

ARTIGO ORIGINAL

epidemiologia

Revista Brasileira
de Epidemiologia25
ANOS

Prevalência dos níveis de metais acima dos valores de referência em município atingido pelo rompimento de barragem de rejeitos da mineração: Projeto Saúde Brumadinho

Prevalence of metal levels above the reference values in a municipality affected by the collapse of a mining tailings dam: Brumadinho Health Project

Paula Junqueira Mota^{I,II} , Herling Gregorio Aguilar Alonzo^{III} , Leiliane Coelho André^{IV} , Volney de Magalhães Câmara^V , Délio Campolina^{VI} , Aline de Souza Espíndola Santos^{VII} , Carmen Ildes Rodrigues Fróes-Asmus^V , Sérgio Viana Peixoto^{I,VIII} 

^IFundação Oswaldo Cruz, Instituto René Rachou – Belo Horizonte (MG), Brasil.

^{II}Instituto Guaicuy – Belo Horizonte (MG), Brasil.

^{III}Universidade Estadual de Campinas – Campinas (SP), Brasil.

^{IV}Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Farmácia – Belo Horizonte (MG), Brasil.

^VUniversidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Medicina – Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

^{VI}Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Medicina – Belo Horizonte (MG), Brasil.

^{VII}Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Estudos em Saúde Coletiva – Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

^{VIII}Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Enfermagem – Belo Horizonte (MG), Brasil.

RESUMO

Objetivo: Descrever a prevalência dos níveis dos metais arsênio, cádmio, mercúrio, chumbo e manganês acima dos valores de referência (VR) na população de Brumadinho, após o rompimento da barragem de rejeitos de mineração, e verificar os fatores associados a esses níveis. **Métodos:** Estudo da linha de base de uma coorte prospectiva, em amostra representativa de 3.080 residentes (12 anos ou mais de idade) de Brumadinho, Minas Gerais. As variáveis exploratórias (idade, sexo, cor de pele, renda domiciliar, tabagismo e local de residência) foram coletadas por questionário, e os níveis de As, Cd e Hg na urina e de Pb e Mn no sangue foram avaliados pela técnica de espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado. Fez-se a distribuição das prevalências de níveis acima da referência para os metais, segundo as variáveis exploratórias. Análises de regressão logística múltipla foram utilizadas para averiguar associação entre os níveis alterados de metais e as características avaliadas. **Resultados:** Encontraram-se concentrações acima do VR em 38,08% da população para Mn, 33,37% para As, 5,04% para Pb, 0,76% para Hg e 0,17% para Cd. Houve associação significativa entre a faixa etária e os níveis de Mn e Pb; e entre o local de residência e o nível de As. **Conclusão:** Os resultados demonstram elevada prevalência de níveis acima da referência para Mn, As e Pb, com pequenas diferenças em relação às demais variáveis, sugerindo se tratar de uma exposição distribuída em todo o município.

Palavras-chave: Exposição ambiental. Metais pesados. Efeitos de desastres na saúde. Epidemiologia de desastres.

AUTOR CORRESPONDENTE: Sérgio Viana Peixoto. Avenida Augusto de Lima, 1.715, Barro Preto, CEP: 30190-009, Belo Horizonte (MG), Brasil.
E-mail: sergio.peixoto@fiocruz.br

CONFLITO DE INTERESSES: nada a declarar.

COMO CITAR ESSE ARTIGO: Mota PJ, Alonzo HGA, André LC, Câmara VM, Campolina D, Santos ASE, et al. Prevalência dos níveis de metais acima dos valores de referência em município atingido pelo rompimento de barragem de rejeitos da mineração: Projeto Saúde Brumadinho. Rev Bras Epidemiol. 2022; 25:e220014.supl.2. <https://doi.org/10.1590/1980-549720220014.supl.2.1>

EDITOR CIENTÍFICO: Antonio Fernando Boing 

ESTE DOCUMENTO POSSUI UMA ERRATA: <https://doi.org/10.1590/1980-549720220014.supl.2.1erratum>

Esse é um artigo aberto distribuído sob licença CC-BY 4.0, que permite cópia e redistribuição do material em qualquer formato e para qualquer fim desde que mantidos os créditos de autoria e de publicação original.

Recebido em: 18/07/2022; Revisado em: 05/09/2022; Aceito em: 05/09/2022; Corrigido em: 13/09/2024.



INTRODUÇÃO

Em 25 de janeiro de 2019, na Mina do Córrego do Feijão, localizada no município de Brumadinho, ocorreu o rompimento da Barragem B1 da mineradora Vale S.A., que derramou cerca de 12 milhões de metros cúbicos de rejeitos de minério ao longo da Bacia do Rio Paraopeba, causando 270 mortes e impactos ambientais, econômicos e sociais, bem como na saúde das comunidades atingidas¹.

O Boletim Informativo da Secretaria Estadual de Saúde de Minas Gerais sobre a qualidade de água para consumo humano após o desastre da Vale S.A. em Brumadinho¹ apresentou resultados de análises de 3.632 amostras de águas superficiais e subterrâneas do Rio Paraopeba, obtidos ao longo de quase 2 anos de monitoramento em 16 municípios, incluindo 141 pontos de amostragem. Dentre os resultados de não conformidades, identificaram-se violações pontuais para os parâmetros de antimônio, bário, arsênio, cromo, mercúrio, níquel e selênio.

Já as análises da lama de rejeitos, realizadas imediatamente após o rompimento da barragem em Brumadinho, mostraram teores mais elevados do que a média dos solos da região para bário, cobre, ferro e manganês. Os valores encontrados para alumínio estavam abaixo da média esperada para os solos de Brumadinho².

