



UFOP

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**



LEANDRA FERREIRA

**AVALIAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA DOMÉSTICA COMO POSSÍVEL FONTE
DE EXPOSIÇÃO A METAIS E METALOIDES ASSOCIADOS AO DECLÍNIO
COGNITIVO**

**OURO PRETO - MG
2026**

LEANDRA FERREIRA

**AVALIAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA DOMÉSTICA COMO POSSÍVEL FONTE
DE EXPOSIÇÃO A METAIS E METALÓIDES ASSOCIADOS AO DECLÍNIO
COGNITIVO**

Monografia apresentado ao curso de
Ciências Biológicas Bacharelado da
Universidade Federal de Ouro Preto como
requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador(a): Prof. Dr. Laser Antônio
Machado Oliveira

Coorientador(a):
Prof.^a Dra. Katiane de Oliveira P. C.
Nogueira Msc. Ana Luiza Sciandretti de
Albuquerque



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS



FOLHA DE APROVAÇÃO

Leandra Ferreira

Avaliação do consumo de água doméstica como possível fonte de exposição a metais e metaloides associados ao declínio cognitivo

Monografia apresentada ao Curso de Ciências Biológicas Bacharelado da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas

Aprovada em 12 de fevereiro de 2026

Membros da banca

Dr. Laser Antônio Machado Oliveira - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)

Dra. Silvana de Queiroz Silva - Universidade Federal de Ouro Preto

Msc. Ramony Gonzaga Vieira - Universidade Federal de Ouro Preto

Laser Antônio Machado Oliveira, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 22/05/2026



Documento assinado eletronicamente por **Laser Antonio Machado Oliveira, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 26/05/2026, às 17:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1115009** e o código CRC **D5FA3FA3**.

AGRADECIMENTOS

Mãe, pai, nós conseguimos! É impossível chegar até aqui sem agradecer a vocês, que sempre acreditaram em mim e foram sinônimo de força e amor. Lêda e Wagner, dedico este trabalho e toda a minha trajetória a vocês.

Às minhas irmãs, Jordana e Eduarda, que também sempre acreditaram que eu conseguiria e que tudo daria certo: essa vitória é nossa!

À Família Ferreira (materna e paterna), pela torcida e pelo carinho constante, em especial à vovó Cici, por suas orações.

Ao Jefferson, por ter sido meu porto seguro durante todos esses anos.

À República Minamora, o meu eterno carinho. Em meio a tantas diferenças, vocês fazem parte de quem me tornei hoje. Obrigada por terem sido lar e alegria durante esses anos. Em especial: Zuleide, Lego, Tecla Sap, Pobrezinha e Quiz.

Aos meus amigos pessoais, em especial ao Luan e à Madu, por torcerem e confiarem junto comigo, mesmo que “de longe”.

Agradeço aos docentes que moldaram e lapidaram o meu olhar sobre o que é a vida e reforçaram o quanto é importante estudá-la. Aos meus amigos e colegas da turma 21.2, em especial à Lorena, que compartilhou comigo os melhores e os piores momentos. Obrigada por trilharem essa jornada ao meu lado.

Ao Laboratório de Neurobiologia e Biomateriais (LNBio), agradeço por ampliar minha visão científica e acadêmica. Em especial, à Profa. Dra. Katiane de Oliveira P. C. Nogueira, por ter me acolhido na equipe. Ao Prof. Dr. Laser Antônio Machado Oliveira pela orientação deste estudo. À Ana Luiza S. de Albuquerque, por compartilhar tantos conhecimentos comigo e por estar ao meu lado do primeiro ao último dia; à Laura Ferreira e Silva, por ter sido uma grande companheira de Iniciação Científica; e à Izabela Letícia Fernandes, peça fundamental para a construção deste trabalho. Muito obrigada!

Ao Laboratório de Geoquímica (LGqA) da Universidade Federal de Ouro Preto, pela realização das análises das amostras e pelo apoio metodológico.

Agradeço à Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) pelo ensino de qualidade e pelas portas abertas. Aos órgãos de fomento — FAPEMIG, CNPq e CAPES — pelo apoio financeiro indispensável para a realização deste trabalho.

A ciência salva!

RESUMO

A redução da função cognitiva está comumente associada ao avanço da idade, independentemente da presença de doenças neurodegenerativas. Entre os fatores de risco modificáveis para o comprometimento cognitivo, destacam-se os tóxicos ambientais, especialmente metais e metalóides, cuja exposição ocorre principalmente por meio da água e da alimentação, afetando de forma mais intensa a população idosa. Evidências indicam que níveis elevados de ferro estão associados ao comprometimento cognitivo leve e à Doença de Alzheimer, enquanto a exposição ao chumbo e ao alumínio pode alterar a expressão do gene da proteína precursora do amiloide, aumentar a produção de β -amiloide e induzir estresse oxidativo e inflamação. Adicionalmente, o arsênio está relacionado à inflamação cerebral, disfunção mitocondrial, perda sináptica e neuronal, além de alterações nos mecanismos antioxidantes celulares. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo analisar a água de consumo doméstico de idosos residentes no município de Ouro Preto (MG) com sintomas de declínio cognitivo, cujas amostras de sangue e urina já haviam sido analisadas quanto à presença de metais e metalóides. O cruzamento dessas informações permitiu avaliar, nos casos analisados, a possível relação entre a água consumida e alterações nos níveis de elementos metálicos e semimetálicos detectados nas amostras biológicas, que possam contribuir para o surgimento ou agravamento do comprometimento cognitivo. Participaram do estudo pacientes de ambos os sexos, com idade igual ou superior a 65 anos, submetidos a diagnóstico clínico de declínio cognitivo por neurologista, quantificado por meio da aplicação do Mini-Exame do Estado Mental associado à Bateria Breve de Triagem Cognitiva, além de exames laboratoriais. A análise da água para o rastreio de elementos maiores foi realizada por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES), utilizando o equipamento Agilent 725. Nas amostras de água provenientes de residências do grupo controle, foram identificadas concentrações elevadas de vanádio e alumínio acima dos valores de referência, enquanto nas residências de indivíduos com comprometimento cognitivo leve observaram-se níveis aumentados de chumbo e ferro. Entre os participantes diagnosticados com Doença de Alzheimer, não foram detectadas alterações significativas nas concentrações desses elementos. Esses resultados sugerem que a exposição crônica a metais e metalóides associados a atividades antrópicas, como a mineração, pode representar um fator de risco ambiental adicional para a vulnerabilidade neurológica no envelhecimento, reforçando a necessidade de ações integradas de vigilância ambiental, proteção dos recursos hídricos e atenção às populações idosas.

Palavras-chave: metais, metalóides, neurodegeneração, demência, idosos, água.

ABSTRACT

The decline in cognitive function is commonly associated with advancing age, regardless of the presence of neurodegenerative diseases. Among the modifiable risk factors for cognitive impairment, environmental toxicants—particularly metals and metalloids—stand out, with exposure occurring mainly through water and food, disproportionately affecting the elderly population. Evidence indicates that elevated iron levels are associated with mild cognitive impairment and Alzheimer's disease, while exposure to lead and aluminum may alter the expression of the amyloid precursor protein gene, increase β -amyloid production, and induce oxidative stress and inflammation. Additionally, arsenic has been linked to cerebral inflammation, mitochondrial dysfunction, synaptic and neuronal loss, as well as alterations in cellular antioxidant mechanisms. In this context, the present study aimed to analyze domestic drinking water consumed by elderly individuals residing in the municipality of Ouro Preto, Minas Gerais, Brazil, who presented symptoms of cognitive decline and whose blood and urine samples had previously been analyzed for the presence of metals and metalloids. Integrating these data allowed for the evaluation, in the analyzed cases, of a possible relationship between the consumed water and alterations in the levels of metallic and semimetallic elements detected in biological samples that may contribute to the onset or worsening of cognitive impairment. The study included male and female patients aged 65 years or older who had been clinically diagnosed with cognitive decline by a neurologist, quantified using the Mini-Mental State Examination in conjunction with the Brief Cognitive Screening Battery, in addition to laboratory tests. Water analysis for major elements was performed using inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) with an Agilent 725 instrument. In water samples collected from residences of the control group, elevated concentrations of vanadium and aluminum above reference values were identified, whereas in residences of individuals with mild cognitive impairment, increased levels of lead and iron were observed. Among participants diagnosed with Alzheimer's disease, no significant alterations in the concentrations of these elements were detected. These findings suggest that chronic exposure to metals associated with anthropogenic activities, such as mining, may represent an additional environmental risk factor for neurological vulnerability during aging, reinforcing the need for integrated public policies focused on environmental surveillance, protection of water resources, and care for vulnerable elderly populations.

Keywords: metals, metalloids, neurodegeneration, dementia, elderly, water.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Coleta, preparação, armazenamento e análise da água*	22
Figura 2 - Espectrômetro de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado	23
Figura 3 - Bairros com detecção de níveis alterados de metais na água*	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comprimento de onda e limite de quantificação dos metais e metaloides*	23
Tabela 2 - Amostras que apresentam alterações de metais segundo a OMS e o Ministério da Saúde do Brasil. Fonte: Organização Mundial de Saúde (OMS) e Ministério de Saúde no Brasil.*	26
Tabela 3 - Caracterização do manancial, estação de tratamento e tipo de água fornecidos nos bairros de Ouro Preto - MG. Fonte: Saneouro.*	27
Tabela 4 - Manancial e fonte de água associados à atividade mineradora nos bairros de Ouro Preto - MG. Fonte: Saneouro.....	28

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

°C - Grau Celsius

ADRDA - Alzheimer's Disease and Related Disorders Association

Al - Alumínio

Al³⁺ - Alumínio trivalente

APC - Análise de Componentes Principais

As - Arsênio

A β - Peptídeo beta-amiloide

ACP - Análise de Componentes Principais

Ba - Bário

BBTC - Bateria Breve de Triagem Cognitiva

BHE - Barreira Hematoencefálica

Ca - Cálcio

CAAE - Certificado de Apresentação para Apreciação

Cd - Cádmio

Co - Cobalto

Cr - Cromo

Cu - Cobre

Cu (II) - Íon cobre divalente

DA - Doença de Alzheimer

DCL - Declínio Cognitivo Leve

DCM - Declínio Cognitivo Maior

DDSNC - Doenças Degenerativas do Sistema Nervoso Central

DEGEO - Departamento de Geologia

DOQ-CGCRE-008 - Documento Orientador da Qualidade - CGCRE

EROs - Espécies Reativas de Oxigênio

ETA - Estação de Tratamento de Água

Fe – Ferro

GM/MS - Gabinete do Ministro / Ministério da Saúde

Hg – Mercúrio

HNO₃ - Ácido nítrico

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICO OES - Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado

ICP-OES - Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado

Inmetro - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

K - Potássio

Li – Lítio

LQ - Limite de Quantificação

Mg – Magnésio

MG - Minas Gerais

mL / ml – Mililitro

Mn – Manganês

Mo – Molibdênio

Na – Sódio

Ni – Níquel

NINCDS – National Institute of Neurological and Communicative Disorders and Strokes

nº – Número

OMS - Organização Mundial da Saúde

Oxovanádio (IV) - Íon oxovanádio tetravalente

P – Fósforo

Pb – Chumbo

RJM - Identificação do participante

S – Enxofre

Sc – Escândio

SNC - Sistema Nervoso Central

Sr – Estrôncio

TCLE - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Ti – Titânio

V - Vanádio

Y – Ítrio

Zn – Zinco

Zn (II) - Íon zinco divalente

β-amiloide - Peptídeo beta-amiloide

µg/L – Microgramas por litro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 ENVELHECIMENTO POPULACIONAL E DOENÇA DE ALZHEIMER	13
1.2 DECLÍNIO COGNITIVO: DCL E DCM	14
1.3 IMPORTÂNCIA DO CÉREBRO E O PAPEL DOS METAIS NO SISTEMA NERVOSO CENTRAL	14
1.4 DESEQUILÍBRIO METÁLICO	15
1.5 DIAGNÓSTICO DA DOENÇA DE ALZHEIMER E DESAFIOS CLÍNICOS.....	16
1.6 METAIS E METALÓIDES NA ÁGUA POTÁVEL COMO FATOR DE RISCO AMBIENTAL	16
2 JUSTIFICATIVA	18
3 OBJETIVOS	19
3.1. OBJETIVO GERAL	19
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
4.1 ASPECTOS ÉTICOS E RECRUTAMENTO DE PACIENTES	20
4.2 PROCEDIMENTO DE DIAGNÓSTICO E AVALIAÇÃO DO ESTADO DE SAÚDE	20
4.3. COLETA E PREPARAÇÃO DA ÁGUA.....	21
4.4. ESPECTROMETRIA DE EMISSÃO ÓTICA COM PLASMA INDUTIVAMENTE ACOPLADO (ICO- OES)	22
4.5 DADOS COMPARATIVOS.....	25
5 RESULTADOS	26
6 DISCUSSÃO	30
7 CONCLUSÃO.....	35
REFERÊNCIAS	36
APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO	39

1 INTRODUÇÃO

1.1 Envelhecimento populacional e Doença de Alzheimer

A população global tem envelhecido de forma acelerada (Tan, 2022). Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), uma a cada seis pessoas no mundo terá mais de 60 anos em 2030 (OMS, 2020). Esse cenário tem influenciado o perfil demográfico da população brasileira, uma vez que o maior acesso aos serviços de saúde por uma parcela significativa dos idosos tem propiciado o aumento da expectativa de vida nos últimos anos (Carvalho, 2008; IBGE, 2023). O envelhecimento populacional, decorrente do maior acesso à saúde está relacionado a um aumento de distúrbios relacionados a idade.

Contudo, o processo de envelhecimento está associado a modificações fisiológicas que podem favorecer o desenvolvimento de enfermidades para as quais, em muitos casos, ainda não existem estratégias eficazes de diagnóstico precoce ou tratamento. Dentre essas condições, destacam-se as doenças degenerativas do sistema nervoso central (DD SNC), caracterizadas por elevada complexidade e diversidade de manifestações (Brandão, 2024). Na população idosa, observa-se um aumento significativo tanto da incidência quanto da prevalência dessas doenças, o que resulta em maior morbidade e mortalidade associadas a doenças neurodegenerativas do sistema nervoso central (Brandão, 2024).

A doença de Alzheimer (DA) é uma doença neurodegenerativa progressiva que compromete a função cognitiva e de impacto significativo na memória, aprendizado e comportamento (RAO, Y. L. et al., 2022). As principais características neuropatológicas incluem placas extracelulares β -amiloide ($A\beta$) e emaranhados neurofibrilares intracelulares da proteína *tau* hiperfosforilada, ambos contribuindo para disfunção sináptica e perda neuronal (SALGADO et al., 2025). A hipótese da cascata amiloide, formulada por Hardy e Higgins em 1992, continua sendo um dos principais modelos explicativos da fisiopatologia da Doença de Alzheimer, ao postular que o acúmulo patológico de $A\beta$ inicia uma sequência de processos neurotóxicos que culminam em estresse oxidativo, disfunção mitocondrial, neuroinflamação e morte neuronal (KURKINEN et al., 2023; SALGADO et al., 2025).

Esse cenário torna-se especialmente relevante, considerando que a prevalência é significativamente maior em indivíduos com 65 anos ou mais, configurando-se como uma das principais causas de DD SNC e incapacidade entre

idosos. De acordo com o relatório de 2021 da Organização Mundial da Saúde (OMS), mais de 57 milhões de pessoas em todo o mundo vivem com demência, número que deverá duplicar em 2030 e triplicar até 2050. No Brasil, existem aproximadamente 1,2 milhões de casos desta demência (WHO, 2012).

1.2 Declínio cognitivo: DCL e DCM

O declínio cognitivo progressivo é um dos principais sintomas da DA, contudo não é exclusivo desta doença, uma vez que é observado durante o processo natural de envelhecimento. A prevalência de comprometimento neurocognitivo é superior a 50% entre idosos com oitenta anos ou mais (Bennett, 2002; Fjell et al., 2013; Alexander et al., 2014; Stephan et al., 2016). Esta condição pode ser dividida em declínio cognitivo leve (DCL), no qual ocorre o declínio persistente da memória episódica (MARSIELLI; FAVIERI; CASAGRANDE, 2023) de modo isolado, sem o envolvimento de outros domínios cognitivos (Song et al., 2023). O declínio cognitivo maior (DCM), caracteriza-se por comprometimento grave e progressivo das funções cognitivas, com impacto significativo nas etapas de formação de memória, além de outros domínios cognitivos, incluindo atenção, discernimento e orientação visuoespacial (Barker, 1995; Gallucci et al., 2005; Rosa et al., 2023). Nestes casos, o indivíduo acometido desenvolve sintomas tais como distúrbio progressivo, que geralmente se manifesta clinicamente com amnésia inicial, caracterizado pela incapacidade de formar novas memórias, com a perda de memórias antigas e já consolidadas em estágios mais avançados (Ahmad et al., 2017; Villain; Dubois, 2019). O DCM é representado principalmente pela Doença de Alzheimer (DA), principal condição associada a esse diagnóstico, sendo responsável por aproximadamente 75 a 85% dos casos. Alterações frequentemente observadas na DA, como déficit cognitivo, comprometimento da memória, alterações do humor e dificuldades na comunicação, podem apresentar caráter subjetivo e também estar presentes em outros distúrbios neurodegenerativos, o que reforça a complexidade do diagnóstico diferencial (Monfared et al., 2023).

1.3 Importância do cérebro e o papel dos metais no sistema nervoso central

O cérebro é um órgão de alta prioridade, com elevada taxa metabólica e dependente de um extenso recrutamento do metabolismo redox para execução de

seus processos fisiológicos (Kang et al., 2012; Shao; Young; Wang, 2005; Terraneo; Samaja, 2017). Os metais, tanto alcalinos, como o potássio e o sódio, quanto metais de transição, como o ferro, zinco, cobre e manganês, desempenham um papel essencial na manutenção das funções neurológicas (Cheignon et al., 2018; Shcherbatykh; Carpenter, 2007; Tõugu et al., 2009). Elementos como cobre, zinco, ferro e chumbo, mesmo presentes em concentrações milimolares, apresentam papéis essenciais no cérebro, atuando como cofatores envolvidos nas reações antioxidantes no funcionamento das mitocôndrias, sinaptogênese, neurogênese, desenvolvimento de neuritos, biossíntese de neurotransmissores, fosforilação oxidativa, transporte de oxigênio e na neurotransmissão, principalmente nas sinapses que envolvem aprendizado e memória (Chen et al., 2025; Wang et al., 2025; Springer et al., 2024). A entrada destes metais no cérebro pela barreira hematoencefálica (BHE) é rigidamente reguada, de forma que ela é realizada por meio de transportadores, enzimas e chaperonas (Falco et al., 2016; Shcherbatykh; Carpenter, 2007). A comunicação bidirecional entre o sistema nervoso central e os órgãos periféricos permite, de forma indireta, a detecção de sinais sistêmicos relacionados à presença e ao acúmulo de metais no organismo, os quais têm sido implicados na fisiopatologia de diferentes formas de demência (Benakis et al., 2020).

1.4 Desequilíbrio metálico

Em condições de homeostase, os metais exercem funções benéficas no sistema nervoso central (SNC). No entanto, alterações em seus níveis podem contribuir para processos patológicos. Na DA, o desequilíbrio metálico e semimetálico tem sido associado à citotoxicidade, sugerindo um papel ativo desses elementos na fisiopatologia da doença (Shcherbatykh; Carpenter, 2007). O rompimento da homeostase metálica é observado em condições como a Doença de Wilson, na qual o acúmulo anormal de cobre no organismo está relacionado ao surgimento de manifestações neurológicas e psiquiátricas. Especificamente na DA, o aumento dos íons Cu (II), Zn (II), Al, Pb e Fe e a consequente perda do equilíbrio iônico, favorecem interações aberrantes com o peptídeo β -amiloide, aumentando a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), a agregação do peptídeo e a formação de oligômeros tóxicos de A β e das placas senis (Shcherbatykh; Carpenter, 2007; Zatta et al., 2006; Liu et al., 2006). Além disso, os metais podem atuar como

agentes redox, desencadeando uma cascata de reações celulares associadas ao estresse oxidativo. Um estudo indica que a restauração do equilíbrio metálico no cérebro pode inibir a agregação do peptídeo β - amiloide e retardar o declínio cognitivo observado em pacientes com Doença de Alzheimer (İpek Aydin et al., 2022).

