES OF METAL POISONINGS IN BRAZIL: AN ANALYSIS OF THE SOUTHEAST REGION (2020–2025)

Helton John Carlos Ferreira¹

Marlon Santos Carvalho²

Isabela Cristina Sousa³

Julia Gonçalves Rodrigues⁴

Ana Clara Melo de Andrade Rodrigues⁵

Josiane Pinheiro Botelho⁶

Marcos de Lucca Moreira Gomes⁷

Fernanda Carolina Ribeiro Dias⁸

RESUMO

A intensificação das atividades antrópicas e o manejo inadequado de resíduos no Brasil elevaram a exposição humana a metais pesados, tornando-se um desafio crítico para a saúde pública. O estudo analisou o perfil epidemiológico e as disparidades sociodemográficas das intoxicações por metais no país, com foco na Região Sudeste, entre 2020 e 2025. Realizou-se uma pesquisa retrospectiva e transversal fundamentada em dados secundários do SINAN/DATASUS, utilizando estatística descritiva e inferencial para tratar variáveis clínicas e sociais. Verificou-se um crescimento de 203,2% nas notificações nacionais até 2024, com a Região Sudeste consolidando-se como epicentro devido a atividade industrial e minerária e apresentando uma dependência de 50,25% do critério clínico para diagnóstico. Identificaram-se marcantes disparidades territoriais, com a população negra sendo a mais afetada em Minas Gerais, enquanto riscos ocupacionais prevaleceram no público masculino em São Paulo. Concluiu-se que o aumento das notificações e as fragilidades na infraestrutura laboratorial exigem o fortalecimento da toxicovigilância e de políticas públicas integradas para proteger as populações vulnerabilizadas.

PALAVRAS-CHAVE: Toxicovigilância; Saúde Ambiental; Mineração; Sustentabilidade; Racismo Ambiental.

¹ Graduando no curso de Geografia pela Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ).

² Graduando no curso de Ciências Biológicas pela Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ).

³ Graduanda no curso de Ciências Biológicas pela Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ).

⁴ Graduanda no curso de Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM).

⁵ Graduanda no curso de Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM).

⁶ Pós-Graduanda no Programa de Pós-graduação em Ciências Morfofuncionais da Universidade Federal de São João Del-Rei (UFSJ).

⁷ Doutor em Biologia Molecular e Morfofuncional pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e Professor adjunto do Departamento de Biologia Estrutural da Universidade Federal do Triângulo Mineiro.

⁸ Doutora em Biologia Celular e Estrutural pela Universidade Federal de Viçosa (UFV) e Professora visitante do Departamento de Ciências Naturais da Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ).

ABSTRACT

The intensification of anthropogenic activities and inadequate waste management in Brazil have increased human exposure to heavy metals, representing a critical challenge for public health. This study analyzed the epidemiological profile and sociodemographic disparities of metal poisonings in the country, focusing on the Southeast Region, between 2020 and 2025. A retrospective and cross-sectional study was conducted using secondary data from SINAN/DATASUS, employing descriptive and inferential statistics to process clinical and social variables. A 203.2% growth in national notifications was observed through 2024, with the Southeast Region emerging as the epicenter due to industrial and mining activities and showing a 50.25% reliance on clinical criteria for diagnosis. Significant territorial disparities were identified, with the black population being the most affected in Minas Gerais, while occupational risks prevailed among males in São Paulo. It was concluded that the increase in notifications and the weaknesses in laboratory infrastructure necessitate the strengthening of toxicovigilance and integrated public policies to protect vulnerable populations.

KEYWORDS: Toxicovigilance; Environmental Health; Mining; Sustainability; Environmental Racism.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a intensificação das atividades antrópicas em escala global, impulsionada pelo avanço da urbanização e industrialização, resultou em severos impactos ambientais. Esse processo de deterioração da qualidade ambiental está frequentemente associado à falta de tratamento adequado de efluentes domésticos e industriais, o que torna a água um recurso limitado e gera preocupações em diversas escalas (CHIBA *et al.*, 2011; ALMEIDA *et al.*, 2011). Agentes como crescimento populacional, a expansão da agropecuária e a industrialização intensificam a contaminação hídrica, representando um desafio crítico para a saúde pública atual (HONORATO *et al.*, 2025).

Entre os contaminantes de maior preocupação se destacam os metais pesados, devido à sua persistência no ambiente, elevado potencial de toxicidade e capacidade de bioacumulação. O mercúrio (Hg), por exemplo, é considerado um dos elementos não radioativos mais tóxicos do mundo, caracterizando-se por ser onipresente, indestrutível. Sua onipresença decorre da capacidade de circular continuamente entre todos os compartimentos ambientais (ar, água, solos e biota) através de fontes naturais, emissões antropogênicas e processos de remobilização atmosférica, o que torna a exposição humana praticamente inevitável em diversas escalas (VIANNA *et al.*, 2019; BRASIL, 2023). Paralelamente, o metal é considerado indestrutível por ser um elemento químico básico e não biodegradável, ou seja, ele não pode ser decomposto em substâncias menos tóxicas, permanecendo persistente nos ecossistemas e sofrendo biomagnificação ao longo da cadeia trófica por tempo indeterminado (VIANNA *et al.*, 2019; SANTANA E NASCIMENTO, 2024). Além disso, ele é capaz de comprometer múltiplos sistemas orgânicos, com destaque para danos severos ao sistema nervoso central (neurotoxicidade) e aos rins (nefrotoxicidade) (BRASIL, 2023). Outros elementos, como

chumbo (Pb), estão relacionados a quadros de irritabilidade e danos neurológicos, enquanto o manganês (Mn), quando associado ao ferro (Fe), pode prejudicar o metabolismo e o crescimento celular (FERNANDES *et al.*, 2025). A exposição humana a esses elementos ocorre majoritariamente por meio da inalação de vapores, ingestão de água e consumo de alimentos contaminados, como pescados e olerícolas, uma vez que tais metais não sofrem eliminação acelerada pelos ecossistemas (VIANNA *et al.*, 2019; FERNANDES *et al.*, 2007).