Dos metais supracitados, arsênio, chumbo, mercúrio e cádmio, devido ao alto grau de toxicidade, fazem parte de uma lista contendo dez substâncias químicas de interesse para a saúde pública elaborada pela Organização Mundial de Saúde³. Insta ressaltar que, em todas as amostras da lama de rejeito da Barragem B1 analisadas, o manganês estava acima dos teores médios encontrados nos solos de Brumadinho, conforme o Parecer Técnico do Ministério da Saúde de nº 5/2019-DSASTE/SVS/MS (Processo nº 25000.135307/2019-70; SEI nº 0010677631). Em vista disso, o manganês se tornou um metal de interesse para o desastre em Brumadinho, pois, mesmo exercendo um papel importante na regulação metabólica dos seres humanos, em excesso também pode causar neurotoxicidade. Estudos apontam que a exposição elevada ao manganês pode levar a um distúrbio neurodegenerativo, com sintomas semelhantes aos do mal de Parkinson⁴.

A exposição a metais pode ocorrer por meio da sua presença natural no meio ambiente, na água, em alimentos, no solo e no ar ou por ações antrópicas, por intermédio de indústrias, mineração, curtumes, uso de agrotóxicos, entre outras. Quando absorvidos pelos seres vivos, os metais têm potencial de bioacumulação em órgãos e tecidos, como fígado, coração, rim, cérebro e ossos⁵. A toxicidade inerente ao metal, a via de exposição, a intensidade e o tempo de exposição, bem como idade, sexo, genética, estado nutricional, condições sociais e de saúde do indivíduo exposto, são condicionantes no processo de adoecimento^{5,6}.

Em Brumadinho, o Ministério da Saúde, ao monitorar, por meio de análises toxicológicas, a saúde dos profissio-

nais de busca e resgate que tiveram contato prolongado com a lama de rejeito, verificou a presença de alguns metais acima dos limites de referência, sugerindo exposição a esses elementos pelo contato com a lama de rejeitos².

Segundo a Agency for Toxic Substances and Disease Registry⁷, os metais arsênio, cádmio, chumbo, mercúrio e manganês, quando em exposição crônica, podem causar efeitos tóxicos, especialmente nos sistemas cardiovascular, neurológico, hematológico e imunológico, além de diabetes e alteração no desenvolvimento infantil.

A caracterização da população exposta aos metais pode subsidiar ações de saúde qualificadas, ao considerar suas especificidades de saúde, sociais e demográficas. Diante disso, o presente artigo tem como objetivos descrever a prevalência das concentrações acima dos valores de referência (VR) para os metais arsênio, cádmio, mercúrio, chumbo e manganês na população adolescente e adulta de Brumadinho, após o rompimento da Barragem B1 na Mina do Córrego do Feijão, e verificar os fatores sociodemográficos e de área de residência associados a essas concentrações.

MÉTODOS

O Projeto Saúde Brumadinho é um estudo de coorte prospectivo, de base populacional, conduzido em amostra representativa da população com 12 anos ou mais residente no município de Brumadinho, Minas Gerais. O objetivo desse projeto é produzir informações sobre as condições relacionadas à saúde da população residente no município, auxiliando o serviço de saúde no planejamento das ações. Mais detalhes podem ser obtidos no site do projeto (<http://www.minas.fiocruz.br/saudebrumadinho/>) e em outra publicação^{8,9}.

A amostra foi delineada em três domínios de estimacão, que foram constituídos pela agregacão de setores censitários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística:

1. Região dos diretamente atingidos pela lama de rejeitos da barragem;
2. Moradores de região com atividade de mineração;
3. Amostra aleatória do restante do município.

Nos dois primeiros domínios, todos os domicílios foram visitados (censo); no último, foram sorteados sete domicílios em cada setor censitário. Para os domicílios visitados, todos os moradores com 12 anos ou mais de idade foram convidados a participar da pesquisa, sendo 3.080 (86,4% dos elegíveis) entrevistados e 2.782 (90,3% dos entrevistados) participantes que forneceram material biológico, constituindo a linha de base da coorte.

O Projeto Saúde Brumadinho atendeu a todos os requisitos éticos para a realizacão de pesquisas com seres humanos. Foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Fio-cruz Minas (20814719.5.0000.5091) e todos os participantes assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) ou o Termo de Assentimento Livre e Esclarecido do menor, acompanhado pelo TCLE do seu responsável.

Para o presente artigo, analisaram-se os dados coletados na linha de base (2021), incluindo, como desfechos, as concentrações acima dos VR para os cinco metais pesquisados (arsênio, cádmio, chumbo, manganês e mercúrio). As variáveis explicativas, coletadas por meio do questionário e considerando literatura^{6,10-14}, incluíram variáveis socio-demográficas (faixa etária, sexo, cor de pele autorreferida, renda domiciliar *per capita* em tercís), tabagismo diário, além do local de residência (atingidos diretamente pela lama de rejeitos da barragem, região com atividade mineirária, amostra dos setores não atingidos diretamente pela lama ou pela mineração). A presença de tabagismo diário foi avaliada pelo relato de uso de cigarro todos os dias nos últimos 30 dias, entre os adolescentes, e pelo relato de fumar diariamente, entre os adultos.

Os exames de urina e sangue para dosagem dos metais tiveram a finalidade de analisar isoladamente a exposição ambiental, e não uma intoxicação. As amostras de sangue e urina foram coletadas no domicílio do participante, após o cadastro dos moradores e a realização das entrevistas, tendo sido agendada previamente. As amostras de sangue foram coletadas por técnicos treinados, preferencialmente nas veias da fossa antecubital, em tudo Trace Heparina, seguidas de homogeneização. A coleta de urina ocorreu com, no mínimo, duas horas de retenção urinária, em frasco universal, após orientação de assepsia, no momento da visita domiciliar para coleta de sangue.

