

Avaliação físico-química e de genotoxicidade da água potável no município de Governador Valadares, Minas Gerais, Brasil pós rompimento da barragem de Mariana

Physical-chemical and genotoxicity evaluation of potable water from the Governador Valadares, Minas Gerais, Brazil after Mariana dam disaster

Eduardo José Bias de Almeida¹; Cassiane de Mattos Oliveira¹; Leonardo Meneghin Mendonça²; Carla da Silva Machado^{1*}

1.Faculdade Pitágoras de Governador Valadares, Governador Valadares, Minas Gerais, Brasil

2.Departamento de Farmácia, Universidade Federal de Juiz de Fora campus Governador Valadares, Governador Valadares, Minas Gerais, Brasil

***Autora correspondente:** Carla da Silva Machado (ORCID: 0000-0001-9287-5071)

E-mail: carladasilvamachado@gmail.com

Data de Submissão: 16/01/2023 ; Data do Aceite: 19/07/2023.

Citar: ALMEIDA, E.J.B; OLIVEIRA, C.M.; MENDONÇA, L.M.; MACHADO, C.S. Avaliação físico-química e de genotoxicidade da água potável no município de Governador Valadares, Minas Gerais, Brasil pós rompimento da barragem de Mariana. **Brazilian Journal of Health and Pharmacy**, v. 5, n. 3, p. 1-9, 2023. DOI: <https://doi.org/10.29327/226760.5.3-1>

RESUMO

O rompimento da barragem de Bento Rodrigues e a contaminação do Rio Doce afetaram inúmeras cidades, entre elas Governador Valadares, situada na região leste do estado de Minas Gerais. No contexto de pós acidente ambiental, a utilização de bioindicadores e bioensaios para avaliação da toxicidade da água potável, proveniente do Rio Doce e distribuída às populações, é de grande relevância para identificação de possíveis riscos à saúde. O objetivo deste estudo foi avaliar os parâmetros físico-químicos e de genotoxicidade da água potável distribuída à população de Governador Valadares, Minas Gerais, pós rompimento da barragem de Mariana. A raiz de cebola, espécie *Allium cepa*, foi utilizada como organismo-teste. Amostras de água potável foram coletadas em pontos estratégicos das redes de distribuição de água da cidade de Governador Valadares, denominadas Estações de Tratamento de Água: 1) Central, localizada na porção central do município; 2) Vila Isa, localizada no bairro Vila Isa e 3) Santa Rita, localizada no bairro Santa Rita. Os parâmetros de genotoxicidade avaliados foram o índice mitótico, a frequência de aberrações cromossômicas no ciclo mitótico e a presença de micronúcleos. Os resultados mostraram ausência de genotoxicidade nas três amostras de água potável analisadas, e as análises físico-químicas encontraram-se dentro dos padrões de potabilidade. A genotoxicidade é um parâmetro não regularmente avaliado em amostras de água potável. Em caso de efeito genotóxico positivo, as análises físico-químicas poderiam estar correlacionadas. Entretanto, foi observado ausência de alterações nos parâmetros de genotoxicidade e físico-químicos. Os resultados deste estudo colaboram com informações sobre a segurança e qualidade da água potável distribuída no município de Governador Valadares.

Palavras-chave: Água potável; Bioensaio; Toxicidade

ABSTRACT

Bento Rodrigues dam's rupture and the contamination of the Rio Doce affected numerous cities, including Governador Valadares, located in the eastern region of the state of Minas Gerais. In the context of an environmental post-accident, the use of bioindicators and bioassays to assess the toxicity of drinking water from the Rio Doce and distributed to populations is of great relevance for identifying possible health risks. The aim of this study was to evaluate the physical-chemical and genotoxicity parameters of potable water distributed to Governador Valadares, Minas Gerais after Mariana dam disaster. Onion root, species *Allium cepa*, was used as a test organism. Potable water samples were collected at

