

CONCENTRAÇÃO DE ÍONS FERRO E MANGANÊS SOLÚVEIS EM AMOSTRAS DE ÁGUA BRUTA PARA CONSUMO HUMANO DO ESTADO DE MINAS GERAIS**CONCENTRATION OF SOLUBLE IRON AND MANGANESE IONS IN RAW WATER SAMPLES FOR HUMAN CONSUMPTION FROM MINAS GERAIS STATE**Gabriel Souza-Silva¹<https://orcid.org/0000-0002-3740-4346>Clessius Ribeiro de Souza²<https://orcid.org/0000-0003-0884-1202>Vinícius Viana Pereira³<https://orcid.org/0000-0002-5928-3880>Fernanda Cristina Rezende Azevedo⁴<https://orcid.org/0009-0001-3872-6312>Isabela Vianna Soares⁵<https://orcid.org/0009-0001-6259-6706>Mariângela Domingos Alcântara⁶<https://orcid.org/0009-0004-9734-1799>Geraldo Jacinto da Luz Júnior⁷Micheline Rosa Silveira⁸<https://orcid.org/0000-0001-7002-4428>**Submetido: 01/12/2022 / Aprovado: 19/01/2023 / Publicado: 21/08/2023.****Resumo**

A água é um recurso natural com alto valor econômico agregado, que nem sempre é próprio para o consumo humano. Na água podem ser encontradas diversas substâncias químicas, como os íons ferro e manganês que, dependendo de sua concentração, podem causar danos à saúde humana. Assim, no presente estudo teve-se como objetivo avaliar as concentrações de íons ferro e manganês em amostras de água bruta em diferentes municípios do Estado de Minas Gerais. Para isso, foram analisadas 422 amostras de água provenientes de 85 municípios, sendo originadas de diferentes fontes, como poços, cisternas, minas e nascentes. Para análise, a concentração de ferro e

¹Doutorando em Medicamentos e Assistência Farmacêutica. Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Minas Gerais. E-mail: silva_gs@yahoo.com.

²Doutorando em Medicamentos e Assistência Farmacêutica. Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Minas Gerais. E-mail: clessiusdcq@gmail.com.

³Doutor em Química. Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Minas Gerais. E-mail: vncsviana@ufmg.br.

⁴Mestra em Medicamentos e Assistência Farmacêutica. Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Minas Gerais. E-mail: fernandauitfarma@yahoo.com.br.

⁵Graduanda em Farmácia. Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Minas Gerais. E-mail: isabelavis07@gmail.com.

⁶Graduanda em Biomedicina. Faculdade Anhanguera de Belo Horizonte, Minas Gerais. E-mail: mariangeladomingos@yahoo.com.br.

⁷Especialista em Educação Ambiental. Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Minas Gerais. E-mail: gjluz@oul.com.br.

⁸Doutora em Fisiologia e Farmacologia. Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Minas Gerais. E-mail: michelinerosa@gmail.com.



manganês foi determinada por meio de espectrofotometria, utilizando kits específicos para cada íon. Das 422 amostras de água, 93 (22,0%) e 106 (25,1%) apresentaram valores acima do limite máximo de ferro e manganês, respectivamente, segundo a portaria GM/MS nº 888 de maio de 2021. Embora sejam consideradas impróprias para o consumo humano, o tratamento por meio da adição de cloro seguida de processo de filtração, pode ser uma alternativa viável para reduzir a concentração de ferro e manganês na água e contribuir para a redução de bactérias na água.

Palavras-chave: Padrão de potabilidade da água. Saúde Ambiental. Poço artesiano.

Abstract

Water is a natural resource with high economic value, which is not always suitable for human consumption. Several chemical substances can be found in water, such as iron and manganese ions that, depending on their concentration, can cause damage to human health. Thus, the present study aimed to evaluate the concentrations of ions iron and manganese in samples of raw water in different municipalities in the State of Minas Gerais. For this, 422 water samples from 85 municipalities were analyzed, originating from different sources, such as wells, cisterns, mines and springs. For analysis, the concentration of iron and manganese was determined by spectrophotometry, using specific kits for each ion. Of the 422 water samples, 93 (22.0%) and 106 (25.1%) showed values above the maximum limit for iron and manganese, respectively, according to GM/MS Ordinance No. 888 of May 2021. Although they are considered unsuitable for human consumption, the treatment through the addition of chlorine followed by a filtration process, can be a viable alternative to reduce the concentration of iron and manganese in the water and contributing to the reduction of bacteria in the water.

Keywords: Water Potability Standard. Environmental Health. Artesian well.

1. INTRODUÇÃO

A água é uma substância química líquida, incolor, insípida e inodora, abundante no planeta e essencial para vida. É um recurso natural que possui alto valor econômico agregado ao seu uso que, mesmo com todas as medidas de redução do desperdício, está se tornando cada vez mais dispendiosa. Por isso, mesmo com acesso ao fornecimento pela rede pública, parte da população brasileira ainda realiza a perfuração de poços para o abastecimento próprio, aumentando, portanto, o uso de água subterrânea (KUMAR *et al.*, 2017; SANTOS *et al.*, 2020). No Brasil, em 2015, os poços legalizados extraíam 6.620 Mm³/ano de água subterrânea e que em 2016, foi extraído uma média de 17.580 Mm³/ano, o que o torna um usuário significativo de águas subterrâneas dentro do contexto mundial (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2019).