No cenário brasileiro, as intoxicações por metais estão historicamente associadas a atividades mineradoras, industriais e ao manejo inadequado de resíduos sólidos (CHIBA *et al.*, 2011; VIANNA *et al.*, 2019; ALMEIDA *et al.*, 2011). Adicionalmente, a integridade das bacias hidrográficas nacionais tem sido severamente comprometida pela ocorrência de desastres tecnológicos de grande magnitude, que liberam rejeitos tóxicos persistentes e geram passivos ambientais e sanitários que podem perdurar por décadas (GONÇALVES *et al.*, 2025; HONORATO *et al.*, 2025).

A distribuição espacial desses casos ocorre de forma desigual no território brasileiro, refletindo diretamente as disparidades industriais e econômicas entre as grandes regiões (CHIBA *et al.*, 2011; ALMEIDA *et al.*, 2011). Nesse cenário, a Região Sudeste se justifica como o foco central deste estudo por constituir o principal polo industrial e minerário do país, o que a posiciona em uma zona de elevada vulnerabilidade a agravos de saúde ambiental (HONORATO *et al.*, 2025; VIANNA *et al.*, 2019).

No estado de Minas Gerais, a histórica dependência econômica da extração mineral, concentrada principalmente na região do Quadrilátero Ferrífero, exerce uma pressão contínua e severa sobre os recursos hídricos e os ecossistemas locais (FERNANDES *et al.*, 2025; HONORATO *et al.*, 2025). Essa fragilidade ambiental foi drasticamente evidenciada pelos rompimentos das barragens de Fundão (2015) e da Mina Córrego do Feijão (2019), cujos rejeitos liberados continham milhões de metros cúbicos de sedimentos enriquecidos com ferro, manganês e arsênio, resultando em impactos na saúde das populações que podem persistir por gerações (GONÇALVES *et al.*, 2025; HONORATO *et al.*, 2025).

Paralelamente, o estado de São Paulo apresenta um perfil de risco distinto, mas igualmente crítico, onde a contaminação está intrinsecamente vinculada à urbanização intensa e à presença de distritos industriais consolidados (CHIBA *et al.*, 2011; HIRATA E SUHOGUSOFF, 2019). Nestas áreas, o manejo inadequado de resíduos e o descarte de produtos como baterias e lâmpadas fluorescentes em lixões favorecem a contaminação de aquíferos e águas superficiais por metais como cádmio, chumbo e níquel (CHIBA *et al.*, 2011; HIRATA E SUHOGUSOFF, 2019).

Diante desse panorama de alta pressão antrópica, que combina o passivo ambiental da mineração em Minas Gerais com os desafios do crescimento urbano-industrial em São Paulo, torna-

se imperativo investigar o perfil epidemiológico das intoxicações por metais na região (CHIBA *et al.*, 2011; ALMEIDA *et al.*, 2011). Compreender a dinâmica dessas notificações é fundamental para subsidiar ações de vigilância em saúde e orientar a formação de políticas públicas integradas que visem a proteção das populações expostas a esses contaminantes persistentes (HONORATO *et al.*, 2025; VIANNA *et al.*, 2019).

Além disso, este estudo apresenta forte aderência aos compromissos da Agenda 2030, especificamente ao ODS 3 (Saúde e Bem-Estar), ao caracterizar o perfil epidemiológico das intoxicações por metais e seus impactos deletérios sobre a saúde da população. Adicionalmente, o estudo contribui para o ODS 10 (Redução das Desigualdades), uma vez que a análise das disparidades sociodemográficas permite identificar e dar visibilidade aos grupos mais vulneráveis à exposição e aos agravos químicos. Dessa forma, o trabalho alinha-se ao escopo de sustentabilidade do evento, fundamentando a proteção da saúde ambiental como um pilar indissociável da justiça social. Nesse contexto, a presente pesquisa busca analisar o perfil epidemiológico das intoxicações por metais pesados no Brasil entre os anos de 2020 e 2025, com ênfase na distribuição espacial dos casos e na predominância observada na Região Sudeste, a fim de fornecer subsídios técnicos para estratégias de prevenção e gestão de riscos em saúde ambiental.

2. METODOLOGIA

2.1 Delineamento do Estudo

Esta pesquisa caracteriza-se como um estudo retrospectivo, observacional, descritivo e transversal, fundamentado na análise epidemiológica das notificações de intoxicação exógena por metais registradas no Brasil. O recorte temporal compreendeu o período de 1º de janeiro de 2020 a 31 de dezembro de 2025, utilizando como base dados secundários de domínio público obtidos via Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN).

2.2 Declarações Éticas

Em conformidade com a Resolução nº 510, de 7 de abril de 2016, do Conselho Nacional de Saúde, o estudo prescindiu de apreciação por Comitê de Ética em Pesquisa. A investigação utilizou exclusivamente informações agregadas e sem identificação nominal dos indivíduos, garantindo o sigilo, o anonimato e o uso ético dos dados disponibilizados pelo Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS).

2.3 Local do Estudo e População

O cenário geográfico do estudo abrangeu o território brasileiro, com um enfoque analítico direcionado à Região Sudeste, identificada como o epicentro das notificações no intervalo analisado. A população consistiu em todos os casos confirmados de intoxicação por metais disponíveis na plataforma SINAN/DATASUS durante os anos de 2020 a 2025.

2.4 Variáveis do Estudo

As variáveis analisadas foram estruturadas em eixos sociodemográficos e clínicos. No primeiro eixo, incluíram-se o sexo (masculino e feminino), a raça/cor autodeclarada (branca e negra, esta última obtida pela agregação dos grupos pretos e pardos) e a unidade federativa de residência. No eixo clínico e epidemiológico, foram examinados o ano da notificação e o critério de confirmação diagnóstica, classificado em Clínico, Clínico-epidemiológico e Clínico-Laboratorial.