Essas amostras foram transportadas em caixas térmicas em temperatura refrigerada até o laboratório central, para processamento, realização das dosagens definidas e estocagem para avaliações futuras. As análises laboratoriais dos metais foram realizadas pela técnica de espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), utilizando-se equipamento da marca Agilent. As amostras foram preparadas pela diluição ácida e adição de padrão interno. O limite de detecção e quantificação foi de 0,1 µg/L para As, Cd e Hg na urina e Pb no sangue; para Mn no sangue, foi de 0,8 µg/L. Para o As, considerou-se o As total.

As dosagens de metais tiveram sua performance analítica monitorada pelo uso de cinco níveis de controle de qualidade interno, sendo três controles preparados pelo próprio laboratório em níveis de concentração preestabelecidos e dois controles comerciais da marca ClinCheck. Durante o período de dosagens, o coeficiente de variação

mensal médio obtido para os analitos considerados variou entre 5,3 e 7,1%. Para a correção das concentrações de As, Cd e Hg na urina, utilizou-se dosagem de creatinina por analisadores bioquímicos Atellica CH Analyser (Siemens), por meio de reação de ácido pícrico com creatinina em meio alcalino. O intervalo de referência para a creatinina urinária, no qual a correção foi realizada, foi preconizado entre 0,3 e 3,0 g/L.

O Quadro 1 apresenta os VR dos metais analisados adotados pelo "Projeto Saúde Brumadinho", de acordo com a Nota Técnica nº 01/2021¹⁵⁻¹⁸. Para o presente estudo, considerou-se parâmetro alterado nas análises de sangue e urina quando os níveis dos metais estivessem acima do valor limite de referência, conforme apresentado no quadro.

Primeiramente, descreveram-se as variáveis incluídas neste estudo, para caracterizar a amostra analisada, por meio da estimativa de proporções e respectivos intervalos de confiança de 95% (IC95%). Além disso, a distribuição dos níveis dos metais (mediana e percentis 25 e 75) foi incluída na análise.

A distribuição das prevalências de níveis acima da referência para todos os metais, segundo as variáveis exploratórias, foi apresentada, e as associações entre os níveis alterados e essas variáveis foram avaliadas pelo teste do qui-quadrado com correção de Rao-Scott. Por fim, análises de regressão logística foram utilizadas para averiguar associação entre os níveis alterados de metais e as características sociodemográficas e o local de residência. A adequação dos modelos logísticos foi feita pelo teste de Hosmer-Lemeshow. Para a análise dos dados, utilizou-se o *software STATA*, versão 14.0, considerando-se os parâmetros amostrais (peso e efeito de delimitação) e o nível de significância igual a 5%.

RESULTADOS

Do total de 3.080 participantes da pesquisa, informações de renda estavam disponíveis para 88,1%, de dosagem de Mn e Pb para 84,8%, de As e Cd para 87,8% e de Hg para 86,5%. Para as demais variáveis (idade, sexo, região de residência e tabagismo), havia informações sobre todos os participantes.

A Tabela 1 descreve as características da população de estudo. Do total de participantes, 64,79% tinham entre 18 e 59 anos, 56,65% eram do sexo feminino, 57,77% responderam ser não brancos, 40,10% tinham renda familiar *per*

Quadro 1. Valor de referência para os metais analisados. Projeto Saúde Brumadinho (MG), Brasil.

Metal	Material biológico	Valor de referência	Referência
As total	Urina	Menor ou igual 10 µg/g de creatinina	NR-7 MT-Brasil ¹⁶
Cd	Urina	Menor ou igual a 2 µg/g de creatinina	NR-7 MT-Brasil ¹⁶
Hg	Urina	Menor ou igual a 5 µg/g de creatinina	NR-7 MT-Brasil ¹⁶
Mn	Sangue	Entre 4 e 15 µg/L	ATSDR/USA ¹⁷
Pb	Sangue	Menor ou igual a 10 µg/dL	Kosnett et al., ¹⁸

As: arsênio; Cd: cádmio; Hg: mercúrio; Mn: manganês; Pb: chumbo.

capita na faixa de renda do tercil 1 e 13,80% eram tabagistas diários. Em relação à região de residência, 3,00% residiam na área atingida diretamente pela lama de rejeitos da barragem que se rompeu, 1,70% residia na região de mineração do município e 95,30% residiam em outras áreas do município não atingidas diretamente pela lama ou pela mineração. As concentrações medianas (percentis 25 e 75) dos metais avaliados neste estudo foram 13,20 (8,90–18,40) µg/L para Mn, 2,96 (1,80–4,70) µg/dL para Pb, 7,40 (4,90–11,70) µg/g de creatinina para As, 0,10 (0,09–0,10) µg/g de creatinina para Cd e 0,10 (0,09–0,40) µg/g de creatinina para Hg (Tabela 1).

As prevalências das concentrações acima dos VR dos metais encontrados na amostra geral e segundo categorias das variáveis explicativas estão descritas na Tabela 2. Considerando-se a totalidade da população, esses valores foram de 38,08% para Mn, 33,37% para As, 5,04% para Pb, 0,76% para Hg e 0,17% para Cd. Em relação às variáveis explicativas, faixa etária apresentou associação significativa com os metais Mn, Pb e As; e tabagismo diário apresentou associação com Cd.