Muitas vezes, essa água bruta é consumida pela população sem que haja uma análise prévia de sua qualidade. Nessa água, podem ser encontradas diversas substâncias químicas dissolvidas que, dependendo de sua concentração, podem causar danos à saúde humana (GOIS, NOGUEIRA; MORAES, 2013; SOUSA *et al.*, 2016; SOUZA, MORASSUTI; DEUS, 2018; SOARES, COLDEBELLA; FRIGO, 2021). Diversos parâmetros são utilizados para determinar a potabilidade da água para consumo humano, os quais devem ser levados em consideração. A Portaria Consolidada do Ministério da Saúde GM/MS nº 888 de maio de 2021 estabelece valores de concentrações máximas permitidas para cada um desses parâmetros (BRASIL, 2021).



Alguns parâmetros, como cor e turbidez, podem indicar o excesso de algum composto químico solúvel e insolúvel na amostra de água, respectivamente (SANTOS, 2020). Essa extrapolação do valor máximo recomendado leva a rejeição da amostra para consumo humano, devido a possibilidade de risco para a saúde. Em águas brutas, os principais elementos que provocam mudanças nesses parâmetros são os íons ferro e manganês, que devido às características geoquímicas da bacia brasileira, podem ser encontrados em maiores concentrações nas amostras de água subterrânea (NARCISO, GOMES, 2004).

Tanto o íon ferro como o manganês, ao entrarem em contato com oxigênio, oxidam e conferem cor e turbidez para a água (SCORSAFAVA *et al.*, 2010). Essa alteração de cor, provocada pela presença do ferro, é bastante comum em ambientes oxidantes, onde o íon ferroso (Fe^{+2}) passa para o estado férrico (Fe^{+3}), dando origem ao hidróxido férrico, que é insolúvel em água, tingindo fortemente a água. Assim, águas subterrâneas com concentrações elevadas de ferro, ao saírem do poço encontram-se incolores, mas após alguns minutos de exposição ao oxigênio atmosférico, tornam-se amareladas. Normalmente, essa alteração de cor ocorre em amostras com concentração de ferro superiores a 0,5 mg/L (SANTOS, 2020).

Em concentrações elevadas, o ferro e manganês podem provocar manchas em roupas, redução na eficiência dos filtros nos poços, redução da vida útil de determinados equipamentos e incrustações em tubulações (ROCHA *et al.*, 2006). Além disso, o consumo de ferro em altas concentrações pode provocar seu acúmulo no fígado, pâncreas, coração e hipófise, causando hemocromatose no consumidor (CETESB, 2008), além de favorecer o desenvolvimento de microrganismos na água, como as ferrobactérias (SCORSAFAVA *et al.*, 2010). O excesso de manganês tem potencial para induzir distúrbios neurotóxicos que podem estar associados a doença de Alzheimer, Esclerose Lateral Amiotrófica, doença de Huntington e Parkinson (HERNÁNDEZ *et al.*, 2020).

Mesmo que algumas águas subterrâneas sejam impróprias para o consumo humano, são conhecidas muitas formas de tratamento para a remoção de ferro e manganês em água. Em saneamento ambiental, uma dessas formas é a oxidação por meio da aeração ou uso de oxidantes químicos, seguido de um processo de filtração. Outro processo comumente empregado para promover a remoção de ferro e manganês da água é por meio da cloração seguida pela filtração com filtro de carvão ativado (CLEASBY, 1983; ALVES, 2010; MORUZZI, REALI, 2012; ALMEIDA *et al.*, 2019).

Assim, levando em consideração o aumento do consumo humano de águas brutas, principalmente provenientes de poços, somado ao risco existente de danos à saúde pela ingestão imprópria de água com concentrações elevadas de ferro e manganês, o presente estudo teve como objetivo avaliar a concentração desses íons em amostras de água bruta em diferentes municípios do Estado de Minas Gerais tendo como base os padrões de potabilidade para consumo humano estabelecidos pela Portaria GM/MS N° 888/2021.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Origem das amostras

Neste trabalho, teve-se como área de estudo municípios no Estado de Minas Gerais (MG), que possui área territorial de 586.513,993 km² e é composto por 853 municípios. As amostras de água foram encaminhadas de 85 diferentes municípios para o Laboratório de Saúde Pública/Água da Faculdade de Farmácia (FAFAR), da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), onde



foram analisadas, entre os anos de 2018 e 2022 quanto a sua potabilidade para os íons ferro e manganês. Dentre as amostras analisadas, todas eram destinadas ao consumo humano e tinham como objetivo verificar sua potabilidade, seja de poço, cisterna, mina ou nascente, onde apenas uma única amostra foi coletada por ponto.

Quanto a distribuição das amostras por região de Minas Gerais, seis (1,4%) pertenciam a região do Campo das Vertentes, sete (1,7%) Central, 16 (3,8%) Centro Oeste, três (0,7%) Jequitinhonha, 366 (86,7%) Mesometropolitana, três (0,7%) Noroeste, três (0,7%) Norte, um (0,2%) Oeste, três (0,7%) Rio Doce, seis (1,4%) Sul e Sudoeste, dois (0,5%) Triângulo e Alto Paranaíba e seis (1,4%) da Zona da Mata.