strategic points of the water distribution networks in the city of Governador Valadares, called Water Treatment Stations: 1) Central, located in the central portion of the municipality; 2) Vila Isa, located in the Vila Isa neighborhood and 3) Santa Rita, located in the Santa Rita neighborhood. Cytotoxicity was measured by comparing the growth of *Allium cepa* roots before and after exposure to the test solutions. Genotoxicity parameters evaluated were the mitotic index, frequency of chromosomal aberrations in the mitotic cycle and the presence of micronuclei. The results showed the absence of genotoxicity in the three samples of potable water analyzed, and the physical-chemical analyzes were within the potability standards. Genotoxicity is a parameter not regularly evaluated in potable water samples. In case of a positive genotoxic effect, the physical-chemical analyzes could be correlated. However, no changes were observed in the genotoxicity and physicochemical parameters. The results obtained in this study collaborate with information about the safety and quality of potable water distributed in Governador Valadares.

Keywords: Potable water; Biological assay; Toxicity

INTRODUÇÃO

Os efeitos das atividades humanas sobre o meio ambiente representam grande preocupação. A contaminação de ecossistemas terrestres e aquáticos por substâncias químicas é consequência do crescimento do processo de industrialização, maior utilização de veículos e aumento do uso intensivo de recursos naturais pela agropecuária, silvicultura e mineração (AZEVEDO, CHASIN, 2004; SOARES, SOUZA, 2019). No ambiente natural, um grande número de xenobióticos potencialmente tóxicos está presente. Esses compostos, isoladamente, podem ou não induzir efeitos adversos a um organismo. No entanto, a interação de um xenobiótico com outras substâncias pode acarretar danos às células e tecidos, devido à geração de derivados mais tóxicos. Além disso, substâncias potencialmente tóxicas podem ser mais ou menos perigosas dependendo das condições climáticas as quais estão expostas, como a incidência da luz ultravioleta, a intensidade do calor e o índice de chuva. Devido à complexidade natural dos ambientes, torna-se difícil prever o que ocorrerá com um agente químico quando liberado no meio terrestre ou aquático (DUFFUS, 1986; PARVAN *et al.*, 2020).

Dentre os meios bióticos existentes, o ambiente aquático é um dos mais atingidos pelos impactos ambientais causados pela conduta errônea da população e de

empresas. O rompimento da barragem de Bento Rodrigues, localizada no município de Mariana, estado de Minas Gerais, liberou uma grande quantidade de rejeitos de mineração no Rio Doce em novembro de 2015 e atingiu inúmeras cidades, entre elas Governador Valadares, situada na região leste do estado de Minas Gerais. Rompimentos de barragem de rejeitos são potenciais indutores de alterações na qualidade dos recursos hídricos, e podem promover riscos à saúde das populações expostas ao longo de muitos anos (CARVALHO *et al.*, 2017; SOUZA *et al.*, 2021; WANDERLEY *et al.*, 2016).

Os rejeitos de mineração podem conter metais como o arsênio, o cádmio, o cromo e o mercúrio. Os metais e os compostos de metais apresentam toxicidade, e o fator determinante é o grau de exposição a essas substâncias em relação ao tempo (MUNIZ, OLIVEIRA-FILHO, 2006). Além das populações humanas, os animais aquáticos podem sofrer os fenômenos de bioacumulação e biomagnificação de metais. Alguns peixes que se encontram no topo da cadeia alimentar aquática podem armazenar metais e passá-los para os seres humanos por meio da alimentação (REPULA *et al.*, 2012).

A utilização de parâmetros biológicos para aferir a qualidade da água se baseia nas respostas dos

organismos em relação ao meio onde vivem. Uma vez que rios estão sujeitos a inúmeras perturbações, a biota aquática reage a esses estímulos, sejam naturais ou antropogênicos (CREADO, 2018; GRUBER *et al.*, 1980; MAGALHÃES, FILHO, 2008).

Para a compreensão da ação tóxica de determinados compostos sobre diferentes ecossistemas, utilizam-se os bioensaios. Entre os bioensaios comumente utilizados em ações de biomonitoramento ambiental, destacam-se os ensaios de genotoxicidade (BOLOGNESI, 2003; KIER, 2015).