2.5 Coleta e Tabulação de Dados

A extração foi realizada por meio do sistema TABNET/SINAN na plataforma do DATASUS mediante a aplicação de filtros para o agravo "Intoxicação Exógena" e o agente causal "Metal". Os dados brutos foram organizados em planilhas eletrônicas do Microsoft Excel® para a limpeza de inconsistências. Foram incluídos apenas registros de dados para as variáveis de interesse, sendo descartadas notificações duplicadas ou com campos ignorados nas variáveis centrais de raça, gênero e diagnóstico. Todos os dados apresentados foram provenientes de notificações realizadas por instituições públicas e privadas vinculadas ao Sistema Único de Saúde (SUS), por meio de formulários padronizados.

Os dados foram posteriormente estratificados segundo sexo, raça/cor, forma de diagnóstico e região geográfica. Foram coletadas informações referentes ao número de notificações por unidade federativa, sexo, raça/cor e tipo de diagnóstico, permitindo a caracterização epidemiológica dos casos notificados na região Sudeste e comparação com as demais regiões brasileiras. As categorias de raça/cor analisadas corresponderam aos indivíduos autodeclarados brancos e negros, conforme disponibilidade dos registros no SINAN. Casos com informações ignoradas ou pertencentes a outras categorias raciais não foram incluídos na análise específica dessa variável.

2.6 Análise Estatística

O tratamento estatístico compreendeu etapas descritivas e inferenciais. Inicialmente, calculou-se frequências absolutas (n), relativas (%), médias anuais por estado e taxas de crescimento percentual para a caracterização do perfil da amostra. Na sequência, aplicou-se a estatística inferencial para validar as disparidades observadas: utilizou-se o Teste t de *Student* para amostras independentes na comparação das médias entre os grupos de gênero e perfil étnico-racial, adotou-se um nível de confiança de 95%, considerando o p-valor < 0,05 como critério de significância estatística.

3 RESULTADOS

No intervalo de 2020 a 2025, o Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN) registrou 3.086 casos de intoxicação exógena por metais no Brasil, distribuídos pelas cinco macrorregiões do país. Registrou-se uma tendência de crescimento acentuado no total de notificações, que saltaram de 310 casos em 2020 para um pico de 940 ocorrências em 2024, o que representa um acréscimo de 203,2% no intervalo analisado. A Região Sudeste apresentou o maior volume de notificações (37,4%), seguida pelo Nordeste (20,2%), Norte (17,6%), Sul (15,7%) e Centro-Oeste (9,2%) (Tabela 1).

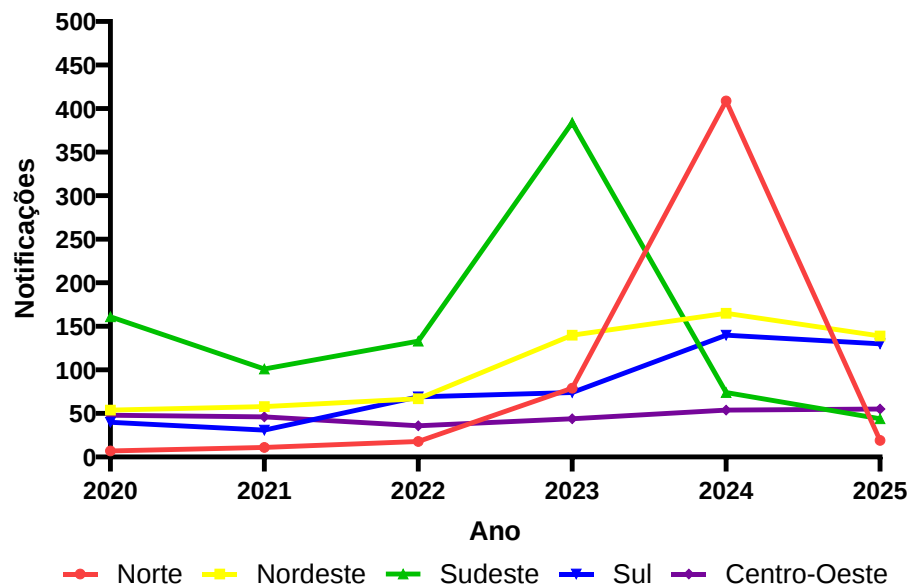
Tabela 1. Distribuição dos casos de intoxicação exógena por metais segundo região geográfica e ano de notificação, Brasil, 2020–2025.

Região	2020	2021	2022	2023	2024	2025	Total
Norte	7	11	18	79	409	19	543
Nordeste	54	58	67	140	165	139	623
Sudeste	161	101	133	384	172	202	1153
Sul	40	31	69	74	140	130	484
Centro-Oeste	48	46	36	44	54	55	283
Total	310	247	323	721	940	545	3086

Fonte: Adaptado de SINAN/DATASUS (2020–2025)

Observou-se uma progressão temporal dos casos com intensificação dos registros em todas as regiões a partir de 2023 (Figura 1). Um ponto de destaque ocorre na Região Norte, que apresentou uma expansão drástica em 2024 (409 casos), impulsionada majoritariamente pelo estado de Roraima, que registrou 275 notificações naquele ano.

Figura 1. Distribuição temporal dos casos de intoxicação exógena por metais no Brasil segundo região geográfica, 2020–2025.



Fonte: Adaptado de SINAN/DATASUS (2020–2025)

3.1 Perfil Epidemiológico da Região Sudeste

Na Região Sudeste, foco central deste estudo, foram notificados 1.153 casos no período, com distribuição desigual entre as Unidades da Federação (Tabela 2). São Paulo sobressaiu-se com o maior número absoluto de notificações (677; 58,7% do total regional), seguido por Minas Gerais (375; 32,5%), Rio de Janeiro (67; 5,8%) e Espírito Santo (34; 2,9%). Em conjunto, São Paulo e Minas Gerais correspondem a 91,2% de todos os casos registrados na região e a 34,1% do passivo epidemiológico nacional por metais.