1.5 Diagnóstico da Doença de Alzheimer e desafios clínicos

Observa-se que a dificuldade na discriminação entre a DA e a etiologia não relacionada à DA do comprometimento da memória configura-se, cada vez mais, como um desafio para o diagnóstico clínico (Pavarini et al., 2013). Desse modo, atualmente, o diagnóstico dessa doença baseia-se nas diretrizes propostas pelo National Institute of Neurological and Communicative Disorders and Strokes (NINCDS) e pela Alzheimer's Disease and Related Disorders Association (ADRDA), que destacam a importância da combinação do diagnóstico clínico com exames laboratoriais, histórico de uso de medicamentos, relato substituto de sintomas percebidos, testes de memória neuropsicológicos, além de exames neurológicos e psiquiátricos (Teixeira, 2015). Assim, a identificação e redução de fatores de risco modificáveis de comprometimento cognitivo são essenciais para um envelhecimento saudável (Soares et al., 2021).

1.6 Metais e metalóides na água potável como fator de risco ambiental

Metais e metalóides constituem classes distintas de elementos químicos, diferenciando-se principalmente por suas propriedades físico-químicas. Os metais caracterizam-se, de modo geral, por elevada condutividade elétrica e térmica, brilho metálico e tendência a perder elétrons, formando cátions em solução aquosa. Em contraste, os metalóides ocupam uma posição intermediária na tabela periódica entre metais e não-metais e exibem propriedades híbridas, incluindo condutividade elétrica e térmica intermediária, comportamento químico variável e diferentes estados de oxidação. Essas características influenciam diretamente sua mobilidade ambiental, biodisponibilidade e toxicidade, especialmente em solos e sistemas aquáticos, distinguindo-os claramente dos metais tradicionais (LOMBI; HOLM, 2010). A exposição aos metais e metalóides ocorre por inalação de poeira, ingestão de alimentos, água ou solo contaminados; e por absorção pela pele. Esses elementos são provenientes de fontes naturais de origem geogênica e de fontes antrópicas, como

a atividade mineradora. Durante a extração de minérios, o solo e as rochas são expostos, facilitando a liberação de metais naturalmente presentes na geologia local. Essa exposição aumenta a mobilidade desses elementos, permitindo que metais como arsenito, ferro, mercúrio e outros sejam liberados para o ambiente (por erosão, lixiviação e escoamento) e transportados para corpos hídricos ou solos próximos aos sítos de minas (MOULATLET et al., 2023). Estando associado a diversas consequências à saúde humana a longo prazo, representando risco significativo à saúde pública (TRACY et al., 2020).

Alguns elementos metálicos e semimetálicos presentes na água podem ter a absorção e o acúmulo no cérebro estatisticamente aumentados em populações expostas, como, por exemplo, no caso do alumínio, que não pode ultrapassar a marca de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ na água potável (Shcherbatykh et al., 2007; Frisardi et al., 2010). No Artigo 37 da Portaria nº 2.914 do Ministério da Saúde, é definido que a água potável deve estar em conformidade com o padrão de substâncias químicas que representam risco à saúde e deve atender ao padrão de potabilidade estabelecido, não oferecendo riscos à saúde. Nesse contexto, a importância dos tóxicos ambientais como um dos principais fatores de risco vem sendo amplamente destacada, uma vez que a DA é uma doença multifatorial e de difícil diagnóstico. (Brandrão et al., 2024).

2 JUSTIFICATIVA

A ampla dispersão de metais e semimetais no meio ambiente e a exposição contínua a esses elementos, especialmente em regiões de mineração como Ouro Preto — MG, ocorrem por múltiplas vias, sendo a ingestão de água e alimentos a principal. Os idosos representam um dos grupos mais vulneráveis a essas exposições (Sanchini et al., 2022). Dessa forma, torna-se fundamental investigar os efeitos dos metais e metaloides nesse segmento populacional em uma região geograficamente suscetível à contaminação.

Nesse sentido, é relevante destacar a existência de uma comunicação bidirecional entre o sistema nervoso central e os órgãos periféricos, o que possibilita a avaliação indireta da presença e do acúmulo de metais no organismo. Evidências indicam que a bioacumulação de metais pesados está associada a diferentes formas de neurodegeneração, incluindo quadros de demência (Soares et al. 2022). Nesse contexto, a metalômica surge como uma ferramenta essencial para a investigação da exposição a metais e metaloides, e seus impactos na saúde, tornando imprescindível a realização de estudos em áreas de elevado risco ambiental, como as regiões mineradoras, a fim de mitigar potenciais impactos adversos à saúde pública.

3 OBJETIVOS

3.1. Objetivo Geral

Identificar a presença de metais e metaloides em amostras de água de consumo diário de pacientes previamente diagnosticados com declínio cognitivo e controles cognitivamente saudáveis.

3.2. Objetivos Específicos

1. Examinar a água consumida por uma amostra populacional da região de Ouro Preto, de ambos os sexos, com idade igual ou superior a 65 anos, previamente diagnosticada com declínio cognitivo.
2. Investigar a origem de captação e trajeto até as residências da água consumida pelos pacientes, caso sejam observadas alterações no nível de metais
3. Comparar os limites de metais permitidos na água potável estabelecidos pelo Brasil e pela OMS.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Aspectos éticos e recrutamento de pacientes

Para realização do presente estudo foram recrutados 22 idosos residentes no município de Ouro Preto – MG e seus distritos, tendo sido previamente aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Ouro Preto sob número 4.573.179 e está registrado no Certificado de Apresentação para Apreciação (CAAE) 32602520.9.0000.5150.

Os participantes deste estudo foram recrutados no ambulatório especializado no atendimento a pacientes com suspeita de Doença de Alzheimer (DA), em parceria com a Prefeitura Municipal de Ouro Preto. O acesso ao serviço ocorreu por demanda espontânea do próprio indivíduo ou de seus familiares, bem como por encaminhamento de profissionais da rede municipal de saúde, incluindo médicos generalistas, neurologistas e geriatras.

Foram incluídos indivíduos de ambos os sexos, com idade igual ou superior a 65 anos, independentemente do estágio clínico da doença. Todos os participantes foram devidamente informados sobre a natureza, os objetivos e os procedimentos da pesquisa, incluindo potenciais riscos e benefícios. A participação foi formalizada mediante a assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (Apêndice) pelo paciente ou, em casos de comprometimento cognitivo significativo, por seu responsável legal.

4.2 Procedimento de diagnóstico e avaliação do estado de saúde

O procedimento diagnóstico do comprometimento da memória foi baseado em uma investigação clínica abrangente com história médica detalhada, histórico de uso de medicamentos, relatório substituto de sintomas percebidos, teste de memória neuropsicológica e exame neurológico e psiquiátrico. Durante o processo diagnóstico das queixas de memória foram avaliados o comprometimento da memória e o impacto nas atividades da vida diária. O Mini Exame do Estado Mental (MEEM; Folstein et al., 1975) (Anexo) foi aplicado nos pacientes que apresentaram indicações de declínio cognitivo e foi baseado na idade, escolaridade, domínios cognitivos como orientação espacial e temporal, linguagem, cálculo e memória, associados com a aplicação da Bateria Breve de Triagem Cognitiva (BBTC; Fichman-Charchat et al., 2015). Esse teste é um questionário administrado por entrevistador que testa 5 domínios (orientação,

registro de memória, atenção e cálculo, recordação de memória e linguagem) com uma pontuação máxima de 30 pontos (Olajumoke Oshimale et al., 2012). Para aumentar a acurácia diagnóstica em pacientes com baixa escolaridade foi incluída uma fase de interferência com teste de fluência verbal, semântica e o teste de desenho do relógio.

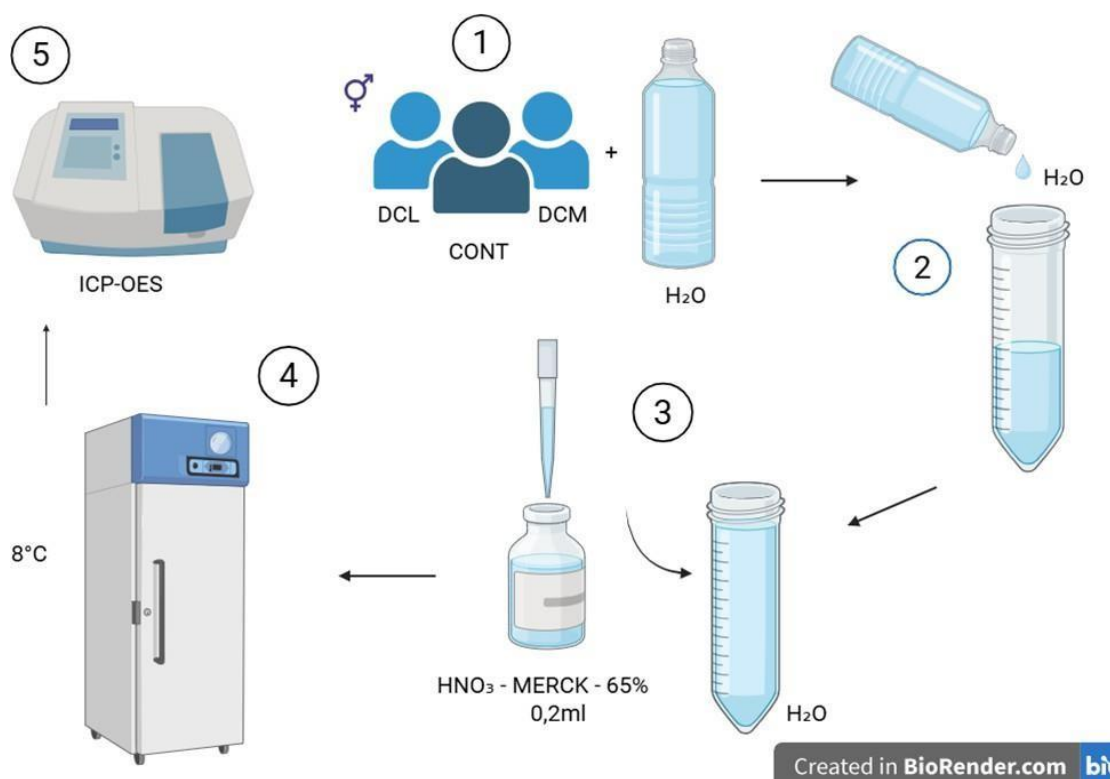
Os testes laboratoriais foram parte integrante da prática médica atuando como suporte diagnóstico e contribuindo para aproximadamente 70% dos diagnósticos e decisões de tratamento. Após avaliação da história clínica e dos testes de triagem cognitiva padronizados, os pacientes foram divididos em grupos controle e com comprometimento cognitivo. Para a análise, foram selecionadas 22 amostras de água residencial: três de pacientes DCM, nove de pacientes DCL e dez do grupo controle. Os participantes foram identificados por siglas correspondentes às iniciais de seus nomes e sobrenomes, de modo a garantir a confidencialidade e a proteção de suas identidades.