O modelo de estudo *Allium cepa*, amplamente utilizado em ensaios de genotoxicidade, é um importante organismo-teste para o biomonitoramento ecotoxicológico, uma vez que possui baixo custo, não exige equipamentos elaborados para a manutenção e apresenta boa correlação com resultados de outros testes de genotoxicidade e mutagenicidade (CHANDRA *et al.*, 2005). O teste do *Allium cepa* é utilizado em análises de medicamentos, fitoterápicos e na avaliação da qualidade de águas de rios (JESUS, ZAMBERLAN, 2018; RODRIGUES, DALZUCHIO; GEHLEN, 2016; SILVA *et al.*, 2019).

Em contexto de pós acidente ambiental em larga escala, a utilização de bioindicadores para avaliação da toxicidade da água potável, proveniente do Rio Doce e distribuída às populações por meio do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), é de grande relevância para identificação de possíveis riscos à saúde e qualidade de vida das populações. Adicionalmente, alterações físico-químicas da água podem trazer riscos a nível molecular, aumentando o risco de toxicidade ao material genético dos organismos.

Desta forma, objetivo deste estudo foi avaliar os parâmetros físico-químicos e de genotoxicidade da água potável distribuída à população de Governador Valadares, Minas Gerais, pós rompimento da barragem de Mariana.

Dentre os motivos para a realização do estudo em Governador Valadares destacamos que é a maior cidade em número de habitantes dentre as atingidas pelo vazamento de 2015 e a captação de água para distribuição à população é majoritariamente do Rio Doce. Adicionalmente, a população da cidade mantém uma desconfiança em relação à qualidade da água distribuída, de forma que o debate permanece ativo até os dias atuais e o tema de interesse público. O Rio Doce é considerado símbolo da cidade de Governador Valadares, sendo grande atrativo cultural, ambiental e turístico.

MÉTODO

Amostragens

Amostras de água potável foram coletadas no ano 2022, meses de março (período chuvoso) e julho (período seco), seguindo as recomendações do “Guia Nacional de Coleta e Preservação de amostras” desenvolvido pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), Agência Nacional de Águas (ANA) em 2012 (BRASIL, 2012), da Portaria GM/MS Nº 888 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2021) e da nota técnica 004/17 do Instituto Nacional de Meteorologia, 5º Distrito de Meteorologia/Minas Gerais/Belo Horizonte e Seção de Análise e Previsão do Tempo – SEPPE (INMT, 2017).

Foram coletadas amostras de água potável da torneira de pontos estratégicos e de abrangência populacional atendidos por cada uma das três redes de distribuição de água da cidade de Governador Valadares, Minas Gerais, denominadas Estações de Tratamento de Água (ETAs): 1) ETA Central, localizada na porção central do município; 2) ETA Vila Isa, 4372+VP Vila Isa, Gov. Valadares - MG e 3) ETA Santa Rita, 32W8+VV Santa Rita, Gov. Valadares - MG.

Os três pontos estratégicos e de abrangência populacional selecionados para a coleta das amostras foram: 1) terminal rodoviário, atendido pela ETA Central; 2) Aeroporto de Governador Valadares, atendido pela ETA Santa Rita e 3) Hospital Bom Samaritano, atendido pela ETA Vila Isa.

As coletas de amostras de água potável foram realizadas, em réplica, nos períodos chuvoso (março de 2022) e seco (julho de 2022), considerando o regime de sazonalidade da região de Governador Valadares na redução de vieses. Duas amostras de água potável foram coletadas de cada um dos três pontos estratégicos e de abrangência populacional selecionados.

Espécimes de *Allium cepa*

Os espécimes de *Allium cepa* utilizados no estudo apresentaram tamanho uniforme, a mesma origem, saudáveis, orgânicos e não germinados. Antes da realização dos experimentos, os catafilos externos secos dos espécimes foram removidos com bisturi, de forma que a área radicular não fosse danificada.

Análises físico-químicas da água potável

As análises físico-químicas de potencial de hidrogênio (pH), de condutividade, de alcalinidade, de turbidez, de ferro total, de manganês total, de gás carbônico, de dureza, de cálcio, de magnésio, de cloreto, de acidez total, de fluoreto, de nitrato e de nitrito foram realizadas nas amostras de água potável dos três pontos estratégicos e de abrangência populacional selecionados.