Tabela 2. Distribuição dos casos de intoxicação exógena por metais notificados na Região Sudeste do Brasil segundo estado e ano de notificação, 2020–2025.

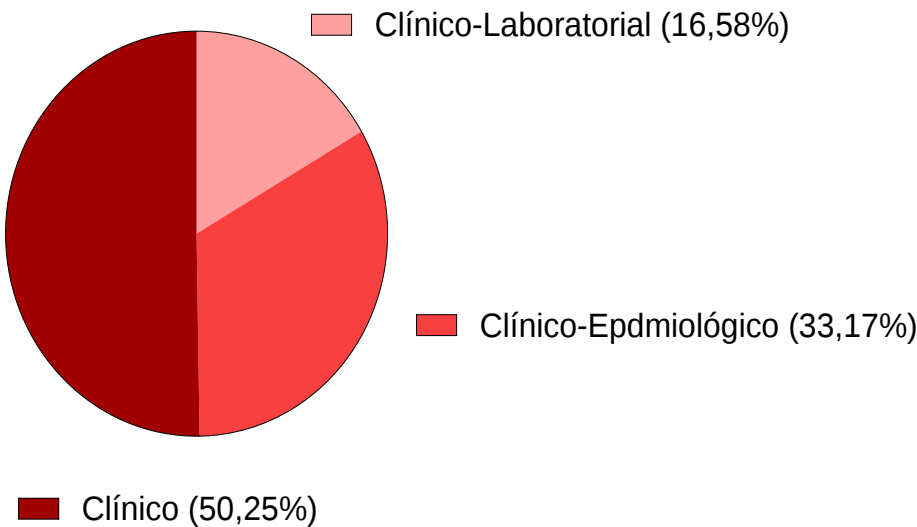
Estado	2020	2021	2022	2023	2024	2025	Total
Minas Gerais	25	27	68	119	61	75	375
Espírito Santo	2	3	10	12	4	3	34
Rio de Janeiro	7	12	9	11	14	14	67
São Paulo	127	59	46	242	93	110	677
Total	161	101	133	384	172	202	1153

Fonte: Adaptado de SINAN/DATASUS (2020–2025)

3.2 Critérios de Confirmação Diagnóstica

Em relação ao método diagnóstico na Região Sudeste, o critério clínico foi o predominante, respondendo a metade do total identificado, com crescimento constante ao longo da série histórica. De acordo com a Figura 2, a análise percentual consolida essa tendência, demonstrando que o critério clínico representa 50,25% das confirmações na região, seguido pelo clínico-epidemiológico (33,17%) e, com a menor participação, o clínico-laboratorial, que responde por apenas 16,58% das notificações.

Figura 2. Distribuição percentual das notificações de intoxicação por metais na Região Sudeste, segundo a modalidade diagnóstica (2020–2025)



Fonte: Adaptado de SINAN/DATASUS (2020–2025)

A análise das médias anuais revelou uma diferença significativa entre as modalidades diagnósticas, evidenciando que a vigilância na região ainda depende fortemente da avaliação clínica em detrimento de comprovações laboratoriais (Tabela 3).

Tabela 3. Distribuição dos casos notificados na Região Sudeste segundo critério diagnóstico e ano de notificação, 2020–2025.

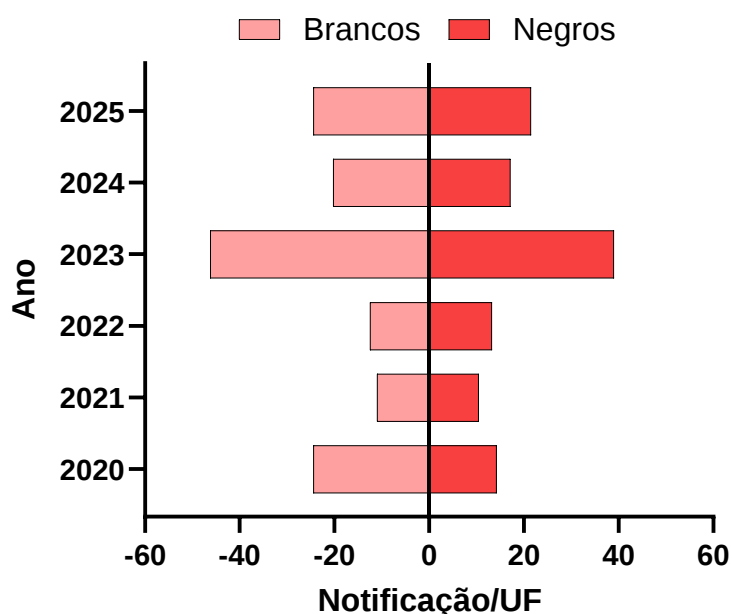
Tipo de Confirmação	2020	2021	2022	2023	2024	2025	Total
Clínico-Laboratorial	93	15	10	19	9	22	168
Clínico-epidemiológico	14	16	16	209	41	40	336
Clínico	49	61	68	101	100	130	509
Total	156	92	94	329	150	192	1013

Fonte: Adaptado de SINAN/DATASUS (2020–2025)

3.3 Perfil Sociodemográfico: Raça/Cor e Sexo

A análise étnico-racial na Região Sudeste aponta para uma distribuição heterogênea entre os estados. No acumulado regional, a população branca apresentou 556 notificações, enquanto o grupo de negros (pretos e pardos) registrou 465 ocorrências. A Figura 3 apresenta a média anual de notificações por estado, revelando que o ápice da série ocorreu em 2023, quando a média de casos entre brancos chegou a 46,25 por estado, enquanto o grupo de negros apresentou média de 39,0 no mesmo período.