4.3. Coleta e preparação da água

Após a confirmação diagnóstica e a obtenção do consentimento formal dos pacientes ou de seus responsáveis legais, foram coletadas as amostras de água destinada ao consumo dos participantes em seus domicílios. A coleta foi realizada durante a consulta ambulatorial, mediante solicitação prévia, seguindo protocolos padronizados para assegurar a representatividade e a qualidade das amostras.

As amostras foram armazenadas em tubos Falcon com capacidade de 50 mL, garantindo a preservação adequada do material. Após a coleta, cada amostra foi acidificada com 0,2ml de ácido nítrico ultrapuro (HNO₃-Merck-65%) para manter os metais em solução por meio do uso de uma pipeta de Pasteur. Por fim, todas as amostras foram devidamente armazenadas a uma temperatura de 8°C, garantindo a estabilidade dos componentes presentes na água. (Brandão Nogueira et al., 2021).

Figura 1: Coleta, preparação, armazenamento e análise da água¹



Fonte: autoria própria, 2025.

4.4. Espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICO-OES)

A Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES) (Figura 2), investiga a quantidade de metais e metaloides presentes em algumas substâncias, como por exemplo a água e é considerada um método bastante preciso para análise elementar devido à sua capacidade de medir partes por bilhão de vários elementos com características diversas (Bulska e Wagner et al., 2016). A análise elementar foi realizada utilizando o equipamento ICP-OES Agilent 725 para os elementos Arsênio(As), Bário(Ba), Cádmio(Cd), Cobalto(Co), Cromo (Cr), Lítio (Li), Molibdênio (Mo), Níquel (Ni), Estrôncio(Sr), Vanádio(V), Ítrio(Y), Berílio(Be), Alumínio(Al), Chumbo(Pb), Titânio(Ti), Cálcio(Ca), Cobre(Cu), Ferro(Fe), Potássio(K), Magnésio(Mg), Manganês(Mn), Sódio(Na), Fósforo(P), Enxofre (S) e Zinco(Zn). O limite de quantificação de cada elemento é obtido multiplicando-se 10 x o Limite de

¹ As amostras de água destinadas ao consumo foram coletadas nas consultas ambulatoriais, armazenadas em tubos Falcon de 50 mL, acidificadas com 0,2 mL de ácido nítrico ultrapuro (HNO₃) e mantidas a 8 °C até a análise. CONT: Controle; DCL: Declínio cognitivo leve; DCM: Declínio cognitivo.

Deteccção do aparelho o qual foi obtido por procedimento padrão do próprio laboratório baseado nas normas do DOQ-CGCRE-008 - Inmetro (Tabela 1).

Figura 2 - Espectrômetro de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES)²



Fonte: autoria própria, 2025.

Tabela 1 - Comprimento de onda e limite de quantificação dos metais e metaloides³

Metais e Metaloides	Comprimento de onda (nm)	Limite de quantificação (mg/L)
Ba	455,403	0,480
Cd	226,502	6,64
Co	228,615	26,3
Cr	267,716	17,1
Cu	324,754	5,37

² *ICP-OES - Agilent 725. Utilizado para identificação e quantificação dos metais Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Li, Mo, Ni, Sc, Sr, Ti, V, Y, Zn, Pb, Al, Fe e Mn e o metaloide. As em amostras de água.

³ Os limites de quantificação (LQ) dos metais e metaloides correspondem à menor concentração do analito que pode ser quantificada de forma confiável pelo método ICP- OES, sendo determinados a partir do sinal do branco analítico. Os valores de LQ variam entre os diferentes elementos analisados, refletindo a capacidade do método em distinguir o sinal real de cada elemento em relação ao ruído instrumental e a possíveis contaminações do processo analítico.

Metais e Metaloides	Comprimento de onda (nm)	Limite de quantificação (mg/L)
Li	670,783	3,66
Mo	202,032	13,5
Ni	231,604	37,0
Sc	361,383	1,02
Sr	407,771	0,294
Ti	398,520	5,64
V	292,401	19,2
Y	360,074	2,74
Zn	213,857	6,21
As	193,696	104
Pb	220,353	181
Al	396,152	13,0
Fe	259,940	7,04
Mn	257,610	2,28

Fonte: DEGEO

Após a leitura individual de cada amostra, a avaliação foi realizada através das análises de componentes principais (ACP). Essa técnica é uma ferramenta essencial na exploração de relacionamentos encobertos entre variáveis em conjuntos de dados multivariados (Jolliffe, et al.,2002). Reduzindo a dimensionalidade dos dados, o ACP permite uma representação mais concisa dos padrões subjacentes, simplificando a interpretação e facilitando a identificação de relações complexas entre as variáveis (Jolliffe, et al.,2002).

4.5 Dados comparativos

Os valores de referência adotados como critérios para a qualidade da água destinada ao consumo humano em domicílios basearam-se nas diretrizes da Organização Mundial da Saúde para a água potável, as quais propõem orientadores de segurança. No Brasil, esses valores são adaptados à realidade técnica, econômica e operacional do país, resultando em normativas nacionais do país, como a Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, publicada no Diário Oficial da União pelo Ministério da Saúde, pelo Diário Oficial da União estabelecido pelo Ministério da Saúde, que estabelece os valores máximos permitidos para parâmetros microbiológicos, químicos, físico-químicos e radiológicos, definindo os padrões de potabilidade da água.

5 RESULTADOS

As análises das amostras de água, realizadas por meio da técnica de Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES), revelaram alterações nas concentrações de determinados metais quando comparadas aos limites estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e pelo Ministério da Saúde do Brasil (Tabela 2).

Além disso, alterações também foram identificadas em amostras provenientes da Vila São José, bairro que, apesar de atualmente configurado como área residencial consolidada, desenvolveu-se em um contexto urbano marcado pela expansão em torno de antigos sítios mineradores.

Nas amostras provenientes de residências de indivíduos do grupo controle, foram detectadas concentrações elevadas de vanádio (V) e alumínio (Al), acima dos valores de referência. Por outro lado, nas amostras coletadas em residências de pacientes com comprometimento cognitivo leve (DCL), observaram-se níveis elevados de chumbo (Pb) e ferro (Fe). Já entre os participantes diagnosticados com Doença de Alzheimer (DCM), não foram observadas alterações significativas nas concentrações desses metais e metaloide. Em todos os casos em que ocorreram desvio, os valores excederam os limites máximos permitidos para o consumo humano, conforme os parâmetros definidos pela OMS e pelo Ministério da Saúde.

Tabela 2: Amostras que apresentam alterações de metais segundo a OMS e o Ministério da Saúde do Brasil. Fonte: Organização Mundial de Saúde (OMS) e Ministério de Saúde no Brasil.

AMOSTRA	GRUPO	METAL	QUANTIDADE DE METAL (µg/L)	VALOR DE REFERÊNCIA (OMS)(µg/L)	VALOR DE REFERÊNCIA (MS) (µg/L)
RJM	DCL	Pb	181,32	10.0	10.0
MAN	DCL	Fe	448,31	300.0	300.0

Fonte: DEGEO

As amostras de água analisadas foram provenientes de diferentes bairros de Ouro Preto, abastecidos por distintas estações de tratamento e mananciais. No grupo controle, por exemplo, a amostra do bairro Antônio Dias é abastecida pela ETA Itacolomi, que utiliza córregos localizados na região do Parque Estadual do Itacolomi, enquanto a amostra do bairro Vila São José recebe água tratada pela Estação de tratamento (ETA) Jardim Botânico, cuja captação ocorre no córrego Passa Dez. Entre os indivíduos com declínio cognitivo leve (DCL), destaca-se o bairro Padre Faria, também atendido pela ETA Itacolomi, e recebe água do córregos do Parque Estadual do Itacolomi e o bairro Passa Dez de Baixo, cuja água é proveniente do córrego homônimo e tratada pela ETA Jardim Botânico. Em todos os casos, a água fornecida é de origem superficial (Tabela 3), conforme dados da Saneouro (2025).

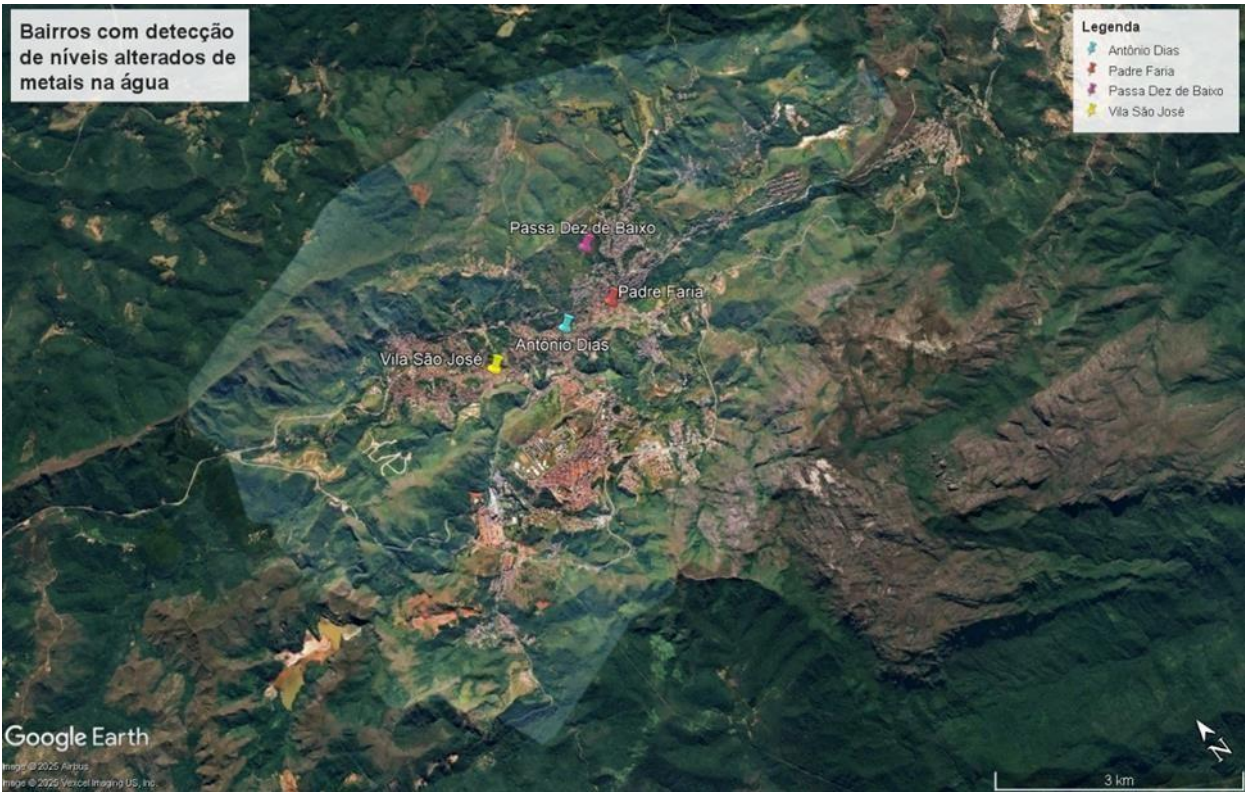
Tabela 3: Caracterização do manancial, estação de tratamento e tipo de água fornecidos nos bairros de Ouro Preto – MG. Fonte: Saneouro.⁴