As análises físico-químicas foram realizadas em colaboração com o Departamento de Farmácia da Universidade Federal de Juiz de Fora *campus* Governador Valadares e em conformidade com a Portaria GM/MS N0 888. As análises foram incluídas no estudo para avaliar se, em caso de efeito positivo de genotoxicidade, haveria correlação com algum parâmetro físico-químico.

Teste do *Allium cepa*

O teste do *Allium cepa* foi realizado de acordo com os protocolos propostos por Grant (1982) e Rank e Nielsen (1997), com pequenas modificações da técnica. Os bulbos foram colocados em processo de germinação e alocados em recipientes apropriados, com a parte inferior mergulhada nas soluções aquosas controle ou

nas soluções aquosas teste. Cada experimento utilizou três bulbos de cebola (um para cada tratamento), além do controle negativo (água mineral de fornecedor padronizado) e do controle positivo (solução de sulfato peróxido de hidrogênio a 0,03% diluído em água mineral).

Antes da exposição dos espécimes de *Allium cepa* às soluções-teste e respectivos controles negativo e positivo, as raízes de cebola ficaram imersas por 48 horas em água mineral e, ao final do tempo, as raízes de cada exemplar de cebola foram medidas para posterior comparação com as 48 horas de exposição dos espécimes de *Allium cepa* às soluções-teste e respectivos controles negativo e positivo. Ao final do tempo de exposição, as raízes de cada exemplar de cebola foram novamente medidas para a avaliação da citotoxicidade.

Após a mensuração do parâmetro citotoxicidade, as raízes foram cortadas a 1 cm do ápice, e a coleta de quatro a cinco raízes por bulbo foi realizada. Posteriormente foram imersas em solução fixadora Carnoy (etanol/ácido acético - 3: 1) durante o período de 24 horas. Em seguida, as raízes foram mergulhadas em etanol 70% (etanol/água - 3:1) e conservadas em geladeira até o momento da preparação das lâminas. O teste foi conduzido em temperatura de 25° C e sem iluminação direta. Para o preparo das lâminas, duas pontas de raízes de cada amostra foram retiradas do etanol 70% e colocadas sobre a lâmina de vidro. Foram adicionadas duas gotas do corante carmim acético a 1% (ácido acético/carmim 99:1). O processo de coloração teve duração de 10 minutos e, em seguida, foi adicionada uma lamínula. O squash (esmagamento manual) do material foi realizado com a compressão do dedo polegar em lâmina. As bordas das lamínulas foram seladas com esmalte para produção de lâminas de material permanente.

As lâminas foram analisadas ao microscópio óptico. Os parâmetros avaliados no teste foram o índice mitótico (IM), a frequência de aberrações cromossômicas (AC) no ciclo mitótico e a presença de micronúcleos (MN)

em 1000 células. As frequências de AC e MN podem indicar a presença de genotoxicidade. O IM corresponde à relação entre o número de células em divisão celular e o total de células observadas, em porcentagem. Para a análise de AC, as aberrações cromossômicas do tipo fragmentos cromossômicos, pontes e atrasos no processo de divisão celular foram consideradas. Todos os registros de aberrações cromossômicas foram reunidos em uma categoria para possibilitar a avaliação das AC como um único *endpoint*.

Análise dos resultados

Os resultados obtidos foram analisados por meio de teste de variância (ANOVA) e pós-teste de comparação múltipla de Tukey, com o auxílio do programa GraphPad versão Prism Free Trial. O valor de $p < 0,05$ foi considerado

estatisticamente significativo para os parâmetros avaliados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análises físico-químicas da água potável

A Tabela 1 mostra o resultado comparado das análises físico-químicas das amostras de água potável.

As análises físico-químicas apresentaram-se em conformidade com os padrões da Portaria GM/MS Nº 888 nas três amostras de água potável avaliadas. A portaria estabelece que a água para consumo humano não está apenas relacionada à ingestão, mas também à preparação e produção de alimentos e higiene pessoal (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2021).