Tabela 1. Características dos participantes. Projeto Saúde Brumadinho, 2021

Variáveis	Proporção (IC95%) ou mediana (P25–P75)
Faixa etária (em anos)	
12–17	6,75 (5,40–8,41)
18–59	64,79 (61,72–67,75)
60+	28,46 (25,45–31,67)
Sexo	
Masculino	43,35 (41,10–45,62)
Feminino	56,65 (54,38–58,90)
Cor de pele	
Branco	42,23 (38,84–45,70)
Não branco	57,77 (54,30–61,16)
Renda domiciliar <i>per capita</i>	
Tercil 1	40,10 (35,96–44,39)
Tercil 2	28,07 (24,19–32,31)
Tercil 3	31,83 (28,49–35,37)
Tabagismo diário	
Não	86,20 (83,72–88,36)
Sim	13,80 (11,64–16,28)
Região de residência	
Amostra do restante do município	95,30 (95,04–95,56)
Região atingida pela lama	3,00 (2,82–3,19)
Região de mineração	1,70 (1,57–1,83)
Metais	
Mn (µg/L)	13,20 (8,90–18,40)
Pb (µg/dL)	2,96 (1,80–4,70)
As (µg/g de creatinina)	7,40 (4,90–11,70)
Cd (µg/g de creatinina)	0,10 (0,09–0,10)
Hg (µg/g de creatinina)	0,10 (0,09–0,40)

Mn: manganês; Pb: chumbo; As: arsênio; Cd: cádmio; Hg: mercúrio.

A Tabela 3 apresenta os resultados da regressão logística múltipla, considerando-se todas as variáveis explicativas incluídas no mesmo modelo ($p > 0,05$ pelo teste de Hosmer-Lemeshow). Para Cd e Hg, o teste não mostrou bom ajuste, provavelmente pela baixa proporção da população com concentrações acima dos VR. Após ajustes para todas as variáveis explicativas consideradas, os adultos (18 a 59 anos) tiveram menor chance de apresentar valores alterados para Mn e Pb, em comparação aos adolescentes, enquanto os idosos (60 anos ou mais) apresentaram menor chance de ter valores alterados para Mn. Residentes na região com atividade de mineração apresentaram menor chance de ter valores alterados para As. Sexo, cor de pele, renda domiciliar e tabagismo diário não apresentaram associação significativa com nenhum dos metais analisados.

DISCUSSÃO

Os resultados do presente estudo demonstram elevada prevalência de metais acima dos VR na população de Brumadinho, sobretudo Mn (38,08%) e As (33,37%). Além disso, essa prevalência foi menor para Mn e Pb na população adulta e para Mn entre idosos, em comparação ao grupo de 12 a 17 anos. Valores acima dos níveis de referência para As foram menos frequentes na região de mineração, em comparação ao restante do município.

Os valores medianos dos níveis de Mn, Pb e As em Brumadinho (13,20 µg/L, 2,96 µg/dL e 7,40 µg/g de creatinina, respectivamente) foram maiores do que aqueles observados na população americana avaliada no “National Health and Nutrition Examination Survey”, em 2017–2018 (9,52 µg/L, 0,73 µg/dL e 5,59 µg/g de creatinina, respectivamente)¹⁶. A distribuição dos níveis de Cd e Hg guardou semelhança entre as duas populações, com valores bem mais baixos: 0,10 µg/g de creatinina para ambos os metais em Brumadinho, e 0,13 µg/g de creatinina para Cd e abaixo do limite de detecção para Hg nos Estados Unidos¹⁹.

O Mn é um metal essencial ao homem, pois participa do metabolismo de vários nutrientes, além de ter importante função na coagulação do sangue e na homeostasia, juntamente com a vitamina K. Porém, pode ser tóxico ao organismo humano quando em níveis muito elevados, sendo a principal via de exposição a ingestão de água e alimentos²⁰. A prevalência das concentrações acima do VR de Mn na população de Brumadinho (38,08%) foi semelhante à encontrada para a população de Rio Branco (37,00%)¹⁰, em estudo conduzido entre doadores de sangue, mas com maioria de homens (75%). Esse elevado percentual da população de Brumadinho com níveis acima da referência é coerente com o resultado de análises conduzidas na lama de rejeitos, logo após o rompimento, quando verificaram-se teores para o Mn 27 vezes maiores do que os teores médios encontrados nos solos do município².

A prevalência de níveis acima dos VR para Mn foi mais elevada entre os adolescentes, em comparação às outras

Tabela 2. Prevalência de níveis acima dos valores de referência para os metais analisados, segundo características da população. Projeto Saúde Brumadinho (MG), Brasil, 2021.