AMOSTRA	GRUPO	BAIRRO	FONTE DE ÁGUA (MANANCIAL)	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO (ETA)	TIPO DE ÁGUA
RJM	DCL	Padre Faria	Córregos da região do Itacolomi	Itacolomi	Superficial
MAN	DCL	Passa Dez de Baixo	Córrego Passa Dez	Jardim Botânico	Superficial
EMR	CONTROLE	Antônio Dias	Córregos da região do Itacolomi	Itacolomi	Superficial
DLBS	CONTROLE	Vila São José	Córrego Passa Dez	Jardim Botânico	Superficial

FONTE: Elaboração própria, 2025

⁴ Identificação dos mananciais de captação, das estações de tratamento de água (ETA) e dos tipos de água distribuídos nos diferentes bairros do município de Ouro Preto – MG.

Figura 3: Bairros com detecção de níveis alterados de metais na água⁵



Fonte: Elaborado pela autora com base em dados do Google Earth, acesso em 27 jul. 2025.⁶

Tabela 4 - Manancial e fonte de água associados à atividade mineradora nos bairros de Ouro Preto - MG. Fonte: Saneouro.

Amostra	Endereço	Origem	Fonte / ETA	Manancial	Atividade mineradora / Mina
RJM	Padre Faria	Rede Pública	ETA Itacolomi	Córregos locais do Itacolomi	XVIII: Fundado como arraial da mineração; XXI: Destaca-se pela presença das Minas Santa Rita (de relevância econômica) e do Chico Rei
MAN	Assa Dez de Baixo	Rede Pública	ETA Jardim Botânico	Córrego Passa Dez	XVIII: Influência das galerias subterrâneas de lavras; XXI: Residenciais próximos à Serra do

⁵ Localização dos bairros Antônio Dias, Padre Faria, Passa Dez de Baixo e Vila São José, com detecção de níveis alterados de metais na água potável, no município de Ouro Preto (MG).

⁶ Mapa elaborado pelo Google Earth no dia 27 de julho de 2025, disponível em <https://earth.google.com/>.

					Botafogo que possui projeto minerário
EMR	Antônio Dias	Rede Pública	ETA Itacolomi	Córregos locais do Itacolomi	XVII: Principais núcleos mineradores da então Vila Rica, com lavras subterrâneas e túneis escavados à mão; XXI: Mina do Chico Rei, Mina da Bijoeira e Mina do Palácio Velho
DLBS	Laje São José	Rede Pública	ETA Jardim Botânico	Córrego Passa Dez	XVIII: Zona de influência direta das antigas lavras de ouro

FONTE: Elaboração própria , 2025

As amostras de água que apresentaram alterações são provenientes dos bairros Antônio Dias, Padre Faria, Passa Dez de Baixo e Vila São José, áreas de residência de pacientes com declínio cognitivo e de participantes do grupo controle, localizadas em regiões com histórico significativo de atividade mineradora. Os bairros Passa Dez de Baixo e Vila São José encontram-se em zonas de influência direta de antigas lavras de ouro. Nessas localidades, a atividade mineradora ainda ocorre em menor escala, com a presença de algumas minas ativas, e diversas residências estão situadas próximas ou sobre antigas áreas de lavra (IPHAN, 2024) (Figura 3).

Um trabalho prévio desenvolvido pelo próprio grupo de pesquisa analisou amostras de soro e urina dos participantes dos três grupos. Controle, DCL e DCM, por meio da análise biometálica utilizando Espectrometria de Emissão Óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES). Este resultado demonstrou uma redução das concentrações de alumínio nas amostras de soro dos pacientes pertencentes ao grupo DCL, alterações que não foram observadas nas amostras de urina do grupo. Esse achado pode estar associado à deposição dos metais em outros tecidos, incluindo cerebral. (Brandão, et al, 2024).

6 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos indicam a presença de metais na água potável consumida tanto por indivíduos com declínio cognitivo leve quanto pelo grupo controle. Dentre esses metais destaca-se o Chumbo (Pb), amplamente reconhecido por seu potencial neurotóxico, sua exposição pode resultar em acúmulo no córtex cerebral, contribuindo significativamente para a disfunção neuronal (Zhi et al., 2015). Em níveis elevados na água potável, esse metal representa motivo de preocupação, considerando seus efeitos neurotóxicos bem documentados (LEVALL OIS et al., 2018). O chumbo está associado a prejuízos cognitivos duradouros, incluindo déficits de aprendizagem, perda de memória, redução da sinalização sináptica, desmielinização e alterações na integridade das células de Schwann nos nervos periféricos (CHIN-CHAN; NAVARRO-YEPES; QUINTANILLA-VEGA, 2015). Além disso, há evidências sugerindo que a exposição crônica ao Pb pode acelerar processos neuropatológicos relacionados à Doença de Alzheimer (Fathabadi et al., 2018), o que reforça a relevância de sua detecção nas amostras analisadas.

Paralelamente, a presença de concentrações elevadas de ferro (Fe) também merece atenção. Embora o ferro desempenhe um papel essencial no metabolismo cerebral, participando de processos como a síntese de neurotransmissores, a mielinização e o transporte de oxigênio, seu excesso pode desencadear efeitos neurotóxicos na fisiopatologia de diversas doenças neurodegenerativas (Ficarà et al., 2021). O acúmulo de ferro em regiões cerebrais específicas pode promover estresse oxidativo, inflamação e danos neuronais, favorecendo o surgimento e a progressão de condições como a Doença de Alzheimer e outras demências (Hare et al., 2013; Ward et al., 2014). A ingestão crônica ou a exposição a níveis elevados de Fe pode levar ao acúmulo sistêmico e cerebral desse metal, especialmente em regiões suscetíveis como o hipocampo e o córtex frontal (Haldar et al., 2012). Nesse sentido, a elevada concentração de ferro observada nas amostras de água consumida pelos pacientes com declínio cognitivo leve (DCL) pode representar um fator ambiental de risco, capaz de contribuir progressivamente para o agravamento do déficit cognitivo. Embora o presente estudo não tenha avaliado diretamente os níveis de ferro no sangue ou no líquido cefalorraquidiano, evidências da literatura indicam que o acúmulo desse metais nesses compartimentos pode atuar como um biomarcador de susceptibilidade ao declínio cognitivo (Ficarà et al., 2021). Dessa forma, os achados deste estudo

reforçam a relevância de investigações futuras que integrem a análise ambiental e biomarcadores biológicos, a fim de melhor compreender o papel do ferro na progressão do comportamento cognitivo.

Curiosamente, as amostras de água potável provenientes das residências dos participantes do grupo controle, que não apresentaram sinais de comprometimento cognitivo nos testes neuropsicológicos prévios, mostraram alterações nas concentrações de vanádio (V) e alumínio (Al). O vanádio ocorre na natureza em diferentes estados de oxidação, sendo as formas +3 (trivalente), +4 (tetraivalente) e +5 (pentavalente) as mais comuns. Compostos como o sulfato de oxovanádio (IV), o metavanadato de sódio (Na) e o pentóxido de vanádio (V) são exemplos dessas formas (Barceloux, 1999; Willsky et al., 2001; Cheta et al., 2003; Pathak & Lahkar, 2015).

As formas pentavalentes são reconhecidamente mais tóxicas, mas os mecanismos precisos de toxicidade do vanádio ainda não estão totalmente elucidados, especialmente em modelos experimentais, como o peixe-zebra (*Danio rerio*), utilizado em estudos toxicológicos e de neurodesenvolvimento (Lima et al., 2014). Embora os indivíduos do grupo controle não apresentem alterações cognitivas aparentes, a presença de vanádio em concentrações elevadas na água que consomem merece atenção, sobretudo pelo seu potencial acumulativo e por possíveis efeitos deletérios a longo prazo. Ghosh et al. (2015) relatam que, embora presente naturalmente em concentrações ambientais entre 10 e 220 µg/L, o vanádio também pode ser introduzido no ambiente por atividades antropogênicas, como o descarte inadequado de compostos utilizados no tratamento do diabetes.

O alumínio, especialmente em sua forma trivalente livre e solvatada (Al^{3+}), é biologicamente reativo, apresentando afinidade por tecidos do sistema nervoso central (Babić Leko et al., 2020). Diversos estudos indicam que regiões cerebrais particularmente vulneráveis na DA, como o córtex entorrinal, o hipocampo e a amígdala, apresentam níveis elevados de alumínio (Walton, 2006; 2009). A associação entre o alumínio e o peptídeo beta-amiloide ($A\beta$), frequentemente encontrada em tecidos cerebrais afetados pela DA, reforça a hipótese de que este metal possa desempenhar um papel na fisiopatologia da doença, favorecendo a agregação de $A\beta$ e contribuindo para processos neuroinflamatórios e neurodegenerativos (Leko et al., 2021).