Tabela 1: Análises físico-químicas comparadas das amostras de água potável coletadas nas ETAS Centro, Santa Rita e Vila Isa

Parâmetros	Amostra 1 (ETA Centro)	Amostra 2 (ETA Santa Rita)	Amostra 3 (ETA Vila Isa)	Padrões Portaria GM/ MS nº 888*
pH	6,44	6,19	6,51	6,0 a 9,5
Condutividade	0,361	0,362	0,363	Até 1,0
Alcalinidade hidróxidos (mg/L)	13,0	15,0	12,0	-
Alcalinidade carbonatos (mg/L)	0,0	0,0	0,0	-
Alcalinidade bicarbonatos (mg/L)	13,0	15,0	12,0	-
Turbidez (NTU)	3,5	3,5	3,5	Até 5,0
Ferro total (mg/L)	0,01	0,01	0,02	Até 0,3
Manganês total (mg/L)	0,01	0,01	0,01	Até 0,1
Gás carbônico (mg/L)	10,0	20,0	8,0	-
Dureza (mg/L)	36,0	32,0	34,0	Até 500,0
Cálcio (mg/L)	21,6	19,2	20,4	Até 300,0
Magnésio (mg/L)	14,4	12,8	13,6	Até 250,0
Cloreto (mg/L)	200,0	190,0	205,0	-
Acidez total (mg/L)	10,0	9,0	7,0	Até 1,0
Fluoreto (mg/L)	0,0	0,0	0,0	Até 1,0
Nitrato (mg/L)	0,01	0,02	0,03	Até 1,0
Nitrito (mg/L)	0,0	0,0	0,0	Até 1,0

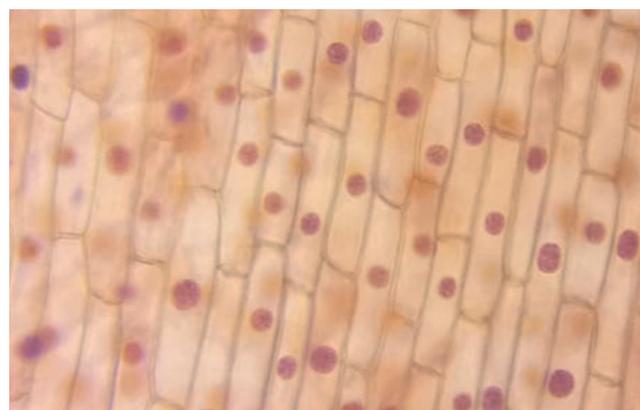
ETA= Estação de Tratamento de água. pH= potencial de hidrogênio. *Portaria GM/MS Nº 888, de 2021: consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde.

Os resultados físico-químicos obtidos neste estudo trazem informações relevantes sobre a qualidade da água potável distribuída à população de Governador Valadares pós acidente ambiental, indicando que as amostras avaliadas se encontram dentro dos padrões de potabilidade e aptas ao consumo da população. Possíveis alterações nos parâmetros físico-químicos, como o aumento das concentrações de ferro e/ou manganês, poderiam ter sido observadas nas amostras de água em decorrência do acidente ambiental de 2015. No entanto, o tratamento da água, a característica da coleta (água superficial ou profunda) ou o lixiviamento podem ter interferido nas concentrações obtidas neste estudo.

Teste do *Allium cepa*

A Figura 1 mostra uma lâmina de raiz de cebola (*Allium cepa*) produzida ao longo do experimento.

Para a aferição do parâmetro citotoxicidade, as raízes de cada exemplar de cebola foram medidas antes e após a exposição às substâncias-teste para comparação do crescimento.



Os resultados da avaliação do parâmetro citotoxicidade estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Avaliação do parâmetro de citotoxicidade por meio da comparação entre os tamanhos das raízes de *Allium cepa* antes e 48 horas após exposição às soluções-teste (amostras de água potável) e controles positivo e negativo.