2.2 Quantificação de ferro e manganês

Para análise da concentração de ferro e manganês nas amostras, foi utilizado o espectrofotômetro Spectroquant® Prove 100 (Merck Millipore – 173016). A determinação da concentração de ferro foi realizada por meio do kit Spectroquant® Iron Test (Merck Millipore - 114761). Resumidamente, os íons de ferro são reduzidos em íons de ferro (II), em um meio tamponado com tioglicolato, os quais reagem com um derivado de triazina para formar um complexo vermelho-violeta que é determinado fotometricamente. Quanto à determinação da concentração de manganês nas amostras analisadas, foi utilizado o kit Spectroquant® Manganese Test (Merck Millipore - 114770). Os íons manganês (II) em solução alcalina reagem com uma oxima para formar um complexo marrom-avermelhado que é determinado fotometricamente. Foram utilizadas as faixas de leitura de 0,03 a 2,50 mg/L e 0,010 a 2,000 mg/L, para quantificar o ferro e manganês nas amostras de água, respectivamente.

2.3 Análise estatística

Foram realizadas análises de distribuição de frequência para o número de amostras conforme a região geoeconômica do Estado de Minas Gerais e conforme a origem da água. A distribuição dos dados foi avaliada por meio do teste de Shapiro-Wilk. A uniformidade dos resultados das concentrações de ferro e manganês nas amostras foram comparados por meio do teste Kruskal-Wallis, além do *post-hoc* de Nemenyi para verificar se havia diferenças significativas entre os resultados das amostras de diferentes regiões e fontes. Todas as análises foram realizadas com o software R, versão 4.0.2, e nível de significância de 5%.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Característica da amostra

Um total de 422 amostras de água foram analisadas de 85 municípios, sendo originadas de poços (n = 371; 87,9%), cisternas (n = 21; 5,0%), minas (n = 17; 4,0%) e nascentes (n = 13; 3,1%). Com relação a quantidade de amostras analisadas, a maioria (n = 136; 32,2%) foram provenientes da cidade de Belo Horizonte, seguido por Ouro Preto (n = 27; 6,4%), Betim (n = 26; 6,2%), Contagem (n = 20; 4,7%) e Nova Lima (n = 18; 4,3%), cidades da região metropolitana de Belo Horizonte (Tabela 1).



Tabela 1 - Dados relacionados ao local de coleta das amostras de água, número de amostras por local (n), quantidade de amostras com valor de ferro (Fe), manganês (Mn) e ambos (Fe e Mn) acima do valor permitido pela portaria GM MS 888 de 2021 para consumo humano.

Local	n	Fe	Mn	Fe e Mn
Amarantina	1	1	0	0
Azurita	1	1	0	0
Baldim	2	1	2	1
Barra Longa	1	0	0	0
Belo Horizonte	136	32	38	26
Belo Vale	1	0	0	0
Betim	26	6	10	5
Bom Despacho	1	0	0	0
Brumadinho	5	1	0	0
Caetanópolis	1	0	0	0
Capim Branco	1	0	1	0
Captólio	3	1	2	1
Carandaí	1	0	0	0
Carmésia	2	0	0	0
Carmópolis de Minas	1	0	0	0
Casa Grande	1	0	0	0
Catas Altas	1	0	0	0
Conceição do Mato Dentro	1	0	0	0
Contagem	20	2	4	1
Corinto	1	0	0	0
Coromandel	2	0	0	0
Curvelo	2	0	0	0
Diamantina	2	0	0	0
Entre Rios de Minas	4	1	0	0
Esmeraldas	8	1	2	1
Estrela do Indaiá	1	0	0	0
Felixlândia	2	0	2	0
Florestal	3	2	2	2
Funilândia	1	0	0	0
Guanhães	1	0	0	0
Guarda Mor	2	0	1	0
Ibirité	1	0	0	0
Igarapé	5	0	2	0
Itabirito	6	1	3	1
Itaguara	5	1	1	1
Itatiaiuçu	2	2	0	0



Jaboticatubas	8	4	2	2
João Monlevade	1	1	1	1
João Pinheiro	1	0	1	0
Juatuba	1	0	1	0
Lagoa da Prata	1	0	0	0
Lagoa Dourada	2	0	0	0
Lagoa Santa	10	1	3	1
Lima Duarte	2	1	0	0
Martinho Campos	1	0	0	0
Mateus Leme	1	1	0	0
Moeda	3	0	0	0
Morro Vermelho	1	0	0	0
Nova Lima	18	5	6	4
Nova União	1	0	0	0
Ouro Preto	27	0	3	0
Paineira	1	1	0	0
Pará de Minas	1	0	0	0
Paraopeba	2	0	0	0
Pedro Leopoldo	7	2	2	1
Pequi	1	0	0	0
Piedade do Paraopeba	1	0	0	0
Piracema	1	0	0	0
Piranga	1	0	0	0
Prudente de Morais	1	1	1	1
Ribeirão das Neves	12	3	2	2
Sabará	10	3	2	2
Santa Cruz de Minas	2	1	0	0
Santa Luzia	9	3	1	1
Santa Rita de Ibitipoca	1	0	0	0
Santana do Deserto	1	1	0	0
Santana do Riacho	2	0	1	0
São Bento Abade	1	1	1	1
São Gonçalo do Pará	1	0	0	0
São Gonçalo do Rio Abaixo	1	0	0	0
São Gonçalo do Rio Preto	1	0	0	0
São João das Missões	2	0	0	0
São João Del Rei	1	1	0	0
São Joaquim de Bicas	4	1	0	0
São Jose da Lapa	3	0	0	0