No estudo feito por Barreto (2025), dados obtidos por meio da avaliação biometálica de amostras séricas e urinárias de pacientes com declínio cognitivo revelaram níveis significativamente reduzidos de alumínio no soro. Essa diminuição dos níveis séricos levanta duas hipóteses principais: (1) excreção aumentada do alumínio, ou (2) acúmulo tecidual deste metal. A análise da urina desses pacientes não mostrou aumento da excreção de alumínio, sugerindo seu acúmulo no organismo desses pacientes. Esses achados reforçam a necessidade de monitoramento rigoroso da presença de alumínio na água de consumo, bem como de investigações complementares que integrem análises ambientais, bioquímicas e histopatológicas para elucidar o papel desse metal na neurodegeneração. Nesse contexto, os resultados deste estudo funcionam como um importante alerta para a população do município de Ouro Preto, sinalizando a necessidade de ações preventivas voltadas à vigilância ambiental e à promoção da saúde, com foco na mitigação de riscos associados ao surgimento e à progressão de doenças neurodegenerativas.

Os resultados obtidos evidenciaram a presença de metais nas amostras de água analisadas, achado que reforça a preocupação crescente acerca dos impactos da contaminação hídrica sobre a saúde pública e os ecossistemas aquáticos. Conforme discutido por Santana et al. (2020), além das alterações provocadas pelas mudanças climáticas, atividades antrópicas como agricultura, geração de energia, processos industriais, manufatura e mineração constituem importantes fontes de introdução de elementos-traço em águas superficiais e subterrâneas. Nesse contexto, a detecção desses metais nas amostras analisadas sugere influência direta ou indireta dessas atividades sobre a qualidade dos recursos hídricos. Ademais, a elevada toxicidade, persistência ambiental e capacidade de bioacumulação desses contaminantes ampliam os riscos associados à exposição contínua, podendo ocasionar impactos significativos tanto para os organismos aquáticos quanto para a saúde humana ao longo das cadeias alimentares. (López et al., 2019; Reis et al., 2019; Yang et al., 2018).

As amostras analisadas apresentaram distribuição diferenciada entre os grupos. O grupo controle incluiu indivíduos residentes em diversos bairros da cidade, como Vila São José, Cabeças, Antônio Dias, Bauxita, Dolores, Vila dos Engenheiros, Passagem de Mariana e Vila Aparecida, abrangendo tanto áreas centrais e de ocupação antiga quanto regiões de expansão urbana mais recente. Já os participantes

classificados com declínio cognitivo maior (DCM) foram provenientes dos bairros Coelhos e Morro da Queimada, ambos historicamente associados à atividade mineradora. O grupo com declínio cognitivo leve (DCL) mostrou maior representatividade, com amostras distribuídas nos bairros Passa Dez (Vila Pereira), Santa Cruz, São Cristóvão, Água Limpa, Padre Faria, Vila São José, Morro da Queimada e Morro Santana, destacando-se a concentração em bairros de forte tradição mineradora, como Padre Faria, Morro da Queimada e Morro Santana. Além disso, foi registrado um paciente classificado como DCM/DCL no bairro Antônio Dias, um dos núcleos históricos de mineração subterrânea da cidade. De forma geral, observa-se que, enquanto o grupo controle apresenta maior diversidade de localidades, os grupos DCM e DCL concentram-se principalmente em bairros marcados pela mineração, sugerindo a relevância desse contexto ambiental na caracterização da amostra.

As coletas oriundas dos bairros Antônio Dias e Padre Faria, que contemplaram tanto indivíduos do grupo controle quanto pacientes com declínio cognitivo leve, revelaram alterações relevantes e reforçam a influência do contexto minerador sobre a qualidade da água consumida. Esses bairros, historicamente vinculados à mineração desde o período colonial e ainda hoje com minas em funcionamento, apresentam condições ambientais que favorecem a exposição contínua a metais. Situação semelhante foi observada nas amostras de regiões como Morro da Queimada, Morro Santana e também de Passa Dez de Baixo, áreas que, embora com características distintas, compartilham a proximidade com zonas de ocupação antiga e de intensa exploração mineral. Quando comparados os diferentes bairros de origem das amostras, observa-se dois perfis distintos. De um lado, áreas de forte tradição mineradora, como Antônio Dias e Padre Faria, que desde o período colonial apresentam lavras subterrâneas, túneis e minas ainda em atividade. Nessas localidades, as alterações detectadas nas amostras podem estar diretamente associadas à herança da mineração e à permanência de fontes de exposição ambiental. De outro lado, bairros hoje caracterizados como essencialmente residenciais, como Vila São José e Passa Dez de Baixo, também apresentaram alterações relevantes. Embora não sejam núcleos históricos de mineração na mesma proporção dos anteriores, essas regiões desenvolveram-se em áreas de expansão urbana próximas a antigos sítios mineradores, o que pode explicar a presença de

contaminantes na água. Assim, tanto bairros tradicionalmente mineradores quanto aqueles formados em contextos de urbanização sobre áreas mineradas revelam um padrão comum: a possibilidade de contribuição da atividade extrativa, passada ou presente, para a qualidade da água e para a exposição da população a metais associados a quadros de declínio cognitivo.

A convergência de resultados entre esses diferentes bairros sugere que a herança da atividade extrativa, associada à urbanização sobre áreas mineradas, pode desempenhar um papel central na contaminação da água e, possivelmente, na ocorrência de efeitos cumulativos que repercutem em quadros de declínio cognitivo observados na população estudada. Esses achados reforçam a importância da vigilância da qualidade da água potável, especialmente em populações vulneráveis, e apontam para a necessidade de investigar possíveis correlações ambientais no contexto da neurodegeneração.

Além disso, durante as consultas ambulatoriais e no momento da entrevista médica, observou-se que os pacientes cujas amostras de água apresentaram níveis alterados de metais não consomem água diretamente da torneira, fazendo uso de filtros cerâmicos. Embora esses dispositivos sejam reconhecidos pela eficiência na remoção de metais pesados, como chumbo (Pb) e mercúrio (Hg), apresentam limitações quanto à remoção de arsênio (As) (Pérez-Vidal et al., 2021).

Adicionalmente, foi relatado que a residência do paciente RJM, pertencente ao grupo DCL, é antiga e possui tubulação antiga, fator que pode ter contribuído para os níveis elevados de chumbo (Pb) observados na amostra. Esses achados sugerem que características estruturais das residências e os métodos de tratamento doméstico da água podem influenciar as concentrações de metais detectadas, conforme descrito na literatura (Gibson et al., 2016). Assim, novos estudos são necessários para o entendimento completo da água como possível fonte de metais e metalóides no surgimento e agravamento de doenças de natureza cognitiva.

7 CONCLUSÃO

Atividades antrópicas como a mineração têm sido associadas à geração de impactos geoquímicos de longo prazo, capazes de comprometer a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, mesmo após o encerramento das operações mineradoras. Esse cenário representa uma ameaça concreta à saúde humana, especialmente em regiões historicamente marcadas por intensa atividade extrativa. Diante disso, evidencia-se uma relação estreita entre os processos de envelhecimento, a vulnerabilidade neurológica e os impactos ambientais decorrentes da ação humana. A exposição crônica a contaminantes presentes em recursos hídricos, pode estar associada o declínio cognitivo progressivo em indivíduos idosos expostos de forma prolongada a esses contaminantes. Notadamente metais como chumbo, alumínio, ferro e vanádio podem constituir um fator de risco adicional para o desenvolvimento e a progressão de doenças neurodegenerativas na população idosa. Esses achados reforçam a importância de políticas públicas integradas, voltadas à vigilância ambiental, à proteção dos recursos hídricos e às populações vulneráveis.

REFERÊNCIAS

- AYDIN, İ. et al. The role of iron, copper and zinc elements in the pathogenesis of Alzheimer's disease. *Anatolian Journal of Biology*, Istanbul, v. 3, n. 1, p. 13-17, 2022.
- BABIC LEKO, M. et al. Aluminum in Alzheimer's disease: a systematic review. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 21, n. 20, p. 1-24, 2020.
- BABIĆ LEKO, M.; HOLMES, K.; ŠPANIĆ POPOVAČKI, E.; ZUBČIĆ, K.; HOF, P. R.; ŠIMIĆ, G. Metals in Alzheimer's disease: a review of the current evidence. *Biomedicines*, v. 11, n. 4, art. 1161, 2023. DOI: 10.3390/biomedicines11041161.
- BARCELOUX, D. G. Vanadium. *Journal of Toxicology: Clinical Toxicology*, v. 37, n. 2, p. 265-278, 1999.
- BARKER, W. W. et al. Relative frequencies of Alzheimer disease, Lewy body, vascular and frontotemporal dementia. *Alzheimer Disease & Associated Disorders*, v. 19, n. 3, p. 178-183, 2005.
- BARRETO, Leonardo Brandão et al. Avaliação biometálica de soro e urina em pacientes portadores de declínio cognitivo. 2024. Tese (Doutorado em Biotecnologia) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2024. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/19718>
- BENAKIS, C. et al. The microbiome-gut-brain axis in acute and chronic brain diseases. *Current Opinion in Neurobiology*, v. 61, p. 1-9, 2020.
- BENNETT, D. A. et al. Prevalence of cognitive impairment in older persons. *Neurology*, v. 59, n. 7, p. 1168-1175, 2002.
- BRASIL. Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. Centro Histórico de Ouro Preto (MG). Brasília, DF: IPHAN, 2024. Disponível em: <https://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/30>
- BRASIL. Ministério da Saúde. Guia de vigilância em saúde: volume 1. 6. ed. Brasília, DF: MS, 2024.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 7 maio 2021.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 4 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*: seção 1, Brasília, DF, 7 maio 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso em: 12 maio 2026.
- BULSKA, E.; WAGNER, B. Quantitative aspects of inductively coupled plasma mass spectrometry. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, v. 374, n. 2079, art. 20150369, 2016.

CARVALHO, J. A. M. Demographic transition and aging in Brazil. *Revista Brasileira de Estudos de População*, v. 25, n. 1, p. 5-26, 2008.

CHEIGNON, C. et al. Oxidative stress and the amyloid beta peptide in Alzheimer's disease. *Redox Biology*, v. 13, p. 450-464, 2018.

CHETA, Z. C. et al. Chronic exposure to vanadium in drinking water. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, v. 15, p. 1-8, 2003.

FALCO, A. de et al. Doença de Alzheimer: hipóteses etiológicas e perspectivas de tratamento. *Química Nova*, v. 39, n. 1, p. 63-80, 2016.

FATHABADI, B. et al. Comparison of blood lead levels in patients with Alzheimer's disease and healthy people. *American Journal of Alzheimer's Disease & Other Dementias*, v. 33, n. 8, p. 541-547, 2018.