EXPERIMENTO 1 – período chuvoso (março 2022)		
Amostras	Antes da exposição às soluções-teste e controles (cm)	Após 48 de exposição às soluções-teste e controles (cm)
Controle negativo	2,1	6,3*
Controle positivo	2,3	2,4
ETA Centro	2,8	5,9*
ETA Santa Rita	1,9	4,0*
ETA Vila Isa	1,3	3,9*
EXPERIMENTO 2 – período seco (julho 2022)		
Amostras	Antes da exposição às soluções-teste e controles (cm)	Após 48 de exposição às soluções-teste e controles (cm)
Controle negativo	2,4	5,6*
Controle positivo	1,8	1,9
ETA Centro	2,3	4,1*
ETA Santa Rita	3,3	5,3*
ETA Vila Isa	3,3	4,8*

Controle negativo = água destilada; controle positivo = peróxido de hidrogênio a 0,03%; ETA = Estação de Tratamento de Águas. ANOVA, pós-teste de Tukey, $p < 0,05$. *Significativamente diferente em relação ao tratamento ou controle antes da exposição.

Tabela 2: Índice mitótico (IM), frequência de aberrações cromossômicas (AC) e micronúcleos (MN) avaliados em 1000 células de *Allium cepa* imersas nas amostras de água potável obtidas da ETA Centro, ETA Santa Rita, ETA Vila Isa e seus respectivos controles negativo e positivo

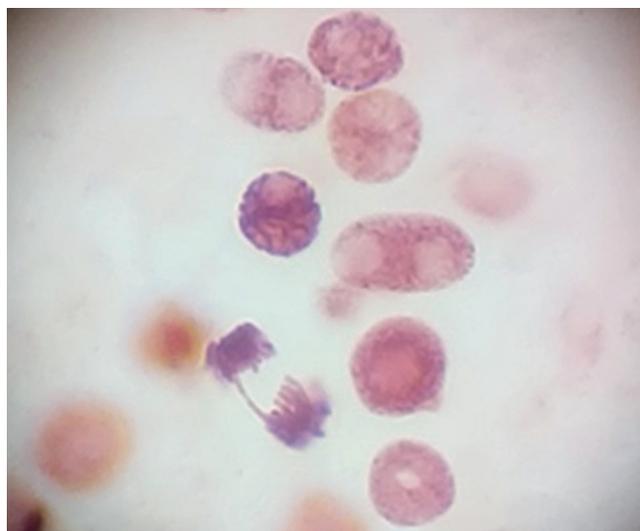
EXPERIMENTO 1 – período chuvoso (março 2022)		
Amostras	Antes da exposição às soluções-teste e controles (cm)	Após 48 de exposição às soluções-teste e controles (cm)
Controle negativo	2,1	6,3*
Controle positivo	2,3	2,4
ETA Centro	2,8	5,9*
ETA Santa Rita	1,9	4,0*
ETA Vila Isa	1,3	3,9*

EXPERIMENTO 2 – período seco (julho 2022)		
Amostras	Antes da exposição às soluções-teste e controles (cm)	Após 48 de exposição às soluções-teste e controles (cm)
Controle negativo	2,4	5,6*
Controle positivo	1,8	1,9
ETA Centro	2,3	4,1*
ETA Santa Rita	3,3	5,3*
ETA Vila Isa	3,3	4,8*

Controle negativo = água destilada; controle positivo = peróxido de hidrogênio a 0,03%; ETA = Estação de Tratamento de Águas. ANOVA, pós-teste de Tukey, $p < 0,05$. *Significativamente diferente em relação ao tratamento ou controle antes da exposição.

O índice mitótico (IM = Número de células em divisão/1000 células) é um parâmetro indicador de proliferação adequada das células. Nos experimentos 1 e 2, realizados nos períodos seco e chuvoso, os IM mostraram uma taxa de divisão celular acima de 15%, possibilitando a avaliação das frequências de AC e MN.

Na avaliação das AC foram quantificados os seguintes parâmetros: pontes anafásicas e cromossomos retardatários. Para a avaliação de MN foram consideradas as visualizações de quebras cromossômicas e migração de cromossomos inteiros. A Figura 2 mostra uma ponte anafásica, um dos parâmetros de avaliação de AC.



Os resultados das avaliações genotóxicas e mutagênicas no teste do *Allium cepa* mostraram que as três amostras de água potável, coletadas de distintos pontos estratégicos da cidade de Governador Valadares, não indicaram frequência significativa de AC e MN, tanto no período chuvoso quanto no período seco.