Figura 3. Média anual de notificações de intoxicação por metais por estado na Região Sudeste, segundo o perfil étnico-racial (2020–2025)



Fonte: Adaptado de SINAN/DATASUS (2020–2025)

Entretanto, conforme a tabela 4, observa-se uma disparidade interna: em Minas Gerais, a população negra é a mais afetada, respondendo por 62,4% dos casos identificados no estado (204 de 327). Em contraste, São Paulo apresenta predominância no grupo branco (396 casos), que representa 64,8% das notificações estaduais onde a raça foi declarada. No entanto, a análise estatística aplicada às médias anuais por raça/cor no acumulado da região não demonstrou diferença significativa ($p > 0,05$), indicando que a variação anual entre os grupos é estatisticamente equilibrada no contexto regional.

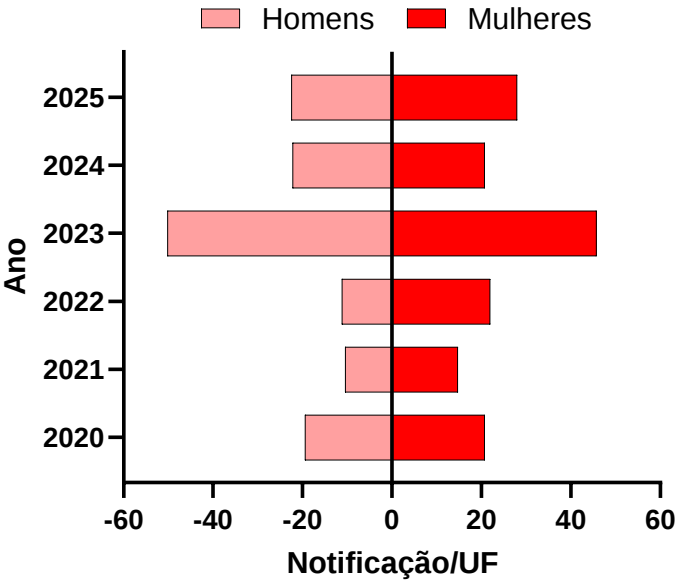
Tabela 4. Distribuição dos casos notificados de intoxicação exógena por metais na Região Sudeste do Brasil segundo raça/cor e Unidade Federativa, 2020–2025.

Estado	Cor	2020	2021	2022	2023	2024	2025	Total
Minas Gerais	Branços	8	8	19	37	26	25	123
	Negros	17	18	33	70	26	40	204
Espírito Santo	Branços	0	1	4	4	0	1	10
	Negros	1	1	4	4	3	1	14
Rio de Janeiro	Branços	2	5	4	6	5	5	27
	Negros	3	5	3	5	8	8	32
São Paulo	Branços	88	30	23	138	50	67	396
	Negros	36	18	13	77	34	37	215
Total	Branços	98	44	50	185	81	98	556
	Negros	57	42	53	156	71	86	465

Fonte: Adaptado de SINAN/DATASUS (2020–2025)

Quanto ao gênero, as notificações na Região Sudeste apresentaram maior prevalência no público feminino (608 casos; 52,7%) em comparação ao masculino (545 casos; 47,3%). A Figura 4 ilustra o comportamento das médias anuais por estado segundo o gênero, evidenciando que, no ano de maior volume (2023), a média masculina de 50,25 casos por estado superou a feminina de 45,75 na região. Contudo, em 2025, nota-se uma retomada da predominância feminina com média de 28,0 notificações por estado frente a 22,5 do sexo masculino.

Figura 4. Média anual de notificações de intoxicação por metais por estado na Região Sudeste, segundo o gênero (2020–2025)



Fonte: Adaptado de SINAN/DATASUS (2020–2025)

Através da tabela 5, essa predominância feminina é observada de forma sistemática em Minas Gerais (219 casos), Espírito Santo (16 casos) e Rio de Janeiro (45 casos). São Paulo configura-se como a única exceção na região, apresentando um volume ligeiramente superior no sexo masculino (349 casos contra 328 femininos). Contudo, não foi observada diferença estatística significativa entre as médias anuais por gênero no total regional ($p > 0,05$), ratificando que a carga de notificações entre homens e mulheres não apresenta disparidade estatisticamente relevante para a região no período estudado.

Tabela 5. Distribuição dos casos notificados de intoxicação exógena por metais na Região Sudeste do Brasil segundo sexo e Unidade Federativa, 2020–2025.

Estado	Sexo	2020	2021	2022	2023	2024	2025	Total
Minas Gerais	Masculino	12	10	22	49	30	33	156
	Feminino	13	17	46	70	31	42	219
Espírito Santo	Masculino	0	0	6	8	3	1	18
	Feminino	2	3	4	4	1	2	16
Rio de Janeiro	Masculino	3	3	2	3	4	7	22
	Feminino	4	9	7	8	10	7	45
São Paulo	Masculino	63	29	15	141	52	49	349
	Feminino	64	30	31	101	41	61	328
Total	Masculino	78	42	45	201	89	90	545
	Feminino	83	59	88	183	83	112	608

Fonte: Adaptado de SINAN/DATASUS (2020–2025)

4 DISCUSSÃO

Os dados epidemiológicos revelam um aumento das intoxicações por metais no Brasil, evidenciada pelo crescimento expressivo de 203,2% nas notificações entre 2020 e 2024, saltando de 310 para 940 ocorrências anuais. Esse incremento não pode ser interpretado apenas como um fortalecimento do sistema de vigilância, mas sim como o reflexo de pressões antrópicas crescentes sobre o ambiente. A anomalia epidemiológica mais marcante da série histórica reside no pico atípico registrado na Região Norte em 2024, que concentrou 409 casos, dos quais 275 ocorreram exclusivamente no estado de Roraima. Segundo Santana e Nascimento (2024), Roraima tem se destacado historicamente pelo elevado percentual de casos na região nexa causal direto com o avanço desenfreado do garimpo ilegal em territórios indígenas, como na crise humanitária Yanomami.