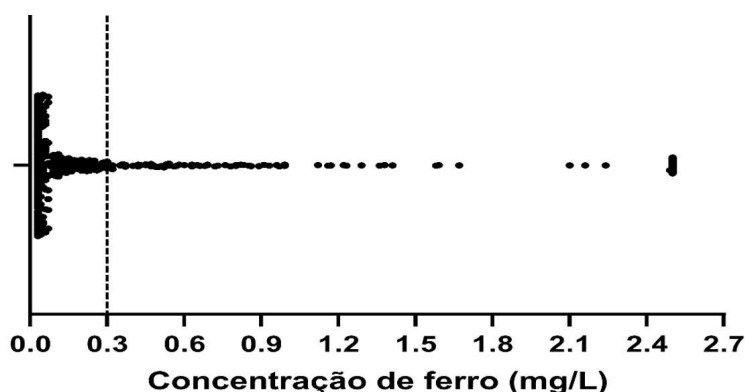
São Sebastião do Oeste	1	0	0	0
Sarzedo	4	1	1	1
Senhora dos Remédios	2	2	2	1
Serro	6	3	4	3
Sete Lagoas	2	0	1	0
Taquaraçu de Minas	1	1	1	1
Tiradentes	1	1	0	0
Três Corações	1	1	0	0
Ubá	1	0	0	0
Vespasiano	4	0	0	0
TOTAL	422	93	106	61

Fonte: Autores, 2023.

3.2 Concentração de ferro

Das 422 amostras de água, 93 (22,0%) apresentaram concentrações de ferro acima do limite de potabilidade ($\leq 0,3$ mg/L) estabelecido pela Portaria GM/MS N° 888/2021 (Figura 1), sendo que em Belo Horizonte das 136 amostras analisadas, 32 (25,7%) estavam acima desse limite. Um total de 163 (38,5%) amostras apresentaram valores de ferro inferiores ($0,03$ mg/L) e 25 (5,9%) valores superiores ($2,50$ mg/L) ao limite de quantificação (LQ) do método. Nesses casos, quando o valor encontrado foi inferior a $0,03$ mg/L, o resultado foi expresso como sendo $\leq 0,03$ mg/L; para os valores superiores a $2,50$ mg/L, o resultado foi divulgado como $\geq 2,50$ mg/L. Mesmo a água tendo diferentes fontes como cisterna, mina, nascente ou poço, não foram observadas diferenças significativas entre as médias das concentrações de ferro das amostras (p -valor $> 0,05$) cujos resultados estavam acima do limite máximo permitido.

Figura 1 - Distribuição da concentração de ferro encontrada nas amostras analisadas de água bruta no estado de Minas Gerais ($n = 422$).



Legenda: A linha pontilhada (---) representa o valor máximo permitido de ferro ($0,3$ mg/L) em água potável para consumo humano. **Fonte:** Autores, 2023.

Sabe-se que a concentração de ferro na amostra depende, principalmente, das características geoquímicas da região onde foi coletada. Em um estudo realizado em São Paulo, dentre as 1.759 amostras coletadas, 115 (6,5%) apresentaram valores de ferro acima do limite ($>$

DOI: <http://dx.doi.org/10.24021/raac.v20i1.7433>

V. 20, N. 1 (2023)



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

0,3 mg/L) estabelecido pela Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde (SCORSAFAVA *et al.*, 2010). Em Crato (Ceará), um total de 15,24% de amostras analisadas apresentava concentrações de ferro acima do valor máximo permitido (> 0,3 mg/L) pela Portaria de Consolidação nº 05/2017 (ALMEIDA *et al.*, 2019).

Na Bahia, 17,51% das amostras analisadas, distribuídas em 290 municípios, apresentaram teores de ferro acima de 0,3 mg/L (CARMO, OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2015). Além das características da região, como a natureza das rochas, outros fatores podem contribuir para as variações nesses valores, como a má condição da qualidade da bomba do poço, o encanamento enferrujado e o acúmulo de ferro nas tubulações.

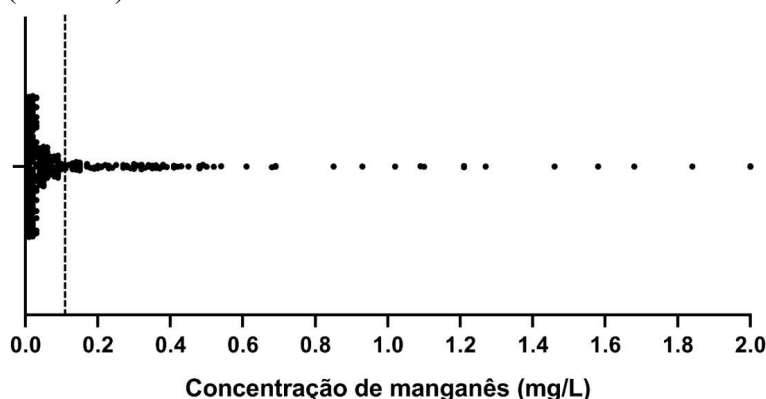
Embora as concentrações de ferro na água sofram variações dependendo de cada região, características hidrogeológicas e pluviosidade, concentrações elevadas desse íon podem ser consequência de poluição próxima, como a presença de depósitos de sucata. Por ser comum teores altos de ferro em águas naturais de áreas constituídas por solos ferralíticos (latossolos), como é o caso de Minas Gerais, a análise desse íon na água é fundamental para verificar sua potabilidade. Em valores acima do permitido (BRASIL, 2021), o ferro pode provocar manchas em louças sanitárias e roupas, além de possibilitar o crescimento de ferrobactérias e favorece o aparecimento de microrganismos patogênicos (NASCIMENTO; BARBOSA, 2005).