FICHMAN-CHARCHAT, H. et al. Bateria Breve de Triagem Cognitiva. *Dementia & Neuropsychologia*, v. 9, n. 2, p. 153-161, 2015.

FJELL, A. M. et al. Aging brain: structural changes and cognitive decline. *NeuroImage*, v. 82, p. 1-13, 2013.

FOLSTEIN, M. F.; FOLSTEIN, S. E.; McHUGH, P. R. "Mini-mental state": a practical method for grading the cognitive state of patients. *Journal of Psychiatric Research*, v. 12, n. 3, p. 189-198, 1975.

FRISARDI, V. et al. Aluminum in the environment and in Alzheimer's disease. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, v. 34, n. 4, p. 487-498, 2010.

GHOSH, A. et al. Vanadium in the environment: toxicity and pharmacological properties. *Environmental Chemistry Letters*, v. 13, p. 81-87, 2015.

HARE, D. J. et al. The role of iron in Alzheimer's disease. *Brain*, v. 136, p. 2040-2052, 2013.

IBGE. Projeção da população do Brasil e Unidades da Federação por sexo e idade: 2023. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

JOLLIFFE, I. T. Principal component analysis. 2. ed. New York: Springer, 2002.

KIM, H. Y. et al. Recent advances in diagnosis of Alzheimer's disease. *Journal of Clinical Neurology*, v. 19, n. 1, p. 1-15, 2023.

KURKINEN, T. et al. The amyloid cascade hypothesis in Alzheimer's disease: should we change our thinking? *Biomolecules*, v. 13, n. 3, art. 453, 2023. DOI: 10.3390/biom13030453.

LEVALL OIS, Patrick; BARN, Prabjit; VALCKE, Mathieu; GAUVIN, Denis; KOSATSKY, Tom. Public health consequences of lead in drinking water. *Current Environmental Health Reports*, v. 5, n. 2, p. 255-262, jun. 2018. DOI: 10.1007/s40572-018-0193-0.

LIU, G. et al. Metals exposure and the pathogenesis of Alzheimer's disease. *Journal of Structural Biology*, v. 155, n. 1, p. 45-51, 2006.

MOULATLET, G. M. et al. Mining activities and metal dispersion in Brazilian catchments. *Environmental Pollution*, v. 323, art. 121253, 2023.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. Dementia: a public health priority. Geneva: WHO, 2012.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. World health statistics 2022: monitoring health for the SDGs. Geneva: WHO, 2022.

SALGADO, K. C. B. et al. A melatonina protege os neurônios do hipocampo de camundongos da neurotoxicidade induzida pelo β -peptídeo amiloide 25-35. *Brain Research*, v. 1859, art. 149637, 2025. DOI: 10.1016/j.brainres.2025.149637.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Guidelines for drinking-water quality. 4. ed. incorporating the first and second addenda. Geneva: World Health Organization, 2022. Disponível em: WHO – Guidelines for Drinking-water Quality (2022). Acesso em: 12 maio 2026.

ZATTA, P. et al. Aluminum and Alzheimer's disease: a review. *Brain Research Bulletin*, v. 69, p. 1-21, 2006.

ZHI, Y. et al. Lead exposure and cognitive dysfunction. *Neurotoxicology*, v. 48, p. 1-7, 2015. İ. et al. The role of iron, copper and zinc elements in the pathogenesis of Alzheimer's disease. *Anatolian Journal of Biology*, Istanbul, v. 3, n. 1, p. 13-17, 2022.

APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Título: Avaliação de Perfil Biometálico em Pacientes Portadores de Doenças Degenerativas do Sistema Nervoso Central.

Convidamos você a participar como voluntário de um estudo que propõe avaliar o perfil de biometais no organismo de pacientes portadores de doenças degenerativas do sistema nervoso central. O projeto será conduzido pelo Professor Leonardo Brandão Barreto e coordenado pela Profª Dra Katiane de Oliveira Pinto Coelho Nogueira, do Núcleo de Pesquisa em Ciências Biológicas da Universidade Federal de Ouro Preto (NUPEB-UFOP).

O que é esse projeto?

Esse projeto visa avaliar possíveis alterações na concentração de metais em tecidos humanos que possam estar correlacionados com alterações de memória ou mesmo condições mais graves, como Doença de Alzheimer. A compreensão de possíveis alterações nas concentrações de metais nos tecidos poderão ser fundamental para melhor compreender essas doenças ou mesmo até evitá-las. Caso você concorde em participar, será submetido à uma consulta neurológica inicial, onde questionamentos sobre sua saúde e possíveis queixas de alteração de memória, comportamento e relacionamento com outras pessoas serão efetuados. Após isso, você será submetido à exame clínico-neurológico completo. Posteriormente, serão solicitados exames de sangue iniciais para determinação de sua permanência ou não na pesquisa. Se os exames iniciais não demonstrarem alterações que impossibilitem a sua permanência na pesquisa, será colhido novo exame de sangue, bem como urina e pequena amostra de cabelo, com o objetivo de pesquisar e quantificar a presença de biometais. A retirada de sangue poderá ocasionar incomodo, dor e surgimento de hematoma no local da punção. Esse tipo de complicação é relativamente incomum, mas será muito minimizado pela participação de profissionais habilitados para executar o procedimento com todos os cuidados necessários. Não há risco de maior importância na coleta de urina e cabelo. Esses exames serão repetidos a cada seis (06) meses, bem como as suas consultas médicas com neurologista. Todos os seus dados serão armazenados de forma adequada, inviabilizando assim, o acesso de

terceiros e garantido o anonimato e a confidencialidade, durante todo o período de duração da pesquisa até a publicação dos resultados, sob responsabilidade da Professor Leonardo Brandão Barreto.

Quais são seus direitos, caso participe do projeto?

Você terá plena liberdade de recusar-se de participar ou retirar seu consentimento, em qualquer fase da pesquisa, sem penalização de nenhuma forma. Sua participação na pesquisa é voluntária e você estará livre para interrompê-la a qualquer momento, sem que isto lhe prejudique. O sigilo e privacidade de suas informações será completamente respeitado durante todas as fases da pesquisa. Uma via deste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido será fornecida a você, para fins de documentação. Você não terá nenhum tipo de despesa para participar dessa pesquisa, dentro do que for de responsabilidade ou apresentar correlação com a pesquisa. Eventuais dados físicos ou mesmo psíquicos advindos da pesquisa poderão ser objeto de indenização a você, desde que se comprove nítido e inequívoco nexo causal entre a pesquisa e o agravo de saúde.

Com quem posso contar, caso sinta necessidade?

Em qualquer etapa do estudo você poderá ter acesso ao professor e pesquisador responsável pelo projeto, por telefone (31) 99619-1275, e-mail: brandaoleo75@ufop.edu.br ou ainda pessoalmente no Centro de Saúde da Universidade Federal de Ouro Preto (CS UFOP), no Campus do Morro do Cruzeiro da Universidade Federal de Ouro Preto. Se você tiver alguma consideração ou dúvida sobre a ética desta pesquisa, poderá entrar em contato pessoalmente com o Comitê de Ética em Pesquisa (CEP), localizado no Centro de Convergência, Campus Universitário do Morro do Cruzeiro, Universidade Federal de Ouro Preto, por telefone (31) 3559-1368 ou e-mail: cep.propp@ufop.edu.br. O CEP tem como função principal zelar pelas boas práticas que envolvam pesquisas. Acredito ter sido suficientemente informado a respeito do estudo acima citado. Ficou claro para mim quais serão os

procedimentos a serem realizados e garantia de proteção e sigilo dos meus dados individuais. Deste modo, de acordo com este Termo de Consentimento Livre e Esclarecido:

() Eu concordo em participar do estudo.

() Eu não concordo em participar do estudo e não autorizo contato comigo. Ouro Preto, _____ de _____ de 20____.

Voluntário Nome:

Assinatura Pesquisador

Leonardo Brandão Barreto

APÊNDICE B – QUANTIFICAÇÃO DE METAIS E METALÓIDE NAS AMOSTRAS DE ÁGUA

Amostras	Bairros / Distritos	Grupo	Ba 455.403	Cd 226.502	Co 228.615	Cr 267.716	Cu 324.754	Li 670.783
			µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
LCGB	Vila São José	CONTROLE	3,76	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
MFG/MGG	Antônio Dias	DCM	3,88	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
MDPAS	Cabeças	CONTROLE	1,56	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
EMR	Antônio Dias	CONTROLE	3,20	<LQ	<LQ	<LQ	7,96	<LQ
GGM	Coelhos	DCM	44,30	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	7,69
MMO	Bauxita	CONTROLE	7,39	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
LAC/JFC	Dores	CONTROLES	3,71	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
MAN	Passa Dez de Baixo	DCL	4,17	<LQ	<LQ	<LQ	19,46	<LQ
JQS	Santa Cruz	DCL	11,23	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
GNOP	São Cristovão	DCL	3,74	<LQ	<LQ	<LQ	7,04	<LQ
RD	Vila dos Engenheiros	CONTROLE	8,09	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
ASTC	Passagem de Mariana	CONTROLE	4,13	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
MABP	Água Limpa	DCL	3,25	<LQ	<LQ	<LQ	85,26	<LQ
RJM	Padre Faria	DCL	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PRMG	Cabeças	CONTROLE	5,35	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
DLBS	Vila São José	CONTROLE	4,84	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
MIA	Vila Aparecida	CONTROLE	6,04	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
JRF	Vila São José	DCL	4,85	<LQ	<LQ	<LQ	8,92	<LQ
MRF	Morro da Queimada	DCM	3,71	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
GAF	Morro da Queimada	DCL	3,68	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
MPM	Morro Santana	DCL	5,74	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
JRPC	Padre Faria	DCL	12,46	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
LQ			0,480	6,64	26,3	17,1	5,37	3,66