Conforme aponta a Nota Técnica da Fiocruz (2024), a contaminação nessas áreas é generalizada, atingindo níveis de mercúrio em amostras de cabelo de indígenas muito superiores aos limites de referência, especialmente em aldeias próximas aos focos de extração de ouro. O mecanismo de contaminação biológica ocorre de forma lenta: o mercúrio metálico utilizado no garimpo é lançado

nas matrizes hídricas, onde sofre metilação bacteriana e transforma-se em metilmercúrio, sua forma mais neurotóxica e bioacumulável. Como a dieta das populações locais é baseada na ingestão frequente de peixes, que atuam como reservatórios desse metal através da biomagnificação na cadeia alimentar, observa-se um quadro de exposição crônica grave. Vianna *et al.* (2019) reforçam que o mercúrio é um dos elementos mais tóxicos para a saúde humana, capaz de comprometer múltiplos sistemas, incluindo o neurológico e o hematológico, o que justifica a gravidade clínica observada nesse surto regional.

Embora a Região Norte apresente surtos agudos críticos, a Região Sudeste consolidou-se como o principal epicentro nacional das intoxicações por metais, concentrando 37,4% de todas as notificações registradas no país entre 2020 e 2025. Dentro deste panorama, o estado de Minas Gerais desempenha um papel protagonista e preocupante ao centralizar 32,5% das ocorrências regionais. Este passivo epidemiológico crônico é o resultado direto da intensa pressão antrópica exercida pela histórica vocação extrativista do estado, concentrada no Quadrilátero Ferrífero. Segundo Fernandes *et al.* (2025), o rompimento das barragens de rejeitos de Fundão em Mariana (2015) e de Córrego do Feijão em Brumadinho (2019) representou marcos de degradação ambiental sem precedentes, liberando milhões de metros cúbicos de lama enriquecida com ferro (Fe), manganês (Mn), alumínio (Al) e arsênio (As).

A profundidade desse impacto é evidenciada por Gonçalves *et al.* (2025), cujos estudos em perfis sedimentares revelaram concentrações alarmantes de ferro, atingindo picos de 235.260 mg/kg, e de arsênio, com valores de até 52 mg/kg, excedendo drasticamente os valores-guia de segurança para a biota. A persistência desses metais nos ecossistemas é um dos maiores desafios para a saúde pública mineira, uma vez que tais contaminantes permanecem depositados na calha dos rios e em sistemas lagunares, sofrendo processos de ressuspensão e biomagnificação. Honorato *et al.* (2025) reforçam que essa dinâmica gera um quadro de insegurança hídrica severa, onde a exposição humana é perpetuada a longo prazo pela ingestão de água bruta e pelo consumo de alimentos cultivados em sedimentos contaminados, exibindo inclusive efeitos citotóxicos e genotóxicos nas populações ribeirinhas.

Em contraste com o cenário minerário mineiro, o estado de São Paulo apresenta a maior carga absoluta de morbidade na Região Sudeste, concentrando 677 notificações (58,7% do total regional), o que revela um perfil de contaminação vinculado à urbanização intensa e ao manejo inadequado de resíduos. Chiba *et al.* (2011) argumentam que a disposição irregular de produtos de consumo em massa, como baterias e lâmpadas fluorescentes, em lixões sem isolamento técnico, favorece a lixiviação de metais pesados para o solo e corpos d'água. Essa dinâmica de passivos ambientais é exemplificada por Pollitti *et al.* (2022) no município de Sorocaba, onde solos anteriormente ocupados

por indústrias de acumuladores elétricos apresentam contaminação por chumbo, bário, zinco e cobre. A vulnerabilidade ambiental paulista estende-se à contaminação hídrica subterrânea, onde Hirata & Suhogusoff (2019) destacam que aquíferos recebem cargas contínuas de efluentes industriais e solventes, com anomalias de cromo e bário já identificadas no Sistema Aquífero Bauru-Caiuá. Uechi *et al.* (2017) reforçam que o Sistema Aquífero Bauru (SAB) em São Paulo é altamente vulnerável, sofrendo pressões de atividades antrópicas diversificadas, que além da contaminação urbana-industrial, há também do setor sucroalcooleiro, onde áreas de fertirrigação com vinhaça têm sido associadas à detecção de ferro, manganês e alumínio nas águas. A dispersão desses contaminantes atinge também as cadeias produtivas agrícolas: Sousa *et al.* (2021) apontam municípios paulistas com sedimentos e cultivos de bananas contaminados por cobre e zinco, evidenciando que a ingestão de alimentos cultivados no entorno de polos industriais constitui uma via potencial de intoxicação humana.

A análise sociodemográfica unificada das notificações revela que esses riscos territoriais materializam o conceito de Racismo Ambiental. Em Minas Gerais, a população negra (pretos e pardos) é a mais afetada, respondendo por 62,4% dos casos identificados no estado. Conforme Stadtler (2022), essa forma de opressão sistêmica manifesta-se na desumanização de grupos historicamente vulnerabilizados, empurrados para residir e trabalhar nas chamadas “zonas de sacrifício ambiental” próximas a barragens de rejeitos. O estado possui um contingente ribeirinho onde o predomínio de negros nesses grupos tradicionais ultrapassa 75% (SAGICAD/MDS, 2023), sobrepondo o risco químico à marginalização étnico-racial. Por outro lado, São Paulo apresenta uma inversão epidemiológica com predominância do sexo masculino e da população branca (64,8% das notificações com raça declarada). Este perfil desloca a centralidade para a exposição ocupacional direta em setores de metalurgia e reciclagem. Conforme Cordeiro (1995) e o Protocolo de Atenção à Saúde do Trabalhador (2006), o setor industrial de fundições emprega majoritariamente homens no “chão de fábrica”. A prevalência de brancos é explicada pela formalidade do mercado de trabalho paulista, onde a aplicação rigorosa da Norma Regulamentadora nº 7 (NR-7) exige o monitoramento biológico periódico (dosagem de Pb-S), aumentando a sensibilidade do sistema para detectar agravos no setor formal. Em contrapartida, populações negras em setores informais permanecem sob um silêncio epidemiológico devido à ausência de fiscalização, o que reflete, segundo Stadtler (2022), a invisibilidade do adoecimento químico desses corpos nas estatísticas oficiais.