3.3 Concentração de manganês

Quanto ao íon manganês, 106 (25,1%) amostras apresentaram valores acima do limite máximo de 0,1 mg/L (Figura 2) sendo que em Belo Horizonte das 136 amostras, 38 (27,9%) estavam acima do limite de potabilidade. Um total de 127 (30,0%) amostras apresentaram valores de manganês inferiores ao limite de quantificação do método (0,010 mg/L) e duas (0,5%) apresentaram valores superiores ao limite de quantificação (2,000 mg/L).

Nestes casos, quando o valor encontrado foi inferior a 0,010 mg/L, o resultado foi expresso como $\leq 0,010$ mg/L, e para valores superiores a 2,000 mg/L, o resultado foi divulgado como $\geq 2,000$ mg/L. Semelhante aos resultados referentes ao ferro, as médias das concentrações de manganês na água de diferentes fontes, cujos resultados estavam acima do limite máximo permitido, não apresentaram diferenças significativas (p-valor > 0,05).

Figura 2 - Distribuição da concentração de manganês encontrada nas amostras analisadas de água bruta Minas Gerais (n = 422).



Legenda: A linha pontilhada (---) representa o valor máximo permitido de manganês (0,1 mg/L) em água potável para consumo humano. **Fonte:** Autores, 2023.



Assim como o ferro, a concentração de manganês está correlacionada com as características geoquímicas da região onde foi obtida a amostra. No Crato, município do Ceará, apenas 5,71% das amostras de água bruta analisadas apresentavam concentrações de manganês acima do valor máximo permitido pela Portaria de Consolidação nº 05/2017 (ALMEIDA *et al.*, 2019). Por outro lado, Freitas (2021) encontraram proporções mais elevadas de amostras de água subterrânea analisadas em Florianópolis (Santa Catarina), cerca de 20,0%, com concentrações de manganês superiores a 0,1 mg/L (FREITAS, 2021).

A origem desse manganês é geogênica, em águas com altas concentrações desse íon, seu contato com a rocha pode produzir filmes escuros de óxido de manganês. Seu consumo, em água com altas concentrações de manganês, pode impedir a atuação do ferro na produção da hemoglobina do sangue e causar apatia, irritabilidade, dores de cabeça, insônia e fraqueza nas pernas (NASCIMENTO; BARBOSA, 2005). Levando em consideração as características do solo de Minas Gerais, estado com grande quantidade de jazidas de ferro e manganês, a análise da concentração desses íons em amostras de água subterrâneas, principalmente de poços, é fundamental para verificar sua potabilidade.

3.4 Concentração de ferro e manganês

Após a análise, foi observado que 137 (32,4%) amostras estavam em desacordo com os requisitos mínimos de potabilidade, sendo que dessas, 31 (22,6%), 44 (32,1%) e 62 (45,3%) apresentaram valores de ferro, manganês ou ambos os íons, superior ao valor máximo permitido, respectivamente.

Dentre os 85 municípios estudados, 23 (26,7%) apresentaram concentração de ferro e manganês acima do limite estabelecido, 37 (43,0%) tiveram alteração somente na concentração de ferro e 32 (37,2%), na concentração de manganês. Assim, um total de 46 municípios (53,5%) apresentaram valores acima do permitido para potabilidade de água, segundo a portaria GM/MS nº 888 de maio de 2021 (BRASIL, 2021).

Ao analisar as amostras por região, foi possível observar 93 amostras com valores acima do limite para ferro (Tabela 2) nas regiões: Mesometropolitana (n = 80; 86,0%), Campo das Vertentes (n = 5; 5,4%), Centro Oeste (n = 3; 3,2%), Sul e Sudoeste (n = 3; 3,2%) e Zona da Mata (n = 2; 2,2%). Quanto ao manganês (Tabela 3), 106 amostras apresentaram valores acima do limite sendo observadas as seguintes distribuições nas regiões: Mesometropolitana (n = 56; 90,3%), Campo das Vertentes (n = 2; 3,2%), Centro Oeste (n = 2; 3,2%), Central (n = 2; 3,2%) e Noroeste (n = 2; 3,2%).

Tabela 2 - Distribuição de amostras com concentração de ferro acima do limite de potabilidade por região de Minas Gerais (n = 93).

Região	Origem e Concentração de ferro				
	Total n = 93	Cisterna n = 2	Mina n = 3	Nascente n = 3	Poço n = 85
Campo das Vertentes	5 (5.4%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (66.7%)	3 (3.5%)
Central	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Centro Oeste	3 (3.2%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	3 (3.5%)
Jequitinhonha	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Mesometropolitana	80 (86%)	2 (100%)	2 (66.7%)	1 (33.3%)	75 (88.2%)



Noroeste	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Norte	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Oeste	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Rio Doce	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Sul e sudoeste	3 (3.2%)	0 (0%)	1 (33.3%)	0 (0%)	2 (2.4%)
Triângulo	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Alto Paranaíba	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Zona da Mata	2 (2.2%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (2.4%)
Ferro* mg/L (DP)	1.3 (0.8)	2.5 (0)	1.3 (1.1)	1.8 (1.2)	1.2 (0.8)

Legenda: * p-valor > 0,05; DP: Desvio padrão. **Fonte:** Autores, 2023.