Alterações a nível molecular são potenciais agentes nocivos ao material genético dos organismos e idealmente devem ser avaliadas para monitorar a segurança e saúde das populações, assim como possíveis implicações futuras (PARVAN *et al.*, 2020).

Mesmo os resultados deste estudo sugerindo ausência de efeitos citotóxicos e genotóxicos nas amostras de água potável provenientes do rio Doce, é importante destacar a importância do monitoramento periódico de águas de rios que abastecem as populações, especialmente no contexto de acidente ambiental de larga escala como o ocorrido em 2015.

CONCLUSÃO

Em conclusão, os resultados deste estudo mostraram que a água potável da cidade de Governador Valadares, Minas Gerais, Brasil, representadas pelas amostras das estações de tratamento Centro, Santa Rita e Vila Isa, não apresentaram toxicidade, genotoxicidade ou mutagenicidade nos parâmetros avaliados e encontram-se dentro dos padrões de potabilidade em relação às análises físico-químicas. Recomenda-se o monitoramento periódico de genotoxicidade da água potável distribuída às populações. Os resultados obtidos neste estudo colaboram com informações científicas sobre a segurança e qualidade da água potável distribuída no município de Governador Valadares, Minas Gerais, Brasil.

AGRADECIMENTOS E FINANCIAMENTO INSTITUCIONAL

Agradecimento à Faculdade Pitágoras de Governador Valadares pela execução do trabalho; à Universidade Federal de Juiz de Fora campus Governador Valadares, pela parceria; e à FUNADESP pelo suporte financeiro ao projeto n0 3152/2021.

CONFLITO DE INTERESSE

Nada a declarar

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, F.A.; CHASIN, A.M. **As bases toxicológicas da Ecotoxicologia**. São Paulo, 2004.
- BOLOGNESI, C. Genotoxicity of pesticides: a review of human biomonitoring studies. **Mutation Research**, v. 543, n. 3, p. 251-272, 2003. DOI: 10.1016/s1383-5742(03)00015-2
- CARVALHO, M.S. Concentração de metais no Rio Doce em Mariana, Minas Gerais, Brasil. **Acta Brasiliensis**, v.1, n.3, p. 37-41, 2017. DOI: <https://doi.org/10.22571/Actabra13201758>
- BRASIL. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO E AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Guia Nacional de coleta e preservação de amostras**. São Paulo, 2012.
- CREADO, E.S.J. **Vidas de rio e de mar: pesca, desenvolvimentismo e ambientalização**. 1. ed. Vitória: ProEx, v. 1, 2018.
- CHANDRA, S.; CHAUHAN, L.K.S.; MURTHY, R.C.; SAXENA, P.N.; PANDE, P.N.; GUPTA, S.K. Comparative biomonitoring of leachates from hazardous solid waste of two industries using Allium test. **Science of Total Environment**, v. 347, n. 1-3, p. 46-52, 2005. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2005.01.002
- DUFFUS, J.H. Environmental Toxicology and Ecotoxicology. In: WHO/IPCS. World Health Organization/International Programme on Chemical Safety. **Environmental Health** Serie 10. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 1986.
- GRANT, W. F. Chromosome aberration assays in Allium. A report of the U.S. Environmental Protection Agency Gene-Tox Program. **Mutation Research**, v. 99, n. 3, p. 273-291, 1982. DOI: [https://doi.org/10.1016/0165-1110\(82\)90046-X](https://doi.org/10.1016/0165-1110(82)90046-X).
- GRUBER, D.; CAIRNS, J.; DICKSON, K.L.; HENDRICKS, A.C.; MILLER, W.R. Recent concepts and development of an automated biological monitoring system. **Journal (Water Pollution Control Federation)**, v. 52, n. 3, p. 465-471, 1980.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 5º DISTRITO DE METEOROLOGIA/MINAS GERAIS/BELO HORIZONTE e SEÇÃO DE ANÁLISE E PREVISÃO DO TEMPO – SEPPE, nota técnica 004/17, 2017.