Garantindo a transversalidade das vulnerabilidades, a predominância feminina geral na região (52,7%) revela que a exposição transborda o ambiente laboral e adentra a esfera da justiça ambiental residencial. Conforme Rebelo & Caldas (2016), para a população geral, a exposição ocorre de forma contínua através do consumo de água e alimentos, atingindo as mulheres de forma acentuada no

manejo doméstico. Essa vulnerabilidade sanitária estrutural é aprofundada por Silva *et al.* (2025), que destacam que grupos dependentes de recursos naturais enfrentam um quadro de injustiça ambiental onde a degradação dos ecossistemas impacta a segurança alimentar das famílias. O cenário é crítico pois as mulheres atuam como o elo de transferência desses metais para as gerações futuras: metais pesados são transferidos via placenta e amamentação. O impacto biológico é detalhado por Macedo *et al.* (2024), que caracterizam esses metais como agentes de elevado caráter teratogênico, capazes de induzir estresse oxidativo e danos ao DNA fetal, resultando em malformações congênitas e desfechos adversos no parto. Adicionalmente, Silva *et al.* (2025) associam níveis elevados de mercúrio materno a prejuízos cognitivos em crianças, incluindo a redução do QI e atrasos no neurodesenvolvimento.

A análise integrada dessas disparidades revela que a territorialização do adoecimento químico no Sudeste brasileiro não é apenas um fenômeno epidemiológico, mas uma evidência do descumprimento de metas globais de desenvolvimento. O crescimento exponencial de nas notificações e a gravidade dos danos neurológicos e renais induzidos por metais persistentes expõem o distanciamento do país em relação ao ODS 3 (Saúde e Bem-Estar), que preconiza a redução substancial de doenças por produtos químicos perigosos e contaminação ambiental. Paralelamente, o fato de a carga tóxica recair desproporcionalmente sobre a população negra em Minas Gerais e sobre as mulheres na região materializa o conceito de Racismo Ambiental e exige ações imediatas pautadas no ODS 10 (Redução das Desigualdades). Por tanto, o fortalecimento da toxicovigilância e a proteção dessas populações vulnerabilizadas são pilares indissociáveis da sustentabilidade e da justiça social, essenciais para garantir a integridade das futuras gerações.

Este complexo panorama de adoecimento esbarra nessa fragilidade da toxicovigilância do Sistema Único de Saúde (SUS), evidenciada pela assimetria nas modalidades de encerramento dos casos na Região Sudeste. A confirmação das intoxicações é pautada majoritariamente pelo critério clínico (50,25%), enquanto a confirmação clínico-laboratorial alcança apenas 16,58%. Esse abismo estatístico denuncia a incipiente capacidade analítica da rede pública e a extrema centralização de laboratórios de alta complexidade. Segundo Júnior *et al.* (2020), a carência de uma infraestrutura laboratorial capilarizada força os profissionais a encerrarem investigações sem prova objetiva. A gravidade dessa lacuna é corroborada por Silva *et al.* (2021), que observaram predominância similar do critério clínico (53,75%) em outros estados, argumentando que a falta de confirmação sistemática diminui a eficiência das ações de controle e compromete a avaliação das intervenções. Conforme o Ministério da Saúde, embora o diagnóstico clínico seja soberano para o manejo imediato, a confirmação laboratorial é o padrão para a vigilância de longo prazo sua ausência em mais de 80% dos casos sugere que a magnitude real da exposição biológica está sendo subestimada. Esse cenário

confirma a percepção de Cordeiro (1995) sobre o subdiagnóstico histórico do agravo no Brasil.

Por fim, as limitações deste estudo retrospectivo baseiam-se na natureza dos dados secundários do SINAN. Santana e Nascimento (2024) pontuam a restrição técnica em verificar especificamente a qual metal a intoxicação esteve relacionada em diversas buscas. A subnotificação crônica permanece como entrave estrutural, o Ministério da Saúde (2023) ressalta que esse fenômeno prejudica a tomada de decisão para a prevenção de riscos. O quadro é agravado pelos sintomas insidiosos dos metais que, segundo Cordeiro (1995), resultam em diagnósticos tardios. Observa-se ainda resistência na autodeclaração de ocupação em setores como o garimpo ilegal para evitar evidenciar atividades ilícitas. A completitude das fichas é outro gargalo crítico, os campos de ocupação e escolaridade apresentam, respectivamente, 68,1% e 71,4% de registros sem preenchimento. Como argumentam Silva *et al.* (2021), essas lacunas interferem na clareza da avaliação do impacto das medidas de intervenção no território. A dificuldade estrutural em realizar o acompanhamento longitudinal impede a compreensão integral da evolução dos pacientes, reforçando a urgência em fortalecer as unidades sentinelas e qualificar o monitoramento biológico sistemático para reduzir o silêncio epidemiológico no Brasil.