Tabela 3 - Distribuição de amostras com concentração de manganês acima do limite de potabilidade por região de Minas Gerais (n = 106).

Região	Origem e concentração de manganês				
	Total n = 106	Cisterna n = 7	Mina n = 3	Nascente n = 4	Poço n = 92
Campo das Vertentes	2 (1.9%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (50%)	0 (0%)
Central	2 (1.9%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (2.2%)
Centro Oeste	2 (1.9%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (2.2%)
Jequitinhonha	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Mesometropolitana	95 (89.6%)	7 (100%)	2 (66.7%)	2 (50%)	84 (91.3%)
Noroeste	2 (1.9%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (2.2%)
Norte	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Oeste	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Rio Doce	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Sul e sudoeste	3 (2.8%)	0 (0%)	1 (33.3%)	0 (0%)	2 (2.2%)
Triângulo	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Alto Paranaíba	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Zona da Mata	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Manganês* mg/L (DP)	0.4 (0.4)	0.4 (0.5)	0.7 (1.0)	0.6 (0.7)	0.4 (0.4)

Legenda: * p-valor > 0,05; DP: Desvio padrão. **Fonte:** Autores, 2023.

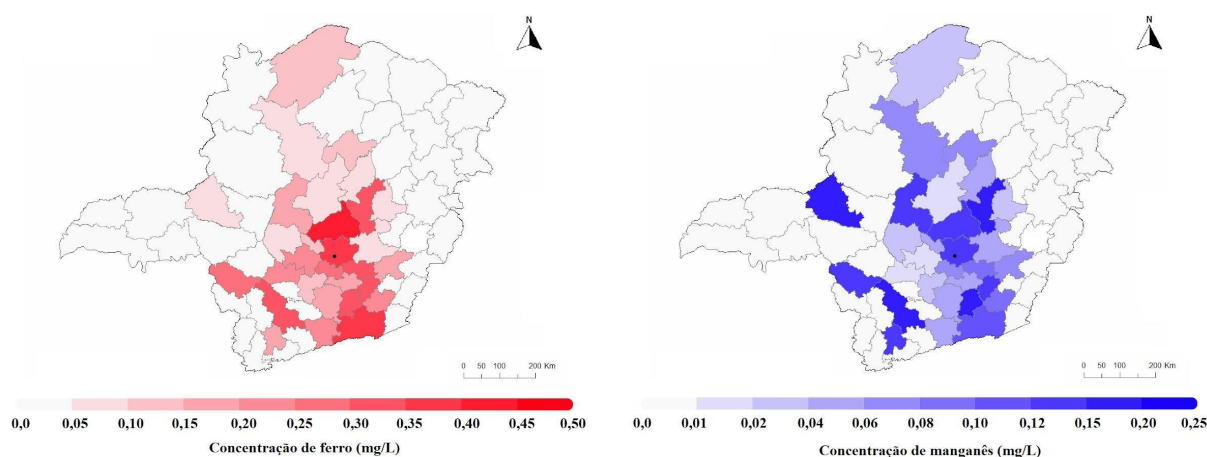
Embora tenha sido observado variabilidade nos resultados das concentrações de ferro e manganês nas amostras provenientes de regiões e fontes distintas, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas. Esses resultados indicam que a presença desses elementos pode estar relacionada à semelhança das características geoquímicas do solo das regiões de Minas Gerais. Jazidas de ferro são amplamente distribuídas nas regiões do Quadrilátero Ferrífero, região Central e Norte do Estado, e as de manganês são encontradas nas regiões mesometropolitana, central e parte do centro-oeste (LOBATO; COSTA, 2019).

Em baixas concentrações, o consumo de ferro e manganês não apresentam riscos à saúde pública. Contudo, neste estudo, valores acima de 2,5 e 2,0 mg/L de ferro e manganês foram



encontrados em águas brutas, respectivamente. Levando em consideração que a ingestão crônica de altas quantidades dessas substâncias pode levar ao quadro clínico de hemocromatose e manganismo (BEZERRA, 2016), medidas de tratamento para águas brutas devem ser propostas visando reduzir o impacto à saúde pelo consumo dessas águas.

Figura 3 – Mapa da concentração média de ferro e manganês encontradas nas amostras analisadas de água bruta de Minas Gerais (n = 422).



Legenda: O círculo preto (•) na figura indica a localização da capital de Minas Gerais, a cidade de Belo Horizonte. **Fonte:** Autores, 2023.

3.5 Correlação solo-água

Em Minas Gerais, os principais depósitos de ferro e manganês estão localizados na província Quadrilátero Ferrífero. O Quadrilátero Ferrífero está localizado ao sul de Belo Horizonte, sendo uma das regiões mais intensamente exploradas para mineração de ferro, manganês e ouro. Dentre as substâncias que compõem essa região, as principais fontes de ferro e manganês, em águas, são os quartzitos ferruginosos, os xistos e filitos (DORR, 1969).