Variáveis	Prevalência de níveis acima dos limites de referência (IC95%)				
	Mn	Pb	As	Cd	Hg
População total	38,08 (35,18–41,06)	5,04 (3,85–6,58)	33,37 (30,37–36,51)	0,17 (0,04–0,82)	0,76 (0,40–1,45)
Faixa etária (em anos)					
12–17	52,34* (41,58–62,90)	12,23* (6,90–20,77)	28,94* (19,07–41,32)	-	1,20 (0,20–6,98)
18–59	36,35 (32,64–40,24)	4,52 (3,08–6,58)	36,30 (32,56–40,21)	0,26 (0,05–1,28)	0,35 (0,13–0,92)
60+	38,22 (31,10–43,61)	4,39 (2,64–7,24)	27,86 (23,07–32,21)	0,01 (0,00–0,09)	1,56 (0,63–3,84)
Sexo					
Masculino	41,17 (36,63–45,86)	5,93 (3,82–8,12)	32,88 (28,70–37,35)	-	1,15 (0,47–2,80)
Feminino	35,83 (32,36–39,46)	4,64 (3,19–6,71)	33,73 (29,84–37,85)	0,30 (0,06–1,40)	0,48 (0,20–1,12)
Cor de pele					
Branco	37,70 (33,28–42,33)	3,62 (2,24–5,80)	31,02 (26,85–35,53)	-	1,21 (0,52–2,80)
Não branco	38,17 (34,05–42,48)	5,91 (4,24–8,17)	35,18 (31,39–39,17)	0,30 (0,06–1,42)	0,43 (0,17–1,11)
Renda domiciliar <i>per capita</i>					
Tercil 1	35,91 (31,21–40,89)	6,64 (4,54–9,61)	34,17 (29,80–38,82)	0,36 (0,05–2,53)	1,10 (0,44–2,96)
Tercil 2	39,74 (34,01–45,77)	6,05 (3,71–9,70)	34,63 (29,14–40,56)	-	0,30 (0,06–1,63)
Tercil 3	38,29 (32,90–43,99)	2,82 (1,41–5,55)	31,47 (25,84–37,69)	0,01 (0,00–0,08)	0,95 (0,32–2,81)
Tabagismo diário					
Não	38,07 (34,95–41,28)	4,78 (3,57–6,39)	33,56 (30,54–36,73)	0,05* (0,01–0,27)	0,72 (0,37–1,40)
Sim	38,16 (30,90–46,00)	6,64 (3,33–12,80)	32,15 (23,63–42,05)	0,98 (0,14–6,68)	1,05 (0,16–6,50)
Região de residência					
Restante do município	38,02 (34,99–41,16)	5,02 (3,77–6,64)	33,52 (30,37–36,82)	0,18 (0,04–0,87)	0,73 (0,36–1,48)
Região atingida pela lama	40,44 (37,18–43,80)	4,86 (3,61–6,52)	32,27 (29,34–35,28)	0,12 (0,02–0,82)	1,39 (0,80–2,43)
Região de mineração	36,85 (32,72–41,17)	6,75 (4,73–9,55)	27,27 (23,08–31,91)	-	1,30 (0,59–2,85)

Mn: manganês; Pb: chumbo; As: arsênio; Cd: cádmio; Hg: mercúrio. *valor p do teste do qui-quadrado com correção de Rao-Scott <0,05

Tabela 3. Associação entre as características da população e níveis acima dos valores de referência para os metais analisados. Projeto Saúde Brumadinho (MG), Brasil, 2021

Variáveis	Odds ratio ajustado (IC95%)		
	Mn	Pb	As
Faixa etária (em anos)			
12–17	1,00	1,00	1,00
18–59	0,50 (0,30–0,83)	0,35 (0,16–0,76)	1,45 (0,77–2,74)
60+	0,51 (0,30–0,87)	0,45 (0,16–1,21)	1,02 (0,52–2,00)
Sexo			
Masculino	1,00	1,00	1,00
Feminino	0,81 (0,63–1,04)	0,75 (0,41–1,37)	0,97 (0,73–1,29)
Cor de pele			
Branco	1,00	1,00	1,00
Não branco	0,97 (0,74–1,28)	1,57 (0,81–3,02)	1,18 (0,91–1,53)
Renda domiciliar <i>per capita</i>			
Tercil 1	1,00	1,00	1,00
Tercil 2	1,26 (0,91–1,76)	1,10 (0,56–2,15)	1,03 (0,74–1,44)
Tercil 3	1,21 (0,87–1,70)	0,53 (0,22–1,28)	0,97 (0,67–1,41)
Tabagismo diário			
Não	1,00	1,00	1,00
Sim	1,13 (0,77–1,64)	1,65 (0,68–3,97)	0,96 (0,60–1,56)
Região de residência			
Amostra do restante do município	1,00	1,00	1,00
Região atingida pela lama	1,04 (0,84–1,30)	0,72 (0,43–1,21)	0,89 (0,71–1,10)
Região de mineração	0,90 (0,70–1,15)	1,16 (0,69–1,96)	0,69 (0,52–0,91)

Mn: manganês; Pb: chumbo; As: arsênio. Para todos os três modelos, o valor p do teste de Hosmer-Lemeshow foi >0,05.

faixas etárias, de forma semelhante ao observado em outras populações, no Brasil¹¹, nos Estados Unidos²¹ e no México²². Por outro lado, embora em outros estudos os níveis de Mn tenham sido maiores entre as mulheres^{10,11,21-23}, em Brumadinho não houve diferenças significativas de prevalência de valores alterados entre os sexos. Além disso, indicadores de condição socioeconômica também não foram associados a esses níveis, de forma semelhante a outras populações^{11,21}.

Em relação ao Pb, observou-se prevalência de 5,04% de concentrações acima do VR em toda a população de Brumadinho, de forma semelhante ao reportado em outras localidades. Em adultos expostos ambientalmente do entorno da Estância Ecológica Sesc Pantanal, no Mato Grosso, 7,57% das amostras analisadas para Pb estavam acima do VR²⁴. Em indivíduos de 0 a 16 anos do Complexo de Manginhos, no Rio de Janeiro, a prevalência foi de 5,00% para valores acima da referência²⁵. Já na população de Detroit, nos EUA, 28% apresentaram níveis acima da média para Pb, valor maior do que o encontrado em Brumadinho²⁶.