5 CONCLUSÃO

A análise das intoxicações por metais no Brasil entre 2020 e 2025 revela um cenário crítico de vulnerabilidade ambiental e sanitária, com a Região Sudeste consolidando-se como o epicentro das notificações em função de sua intensa atividade industrial e minerária. Os resultados evidenciam que as disparidades sociodemográficas refletem dinâmicas de racismo ambiental, especialmente em Minas Gerais, e riscos ocupacionais e urbanos em São Paulo, com uma carga epidemiológica significativa sobre as populações negra e feminina. A elevada dependência do critério clínico em detrimento da confirmação laboratorial expõe fragilidades na infraestrutura de toxicovigilância do Sistema Único de Saúde, sugerindo uma subestimação da real magnitude das exposições biológicas na região. Diante do crescimento expressivo das notificações no período analisado, concluímos que é necessário o fortalecimento de políticas públicas integradas, o aprimoramento do monitoramento biológico sistemático e a mitigação das pressões antrópicas, visando assegurar a proteção das populações vulnerabilizadas por esses contaminantes persistentes.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, D. F.; MARTINS, A. H.; TUNDISI, J. G. Weight-of-evidence on environmental impact assessment of metal contaminated sediments in the São Francisco River (Três Marias - Minas Gerais - Brazil) - a case study. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v.71, n.4, p.961-973, 2011.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. **Instruções para preenchimento da Ficha de Investigação de Intoxicação Exógena Sinan**. Brasília: Ministério da Saúde, 2018.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente. Intoxicações por mercúrio no Brasil, de 2006 a 2021. **Boletim Epidemiológico**, Brasília, DF, v. 54, n. 02, 16 fev. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/boletins/epidemiologicos>.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente. **Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Substâncias e Contaminantes Químicos (VIGIPEQ)**. Brasília: Ministério da Saúde, 2026. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/composicao/svsa/saude-ambiental/vigipeq>.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento e Assistência Social, Família e Combate à Fome (MDS). **Diversidade no Cadastro Único: Identificação e perfil socioeconômico de Grupos Populacionais Tradicionais e Específicos – 2021**. Brasília, DF: MDS; Secretaria de Avaliação, Gestão da Informação e Cadastro Único, 2023.
- CHIBA, W. A. C. et al. Seasonal study of contamination by metal in water and sediment in a sub-basin in the Southeast of Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v.71, n.4, p.833-843, 2011.
- CORDEIRO, R.; LIMA-FILHO, E. C. A Inadequação dos Valores dos Limites de Tolerância Biológica para a Prevenção da Intoxicação Profissional pelo Chumbo no Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 2, p. 177-186, 1995.
- FERNANDES, R. B. A. et al. Avaliação da concentração de metais pesados em áreas olerícolas no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 81-93, 2007.
- FERNANDES, T. S. et al. Biological, physicochemical, and social impacts resulting from the rupture of the Fundão Dam. **Ambiente & Água**, Taubaté, v. 20, e3045, 2025.
- FIOCRUZ. Fundação Oswaldo Cruz. **Yanomamis de nove aldeias assediadas pelo garimpo estão contaminados por mercúrio**. Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: <https://fiocruz.br/noticia/2024/04/yanomamis-de-nove-aldeias-assediadas-pelo-garimpo-estao-contaminados-por-mercurio>. Acesso em: 22 maio 2026.
- GONÇALVES, M. F.; GODOY, J. M. O.; FERREIRA, A. C. M. Determination of metals concentration in sedimentary profiles from lagoons affected by the tailings from the collapse of the Fundão dam. **Brazilian Journal of Radiation Sciences**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 1, e2618, 2025.

- HIRATA, R.; SUHOGUSOFF, A. V. How much do we know about the groundwater quality and its impact on Brazilian society today? **Acta Limnologica Brasiliensia**, Botucatu, v. 31, e109, 2019.
- HONORATO, P. A. R. et al. A Contribuição do Modelo FPEIR/TOPSIS no Diagnóstico Ambiental da Segurança Hídrica de Áreas Atingidas pela Barragem B1, Brumadinho, MG. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 37, e74110, 2025.
- JÚNIOR, I. M. D. et al. Análise epidemiológica da intoxicação por metais na região nordeste do Brasil no período de 2011 a 2015. **Revinter**, v. 13, n. 1, p. 36-45, fev. 2020.
- MACEDO, A. E. G. et al. Relação dos metais pesados com as malformações congênitas: uma revisão integrativa. In: **Saúde Coletiva: avanços e desafios**. [S.l.]: Editora Científica, 2024. Cap. 40.
- POLLITTI, A. A.; ANICETO, A. P. P.; IRAZUSTA, S. P. Biorremediação de solos contaminados com metais pesados. In: **SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA CPS - IV SICT**, 2022. Anais... Sorocaba, 2022. p. 28-31.
- REBELO, F. M.; CALDAS, E. D. Arsenic, lead, mercury and cadmium: Toxicity, levels in breast milk and the risks for breastfed infants. **Environmental Research**, v. 151, p. 671-688, 2016.
- SANTANA, T. M. J.; NASCIMENTO, E. L. Intoxicação por metais pesados na região Norte do Brasil. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia (RBCA)**, v. 13, n. 3, p. 68-76, 2024.
- SILVA, A. K. S. et al. Análise de intoxicações exógenas no Estado do Piauí no período de 2013 a 2017. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 10, e505101017260, 2021.
- SILVA, I. R. C. Q. et al. Água contaminada e saúde indígena: metais pesados e agrotóxicos no Brasil. **RESU – Revista Educação em Saúde**, v. 13, supl. 2, p. 415-419, 2025.
- SOUSA, J. S. et al. Agricultura em áreas industriais e contaminação de vegetais por metais pesados: uma revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 1, p. 322-331, 2021.
- STADTLER, P. R. S. Mineração ilegal, seletividade penal e racismo ambiental: análise a partir da “Operação Dilema de Midas”. **Revista Avanti**, v. 6, n. 2, p. 285-304, 2022.
- UECHI, D. A.; GABAS, S. G.; LASTORIA, G. Análise comparativa da concentração de metais pesados no Aquífero Bauru em Mato Grosso do Sul e em São Paulo. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**, 22., 2017, Florianópolis. Anais... Florianópolis: ABRH, 2017. p. 1-8.
- VIANNA, A. S. et al. Human exposure to mercury and its hematological effects: a systematic review. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 35, n. 2, e00091618, 2019.