Os principais municípios que apresentam depósitos de ferro e fazem parte do Quadrilátero Ferrífero são: Belo Horizonte, Belo Vale, Brumadinho, Catas Altas, Congonhas, Fruta de Leite, Igarapé, Itabira, Itabirito, Itatiaiuçu, Mariana, Mário Campos, Mateus Leme, Morro do Pilar, Nova Lima, Ouro Preto, Sabará, Santa Bárbara, São Gonçalo do Rio Abaixo e Sarzedo. Os principais municípios que apresentam depósitos de manganês são: Conselheiro Lafaiete, Diamantina, Santana de Pirapama e Santana do Riacho (PINTO; SILVA, 2014).

Quando comparados os resultados obtidos nas amostras de água com os dados geológicos das regiões de Minas Gerais, pode-se observar que dos 15 municípios com depósitos naturais de ferro e/ou manganês onde foram analisadas amostras de água neste estudo, 11 (73,4%) apresentaram amostras com valores superiores ao padrão estabelecido para potabilidade (Tabela 4) (BRASIL, 2021).

Esses achados corroboram com os resultados de Andrade, Leite e Bacellar (2009), em que o contato entre solo-água afeta a composição química das águas, regulando os parâmetros físico-químicos, bem como a concentração de diversos elementos químicos na água. Além disso,

foram encontradas elevadas concentrações dos elementos ferro e manganês em amostras de solo na porção sudeste do Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais (ANDRADE, LEITE e BACELLAR 2009), na bacia do Rio Lucaia em Salvador (NASCIMENTO; BARBOSA, 2005) e na capital de São Paulo (SCORSAFAVA *et al.*, 2010), regiões com concentrações elevadas de ferro e manganês no solo.

Tabela 4 - Presença de amostras com valores superiores ao padrão estabelecido para potabilidade da água (BRASIL, 2021) em município com depósito natural de ferro e/ou manganês.

Município	n	n > VMP*	
		Ferro	Manganês
Belo Horizonte	136	32	38
Belo Vale	1	0	0
Brumadinho	5	1	0
Catas Altas	1	0	0
Diamantina	2	0	0
Igarapé	5	0	2
Itabirito	6	1	3
Itatiaiuçu	2	2	0
Mateus Leme	1	1	0
Nova Lima	18	6	6
Ouro Preto	27	1	3
Sabará	10	3	2
Santana do Riacho	2	0	1
São Gonçalo do Rio Abaixo	1	0	0
Sarzedo	4	1	1
TOTAL	221	48	56

Legenda: n - número de amostras; * - valor máximo permitido (VMP) em água potável para consumo humano (BRASIL, 2021). **Fonte:** Autores, 2023.

3.6 Limitações do estudo

Mesmo com número considerável de amostras (n = 422), apenas, cerca de, 10% (86 de 853) de todos os municípios de Minas Gerais foram incluídos neste estudo. Ademais, a maioria das amostras (n = 366; 86,7%) são da região Mesometropolitana.

4. CONCLUSÕES

Por meio do presente trabalho, foi possível observar que 22,0 e 25,1% das amostras de água analisadas não atendem ao padrão organoléptico de ferro e manganês, respectivamente, para o consumo humano, recomendado pela portaria GM/MS nº 888 de maio de 2021. Em Belo Horizonte, capital de Minas Gerais, esses valores foram ainda maiores, das 136 amostras analisadas, 25,7% e 27,9% apresentaram valores acima do limite de potabilidade para ferro e manganês, respectivamente. Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas nas concentrações de ferro e manganês provenientes das amostras de diferentes regiões e fontes. Embora essas amostras de água, provenientes das diversas fontes e localidades, estejam impróprias

DOI: <http://dx.doi.org/10.24021/raac.v20i1.7433>

V. 20, N. 1 (2023)



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

para o consumo humano, podem ser tratadas e reanalisadas para verificar a eficiência do tratamento e sua potabilidade. A avaliação dos íons, ferro e manganês, é fortemente recomendada em águas brutas para consumo humano. Por meio da quantificação da concentração desses íons na amostra de água, é possível estabelecer a melhor forma de tratamento, sendo uma delas a adição de cloro, seguida de filtração que, além de contribuir para a remoção de íons ferro e manganês nas amostras, também atua como agente antimicrobiano.

5. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. B. B.; LIMA, M. R. P.; SANTOS, Y. T. C.; MOREIRA, Y. W. N.; SILVA, P. B. A. Concentração de ferro e manganês em águas de abastecimento no município de Crato, Ceará: caracterização e proposta de tratamento. **Águas Subterrâneas**, v. 33, n. 2, 2019. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v33i2.29520>

ALVES, C. **Tratamento de Águas de Abastecimento**. 3ª ed. Publindústria, Edições técnicas. Porto, 2010.

ANDRADE, L. N.; LEITE, M. G. P.; BACELLAR, L. A. P. Influência geológica em assinaturas químicas das águas e solos do Parque Estadual do Itacolomi, Minas Gerais. **Revista Escola de Minas [online]**, v. 62, n. 2, p. 147-154, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0370-44672009000200005>.

BEZERRA, E. S. **Determinação de metais na água disponibilizada para consumo humano no município de Governador Valadares - MG**. 2016. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Farmácia) - Universidade de Brasília, Brasília, 64 p., 2016.

BRASIL, Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**. Ed. 85, Seção. 01, p.127, 2021.