JESUS, A.M.; ZAMBERLAN, C.R. Genotoxicidade do diazepam e potencial de reversão do Ginkgo biloba pelo método Allium cepa. **Revista Saúde- UNG-SER**, v.12, n.1, p.1-2, 2018.

KIER, L. D. Review of genotoxicity biomonitoring studies of glyphosate-based formulations. **Critical Reviews in Toxicology**, v. 45, n. 3, p. 209-218, 2015. DOI: 10.3109/10408444.2015.1010194

MAGALHÃES, D.P.; FILHO, A.S.F. A ecotoxicologia como ferramenta no biomonitoramento de ecossistemas aquáticos. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12 (3), p. 355-381, 2008.

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. Link de acesso: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html. Acessado em: 02 jun 2023.

MUNIZ, D.H.F.; OLIVEIRA-FILHO, E.C. Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente. **Universitas: Ciências da Saúde**, v. 4, n.1/2, p. 83-100, 2006.

PARVAN, L.G.; LEITE, G.T.; FREITAS, T.B.; PEDROSA, P.A.A.; CALIXTO, J.S.; AGOSTINHO, L.A. Bioensaio com Allium cepa revela genotoxicidade de herbicida com flumioxazina. **Revista Pan-Amazônica de Saúde**, v.11, p.1:e202000544, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.5123/s2176-6223202000544>

RANK, J.; NIELSEN, M. H. Allium cepa anaphase-telophase root tip chromosome aberration assay of N-methyl-N-nitrosourea, maleic hydrazide, sodium azide, and ethyl methanesulfonate. **Mutation Research**, v. 390, n. 1-2, p. 121-127, 1997. DOI: 10.1016/s0165-1218(97)00008-6

REPULA, C.M.M.; CAMPOS, B.K.; GANZAROLLI, E.M.; LOPES, M.C.; QUINÁIA, S.P. Biomonitoramento de Cr e Pb em peixes de água doce, **Química Nova**, v.35, n.5, p. 905-909, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422012000500008>

RODRIGUES, G.Z.P.; DALZUCHIO, T.; GEHLEN, G. Uso do bioensaio com Allium cepa L. e análises físico-químicas e microbiológicas para avaliação da qualidade do Rio da Ilha, RS, Brasil. **Acta Toxicológica Argentina**, v.24, n.2, p.97-104, 2016.

SILVA, J.D.A.N.; VIEIRA, C.R.; HEREDIA-VIEIRA, M.C.; BARUFATTI, S.C.; CRISPIM, A.; FRANCISCO, B.A.; VIANA, L.F.V; CARDOSO, L.F.; LIMA, C.A. Propriedades toxicológicas de um extrato aquoso de folhas de Aristolochia triangularis utilizando os bioensaios de letalidade com Artemia salina e Allium cepa. **Ciência Rural**, v.49, n.8, e20190091, 2019. DOI: 10.1590/0103-8478cr2019009

SOARES, A.F.S; SOUZA, L.P.S. Contaminação das águas de abastecimento público por poluentes emergentes e o direito à saúde. **Revista de Direito Sanitário**, v. 20, n.2, p. 100-133, 2019. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9044.v20i2p100-133>

SOUZA, I.B.S.; OLIVEIRA, L.L.F.; THOMÉ, R.G.; SANTOS, H.B.; PAIVA, M.C.; CHEQUER, F.M.D. Poluição hídrica e seu potencial genotóxico: Uma análise da bacia do rio Doce após o rompimento da barragem de Fundão. **Research, Society and Development**, v. 10, n.7, p. e17010716374, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16374>

WANDERLEY, L.J; MANSUR, M.S; MILANEZ, B.; PINTO, R.G. Desastre da Samarco/Vale/BHP no Vale do Rio Doce: aspectos econômicos, políticos e socioambientais. **Ciência e Cultura**, v. 68, n. 3, p. 30-35, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602016000300011>

Figura 1: Lâmina de raiz de cebola (Allium cepa) evidenciando as paredes celulares e núcleos.

Figura 2: Ponte anafásica como indicadora de aberração cromossômica (AC).