Na presente pesquisa, o Pb apresentou maior prevalência entre adolescentes, semelhante à população dos EUA, onde os níveis de Pb no sangue diminuíram com a idade²⁷. De maneira oposta, entre crianças e adultos da República Tcheca¹², assim como na população espanhola²⁸ e na população coreana¹³, os níveis de Pb no sangue aumentaram conforme a idade.

Vale ressaltar que a exposição ao Mn e ao Pb em crianças e adolescentes tem maior risco de impacto no neurodesenvolvimento, pois pode causar déficit no desempenho cognitivo e comportamental, bem como atraso no crescimento físico durante a infância e a puberdade^{7,29}, demonstrando a relevância desse resultado, mais prevalente entre adolescentes, para a população de Brumadinho.

A prevalência de níveis aumentados de Pb no sangue não apresentou diferenças significativas em relação às demais variáveis do estudo. Essas associações ainda parecem diferir muito entre populações, mas a maioria descreve, por exemplo, maiores concentrações desse metal entre homens, em comparação às mulheres^{12,13,26,30}.

O As é um metal que pode estar presente em mais de 200 minerais, entre eles nos minérios de Pb e Mn e mais frequentemente relacionado ao ouro³¹. A fundição de metais e, em menor grau, os agrotóxicos ou a queima de carvão são fontes de As de origem antrópica. A via de exposição mais comum ao As é pela ingestão de água e alimentos, e esse metal, quando exposto cronicamente, aumenta o risco de algumas condições de saúde, como câncer de bexiga, pulmão, pele e rins^{32,33}.

Em Brumadinho, elevada proporção da população investigada apresentou concentrações acima dos VR para As (33,37%). No presente estudo, a única variável com associação significativa com o As foi a região de residência. Essa menor chance de ter níveis alterados de As em região de mineração é coerente com estudo conduzido entre doadores de sangue no Acre que identificou menores níveis de As entre trabalhadores da mineração de metal¹⁰, embora com resultados avaliados no sangue dos participantes.

De forma oposta, em Paracatu, Minas Gerais³⁴, e na região Alto Vale da Ribeira, entre os estados de São Paulo e Paraná¹⁴, observaram-se maiores níveis de As em moradores de bairros mais próximos às áreas de mineração. Outro estudo explica que a ocorrência de As é comum, pois, além de o metal estar associado a diversos minérios, durante a extração, a contaminação da água acontece após lavra e beneficiamento do minério, resultando em baixo pH dessas águas³¹.

Deve-se ressaltar que, na região de mineração, na qual foi observada menor prevalência de níveis acima do VR para As, cerca de 82% dos participantes recebem água de carro-pipa e 95% reportam a água mineral como principal fonte para beber, diferentemente do observado nas demais regiões analisadas (dados não mostrados). Considerando-se a água como uma importante fonte de exposição ao As^{10,32,33}, esse resultado pode explicar, pelo menos em parte, a menor prevalência nesse grupo, dado que nesse local há maior consumo de água mineral.

A análise mostrada neste artigo apresenta algumas limitações. Pela característica seccional do estudo, as associações não demonstram relação temporal entre as variáveis, embora tenha sido possível detectar alguns grupos mais vulneráveis a apresentar níveis elevados de metais no organismo. Além disso, não foram consideradas a origem dos metais, as atividades e os comportamentos dos adolescentes e a exposição ocupacional, por se tratar de uma região de exposição mais homogênea, devido à magnitude do rompimento da barragem e à presença de mineração. Por fim, usou-se apenas a informação sobre o hábito diário do uso dos cigarros, sem considerar o tabagismo passivo, pela ausência dessa informação no estudo, o que também poderia ter influência nos níveis de metais no organismo.

Por outro lado, este se constitui no primeiro estudo de base populacional a considerar a exposição ao As, Cd, Pb, Mn e Hg na população adolescente e adulta de Brumadinho, após o rompimento da barragem. Os resultados demonstram elevada prevalência de níveis acima da referência para Mn, As e Pb (neste caso, principalmente entre adolescentes), com pequenas diferenças em relação às demais variáveis, sugerindo se tratar de uma exposição mais ampla em todo o município. Esse conhecimento poderá auxiliar na vigilância à exposição ambiental, bem como na estruturação de outros serviços de saúde, para fins de detecção das fontes de exposição e acompanhamento dos grupos expostos pelo serviço de saúde local.

REFERÊNCIAS

1. Governo do Estado de Minas Gerais. Secretaria Estadual de Saúde de Minas Gerais. Boletim Informativo. Qualidade da água para consumo humano em soluções alternativas de abastecimento em municípios atingidos pelo desastre da Vale S.A. em Brumadinho, Minas Gerais (2019 – 2020) [Internet]. 2021 [acessado em 22 mai. 2022]. Disponível em: https://saude.mg.gov.br/images/Boletim_Brumadinho.pdf

2. Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Um ano do desastre da Vale: Organização e resposta do Ministério da Saúde. *Bol Epidemiol* [Internet]. 2020 [acessado em 08 jul. 2022]; 51(n.esp.):1-35. Disponível em: <http://www.saude.gov.br/boletins-epidemiologicos>
3. World Health Organization. 10 chemicals of public health concern. Genebra: World Health Organization; 2020.
4. Laohaudomchok W, Lin X, Herrick RF, Fang SC, Cavallari JM, Shrairman R, et al. Neuropsychological effects of low-level manganese exposure in welders. *Neurotoxicology* 2011; 32(2): 171-9. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2010.12.014>
5. Tchounwou PB, Yedjou CG, Patlolla AK, Sutton DJ. Heavy metal toxicity and the environment. *Exp Suppl* 2012; 101: 133-64. https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4_6
6. Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. Diretrizes para elaboração de estudo de avaliação de risco à saúde humana por exposição a contaminantes químicos. Brasília: Ministério da Saúde; [Internet]. 2010 [acessado em 22 mai. 2022]. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5097591/mod_folder/content/0/Avaliacao-de-Risco---Diretrizes-MS.pdf?forcedownload=1
7. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Agency for Toxic Substances and Disease Registry [Internet]. 2022 [acessado em 21 jun. 2022]. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/>
8. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Fundação Oswaldo Cruz. Projeto Saúde Brumadinho. O que é o Projeto Saúde Brumadinho [Internet]. 2022 [acessado em 22 mai. 2022]. Disponível em: <http://www.minas.fiocruz.br/saudebrumadinho/index.php>
9. Peixoto SV, Firmo JOA, Fróes-Asmus CIR, Mambrini JVM, Freitas CM, Lima-Costa MF, et al. Projeto Saúde Brumadinho: aspectos metodológicos e perfil epidemiológico dos participantes da linha de base da coorte. *Rev Bras Epidemiol* 2022; (supl 2): E220002. <https://doi.org/10.1590/1980-549720220002.supl.2.1>
10. Freire C, Rosalina RJ, Fujimoto D, Souza VCO, Barbosa F, Koifman, S. Reference values of cadmium, arsenic and manganese in blood and factors associated with exposure levels among adult population of Rio Branco, Acre, Brazil. *Chemosphere* 2015; 128C: 70-8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.12.083>
11. Da Silva ALC, Urbano MR, Lopes ACBA, Carvalho MFH, Buzzo ML, Peixe TS, et al. Blood manganese levels and associated factors in a population-based study in Southern Brazil. *J Toxicol Environ Health A* 2017; 80(19-21): 1064-77. <https://doi.org/10.1080/15287394.2017.1357354>
12. Batáriová A, Speváčková V, Benes B, Cejchanová M, Smíd J, Cerná M. Blood and urine levels of Pb, Cd and Hg in the general population of the Czech Republic and proposed reference values. *Int J Hyg Environ Health* 2006; 209(4): 359-66. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2006.02.005>
13. Eom SY, Lee YS, Lee SG, Seo MN, Choi BS, Kim YD, et al. Lead, mercury, and cadmium exposure in the Korean general population. *J Korean Med Sci* 2018; 33(2): e9. <https://doi.org/10.3346/jkms.2018.33.e9>
14. Figueiredo B, De Capitani EM, Gitahy LC. Exposição humana à contaminação por chumbo e arsênio no Vale do Ribeira (SP-PR). In: *II Encontro da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade*; 2004 mai. 26-29; Indaiatuba SP), Brasil. Disponível em: <https://anppas.org.br/ii-encontro-associacao-nacional-de-pos-graduacao-e-pesquisa-em-ambiente-e-sociedade/>
15. Fundação Oswaldo Cruz. Nota Técnica 01/2021. Exames toxicológicos da população adolescente e adulta do município de Brumadinho/MG, realizados em julho de 2021. Projeto Saúde Brumadinho e Projeto Bruminha [Internet]. 2021 [acessado em 22 mai. 2022]. Disponível em: http://www.minas.fiocruz.br/saudebrumadinho/assets/doc/carta_01c41_nota-t-cnica-sobre-metais-aos-profissionais-de-sa-de-.pdf
16. Brasil. Ministério do Trabalho. Secretaria de Segurança e Saúde no Trabalho. Portaria nº 24, de 29 de dezembro de 1994. Aprovar o texto da Norma Regulamentadora nº 7 – Exames médicos. *Diário Oficial da União* de 30/12/94 – Seção 1 – p. 21.278 e 21.280 [Internet]. 1994 [acessado em 10 set. 2022]. Disponível em: https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/sst-portarias/1994/portaria_24_aprova_nr_07_e_altera_nr_28-doc.pdf/view
17. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for Manganese. US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Atlanta [Internet]. 2020 [acessado em 10 set. 2022]. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp151-c2.pdf>
18. Kosnett MJ, Wedeen RP, Rothenberg SJ, Hipkins KL, Materna BL, Schwartz BS, et al. Recommendations for medical management of adult lead exposure. *Environ Health Perspect* 2007; 115(3): 463-71. <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.9784>
19. Centers for Disease Control and Prevention. National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals [Internet]. 2017-2018 [acessado em 9 ago. 2022]. Disponível em: <https://www.cdc.gov/exposurereport/>
20. Li L, Yang X. The essential element manganese, oxidative stress, and metabolic diseases: links and interactions. *Oxid Med Cell Longev* 2018; 2018: 7580707. <https://doi.org/10.1155/2018/7580707>
21. Oulhote Y, Mergler D, Bouchard MF. Sex- and age-differences in blood manganese levels in the U.S. general population: national health and nutrition examination survey 2011-2012. *Environ Health* 2014; 13: 87. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-13-87>
22. Santos-Burgoa C, Rios C, Mercado LA, Arechiga-Serrano R, Cano-Valle F, Eden-Wynter RA, et al. Exposure to manganese: health effects on the general population, a pilot study in central Mexico. *Environ Res* 2001; 85(2): 90-104. <https://doi.org/10.1006/enrs.2000.4108>
23. Baldwin M, Mergler D, Larribe F, Bélanger S, Tardif R, Bilodeau L, et al. Bioindicator and exposure data for a population based study of manganese. *Neurotoxicology* 1999; 20(2-3): 343-53. PMID: 10385895
24. Jesus LDF, Moreira MFR, Azevedo SV, Borges RM, Gomes RAA, Bergamini FPB, et al. Avaliação dos níveis de chumbo e mercúrio em população exposta ambientalmente na Região