CARMO, J. C. C.; OLIVEIRA, I. B.; OLIVEIRA, D. L. A presença de ferro na água subterrânea do estado da Bahia. **Águas Subterrâneas**, [S. l.], 2015. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28264>. Acesso em: 16 nov. 2022.

CLEASBY, J. J. Iron and manganese removal. **Journal AWWA**, v. 67, n. 3, p. 147-149, 1983. DOI: <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1975.tb02180.x>

CETESB, Companhia Estadual de Tecnologia e Saneamento Ambiental. **Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo**. Apêndice A. Significado Ambiental e Sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. São Paulo: CETESB; 2008.

DORR, J. V. N. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **U.S. Geological Survey Professional Paper**, v. 641, p. 117, 1969. DOI: <https://doi.org/10.3133/pp641A>.



FREITAS, C. L. K. **Análises Físico-Químicas de amostras de poços - Determinação da concentração de alumínio, manganês, ferro e amônia.** 2021. Tese (Doutorado em Sociologia) – Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, p. 40. 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/228507>

GOIS, L. H. B.; NOGUEIRA, A. C.; MORAES, L. R. S. Água para consumo humano: uma visão sobre os riscos e vulnerabilidades de sua utilização. **Revista Eletrônica De Gestão E Tecnologias Ambientais**, v. 1, n. 2, p. 251-266, 2013. DOI: <https://doi.org/10.9771/gesta.v1i2.8569>

HERNÁNDEZ, R. B. *et al.* Manganese-induced neurotoxicity in cerebellar granule neurons due to disruption of cellular pathways with potential implications for neurodegenerative disorders, **Metalomics**, v. 12, n. 11, p. 1656-1678 2020, DOI: <https://doi.org/10.1039/d0mt00085j>

INSTITUTO TRATA BRASIL. **A revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil: uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento.** 2019. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/aguas-subterraneas-e-saneamento-basico/> <Acesso em 20 de outubro de 2022>

KUMAR, V.; BHARTI, P. K.; TALWAR, M.; TYAGI, A. K.; KUMAR, P. Studies on high iron content in water resources of Moradabad district (UP), **India. Water Science**, v. 31, n. 1, p. 44-51, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wsj.2017.02.003>.

LOBATO, L. M.; COSTA, M. A. **Recursos Minerais no Cenário Geológico de Minas Gerais**, 2019. Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais (CODEMGE) e Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa - UFMG. Disponível em: <http://recursomineralmg.codemge.com.br/recursos-minerais-no-cenario-geologico/> <Acesso em 20 de outubro de 2022>

MORUZZI, R. B; REALI, M. A. P. Oxidação e remoção de ferro e manganês em águas para fins de abastecimento público ou industrial: uma abordagem geral. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 4, n. 1, p. 29-43, 2012.

NARCISO, M. G.; GOMES, L. P. Qualidade da água subterrânea para abastecimento público na Serra das Areias, Aparecida de Goiânia – GO. **Revista Técnica da Sanepar**, v. 21, n.21, p. 04-18, 2004.

NASCIMENTO, S. A. M; BARBOSA, I. S. F. Qualidade da água do aquífero freático no Alto Cristalino de Salvador, Bacia do rio Lucaia, Salvador. Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 35, n. 4, p. 540-543, 2005. DOI: <https://doi.org/10.25249/0375-7536.200535543550>

PINTO, C. P; SILVA, M. A. **Mapa Geológico do estado de Minas Gerais, Escala 1:1.000.000.** Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais, CODEMIG e Serviço Geológico do Brasil, CPRM, 2014.

ROCHA, M. *et al.* Avaliação da qualidade da água e percepção higiênico-sanitária na área rural de Lavras, Minas Gerais, Brasil, 1999-2000. **Caderno Saúde Pública**, v. 22, n. 9, p. 1967-1978, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2006000900028>



SANTOS, G. P.; LOPES, K. S. R.; SCHUH, A. J.; LIMA, J. E. A.; HOLZ, J. P. Análises de ferro e manganês na água tratada de Porto Alegre/RS. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, p. 218–233. 2020. DOI: <https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e02020218-233>

SANTOS, V. I. N. **Influência da presença de ferro na cor e turbidez e implicações na água de poço para abastecimento público**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Bacharelado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 35 p., 2020.

SCORSFAVA, M. A.; SOUZA, A.; STOFER, M.; NUNES, C. A.; MILANEZ, T. V. Avaliação físico-química da qualidade de água de poços e minas destinada ao consumo humano. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 69, n. 2, p. 229-232, 2010. DOI: <https://doi.org/10.53393/rial.2010.v69.32661>

SOARES, L. M.; COLDEBELLA, P. F.; FRIGO, J. P. Avaliação da qualidade da água de rios brasileiros utilizando células meristemáticas de *Allium cepa* como bioindicador: uma revisão integrativa. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 6983-6999, 2021. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n1-473>

SOUZA A. K. R.; MORASSUTI, C. Y.; DEUS, W. B. Poluição do ambiente por metais pesados e utilização de vegetais como bioindicadores. **Acta Biomédica Brasiliensia**, v. 9, n. 3, p. 95-106, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.18571/acbm.189>

SOUSA, S. DA S.; SILVA, W. S.; MIRANDA, J. A. L. DE; ROCHA, J. A. Análise Físico-Química e Microbiológica da Água do Rio Grajaú, na Cidade de Grajaú - MA. **Ciência e Natura**, v. 38, n. 3, p. 1615-1625, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5902/2179460X23341>