Amostras	Bairros / Distritos	Grupo	Mo 202.032	Ni 231.604	Sc 361.383	Sr 407.771	Ti 368.520	V 292.401	Y 360.074
			µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
LCGB	Vila São José	CONTROLE	<LQ	<LQ	<LQ	10,90	<LQ	<LQ	<LQ
MFG/MGG	Antônio Dias	DCM	<LQ	<LQ	<LQ	11,34	<LQ	<LQ	<LQ
MDPAS	Cabeças	CONTROLE	<LQ	<LQ	<LQ	12,48	<LQ	<LQ	<LQ
EMR	Antônio Dias	CONTROLE	<LQ	<LQ	<LQ	8,28	<LQ	<LQ	<LQ
GGM	Coelhos	DCM	<LQ	<LQ	<LQ	45,72	<LQ	<LQ	<LQ
MMO	Bauxita	CONTROLE	<LQ	<LQ	<LQ	8,33	<LQ	<LQ	<LQ
LAC/JFC	Dores	CONTROLES	<LQ	<LQ	<LQ	8,83	<LQ	<LQ	<LQ
MAN	Passa Dez de Baixo	DCL	<LQ	<LQ	<LQ	8,41	<LQ	<LQ	<LQ
JQS	Santa Cruz	DCL	<LQ	<LQ	<LQ	25,66	<LQ	<LQ	<LQ
GNOP	São Cristovão	DCL	<LQ	<LQ	<LQ	5,15	<LQ	<LQ	<LQ
RD	Vila dos Engenheiros	CONTROLE	<LQ	<LQ	<LQ	18,39	<LQ	<LQ	<LQ
ASTC	Passagem de Mariana	CONTROLE	<LQ	<LQ	<LQ	15,87	<LQ	<LQ	<LQ
MABP	Água Limpa	DCL	<LQ	<LQ	<LQ	4,08	<LQ	<LQ	<LQ
RJM	Padre Faria	DCL	<LQ	<LQ	<LQ	1,79	<LQ	<LQ	<LQ
PRMG	Cabeças	CONTROLE	<LQ	<LQ	<LQ	19,26	<LQ	<LQ	<LQ
DLBS	Vila São José	CONTROLE	<LQ	<LQ	<LQ	20,12	<LQ	25,16	<LQ
MIA	Vila Aparecida	CONTROLE	<LQ	<LQ	<LQ	20,63	<LQ	<LQ	<LQ
JRF	Vila São José	DCL	<LQ	<LQ	<LQ	9,76	<LQ	<LQ	<LQ
MRF	Morro da Queimada	DCM	<LQ	<LQ	<LQ	18,65	<LQ	<LQ	<LQ
GAF	Morro da Queimada	DCL	<LQ	<LQ	<LQ	10,28	<LQ	<LQ	<LQ
MPM	Morro Santana	DCL	<LQ	<LQ	<LQ	26,39	<LQ	<LQ	<LQ
JRPC	Padre Faria	DCL	<LQ	<LQ	<LQ	18,11	<LQ	<LQ	<LQ
LQ			13,5	37,0	1,02	0,294	5,64	19,2	2,74

Amostras	Bairros / Distritos	Grupo	Zn 213.857	As 193.696	Pb 220.353	Al 396.152	Fe 259.940
			µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
LCGB	Vila São José	CONTROLE	47,68	<LQ	<LQ	19,44	13,89
MFG/MGG	Antônio Dias	DCM	54,21	<LQ	<LQ	21,85	16,23
MDPAS	Cabeças	CONTROLE	14,42	<LQ	<LQ	24,47	<LQ
EMR	Antônio Dias	CONTROLE	46,39	<LQ	<LQ	159,85	<LQ
GGM	Coelhos	DCM	14,35	<LQ	<LQ	20,50	<LQ
MMO	Bauxita	CONTROLE	8,39	<LQ	<LQ	37,79	<LQ
LAC/JFC	Dores	CONTROLES	94,60	<LQ	<LQ	<LQ	12,27
MAN	Passa Dez de Baixo	DCL	79,07	<LQ	<LQ	<LQ	448,31
JQS	Santa Cruz	DCL	19,42	<LQ	<LQ	60,33	<LQ
GNOP	São Cristovão	DCL	24,47	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
RD	Vila dos Engenheiros	CONTROLE	11,82	<LQ	<LQ	79,01	<LQ
ASTC	Passagem de Mariana	CONTROLE	57,25	<LQ	<LQ	21,12	108,75
MABP	Água Limpa	DCL	215,93	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
RJM	Padre Faria	DCL	<LQ	<LQ	181,32	<LQ	<LQ
PRMG	Cabeças	CONTROLE	7,69	<LQ	<LQ	88,49	8,11
DLBS	Vila São José	CONTROLE	162,55	<LQ	<LQ	183,00	7,98
MIA	Vila Aparecida	CONTROLE	12,16	<LQ	<LQ	97,11	<LQ
JRF	Vila São José	DCL	26,21	<LQ	<LQ	20,36	<LQ
MRF	Morro da Queimada	DCM	25,31	<LQ	<LQ	25,24	10,11
GAF	Morro da Queimada	DCL	10,26	<LQ	<LQ	56,35	7,54
MPM	Morro Santana	DCL	<LQ	<LQ	<LQ	43,97	7,69
JRPC	Padre Faria	DCL	40,32	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
LQ			6,21	104	181	13,0	7,04

Amostras	Bairros / Distritos	Grupo	Mn 257.610	Ca 422.673	K 766.491	Mg 279.553	Na 589.592	P 213.618	S 181.972
			µg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
LCGB	Vila São José	CONTROLE	<LQ	2,70	0,26	1,09	1,74	0,07	0,22
MFG/MGG	Antônio Dias	DCM	<LQ	2,80	<LQ	1,13	1,79	0,07	0,19
MDPAS	Cabeças	CONTROLE	<LQ	3,28	0,29	0,99	0,75	0,07	0,28
EMR	Antônio Dias	CONTROLE	<LQ	3,57	0,75	1,82	1,29	0,10	0,59
GGM	Coelhos	DCM	<LQ	9,78	1,64	6,06	6,38	0,10	0,37
MMO	Bauxita	CONTROLE	<LQ	3,93	<LQ	2,36	0,46	<LQ	0,28
LAC/JFC	Dores	CONTROLES	4,13	1,64	0,46	0,33	0,84	<LQ	0,35
MAN	Passa Dez de Baixo	DCL	9,14	1,77	0,63	0,79	1,48	0,08	0,22
JQS	Santa Cruz	DCL	9,41	2,39	0,32	1,47	1,78	0,10	0,26
GNOP	São Cristovão	DCL	<LQ	1,48	0,43	0,38	0,72	<LQ	0,38
RD	Vila dos Engenheiros	CONTROLE	<LQ	6,46	0,39	3,32	2,39	<LQ	0,60
ASTC	Passagem de Mariana	CONTROLE	2,58	3,09	0,69	0,82	0,70	<LQ	0,96
MABP	Água Limpa	DCL	<LQ	1,30	0,46	0,52	0,76	<LQ	0,39
RJM	Padre Faria	DCL	<LQ	0,55	<LQ	0,16	<LQ	<LQ	<LQ
PRMG	Cabeças	CONTROLE	2,60	4,67	0,36	0,71	0,92	<LQ	0,21
DLBS	Vila São José	CONTROLE	<LQ	12,88	0,63	6,13	1,92	0,10	1,04
MIA	Vila Aparecida	CONTROLE	<LQ	6,33	0,19	1,34	1,75	0,07	0,24
JRF	Vila São José	DCL	<LQ	4,12	0,35	2,47	0,96	0,08	0,47
MRF	Morro da Queimada	DCM	4,42	3,60	0,37	1,02	1,06	<LQ	0,18
GAF	Morro da Queimada	DCL	<LQ	4,11	0,39	2,06	0,83	<LQ	0,82
MPM	Morro Santana	DCL	<LQ	9,26	<LQ	0,44	1,65	<LQ	0,20
JRPC	Padre Faria	DCL	<LQ	4,27	2,57	1,53	6,05	<LQ	2,23
LQ			2,28	0,0217	0,171	0,0197	0,0484	0,065	0,115

FONTE: Fonte: Elaboração própria com base em: BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021

ANEXO

Mini-Exame do Estado Mental

Escala-questionário que se presta como ferramenta de screening inicial para análise de possíveis alterações cognitivas que possam ser apresentadas pelo paciente. Ferramenta válida mundialmente para avaliação de múltiplas funções corticais superiores (orientação temporal, orientação espacial, registro, atenção e cálculo, memória de evocação, nomeação de objetos, repetição, comando de estágios, escrita de frase completa, leitura e execução e cópia de diagrama). A depender das respostas e resultados obtidos, poderá ser quantificada de 0 (zero) a trinta (30) pontos, a depender do status cognitivo apresentado pelo paciente.

MINI-EXAME DO ESTADO MENTAL

(Folstein, Folstein & McHugh, 1975)

Paciente:

Data da Avaliação: / / Avaliador:

ORIENTAÇÃO

Dia da semana (1 ponto).....()

Dia do mês (1 ponto)..... ()

Mês (1 ponto)..... ()

Ano (1 ponto)() Hora aproximada (1 ponto)
..... ()

Local específico (apartamento ou setor) (1 ponto)() Instituição (residência, hospital, clínica) (1 ponto)() Bairro ou rua próxima (1 ponto) () Cidade (1 ponto)()
Estado (1 ponto) ()

MEMÓRIA IMEDIATA

Fale 3 palavras não relacionadas. Posteriormente pergunte ao paciente pelas 3 palavras.

Dê 1 ponto para cada resposta correta ()

Depois repita as palavras e certifique-se de que o paciente as aprendeu, pois mais adiante você irá perguntá-las novamente.

ATENÇÃO E CÁLCULO

(100 - 7) sucessivos, 5 vezes sucessivamente

(1 ponto para cada cálculo correto)() (alternativamente, soletrar MUNDO de trás para frente)

EVOCAÇÃO

Pergunte pelas 3 palavras ditas anteriormente

(1 ponto por palavra) ()

LINGUAGEM

Nomear um relógio e uma caneta (2 pontos) ()

Repetir “nem aqui, nem ali, nem lá” (1 ponto)() Comando: “pegue este papel com a mão direita,

Dobre ao meio e coloque no chão” (3 ptos)..... ()

Ler e obedecer: “feche os olhos” (1 ponto)() Escrever uma frase (1 ponto)
..... ()

Copiar um desenho (1 ponto)..... ()

ESCORE: (/ 30)

Apesar de apresentar perguntas consideradas relativamente simples, pacientes com menor nível de escolaridade ou mesmo intelectivo prévios poderão apresentar dificuldades em estabelecer respostas adequadas, podendo ser falsamente considerados como portadores de deficiências cognitivas. Assim, segue estratificação de pontuação mínima aceitável a ser obtida pelo paciente, a depender do seu nível de escolaridade prévia:

1. Analfabetos: 13 (treze) pontos.
2. 1-7 anos de escolaridade: 18 (dezoito) pontos.
3. > 8 anos de escolaridade: 26 (vinte e seis) pontos.