- Centro-oeste do Brasil. *Cad Saúde Pública* 2018; 34(2): e00034417. <https://doi.org/10.1590/0102-311X00034417>
25. Mattos RCO, Carvalho MAR, Mainenti HRD, Xavier Junior EC, Sarcinelli PN, Carvalho LBV, et al. Avaliação dos fatores de risco relacionados à exposição ao chumbo em crianças e adolescentes do Rio de Janeiro. *Ciênc Saúde Coletiva* 2019; 14(6): 2039-48. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232009000600011>
26. Nriagu J, Burt B, Linder A, Ismail A, Sohn W. Lead levels in blood and saliva in a low-income population of Detroit, Michigan. *Int J Hyg Environ Health* 2006; 209(2): 109-21. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2005.11.005>
27. Wang T, Zhou YP, Sun Y, Zheng YX. Trends in blood lead levels in the U.S. from 1999 to 2016. *Am J Prev Med* 2021; 60(4): e179-e187. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2020.10.024>
28. Caña AI, Cervantes-Amat M, Esteban M, Ruiz-Moraga M, Pérez-Gómez B, Mayor J, et al. Blood lead levels in a representative sample of the Spanish adult population: the BIOAMBIENT. ES project. *Int J Hyg Environ Health* 2014; 217(4-5): 452-9. <http://doi.org/10.1016/j.ijheh.2013.09.001>
29. Liu W, Xin Y, Li Q, Shang Y, Ping Z, Min J, et al. Biomarkers of environmental manganese exposure and associations with childhood neurodevelopment: a systematic review and meta-analysis. *Environ Health* 2020; 19(1): 104. <https://doi.org/10.1186/s12940-020-00659-x>
30. Khoshnamvand N, Azizi N, Hassanvand MS, Shamsipour M, Naddafi K, Oskoei V. Blood lead level monitoring related to environmental exposure in the general Iranian population: a systematic review and meta-analysis. *Environ Sci Pollut Res Int* 2021. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14148-2>
31. Ferreira GA, Assis GHR, Cordeiro J, Bernardes CD, Lage MA, Cordeiro JL. The presence of arsenic in minerary activities: a scientometric analysis. *RSD* 2019; 8(9): e22891242. <https://doi.org/10.33448/rsd-v8i9.1242>
32. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Ficha de Informação Toxicológica: Arsênio [Internet]. 2017 [acessado em 07 jul. 2022]. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/Arsenio.pdf>
33. Borba RP, Figueiredo BR, Cavalcanti JA. Arsênio na água subterrânea em Ouro Preto e Mariana, Quadrilátero Ferrífero (MG). *Rev Esc Minas* 2004; 57(1): 45-51. <https://doi.org/10.1590/S0370-44672004000100009>
34. Castilhos ZC, De Capitani EM, Jesus IM, Bidone ED, Mello WZ, Lima MO, et al. Avaliação da contaminação ambiental por arsênio e estudo epidemiológico da exposição humana em Paracatu-MG - Brasil. *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science* 2020; 9(1): 186-211. <https://doi.org/10.21664/2238-8869.2020v9i1.p186-211>

ABSTRACT

Objective: To describe the prevalence of levels of arsenic, cadmium, mercury, lead and manganese above the reference values (RV) in the population of Brumadinho, after the rupture of the mining tailings dam and to verify the factors associated with these levels.

Methods: Baseline study of a prospective cohort, in a representative sample of 3,080 residents (aged 12 and over) in Brumadinho, Minas Gerais. Exploratory variables (age, sex, skin color, household income, smoking and place of residence) were collected using a questionnaire and the levels of As, Cd and Hg in urine and Pb and Mn in blood were evaluated using the technique of inductively coupled plasma mass spectrometry. The distribution of prevalence of levels above the reference for metals was made, according to the exploratory variables. Multiple logistic regression analyzes were used to investigate the association between altered levels of metals and characteristics evaluated. **Results:** Concentrations above RV were found in 38.08% of the population for Mn, 33.37% for As, 5.04% for Pb, 0.76% for Hg and 0.17% for Cd. There was a significant association between age group and levels of Mn and Pb; and between place of residence and As level. **Conclusion:** The results show a high prevalence of levels above the reference for Mn, As and Pb, with small differences in relation to the other variables, suggesting that it is an exposure distributed throughout the municipality.

Keywords: Environmental exposure. Heavy metals. Health effects of disasters. Epidemiology of disasters.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES: Mota, P.J.: Análise formal, Escrita – primeira redação. Alonzo, H.G.A.: Escrita – revisão e edição, Metodologia. André, L.C.: Escrita – revisão e edição, Metodologia. Câmara, V.M.: Escrita – revisão e edição, Metodologia. Campolina, D.: Escrita – revisão e edição, Metodologia. Santos, A.S.E.: Escrita – revisão e edição, Metodologia. Fróes-Asmus, C.I.R.: Administração do projeto, Escrita – revisão e edição, Metodologia, Obtenção de financiamento. Peixoto, S.V.: Administração do projeto, Escrita – revisão e edição, Metodologia, Obtenção de financiamento, Supervisão.

FONTE DE FINANCIAMENTO: O Projeto Saúde Brumadinho é financiado pelo Departamento de Ciência e Tecnologia da Secretaria de Ciência, Tecnologia, Inovação e Insumos Estratégicos em Saúde (DECIT/SCTIE), do Ministério da Saúde (Processo 25000.127551/2019-69), e pela Fundação Oswaldo Cruz. Sérgio Viana Peixoto é bolsista de produtividade em pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)

